

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ИСКУССТВЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ

Акулов С.А.¹, Федотов А.А.¹, Макаров И.В.², Акулов В.А.¹, Сидоров А.Ю.², Акулова А.С.¹, Решетникова М.А.¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П.Королева

² Самарский государственный медицинский университет

CARDIOVASCULAR RESPONSES TO ARTIFICIAL GRAVITY

Akulov S.A.¹, Fedotov A.A.¹, Makarov I.V.², Akulov V.A.¹, Sidorov A.Yu.², Akulova A.S.¹, Reshetnikova M.A.¹

¹ Samara National Research University, Samara

² Samara State Medical University, Samara

Негативное влияние факторов невесомости является одной из важнейших проблем пилотируемой космонавтики. Одним из вариантов решения данной проблемы является создание искусственной гравитации с помощью короткорadiusных центрифуг [Котовская А.Р., 2003]. При этом ключевую роль играет наличие на борту центрифуги высокоэффективных средств диагностики состояния организма человека, включающих инструментальные средства оценки параметров ведущих функциональных систем [Zander V., 2013].

В настоящее время для диагностики различных патологий сердечно-сосудистой системы широко используются методы анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). Ритм сердечных сокращений отражает различные процессы регуляции в сердечно-сосудистой системе и организме человека в целом [Баевский Р.М., 2000]. Для расчета диагностических показателей ВСР используется математический анализ изменения длительностей кардиоинтервалов (КИ), определяемых как временные интервалы между двумя последовательными характерными точками электрокардиосигнала. Длительности КИ, как правило, определяются путем измерения R-R интервалов ЭКГ-сигнала и межпульсовых интервалов сигнала артериальной пульсации крови [Constant I., 1999]. В качестве основных методов анализа ВСР можно выделить статистические, спектральные методы, а также методы нелинейной динамики.

Статистические методы применяются для непосредственной количественной оценки ВСР за исследуемый промежуток времени, при этом сердечный ритм рассматривается как случайная числовая последовательность временных интервалов [Баевский Р.М., 1994]. Применение спектрального анализа сердечного ритма позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний сердца и получить наглядное представление о соотношениях спектральных компонентов сердечного ритма, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма [Pomeranz B., 1985].

Кроме того, установлено, что значимую долю во временной структуре сердечного ритма составляют неперiodические хаотические компоненты, имеющие фрактальную природу. В частности, изменение выраженности определенных шумовых компонентов в структуре ритма сердца связано с повышенным риском внезапной сердечной смерти [Timo H., 2001, Hotta N., 2005].

Основное внимание в работе было уделено наиболее современным подходам к математическому анализу сердечного ритма, использующим последние достижения в области методов обработки нестационарных квазипериодических данных. Нами были предложены к рассмотрению показатели емкости акселерации (AC) и децелерации (DC) сердечного ритма. Данные показатели являются нелинейными и определяют интенсивность квазипериодических трендов в сердечном ритме на основе усреднения сигналов с устранением фазы (в англоязычной литературе Phase-rectified Signal Averaging) [Bauer A., 2006].

В данной работе были проанализированы выборки КИ, зарегистрированные в группе испытуемых, подвергаемых переменной искусственной гравитации. Группа состояла из 25 здоровых молодых мужчин без выраженных сердечно-сосудистых патологий (средний возраст $21 \pm 1,3$ лет, рост 178 ± 5 см). Экспозиция искусственной гравитации составляла 10 мин в каждом из 4 режимов: 0G (клиностаз), 0,3 G, 0,7 G, 1 G. Получены зависимости значений статистических показателей ВСР (SDNN, RMSSD, AC, DC), спектральных показателей (TP, LF, HF), а также показателей нелинейной динамики (показатель Херста, коэффициент флуктуации) от частоты вращения короткорadiusной центрифуги.

Регистрация ЭКГ-сигнала проводилась с помощью сертифицированного компьютерного электрокардиографа, имеющего стандартные технические характеристики: полоса пропускания по уровню -3дБ 0,05–100 Гц; частота дискретизации 1000 Гц, разрядность аналого-цифрового преобразования 24 бита. ЭКГ сигнал регистрировался в модифицированном грудном отведении. Компьютерная обработка ЭКГ сигнала, включая этапы цифровой фильтрации сигнала, обнаружения QRS-комплексов, формирования массива длительностей КИ и определения показателей ВСР, осуществлялась в пакете инженерных вычислений MATLAB R2014. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 6.0 for Windows.

Полученные результаты анализа ВСР свидетельствуют о снижении активности парасимпатической нервной системы и усилении деятельности симпатической (RMSSD достоверно снижается, а LF/HF достоверно увеличивается).

**ПОСТРОЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА С ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДОЙ**

Александров В.В.¹, Бурдин Б.В.², Крючков Б.И.², Усов В.М.², Чертополохов В.А.¹

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

² Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

**THE CONSTRUCTION OF THE RESEARCH STAND FOR PSYCHO-PHYSIOLOGICAL TESTING
OF «HUMAN OPERATOR - VIRTUAL ENVIRONMENT» INTERACTION**

Alexandrov V.V.¹, Burdin B.V.², Kryuchkov B.I.², Usov V.M.², Chertopolokhov V.A.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow region

Создание робототехнических систем космического назначения составляет одно из направлений перспективных программ пилотируемых полетов. На данный момент особое внимание привлекают вопросы дистанционного управления мобильными роботами, что предполагает задание человеком-оператором (ЧО) сложных двигательных актов на исполнение манипуляционному роботу в ручном (копирующем) режиме, когда применяются антропоморфные конструкции роботов, команд управления с помощью многостепенных ручек – для пилотируемых напланетных роверов и жестовых команд – для многих других видов мобильных роботов (беспилотных роверов). В большинстве своем, указанные дистанционные режимы управления требуют применения систем захвата движения (СЗД) рук ЧО, движений его головы и отслеживания движений глаз с помощью окулографов (англ.: eye-trackers), что позволяет гибко настраивать человеко-машинный интерфейс на конкретные задачи и условия применения робототехнических систем (РТС) космического назначения. В случае копирующего управления может применяться носимый костюм (экзоскелет), надеваемый на верхний плечевой пояс, и этот вариант достаточно хорошо освещен в публикациях [Крючков с соавт., 2014]. Для дистанционного управления роботами с более широкими возможностями автономного функционирования имеются и другие способы построения человеко-машинного интерфейса. В качестве альтернативы методам контактного съема информации, когда взаимодействие ЧО с органом управления осуществляется на физическом уровне (англ.: Instrumented Haptic Interface Devices), могут рассматриваться способы бесконтактного формирования управляющих сигналов с помощью технологий распознавания и идентификации движений ЧО «на расстоянии». Указанные вопросы еще мало исследованы применительно к условиям пилотируемых полетов, а потому актуальна разработка программно-аппаратных средств для проведения психофизиологических и инженерно-психологических исследований на базе исследовательских компьютерных стендов с использованием технологий виртуальной реальности и инструментария, построенного с применением современных средств психофизиологического контроля двигательной и поведенческой активности, в частности, СЗД и окулографов. Особенности среды, в которой предстоит космонавту управлять космическими роботами, требуют изучения факторов, потенциально опасных для состояния работоспособности ЧО с точки зрения возникновения конфликта анализаторов, например, зрительно-вестибулярных расстройств. Сегодня существуют инновационные средства для всестороннего изучения этой проблемы, в частности, подвижные платформы, скоростная видеосъемка, программные средства для измерения и формализации фактора ускорения разных частей тела при рассогласовании с визуально наблюдаемой картиной, предъявляемой ЧО на индикаторах, встроенных в шлемы виртуальной реальности.

В качестве примера многофункционального тестирующего стенда можно привести Панорамную систему виртуальной реальности Московского государственного университета. Стенд состоит из стереоэкрана, СЗД, кластера ПК с программным обеспечением, окулографа и трехступенной подвижной платформы, не соединенной с экраном. Подобная конфигурация стенда редко встречается в мире и не имеет аналогов в РФ. Стереоскрин представляет собой полуцилиндр радиусом 3.5 м и высотой 2 м, что дает возможность задействовать боковое зрение и допускает повороты головы испытуемого при работе визуальной имитации. СЗД включает в себя 8 инфракрасных камер и набор отражающих маркеров, а также блок инерциальных датчиков. Полученные с камер данные позволяют с высокой точностью определить координаты и ориентацию «тела», составленного из маркеров. При исследовании условий наблюдения необходимо корректировать стереоскопическое изображение на экране в соответствии с расположением глаз испытуемого. В то же время, при использовании подвижной платформы возникает задача согласования визуальной и динамической имитации. Для оценки качества управления, формируемого ЧО, применяется максиминная методика гарантированного тестирования.

Предлагаемые решения относятся к области инновационных проектов, которые требуют координации усилий ряда ведущих организаций РФ вследствие многодисциплинарного характера возникающих проблем.

В настоящее время формируется исследовательская программа, которая нацелена на удовлетворение запросов разработчиков космических роботов в отношении психофизиологических возможностей космонавта при напланетной деятельности и наличии ограничений человеческого фактора.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДОВ МЫШЕЧНОГО И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО КОМПОНЕНТОВ В ПОДДЕРЖАНИЕ ПОЗНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОСЛЕ ПРЕБЫВАНИЯ В УСЛОВИЯХ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ

Амирова Л.Е.¹, Носикова И.Н.¹, Кюсто М-А.^{2,3}, Томиловская Е.С.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Лаборатория UMR CNRS 6214-INSERM 1083, Университет города Анже (Франция)

³ Центр исследовательской медицины госпиталя Анже (Франция)

ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION OF MUSCULAR AND CARDIOVASCULAR COMPONENTS IN MAINTAINING OF POSTURAL STABILITY AFTER «DRY» IMMERSION

Amirova L.E.¹, Nosikova I.N.¹, Custaud M-A.^{2,3}, Tomilovskaya E.S.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² UMR CNRS 6214-INSERM 1083, Université d'Angers (France)

³ CRC du CHU d'Angers (France)

Поддержание стабильности позы является сложным и многокомпонентным процессом, необходимым для обеспечения позы и локомоции. Известно, что после длительного космического полета происходит нарушение походки и вертикализации космонавта. Понимание природы этих процессов поможет сократить срок реабилитации.

Целью работы являлось исследование вклада сердечно-сосудистого и мышечного компонентов в поддержание стабильности позы. Для моделирования условий невесомости была использована 5-суточная «сухая» иммерсия (СИ). В исследовании приняли участие 8 добровольцев. Фоновые обследования проводились за три дня до погружения, в СИ и после. Во время эксперимента производился замер поперечной жесткости мышц голени и артериального давления. До СИ, непосредственно по выемке и на 2-е сутки после нее испытуемые проходили стабильностное тестирование и активную ортостатическую пробу. Статистический анализ проводился с помощью критерия Аноа, с последующим тестом Бонферрони. Результаты представлены в виде средних \pm стандарт. отклон.

Стабильностная устойчивость снижалась после воздействия СИ. Площадь эллипса до погружения составила $120 \text{ мм}^2 \pm 41 \text{ мм}^2$, достоверно увеличиваясь до $200 \text{ мм}^2 \pm 73 \text{ мм}^2$ после СИ, и возвращаясь к фоновым значениям в период восстановления. Скорость перемещения центра давления и разбросы отклонений по фронтальной и сагиттальной плоскости после иммерсии также значительно увеличивались на 30–50 % по сравнению с фоном.

Поперечная жесткость исследуемых мышц-экстензоров голени достоверно снижалась в иммерсионном периоде на 10–20 % от фоновых значений. На 2-е сутки после СИ жесткость исследуемых мышц восстанавливалась.

Артериальное давление достоверно не менялось после СИ. Частота сердечных сокращений после СИ значительно увеличивалась по сравнению с фоновыми значениями.

Таким образом можно заключить, что в поддержание стабильности позы вносят вклад в равной мере как мышечный, так и сердечно-сосудистый компоненты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-25-00167).

ПРОЯВЛЕНИЯ СЛУХОВОЙ АДАПТАЦИИ К ДВИЖЕНИЮ В АКТИВАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ КОРЫ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ И ИЗМЕНЕНИЯХ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ

Андреева И.Г.¹, Ушаков В.Л.², Боброва Е.В.³, Орлов В.А.², Гвоздева А.П.¹, Смирнова В.А.¹

¹ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург

² НИЦ Курчатовский Институт, Москва

³ Институт физиологии им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург

MANIFESTATIONS OF AUDITORY MOTION ADAPTATION IN THE ACTIVATIONS OF MULTIMODAL AREAS OF CORTEX AND IN POSTURAL REACTIONS

Andreeva I.G.¹, Ushakov V.L.², Bobrova E.V.³, Orlov V.A.², Gvozdeva A.P.¹, Smirnova V.A.¹

¹ Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry RAS, St.Petersburg

² Kurchatov Institute, Moscow

³ Pavlov Institute of Physiology RAS, St.Petersburg

Восприятие движения формируется при участии афферентных потоков разных модальностей (Козловская И.Б., 2008). Сенсорная адаптация к движению в одной из модальностей, задействованных в ориентации в пространстве, как правило, приводит к адаптивным изменениям в остальных модальностях (Андреева И.Г., 2014, 2015, 2016). Целью нашего исследования было показать межсенсорный характер слуховой адаптации к приближающимся или удаляющимся шагам человека с применением методов стабиллометрии и функциональной магнитно-резонансной томографии. Оба методических подхода реализованы с использованием одинакового стимульного материала – стереозаписей шагов

человека, движущегося в течение 6 с со скоростью 1.5 м/с в помещении с выраженной реверберацией (уровень звука падал на 35 дБ за 300 мс). МР-изображения были получены с помощью магнитно-резонансного томографа Siemens Magnetom Verio (Германия), напряженностью магнитного поля 3Тл. Слуховую адаптацию к движению выполняли в течение 45 с в головных телефонах, глаза испытуемых были закрыты. Изменения уровня активации коры больших полушарий и параметров, характеризующих положение центра давления (ЦД), оценивали до, во время первой и второй половины звуковой стимуляции, а также после адаптации - слуховое последствие, оценивали в группах по 8 взрослых здоровых испытуемых с нормальным слухом. Показано, что оба методических подхода позволяют выявить динамику процесса слуховой адаптации к движению. В течение первой половины стимуляции изменения активации наблюдали преимущественно в слуховых областях коры (первичная слуховая область и области, расположенные дорзальнее ее), тогда как во второй половине стимуляции выявлялась активация мультисенсорных зон, участвующих в анализе пространственной информации и обработке информации о движении других модальностей: в верхней и средней лобных извилинах (зоны 9, 10 по Бродману), верхней теменной доле (зона 7), постцентральной извилине (зоны 1, 2, 3), а также угловой или/и надкраевой извилинах (зоны 39, 40). После стимуляции активация сохранялась на высоком уровне в течение 30 с, после чего быстро снижалась. По стабилметрическим данным анализировали основные показатели, характеризующие положение ЦД в сагиттальной плоскости: длину траектории его движения, смещение, разброс и среднюю линейную скорость смещения. В случае движущихся шагов увеличивалась длина траектории ЦД во время и после стимуляции по сравнению с контрольным периодом до стимуляции. Прослушивание приближающихся, удаляющихся шагов и шагов на месте (контроль) приводило к смещению ЦД назад во время второй половины стимуляции. Последствие движения обнаруживалось в достоверном увеличении амплитуды колебаний ЦД в сагиттальной плоскости, что проявлялось в увеличении длины траектории ЦД и его стандартного отклонения. Таким образом, слуховая адаптация к приближающимся (удаляющимся) шагам представляет собой процесс, включающий три стадии. Первая стадия, которая длится около 20 с, вызывает преимущественно активацию слуховых зон коры и сопровождается изменениями позы в сагиттальной плоскости. Вторая стадия выявляется по активации мультисенсорных зон коры и характеризуется изменением показателей, описывающих положение ЦД, по сравнению с первой стадией. Третья стадия или последствие, выражается в постепенном снижении активации коры до исходного уровня и в увеличении колебаний тела.

Работа частично поддержана грантом РФФИ (№ 15-04-02816) и средствами государственного бюджета по госзаданию на 2013-2017 (№ г.р. 01201351571). Постурографические исследования выполнены в большой акустической камере на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием для физиологических, биохимических и молекулярно-биологических исследований ИЭФБ РАН.

ОЦЕНКА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ЛИПОФУСЦИНОВЫХ ГРАНУЛ РЕТИНАЛЬНОГО ПИГМЕНТНОГО ЭПИТЕЛИЯ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА

Арбуханова П.М.¹, Яковлева М.А.², Фельдман Т.Б.^{2,3}, Борзенко С.А.¹, Островский М.А.^{2,3}

¹ МНТК «Микрохирургия глаза» им. С.Н. Федорова, Москва,

² Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

³ Биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

EVALUATION OF THE FLUORESCENT PROPERTIES OF HUMAN RETINAL PIGMENT EPITHELIUM LIPOFUSCIN GRANULES

Arbukhanova P.M.¹, Yakovleva M.A.², Feldman T.B.^{2,3}, Borzenok S.A.¹, Ostrovsky M.A.^{2,3}

¹ Sv. Fyodorov Eye Microsurgery Complex, Moscow

² Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow

³ Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University

С возрастом и при некоторых дегенеративных заболеваниях сетчатки происходит накопление липофусциновых гранул (ЛГ) в клетках ретинального пигментного эпителия (РПЭ) с развитием в дальнейшем макулярной дистрофии. ЛГ обладают, во-первых, выраженными фототоксическими свойствами и, во-вторых, достаточно сильной аутофлуоресценцией. Не исключено, что при воздействии на сетчатку различного рода ионизирующих излучений, в том числе и космического (тяжелые частицы), также возможно ускоренное накопление ЛГ. Этот вопрос будет являться предметом наших дальнейших исследований. В этой связи в докладе будут представлены результаты наших последних исследований, касающиеся фототоксических и флуоресцентных свойств флуорофоров ЛГ РПЭ как одного из ведущих патогенетических факторов дистрофии сетчатки.

Как известно, фагоцитированные клетками РПЭ обломки наружных сегментов фоторецепторов (т.н. фагосомы) превращаются в результате неполной лизосомальной деградации в недеградабельные ЛГ («пигмент старости»). ЛГ состоят из белков и липидов, в том числе ЛГ включают более 20-ти флуоресцентных соединений. Бисретиноиды и

продукты их окисления и деградации как флуоресцентные соединения представляют собой основной источник флуоресценции ЛГ.

Долгое время ЛГ считались инертным «шлаком» в клетке РПЭ. Оказалось, однако, что они способны генерировать при действии видимого света активные формы кислорода (Островский и др., 1992; Boulton et al., 1993), т.е. обладают фототоксичностью.

В настоящее время активно развивается новый неинвазивный метод диагностики глазной патологии – аутофлуоресценция глазного дна. Основным источником аутофлуоресценции являются ЛГ, находящиеся в РПЭ. Относительный состав флуорофоров в ЛГ меняется с возрастом, и, вероятно, при патологии. Структура большей части флуорофоров еще не установлена. Наиболее изученным является флуорофор ЛГ – бис-ретинолиден этаноламин (А2Е).

Нами в последнее время при помощи метода регистрации кинетики затухания флуоресценции был проведен сравнительный анализ вклада различных флуорофоров ЛГ, а именно А2Е и продуктов его фотоокисления и фотодеградации, в суммарную флуоресценцию хлороформного экстракта ЛГ, полученных из клеток РПЭ кадаверных глаз человека без видимой патологии (Яковлева М.А., 2016). В этой работе нами было показано, что основной вклад (около 60 %) в суммарный спектр флуоресценции при возбуждении длиной волны 488 нм (т.е. при той длине волны, при которой в клинике на коммерческом конфокальном лазерном офтальмоскопе регистрируется аутофлуоресценция глазного дна) вносят флуорофоры, являющиеся продуктами фотоокисления и фотодеградации А2Е. Эти результаты хорошо коррелируют с ранее полученными нами данными (Feldman T.B., 2015). Все остальные фракции, в том числе и сам А2Е, вносят гораздо меньший вклад в суммарный спектр флуоресценции.

Для более точного определения вклада отдельных флуорофоров или их групп в суммарный спектр флуоресценции нами были измерены времена жизни флуоресценции как самого хлороформного экстракта ЛГ, так и его отдельных фракций при помощи метода счета коррелированных во времени фотонов. Полученные результаты указывают на то, что сам А2Е может вносить незначительный вклад в суммарную флуоресценцию хлороформного экстракта ЛГ по сравнению с продуктами фотоокисления и фотодеградации бисретиноидов (Яковлева М.А., в печати). Таким образом, подтверждается предположение о том, что вклад А2Е – основного флуорофора ЛГ в суммарную флуоресценцию хлороформного экстракта ЛГ из РПЭ кадаверных глаз человека не является основным. Вероятно, он не является основным и при регистрации аутофлуоресценция глазного дна при её регистрации в клинике.

Разрабатываемые нами на этой основе усовершенствованный метод регистрации аутофлуоресценция глазного дна может быть востребован также и при исследовании процессов накопления токсичных и фототоксичных ЛГ в РПЭ глаза человека, подвергшегося действию радиационного излучения различной природы.

РЕТИКУЛЯРНЫЕ ВОЛОКНА ЖЕЛУДКА МЫШЕЙ C57 BLACK ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО ОРБИТАЛЬНОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ «БИОН-М» № 1

Атякшин Д.А.

Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н.Бурденко Минздрава России
НИИ экспериментальной биологии и медицины, г. Воронеж

RETICULAR FIBERS OF C57 BLACK MICES' STOMACH AFTER 30-DAY SPACEFLIGHT ABOARD BIOSATELLITE BION-M1

Atiakshin D.A.

Voronezh State Medical University named after N.N.Burdenko
Research Institute of Experimental Biology and Medicine, Voronezh

Строма внутренних органов создает необходимые условия для функционирования клеток и их производных. В космическом полете соединительная ткань приобретает особое значение, поскольку выполняет роль внутриорганного скелета, обладающего гравичувствительностью [Атякшин Д.А., 2014]. Однако исследования состояния внеклеточного матрикса соединительной ткани органов пищеварительной системы после пребывания в невесомости проводились только на монгольских песчанках [Атякшин Д.А. и др., 2010; Атякшин Д.А., Быков Э.Г., 2012, 2013, 2014]. Полет биологического спутника «БИОН-М» № 1 предоставил новые возможности для изучения грависенситивности волокнистого компонента внеклеточного матрикса соединительной ткани внутренних органов, в т.ч., в аспекте длительной продолжительности пребывания в невесомости, а также проведения анализа процессов реадaptации после возвращения биоспутника.

Эксперимент проведен на 58 самцах мышей C57 black. В серию 30-суточного космического полета входили 5 животных, от которых биоматериал был взят через 9–11 ч после приземления биоспутника, а также 5 животных, находившихся 7 сут после возвращения из орбитального полета в условиях земной реадaptации. Серию моделирования влияния факторов космического полета в наземных условиях (биологический контроль) составили 16 животных, из которых половина находилась 30 сут в макете полетной аппаратуры «БИОС-МЛЖ», а другая в наземных условиях 7-суточной реадaptации после модельного эксперимента. Каждой из 4 вышеперечисленных групп животных соответствовала

группа мышей виварийного контроля в количестве 8 голов. После декапитации животных фрагменты фундального отдела желудка фиксировали в 10 % н.формалине при комнатной температуре и проводили через спирты возрастающей концентрации. Парафиновые срезы, выполненные по длинной оси полученных фрагментов желудка, для целей обзорной микроскопии окрашивали гематоксилином Карацци и эозином [Romeis B., 2010]. Ретикулярные волокна выявляли импрегнацией азотнокислым серебром по методу Фута, позволяющим дифференцировать коллаген III типа от других фибриллярных коллагенов, входящих в состав волокнистых элементов внеклеточного матрикса, в том числе от I, II, V и других типов [Саркисов Д.С., Перов Ю.Л., 1996; Romeis B., 2010]. Топографию и тинкториальные характеристики ретикулярных волокон в интерстиции желудка оценивали на светооптическом уровне. Для количественной оценки состояния волокнистого компонента интерстиция использовали планиметрический подход [Автандилов Г.Г., 1990], в условных единицах определяя индекс содержания волокон. Для получения репрезентативной выборки исследовалось не менее 50 полей зрения. Полученный информационный массив статистически обрабатывался с использованием компьютерной программы Stat Soft Statistica, 6.0. Достоверность различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента с уровнем значимости $p < 0,05$. При отсутствии нормального распределения данных для сравнения двух выборок использовали непараметрический критерий Вилкоксона. Исследования проведены с соблюдением требований по гуманному обращению с животными в соответствии с решением Комиссии по биомедицинской этике ИМБП (протокол № 206 от 07.10.2007 г.).

В слизистой оболочке желудка мышей интактной группы ретикулярные волокна выявлялись в собственной пластинке между фундальными железами, а также в мышечной пластинке. В мышечной оболочке преимущественная ориентация ретикулярных волокон соответствовала направлению длинной оси гладких миоцитов. Ретикулярные волокна присутствовали в подслизистой и серозной оболочках желудка и обладали умеренной аргирофилией.

После космического полета в сравнении с данными животных группы виварийного контроля в слизистой оболочке желудка возрастала численность ретикулярных волокон, формировались локусы с высоким содержанием аргирофильных структур, масштабы которых иногда распространялись на всю толщину слизистой оболочки. Такая реакция ретикулярных волокон была обусловлена, видимо, дистрофическими изменениями элементов слизистой оболочки. В ряде случаев выявлялись локусы собственных желез желудка с нарушением целостности аргирофильных структур. Изменения тинкториальных свойств ретикулярных волокон интерстиция слизистой оболочки желудка заключались главным образом в возрастании степени аргирофилии. Наоборот, в мышечной пластинке слизистой оболочки происходило достоверное снижение представительства ретикулярных волокон. Образующая ими сеть и гистотопографические особенности, присущие животным группы виварийного контроля, обнаруживались гораздо реже. Аналогичные изменения выявлялись и в области подслизистой оболочки. Часто обнаруживались скопления импрегнированного материала в виде зерен, а также интенсивно окрашенные волокнистые фрагменты. Однако наибольшие изменения ретикулярных волокон после орбитального полета были обнаружены в области мышечной оболочки желудка. Количество импрегнированных волокнистых структур снижалось как в мышечных пластах, так и в межмышечных скоплениях соединительной ткани. При этом в мышечной оболочке обнаруживались достаточно крупные локусы, в которых ретикулярные волокна не выявлялись. Существенно уменьшалось число аргирофильных структур, располагающихся поперечно длинной оси гладких миоцитов. Ретикулярные волокна, обладающие параллельной направленностью в отношении продольной оси гладких миоцитов, были существенно редуцированы. Часто выявлялись локусы с накоплением зернистого аргирофильного материала. По длине ретикулярных волокон происходили изменения аргирофильных свойств: на протяжении одного и того же волокна выявлялись участки как с низкой степенью окрашивания, так и высокой. Кроме того, обнаруживались конгломераты импрегнированного материала, обладающие преимущественно вытянутой формой, диспропорцией длины и толщины, с содержанием гранулоподобных образований. При этом в мышечной оболочке желудка в большом количестве накапливался зернистый аргирофильный материал. Таким образом, выявляемые ретикулярные волокна в стенке желудка животных полетной группы чаще всего утрачивали гистотопографические и тинкториальные особенности, характерные для животных групп виварийного и биологического контролей.

Анализ биоматериала желудка животных группы 7-суточного восстановления после космического полета показал, что в слизистой оболочке не происходило возвращения состояния ретикулярных волокон к уровню групп виварийного и биологического контролей. Прежде всего, это касалось количественных показателей. В местах локализации клеток собственных желез желудка, подвергнутых наиболее выраженным дистрофическим изменениям после орбитального полета, а также в межжелудочковой строме выраженность сети ретикулярных волокон оставалась повышенной. Также не наблюдалось нормализации тинкториальных свойств ретикулярных волокон - во всех микропрепаратах отмечалась выраженная аргирофилия. В то же время, в мышечной пластинке слизистой оболочки и, особенно, в мышечной оболочке численность ретикулярных волокон достоверно возрастала по сравнению с показателями мышей, обследованных после космического полета. Восстанавливались аргирофильные структуры с поперечной направленностью по отношению к длинной оси гладких миоцитов. В меньшей степени, содержание ретикулярных волокон увеличивалось за счет волокнистых структур, локализованных параллельно длинной оси гладких миоцитов, а также в перимизии. Вместе с активным образованием сети ретикулярных волокон сохранялось высокое содержание аргирофильных зерноподобных структур в мышечной оболочке, что, видимо, могло свидетельствовать о незавершенности процессов

лизиса ретикулярных волокон во время их активного новообразования в условиях реадaptации к земной гравитации. Кроме того, увеличивалось содержание аргирофильных структур, контактирующих с базальной мембраной гладких миоцитов. Частота выявления локусов гладкой мускулатуры желудка с явлениями выраженной редукции ретикулярных волокон существенно снижалась.

При имитации влияния факторов космического полета на животных (биологический контроль) было выявлено, что после 30-суточного пребывания в макете полетной аппаратуры «БИОС-МЛЖ», а также спустя 7 сут после моделирования основные изменения ретикулярных волокон происходили в слизистой оболочке и проявлялись снижением представительства ретикулярных волокон. Также изменениям подвергались тинкториальные характеристики ретикулярных волокон, ослабевали их аргирофильные свойства. В мышечной пластинке слизистой оболочки топография волокнистых элементов практически не отличалась от картин, наблюдаемых в группе животных биологического контроля. Более того, в мышечной оболочке обращала на себя внимание тенденция к возрастанию индекса содержания ретикулярных волокон по сравнению с показателями контрольной группы животных, не достигающая достоверного уровня. Топография волокнистых структур не претерпевала существенных изменений. Главным образом, изменялись тинкториальные свойства ретикулярных волокон, что проявлялось уменьшением аргирофильных свойств. При исследовании материала животных, обследованных на 7-е сутки после проведения модельного эксперимента, выявленные микроскопические картины по большинству признаков не отличались от показателей животных группы биологического контроля.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высоком уровне гравичувствительности волокнистого компонента межклеточного матрикса соединительной ткани желудка мышей, который обнаруживался как в количественных, так и качественных признаках ретикулярных волокон. Сведения о процессах реадaptации к условиям земной силы тяжести, полученные в эксперименте, свидетельствуют о высокой лабильности состояния внутриорганного скелета в зависимости от величины силы тяжести. В то же время, к 7-м суткам после завершения космического полета процессы реадaptации стромы желудка в отношении ретикулярных волокон нельзя считать завершенными.

СОСТОЯНИЕ ТУЧНЫХ КЛЕТОК ЖЕЛУДКА МОНГОЛЬСКИХ ПЕСЧАНОК ПОСЛЕ 12-СУТОЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Атякшин Д.А., Бурцева А.С.

Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н.Бурденко Минздрава России
НИИ экспериментальной биологии и медицины, г. Воронеж

CONDITION OF MAST CELLS OF THE MONGOLIAN GERBILS' STOMACH AFTER SPACE FLIGHT

Atiakshin D.A., Burtseva A.S.

Voronezh State Medical University named after N.N.Burdenko
Research Institute of Experimental Biology and Medicine, Voronezh

Тучные клетки широко распространены в организме, обладают достаточно большой продолжительностью жизни, циклически осуществляют синтез и выведение в экстрацеллюлярный матрикс веществ с высокой биологической активностью, регулирующих местный гомеостаз и многие внутриклеточные процессы, в том числе состояние и ремоделирование соединительной ткани, ангиогенез, проницаемость сосудов микроциркуляторного русла, клеточную пролиферацию, модуляцию секреторной деятельности желез, чувствительность нервных окончаний к раздражителям и др. [Быков В.Л., 2000; Dvorak A.M., 2005]. Тучные клетки оказывают как непосредственное действие с помощью собственных секреторных продуктов, так и опосредованное путем регуляции других клеток [Gurish M.F., Austen K.F., 2012; Silva E.Z.M., Jamur M.C., Oliver C., 2014, Devandir A. et al., 2015]. Столь разносторонняя биологическая активность тучных клеток в отношении компонентов соединительной ткани органов делает их изучение весьма актуальным при исследовании адаптивных изменений в тканях под влиянием факторов космического полета, в том числе, невесомости. В то же время, объективную характеристику о состоянии тучных клеток в экспериментальных условиях можно получить только после анализа их популяционных характеристик. Однако подобная работа после воздействия факторов космического полета была выполнена только в отношении тучных клеток тонкой кишки [Атякшин Д.А. и др., 2013; Атякшин Д.А., Быков Э.Г., 2013; 2014]. Настоящее исследование продолжает изучение популяционных характеристик тучных клеток органов пищеварительной системы монгольских песчанок после космического полета.

Популяцию тучных клеток желудка анализировали у монгольских песчанок *Meriones unguiculatus* после 12-суточного орбитального полета на КА «Фотон-М» № 3 ($n = 12$), а также у животных из наземного синхронного эксперимента по моделированию условий космического полета ($n = 11$) и группы виварийного контроля ($n = 12$). Фрагменты желудка фиксировали в растворе нейтрального формалина с N-цетилпиридинхлоридом для лучшей сохранности секреторных гранул тучных клеток. На парафиновых срезах тучные клетки выявляли окрашиванием толуидиновым

синим [Belanger L., Hartnett A., 1960; Romeis B. 2010]. Монгольские песчанки обладают видоспецифическими гистохимическими особенностями гранул мукозных тучных клеток тощей кишки, в том числе, высоким содержанием гепарина, что делает их удобным объектом исследования при метахроматической идентификации [Атякшин Д.А., Быков Э.Г., 2013; Nawa Y. et al., 1994]. Тучные клетки изучали соответственно их гистотопографии в стенке дна желудка, подразделяя на мукозную (локализованную в слизистой оболочке) и соединительнотканную (расположенную в пределах подслизистой, мышечной и серозной оболочек) субпопуляции [Быков В.Л., 2000; Омеляненко Н.П., Слуцкий Л.И., 2009; Kitamura Y. et al., 1987]. Анализ тучных клеток проводили по методике Быкова Э.Г. (2010) с определением общего числа тучных клеток, соотношения возрастных форм, оценкой состояния цитоплазмы и способов либерализации продуктов биосинтеза, выделяя несколько морфофункциональных типов: недегранулированные (гранулированные и компактные), дегранулированные (лизированные тучные клетки или в состоянии экзоцитоза), а также состояние клазматоза, состояние денуклеации, цитопласты. Подсчеты популяционных характеристик тучных клеток проводили на поле зрения, размеры которого составляли 500x700 мкм. Для каждой субпопуляции у животного анализировалось не менее 70 полей зрения. Полученный информационный массив статистически обрабатывался с использованием компьютерной программы StatSoft Statistica, 6.0. Соответствие или несоответствие полученных данных нормальному распределению определяли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Если цифровой массив соответствовал нормальному распределению данных, для сравнения двух выборок применяли t-критерий Стьюдента для независимых выборок с уровнем значимости $p < 0,05$. При отсутствии нормального распределения для сравнения двух независимых выборок применяли непараметрический критерий Вилкоксона с уровнем значимости $p < 0,05$. Исследования проведены согласно требованиям к гуманному обращению с животными в соответствии с решением Комиссии по биомедицинской этике ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН (протокол № 206 от 07.10.2007 г.).

Тучные клетки в желудке интактных монгольских песчанок располагались преимущественно в слизистой оболочке и в меньшей степени обнаруживались в других структурах стенки желудка - подслизистой, мышечной и серозной оболочках. При этом тучные клетки мукозной субпопуляции главным образом локализовались либо в нижней трети слизистой оболочки, либо ее верхних отделах. В первом случае тучные клетки располагались в мышечной пластинке слизистой оболочки, прилегая к гладким миоцитам, или вблизи донных отделов собственных желез дна желудка. В поверхностном слое слизистой оболочки желудка тучные клетки локализовались около базальной мембраны покровного эпителия или соединительной ткани, окружающей верхние отделы собственных желез дна желудка, что территориально совпадало с зоной недифференцированных эпителиоцитов. Большинство тучных клеток были недегранулированными. В соединительнотканной субпопуляции тучные клетки располагались преимущественно в подслизистой оболочке, окружая сосуды, хотя часто локализовались между пучков коллагеновых волокон. Гораздо реже они наблюдались в структурах мышечной оболочки. Среди механизмов дегрануляции в обеих субпопуляциях тучных клеток на первом месте были процессы лизиса секреторных гранул, хотя экзоцитоз продуктов биосинтеза и клазматоз цитоплазмы также имели место. В возрастной структуре популяции наибольшее число занимали зрелые тучные клетки.

Условия синхронного эксперимента вызывали достоверное увеличение объема как мукозной, так и типичной субпопуляций тучных клеток в стенке желудка по сравнению с показателями монгольских песчанок группы виварийного контроля. В то же время, гистотопография тучных клеток в желудке практически не менялась. Следует отметить возрастание числа зрелых тучных клеток в структурах слизистой оболочки. Повышалась площадь цитоплазмы вместе с активизацией процессов дегрануляции и сокращением численности компактных форм тучных клеток. Увеличивалась численность тучных клеток в состоянии лизиса секреторных гранул, экзоцитоза и клазматоза. Территориальные характеристики гранул тучных клеток характеризовались возрастанием доли γ -метахромазии.

После 12-суточного космического полета происходило достоверное уменьшение объема популяции тучных клеток, особенно типичной субпопуляции, по сравнению с показателями монгольских песчанок групп синхронного эксперимента и виварийного контроля. Наблюдалось уменьшение площади цитоплазмы тучных клеток, возрастание активности либерализации продуктов биосинтеза. Возрастала доля тучных клеток с γ -метахромазией цитоплазмы и продуктов биосинтеза. Гистотопография мукозной субпопуляции тучных клеток характеризовалась равномерной диссеминацией по толщине слизистой оболочки, что было отличием от показателей виварийных животных и группы синхронного эксперимента. Соединительнотканная субпопуляция тучных клеток локализовалась преимущественно в подслизистой оболочке, хотя в некоторых соединительнотканых прослойках мышечной оболочки обнаруживались тучные клетки, кооперирующиеся в группы из 4–8 клеток, что не наблюдалось у животных виварийного контроля и после проведения синхронного эксперимента.

Таким образом, особенности гистотопографии тучных клеток в стенке желудка, активизация созревания секреторных гранул и интенсификация экзоцитоза продуктов биосинтеза во внеклеточное пространство после космического полета свидетельствуют об их активной роли по обеспечению местного гомеостаза и координирующем участии в ремоделировании внеклеточного матрикса соединительной ткани под влиянием условий измененной гравитации.

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИОКАРДА И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПРОЦЕССАМИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕВЕСОМОСТИ

Баевский Р.М., Русанов В.Б., Черникова А.Г., Иванов Г.Г.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ELECTROPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE MYOCARDIUM AND THEIR CORRELATION WITH THE AUTONOMIC REGULATION OF CIRCULATION WITH PROLONGED EXPOSURE TO WEIGHTLESSNESS

Baevsky R.M., Rusanov V.B., Chernikova A.G., Ivanov G.G.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В 2014 г. на борту международной космической станции (МКС) был начат эксперимент «Космокард», в котором предполагается изучить влияние факторов космического полета (КП) на электрофизиологические характеристики миокарда и их связь с процессами вегетативной регуляции кровообращения. Его актуальность связана с тем, что до сих пор остается недостаточно изученной значимость изменений миокарда в генезе наблюдаемых в КП изменений со стороны сердечно-сосудистой системы. Комплексный анализ показателей изменений электрофизиологических свойств миокарда и вегетативной регуляции кровообращения представляется важным аспектом нового методологического подхода для перестройки системы гемодинамики при длительном воздействии невесомости.

Система «Космокард» состоит из двух подсистем: бортовой и наземной. Бортовая подсистема использует аппаратно-программный комплекс, состоящий из: накопителя сигналов электрокардиограммы (ЭКГ), устройства сопряжения накопителя с компьютером, бортового программного обеспечения для проведения эксперимента. Накопитель ЭКГ «Космокард» основан на суточном (холтеровском) мониторе «гражданского» назначения Анна-Флэш 3000, который на протяжении 10 лет применяется в ряде исследовательских и лечебно-диагностических учреждений РФ. По сравнению с серийным прибором были внесены изменения, позволяющие проводить длительную регистрацию стандартных отведений I, II с частотой дискретизации 500 Гц. Это позволяет получать записи ЭКГ, которые могут быть проанализированы методом дисперсионного картирования (ДК ЭКГ), а так же пригодные для анализа variability сердечного ритма (ВСР). Наземная подсистема представлена комплексом программ, которые выделяют и анализируют 5-минутные участки записи ЭКГ и вычисляют в каждом участке до 30 различных показателей variability сердечного ритма (ВСР) и дисперсионного картирования электрокардиограммы (ДК ЭКГ). Все эти данные подвергаются биоритмологическому анализу, включая соотношения «день-ночь», динамику 8-часовых и 6-часовых участков. По результатам анализа формируются индивидуальные базы данных.

Методика дисперсионного картирования ЭКГ в условиях КП использовалась впервые. Этот метод разработан недавно и продолжает активно изучаться. Принцип метода ДК ЭКГ основан на анализе случайных низкоамплитудных колебаний (дисперсий) на протяжении всего кардиоцикла. Он позволяет оценить характер и степень нарушений электрофизиологических свойств разных отделов миокарда, что может использоваться, в первую очередь, при скрининге для выявления изменений де- и реполяризационных свойств миокарда на разных этапах КП и в послеполетном периоде.

Одновременно с дисперсионным картированием ЭКГ в эксперименте «Космокард» проводится и анализ variability сердечного ритма. На основании результатов анализа ВСР определяются следующие показатели вегетативной регуляции кровообращения:

- состояние симпатического и парасимпатического звеньев системы вегетативной регуляции кровообращения,
- активность подкоркового сердечно-сосудистого центра,
- состояние системы регуляции артериального давления,
- степень синхронизации показателей сердечной деятельности,
- степень участия высших вегетативных центров (надсегментарных структур мозга) в регуляции кровообращения.

Что касается результатов исследования, прежде всего, представляет интерес выявленное нарушение исходной наземной суточной динамики частоты пульса, начиная с 4-го месяца полета. Это подтверждается динамикой циркадного индекса (уменьшение с 1,27 до 1,07).

При оценке динамики среднесуточных значений показателей было выявлено достоверное снижение величины суммарной мощности спектра ВСР. При этом имелась тенденция к одновременному слабому росту активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Это свидетельствует об уменьшении активности регуляторных систем.

При изучении суточной динамики регуляторных функций системы кровообращения большой интерес вызывает оценка особенностей функционального состояния организма в дневные и ночные часы. В отличие от фона на 2-м и 4-м месяцах полета функциональные резервы (ФР) в ночное время были ниже, чем в дневное время, что сопровождалось снижением величины степени напряжения регуляторных систем (СН). Эти данные дают основание предположить, что 2-й и 4-й месяцы полета потребовали более значительного расходования функциональных резервов организма, что явилось причиной снижения их величины в ночное время. Такое предположение подкрепляется данными дисперсионного картирования ЭКГ. Они показывают достоверное увеличение индекса микроальтернаций миокарда и рост его

колебаний именно на 2-м и 4-м месяцах полета. Это означает, что именно в эти периоды КП энергетические процессы в миокарде были нарушены и также свидетельствуют об электрической нестабильности миокарда. После приземления снижение функциональных резервов компенсировалось активацией регуляторных систем с относительной нормализацией функционального состояния, но суточный ритм также был нарушен.

Космический эксперимент «Космокард» является первым шагом в изучении взаимосвязи между вегетативной регуляцией кровообращения и электрофизиологическими характеристиками миокарда в условиях длительной невесомости. До последнего времени основное внимание специалистов по космической медицине было направлено на изучение периферического кровообращения, что было обусловлено сложившимися представлениями о причинах развития послеполетной ортостатической неустойчивости, а роль сердца при этом преуменьшалась. Все это подчеркивает важное значение эксперимента «Космокард», направленного на изучение непосредственной взаимосвязи вегетативной регуляции кровообращения с показателями, характеризующими обменно-энергетические процессы в миокарде.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА КАК МАРКЕРЫ РИСКА ИНФЕРТИЛЬНОСТИ

***Баирова Т.А., Колесникова Л.И., Даренская М.А., Курашова Н.А., Дашиев Б.Г.,
Калюжная О.В., Иевлева К.Д., Гребенкина Л.А., Долгих М.И.***

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, г. Иркутск

Республиканский перинатальный центр Министерства здравоохранения Республики Бурятия, Улан-Удэ

GENETIC DETERMINANTS OF OXIDATIVE STRESS AS MARKERS RISK OF INFERTILITY

***Bairova T.A., Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Kurashova N.A., Dashiev B.G., Kalyuzhnaya O.V.,
Ievleva K.D., Grebenkina L.A., Dolgikh M.I.***

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk

Republican perinatal center of the Ministry of health of the Republic of Buryatia, Ulan-Ude

В космическом полете на организм человека влияют разные группы факторов, в том числе физические факторы космического пространства: ионизирующие излучения (космическая, ультрафиолетовая, корпускулярная радиация и др.), крайне низкие степени барометрического давления, отсутствие молекулярного кислорода, необходимого человеку для дыхания, метеорная опасность, неблагоприятные температурные условия и т.д. При действии радиации нарушается нормальное течение биохимических реакций живого организма с образованием свободных радикалов и последующими функциональными и морфологическими изменениями в клетках и тканях организма. Различные клетки обладают разной радиочувствительностью. Наибольшей радиочувствительностью обладают делящиеся клетки, в том числе зародышевые клетки семенников и яичников.

Известно, что свободные радикалы образуются в семенной плазме в физиологических условиях, оказывая влияние на созревание плазмы, капацитацию, гиперактивацию и аксомальную реакцию. В условиях экзогенного воздействия физических факторов космического пространства нарушается равновесие между окислительным и антиокислительным компонентами (окислительный стресс) в мужской репродуктивной системе, ведущие к повреждению ДНК и апоптозу сперматозоидов (Николаев А.А., Логинов П.В., Ветошкин Р.В., 2014).

Сперматогенез является сложным биологическим процессом, который зависит от точно контролируемого каскада активации и деактивации определенных генов. По причине генетических нарушений могут возникнуть разные по своей этиологии и степени тяжести формы бесплодия: от незначительных нарушений сперматогенеза до полной дисфункции гонад. На процесс радиационного поражения влияет ряд факторов: доза и вид облучения, время экспозиции, мощность поглощенной дозы, а также индивидуальная чувствительность организма. Важно, что одни и те же экзогенные факторы в условиях космических полетов могут вариативно воздействовать на фертильные функции в зависимости от генетических особенностей человека.

Ранее представленные исследования свидетельствуют о том, что современные подходы к диагностике и лечению репродуктивных нарушений, определенные в соответствующих руководствах ВОЗ, нуждаются в разработке дополнительных диагностических и прогностических критериях, позволяющих совершенствовать алгоритмы обследования и лечения пациентов с учетом индивидуальных, экологических и популяционных особенностей. По мнению сотрудников Научного центра акушерства, гинекологии и перинатологии РАМН (Москва), оценка уровня генерации свободных радикалов кислорода в эякуляте выступает одним из важных методов, позволяющих дать характеристику фертильности спермы в условиях нормо- и патозооспермии (Тер-Аванесов Г.В., 2002).

Сотрудниками Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека при изучении системы перекисного окисления липидов – антиоксидантной защиты (ПОЛ-АОЗ) показано, что изменения в исследуемой метаболической системе теснейшим образом связаны с различными видами инфертильности как у женщин, так и мужчин (Колесникова Л.И., Сутурина Л.В., 2011; Колесникова Л.И., Колесников С.И., Даренская М.А., Гребенкина Л.А. и др.,

2016). Так, у мужчин с патоспермией выявлено снижение содержания субстратов окисления с двойными связями на 30 %, повышение концентрации ТБК - активных продуктов на 37 %, снижение уровня общей антиокислительной активности на 30 % и повышение содержания восстановленного глутатиона на 10 %. Таким образом, в наших исследованиях по изучению содержания отдельных компонентов ПОЛ, ферментативных (супероксиддисмутаза) и неферментативных (α -токоферол, ретинол) факторов АОЗ при различных видах патоспермии (олиго-, астено-, терато-зооспермии) у мужчин с репродуктивными нарушениями и патоспермией наблюдаются изменения в метаболической системе ПОЛ-АОЗ в сторону повышения активности прооксидантного звена (Сафроненко А.В., 2008; Колесникова Л.И., Курашова Н.А., Осадчук Л.В. и др., 2015).

Баланс в системе ПОЛ-АОЗ генетически детерминирован. Все больше исследований посвящается поиску генных сетей, отвечающих за развития тех или иных заболеваний, и изучению возможных механизмов взаимодействия организма и окружающей среды. В регуляции процесса ПОЛ-АОЗ значимое место занимают гены антиоксидантной системы и гены ферментов биотрансформации, обладающих антиоксидантной активностью, в том числе гены глутатион-S-трансфераз, среди которых наиболее изучены гены GSTT1, GSTP1, GSTM1.

Роль генов системы детоксикации в инициации и патогенезе некоторых распространенных болезней, в том числе и репродуктивной системы, изучается уже в течение ряда лет (Иващенко Т.Э., Швед Н.Ю., Беспалова О.Н. 2007; Хамадянов У.Р., Викторова Т.В. 2005; Хрунин А.В. 2008; Фетисова И.Н. 2006; Habdous M., Siest G., Herbeth V. 2008; Roes E.M. 2008 и др.). Так, у мужчин с бесплодием - носителей делеционного варианта полиморфизма GSTT1, установлено статистически значимое снижение восстановленного глутатиона на 16 %, глутатионпероксидазы на 70 %, а глутатионредуктазы на 66 %, по сравнению с фертильными мужчинами. Мужчины с бесплодием - носители делеционного полиморфизма GSTM1, характеризуются статистически значимым повышением глутатион-S-трансферазы на 57 %, снижением восстановленного глутатиона на 13 %, глутатионпероксидазы на 63 %, глутатионредуктазы на 54 %. Наличие делеционных вариантов генов системы GSTT1, GSTP1, GSTM1 мужчин с бесплодием связано со снижением активности ферментов глутатионовой системы как одного из ключевых звеньев ферментативного звена антиоксидантной защиты и повышения риска реализации окислительного стресса.

Таким образом, для проведения оценки биологических рисков возникновения нарушений здоровья и фертильности космонавтов вследствие длительного воздействия факторов межпланетного космического полета (невесомость, гипогравитация, гипомагнитная среда, космическая радиация, искусственная среда обитания и другие) предлагается определение биохимических маркеров окислительного стресса, идентификация специфичных генов и средовых факторов, взаимодействие которых формирует норму реакции устойчивости человека и его адаптацию к изменяющейся среде обитания.

ИММУНОЭКСПРЕССИЯ РЕЦЕПТОРА FLK-1 И FLT-1 К РОСТОВОМУ ФАКТОРУ VEGF-A В МОТОНЕЙРОНАХ СПИННОГО МОЗГА КРЫС ПРИ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ВЫВЕШИВАНИИ ЗАДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Балтин М.Э., Федянин А.О., Тяпкина О.В.

Казанский (Приволжский) федеральный университет Россия

IMMUNOEKSPRESSION RECEPTOR FLK-1 AND FLT-1 TO THE GROWTH FACTOR VEGF-A IN THE MOTOR NEURONS OF THE SPINAL CORD OF RATS WITH ANTIORTHOSTATIC HANGING HINDQUARTERS

Baltin M.E., Fedyanin A.O., Tiapkina O.V.

Kazan (Volga region) Federal University Russia Kazan

В настоящее время существенно возрос интерес к изучению патогенеза гипогравитационного двигательного синдрома (ГДС) в связи с активными полетами человека в космос на длительное время. Одним из неблагоприятных симптомов, составляющих ГДС, является атрофия мышц и апоптоз мышечных волокон, возникающих в ответ на уменьшение одного из ростовых факторов – инсулиноподобного фактора роста (IGF-1). Однако в мотонейронах, иннервирующих мышцы нижних конечностей, столь драматичных (гибель клеток, апоптоз) изменений не наблюдалось. Анализ механизмов, обеспечивающих, выживаемость мотонейронов, выявил усиление экспрессии белков, обладающих нейротрофическими свойствами – белков теплового шока: БТШ25 и БТШ70. При этом роль ростовых факторов на уровне ЦНС в механизме формирования ГДС до сегодняшнего дня не исследовалась. Сосудистый эндотелиальный фактор роста (VEGF) рассматривается как один из потенциальных агентов, выполняющих нейротрофические функции, независимые от сосудистого компонента, посредством активации Flk-1 и Flt-1. Поэтому в данном исследовании анализируется уровень иммуноэкспрессии рецептора к ростовому фактору VEGF-A – Flt-1 в мотонейронах поясничного и шейного отделов спинного мозга крыс, находящихся в условиях антиортостатического вывешивания задних конечностей, воспроизводящего эффекты функциональной разгрузки скелетных мышц нижних конечностей, возникающей в организме в ответ на воздействие микрогравитации. В проведенных экспериментах была выявлена локализация рецептора к васкулоэндотелиальному фактору роста VEGF/Flt-1 в ядрах мотонейронов поясничного и шейного отделов спинного мозга крыс как контрольной, так и подопытной групп животных, что согласуется с результатами других

исследователей. Однако интенсивность иммунофлуоресцентного окрашивания была более выражена в мотонейронах поясничного отдела спинного мозга крыс после 35-суточного «вывешивания», т.е. в клетках, иннервирующих мышцы задних конечностей, подверженных действию функциональной разгрузки. Таким образом, моделирование гипогравитации может приводить к изменению уровня экспрессии факторов, обеспечивающих трофические и протекторные функции в мотонейронах, осуществляющих морфофункциональный контроль свойств скелетных мышц.

Исследование поддержано грантами: Президента РФ НШ, Программа № 7 Президиума РАН, РФФИ-15-04-05951-а.

ИНФРАСТРУКТУРА ЛУННОЙ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Барыбина Е.В.¹, Белик В.В.², Меденков А.А.²

¹ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

² Научно-техническое общество Института авиационной и космической медицины, Москва

INFRASTRUCTURE OF THE MOON'S LIFE AND ACTIVITIES

Barybina E.V.¹, Belic V.V.², Medenkov A.A.²

¹ Moscow Aviation Institute (National Research University)

² Scientific-Technical Society of the Institute of Aviation and Space Medicine, Moscow

Национальная стратегия освоения поверхности Луны представляет собой основу планов и программ обоснования и разработки технических проектов ее осуществления. Намечены этапы реализации стратегии, уточняется содержание работ в зависимости от их приоритетов и выделяемых финансовых средств. На 1-м этапе предусматривается реализовать возможности освоения Луны с помощью автоматических станций и аппаратов. Одной из целей такого планирования является изучение ресурсов спутника Земли и определение возможностей их использования в интересах создания и обеспечения функционирования инфраструктуры на последующих этапах его освоения.

Сегодня программы изучения Луны, как и проведения научных исследований на борту Международной космической станции, разрабатываются через призму рентабельности, прибыли и экономической эффективности пилотируемых полетов. Между тем, освоение дальнего космоса предполагает проведение исследований фундаментальной направленности, результаты которых могут оказать существенное влияние на достижение целей развития космонавтики, но не в ближайшее десятилетие. Ориентация только на реализацию быстро окупаемых проектов означает создание условий и причин для последующего системного отставания в осуществлении космической деятельности. Опережающая по отношению к текущим планам исследования Луны реализация проекта создания обитаемых поселений и лабораторий может стать локомотивом инновационного развития ракетно-космической отрасли страны и сэкономить не только время, но и средства для выполнения масштабных планов подготовки и осуществления межпланетных экспедиций.

Учитывая планы и программы автоматического исследования Луны другими странами, лидирующие позиции отечественной космонавтики в ее освоении может обеспечить своевременная подготовка эффективного пребывания на Луне экипажей экспедиций и использования ими не только автоматических, но и автоматизированных систем, средств и устройств, относящихся к системам «человек-техника». В связи с этим представляется, что реализация отечественной стратегии космической деятельности может оказаться более эффективной, если своевременно сформировать научно-технический задел для активного изучения Луны на основе создания инфраструктуры, обеспечивающей возможность жизни и профессиональной деятельности человека. Это обстоятельство следует учитывать при определении приоритетных научных исследований с участием человека и оценкой их эффективности в сравнении с возможностями автоматических исследований. В частности, исследования Луны методами полевой геологии продуктивных дистанционных работ, организуемых даже с лунной орбиты.

Решение сложных и ответственных задач освоения космического пространства во многом зависит от обеспечения возможности и безопасности работы космонавтов. Это предполагает не только проведение отдельных исследований, разработок и испытаний, но и целенаправленную подготовку специалистов, в том числе в области учета психофизиологических возможностей и характеристик космонавтов, при их подготовке и осуществлении профессиональной деятельности. В целом, для формирования научно-технического задела, обеспечивающего оперативное проведение будущих прикладных медико-технических исследований, подготовки достаточного количества специалистов требуемой специализации и успешного функционирования научных школ по направлениям обеспечения профессиональной надежности космонавтов необходимо от 12 до 20 лет.

К завершению исследований спутника Земли с помощью автоматических станций, устройств и аппаратов, должны быть созданы условия для выполнения практических работ по оборудованию на Луне объектов инфраструктуры, обеспечивающих надежность систем жизнеобеспечения и возможность эффективной работы и полноценного отдыха. Поэтому уже сегодня необходимо определить направления исследований проблем учета человеческого фактора при освоении Луны и развитии инфраструктуры обеспечения жизни и деятельности экипажа экспедиции на ее поверхности. Важность такого определения обосновывается и необходимостью их финансирования, и подготовкой специалистов,

способных решать задачи создания и эксплуатации объектов лунной инфраструктуры в интересах обеспечения эффективной деятельности космонавтов, поддержания их работоспособности, охраны здоровья и сохранения возможности возвращения к жизни в условиях земной гравитации и продления профессионального долголетия.

В связи с этим необходимы исследования по всему спектру возникающих проблем и таким образом формирования интеллектуальных ресурсов, методологического обеспечения и методической готовности к решению практических задач на ранних стадиях исследования Луна с участием человека.

Направления проведения исследований и подготовки соответствующих специалистов связаны с планируемыми техническими проектами осуществления лунных экспедиций. К числу таких направлений относятся исследования медико-технических и социально-психологических проблем управления посадочными платформами и модулями, а также средствами передвижения по поверхности Луны. При этом рассматривается необходимость и целесообразность управления посадкой спускаемых модулей непосредственно с поверхности Луны. В связи с этим должны разрабатываться технические средства формирования необходимых навыков и умений, поддержания их в процессе экспедиции и оценки готовности ее членов к решению этой задачи.

Для доставки космонавтов к Международной космической станции или к перспективной пилотируемой орбитальной инфраструктуре предусмотрено создание пилотируемого транспортного корабля нового поколения, в том числе для беспилотного облета Луны. В связи с этим следует планировать исследования в интересах обеспечения психофизиологической надежности космонавтов на лунной орбитальной станции и управления лунным взлетно-посадочным кораблем. Специальные исследования должны проводиться также в интересах обеспечения комфортных условий жизнедеятельности космонавтов во время работы на орбите вокруг Луны и эффективного контроля работы оборудования энергетического, узлового, жилого и складского модулей.

Медико-технического сопровождения требует и разработка систем управления луноходами и индивидуальными средствами передвижения и перемещения грузов. Уже сегодня появляется возможность разработки моделей и организационных решений по размещению объектов лунной инфраструктуры и защиты экипажей экспедиции от космических излучений с учетом провалов нейтронного излучения в верхнем слое лунной поверхности. Требуют своего обоснования средства обеспечения безопасности работ по разворачиванию лунной базы и функционированию лаборатории изучения лунных минералов и метеоритов, организации производства полезных веществ, газов и воды. Все это требует обеспечения операторской деятельности с использованием скафандров и робототехники, разработки технических средств моделирования условий лунной жизни и разработки систем и средств жизнеобеспечения экипажей экспедиции, в том числе их активного отдыха с использованием технологий виртуальной реальности. В интересах обеспечения лунной жизни потребуются проведение уникальных долгосрочных исследований с животными, микроорганизмами и растениями.

Особого внимания заслуживают работы по разворачиванию лунной базы, в том числе по созданию условий для жизни экипажей во время краткосрочного 2-недельного пребывания на поверхности Луны. Инфраструктура лунной базы должна обеспечивать жизнедеятельность космонавтов в течение большого срока и обладать повышенной радиационной защитой. Составными частями инфраструктуры рассматриваются энергетический, узловой, жилой, лабораторный и складской модули, доработанные с учетом опыта их эксплуатации в составе окололунной орбитальной станции. Однако условия работы на поверхности планеты будут отличаться от условий на орбите, что потребует разработки принципиально новых жилых модулей. Предстоит определить рациональные жилые и рабочие объемы модулей и возможности их последовательного увеличения за счет корпусов грузовых модулей. Повышенного внимания потребует организация освещения, воздушной среды и ее параметров. Отсутствие нулевой невесомости и связанных с ней проблем снижает остроту профилактики негативного воздействия на организм космонавтов. Однако создание рабочих и бытовых условий при ограниченных для этого ресурсах представляется сложной задачей, требующей для решения времени и специальных исследований.

По результатам анализа планов и проблем разработки инфраструктуры лунной жизни и деятельности представляется возможным сформулировать следующие положения. Отечественная стратегия космической деятельности с намерением прийти на Луну навсегда, а не только для обеспечения полетов на Марс и астероиды, требует планирования и осуществления фундаментальных научных исследований в области медико-технического, социально-психологического и эргономического обеспечения разработок инфраструктуры лунной жизни и деятельности. Период проведения лунных исследований с помощью автоматических систем и средств не исключает проведения целенаправленных исследований в интересах инженерно-психологического и медико-технического проектирования систем жизнеобеспечения и поддержания работоспособности членов лунных экспедиций. Более того, эти исследования должны сформировать научно-технический задел для решения будущих оперативно возникающих задач и проблем обеспечения исследовательской, экспедиционной и эксплуатационной деятельности на поверхности Луны. Эти исследования должны быть направлены на обеспечение эффективного присутствия человека на Луне, существенно расширяющего возможности по контролю и управлению автоматическими системами и проведения многочисленных научных исследований. В связи с этим предстоит обосновать направление, содержание и аппаратно-техническое обеспечение экспериментов в области биологии, физиологии, фармакологии, медицины и биотехнологий.

МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О СПОСОБЕ СПАСЕНИЯ ПОРАЖЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Басов О.О., Мотиенко А.И.

Академия ФСО России, Орел

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

MODELS AND METHODS OF DECISION-MAKING SUPPORT ON THE WAY OF SALVATION INFECTED WITH ROBOTIC MEANS

Basov O.O., Motienko A.I.

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Orel

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS

При выполнении аварийно-спасательных работ часто возникают ситуации, опасные для жизни человека. Уменьшить степень риска для спасателей позволяет использование так называемых безлюдных технологий – инновационного направления научно-технической мысли, которое предполагает применение робототехники для выполнения рутинных, вредных и опасных видов работ без непосредственного участия человека. Современные разработки в области робототехники уже применяются в разных областях: от социально-бытовой (аварийно-спасательные работы, медицина) до военно-технической (антитеррористические операции, разведка, охрана, разминирование), как в штатных ситуациях, так и в экстремальных. Это обеспечивает их безопасность и высокую эффективность применения.

Аварийно-спасательные работы проводятся в целях поиска и деблокирования пострадавших, оказания медицинской помощи пораженным и эвакуации в лечебные учреждения. Для этого в соответствии с действующими нормативными документами создается временный штаб по ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (ЧС) и разрабатывается предварительный план мероприятий, который включает в себя:

- а) предварительную разведку маршрутов движения формирований и участков предстоящих работ и уточнение ситуации в районе ЧС;
- б) дальнейшую наземную разведку, прокладку колонных путей и устройство проездов (проходов) в завалах и на заражённых участках, а также локализацию и тушение пожаров на путях движения формирований и участках работ;
- в) локализацию аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях;
- г) розыск пострадавших (пораженных) и извлечение их из-под завалов, повреждённых и горящих зданий, загазованных, задымлённых и затопленных помещений, санитарная обработка людей, обеззараживание их одежды, территории, сооружений, техники, воды и продовольствия;
- д) оказание первой помощи пораженным и транспортировка их в зону эвакуации с последующей передачей бригаде скорой медицинской помощи.

В настоящее время имеются прототипы и действующие образцы робототехнических средств, способных выполнять основные этапы таких работ: общую разведку-оценку обстановки на месте чрезвычайной ситуации, расчистку завалов, прокладку проходов и трасс для других роботов и людей-спасателей, проникновение в труднодоступные помещения через расчищенные лазы и проходы, открывание дверей. Однако для спасения пораженных требуется наличие у таких средств сенсорных (датчики температуры, давления, влажности) и специализированных (компьютерного зрения, анализа и синтеза речи) систем, а также систем поддержки принятия решений о травмах, полученных пораженными, категории последних, определяющей способ их спасения, и положении для транспортировки пораженных, нуждающихся в эвакуации.

Анализ современного состояния проблемы показал, что в настоящее время объективно существует противоречие между необходимостью в применении робототехнических средств (РТС) при проведении аварийно-спасательных работ и отсутствием системотехнических решений в области обеспечения возможности спасения пораженных с использованием таких комплексов и средств. Его разрешение лежит в области модернизации существующих РТС путем совершенствования модельно-алгоритмического и методического обеспечения поддержки принятия решений о способе спасения пораженных (последовательности действий, связанной с розыском пораженных, определением признаков травм и их наличия, определением категории пораженного, выработкой решения относительно дальнейших действий, прибытием специалистов и/или РТС транспортировки, оказанием первой помощи на месте, выбором положения для транспортировки, погрузкой и транспортировкой пораженного в зону эвакуации), позволяющего повысить эффективность спасения людей, заболевших, травмированных или раненых в результате поражающего воздействия источника чрезвычайной ситуации.

Все существующие и перспективные РТС могут рассматриваться как те или иные разновидности активных подвижных объектов (АПО). Концепция АПО была предложена в середине 70-х годов прошлого столетия и в последующем дополнена концепцией системного моделирования указанных объектов. Анализ показывает, что данные концепции могут быть проинтерпретированы в рамках широко используемого в искусственном интеллекте мультиагентного подхода к управлению рассматриваемыми классами объектов. При этом под АПО, в общем случае, понимается сложная мобильная система, предназначенная для информационного, энергетического или/и вещественного взаимодействия с окружающей

физической средой (АПО 1 рода) или/и с другими подобными системами (АПО 2 рода). Функционирование АПО складывается из четырех составляющих: перемещение основания АПО в пространстве (механическое движение), изменение состояния бортового ресурса, изменение состояния размещенных на его борту приборов и, наконец, самое главное – осуществление взаимодействия АПО со средой или другими АПО – это целевая задача и основной атрибут АПО.

В соответствии с принятой концепцией активного подвижного объекта способ применения робототехнического комплекса будет состоять в заранее разработанной последовательности действий, определяющей способ спасения пораженного и соответствующей основным этапам процесса спасения пораженного: розыск пораженных, определение признаков травм и их наличия, определение категории пораженного, выработка решения относительно дальнейших действий, прибытие специалистов и/или РТС транспортировки, оказание первой помощи на месте, выбор положения для транспортировки, погрузка и транспортировка пораженного в зону эвакуации.

Для выработки решения на проведение эвакуации или дальнейший поиск других пораженных предложена модель эффективности процесса спасения пораженных. Общая задача повышения эффективности процесса спасения формализована в следующем виде: необходимо найти оптимальный способ спасения, при котором достигается максимум числа спасенных пораженных за заданное время.

Для снижения сложности общей задачи исследования принята декомпозиция способа спасения пораженных на отдельные действия, а времени спасения – на отдельные составляющие, на основе чего формализованы и поставлены частные задачи повышения эффективности спасения. Решения соответствующих частных задач могут быть получены на основе моделирования процессов выявления травм у пораженного, его сортировки и выбора оптимальной позы для транспортировки, а также модификации решения по планированию траекторий движения РТС, обеспечивающего транспортировку пораженного с учетом избранной позы для транспортировки.

Процессы определения категории пораженного (первичной сортировки) и положения для его транспортировки являются трудноформализуемыми. На основе взаимосвязи процедур определения признаков травм, наличия травм у пораженного, категории, к которой он может быть отнесен в зависимости от их тяжести, и положения для транспортировки отдельных категорий пораженных, предложен комплекс моделей поддержки принятия решений о способе спасения пораженных. Для формального описания моделей разработанного комплекса обоснован и применен аппарат байесовских сетей доверия, обеспечивающих возможность решения задач вероятностного прогнозирования. БСД используются для рассуждений в условиях неопределенности и все чаще применяются в диагностике заболеваний, выборе оптимального курса лечения пациента, предсказании исхода заболевания, построении моделей заболеваний в клинической эпидемиологии. Данный научно-методический аппарат позволяет комбинировать имеющиеся статистические данные о характеристиках здоровья пациентов в дополнение к экспертной информации, которую предоставляют врачи-специалисты. Кроме того, БСД (по сравнению с другими методами) позволяют моделировать возможность возникновения нескольких заболеваний, а ее элементы имеют достаточно простую интерпретацию. Важным достоинством моделей, опирающихся на принципы искусственного интеллекта, является возможность автоматического обучения структуры модели, то есть даже если первоначальная структура модели была неполной, то имеется возможность улучшить модель при помощи поступающих данных. Уточнение таблиц условных вероятностей для разработанных моделей комплекса произведено на основе экспертной информации, имеющихся медицинских исследований, направленных на выявление подобных взаимосвязей между элементами процесса диагностики травм, накопленных статистических данных. Результаты проведенного имитационного моделирования свидетельствуют, что разработанный комплекс моделей обеспечивает возможность решения задач вероятностного прогнозирования, базируясь на субъективных и неполных данных о признаках травм, формируемых в результате опроса, осмотра и манипуляций с пораженным.

Результаты анализа информативности признаков травм позволяют сформировать их наборы для различных условий (активности) среды, характеризующиеся разными ограничениями на время выявления травм у пораженного. Для каждого из такого набора могут быть обоснованы число и функциональный состав узлов робототехнического средства спасения, для чего была предложена методика оптимизации структуры робототехнических средств спасения пораженных.

Для описания взаимосвязей между различными вариантами построения элементов робототехнических средств предложено использовать альтернативно-графовую формализацию, в которой различные варианты построения элементов системы задаются в виде вершин альтернативного графа, а дуги отражают характер взаимосвязей между ними.

Применение методики оптимизации структуры робототехнического средства спасения пораженных позволяет минимизировать время выявления травм у пораженного за счет минимизации числа признаков травм при сохранении требуемой точности их определения. Ввиду сложности точного априорного определения всего спектра и характеристик мероприятий по спасению пораженных необходимо разрабатывать образцы РТС с возможностью структурной и алгоритмической реконфигурации. Такие РТС должны строиться по модульной архитектуре, предусматривающей подключение широкого спектра измерительных средств (датчиков, видеокамер, систем технического зрения и др.), а также различных исполнительных механизмов.

Полученная структура определяет облик робототехнического средства спасения пораженных и, как следствие, его массогабаритные показатели. Последние изменяются при транспортировке пораженного в зону эвакуации и существенно влияют на процесс транспортировки в условиях завалов.

Данный факт обусловил необходимость разработки методики планирования траектории движения робототехнических средств транспортировки пораженных, в основу которой положены: представление траектории движения в виде ориентированного ациклического графа; алгоритм нахождения К кратчайших путей между двумя заданными вершинами в ориентированном ациклическом графе; алгоритм назначения весов вершинам указанного графа с учетом габаритных размеров робототехнического средства и эвакуируемого пораженного и требований к минимизации его энергопотребления.

Для выбора рациональной последовательности действий, необходимых для эффективного спасения пораженных с использованием робототехнических средств, разработана методика выбора способа спасения пораженного в результате аварии на опасных производственных объектах, основанная на использовании представленного выше модельного-алгоритмического и методического обеспечения.

Разработанные методики поддержки принятия решений о способе спасения пораженных с использованием робототехнических средств позволяют минимизировать составляющие времени обнаружения и спасения пораженных.

В результате проведенной экспериментальной проверки разработанного научно-методического инструментария поддержки принятия решений о спасении пораженных установлено, что применение предложенных моделей и методик позволяет существенно (до 2,5 раз) увеличить число спасенных пораженных.

Исследование выполнено при частичной поддержке гранта РФФИ (16-08-00696).

АКТИВНОСТЬ ЭКСПРЕССИИ ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ БЕЛКОВ ОСТРОЙ ФАЗЫ ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ ИММЕРСИИ СВЯЗАНА С ИЗМЕНЕНИЯМИ ПРОДУКЦИИ СУПЕРОКСИДНЫХ АНИОН-РАДИКАЛОВ В ЛЕЙКОЦИТАХ КРОВИ

Беккер А.М., Тюрин-Кузьмин А.Ю., Ларина О.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE EXPRESSION OF PLASMATIC ACUTE PHASE PROTEINS AT THE ADAPTATION TO IMMERSION CONDITIONS IS ASSOCIATED WITH THE CHANGES OF SUPEROXIDE PRODUCTION BY BLOOD LEUKOCYTES

Bekker A.M., Tyurin-Kuzmin A.Yu., Larina O.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В крови космонавтов, выполнивших полеты различной продолжительности, обнаружены изменения белкового состава, предполагающие активацию механизмов острофазной реакции (РОФ). Такие же результаты получены в наземных экспериментах, имитирующих эффекты невесомости. В модельных исследованиях с пребыванием человека в антиортостатическом положении показано повышение плазматического уровня цитокинов - пептидных медиаторов острофазного ответа, в начальные сроки воздействия.

Реакция острой фазы представляет собой ранний неспецифический системный ответ организма на локальные или системные нарушения и рассматривается как основное проявление врожденного или неспецифического иммунитета. Инициация РОФ происходит под действием факторов, переводящих в активное состояние стресс-чувствительные протеинкиназы, которые, в свою очередь, активируют факторы транскрипции. Последние перемещаются в ядро клеток иммунной системы, взаимодействуют с промоторными участками генов цитокинов острофазного ответа интерлейкина-1 β (IL-1 β), интерлейкина-6 (IL-6) и фактора некроза опухолей (TNF- α), которые поступают в кровоток и взаимодействуют с клетками печени, избирательно влияя на синтез секреторных белков – плазматических белков острой фазы. Изменения в синтезе плазматических белков острой фазы являются завершающей стадией РОФ. Белки острой фазы, уровень которых в крови при острофазном ответе повышается, получили название позитивных белков острой фазы. К позитивным белкам острой фазы относятся С-реактивный белок, α 1-антитрипсин (α 1-АТ), α 1-атихимотрипсин, α 1-кислый гликопротеин (α 1-AGP), церулоплазмин (Cer), гаптоглобин (Hr), С3-компонент комплемента, фибриноген. Плазматическая концентрация «нейтральных» белков острой фазы, таких как α 2-макроглобулин (α 2-М), гемопексин, при развитии РОФ может изменяться как в сторону более высоких, так и более низких значений. Синтез негативных белков острой фазы (альбумин, аполипопротеин А1 (ApoA1), трансферрин (Trf), при ответе острой фазы снижается. Функции некоторых белков острой фазы в настоящее время еще недостаточно изучены, однако признано, что развертывание острофазного ответа в целом способствует восстановлению состояния гомеостаза в организме.

При инициации РОФ повышение синтеза цитокинов острофазного ответа в иммунокомпетентных клетках происходит параллельно с ростом их окислительной активности, в ходе которого наблюдается образование супероксидного анион-радикала – короткоживущего продукта деятельности НАДФН-оксидазы, который быстро дисмутирует в перекись водорода и формирует другие активные формы кислорода (АФК), такие как хлорноватистая кислота (при участии миелопероксидазы), гидроксильный радикал, синглетный кислород. Окислительная активность лейкоцитов крови, преимущественно нейтрофилов, может служить показателем их функционального состояния.

С целью оценки окислительной активности лейкоцитарной фракции клеток крови при моделировании эффектов невесомости в эксперименте с сухой иммерсией было проведено исследование интенсивности хемилюминесцентного

(ХЛ) ответа образца цельной крови на воздействие тестового стимула. В эксперименте приняли участие 8 испытуемых в возрасте $21,2 \pm 3,2$ лет. В качестве усилителя хемилюминесценции использовали люцигенин, что позволило регистрировать эффекты, вызванные первичным свободнорадикальным агентом – супероксидным анион-радикалом. Измерения хемилюминесценции проводились в первые 2 сут иммерсионного воздействия. С 1- по 4-е сутки пребывания в иммерсии в плазме крови определяли концентрацию белков острой фазы: $\alpha 1$ -АТ, $\alpha 1$ -АГР, $\alpha 2$ -М, Сег, Нр, СЗ, СРР.

Исследования клеточной ХЛ показали увеличение скорости роста стимулированной интенсивности излучения, рассчитанной на 1 лейкоцитарную клетку, после 1- и 2-суточного пребывания в условиях иммерсии по сравнению с базальным уровнем, что характеризует увеличение способности фагоцитов крови к синтезу активных форм кислорода. При этом направленность изменений и динамика исследованных в данном эксперименте острофазных белков соответствовали паттерну концентрационных сдвигов белков острой фазы при РОФ и повторяли изменения, наблюдавшиеся в предыдущих экспериментах с иммерсией.

Результаты также свидетельствуют о наличии высокого уровня корреляции между приростом интенсивности ХЛ на 1–2-е сутки иммерсии по отношению к доэкспериментальному периоду и максимальными изменениями концентраций части исследованных белков: Сег (коэффициент корреляции, $r = 0.84$), $\alpha 1$ -АГР ($r = 0.87$), СЗ ($r = 0.80$), $\alpha 1$ -АТ ($r = 0.88$), Нр ($r = 0.75$), что может предполагать параллелизм окислительной активности клеток и синтеза в них цитокинов, регулирующих экспрессию белков острой фазы в печени. С другой стороны, свободнорадикальные соединения, синтезируемые организмом в избыточном количестве, могут оказывать повреждающее воздействие вследствие своей высокой реакционной способности, и с этой точки зрения увеличение уровня церулоплазмينا – белка, эффективно инактивирующего АФК, происходящее пропорционально обусловленному пребыванием в иммерсии росту хемилюминесценции, может иметь значение для ограничения окислительного потенциала крови. Концентрация СРР в иммерсии увеличивалась, в среднем до 400% по сравнению с фоном, изменения имели выраженный индивидуальный характер.

Проведенные исследования хемилюминесценции клеток крови позволили выявить повышение окислительной активности лейкоцитов в начальные сроки иммерсии, согласующееся с участием механизмов РОФ при адаптации к моделируемой невесомости.

АКТИВНЫЙ ОТДЫХ В ПОДДЕРЖАНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОСМОНАВТОВ

Белик В.В.¹, Меденков А.А.¹, Нестерович Т.Б.²

¹ Научно-техническое общество Института авиационной и космической медицины, Москва

² Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва

ACTIVE RESTING IN MAINTAINING OF COSMONAUTS' WORK ABILITY

Belik V.V.¹, Medenkov A.A.¹, Nesterovich T.B.²

¹ Scientific-Technical Society of the Institute of Aviation and Space Medicine, Moscow

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

Поддержание функционального состояния космонавтов во время продолжительных космических полетов (КП) является важнейшей составляющей обеспечения эффективности их профессиональной деятельности и успешного выполнения полетного задания. Уже после первых КП возникла необходимость исследования и оценки вестибулярной устойчивости организма человека к невесомости и разработки средств и методов профилактики болезни движения в первые часы и сутки полетов. По мере увеличения продолжительности полетов, актуальными становились и другие задачи противодействия неблагоприятному влиянию факторов продолжительного пребывания в условиях невесомости. Закладывались основы учета влияния факторов КП в интересах поддержания работоспособности и сохранения здоровья космонавтов, обоснования средств их защиты и профилактики снижения работоспособности. Разрабатывались и использовались в полетах методы, средства и технологии поддержания работоспособности космонавтов и обеспечения возможностей их эффективной реадаптации к условиям земной гравитации. Вместе с тем продолжительные полеты показали необходимость не только изучения и учета особенностей адаптации организма к невесомости и его реадаптации к земной гравитации, но и поддержания психологического состояния космонавтов, влияющего на работоспособность и их психофизиологическую надежность.

Система психологического обеспечения КП разрабатывалась и функционирует применительно к орбитальным полетам на международной космической станции. Она направлена на обеспечение надежности профессиональной деятельности и сохранность профессионально важных качеств, навыков и умений. Система предполагает участие наземных специалистов в осуществлении мониторинга показателей здоровья и функционального состояния космонавтов и их психологической поддержки, основу которой составляет изучение и учет индивидуальных особенностей человека в условиях воздействия факторов продолжительного КП. Необходимость такой поддержки появилась в связи с периодически возникавшими трудностями и проблемами в выполнении программ полетов и возможностью повышения психологической готовности космонавтов к действиям в нештатных ситуациях полета, в том числе при изменении

функционального состояния в результате кумуляции утомления, напряженности или стресс-реакций эмоциональной насыщенности. Эти так называемые психологически трудные состояния замечались со стороны или осознавались самими космонавтами в процессе работы на орбите и требовали консультаций, советов или рекомендаций для восстановления контроля и самостоятельной коррекции психологического состояния.

Система профессионального, медицинского и психологического отбора позволяла отбирать кандидатов, исходно обладающих качествами и характеристиками, лежащими в основе психофизиологической надежности космонавтов в экстремальных условиях КП. Однако это не означало, что космонавтов не нужно готовить к работе в таких ситуациях. Напротив, тренировки и создание условий для проявления качеств, необходимых для выполнения полетного задания при разных вариантах развития ситуации, стали одной из задач психологической подготовки космонавтов к полетам. Такая подготовка позволяла формировать установки и рациональные алгоритмы действий по оценке текущей обстановки и принятию решений с учетом ситуационных факторов и условий. Психологическое обеспечение такой подготовки заключалась в разработке и определении показателей и критериев оценки психологической готовности космонавтов к возможным ситуациям, а также в формировании необходимых навыков и умений, включая алгоритмы действий и поведения в нештатных ситуациях. При этом одним из показателей уровня подготовленности космонавтов являлось выполнение предусмотренных циклограммой действий без умственной и физической напряженности, снижающей их психофизиологическую надежность.

Между тем, необходимость поддержания работоспособности космонавтов и их мотивации как условия сохранения психологической готовности и психофизиологической надежности предполагает организацию эффективного восстановления функционального состояния космонавтов после напряженной работы и во время отдыха. В связи с этим последовательное увеличение продолжительности КП и осуществление межпланетных перелетов повышает роль и значение активного отдыха космонавтов в системе психологического обеспечения их профессиональной деятельности. Отечественные исследования психологии человека в период отдыха позволили предложить ряд методов, обеспечивающих повышение функционального состояния и восстановления работоспособности космонавтов. Используемые при проведении этих исследований принципы и методологические подходы остаются актуальными и по отношению к предстоящим межпланетным экспедициям. Их актуальность обусловлена тем, что в основу их разработки и обоснования были положены материалы системных исследований восстановления функциональной готовности космонавтов и их психофизиологической надежности.

В целях совершенствования методологии и развития средств и технологий управления активным отдыхом космонавтов для сохранения их работоспособности, поддержания мотивации и направленности на эффективную совместную деятельность актуальными являются исследования по ряду взаимосвязанных направлений. При решении проблем технического, технологического, медицинского и социально-психологического обеспечения профессиональной деятельности космонавтов в КП большой продолжительности необходимо планировать и проводить исследования в интересах обеспечения их активного отдыха с учетом индивидуально-психологических особенностей и характеристик психических процессов, состояний и качеств личности и применением адекватных методов, способов и технологий восстановления функционального состояния.

В процессе подготовки космонавтов представляется важным изучать их склонности и способности к активному отдыху и восстановлению после напряженной умственной или физической работы, способы и условия преодоления стрессовых ситуаций и особенности переживания ими тех или иных трудностей, неприятностей и неудач. В связи с этим, актуальными становятся исследования по выявлению факторов, влияющих на выбор и эффективность активного отдыха, и их учету при определении индивидуальных способов, средств и технологий управления активным восстановлением функционального состояния космонавтов после напряженной работы и во время отдыха. При этом самостоятельной проблемой остается выбор индивидуальных технологий активного отдыха в общей системе психологической поддержки космонавтов с учетом их эффективности и технических, ситуационных, информационных и коммуникативных возможностей использования. В качестве направлений решения этой проблемы могут рассматриваться исследования по изучению раздельного и совместного использования технологий активного отдыха.

Составным разделом подготовки членов экипажа может рассматриваться и изучение ими методов, способов и технологий профилактики утомления, эффективного отдыха и восстановления психофизиологической надежности. Все это предполагает разработку методов самоконтроля, а также показателей и критериев самостоятельной оценки космонавтами функционального состояния и психофизиологической надежности. При этом методы самоконтроля должны предусматривать мониторинг проявлений неосознаваемых поведенческих реакций, характерных для ранней манифестации изменений психологического состояния.

Важнейшей составляющей обеспечения эффективного отдыха космонавтов остается эргономичный дизайн рабочих помещений орбитальной станции и космических кораблей. С учетом новых возможностей проектирования интерьера представляется возможным компенсировать дефицит цветового окружения, в том числе обеспечивая смену спектра освещения, позволяющего вызывать различные ощущения и, тем самым, в определенной степени оперативно или кумулятивно влиять на состояние космонавтов. И хотя говорить о выделении специального помещения для релаксации, отдыха и активного времяпрепровождения в соответствии с личными потребностями каждого члена экипажа пока

говорить не приходится, тем не менее, современные технологии позволяют расширить возможности психологической разгрузки космонавтов, погружая их в звуковую, цветовую и визуальную атмосферу искусственной реальности. При этом значимым фактором психической релаксации являются ощущения природы с ее красками, пейзажами и привычной флорой и фауной. В связи с этим возрастает значение исследований по использованию технологий виртуальной реальности не только для психологической подготовки к воздействию стресс-факторов, но и для активного отдыха и восстановления функционального состояния после напряженной работы.

На основании вышеизложенного представляется возможным сформулировать следующие заключительные положения и выводы.

Организация активного отдыха космонавтов при осуществлении продолжительных и межпланетных полетов может эффективно использоваться для поддержания их работоспособности, психологического состояния и мотивации на совместную деятельность и взаимодействие для успешного выполнения полетного задания. Методы, средства и технологии активного отдыха должны включаться в программу психологической поддержки экипажа как в период подготовки и осуществления полетов, так и во время послеполетной реабилитации и восстановления. Обеспечение активного отдыха космонавтов предполагает развитие и совершенствование методов, средств и условий для отдыха космонавтов с использованием современных информационных технологий. В связи с этим представляется актуальной разработка методов, средств и технологий организации активного отдыха космонавтов с учетом особенностей их коммуникативных, когнитивных и регулятивных функций и психических качеств, процессов и состояний. Разработку методов и технологий активного отдыха космонавтов следует включать в программы исследований в условиях изоляции или депривации при моделировании условий профессиональной деятельности космонавтов применительно к продолжительным и межпланетным полетам.

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ НА АРХ. ШПИЦБЕРГЕН -ПОЛИГОН ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Белишева Н.К.

Кольский научный центр РАН, Апатиты

MEDICAL AND BIOLOGICAL STATION ON SVALBARD—POLYGON FOR ANALOG EXPERIMENTS

Belisheva N.K.

Kola Science Centre RAS, Apatity

Архипелаг Шпицбэрген (норв. *Svalbard*) расположен в Северном Ледовитом океане, между 76°26' и 80°50' северной широты и 10° и 32° восточной долготы. Одним из преимуществ медико-биологических исследований именно на Шпицбергене является наличие развитой инфраструктуры и сети аппаратуры для проведения геофизических, космофизических и атмосферных измерений (SIOS).

Шпицберген находится в области каспа – своеобразной воронке на дневной стороне магнитосферы, куда, при определенных условиях, может прорываться мощными плазменными струями солнечный ветер (СВ). Беспрепятственное вторжение солнечных частиц в области каспа приводит к множественным геофизическим явлениям, отражающимся в структурно-энергетических характеристиках вариаций ГМП. В спокойный период в области полярного дневного каспа постоянно регистрируются потоки электронов с энергией 100–200 эВ и плотностью частиц 10^{-2} – 10^{-3} см², которые проникают в магнитосферу из СВ и распространяются вплоть до высот порядка 1000 км. Потоки этих частиц генерируют очень низкочастотный шум (ОНЧ) в широком диапазоне частот [Голиков и др., 1975]. Взаимодействие СВ с магнитосферой Земли порождает и геомагнитные пульсации (ГП), частота колебаний которых лежит в диапазоне низкочастотных биологических ритмов [Владимирский и др., 1994]. ГП характеризуются квазипериодической структурой с диапазоном частот от тысячных долей герца до нескольких герц. Верхняя частота пульсаций определяется гирочастотой протонов в магнитосфере, на земной поверхности это соответствует частотному диапазону порядка 3–5 Гц, которому соответствуют диапазоны дельта- и тета- ритмов мозга человека. К дневным пульсациям, относятся также широкополосные иррегулярные пульсации диапазона Pc5 ($f \sim 1.5$ – 5.0 мГц) с амплитудой порядка 15–60 нТл, *ipcl* [Большакова и др., 1986]. Частота таких пульсаций соответствует сверхмедленным ритмам мозга [Аладжалова, 1979]. Эти колебания носят устойчивый характер и продолжают в зависимости от уровня геомагнитной возмущенности от 2 до 10 часов. Длиннопериодные квазипериодические магнитные возмущения с периодами 15–40 мин и амплитудой порядка 60–400 нТл, названные *vlp* (*very long period*) возникают при высокой магнитной активности, большой скорости солнечного ветра и отрицательных V_z межпланетного магнитного поля (ММП) на земной поверхности в дневном секторе. Сверхмедленные ритмы мозга включают периоды 2–3, 4–6, 7–14, 15–30, 31–59 мин, т. е. соответствуют длиннопериодным колебаниям ГМП. В вечернее и ночное время возможно появление импульсных всплесков геомагнитных пульсаций диапазона Pi2–Pi3, а в дневном секторе появление квазимонохроматических шумовых колебаний в диапазоне Pc3–4. Часть из наблюдаемых колебаний может быть результатом прямого проникновения гидромагнитных волн из СВ. Широтной особенностью обладают и устойчивые геомагнитные пульсации типа Pc2–Pc5, амплитуда которых растет с широтой.

Принципиальная возможность воздействия вариаций естественных ЭМП на функциональное состояние головного мозга определяется следующим:

1. Центральная нервная система осуществляет неспецифическую адаптацию к меняющимся условиям среды, при этом кора головного мозга играет роль посредника между внешней средой и внутренними событиями в организме; она первой среди других систем реагирует на магнитные поля.

2. Подпороговые слабые раздражители, к которым можно причислить естественные ЭМП, могут суммироваться, меняя функциональную активность нервной системы.

3. Частотный диапазон ритмов мозга, включая сверхмедленный ритм (0,003–0,02 Гц), соответствует частотному диапазону вариаций ГМП, что предполагает возможность модуляции этих ритмов естественными ЭМП.

В наших работах была выявлена связь между структурно-энергетическими характеристиками вариаций ГМП и функциональной активностью мозга [Белишева и др., 1995], характеристиками солнечной активности (СА), возмущенностью межпланетной среды и психоэмоциональным состоянием больных бронхиальной астмой [Белишева, Качанова, 2002], вариациями СА и ГМП и заболеваемостью жителей российских поселков на арх. Шпицберген [Белишева и др., 2002]. Кроме того, сопряженные исследования геомагнитной активности и амплитудно-частотного диапазона ритмов мозга, оцененных на основе электроэнцефалограмм (ЭЭГ) здоровых испытуемых, показали, что при возмущениях геомагнитного поля (ГМП) происходят амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека [Сороко и др., 2013]. Следствием воздействия вариаций ГМП на функциональное состояние мозга могут быть комбинированные резонансы и десинхронизация, проявляющиеся в широком спектре психических феноменов: в психопатических и истероидных реакциях, в депрессии и возбуждении, в состоянии измененного сознания и др.

Местоположение Шпицбергена представляет уникальные возможности для изучения психических феноменов космической погоды. Предварительные результаты по оценке влияния СА на психическое состояние жителей российских поселков показали, что психоэмоциональное состояние жителей арх. Шпицберген, в определенной мере, зависит от состояния межпланетной среды, определяющей характер взаимодействия СВ с магнитосферой и дальнейшие процессы, связанные с колебаниями электромагнитных полей у поверхности Земли.

Анализ связи между частотой психических расстройств у жителей российских поселков и «космической погодой» показал, что между среднегодовыми значениями заболеваемости психическими расстройствами (на 1000 чел. населения) в российских поселках на арх. Шпицберген и потоками протонов с энергиями >10, >30, >60 Мэв ($r = 0,46$, $r = 0,49$, $r = 0,45$ соответственно, $p < 0,05$), существует значимая зависимость. Более детальные данные по заболеваемости жителей п. Баренцбург и связи психических расстройств с космической погодой были получены на основании анализа среднемесячных случаев частоты заболеваний с 1985 по 1989 г. Оказалось, что частота среднемесячных заболеваний психическими расстройствами (на 1000 чел. населения) у жителей п. Баренцбург значимо связана с такими показателями СА, как σ -phi-V, числами Вольфа (R), потоком радиоизлучения на длине волны 10,7 см (f10.7_index). Коэффициенты корреляции составляют соответственно $r = 0,32$, $r = 0,28$, $r = 0,28$, $p < 0,05$.

В связи с результатами предварительных исследований, представляет несомненный научный и практический интерес выявление психотропных эффектов космической погоды у поверхности Земли. Наиболее вероятным кандидатом на роль такого психотропного агента могут претендовать высокоширотные пульсации, возникающие вследствие сложных и малоизученных процессов взаимодействия СВ с магнитосферой Земли в области полярной шапки. Можно ожидать, что именно здесь психотропные эффекты космической погоды будут более выражены, поэтому арх. Шпицберген можно рассматривать, как полигон для изучения психических феноменов космической погоды.

Близость арх. Шпицберген к космическому пространству позволяет рассматривать его также как «мезокосмос», где эффекты воздействия «космической погоды» на психофизиологическое состояние организма человека проявляются в экстремальной форме. Проведение сопряженных между собой исследований на космических станциях и медико-биологическом полигоне на арх. Шпицберген позволит выявить ведущие психотропные агенты, модулирующие психоэмоциональное состояние в космических и наземных условиях.

ВЛИЯНИЕ ПРОТЕАСОМНОГО ИНГИБИТОРА НА АТРОФИЮ M.SOLEUS ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ

Белова С.П.^{1,2}, Мочалова Е.П.^{1,2}, Шенкман Б.С.¹, Немировская Т.Л.^{1,2}

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Факультет Фундаментальной Медицины МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

INFLUENCE OF PROTEASOME INHIBITOR ON M.SOLEUS ATROPHY UNDER UNLOADING

Belova S.P.^{1,2}, Mochalova E.P.^{1,2}, Shenkman B.S.¹, Nemirovskaya T.L.^{1,2}

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Faculty of Basic Medicine, Lomonosov Moscow State University

Атрофия скелетных мышц при функциональной разгрузке вызывается снижением синтеза белка и усилением его распада. Известно, что концентрация свободных аминокислот увеличивается при разгрузке [Gamrin L., 1998]. Было

сделано предположение, что накопление эндогенных аминокислот при функциональной разгрузке мышц может активировать работу протеасомной и тормозить работу анаболических сигнальных путей (регулировать экспрессию E3-лигаз и активность каскада сигнального пути mTOR-p70S6k). Для проверки этой гипотезы мы применяли протеасомный ингибитор – бортезомиб при 7-суточном вывешивании крыс. Вывешивание проводилось согласно методике Ильина-Новикова в модификации Морей-Холтон. 21 самец крыс линии Вистар были случайным образом распределены по 3 группам: виварный контроль (С), группа 7-суточного вывешивания (HS) и группа вывешивания с введением бортезомиба (0,15 мг/кг) (HSB). Содержание ключевых сигнальных белков оценивали с помощью вестерн-блоттинга, уровень мРНК E-3 лигаз определялся методом RT-PCR. Скорость синтеза белка оценивалась с помощью методики SUNSET [Goodman et al., 2011]. Вес m. soleus и интенсивность синтеза белка в группах HS и HSB были в равной степени снижены относительно контрольного уровня ($p < 0,05$). Уровень мРНК MuRF-1 и MAFbx, содержание белка MuRF-1, кальпаина-1 и уровень убиквитинирования белков были увеличены только в группе HS, в в группе HSB не отличались от контроля ($p < 0,05$). Уровень фосфорилирования компонентов анаболических сигнальных путей Akt/GSK3- β и mTOR/S6k/4E-BP1, а также ERK1/2 был одинаково снижен в вывешенных группах (HS and HSB) относительно контроля (С) ($p < 0,05$). Таким образом, можно заключить, что ингибирование протеасом при разгрузке m. soleus предотвращает увеличение активности компонентов катаболических сигнальных путей и не оказывает влияния на анаболические сигнальные пути. Этого оказывается не достаточно для предотвращения атрофии.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-04-01632.

ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДЫ

Бобе Л.С.¹, Кочетков А.А.¹, Андрейчук П.О.², Железняков А.Г.², Романов С.Ю.², Богомолов В.В.³, Синяк Ю.Е.³

¹ Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения, Москва

² Ракетно-космическая корпорация «Энергия», г. Королев

³ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

WATER SUPPLY LONG-TERM SPACE FLIGHTS ON THE BASIS OF PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES FOR WATER REGENERATION

Bobo L.S.¹, Kochetkov A.A.¹, Andreychuk P.O.², Zeleznyakov A.G.², Romanov S.Yu.², Bogomolov V.V.³, Sinyak Yu.E.³

¹ Research and design institute of chemical engineering, Moscow

² Rocket Space Corporation "Energia", Korolev

³ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Реализация орбитальных и межпланетных полетов связана с совершенствованием систем жизнеобеспечения (СЖО) экипажа. Жизнеобеспечение, основанное на запасах воды и кислорода, крайне неэкономично при орбитальных космических полетах (КП) и невозможно при дальних космических миссиях. Поэтому на борту станции организуется круговорот воды и кислорода аналогично происходящему в земной биосфере.

Из-за энергетических, объемных и массовых ограничений на космической станции в настоящее время и в ближайшей перспективе будут использоваться искусственно организованные физико-химические процессы с введением в состав СЖО витаминной оранжереи. Использование биологических процессов и воспроизведение пищи являются задачами будущего, но и в этом случае физико-химические системы будут согласовывать и нормировать работу биосистем.

В настоящее время сформировался состав комплекса физико-химических регенерационных систем жизнеобеспечения и вытекающий из него состав систем водообеспечения СВО. Круговорот веществ на борту космической станции осуществляют следующим образом. Воду регенерируют из водосодержащих продуктов жизнедеятельности человека и биотехнического комплекса, кислород получают из воды методом электролиза, очистку атмосферы производят на регенерируемых поглотителях. Источниками воды и кислорода на борту станции являются: пот и выдыхаемая влага, собираемые в системе кондиционирования атмосферы – конденсат атмосферной влаги; моча; углекислый газ; влага, испаряемая растениями; вода, выделяемая техническими системами, например, системой гидрирования углекислого газа и электрохимическим генератором. Системы регенерации должны осуществлять максимальное извлечение и регенерацию воды и кислорода из продуктов жизнедеятельности человека и биотехнического комплекса, обеспечивая потребности экипажа с минимальным использованием запасов.

Организация замкнутого экологического цикла в ограниченном объеме космической станции потребовала решения сложнейших научно-технических проблем, связанных с определением состава комплекса регенерационных СЖО и СВО, созданием физико-химических процессов и систем регенерации воды, кислорода и атмосферы, работоспособных в условиях КП, обеспечивающих получение воды, кислорода и атмосферы, удовлетворяющих медико-биологическим

требованиям. Работы по созданию регенерационных систем жизнеобеспечения проводились Научно-исследовательским и конструкторским институтом химического машиностроения (АО «НИИХиммаш») – разработчиком и изготовителем физико-химических систем регенерации воды, кислорода и атмосферы, РКК «Энергия» – генеральным разработчиком пилотируемых космических станций и систем очистки атмосферы от углекислого газа и Институтом медико-биологических проблем (ИМБП РАН) – головной медико-биологической организацией пилотируемой космонавтики.

В том случае, когда кислород для дыхания получают из регенерированной воды, а пищу из запасов, замкнутость комплекса систем жизнеобеспечения определяет коэффициент регенерации воды: отношение количества регенерированной воды к общему водопотреблению. Коэффициент регенерации, достигнутый на космических станциях, составил:

- ОКС «Салют» – 38 %;
- ОКС «Мир» – 72 %;
- Международная космическая станция МКС (Российский сегмент) – 38 %;
- МКС в перспективе – 88 %;
- космическая станция с полным комплексом регенерационных систем жизнеобеспечения СЖО – более 94 %.

На основании научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ сформировались основные методы регенерации:

- сорбционно-каталитический метод для конденсата атмосферной влаги из обитаемых отсеков и оранжереи, дистиллята урины, воды из реактора Сабатье, конденсата паров, образующихся при сушке отходов;
- дистилляция с последующей сорбционно-каталитической очисткой дистиллята при регенерации воды из урины;
- обратный осмос с предварительной фильтрацией и последующей сорбционной и бактериальной очисткой регенерированной воды.

Для реализации этих методов разработана малогабаритная аппаратура, работоспособная в условиях КП. Особо следует отметить аппаратуру для осуществления процессов гидродинамики и теплообмена в газожидкостных средах в условиях невесомости и методы расчета процессов и аппаратов в этих условиях. Общие принципы организации процессов разделения газожидкостных сред, теплообмена и массообмена, конденсации, испарения, кипения, абсорбции, десорбции, гетерогенного катализа и др. в условиях микрогравитации состоят в следующем:

1. Обеспечение фиксированной границы раздела фаз и разделение газожидкостных смесей за счет молекулярных сил поверхностного натяжения (использование капиллярно-пористых мембран) и/или центробежных сил и сил трения.

2. Смешение газа и жидкости с последующим разделением по п.1.

Важнейшим моментом является возможность расчетного анализа процессов теплообмена и гидродинамики с выявлением эффектов свободной конвекции при экспериментах на Земле.

Реализация процессов регенерационного водообеспечения в условиях КП была впервые осуществлена в январе 1975 г. на станции «Салют-4» (космонавты А.А.Губарев и Г.М.Гречко). Водообеспечение экипажа осуществлялось путем регенерации воды из конденсата атмосферной влаги в системе СРВ-К и за счет запасов. Система работала в течение всего пилотируемого полета станции. Аналогичные системы типа СРВ-К работали на станциях «Салют-6» и «Салют-7». Система СРВ-К обеспечивала до 50 % нужд станции в воде и наряду с функцией регенерации осуществляла очистку воды с просроченными запасами, подогрев воды запасов и получение горячей воды для санитарно-гигиенических процедур.

На орбитальной космической станции (ОКС) «Мир» впервые в мировой практике был реализован практически полный (за исключением систем концентрирования и утилизации углекислого газа и оранжереи) комплекс физико-химических систем регенерации воды и атмосферы, который в значительной мере обеспечил длительное и эффективное функционирование станции в пилотируемом режиме (с 16.03.86 по 27.08.99). Регенерационные системы жизнеобеспечения ОКС «Мир» обеспечили получение качественной воды, кислорода и атмосферы в течение всего полета станции. Особенно следует отметить эффективность блочно-модульного построения систем регенерации, позволившего проводить доставку и замену отдельных блоков и агрегатов взамен выработавших ресурс, что существенно снизило затраты массы на регенерацию.

За время полета станции было получено 15 500 л питьевой воды из конденсата атмосферной влаги, 6 000 л воды из мочи и 5 250 кг кислорода, что составило 60 % от общего расхода воды на станции и 58 % от общего потребления кислорода. Массозатраты при регенерации воды и получении кислорода значительно ниже, чем массозатраты при доставке этих продуктов на космическую станцию. По сравнению с комплексом СЖО, основанным на запасах воды и кислорода и нерегенерируемых сорбентах для очистки атмосферы, работа комплекса регенерационных СЖО обеспечила существенную экономию массы доставляемых на станцию «Мир» грузов.

Аналогичный комплекс систем, включая систему концентрирования углекислого газа и витаминную оранжерею, предполагалось поэтапно воплотить на Международной космической станции (МКС). Однако в связи с задержкой введения в состав станции новых модулей этот комплекс еще не реализован полностью. В настоящее время в составе служебного модуля СМ работают усовершенствованные системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги СРВ-К2М, система приема и консервации урины СПК-УМ, система электролизного получения кислорода «Электрон-ВМ», система очистки от углекислого газа «Воздух» и система очистки от вредных микропримесей СОА-МП. Эти системы успешно работают с начала пилотируемого полета станции, обеспечивая экипаж водой и кислородом и очищая атмосферу от вредных микропримесей. За период полета с 02.11.2000 по 31.03.2016 регенерировано 18 000 л воды и принято 25 960 л урины

со смывной водой и консервантом. Экономия массы по доставке воды составила 21 000 кг. Приоритетным направлением развития Российского сегмента МКС является введение новых модулей с дополнительными системами СЖО: системой регенерации воды из урины, системой концентрирования и переработки углекислого газа, санитарно-гигиенического оборудования и системы регенерации санитарно-гигиенической воды СРВ-СГ и витаминной оранжереи.

Эксплуатация регенерационных систем водообеспечения космических станций «Салют», «Мир» и МКС подтвердила их эффективность и совместимость с человеком. Получены данные по балансу воды на космической станции и параметрам работы и характеристикам систем регенерации воды, которые позволяют создать перспективные системы водообеспечения для орбитальных, межпланетных и планетных космических станций. Обеспечен приоритет российской науки и техники: американские системы регенерации воды были доставлены на МКС только в ноябре 2008 г.

В докладе рассмотрены параметры работы систем регенерации воды и группы систем водообеспечения в целом и рекомендации по регенерационному водообеспечению перспективной космической станции.

СВОЙСТВА МСК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ФГА-СТИМУЛИРОВАННЫМИ АЛЛОГЕННЫМИ МОНОНУКЛЕАРАМИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ В УСЛОВИЯХ ТКАНЕВОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА

Бобылева П.И., Горностаева А.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

FEATURES OF MSCs AFTER INTERACTION WITH PHA-STIMULATED ALLOGENIC PERIPHERAL BLOOD MONONUCLEARS AT TISSUE-RELATED O₂

Bobyleva P.I., Gornostaeva A.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (МСК) обладают рядом свойств, позволяющих рассматривать их как перспективный инструмент регенеративной медицины. Это связано, в первую очередь, с возможностью их аллогенного использования, основанного на их «невидимости» для иммунной системы реципиента. Однако в последнее время появляются данные о том, что МСК скорее, «иммуноуклончивы», т.е. при определенных условиях могут стать мишенью для иммунных клеток при аллогенном контакте. Поскольку возможные терапевтические подходы предполагают введение в организм аллогенных МСК, важно знать, как на них повлияют иммунные клетки реципиента. В данной работе для того, чтобы оценить возможные эффекты такого взаимодействия, использовали систему *in vitro*, в которой МСК в течение 72 ч сокультивировали с ФГА-активированными аллогенными мононуклеарами периферической крови (МНК) при атмосферной (20 %) и пониженной до физиологических значений (5 %) концентраций O₂ при непосредственном контакте или полупроницаемой мембраной трансвелл.

Цитофлуориметрический анализ (Epics XL, Beckman Coulter) клеток, окрашенных аннексином V и йодидом пропидия (Beckman Coulter), показал, что после 72 ч паракринного и контактного взаимодействия с активированными МНК как при 20 %, так и при 5 % O₂ МСК сохраняли высокую жизнеспособность

При помощи иммуноцитохимического окрашивания продемонстрировано, что взаимодействие с активированными МНК не повлияло на экспрессию МСК основных маркеров стромального фенотипа: CD73, CD90, CD105. Практически все клетки при обеих концентрациях O₂ несли эти молекулы и не экспрессировали лейкоцитарный антиген CD45.

Анализ состояния клеточных органелл после обработки МСК зондами MitoTracker Red FM, LysoTracker DND26, ER-Tracker Green и H₂DCFDA (Molecular probes) показал небольшое изменение трансмембранного потенциала митохондрий МСК под воздействием активированных МНК. Наблюдалось снижение объема ЭПР, что свидетельствует об отсутствии стресса ЭПР, который характеризуется значительным увеличением объема цистерн, заполненных нефункциональным белком. Однако в МСК при прямом контакте с МНК происходило закисление лизосомального компартмента, что может быть связано с деградацией поврежденных, либо ненужных клетке структур, и повышался уровень эндогенных АФК

Пролиферативную активность оценивали по изменению количества МСК в фиксированных полях зрения (микроскопа Nikon Eclipse Ti-U) после 72 ч культивирования по сравнению с исходным (0 ч культивирования). Анализ прироста клеток за 72 ч контактного взаимодействия с МНК выявил замедление пролиферации МСК.

В модели «раны» было обнаружено, что взаимодействие с активированными МНК способствовало некоторому снижению подвижности МСК. При этом сходные темпы миграции наблюдались при обеих концентрациях O₂ при контактном взаимодействии МСК с иммунными клетками и в случае паракринного взаимодействия.

В модели модифицированной камеры Бойдена было обнаружено, что активированные МНК несколько замедляют миграцию МСК. Таким образом, растворимые факторы, выделяемые в среду ФГА-стимулированными МНК, тормозили движение МСК. Интересно, что в контроле МСК при 5 % O₂ мигрировали через полупроницаемую мембрану быстрее, чем при 20 % O₂.

Способность к дифференцировке в остеогенном направлении оценивали по накоплению минерализованного матрикса за 20 дней культивирования в остеоиндуцирующей среде после проведения сокультивирования с МНК.

Пониженная концентрация O_2 замедляла индуцированную остеогенную дифференцировку МСК. После контактного взаимодействия с активированными МНК количество минерализованного матрикса, продуцируемого МСК, одинаково уменьшалось при обеих концентрациях O_2 соответственно, после остеоиндукции в нормоксии было по-прежнему больше матрикса, чем в «физиологической» гипоксии. В случае паракринного контакта «физиологическая» гипоксия также способствовала замедлению остеогенной дифференцировки, однако дифференцировочный потенциал МСК в монокультуре и после сокультивирования не отличался.

Способность к адиподифференцировке характеризовали по накоплению липидных включений в цитоплазме МСК за неделю экспозиции в адипоиндуцирующей среде после сокультивирования с МНК. При обеих концентрациях O_2 после прямого контакта с МНК наблюдалось уменьшение доли МСК, содержащих липидные включения. После паракринного взаимодействия количество МСК, способных к адиподифференцировке, не изменялось, но дифференцировка была слабее (меньше липидных капель в клетках). Значимого влияния концентрации O_2 на способность к адиподифференцировке МСК выявлено не было.

При контакте с МНК при обеих концентрациях O_2 обнаружено увеличение доли МСК, несущих ICAM-1, с 53 ± 6 % практически до 100 %, а также возрастание средней интенсивности флуоресценции иммуноцитохимически окрашенных МСК, что может указывать на повышение числа этих молекул адгезии на поверхности клеток.

Имуноцитохимический анализ выявил повышение экспрессии HLA-ABC на поверхности МСК. При этом лишь малый процент МСК экспрессировал молекулы гистосовместимости II класса после контактного взаимодействия с активированными МНК, а паракринное взаимодействие вовсе не повлияло на экспрессию этого антигена: как и в монокультуре, он не детектировался на поверхности МСК.

Продукцию паракринных факторов оценивали цитофлуориметрически (FaxCalibur, Becton Dickinson) при помощи наборов FlowCytomix human Th1/Th2 11 Plex (BMS810FF) и Human VEGF-A FlowCytomix Simplex (BMS80277FF, eBioscience, Bender MedSystems, Австрия). После контактного и паракринного взаимодействия МСК с аллогенными МНК изменился профиль цитокинов, детектируемых в кондиционированной среде сокультуры, по сравнению с монокультурами МНК и МСК. Для медиаторов, продуцируемых активированными МНК в монокультуре, после сокультивирования было отмечено существенное снижение концентрации ФНО-альфа, тогда как продукция ИФН-гамма, ИЛ-10 и ИЛ-1 бета была такой же, как в монокультуре. Как МСК, так и МНК в монокультуре синтезировали ИЛ-8. При этом концентрация ИЛ-8 не изменялась при сокультивировании, что указывает на снижение продукции этого цитокина по крайней мере одним из типов взаимодействующих клеток. В монокультурах МСК и МНК были детектированы два медиатора суперсемейства ИЛ-6: ИЛ-6 и ЛИФ. Концентрация ИЛ-6 в среде после контактного и паракринного взаимодействия клеток была значительно ниже, чем в исходных монокультурах, что может говорить об уменьшении продукции этого цитокина как в МСК, так и в МНК. После сокультивирования при наличии контакта и при разделении полупроницаемой мембраной концентрация ЛИФ существенно возросла по сравнению с исходно низким уровнем синтеза в монокультурах.

После 72 ч сокультивирования с МНК, отделенными полупроницаемой мембраной, при помощи микрочипов Human-Ref-12 (Illumina, США) проводили анализ с целью определить влияние взаимодействия с иммунными клетками при 20 % и 5 % O_2 на транскрипционную активность МСК. Паракринное взаимодействие с МНК приводило к существенному изменению экспрессии генов: 304 генов - при 20% O_2 и 142 – при 5% O_2 . Уровень мРНК 104 генов изменялся как при 20%, так и при 5% O_2 , причём в обоих условиях однонаправленно. Величина изменения экспрессии ряда генов при взаимодействии с МНК зависела от концентрации O_2 . Эти гены участвуют в целом ряде внутриклеточных процессов в МСК, в том числе пролиферации, дифференцировке, метаболизме органелл, клеточной гибели, продукции паракринных факторов.

В результате более детального анализа внутриклеточных параметров было установлено, что культуры МСК, использовавшиеся в данном исследовании, можно разделить на 2 группы: первая - МСК, в которых уровень АФК исходно был относительно низким, и вторая - МСК с относительно высоким уровнем АФК. Оказалось, что МСК с исходно высоким уровнем АФК более чувствительны к воздействию МНК, что особенно проявлялось при контактном взаимодействии. Было выявлено небольшое, но достоверное снижение жизнеспособности, а также повышение лизосомальной активности и дальнейшее повышение уровня АФК. При паракринном контакте доля живых клеток уменьшалась только при 20% O_2 , кроме того, в зависимости от концентрации O_2 , наблюдалось повышение активности митохондрий, лизосомального компартмента и продукции АФК. В то же время МСК с исходно низким уровнем АФК в меньшей степени реагировали на «праймирование». При непосредственном контакте активированные иммунные клетки не влияли на жизнеспособность МСК, в «физиологической» гипоксии увеличивалась лизосомальная активность и продукция АФК.

Таким образом, при взаимодействии с аллогенными активированными МНК происходило изменение внутреннего состояния МСК, а также свойств, связанных с реализацией их регенеративного потенциала. Наблюдавшиеся изменения зависели от наличия непосредственного контакта с МСК. Несмотря на отсутствие видимых изменений некоторых свойств при паракринном взаимодействии, растворимые факторы, продуцируемые МНК, оказывали значительное влияние на транскрипционную активность большого количества генов, затрагивающих различные процессы.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН «Интегративная физиология» и Стипендии Президента РФ СП-3502.2015.4.

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ СИСТЕМЫ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ (ОБРАЗОВАНИЯ И ВОСПИТАНИЯ)

Богдашевский Р.Б.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

PSYCHOLOGICAL ORIENTATION OF THE SYSTEM OF COSMONAUT SELECTION AND TRAINING (EDUCATION AND TRAINING)

Bogdashevsky R.B.

Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow region

Психологическая направленность содержания системы отбора и подготовки космонавта проявляется в его поведении и деятельности в аварийной ситуации. В силу специфики своей профессии космонавт должен быть готов к аварийной ситуации всю профессиональную жизнь, хотя может не встретиться с ней, но она – суть и стержень формирования его как профессионально-творческой личности. Совокупность необходимых психологических качеств и свойств личности – это не только средство устранения опасности, но и залог ее понимания человеком, как закономерного явления для данной профессии, поддающегося контролю и преодолению.

Введение в систему отбора и подготовки космонавтов организационно-методических изменений в регламентирующих процесс подготовки космонавтов документов, позволили сократить сроки ожидания первого полета космонавтов, а проведение мероприятий послеполетной реабилитации после длительных космических полетов во многом способствовали возможности совершения космонавтами повторных (4-6 раз) длительных космических полетов и способствовали сохранению здоровья и профессионального долголетия космонавта.

Первостепенной задачей подготовки космонавтов всегда было сохранение здоровья, которое является одним из главных компонентов безопасности космических полетов. При этом категория «здоровье» объединяется с категорией «деятельность» и обе они входят в интегральный показатель надежности человеческого звена в системе управления ПКА. Причем эффективность профессиональной деятельности космонавта основывается на соотношении «затрат» и «результатов», что в значительной мере определяет профессиональное долголетие и жизненное благополучие.

Учитывая срок эксплуатации МКС, перешедший рубеж 15-ти лет, целесообразно сравнить текущее состояние и динамику нарастания неисправностей и отказов, а также возможные объемы ремонтно-восстановительных работ на станциях «Мир» и МКС. Это необходимо для прогнозирования состояния МКС на ближайшие 5-8 лет, а также приблизительно для определения сроков эксплуатации, когда поток неисправностей и отказов на МКС будет нарастать лавинообразно. Не исключается в этот период оперативный запуск на МКС в составе экспедиций посещения специально-подготовленных «космонавтов-ремонтников» для обеспечения рабочего состояния МКС.

Для осуществления полетов к другим планетам необходимо усовершенствовать программы подготовки космонавтов, обратив особое внимание на формирование у них космического сознания и антропо-эколого-космического самосознания (по Казначееву В.П., 1986). Это должны быть хорошо образованные люди с выраженным интеллектуальным потенциалом. В их восприятии себя и мира будет превалировать будущее. Их должен отличать высокий уровень культуры и духовности, богатство их внутреннего мира, познавательная активность и потребность самостоятельной исследовательской творческой работы. В их поведении и деятельности главенствующую роль будет играть не столько эмоционально-волевой, сколько интеллектуально-творческий и духовно-нравственный уровни регуляции.

СИСТЕМОГЕНЕЗ ПСИХОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Богдашевский Р.Б.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

SYSTEMOGENESIS OF PROFESSIONAL SAFETY AND ACTIVITY OF A COSMONAUT IN A SPACE MISSION

Bogdashevsky R.B.

Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow region

Согласно Анохину П.К. (1962, 1978) системогенез – общая закономерность эволюционного процесса. В процессе жизни ЦНС организма в каждый момент времени обогащается и становится сложнейшей динамичной системой.

К сожалению, в космической психологии, психологии безопасности жизнедеятельности и деятельности космонавта не уделяется пока должного внимания. При рассмотрении вопросов безопасности космических полетов используется основной системный принцип, заключающийся в обязательном учете всех компонентов систем: людей, технических средств и окружающей среды.

В самом общем случае под безопасностью указанной системы необходимо понимать совокупность свойств системы сохранять при выполнении заданных функций в определенных условиях в течении установленного времени состояние, при котором исключено или снижено до допустимых значений воздействие опасных и вредных факторов на эксплуатирующий комплекс, персонал, космонавтов, а также на комплекс и его составные части, сопрягаемые объекты и окружающую природную среду (Великоиваненко В.И., 2014).

В практике авиационной психологии проблема поставлена, как психология и безопасность полета с применением системного подхода к анализу ошибок летного состава с выделением человеческого и личностного (личного) фактора.

В космической психологии Ф.Д. Горбов считал основными проблемами психофизиологию скорости, а также экологическую психологию (жизнь и деятельность в замкнутых пространствах ограниченного объема). Он сформулировал клиническое понятие нервно-психическая неустойчивость, которое рассматривалось им в континууме устойчивость-неустойчивость. Устойчивость определялась по отношению к конкретным условиям жизнедеятельности, деятельности и обитания.

Экологическая проблематика, содержательно обогатив концепцию нервно-психической неустойчивости, использовала основные способы воспроизведения факторов космического полета (сурдокамера, групповое взаимодействие, кратковременную невесомость, выживание в различных климато-географических зонах, изменяемые биологические ритмы в различных суточных режимах) в качестве методов оценки нервно-психической устойчивости космонавтов.

В экологически замкнутой среде существования космонавтов он одновременно увидел психологические проблемы одиночества и совместимости, которые разрабатывались им как глубоко внутренние взаимосвязанные между собой области. Ф.Д. Горбов сформулировал принцип, «индивидуальное в групповом, групповое – в индивидуальном» (Горбов Ф.Д., 1966).

Информационная недостаточность различных непривычных условий существования включала все новое, неизвестное, с чем должен был освоиться испытуемый. Неизвестное находилось как вне личности осваивающего новую среду человека, так и внутри его самосознания. В новых условиях сам человек, необычные для него наиболее эмоционально-значимые интимно-личностные переживания, требовали перестройки самооценки и формирования отношений к себе с учетом новых условий. Ф.Д. Горбов, последовательно продумывая индивидуальное в групповом и групповое в индивидуальном в экспериментальном и клиническом аспектах подошел к сложной, глубоко поставленной, но к сожалению, незавершённой философски-психологической проблеме «Я – второе Я».

Дальнейшее развитие идей Ф.Д. Горбова было дополнено сотрудниками-психологами ЦПК имени Ю.А. Гагарина «экопсихологической концепцией совместимости». Было установлено, что феномен психологической совместимости является своеобразной системной характеристикой функционирования экипажа и заключается в такой сочетаемости (сходство и различия) индивидуальных особенностей членов экипажей, которая в наибольшей мере, способствует надежному и эффективному выполнению целевой профессиональной деятельности экипажа. Определенные перспективы в решении проблемы психологической совместимости открываются в связи с разработкой информационно-познавательной модели «периодическая система психики человека», в основе которой положены понятие и структура психического кода человека. Р.Б. Богдашевским в соавторстве с В.И. Алексеевым и Аушрой Аугустиновичуте (1995) установлено неизвестное ранее явление самоорганизации динамических структур межличностного взаимодействия в человеческом обществе, обусловленное дифференциацией общества на кооперирующие психологические типы личностей. По существу, это явление относится к естественно-научной психологии, а не к общественной, где кооперирующие психологические типы личности, с нашей точки зрения, должны быть дополнены феноменом доверия: к себе, к другому, к миру (социальные функции доверия). Таким образом, психология доверия становится одним из важнейших внутренних факторов безопасности деятельности космонавта, обеспечивая самоопределение человека, оптимизацию социального воздействия, эмоционального комфорта, снижение уровня нервно-психического напряжения (напряженности) и стресса в отношениях между людьми, обеспечение взаимодействия, создание мотивации взаимопомощи. С нашей точки зрения важным в системогенезе психологии безопасности жизнедеятельности и деятельности космонавтов являются внутриличностная неопределенность и ментальность как факторы личностной и профессиональной безопасности.

Внутриличностная неопределенность в значительной мере определяется несформированностью ценностных ориентаций, ибо ценности формируют цельность личности, ее свободу и ответственность. Состояние открытости системы ценностных ориентаций дезорганизуют мотивационно-личностную структуру человека, усиливая тревожность и нестабильность психоэмоционального состояния.

Ментальность, являясь отображением динамических процессов субъекта деятельности и личности, т.е. потребностей, мотивов, эмоций, личностных предпочтений, предопределенности, предназначенности человека в значительной мере определяется и зависит от интеллекта.

Интеллект можно определить как интегральное проявление способностей, знаний и умений человека (Шадриков В.Д., 2009). Качества личности и способности взаимно обуславливают друг друга и развиваются в едином процессе системогенеза индивидуальности, при этом и те и другие взаимодействуют с мотивацией, знаниями и умениями в деятельности и поведении.

Под индивидуальностью понимается как единство и взаимосвязь его свойств как личности и субъекта деятельности, в структуре которых функционируют природные свойства человека как индивида (Ананьев Б.Г., 1997). Непосредственное единство внешнего мира и внутреннего мира человека составляют эмоции – переживания личности, связанные с удовлетворением или неудовлетворением ее потребностей.

Важно отметить, что способности обеспечивают не только восприятие внешнего мира в соответствии с требованием деятельности, но и понимание этого мира, его включенность во внутренний мир человека, в его ментальный опыт.

Развитие способностей в направлении освоения интеллектуальных операций формирования умственных навыков, включающих в себя операции программирования, принятия решений, использования различных критериев, будет характеризовать интеллектуализацию способностей. Поэтому способности есть свойства функциональных систем, реализующих отдельные психические функции (Шадриков В.Д., 2009), но их можно рассматривать и как функциональные органы по Выготскому Л.С. (1983) и Ухтомскому А.А. (1966). Их также можно рассматривать как возможности человека. Свобода, ответственность и духовность связывают воедино все механизмы высшего уровня развития личности. Путь становления свободы – это обретение права на активность и ценностных ориентиров личностного выбора. Путь становления ответственности – переход регуляции активности извне вовнутрь. Интеграция свободы и ответственности знаменует переход человека на новый уровень отношения с миром – уровень самодетерминации, свидетельствуя о личностном здоровье, венцом которого является этика созидания, а не самооправдания.

Системогенез психологии безопасности деятельности космонавта (СПБДК) – это применение системных принципов, определяющих полную и достоверную картину формирования, проявления и развития факторов опасной профессиональной деятельности космонавта в индивидуальном, личностном, деятельностном и социальном аспектах на всех этапах подготовки космонавтов и в космическом полете с обязательным выделением типов (внешних) критических ситуаций и (внутренних) кризисных психических состояний на сознательном, подсознательном и бессознательном уровне психики.

Космонавт должен быть психологически благополучным человеком. Психологическое благополучие можно определить как: - самореализацию себя в окружающем мире, - как интегральный показатель осознания реализации основных компонентов позитивного функционирования себя, как индивида, личности, субъекта труда и индивидуальности, - как удовлетворенность собой и своей жизнью, - как гармонию человека и ощущение счастья.

Космонавт должен быть успешным человеком. Успешным он может быть, если успешна его деятельность, его труд. Деятельность человека успешна тогда, когда человек верит, хочет, может, знает и успевает:

– *верит*, если вера «открывает ворота» подсознания (бессознательного) в человеке и придает ему уверенность в себе;

– *хочет*, если у него сформирован мотив к данному виду деятельности, если он обладает исходными, необходимыми и достаточными данными для нее;

– *может*, если владеет нужными умениями и компетенциями;

– *знает*, если его профессиональные знания достаточны для получения новой информации;

– *успевает*, если у него наработаны умения для самостоятельной и групповой деятельности.

Такой человек настойчиво и упорно трудится, добивается своих целей, соблюдая законы природы, общества и мышления. Его не страшат трудности и препятствия, поскольку он способен их преодолевать. Он не раздражается и не волнуется чрезмерно, не падает духом и не разочаровывается. Он оптимистичен, полон бодрости, энергии, жизни и сил. Он усерден и охвачен энтузиазмом. Он использует мощь своей психики, ибо знает, что мысль и действие связаны друг с другом, так как мысль – материальна.

Данное определение содержит в себе, с нашей точки зрения, как дифференциально-психологический, так и потенциально-прогностический смысл и значение при изучении личности космонавта.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКАЗАНИЯ ЭКСТРЕННОЙ И НЕОТЛОЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ДЛИТЕЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Богомолов В.В.¹, Поляков А.В.¹, Огурцов П.П.², Ниязов А.Р.¹, Федяй С.О.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва

SOME PROBLEMS OF EMERGENCY AND URGENT MEDICAL CARE IN PROLONGED SPACE FLIGHT

Bogomolov V.V.¹, Polyakov A.V.¹, Ogurtsov P.P.², Niiazov A.R.¹, Fedayay S.O.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Peoples' Friendship University of Russia (PFUR), Moscow

Пилотируемые космические полеты (КП) – вид деятельности, сопровождающийся повышенной опасностью и риском для жизни человека. Это связано, в первую очередь с возможностью получения травм членами экипажа при выполнении сложных элементов программы полета, а также воздействием негативных факторов КП, которые могут

достигать экстремальных величин и способны приводить к развитию различных нарушений здоровья. Несмотря на то, что вопросы оказания медицинской помощи достаточно проработаны, проблема оказания экстренной и неотложной медицинской помощи при возникновении различных нештатных медицинских ситуаций в условиях КП остается актуальной.

Организация и оказание медицинской помощи в условиях КП имеют свои особенности. Отсутствие, в подавляющем большинстве случаев, в составе экипажа космонавтов, имеющих профессиональное медицинское образование, также не позволяет широко использовать современные методы диагностики и лечения патологических состояний в полете. Используемые в настоящее время в клинической практике телемедицинские технологии позволят, при необходимости, организовать экипажу консультацию с квалифицированными медицинскими специалистами и оказать поддержку при принятии ими решений на выполнение соответствующих диагностических мероприятий, интерпретацию полученных результатов и выбор мероприятий оказания медицинской помощи с учетом средств, имеющихся на борту.

Медицинская помощь в полете оказывается в специфических условиях. В частности, применение растворов лекарственных средств в ампулах для внутримышечного и внутривенного введения в условиях микрогравитации является крайне затруднительным. В ГНЦ РФ-ИМБП РАН создан макетный образец перспективной укладки НП-2 для обеспечения возможности оказания экстренной и неотложной медицинской помощи на РС МКС. С учетом вышесказанного, при создании перспективной укладки НП-2, акцент делается на лекарственные формы для энтерального, ингаляционного применения. В связи с невозможностью полностью отказаться от использования инъекционных препаратов, считаем, что наиболее эффективным остается использование в полете преднаполненных форм лекарственных средств.

Остается открытым вопрос правомочности оказания медицинской помощи в полете членами экипажа без медицинского образования. Представляется необходимым проработать предложения по совершенствованию существующей нормативно-правовой базы. При этом полагаем, что с учетом специфических особенностей оказания медицинской помощи в КП, следует предоставить право космонавтам без профессионального медицинского образования, но прошедших соответствующую подготовку, самостоятельно выполнять в полете лечебно-диагностические мероприятия в объеме экстренной и неотложной медицинской помощи, оказываемой вне медицинской организации в рамках первичной медико-санитарной доврачебной и скорой медицинской помощи (Ст. 31-33, 35 № 323-ФЗ).

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ПАТОЛОГИИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Богомолов В.В., Почуев В.И., Даниличев С.Н., Манько О.М.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

RISK FACTORS OF THE VISUAL PATHOLOGY IN THE LONG-TERM SPACE FLIGHT

Bogomolov V.V., Danilichev S.N., Manko O.M.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013-2020 годы», утвержденная Президентом Российской Федерации 19 апреля 2013 г., предусматривает перспективность длительно пилотируемых полетов и необходимость решения проблемы долговременной надежности пребывания человека – оператора в космосе.

В условиях постоянного усложнения и увеличения времени пребывания человека в космосе, решение данной проблемы имеет большое научно - практическое значение.

Приоритетной задачей авиакосмической медицины является изучение адаптационных резервов ЦНС к неблагоприятным факторам длительного космического полета (ДКП) с целью снижения профессиональных рисков, влияющих на профессиональное долголетие.

В космическом полете, в условиях микрогравитации зрительная сенсорная система практически не испытывает депривации, в отличие от других сенсорных систем ЦНС. Поэтому, в период формирования устойчивой адаптации организма космонавта к микрогравитации доля и значимость афферентной зрительной информации значительно возрастает, как координатора нейросенсорной регуляции ЦНС.

Известно, что совокупное действие факторов ДКП, таких как невесомость, отсутствие естественного освещения, гипомагнитная среда, нарушение нейрогуморальной регуляции биологических ритмов организма могут оказать негативное влияние на психофизиологические и морфофункциональные характеристики зрительного анализатора космонавта.

Такие психофизиологические характеристики зрительного анализатора, как контрастная, частотно-контрастная и цветовая чувствительность были изучены в условиях космического полета продолжительностью до 90 суток.

Динамическая оценка зрительной работоспособности, как было показано в работах отражала интегральный ответ ЦНС на весь комплекс воздействующих на нее факторов космического полета. Полученные отклонения в исследуемых

показателях прямо коррелировали с адаптационными процессами к невесомости в корково-подкорковых отношениях. К моменту устойчивой адаптации к невесомости отмечалась позитивная динамика в сторону физиологической нормы, а к 12 суткам полета значение исследуемых параметров соответствовали фоновым предполетным значениям.

Период адаптации к условиям микрогравитации связан с такими известными физиологическими проявлениями как тенденции к округлой деформации полостных структур организма, перераспределение жидких сред в краниальном направлении, изменением электролитного баланса жидкостных сред организма.

Как следствие этих проявлений, были зафиксированы уплощение глазного яблока в орбите и изменение остроты зрения в сторону незначительной гиперметропии, выявлено затруднение краниального венозного оттока. Гидро- и гемодинамические сдвиги в условиях адаптации к микрогравитации, сегодня признаны фактором риска повышения внутричерепного давления и развития отека зрительного нерва. (медицинские стандарты и процедуры сертификации для участников космических полетов — Medical Standards and Certification Procedures For Space Flight Participants (SFP) MED — C — SSP 50667)

Морфологические изменения глазного яблока - уплощение его передне-заднего размера, так же рассматривается как фактор риска глазной патологии, обусловленной изменением биомеханики структур зрительного анализатора.

Для оценки риска развития повышения внутричерепного давления и офтальмопатологии в условиях микрогравитации разработаны и реализуются совместно с NASA исследовательские программы по динамическому контролю морфофункциональных характеристик гемодинамики и зрительной системы до, во время и после длительного космического полета. Среди них: «VIIP» - исследование риска нарушения зрения и внутричерепного давления, «Fluid Shifts» - регистрация центральной и периферической гемодинамики, «OCULAR HEALTH» — исследование состояния зрения экипажей МКС.

Профилактическое тестирование дополнено сегодня современными диагностическими методиками, которые вошли в программу обязательного медицинского контроля: УЗИ глазного яблока с регистрацией его осевой длины, компьютерной томографией сетчатки и зрительного нерва, доплерографией краниальных сосудов, МРТ головного мозга.

Оценка риска воздействия факторов ДКП на сенсорные системы ЦНС является сегодня одним из главных научных направлений космической медицины и первоочередной задачей для решения главного вопроса – безопасности дальних космических полетов.

ОБЗОР МЕДИЦИНСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МКС

Богомолов В.В., Самарин Г.И., Поляков А.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

REVIEW OF MEDICAL OPERATIONS ON THE ISS EXPLOITATION

Bogomolov V.V., Samarin G.I., Polyakov A.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Программа развертывания и эксплуатации МКС в пилотируемом режиме продолжается уже более 15 лет. Длительность основных экспедиций колеблется от 129 до 214 суток, а проведенного «годового» полета - 340 суток. С лета 2009 года началась фаза эксплуатации МКС с регулярным присутствием на орбите экипажа из 6 человек. В связи с участием в управлении деятельностью экипажа практически всех партнеров по МКС, внесены изменения в порядок планирования и реализации полетных и медицинских операций. Реализуется программа медицинского обеспечения здоровья экипажей российского и американского сегмента, включая обеспечение медицинскими ресурсами (питанием, средствами профилактики, средствами оказания медицинской помощи, санитарно-гигиенического обеспечения, средствами личной гигиены, радиационного мониторинга). На этапе эксплуатации МКС значительную вклад в программу МКС внесли функционирование в составе МКС кораблей ЕКА – ATV 1-5, Японии – HTV 1-4, а также серии коммерческих кораблей НАСА - Orbital и Dragon SpX. Оснащение современным медицинским оборудованием МКС позволило значительно расширить программу бортовых научных исследований.

Санитарно-гигиенические условия на МКС на протяжении всех полетов в целом оставались удовлетворительными и в основном соответствовали нормативным требованиям ISS MORD, за исключением значений шума и запыленности отдельных зон МКС. Совершенствуется система освещения РС. Важно, что обеспечено дублирование российских и американских средств поддержания и контроля среды обитания экипажей МКС, что повышает надежность систем жизнеобеспечения экипажей.

Важным элементом поддержания здоровья членов экипажа являлось реализация системы профилактики. Это касается, прежде всего, физических тренировок на бортовых тренажерах БД-2, ВБ-3М, ARED, а также использование индивидуальных медикаментозных средств профилактики по рекомендации ГМК.

Главным итогом медицинского обеспечения являлось сохранения здоровья и работоспособности членов экипажей на уровне достаточном для выполнения полетных программ. За весь период эксплуатации МКС не отмечено

медицинского случая, который повлиял на выполнения программы полета». Периодически возникали трудности из-за отказа медицинского оборудования, однако они не приводили к серьезным последствиям с точки зрения сохранения здоровья и безопасности деятельности экипажей. Врачи Интегрированной медицинской группы (ИМГ) и регулярные многосторонние обзоры медицинских операций (SMOT) не выявляли серьезных клинических проблем у членов экипажей, хотя имели место индивидуальные функциональные особенности в характере адаптивных реакций отдельных членов экипажа, травматические повреждения, аллергические проявления, головные боли, явления десинхроноза, которые купировались бортовыми средствами или мероприятиями по оптимизации РТО.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ГОДОВОГО (340 СУТОЧНОГО) ПОЛЕТА В ПЕРИОД МКС 43-46

Богомолов В.В., Самарин Г.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE MAIN RESULTS OF THE ANNUAL (340 DAILY) FLIGHT DURING THE ISS 43-46

Bogomolov V.V., Samarin G.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Основной задачей полета близкого по длительности к годовому астронавта НАСА С. Келли и космонавта Роскосмоса М.Б. Корниенко являлось изучение медицинских рисков, которые могли быть препятствием для полетов экипажей в дальний космос за пределы магнитосферы Земли с целью получения исходных данных для разработки мер профилактики нарушения здоровья, а также обеспечения безопасности и работоспособности экипажей на поверхности космических тел (астероиды, Луна, Марс). Несмотря на то, что отечественная космонавтика уже имела успешный опыт длительных полетов (до года и более – до 438 суток), тем не менее в этом годовом полете на основе новейших медицинских технологий и интеграции ресурсов НАСА и Роскосмоса (интеллектуальных, аппаратурных, времени экипажа, медицинских и технических ресурсов сегментов МКС и структур ЦУПа-М и ЦУПа-Х) ожидалось получить новые научные знания, в том числе и по новым медицинским рискам, для дальнейшего прогресса пилотируемой космонавтики и освоения дальнего космоса.

В соответствии с поставленными задачами научное сообщество партнеров по МКС, и прежде всего, НАСА и Роскосмоса разработали матрицу наиболее критических медицинских рисков полетов человека в дальний космос, а также последовательную стратегию их изучения и купирования на основе углубленных медико-биологических исследований у астронавта и космонавта, как в рамках национальных программ, так и в совместных комплексных и перекрестных (однонаправленных) исследованиях до, во время и после полета. Важно, что у астронавта годового полета Скотта Келли на Земле оставался брат-близнец, тоже астронавт, который также принимал участие в медицинских наблюдениях и экспериментах, что позволило выполнить уникальные генетические исследования по специальной программе.

Программа медико-биологических исследований (МБИ) до, во время и после годового полета выполнена с высоким качеством. Получены важные данные по оценке медицинских рисков в длительных полетах, в том числе за пределы магнитосферы Земли. Результаты этих исследований еще в стадии анализа и осмысления, но уже сегодня можно сделать предварительные выводы.

Впервые получен уникальный опыт выполнения совместных и перекрестных МБИ в длительном полете на МК с использованием ресурсов партнеров (оборудования, полетного времени, средств коммуникации, совместного планирования работ в ЦУП М и ЦУП-Х).

Главным итогом медицинского обеспечения годового полета явилось сохранение здоровья и профессиональной работоспособности экипажа на высоком уровне. Важным результатом проведенных работ явилось также установление факта, что длительность полета до года не является лимитирующим фактором для сохранения здоровья членов экипажа и профессиональной работоспособности при соблюдении международных медицинских требований (ISS MORD).

В совместных экспериментах «Fluid Shift» (Перемещение жидких сред) получены уникальные данные по фазовым изменениям в сосудистых регионах организма (артериальном, венозном и ликворном в глазных структурах) на этапах адаптации к длительному полету как в покое, так и при воздействии функциональной пробы с приложением отрицательного давления на нижнюю половину тела. Это исследование впервые проведено с использованием российского и американского оборудования на обоих сегментах МКС.

Значительный объем знаний получен по индивидуальной динамике структуры органа зрения, зрительного нерва и внутричерепного давления в полете, что приблизило ученых к пониманию риска зрительных расстройств в длительном полете (эксперимент «Ocular Health»). Важные результаты динамики двигательных и сенсо-моторных сдвигов получены в полетных экспериментах «Reaction Self Test», «Fine Motor Skills», а также в совместном послеполетном эксперименте «Полевой тест», что дает понимание возможности человека к самостоятельной деятельности на другом небесном теле и указывает направление развития мер профилактики.

Начатые совместные и перекрестные МБИ исследования в годовом полете продолжены и в последующих длительных (6-месячных) полетах и имеют высокий потенциал расширения.

Важный материал получен в серии перекрестных психологических исследований и психической работоспособности («Пилот», «Мониторинг сна», «Восприятие», «Cognition», «Самопроверка реакции», Взаимодействие-2, Контент). Анализ данных экспериментов «Cognition», «Sleep», «Journals» позволил выявить фазовую структуру адаптации психофизиологического состояния и работоспособности космонавтов и астронавтов к условиям годового космического полета.

Большой объем научных данных получен и по характеристике обменных процессов в полете, иммунологии, генетических исследований. Выраженные индивидуальные различия в изучаемых показателях жизнедеятельности в условиях длительного полета требуют продолжения исследований. В последующих полугодовых полетах часть этих исследований продолжают.

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ НА МКС (С 1–47 ЭКСПЕДИЦИИ)

Бондаренко В.А., Митрикас В.Г., Цетлин В.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

RADIATION MONITORING OF HABITAT ENVIRONMENT AND DOSE OF MEMBERS OF CREWS ISS OF (1– 47 EXPEDITIONS)

Bondarenko V.A., Mitrikas V.G., Tsetlin V.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В докладе представлены результаты работы по оперативному обеспечению радиационной безопасности экипажей МКС с 1-й по 47-ую основные экспедиции.

Радиационный контроль условий пребывания всех членов 1–47 основных экспедиций во время полета на транспортных кораблях и в рабочих отсеках МКС осуществлялся с помощью штатных средств, являющихся одной из систем медицинского жизнеобеспечения экипажей на станции. Система радиационного контроля (СРК) предназначена для непрерывного мониторинга и контроля дозовых нагрузок в отсеках станции и индивидуального дозиметрического контроля. В настоящем докладе изложены результаты функционирования этой системы за указанный период и проведен их анализ.

На борту МКС размещен комплекс радиационной аппаратуры, включающий штатные дозиметры «Дозиметр «Пилле МКС» с 11 датчиками, дозиметры ДБ8, распределенные по объему российского служебного модуля, а также радиометр Р-16 с двумя независимыми каналами регистрации и индивидуальные дозиметры ИД-ЗМКС у каждого члена экипажа.

Временной интервал, соответствующий периоду с августа 2001 г. по настоящее время, по длительности превышает цикл солнечной активности (захватывает конец 23-го и 24-й циклы). В докладе проанализированы параметры, влияющие на радиационную обстановку внутри станции. Проанализирована вспышечная активность Солнца, основные величины гео-гелиофизических факторов, определяющие радиационную обстановку на орбите МКС: поток радиоизлучения на длине волны 10,7 см, индексы магнитной возмущенности Ap и Dst (амплитуда кольцевого тока), а также плотность потока протонов и электронов радиационных поясов Земли, измеряемые на геосинхронных спутниках от GOES-12 до GOES-15. Возмущения в радиационной обстановке на орбите станции наблюдались в период максимума 23-го цикла SA в 2001 г., а также на ветви спада в 2003 г. и 2005 г. В максимуме 24-го цикла также имели место возмущения радиационной обстановки в 2012, 2013 и 2014 гг.

Радиационные нагрузки на станции также зависят от параметров орбиты, в частности от ее высоты. Средняя высота станции за время ее эксплуатации менялась от 334 км до 432 км. При этом средняя мощность дозы по экспедициям менялась от 150 мГр/сут до 350 мГр/сут.

Все данные по радиационным нагрузкам и основным гео-гелиофизическим параметрам ежедневно заносятся в базу данных.

Представлены результаты дозиметрических измерений с помощью штатной дозиметрической аппаратуры, полученные на МКС во время работы основных экспедиции. С помощью датчиков Пилле проведен ряд экспериментов по изучению радиационных нагрузок в отсеках пилотируемой МКС и ее динамики во времени. Экспериментально показано, что измеряемая поглощенная доза в отсеках станции может различаться более чем в 2 раза в зависимости от толщины защиты отсека.

Выявлено, что радиационные нагрузки на космонавтов могут составлять от 10 % при однократном полугодовом полете, до 75 % при повторных полетах от предельно допустимой нормированной эквивалентной дозы за профессиональную деятельность, составляющей 1 Зв.

На основе полученных данных об индивидуальных накопленных дозах космонавтов за период профессиональной деятельности, показано, что радиационные нагрузки не превышают значения, установленные нормативными документами (FlightRules В 14.2.2-12).

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОДЬБЫ И БЕГА В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

**Брыков В.И., Рукавишников И.В., Семенов Ю.С., Рязанский С.Н., Кульчицкий А.Е.,
Томиловская Е.С., Козловская И.Б.**

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF WALKING AND RUNNING UNDER CONDITIONS OF MICROGRAVITY

**Brykov V.I., Rukavishnikov I.V., Ryazanskiy S.N., Semenov Yu.S., Kulchitskiy A.E.,
Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.**

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Невесомость обуславливает развитие изменений в состоянии всех механизмов и компонентов двигательной системы – мышечной периферии [Григорьева Л.С. и др. 1983; Козловская И.Б. 1983–2008; Шенкман и др., 1995], ведущих сенсорных входов, [Юганов С.М. и др., 1969; Kozlovskaya I.B. et al., 1983; Корнилова Л.Н. и др., 2000], систем управления движениями [Гурфинкель В.С. и др., 1969; Зациорский В.М. и др., 1985; Kozlovskaya I.B. et al., 1988; Paloski W.H. et al., 1998]. Изменения в деятельности каждого из перечисленных компонентов очевидно вносят вклад в развитие нарушений локомоторных функций, наблюдаемых у космонавтов после завершения длительных космических полетов (КП). В частности, в работах сотрудников ИМБП РАН была выявлена важная роль в развитии этих нарушений опорной разгрузки [Козловская И.Б. и др., 2002–2007; Григорьев А.И. и др., 2004]: по данным Зациорского В.М. (1985), Рязанского С.Н. (1998), Мельника К.А. (2003) и др., после пребывания в длительной АНОГ и «сухой» иммерсии, воспроизводящих условия безопорности, кинематические, биомеханические, электромиографические и энергетические характеристики локомоторных движений также изменялись. Для определения вклада различных факторов в развитие локомоторных нарушений и возможности их коррекции необходимо получение количественных данных об изменениях упоминавшихся характеристик при выполнении локомоций на борту в различные фазы КП и при использовании в полете различных режимов профилактики. Необходимо отметить, что анализ локомоторных тренировок в ходе полета проводится на протяжении всей истории космических станций. Однако до последнего времени он основывался на данных, поступающих от бегущей дорожки – дистанция, скорость, пассивный или активный режим. Этого достаточно для формирования заключений об уровне работоспособности космонавтов. Однако для получения информации об особенностях выполнения на борту локомоций, перестройке локомоторных координаций, вкладе различных мышц в их реализации необходимо было получение новых объективных данных. Эксперимент «Мотокард» выполняется на бегущей дорожке (БД) и включает выполнение локомоций в режиме медленного, среднего и быстрого бега и ходьбы в двух режимах работы БД: вначале в активном и затем – в пассивном. Общая длительность ходьбы и бега составляет 22 мин. Скорости ходьбы и бега выбираются космонавтами самостоятельно, по самочувствию. При выполнении теста регистрируются электромиограмма (ЭМГ) мышц бедра и голени, реакции опоры (ОР) и параметры нагрузки на бегущей дорожке.

В настоящий момент в эксперименте приняло участие 15 российских членов экипажей МКС, 10 из которых завершили экспериментальную программу. Несмотря на высокую индивидуальную вариативность полученных данных, наблюдается ряд закономерностей. Предварительный анализ данных показал, что как и в условиях земной гравитации, при увеличении скорости локомоций, а также при выполнении теста в пассивном режиме БД, величина ОР и амплитуды ЭМГ возрастали.

Анализ распределения ОР в ходе выполнения локомоций в активном и пассивном режиме до КП показал, что максимальная нагрузка при ходьбе по БД приходится на пяточные области стоп и равномерно распределяется между головками 1–3-й плюсневых костей. Меньшее давление при этом наблюдается в области пальцев, наружного продольного свода и совсем незначительное – вплоть до нуля – под внутренним сводом стопы. Траектория центра давления левой и правой стопы на опору представляет собой плавную, незначительно выпуклую в латеральную сторону, линию, проходящую вдоль продольной оси стопы от центра пятки до середины переднего отдела стопы. Причем в области головок плюсневых костей может наблюдаться незначительное нарушение плавности этой линии в виде смещения ее в сторону головки 1-й плюсневой кости. В норме наблюдается симметрия этих траекторий – одинаковая структура для левой и правой стопы и траектория центра давления выглядит в виде бабочки с одинаковой формой и размером «крыльев». До полета, как правило, у всех космонавтов выявлялась незначительная асимметрия ОР в правой и левой стопе: опорные реакции в стопе ведущей ноги превосходили таковые в стопе ноги неведущей. С увеличением скорости ходьбы давление смещалось в область носка.

В первые месяцы полета имело место перераспределение ОР в пассивном режиме тренировки: основная нагрузка регистрировалась в предплюневых областях стоп. В ходе полета выявлялись признаки двигательного обучения с

выработкой локомоторного паттерна в новых условиях среды: от сессии к сессии нагрузка все больше распространялась на пятую зону и к заключительному месяцу полета распределение ОР в продольном направлении соответствовало таковому на Земле. У 3 космонавтов из 10 наблюдалась инверсия асимметрии распределения ОР.

После завершения полета распределение опорных реакций возвращалось к исходному дополетному паттерну. Величины опорных нагрузок после полета оставались сниженными, однако выявлялась четкая тенденция к их восстановлению. Результаты предварительного анализа электромиографической активности мышц голени выявили резкое возрастание амплитуды ЭМГ в полете при одновременном снижении скоростей бега и ходьбы. При этом значительно снижался вклад в осуществление локомоций *m. soleus*. Восстановление этого показателя после полета имело место только на 12-е сутки.

Работа поддержана грантом РФ №14-25-00167.

СФИНГОЛИПИДЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ И ДЕНЕРВАЦИИ

Брындина И.Г., Шалагина М.Н., Овечкин С.В.

ГБОУ ВПО «Ижевская государственная медицинская академия»

SPHINGOLIPIDS IN SKELETAL MUSCLE IN FUNCTIONAL UNLOADING AND DENERVATION

Bryndina I.G., Shalagina M.N., Ovechkin S.V.

SBEI HPE «Izhevsk State Medical Academy», Izhevsk

Сфинголипиды, включая церамид, играют важную роль в механизмах внутриклеточного сигналинга [Bartke N., Hannun Y.A., 2009]. Известно, что церамид образуется в ответ на действие ряда клеточных стрессоров, таких как радиация, цитокины, химиопрепараты, свободные радикалы кислорода и др. Ранее нами показано, что стрессорные факторы другой природы (иммобилизация, психоэмоциональный стресс, вывешивание) также приводят к накоплению церамида в различных органах и тканях, включая скелетные мышцы [Брындина И.Г. и соавт., 2014–2015]. Так, в условиях моделированной гипогравитации, вызванной антиортостатическим вывешиванием (АОВ) и приводящей к функциональной разгрузке мышц задних конечностей, в камбаловидной мышце мышей и крыс уровень церамида возрастает. Применение ингибиторов образования церамида мириоцина и кломипрамина устраняет ряд негативных эффектов функциональной разгрузки мышц. При попытке выявить основные механизмы, усиливающие образование церамида, на 4-й и 14-й дни АОВ в *m. soleus* мышей нами обнаружено повышение экспрессии кислой сфингомиелиназы (ASMase), с параллельным возрастанием церамида и уменьшением сфингомиелина, что может свидетельствовать об усилении сфингомиелиназного гидролиза. Одновременно показано повышение уровня протеина нейтральной церамидазы (ASAH2), способствующей конверсии церамида в сфингозин. Установлено также, что синтез *de novo* при участии серинпальмитоилтрансферазы не играет существенной роли в образовании церамида в *m. soleus* у мышей как при 4-дневном, так и при 30-дневном АОВ.

В настоящей работе мы исследовали характер изменений сфинголипидов в разгруженной камбаловидной мышце грызунов при более кратковременных воздействиях (6-часовом АОВ). Данный временной промежуток может имитировать начальные этапы космического полета, когда невесомость и характерное для нее отсутствие опоры сочетается с эмоциональным напряжением, сопровождающим стартовое состояние. У животных, подвергнутых кратковременному вывешиванию, оба указанных фактора также могут играть существенную роль в развитии адаптивных перестроек, которые имеют место как на уровне целостного организма, так и в скелетных мышцах.

Эксперименты проведены на мышах и крысах, подвергнутых 6-часовому АОВ (tail-suspension). В серии, проведенной на мышах, изучали ферменты, участвующие в метаболизме сфинголипидов. Для этого после окончания воздействий у декапитированных под наркозом животных брали две мышцы - *m. soleus* (разгруженная) и *m. biceps brachii* (не подвергавшаяся разгрузке). В мышцах с помощью иммуноферментного анализа (ELISA, Cusabio) оценивали экспрессию следующих ферментов (по уровню протеинов): сфингомиелинсинтазы (SMS1), кислой сфингомиелиназы (ASMase), нейтральной церамидазы (ASAH2) и сфингозинкиназы (SPHK1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что при 6-часовом АОВ изменения основных ферментов в двух сравниваемых мышцах (*m. soleus* и *m. biceps brachii*) имеют в основном противоположный характер. Так, в *m. soleus* существенно возрастает количество протеина ASMase, что не наблюдается в *m. biceps brachii*. Уровень ASAH2 повышается в *m. soleus* и уменьшается в *m. biceps brachii*. Количество SMS1 уменьшается в мышце передней конечности и не изменяется в разгруженной мышце задней конечности. Полученные данные свидетельствуют о специфическом характере изменений метаболизма сфинголипидов в разгруженных и нагруженных мышцах, что, по-видимому, отражает разную направленность адаптивных процессов, происходящих в этих мышцах при АОВ.

В экспериментах на крысах изучали уровень церамида в *m. soleus* при 6-часовом АОВ с помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ). Использовали животных, которым за 4 дня до опыта с соблюдением правил асептики была проведена операция перерезки седалищного нерва (денервация). Сравнивали данные, полученные

на камбаловидных мышцах денервированной и интактной задней конечности при АОВ. Показано, что уровень церамида при 6-часовом вывешивании возрастает в обеих мышцах, причем, прирост существенно больше в мышце денервированной конечности по сравнению с интактной. Это не противоречит данным других авторов, которые также наблюдали усиление образования церамида в мышце после ее денервации [Turinsky J. et al., 1990].

Таким образом, в m.soleus изменения ферментов, участвующих в обмене сфинголипидов, в условиях 6-часового АОВ соответствуют тем, которые ранее мы наблюдали при 4-дневном и 14-дневном вывешивании. Это, вероятно, может свидетельствовать об универсальности механизмов образования церамида в скелетных мышцах как при кратковременной, так и более длительной функциональной разгрузке. Денервация потенцирует интенсивность процессов, приводящих к накоплению церамида в разгруженной мышце, как дополнительный фактор, способствующий дисбалансу в метаболизме сфинголипидов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-04-01680 и грантом РНФ № 16-15-10220.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА «ПИЛОТ-Т» НА БОРТУ МКС

Бубеев Ю.А.¹, Бронников С.В.¹, Котровская Т.И.¹, Дудукин А.В.¹, Счастливец Д.В.¹, Риттвегер Й.² & Йоханнес Б.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Институт Аэрокосмической Медицины ДЛР, Кельн

FIRST RESULTS OF THE EXPERIMENT PILOT-T ONBOARD ISS

Bubeev Y.A.¹, Bronnikov S.V.¹, Kotrovskaya T.I.¹, Dudukin A.V.¹, Schastlivtseva D.V.¹, Rittweger J.² & Johannes B.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Institute of Aerospace Medicine, DLR, Cologne

INTRODUCTION

The skill acquisition and skill maintenance of hand controlled docking of a spacecraft (SOYUS or PROGRESS) on a space station (MIR or ISS) has always been a fundamental part of Russian cosmonauts' training. Since the MIR epoch onboard training was realized using docking simulators running on notebooks. The experiment «PILOT» was continuously conducted in parallel to the regular docking training and is not meant to substitute the regular docking training. The experiment aimed to investigate the performance and the operational reliability of Russian cosmonauts in that maneuver. Meanwhile the third generation of this experiment is ongoing on the ISS.

This paper presents the current state and preliminary results of the actual project («PILOT-T») aimed at the development and evaluation of a self-sufficient training tool for manual control of objects with six degrees of freedom (6df).

METHODS

An experimental docking simulator (labeled «6df») was developed to enable the free variation of experimental conditions for scientific research. It focusses on cognitive, perceptual and motor skills in the manual control of objects with 6df, providing a performance metric for humans in a human-robot interaction. The experimental simulator uses control dynamics similar to the regular docking training system. However, it avoids any graphic similarities to any real space station not to interfere with the regular training. The tool combines performance assessment with the assessment of effort using physiological measurements and subjective evaluations. It can be used to gather more insight into the training processes involved in manually controlling a complex task. The results obtained may be used to improve the program of the regular training.

Until October 2016 seven cosmonauts participated in the experiment providing the possibility for a first preliminary report. In detail we will herein focus on the acceptance of this scientific docking simulator by the cosmonauts. The experiment allowed the cosmonauts to choose the difficulty of the task. The protocol started with two standard tasks; the space craft was located abeam the docking point of a stable space station requiring a curve flight, a stabilization phase and a final approach ending with the docking contact. In the following tasks the space station was rotating, first around one axis, finally around two axes. The rotation speed of the space station was increasing from task to task. Five tasks had to be solved.

For the data analysis the procedure MIXED of IBM SPSS Statistics V. 20 was used providing a linear mixed effects analysis.

RESULTS

The analysis of the level of task difficulty revealed no significant differences (df: num2, denum: 395,912, F= 0.092, p = 0.912) among the mission phases pre-flight, inflight, and post-flight. All cosmonauts have chosen in nearly all experiments a continuously increasing task difficulty. The flight accuracy showed a tendency to increase from pre-flight to inflight, and post-flight. The tasks four and five (higher difficulty) showed lower accuracy during the pre-flight phase which increased during inflight and post-flight. The final statistical analysis will be provided after the end of data acquisition.

DISCUSSION

The first results are promising that the experimental docking simulator is mostly accepted by the cosmonauts. There even occurred the request for more difficult tasks. This is an important step forward to the next phase of the experiment. For the investigation of brain functioning under weightlessness we plan to use an experimental design with evoked potentials in the electroencephalogram. Therefore the development of an independent experimental docking simulator was necessary. However, the same important was the acceptance by the cosmonauts. Based on the successful implementation of the 6df-tool onboard ISS there are also other options possible. This tool can also be used as a self-sufficient learning course. Ground based studies at DLR confirm the efficiency. This may provide a possible support for space flyers not trained in docking.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗНАЧИМОЙ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Бубеев Ю.А.¹, Котровская Т.И.¹, Счастливецва Д.В.¹, Йоханнес Б.², Дудукин А.В.¹, Гуцин В.И.¹, Чекалина А.И.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Институт Аэрокосмической Медицины, ДЛР, Кельн

THE FUNCTIONAL STATE OF THE NERVOUS SYSTEM OF THE ASTRONAUT WHILE PERFORMING SIGNIFICANT OPERATOR'S ACTIVITY

Bubeev Yu.A.¹, Kotrovskaya T.I.¹, Schastlivtseva D.V.¹, Johannes B.², Dudukin A.V.¹, Guschin V.I.¹, Chekalina A.I.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Institute of Aerospace Medicine, DLR, Cologne

Разработка и совершенствование средств и методов оценки функционального состояния нервной системы космонавта, в частности, при выполнении значимой операторской деятельности (ручного управления космическим аппаратом (КА)), позволит повысить эффективность контроля его психоэмоциональной и когнитивной сферы, и тем самым, снизив риск ошибочных действий, повысить безопасность в условиях космического полета. Для реализации этой цели использовали комплекс «НЕЙРОЛАБ-2010», регистрировавший физиологические показатели при выполнении модели операторской деятельности Six-degrees-of-freedom (6df), а также батарею когнитивных тестов.

Протокол «6df» позволяет оценить эффективность выполнения имитационных задач по ручному управлению моделями сложных динамических объектов с учетом 6 степеней свободы движения. Характеристики пространственного движения, а также система ручного управления движением модели КА реализуются в реальном масштабе времени. Управление моделью КА обследуемый член экипажа производит с помощью двух рукояток. Путь, пройденный моделью КА, визуализируется и, с учетом этого, осуществляется навигация движущимся объектом. После выполнения каждой задачи по стыковке у обследуемого члена экипажа есть возможность выбора: повышать, понижать или оставлять прежней сложность предъявляемых задач. Повышение сложности выполнения стыковки с моделью вращающегося объекта обеспечивает улучшение навыков ручного управления. Прогрессирующая сложность наряду с актуальностью задачи стыковки обеспечивает повышение уровня мотивации обследуемого члена экипажа. Среднее время выполнения протокола «6df» составляет 40 мин. Используемая батарея когнитивных тестов (протокол «Когнитивные тесты»), направлена на оценку памяти, мышления, переключения внимания, скорости и точности сенсомоторного реагирования. Среднее время выполнения этого протокола составило 15 мин.

В рамках первого этапа КЭ «Пилот-Т» к настоящему моменту получены первичные данные полного цикла сеансов эксперимента для 4 членов экипажа на Земле и на борту Российского сегмента Международной космической станции.

Результаты протоколов «6df» свидетельствуют о том, что 4 членов экипажа успешно и с высоким качеством выполнили все тестовые режимы управления в каждом проведенном сеансе, при этом, последовательно повышая уровни сложности задачи с первой (статическая система) по пятый (с максимально возможным количеством степеней свободы). Каждый уровень сложности в протоколе «6df» содержит в себе несколько вариантов задач, которые выбираются случайно. По результатам выполнения космонавтами имитационных задач ручного управления стыковкой/перестыковкой двух КА, допустимые параметры входили в допуски при касании транспортного пилотируемого корабля с орбитальной станцией, такие как:

- промахи от центров стыковочных узлов по осям (PrY; PrZ) – по модулю не более 0,17 м;
- продольная относительная скорость сближения (Vx) – по модулю 0.05÷0.15 м/с;
- боковая относительная скорость (Vy; Vz) – по модулю не более 0,057 (м/с);
- относительное угловое рассогласование по крену (Гамма) – по модулю не более 4 град;
- суммарное относительное угловое рассогласование по тангажу и рысканию (Тета1+Тета2), (Фи1-Фи2) – по модулю не более 6 град.

Однако было выявлено, что внутри «коридора» допусков выполнения операторской деятельности наблюдалась определенная динамика параметров. С нашей точки зрения это обусловлено изменениями в психоэмоциональной сфере членов экипажа, находившими свое отражение в результатах выполнения когнитивных тестов.

По результатам выполнения батареи «Когнитивных тестов» в предстартовом фоновом периоде в связи с высокими нагрузками у двоих космонавтов наблюдались признаки утомления, проявляющиеся некоторым снижением психоэмоционального состояния и скорости и точности сенсомоторного реагирования. Во время полета у космонавтов по результатам тестов отмечали высокий уровень функционирования когнитивных функций (оперативной памяти, счетно-логического мышления, восприятия информации), а также высокий уровень мотивации, проявившийся в связанном с обучением росте показателей тестирования. Отдельные периоды напряженной деятельности в полете вызвали снижение психологической устойчивости (ухудшение настроения), что не сказывалось на качестве операторской деятельности. После полета отмечалось некоторое снижение уровня счетно-логической деятельности и психической работоспособности, что проявлялось только в наиболее сложных задачах. Некоторое снижение ряда параметров в послеполетный период находится в пределах индивидуальной нормы и связано с состоянием после выполнения напряженной полетной программы.

СРАВНЕНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРОТОНОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЛПЭ

Булынина Т.М.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

COMPARISON OF RADIOBIOLOGICAL EFFECTS OF PROTONS WITH DIFFERENT LEVELS OF LET

Bulinina T.M.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems RAS, Moscow
A.I.Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center of FMBA, Moscow

Основную долю частиц галактических космических лучей по потоку составляют протоны – порядка 90 %, в свою очередь, вклад в эквивалентную дозу протонной компоненты составляет около 10 %, причем, основной вклад вносят протоны низких энергий. Известно, что в течение полета к Марсу каждая клетка организма космонавта будет поражаться протонами каждые 3 дня, а тяжелыми заряженными частицами приблизительно раз в месяц. В этой связи является актуальным исследование радиобиологических эффектов протонов с различным уровнем ЛПЭ.

На базе фазотрона ОИЯИ, совместно с сотрудниками МТК ОИЯИ, было сконструировано специальное устройство, позволяющее облучать экспериментальных животных – мышей, протонами, различающимися более чем в 3 раза по уровню ЛПЭ. Эксперименты проводились на аутбредных самках мышей ICR (CD-1) SPF категории и самцах C57Bl6. Тотальное облучение мышей проводили пучком протонов с энергией 171 МэВ в дозах 1,0; 2,5 и 5,0 Гр на фазотроне ОИЯИ, используемом для терапии пациентов. ЛПЭ протонов-171 МэВ составила 0,49 кэВ/мкм, мощность дозы 0,37 Гр/мин. Спектр энергии замедленных протонов – 0–30 МэВ. Мощность дозы 0,8 Гр/мин. Среднее значение ЛПЭ в пике Брэгга составляет 1,6 кэВ/мкм. В спектре ЛПЭ вклад в поглощенную дозу протонов с низкой ЛПЭ составил около 67 %, с ЛПЭ 25–50 кэВ/мкм составил 23 % и с высокой ЛПЭ (50–100 кэВ/мкм) 10 %. Животных облучали в двух точках глубинного дозного распределения – на входе пучка протонов в объект или в области модифицированного пика Брэгга, расширенного с помощью гребенчатого фильтра. Для сравнения было проведено облучение γ -квантами ^{60}Co на аппарате для дистанционной лучевой терапии РОКУС-М МТК ОИЯИ в тех же дозах. Средняя мощность дозы 1 Гр/мин, ЛПЭ γ -квантов ^{60}Co составила 0,3 кэВ/мкм.

Проведенные эксперименты показали, что через 24 ч после облучения как протонами с высоким уровнем ЛПЭ, так и протонами на входе пучка протонов в объект, наблюдается отчетливое дозозависимое поражение костно-мозгового кроветворения, при этом глубина поражения после облучения протонами с высоким уровнем ЛПЭ увеличивается с увеличением дозы облучения с 1,0 до 5,0 Гр. Восстановление клеточности костного мозга к 8-м суткам после облучения, также было сниженным у мышей, облученных в области пика Брэгга. После облучения в дозе 5,0 Гр в области пика Брэгга отмечены более глубокое поражение цитогенетического аппарата клеток костного мозга и замедленная элиминация хромосомных aberrаций по сравнению с протонами на входе в объект и γ -квантами ^{60}Co . Различия в поражении и восстановлении числа лейкоцитов в периферической крови, тимуса и селезенки носили более сложный характер.

В наших экспериментах показано, что облучение протонами с увеличенным ЛПЭ обладает более выраженным эффектом поражения кроветворения по сравнению с протонами на входе в объект и γ -квантами ^{60}Co по большинству изученных показателей.

О ФЕНОМЕНЕ КОРИОЛИСА

Бурдаев М.Н.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

ABOUT THE CORIOLIS' PHENOMENON

Burdaev M.N.

Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow Region

При отборе и вестибулярных тренировках космонавтов и лётного состава широко используется один из видов вестибулярного обследования – проба НКУК (Непрерывная Кумуляция Ускорений Кориолиса).

Проба НКУК выполняется на кресле, вращающемся вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью. Испытуемый выполняет в определённом темпе с закрытыми глазами наклоны головы от плеча к плечу. При этом у него возникает отчётливое субъективное ощущение качания в сагиттальной плоскости. Это состояние получило название «феномен Кориолиса».

Математическое моделирование движений испытуемого при выполнении пробы НКУК показало, что при периодическом движении головы человека на вращающемся кресле в направлениях от оси вращения и обратно к ней во всех частях головы, включая отолиты вестибулярного аппарата, возникает направленное в сагиттальной плоскости тела испытуемого ускорение Кориолиса. Величина этого ускорения, воспринимаемого вестибулярным аппаратом, зависит от скорости вращения кресла и скорости перемещения вестибулярного аппарата относительно оси вращения. При этом направление ускорения Кориолиса меняется на противоположное при изменении направления движения вестибулярного аппарата относительно оси вращения.

Вестибулярный аппарат воспринимает геометрическую сумму ускорения Кориолиса и ускорения земного притяжения как единое целое. Угол при вершине этого треугольника между векторами ускорения земного притяжения и суммарного ускорения объективно характеризует амплитуду качания вектора суммарного ускорения. При скорости вращения кресла 10 оборотов за 20 секунд и одном качании головой влево или вправо за 2 секунды этот угол составляет 20 градусов и является объективным критерием оценки чувствительности сагиттального канала восприятия отолитов путём сравнения этой величины с субъективно ощущаемой испытуемым величиной угла качания.

Результаты математического моделирования показали, что субъективные ощущения испытуемых на пробе НКУК имеют объективное физическое происхождение. Поэтому применять к ним название «феномен» нет оснований.

ВЛИЯНИЕ ПРИЕМА НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ НА ФОНЕ АЭРОБНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РЕГУЛЯЦИЮ БИОГЕНЕЗА КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА

Бутков А.Д., Лысенко Е.А., Перфилов Д.В., Попов Д.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EFFECT OF ESSENTIAL AMINO ACIDS ADMINISTRATION ON REGULATION OF CELL MEMBRANE BIOGENESIS IN HUMAN SKELETAL MUSCLES

Butkov A.D., Lysenko E.A., Perfilov D.V., Popov D.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Регулярные аэробные физические нагрузки приводят к нарушению целостности мембран мышечных клеток, что подтверждается увеличением активности креатинфосфокиназы (КФК) в крови. В исследованиях с участием человека было показано, что при терапии гормоном роста повышенный уровень инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) в крови приводит к увеличению скорости синтеза коллагена в мышцах и в сухожилиях. В работах на грызунах было продемонстрировано, что хронический прием аминокислот с разветвленной боковой цепью (лейцина, изолейцина и валина) увеличивает экспрессию генов-регуляторов холестерина метаболизма и гена *IGF1* в печени, а также содержание ИФР-1 в крови. Целью нашей работы было изучить эффекты хронического приема незаменимых аминокислот на фоне аэробной тренировки на содержание ИФР-1 в крови и экспрессию гена *IGF1* в скелетной мышце, а также на регуляцию биогенеза мышечных мембран.

В исследовании приняли участие 12 спортсменов-любителей, тренирующих аэробные возможности (от 18 до 22 лет), разделенных на две группы по 6 человек. В течение 2,5 мес обе группы испытуемых выполняли одинаковые тренировочные нагрузки. Ежедневно сразу после тренировочной нагрузки испытуемые принимали незаменимые аминокислоты (0,1 г/кг массы тела) или плацебо. До и во время курса приема аминокислот определяли аэробные возможности в тесте с возрастающей нагрузкой на беговой дорожке, оценивали маркеры поврежденности мышечных мембран – базальную активность КФК и содержание миоглобина в плазме, а также содержание ИФР-1 и общего холестерина в плазме. До и

после курса приема аминокислот в базальных биопсихических пробах ткани из *m.vastus lateralis* с помощью ПЦР в реальном времени оценивали экспрессию изоформ гена *IGF1* (*IGF1-Ec* и *IGF1-Ea*), гена рецептора к ИФР-1 (*IGF1R*), гена-регулятора синтеза холестерина (*HMGCR*), а также генов мышечных коллагенов (*COL1A1*, *COL3A1*) и гена, кодирующего фермент, ответственный за связывание молекул коллагенов и эластинов во внеклеточном матриксе (*LOX*).

За исследуемый период нами не было обнаружено увеличения максимальной скорости потребления кислорода и скорости потребления кислорода на уровне анаэробного порога в беговом тесте в обеих группах. По завершению курса приема аминокислот базальный уровень ИФР-1 в плазме крови вырос в 1,5 раза ($p < 0,05$) в группе, принимавшей аминокислоты, что, по-видимому, связано с увеличением его синтеза в печени. Эти данные хорошо согласуются с результатами работ, выполненных на грызунах. В скелетных мышцах испытуемых, принимавших аминокислоты, обнаружена тенденция к увеличению экспрессии изоформы *IGF1-Ea* ($p < 0,1$); изоформа *IGF1-Ec*, а также ген рецептора к ИФР-1 (*IGF1R*) – не изменили свою экспрессию в обеих группах. В экспериментальной группе через 1,5 мес после начала приема аминокислот мы наблюдали снижение содержания миоглобина в 1,6 раз ($p < 0,05$) и активности КФК в 1,2 раза ($p < 0,05$) в крови, что косвенно свидетельствует о снижении поврежденности мембран мышечных клеток. В начале и после окончания приема аминокислот нами было обнаружено небольшое (10–15 %, $p < 0,05$) увеличение уровня холестерина в крови (при этом уровень холестерина был в пределах нормы), что вероятно обусловлено ИФР-1-зависимым увеличением его продукции печенью. Холестерин является важным компонентом клеточных мембран. В скелетной мышце экспрессия гена *HMGCR*, кодирующего фермент, ответственный за синтез холестерина, была выше в конце периода приема аминокислот в экспериментальной группе, по сравнению с контрольной ($p < 0,01$). Для обеих групп за время приема аминокислот не было обнаружено изменений в экспрессии генов коллагенов (*COL1A1*, *COL3A1*) и гена, кодирующего фермент, ответственный за связывание молекул коллагенов и эластинов во внеклеточном матриксе (*LOX*). При этом экспрессия гена *HMGCR*, а также *COL3A1* и *LOX* в скелетной мышце сильно и значимо коррелировала (r от 0,79 до 0,94; $p < 0,002$) с экспрессией изоформ мРНК гена *IGF1* и не зависела от содержания ИФР-1 в крови.

Таким образом, прием незаменимых аминокислот на фоне физической тренировки привел к увеличению базального содержания ИФР-1 в плазме, а также к снижению содержания маркеров поврежденности клеточных мембран. По-видимому, в скелетной мышце экспрессия генов коллагена *COL3A1* и фермента *LOX*, ответственного за связывание коллагенов, а также гена *HMGCR*, регулирующего синтез холестерина, осуществляется за счет аутокринного/паракринного действия ИФР-1, и не связано с концентрацией ИФР-1 в крови.

ШКАЛИРОВАНИЕ УСТАЛОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ОПЕРАТОРСКОГО ПРОФИЛЯ НА ОСНОВЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ

Бухтияров И.В., Фесенко М.А., Глухов Д.В., Комарова С.В.

«Научно-исследовательский институт медицины труда», Москва

SCALING OF THE TIREDNESS OF THE SPECIALISTS OF OPERATOR'S PROFILE BASING ON THE ACTING STANDARDS

Bukhtiarov I.V., Fesenko M.A., Glukhov D.V., Komarova S.V.

Federal State Budgetary Scientific Institute «Research Institute of Occupational Health», Moscow

Развитие и совершенствование технической составляющей современных космических полетов предъявляет высокие требования психофизиологическим показателям космонавтов в процессе их трудовой деятельности. Уровень безопасности и высокая производительность космонавтов труда тесно связаны с состоянием их здоровья, надежности и работоспособностью, существенное воздействие на которые оказывает состояние усталости, формирование которой обусловлено общебиологическими циклами.

Основные факторы, вызывающие усталость на сегодняшний день определены как недостаток сна, плохое качество сна и нарушение циркадного ритма. У части работников, страдающих синдромом обструктивного апноэ сна, значительно увеличивается дневная сонливость. Усталость работников может быть вызвана как причинами, связанными со сном, так и тяжестью выполняемой работы. Длительные смены могут увеличить усталость работников, особенно, когда нет возможности делать достаточные перерывы во время рабочей смены. Это приводит к снижению профессиональной надежности операторов и часто не выявляется современными диагностическими методиками.

Различными исследователями предпринимаются попытки алгоритмизировать и компьютеризировать данные, позволяющие принимать управленческие решения по профилактике усталости работника.

Нами на основе существующих в настоящее время в России стандартов были проведены комплексные исследования по классификации, сбору и шкалированию показателей, характеризующих усталость работников операторского профиля деятельности. Были проведены комплексные исследования 720 работников, которые включали: гигиеническую оценку условий труда, многофакторную социометрию, оценку сонливости и исследование двигательной активности (актография), выполнены их психофизиологическое тестирование в процессе рабочих смен.

В результате проведенных исследований была разработана шкала риска оценки усталости, что дало возможность разработать рекомендации по снижению усталости для отдельных группы работников и определить основные показатели, характеризующие развитие усталости у операторов в процессе профессиональной деятельности.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ НА ВАРИАбельНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Васин А.Л., Гурфинкель Ю.И., Саримов Р.М., Сасонко М.Л.

НУЗ Научный клинический центр ОАО «РЖД», Москва

THE INFLUENCE OF GEOMAGNETIC STORM ON HEART RATE VARIABILITY

Vasin A.L., Gurfinkel Yu.I., Sarimov R.M., Sasonko M.L.

Research Clinical Center of JSC «Russian Railways», Moscow

Проблема влияния вариаций геомагнитного поля, в том числе геомагнитных бурь, на здоровье человека остается в центре внимания исследователей в области медицины и гигиены окружающей среды. Научные исследования последних лет выявили влияние вариаций геомагнитного поля и гипомагнитных условий на когнитивные функции мозга, а также на сердечно-сосудистую систему животных и человека. Проблема актуальна и в свете интенсификации исследований космического и межпланетного пространства, проводимых в последнее время. Наши исследования направлены на изучение влияния частотных параметров геомагнитной бури и переменных, крайне низкочастотных гипомагнитных условий на регуляцию сердечной деятельности человека.

Проведены два экспериментальных исследования. Одно по определению влияния предварительно записанной геомагнитной бури на ритм сердца здоровых добровольцев. Второе по влиянию на вариабельность сердечного ритма переменных гипомагнитных условий, когда магнитное поле гармонически изменялось от фоновых значений МП до нулевого (0 ± 10 нТл).

В первом исследовании участвовали 9 здоровых мужчин, средний возраст $23,9 \pm 5,5$ лет. Исследования с каждым испытуемым проводили в течение двух сут с перерывом между ними в одни сутки. Первое и второе исследования отличались применяемым магнитным полем (режимом). Первый режим Line, – условия статического (стабилизированного) фонового геомагнитного поля. Второй режим геомагнитной бури GS (Geomagnetic Storm), нахождение в условиях предварительно записанной геомагнитной бури. Магнитное поле создавалось системой моделирования магнитных полей «Фарадей», в лаборатории магнитобиологии и метеопатологии НКЦ ОАО «РЖД». Буря была записана 02.10.2013 в системе «Фарадей» на фоне городских шумов. Частота записи и воспроизведения 1 кГц. Режим GS был сформирован из наиболее активного периода записанной бури равного 6 ч. Для воспроизведения 24-часового воздействия выбранный 6-часовой период был повторен 4 раза.

Для второго исследования были приглашены 20 здоровых мужчин добровольцев (две группы по 10 человек, средний возраст $33,5 \pm 7,9$ и $35,4 \pm 15,1$ лет), у которых регистрировали электрокардиограмму с последующим анализом вариабельности сердечного ритма. Вариации гипомагнитных условий создавались в экспериментальной установке «Арфа» НКЦ ОАО «РЖД». Установка позволяет генерировать заданное, контролируемое магнитное поле, с амплитудой от 0 до 50 мкТл по вертикальной компоненте. В исследовании применялось гармоническое магнитное поле с амплитудой от 48 до 0 мкТл, с двумя частотами $1,67 \cdot 10^{-3}$ Гц и $1,11 \cdot 10^{-3}$ Гц (по одной частоте для группы). 30 мин регистрация ЭКГ до экспозиции и в течение 1 ч экспозиции.

Сердечный ритм анализировали после регистрации ЭКГ, используя мониторинговую систему «Астрокард-Телеметрия» (Россия). Данные в обоих исследованиях обрабатывались с использованием автокорреляционного и спектрального анализов.

Результаты первого исследования показали, что изменения спектральных показателей вариабельности сердечного ритма, в первую очередь, отражают суточную ритмику работы сердца с большей длительностью кардиоинтервалов в ночные часы. Влияние геомагнитной бури выразилось в урежении частоты сердечных сокращений в дневные и вечерние часы (до 1 ч ночи) и не сказывается на кардиоинтервалах в ночное время. Анализ спектральных показателей выявил индивидуальную чувствительность испытуемых к магнитной буре. Автокорреляционный и спектральный анализ изменчивости HF, параметра характеризующего парасимпатическое звено регуляции, показал, что воздействие магнитной бури на участников исследования ведет к хаотизации высокочастотных колебаний в управлении сердечным ритмом. Особенно это характерно для лиц, имеющих более стабильные (медленно меняющиеся) высокочастотные колебания. В одном случае отмечено навязывание ритма изменения магнитного поля бури ритму HF.

Результаты второго исследования также выявили индивидуальную чувствительность вариабельности сердечного ритма, в частности показателя SDNN (стандартное отклонение кардиоинтервалов по 5 мин периодам), для обеих частот гармонического МП. Кроме того, спектральный анализ продемонстрировал увеличение мощности начального спектра показателей VCP при воздействии МП относительно спектра до экспозиции.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что геомагнитная буря, а также крайне низкочастотные гармонические колебания магнитного поля от фоновых значений до нулевых, влияют на вариабельность сердечного ритма с особенностями индивидуальной чувствительности испытуемых.

АМФ-АКТИВИРУЕМАЯ ПРОТЕИНКИНАЗА – КЛЮЧЕВОЙ РЕГУЛЯТОР ЭКСПРЕССИИ МЕДЛЕННОГО МИОЗИНА И АНАБОЛИЧЕСКОГО СИГНАЛЬНОГО КАСКАДА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ
Вильчинская Н.А., Мочалова Е.П., Шенкман Б.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

AMP-ACTIVATED PROTEIN KINASE IS A KEY REGULATOR OF SLOW MYOSIN EXPRESSION AND ANABOLIC SIGNALING AT THE EARLY STAGE OF GRAVITATIONAL UNLOADING
Vilchinskaya N.A., Mochalova E.P., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В условиях гравитационной разгрузки вместе с атрофией скелетных мышц наблюдается сдвиг миозинового фенотипа мышц в быструю сторону. Причиной таких изменений является снижение экспрессии гена, кодирующего ТЦМ медленного типа, и увеличение экспрессии генов, кодирующих ТЦМ быстрого типа. Известно, что такие сигнальные каскады как кальцинейрин/NFAT и АМФ-зависимая протеинкиназа (АМПК) способны регулировать экспрессию генов, кодирующих изоформы тяжелых цепей миозина медленного типа. Ранее нами было показано значительное снижение фосфорилирования АМПК в *m. soleus* на ранних этапах гравитационной разгрузки. Цель работы состояла в изучении роли АМПК в контроле экспрессии генов медленной изоформы тяжелых цепей миозина (ТЦМ) на начальном этапе гравитационной разгрузки.

В данной работе проводилось 24-часовое антиортостатическое вывешивание задних конечностей крыс по методике Ильина-Новикова в модификации Морей-Холтон на фоне введения активатора АМПК – АICAR. Животные в экспериментальных группах с использованием АICAR получали препарат в течение 7 дней, животные других экспериментальных групп получали плацебо. Содержание фосфорилированной АМПК, тотальной и фосфорилированной p70S6K определяли методом гель-электрофореза с последующим иммуноблоттингом, уровень экспрессии предшественника и зрелой мРНК гена *MyHC1(β)* оценивали с помощью метода ПЦР в реальном времени.

После 24-часового вывешивания наблюдалось снижение содержания фосфорилированной АМПК(Thr172) на 53 % относительно контрольной группы. При предобработке вывешенных животных инъекциями АICAR содержание фосфорилированной АМПК(Thr172) не отличалось от контрольного уровня. В результате 24-часового антиортостатического вывешивания обнаружено увеличение содержания фосфорилированной p70S6K на 56 % относительно контрольной группы. При предобработке контрольных животных инъекциями АICAR показано достоверное снижение содержания фосфорилированной p70S6K на 18 %, а в группе с предобработкой вывешенных животных инъекциями АICAR содержание фосфорилированной p70S6K не отличается от уровня контрольной группы. В результате 24-часового вывешивания мы обнаружили снижение уровня экспрессии предшественника мРНК *MyHC1(β)* в 0,3 раза по сравнению с группой контроля. После предобработки вывешенных животных инъекциями АICAR уровень экспрессии предшественника мРНК *MyHC1(β)* не отличался от уровня контроля. Обнаружена тенденция к снижению уровня экспрессии зрелой мРНК *MyHC1(β)* после 24-часового вывешивания. После предобработки вывешенных животных инъекциями АICAR наблюдается тенденция к повышению уровня экспрессии зрелой мРНК *MyHC1(β)*.

На раннем этапе гравитационной разгрузки дефосфорилирование АМПК сопровождается увеличением содержания фосфорилированной p70S6K и снижением уровня экспрессии как предшественника, так и зрелой мРНК *MyHC1(β)*. При стимуляции АМПК АICAR снижение уровня экспрессии предшественника и зрелой мРНК *MyHC1(β)* не наблюдалось, при этом обнаружено снижение фосфорилирования p70S6K. Можно заключить, что фосфорилирование/дефосфорилирование АМПК вовлечено в контроль экспрессии генов *MyHC1(β)* и регуляцию анаболического сигнального каскада в камбаловидной мышце крысы на ранней стадии гравитационной разгрузки. Работа поддержана грантом РФФ 15-14-00358.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОНАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ЭКИПАЖЕЙ МКС НА МЕЖЛИЧНОСТНОЕ И МЕЖГРУППОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ: КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ-2»

Виноходова А.Г.¹, Гушин В.И.¹, Швед Д.М.¹, Юсупова А.К.¹, Санда Г.М.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Университет г. Берген, Норвегия

STUDY OF INFLUENCE OF THE ISS CREWS' MULTINATIONAL COMPOSITION ON INTERPERSONAL AND INTERGROUP INTERACTION: SPACE EXPERIMENT "INTERACTIONS-2"

Vinokhodova A.G.¹, Gushin V.I.¹, Shved D.M.¹, Yusupova A.K.¹, Sandal G.M.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² University of Bergen, Norway

Введение. В современную эпоху космическая деятельность представляет собой объединение усилий многонациональных экипажей, тесную кооперацию и совместное проживание людей с различным культурным, профессиональным и

организационным опытом. Эффект культурного и личностного разнообразия ценностей и способностей членов экипажей к эффективному взаимодействию во время длительных полетов представляет собой сложную и недостаточно изученную область социально-психологических исследований. Астронавты и космонавты, ученые, руководители полетов и космических программ являются представителями, по крайней мере, трех различных культур – национальной, организационной и профессиональной. Считается, что кросс-культуральные факторы национальной природы должны иметь минимальное влияние на поведение и деятельность космических экипажей, так как астронавты и космонавты являются частью общей профессиональной «микро-культуры». Кроме того, процессы отбора и подготовки способствуют усилению гомогенности, если агентства используют одинаковые критерии отбора. Однако ряд исследований выявил различия, которые могут влиять на взаимоотношения в многонациональных экипажах. Во время полетов по программе Мир/НАСА и Международной космической станции (МКС) и обнаружили национальные различия в восприятии рабочего и группового климата [Kanas N. et al., 2006; 2007]. Однако остается малоизученным, как многонациональный состав предположительно влияют на совместимость экипажа в длительных полетах, и становятся ли члены экипажа со временем более похожими друг на друга.

В основе нашего исследования теория Ш.Шварца [Schwartz Sh., 1990], который, проводя социально-психологические исследования обследуемых 60 стран, выделил 10 общих для всех культур базовых ценностей. Сходные нормы и разделяемые ценности являются важными условиями для того, чтобы избежать межличностного напряжения и поддерживать групповую сплоченность во время длительной изоляции [Manzey D., 2003]. Сходство ценностей имеет большое значение для предотвращения появления в изолированном экипаже аутсайдеров и конкурирующих подгрупп [Sandal G.M. et al., 2011; Gushin V.I, et al., 1998, 2001; Козеренко О.П. с соавт., 1999].

В настоящее время на борту МКС проводится космический эксперимент «Взаимодействие-2», который является логическим продолжением космического эксперимента «Взаимодействие» [Vinokhodova A.G., Gushin V.I. 2014], начатого в 2008 году, и основан на его результатах. Цель космического эксперимента «Взаимодействие-2» - исследование закономерностей внутри- и межгрупповой (взаимодействие с Центром управления полетами (ЦУП)) динамики в ходе долговременного космического полета международного экипажа. Задачи эксперимента - продолжение сбора данных о динамике межличностного восприятия под влиянием стресс-факторов космического полета, изучение особенностей восприятия экипажем взаимодействия с ЦУП, изучение взаимодействия, сплоченности, групповой идентификации в экипаже. Начиная с 45-й экспедиции МКС, в программу эксперимента включена методика CULT, направленная на оценку потенциального влияния факторов, связанных с индивидуальностью и культурой, ценностями, установками и поведенческими предпочтениями на групповое взаимодействие, включая такие аспекты, как сплоченность в экипаже, групповая идентификация, лидерство, разрешение конфликтов, принятие решений и управление ошибками.

Методы исследования. Для выполнения эксперимента используется компьютерный тест PSPA, который представляет собой анализ субъективных установок по отношению к ближайшему окружению. Тест включает в себя три основных этапа: на первом этапе космонавт формирует список персонажей, включающий членов экипажа и представителей ЦУП, а также три образа Я – Я-идеальное, Я-реальное и Я-прошлое; затем формулирует 12 пар критериев (конструктов) для оценки персонажей, используя те качества, которые кажутся ему наиболее важными для описания людей. На третьем этапе выбранные персонажи оцениваются по выработанным критериям. Для изучения особенностей восприятия экипажем объема и качества общения как внутри экипажа, так и с ЦУП используется опросник «Социальная карта» из 6 вопросов. Для оценки влияния культурологических факторов применяется опросник «CULT» из 59 вопросов, включающий раздел для изучения системы ценностей космонавтов и разделы, направленные на выявление предпочитаемого стиля принятия решений, лидерства и управления ошибками. Экспериментальные исследования состоят из 3 этапов: предполетное тренировочное занятие и фоновое обследование; выполнение эксперимента в космическом полете с частотой 1 раз в 2 нед; послеполетное обследование.

Результаты. Результаты космического эксперимента «Взаимодействие», завершившегося в 2014 году, выявили эффекты влияния многонационального состава экипажа МКС на межличностное восприятие космонавтов. Было показано, что до начала совместного полета имелись различия в восприятии «своих» (российских членов экипажа) и «чужих» (иностранцев), которые можно отнести к проявлениям стереотипизации восприятия. Процент иностранных членов экипажа, воспринимаемых космонавтами как близких к идеалу, был существенно выше, чем россиян. Эти данные свидетельствуют об идеализации иностранных членов экипажа, которая, скорее всего, связана с недостатком знаний друг о друге вследствие объективного уменьшения взаимодействия во время подготовки. После завершения космического полета процент россиян, воспринимаемых космонавтами как субъективно похожих, заметно вырос, одновременно с увеличением количества иностранных членов экипажа, воспринимаемых как субъективно «далеких». Эти результаты свидетельствуют о возросшей степени идентификации и росте сплоченности российской части экипажа МКС. Однако параллельно происходит увеличение психологической дистанции между космонавтами и членами экипажа - представителями других агентств.

В ходе реализации космического эксперимента «Взаимодействие-2» продолжается сбор данных для статистического подкрепления выявленных тенденций. Проведение космического эксперимента «Взаимодействие-2» в условиях годового полета с участием российского и американского членов экипажа впервые дало возможность изучить динамику системы ценностей в международном экипаже под влиянием участия в сверхдлительном полете. По данным контент-анализа

критериев межличностного восприятия, было выявлено сходство структуры ценностей членов экипажа, что подтверждает основную гипотезу исследования о формировании единой профессиональной культуры космонавтов и астронавтов в процессе реализации международных космических экспедиций. На протяжении всего периода полета наиболее значимыми для обоих участников полета были качества, относящиеся к категориям Достижения и Доброта (по классификации Ш.Шварца). Ценность таких качеств как дружелюбие, забота о других, трудолюбие, профессионализм, высокая мотивация, обеспечивает эффективность профессиональной деятельности и хорошие отношения в экипаже.

Описана динамика восприятия объема и качества общения внутри экипажа и с ЦУП в зависимости от этапа космического полета. Наибольшая интенсивность общения отмечалась в начале полета и в последние месяцы полета. Самой большой была частота общения с членами экипажа, работающими на одном сегменте МКС. Обследуемые отметили высокую степень влияния общения с ЦУП на эффективность рабочей деятельности и потребность в поддержке со стороны ЦУП.

Заключение. Взаимодействие между национальной, организационной и профессиональной культурами представляется весьма сложным и опосредовано многими факторами. Представленное исследование направлено на лучшее понимание особенностей профессиональной культуры космонавтов и астронавтов. Определение этих качеств обеспечит дальнейшее развитие представлений о нормах и ценностях, которые влияют на работу международного экипажа, и выявит проблемы, которые могут быть решены в процессе отбора и подготовки к полетам.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПРИ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Воронков Ю.И., Гончарова А.Г., Григорьева Л.С., Брагин Л.Х., Брагин Д.Л., Белаковский М.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

GENETIC APPROACHES TO EARLY DIAGNOSIS OF CHANGES IN HEALTH STATUS IN THE MODEL STUDIES IN AEROSPACE MEDICINE

Voronkov Yu.I., Goncharova A.G., Grigoryeva L.S., Bragin L.Kh., Bragin D.L., Belakovsky M.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Впервые при модельных исследованиях применительно к проблемам авиакосмической медицины использован близнецовый метод. Проведены следующие исследования: 1) в условиях 8-суточной антиортостатической гипокинезии -8° находились 7 пар монозиготных близнецов (мужчин) с целью отработки методов клинико-функционального обследования состояния здоровья; 2) моделирование информационных нагрузок космонавтов в условиях изолированной камеры в течение 7 сут проведено у 15 пар монозиготных и 15 пар дизиготных близнецов. Цель исследования – уточнение этиологии индивидуальных различий центральных механизмов психокинетических событий как отражение операторской деятельности при моделировании информационных нагрузок космонавтов.

Результаты апробации близнецового метода позволили дифференцировать исследуемые признаки по степени их генотипической или средовой зависимости. В условиях АНОГ отмечено высокое внутриварное сходство у монозиготных близнецов по характеристикам ортостатической и вестибулярной устойчивости, некоторым биохимическим и иммунологическим показателям.

Моделирование воздействия информационных нагрузок позволило осуществить многоуровневую клинико-физиологическую оценку состояния психокинетических реакций человека. Результаты 7-суточного влияния операторских нагрузок у близнецов продемонстрировали экспериментальную эффективность и высокую диагностическую ценность при моделировании профессионально важных факторов полета, связанных с воздействием информационных нагрузок высокой интенсивности. Результаты применения близнецового метода позволили дифференцировать исследуемые признаки по степени их генотипической или средовой зависимости.

По ряду неврологических, нейрофизиологических и психологических показателей отмечено формирование состояний утомления и напряженности в процессе этих моделируемых воздействий. Элементы астенизации в неврологическом статусе коррелировали со статистически значимым снижением показателей самочувствия по результатам психологического тестирования. В процессе операторской деятельности, начиная с 4–5-х суток отмечены статистически значимые снижения показателей быстроты и качества выполнения операторской деятельности. Эффекты информационного воздействия проявлялись в достоверном нарастании пространственно-временной синхронизации потенциалов ЭЭГ и увеличении вклада медленных ритмов, отражающих рост напряженности механизмов регуляции центральной нейродинамики.

Полученные данные дают основание рассматривать используемые методические подходы с учетом генотипической конституциональной зависимости и степени прогностической ценности в ранней диагностике и выявлении преморбидных индивидуальных особенностей и применительно к задачам медицинского отбора.

ЗИМНЕСПЯЩИЕ СОНИ (GLIRIDAE) – НОВАЯ ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ В КОСМИЧЕСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ*Газизова Г.Р.¹, Тяпкина О.В.², Вихлянцев И.М.³, Пенин А.А.⁴, Козлова О.С.¹, Нуруллин Л.Ф.², Шагимарданова Е.И.¹, Гусев О.А.^{1,5}*¹ Казанский федеральный университет² Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН³ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва⁵ РИКЕН, Йокогама**HIBERNATING DORMICE (GLIRIDAE) – NEW PERSPECTIVE MODEL IN SPACE BIOLOGICAL EXPERIMENTS***Gazizova G.R.¹, Tyapkina O.V.², Vikhlyantsev I.M.³, Penin A.A.⁴, Kozlova O.S.¹, Nurullin L.F.², Shagimardanova E.I.¹, Gusev O.A.^{1,5}*¹ Kazan Federal University, Kazan² Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics KazSC RAS, Kazan³ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, Puschino⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow⁵ RIKEN, Yokohama

Космонавты во время длительного пребывания в условиях космоса (отсутствие гравитации, низкие температуры) сталкиваются с рядом проблем, одной из которых является снижение массы мышц и их функциональной активности. Несмотря на продолжающиеся разработки в области предотвращения последствий влияния космического полета на мышечную систему человека, исследование механизмов, лежащих в основе атрофических изменений, а также способов воздействия на них, остается актуальным направлением. Одним из подходов к решению этих вопросов является изучение животных, которые способны переживать условия, близкие к орбитальным. Так, широко известен ряд млекопитающих, которые переживают сезонное понижение температуры среды и ограниченную доступность пищи, впадая в зимнюю спячку. При этом в отличие от других млекопитающих, зимнеспящие животные могут снижать температуру своего тела, вплоть до значений температуры окружающей среды, и находиться в состоянии иммобилизации длительное время без видимых признаков мышечной атрофии. Исследование молекулярных механизмов, ассоциированных со способностью предотвращать деградацию мышц у этих организмов, может стать ключом к разгадке этого феномена.

Перспективным объектом изучения среди зимнеспящих организмов являются представители семейства соневых (Gliridae; Rodentia) – соня-полчок (*Glis glis*) и лесная соня (*Dryomys nitedula*). Полчки отличаются длительным периодом зимней спячки – до 9 мес в году, в то время как для лесных сонь характерны меньшая глубина и более короткая продолжительность спячки. Эти животные ввиду неприхотливости своего содержания в лабораторных условиях являются удобным объектом для изучения процессов поддержания целостности и функциональной стабильности мышц при иммобилизации и воздействии низких температур.

В основу данной работы легла гипотеза, что зимнеспящие животные, в частности сони, имеют молекулярные механизмы, направленные на снижение мышечной атрофии при иммобилизации конечностей вне зависимости от того, находятся ли они в состоянии гибернации. Для проверки этой гипотезы, вдобавок к сравнению группы активных животных (контроль) с группой животных, находящихся в торпидном состоянии (спячка), мы исследовали группу активных животных, которых помещали в специальные ограничивающие двигательное пространство пеналы (гипокинезия). В качестве предмета изучения мы использовали три мышцы: камбаловидную (*m.soleus*), икроножную (*m.gastrocnemius*) и разгибателя большого пальца (*m.EDL*). Для оценки морфологического состояния мышц был проведен гистологический и морфометрический анализ мышечных волокон. Для сравнения профилей экспрессии мРНК в ответ на различные состояния было проведено полное транскриптомное секвенирование кДНК с использованием платформы HiSeq 2500 Illumina. Анализ содержания изоформ тяжелых цепей миозина (ТЦМ) производился с помощью метода белкового электрофореза в 7 % полиакриламидном геле.

На гистологических срезах мышц обоих видов сонь не наблюдалось видимых признаков атрофических изменений как у животных в спячке, так и в состоянии гипокинезии. В результате анализа содержания изоформ ТЦМ и у сонь-полчков, и у лесных сонь мы наблюдали появление «медленной» изоформы миозина (I) и снижение доли «быстрой» изоформы (IIa) в обеих экспериментальных группах по сравнению с контролем. Подобный сдвиг изоформного состава ТЦМ в медленную сторону подтверждает нашу гипотезу.

В результате транскриптомного исследования выявлены и аннотированы достоверно дифференциально экспрессируемые гены. Профили транскрипции в ответ на спячку и гипокинезию были схожи, но различались у разных видов сонь. Особое внимание было уделено сравнению значений экспрессии генов, кодирующих основные мышечные белки, маркеры атрофии и транскрипционные факторы. С целью поиска механизмов, ответственных за сохранение нормального состояния мышц, были определены сигнальные пути, обогащенные дифференциально экспрессируемыми генами.

Исходя из полученных данных, следует, что сони обладают молекулярными механизмами, которые направлены на предотвращение или снижение развития атрофических изменений в мышцах не только во время зимней спячки, но и при ограничении подвижности животного, не находящегося в состоянии гибернации. Очевидно, что в регуляцию процесса поддержания мышечного гомеостаза вовлечены транскрипционные факторы, а также сигнальные пути, связанные с деградацией/синтезом белка, ростом и пролиферацией клеток. Глубокое изучение этих механизмов и сравнение ответов на иммобилизацию у гибернирующих животных с остальными млекопитающими позволят определить стратегии, применимые для человека.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ЯФ_а No14-04-92116 и Государственной программы повышения конкурентоспособности К(П)ФУ.

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ КЛЕТОК IN VITRO, ПРОВЕДЕННЫЙ В ХОДЕ ПОЛЕТА БИОЛОГИЧЕСКОГО СПУТНИКА «ФОТОН-М» № 4

Гальчук С.В., Григорьева О.В., Рудимов Е.Г., Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE MULTIPLE PARAMETER FLUORESCENCE ANALYSIS OF THE CONDITION IMMUNOCOMPETENT CELLS IN VITRO WHICH IS CARRIED OUT DURING FLIGHT OF THE BIOLOGICAL SATELLITE «FOTON-M» № 4

Galchuk S.V., Grigorieva O.V., Rudimov E.G., Buravkova L.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Многочисленные исследования эффектов микрогравитации на клеточном уровне показали, что условно их можно разделить на две группы. К первой группе относятся быстрые ответы клетки, связанные с ремоделированием цитоскелета, быстрым изменением мембранных процессов и др. Ко второй группе обычно относят отсроченные реакции, выражающиеся в изменении синтеза и или модификации отдельных белков и факторов транскрипции, а так же во вторичных изменениях клеточного цикла и регуляторных контуров, включающих внутриклеточные посредники. Большинство данных полетных экспериментов, проведенных на беспилотных космических аппаратах «Бион» и «Фотон», а также на международной космической станции (МКС) в рамках как отечественных, так и зарубежных научных программ с использованием клеточных культур, позволяют осуществить только послеполетный анализ возвращаемого биологического материала. Так как за редким исключением не представляется возможным регистрация каких либо клеточных параметров в течение длительного периода времени в динамике.

Таким образом, эффекты микрогравитации и других факторов космического полета (ФКП) на уровне клетки и внутриклеточных систем относящиеся к первой группе, мало изучены в силу технической сложности реализации космических экспериментов (КЭ), направленных на исследование быстрых эффектов влияния ФКП на клетки. А исследования, направленные на изучение эффектов второй группы, явно нуждаются в дополнительной информации о предшествующих внутриклеточных процессах для более полного причинно-следственного анализа работы механизмов, лежащих в основе клеточных эффектов второй группы. Необходимо также отметить, что выбор параметра клетки или внутриклеточной системы или структуры, изучаемой в КЭ, во многом продиктован тем, к какой группе ожидаемых эффектов микрогравитации будут относиться получаемые в ходе эксперимента данные, вследствие чего выбираемые параметры часто являются крайне специфичными не только для конкретных клеточных систем, но и типов клеток, так как исследователи стараются подобрать параметры, которые наиболее чувствительны к влиянию ФКП в соответствующей группе реакций клетки. Летных экспериментов, в которых исследовалось бы влияние ФКП на внутриклеточные параметры, не специфичные для определенных клеточных структур, а характеризующие общее функциональное состояние клетки, крайне малочисленны. А эксперименты, в которых интегральные клеточные параметры исследовались бы в динамике на протяжении всего космического полета (КП) и вовсе редки.

В космическом эксперименте «Флуотрек», успешно реализованном на борту беспилотного космического аппарата (КА) «Фотон-М» № 4 исследовалось влияние ФКП и температуры на такие интегральные параметры клеточных систем, как внутриклеточный pH и митохондриальный мембранный потенциал, методом зондовой флуориметрии. В качестве объекта исследований использовалась суспензионная культура лимфоцитов, выделенных из периферической крови человека непосредственно перед проведением эксперимента. Регистрация параметров, в том числе технических, проводилась в течение всего эксперимента, включая все фазы КП, с интервалом в 5 мин между циклами измерений.

Для проведения КЭ была разработана научная аппаратура (НА) «Флюор-П», представляющая из себя малогабаритный, многоканальный, автономный флуориметр, с программируемым алгоритмом работы. В пылевлагозащищенном корпусе аппаратуры располагается 8 измерительных блоков, элементы автономного питания и плата управления. Каждый измерительный блок состоит из защитного экрана и измерительной ячейки с герметичным кюветным отделением. Каждая измерительная ячейка имеет два оптических канала измерения флуоресцентного сигнала,

с соответствующими спектральными характеристиками, один оптический канал возбуждения флуоресценции, один термодатчик и комплект электронных плат коммутации и управления. Так же НА «Флюор-П» оснащена трехосевым абсолютным акселерометром для качественного контроля гравитационных нагрузок и энергонезависимыми модулями памяти, для хранения данных эксперимента. Четыре измерительных блока аппаратуры были настроены для измерения внутриклеточного pH с использованием флуоресцентного зонда SNARF, а оставшиеся четыре блока для измерения митохондриального мембранного потенциала с использованием флуоресцентного зонда JC-1. Две кюветы с биологическим материалом, флуоресцентными зондами не окрашивались, располагались в разнотипных измерительных блоках и использовались в эксперименте в качестве летного контроля.

Выделение лимфоцитов и заправка НА биологическим материалом проводилась непосредственно на техническом комплексе (ТК) за 72 ч до старта. После установки в НА элементов питания и кювет с биоматериалом в кюветные отделения измерительных ячеек, аппаратура средствами программно-математического обеспечения (ПМО) активировалась и переводилась в автономный режим измерений, летный и наземный образец аппаратуры. После посадки КА оборудование передавалось представителю постановщика КЭ на месте посадки, а после доставки аппаратуры в лабораторию проводился съем данных из энергонезависимой памяти прибора и анализ возвращенного биологического материала.

Продолжительность КЭ - временной интервал работы прибора с момента активации до момента съема информации из энергонезависимой памяти прибора составил 49 сут 2 ч 22 мин, из них 45,5 сут в условиях микрогравитации. Циклограмма КЭ выполнена в полном объеме. Нештатных ситуаций в работе аппаратуры не выявлено, биологический материал возвращен в сохранности.

За время эксперимента НА было произведено 11 678 циклов измерений. В каждом цикле прибор проводит измерения 31-го параметра, т.е. весь объем данных, собранных прибором за время КЭ, равен 362 018 измерений. Такой же объем данных получен в синхронном эксперименте. В связи с большим объемом данных и сложностью проведения сравнительного параметрического анализа, нами было разработано программно-математическое обеспечение для анализа данных КЭ.

Результаты исследования полученного биологического материала показали, что на 49-е сутки с момента выделения лимфоцитов в суспензии сохранялось 26 % жизнеспособных клеток. Клетки, окрашенные флуоресцентными зондами JC-1 и SNARF, имели жизнеспособность 6 % и 20 % соответственно. Также следует отметить, что 50 % клеток сохранили окраску зондом.

Результаты анализа собранных прибором данных выявили активное повышение внутриклеточного pH наиболее выражено в первые две недели эксперимента, в последующий период времени изменения направленности (характера), кривой не происходит. Снижение мембранного митохондриального потенциала происходит на протяжении всего времени эксперимента без существенного изменения кинетики процесса.

Температура экспозиции клеток в условиях КЭ влияет как на внутриклеточный pH, так и на мембранный митохондриальный потенциал, однако не определяет основной динамики и направленности процессов изменения этих параметров. Влияние температуры на мембранный митохондриальный потенциал значительно менее выражено, чем на внутриклеточный pH.

Работа выполнена в рамках договора между ГНЦ РФ – ИМБП РАН и ЦСКБ «Прогресс».

СЛУХОВОЕ ВОСПРИЯТИЕ ДВИЖЕНИЯ ВО ВРЕМЯ И ПОСЛЕ ПАССИВНОГО ВРАЩЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Гвоздева А.П.¹, Пименова В.М.², Андреева И.Г.¹, Голованова Л.Е.²

¹ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург

² Сурдологическое отделение СПб ГБУЗ "Городской гериатрический центр", Санкт-Петербург

AUDITORY MOTION PERCEPTION DURING AND AFTER PASSIVE WHOLE-BODY YAW ROTATION

Gvozdeva A.P.¹, Pimenova V.M.², Andreeva I.G.¹, Golovanova L.E.²

¹ I.M. Sechenov institute of evolutionary physiology and biochemistry of the RAS, St. Petersburg

² Saint-Petersburg city geriatric center, audiology department, St. Petersburg

Человек способен успешно ориентироваться в пространстве и адекватно оценивать положение и движение окружающих объектов в процессе собственного активного или пассивного перемещения, что обеспечивается посредством взаимодействия афферентаций разных модальностей. Понимание механизмов, лежащих в основе таких взаимодействий, имеет не только теоретическое, но и прикладное значение, так как способствует предотвращению ситуаций, в которых операторам транспортных средств необходимо принимать решения в условиях сенсорной перегрузки. Одним из наиболее часто встречающихся сенсорных воздействий для операторов являются пассивные линейные и угловые ускорения, вызванные движением транспортного средства, и являющиеся адекватными

стимулами для вестибулярного аппарата. Известно, что действие таких вестибулярных стимулов может изменять оценку положения неподвижных звуковых источников (Lewald J., Karnath H., 2001, 2002). Оказывает ли пассивное вращение влияние на слуховое восприятие движущихся источников – неизвестно. Целью данной работы стало выявление влияния пассивного вращения в горизонтальной плоскости на слуховое восприятие движущихся по азимутальной координате звуковых образов.

В психоакустических экспериментах приняли участие пятеро взрослых испытуемых без слуховой и вестибулярной патологии. Эксперименты проводили на базе Сурдологического отделения Городского гериатрического медико-социального центра в специально оборудованном для исследования вестибулярной функции кабинете, оснащенный вращающимся креслом Nydiag 200 с программным компьютерным управлением. Вращение испытуемого осуществляли в горизонтальной плоскости со скоростью 180 град/с в течение 60 с при вертикальном положении спинки кресла. Звуковые стимулы предъявляли испытуемым с помощью беспроводных головных телефонов. Иллюзии движения звукового источника от средней линии головы влево или вправо создавали увеличением амплитуды сигнала в одном из наушников при постоянстве амплитуды в другом наушнике. Восприятие испытуемыми звуковых стимулов оценивали с использованием методики двухальтернативного вынужденного выбора, с вариантами ответов «влево» или «вправо». Ответы регистрировали в периоды времени до (первый контроль), во время вращения, в течение 60 секунд после вращения, затем во время вращения в обратную сторону и в течение 60 секунд после него, а также через две минуты после вращения (второй контроль). Выбор первого направления вращения чередовали. Во время всего эксперимента на испытуемых были надеты очки, обеспечивающие полное затемнение, и, таким образом, исключают влияние фиксации взора на результаты эксперимента. В периоды во время и сразу после вращения с помощью ИК-камер, встроенных в очки, регистрировали видеонистагмограмму испытуемого. Оценка полученных данных показала, что изменения восприятия направления движения звуковых образов по сравнению с контролем происходили как во время, так и после вращения в обоих направлениях. Направление этих изменений зависело от направления вращения. Во время вращения в первые 20 секунд, когда у испытуемых наблюдался нистагм, оценка движения изменялась по сравнению с первым контролем. Коррекция оценок движения происходила в сторону, противоположную направлению вращения. И в последующие 40 секунд вращения оценки движения звукового образа отличались от контроля, но теперь в сторону, совпадающую с направлением вращения. Последствие регистрировали в течение 60 с: сразу после вращения в течение первых 20 секунд, когда наблюдался постнистагм, выявлялось изменение восприятия движения тестовых стимулов в сторону, совпадающую с направлением вращения. В следующие 40 секунд – изменения восприятия наблюдались в противоположном направлении. Выявленные эффекты были сильнее выражены для вращения в правую сторону.

Таким образом, при пассивном вращении в горизонтальной плоскости наблюдали изменения восприятия звуковых образов, движущихся по азимутальной координате. Эти изменения в оценке движения развивались в две фазы, причем первая фаза сопровождалась сохранением вращательного нистагма, что указывает на мультимодальную природу обнаруженных явлений. Во второй фазе, которая характеризовалась отсутствием вращательного нистагма, изменения слухового восприятия были противоположны по направлению изменениям в первой фазе. После вращения наблюдали аналогичный двухфазный процесс.

ВЛИЯНИЕ ОПОРНО-ПРОПРЕОЦЕПТИВНОЙ ДЕПРИВАЦИИ И ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗРИТЕЛЬНО-МАНУАЛЬНОГО СЛЕЖЕНИЯ

Глухих Д.О., Корнилова Л.Н., Наумов И.А., Хабарова Е.В., Екимовский Г.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE EFFECTS OF SUPPORT-PROPRIOCEPTIVE DEPRIVATION AND CONDITIONS OF LONG-TERM SPACEFLIGHT ON VISUAL MANUAL TRACKING

Glukhikh D.O., Kornilova L.N., Naumov I.A., Khabarova E.V., Ekimovskiy G.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В ходе пред- и послеполетных обследований 14 российских членов экипажей длительных экспедиций на МКС, находившихся в полете в течение 159–195 сут, а также обследования 30 испытателей модельного эксперимента «сухая горизонтальная иммерсия», длительностью 5–7 сут (до, во время и после эксперимента), были проведены исследования характеристик зрительно-мануального слежения (ЗМС).

Глазодвигательные реакции регистрировались методом электроокулографии, а движение руки с помощью джойстика с использованием биологической зрительной обратной связи – один из двух стимулов на экране отражал текущий угол наклона джойстика. Обследование проводилось с помощью компьютерных стимуляционных программ, предъявляемых обследуемому на экране монитора АПК «СенсоМотор» (плавное линейное и маятниковое перемещение точечной мишени с частотой 0,16 Гц в вертикальном и горизонтальном направлениях). Оценивались латентные и

общие времена реакции, амплитудные и скоростные показатели следящих движений глаз (ЗС) и руки (МС), коэффициенты эффективности (Кэ)-отношение амплитуд движений глаз/руки к амплитуде перемещения стимула и коэффициенты усиления (Ку)-отношение скоростей движений глаз/руки к скорости движения зрительных стимулов.

У космонавтов перед полетом исследования проводились за 30–60 сут, после полета на 1-(2), 4-(5) и 8-(9)-е сутки, у испытуемых эксперимента, дважды в фоне за 3–7 сут, на 1-е 3-е и 5–6-е сутки пребывания в ванне и на 1-е, 3-4-е, 5–6-е сутки после завершения иммерсионного воздействия.

Согласно полученным результатам при оценке показателей ЗМС следует, что невесомость влияет не только на характеристики следящих движений глаз, о чем свидетельствуют увеличение латентного времени реакции, изменение точности и скорости слежения за зрительным стимулом в тестах на плавное слежение, но также изменяет и точность важного показателя операторской деятельности – мануального слежения. В период реадaptации латентное время и общее время реакции руки при слежении за стимулом увеличено, пиковая скорость и КэМС достоверно снижены. Полагаем, что зарегистрированные изменения в показателях МС у космонавтов после длительного пребывания в условиях невесомости могут привести и к ухудшению операторской деятельности космонавтов.

Если сравнивать поведение следящей функции глаз и руки во время адаптации к земной силе тяжести после длительного пребывания в условиях невесомости, можно сделать вывод, что точность выполнения задачи слежения рукой за стимулом выше, чем у глаз. К +8(9) суткам реадaptации, показатели зрительно-мануального слежения практически приходят в норму, приближаясь к фоновым.

Что касается испытуемых модельного эксперимента, то здесь КэЗС был достоверно снижен по сравнению с фоном в течение всех суток пребывания в иммерсии и вплоть до 4-х суток после иммерсии, а КэМС был достоверно снижен только на 1-е и 3-и сутки иммерсии. КуЗС достоверно отличался от фона только на 3-и и 6-е сутки иммерсии и на 1-е, 3-4-е сутки после выхода из иммерсионной ванны. Достоверных изменений КуМС в ходе эксперимента не наблюдалось. Это означает, что и в эксперименте «сухая горизонтальная иммерсия» слежение рукой точнее, чем слежение глазами.

Сопоставление результатов, полученных у космонавтов после длительного космического полета, с результатами иммерсионного эксперимента, показало схожесть характера изменений исследуемых показателей ЗМС, что свидетельствует о достаточной адекватности иммерсионной модели.

ЗАДЕРЖКА УГЛЕКИСЛОТЫ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИЗОЛИРУЮЩЕГО СНАРЯЖЕНИЯ

Гончаров А.О.¹, Шулагин Ю.А.¹, Дьяченко А.И.^{1, 2, 3}, Ермолаев Е.С.¹, Солдатов П.Э.¹, Суворов А.В.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва

³ Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана

STUDY OF CARBON DIOXIDE RETAIN DURING RESPIRATION WITH SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS

Goncharov A.O.¹, Shulagin Y.A.¹, Dyachenko A.I.^{1, 2, 3}, Ermolaev E.S.¹, Soldatov P.E.¹, Suvorov A.V.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Prokhorov General Physics Institute Russian Academy of Sciences

³ Bauman Moscow State Technical University

При увеличении механической нагрузки на дыхание, например, при дополнительном сопротивлении, снижается вентиляционный ответ дыхательного центра на рост содержания углекислого газа во вдыхаемом воздухе. При этом начинается задержка CO_2 в организме, проявляющаяся в росте его парциального давления в выдыхаемом воздухе ($P_{\text{ET}}\text{CO}_2$). Дыхание в изолирующем снаряжении, в частности, в шахтных самоспасателях сопровождается в определенной степени ростом нагрузки на дыхание и задержкой $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$. Вместе с тем, можно ожидать, что задержка $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ будет связана и с индивидуальной вентиляторной чувствительностью к CO_2 . Однако в литературе отсутствуют прямые данные о связи индивидуальной задержки $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ при дыхании в самоспасателях с индивидуальной вентиляторной чувствительностью к CO_2 .

Целью нашего исследования была экспериментальная проверка гипотезы о связи индивидуальной задержки $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ и индивидуальной вентиляторной чувствительностью к CO_2 .

Материалы и методы. В проведенных исследованиях с применением шахтных самоспасателей приняли участие 9 практически здоровых мужчин в возрасте от 22 до 45 лет, подписавших Информированное согласие. Предварительно вся Программа исследований была одобрена биоэтической комиссией ИМБП, протокол № 395 от 27 мая 2015 г.

Эксперимент включал 5 серий исследований: 1) дыхание медицинским кислородом в покое в течение одного часа (серия S1), 2) дыхание в изолирующем шахтном самоспасателе (ИШС) в покое в течение 2 ч (серия S2), 3) дыхание в ИШС при выполнении средней физической нагрузки в течение 1 ч (серия S3), 4) дыхание в ИШС при выполнении

тяжелой физической нагрузки вплоть до достижения предельных концентраций CO_2 во вдыхаемом из аппарата воздухе в течение 30 мин (серия S4), 5) контрольная серия – дыхание без аппарата ИШС при выполнении тяжелой физической нагрузки в течение 30 мин (серия S5). В сериях S3, S4, S5 исследования выполнялись на бегущей дорожке (H/P/Cosmos mercury, производство фирмы H/P/Cosmos Sports & Medical GMBH, Германия). При средней физической нагрузке угол наклона дорожки равнялся нулю, скорость 4,7 км/час. При тяжелой нагрузке угол и скорость соответственно были равны 10 град и 3 км/час. Основными действующими факторами в сериях S2, S3, S4 было повышенное сопротивление дыханию ИШС и дыхание гипероксическими газовыми смесями. При этом содержание кислорода было равно в среднем 70 %. В серии S4 сумма амплитуд колебаний ротового давления на вдохе и выдохе, отражающего уровень сопротивления дыханию, достигала 20 см вод.ст.

В исследованиях использовали «Монитор прикроватный реаниматолога и анестезиолога переносный МПР 6-03 15», Комплектация РЗ» («Тритон», Россия), с помощью которого проба воздуха непрерывно отбирается из загубника на анализаторы O_2 и CO_2 с одновременной регистрацией частоты, глубины и минутной вентиляции легких, а также целого комплекса других параметров (оксигенация артериальной крови, определяемая по пульсограмме, сопротивление дыханию, определяемое по колебаниям ротового давления и скорости потока воздуха, а также температура тела и вдыхаемого газа), необходимых для оценки дыхания.

Дополнительно у каждого добровольца оценивали прирост легочной вентиляции в ответ на возрастающее CO_2 в стандартном тесте с возвратным дыханием в гипероксической газовой смеси. Ответ дыхательного центра оценивали в единицах отношения прироста вентиляции легких к приросту парциального давления CO_2 в конечной порции выдыхаемого воздуха ($S_V = \Delta \dot{V} / \Delta P_{ET}CO_2$). В этом исследовании использовали ранее разработанный нами АПК «Хемосенс» (патент RU 2550127 С1 опубликован: 10.05.2015 Бюл. № 13).

Результаты. Вентиляционная чувствительность - S_V к CO_2 , в среднем, составила $2,00 \pm 0,85$ л/мин/мм рт.ст.

Величины $P_{ET}CO_2$ в сериях соответственно составили: в S1, на 50-й минуте $-34,1 \pm 2,4$ мм рт.ст.; в S2, на 50-й минуте $-37,6 \pm 2,8$ мм рт.ст.; в S3, на 50-й минуте $-42,0 \pm 4,7$ мм Hg; в S4, на 20–22-й минутах $-47,8 \pm 4,0$ мм рт.ст.; в S5 на 20–22-й мин $-45,3 \pm 4,0$ мм рт.ст.

Проведенный корреляционный анализ связи индивидуальных величин уровня $P_{ET}CO_2$ в указанных выше измерениях и вентиляционной чувствительности S_V к CO_2 позволил выявить наличие отрицательной корреляции S_V и $P_{ET}CO_2$, которая составила $-0,59$, $-0,75$ и $-0,62$ в сериях S3, S4, S5 соответственно.

Различия в $P_{ET}CO_2$ в сериях S4 и S5, оцененные по парному критерию Стьюдента, были достоверными ($p < 0,005$). Разность $P_{ET}CO_2$ в сериях S4 и S5 составила $2,5 \pm 1,5$ мм рт.ст. Одновременно имела место отрицательная корреляция между S_V и разностью $P_{ET}CO_2$ в сериях S4 и S5, составившая $-0,5$.

Обсуждение. Таким образом, в проведенных экспериментах была установлена отрицательная корреляция между $P_{ET}CO_2$ и вентиляционной хемочувствительностью при различных уровнях физической нагрузки как при дополнительном сопротивлении дыханию, так и без него. При увеличении мощности физической нагрузки отмечено усиление связи хемочувствительности и уровня $P_{ET}CO_2$. Можно сказать, что задержка CO_2 при выполнении физической работы в изолирующем снаряжении тем больше, чем меньше вентиляционная хемочувствительность у человека. Сравнительный анализ $P_{ET}CO_2$ в сериях S4 и S5 показал, что применение аппарата достоверно увеличивает задержку углекислого газа, при этом, приростом $P_{ET}CO_2$ составил в среднем $2,5 \pm 1,5$ мм рт.ст.

Заключение. Задержка CO_2 в организме при выполнении физической работы в самоспасателях изолирующего типа тем больше, чем ниже индивидуальная хемочувствительность дыхательного центра к углекислоте, оцениваемая по вентиляционному ответу.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК НА ИСХОДНЫЕ И ФГА-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ЛИМФОЦИТЫ ПРИ ПОНИЖЕННОМ СОДЕРЖАНИИ КИСЛОРОДА

Горностаева А.Н., Бобылева П.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EFFECT OF MMSCS ON THE INITIAL AND PHA-STIMULATED LYMPHOCYTES UNDER LOW OXYGEN CONDITION

Gornostaeva A.N., Bobyleva P.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (ММСК) в организме выполняют стромаобразующую, репаративную функцию, участвуют в модуляции воспаления. В связи с этим они обладают рядом уникальных свойств: *in vitro* показана их высокая пролиферативная и паракринная активность, способность к мультилинейной дифференцировке, низкая иммуногенность и иммуномодуляторные свойства. Способность ММСК подавлять индуцированный иммунный ответ изучена достаточно подробно, гораздо меньше информации об их взаимодействии с нестимулированными иммунными клетками. Данные о влиянии на ММСК на иммунные клетки в условиях пониженного содержания кислорода практически отсутствуют, так как исследования иммуномодуляторных свойств ММСК ведутся при атмосферном

уровне кислорода. Однако известно, что уровень O_2 в нише стромальных предшественников гораздо ниже (1–5 %). Содержание кислорода – важный фактор микроокружения, который изменяет функциональное состояние ММСК: их способность к дифференцировке, продукцию паракринных факторов, и взаимодействие с другими клетками.

Мы сравнили эффекты ММСК на исходные и стимулированные лимфоциты при атмосферной и пониженной концентрации кислорода (5 %). Кроме того, мы оценили вклад паракринных факторов в реализацию межклеточного взаимодействия. ММСК из жировой ткани человека сокультивировали 72 ч с исходными и стимулированными фитогемагглютинином (ФГА) лимфоцитами в течение 72 ч при 20 или 5 % O_2 . Для исключения клеточных контактов использовали полупроницаемую мембрану трансвелл. После взаимодействия методом проточной цитофлуориметрии определяли: жизнеспособность, раннюю (CD69) и позднюю (HLA-DR) активацию, пролиферацию (внутриклеточный краситель CFSE), уровень активных форм кислорода (АФК, зонд H_2DCFDA) и активность митохондрий (MitoTracker Red FM) лимфоцитов. В качестве контроля использовали монокультуру лимфоцитов.

При 20 % O_2 в контактном взаимодействии ММСК эффективно подавляли пролиферацию и позднюю активацию (снижение в 1,5 раза) стимулированных лимфоцитов и не вызывали иммунный ответ исходных. Однако они провоцировали раннюю активацию: доля CD69+клеток возрастала в 2 раза у ФГА-активированных (с 30 до 60 %) и в 4 раза у неактивированных (с 6 до 25 %). У ФГА-лимфоцитов после взаимодействия происходило небольшое, но достоверное снижение трансмембранного потенциала митохондрий (в 1,3 раза), а у нестимулированных лимфоцитов потенциал не изменялся. Уровень АФК при взаимодействии с ММСК увеличивался у стимулированных (в 1,5 раза) и, напротив, снижался у исходных (в 1,4 раза). При этом ММСК не оказывали воздействия на жизнеспособность ФГА-активированных и поддерживали выживаемость нестимулированных лимфоцитов на монослое: доля некротических клеток уменьшалась в три, а апоптотических – в два раза.

В отсутствии прямых контактов, при паракринном взаимодействии, некоторые эффекты ослаблялись: была менее выражена стимуляция ранней активации, МСК не поддерживали жизнеспособность лимфоцитов.

Пониженное содержание кислорода модифицировало воздействие ММСК: ослабевала стимуляция ранней активации, было более выражено снижение уровня АФК. Происходило усиление подавления пролиферации стимулированных лимфоцитов, но только при контактном взаимодействии.

Из полученных данных следует, что реализация свойств ММСК зависит от многих факторов – для более выраженного их проявления необходим прямой клеточный контакт, эффекты могут усиливаться при пониженном содержании кислорода. Также ответ ММСК зависит от того, в каком состоянии находятся лимфоциты. При сокультивировании с нестимулированными аллогенными клетками ММСК склонны выполнять поддерживающую функцию – о чем свидетельствует снижение уровня АФК и увеличение жизнеспособности. При взаимодействии со стимулированными лимфоцитами явно задействованы другие механизмы, поскольку ответ смещен в сторону супрессии, не происходит увеличения жизнеспособности, а уровень АФК даже увеличивается. Вероятно, большое влияние здесь оказывают растворимые факторы, выделяемые активированными лимфоцитами, смещающие ответ ММСК от поддерживающей функции в сторону иммуномодуляторной. Таким образом, можно заключить, что ММСК весьма чувствительны к микроокружению, концентрации кислорода, наличию контактирующих с ними клеток и присутствию растворимых факторов в среде. Это необходимо учитывать при планировании экспериментов *in vitro*, чтобы получить максимально приближенный к условиям *in vivo* результат.

Работа выполнена при поддержке Стипендии Президента РФ СП-3502.2015.4 и Программы Президиума РАН «Механизмы интеграции молекулярных систем при реализации физиологических функций. Интеграция регуляторных влияний в обеспечение функций организма».

ВОЗМОЖНОСТИ НАУЧНОГО ЛЕЧЕБНО-РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЦЕНТРА В ЛЫТКИНОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ

Гречко А.В., Авдюнина И.А.

Госпиталь для incurable больных – Научный лечебно-реабилитационный центр, Лыткино, Московская область

THE POTENTIAL OF THE RESEARCH CENTER OF TREATMENT AND REHABILITATION IN LYTKINO IN DEVELOPMENT OF THE BIOMEDICAL SUPPORT SYSTEM IN THE PREPARATION AND IMPLEMENTATION MAN-RATE SPACE FLIGHTS

Grechko A.V., Avdynina I.A.

Hospital for incurable patients – Research Center of Treatment and Rehabilitation, Lytkino, Moscow Region

Научный лечебно-реабилитационный центр в Лыткино был создан решением Правительства Российской Федерации по инициативе выдающегося российского нейрохирурга, академика РАН А.Н. Коновалова, Министерства здравоохранения Российской Федерации (при поддержке Министра здравоохранения Российской Федерации, чл.-корр. РАН, д.м.н., проф. В.И. Скворцовой), Российской академии медицинских наук (при поддержке академика РАН И.И. Дедова, академика РАН В.И. Стародубова).

Научный лечебно-реабилитационный центр в Лыткино предназначен решать научные, лечебные, организационные и методические проблемы реабилитационной помощи пациентам на разных этапах посткоматозного периода после тяжелых повреждений головного мозга (ОНМК, ЧМТ, после нейрохирургических вмешательств и др.) с дыхательной недостаточностью и дисфагией, требующих длительного протезирования функции дыхания и глотания.

В настоящее время проводится интеграция центра с НИИ общей реаниматологии и санаторием «Узкое». После окончания процесса интеграции Центр будет называться ФГБНУ «Федеральный научный клинический центр реаниматологии и реабилитологии».

Научный лечебно-реабилитационный центр в Лыткино готов участвовать в реализации следующих пунктов программ совершенствования систем медико-биологического обеспечения полетов:

1. Разработка современной бытовой диагностической аппаратуры, повышающей надежность и достоверность оценки функционального состояния космонавтов
2. Разработка новых лекарственных препаратов, медицинских изделий и медицинских упаковок для диагностики, оказания неотложной медицинской помощи и коррекции функционального состояния в условиях космического полета
3. Разработка новых порядков и программ послеполетного медицинского обследования и послеполетной реабилитации космонавтов
4. Определение структуры и особенностей развития и течения патологических процессов и нарушений работоспособности в условиях длительного действия факторов межпланетных полетов и в условиях нахождения на планетарных базах и разработка соответствующих программ профилактики, протоколов лечения заболеваний и коррекции нарушений функционального состояния, характерных для условий межпланетного полета и нахождения на планетарных базах
5. В создании единого межведомственного распределенного научно-исследовательского комплекса для проведения научно-прикладных медико-биологических исследований в области космической медицины с учетом тенденций развития пилотируемой космонавтики, а также межведомственного аналитического центра трансфера технологий и инноваций в области космической медицины в практическое здравоохранение
6. В изучении интеграции метаболизма человека с метаболизмом его микробиоты в процессе и после космического полета
7. В исследовании влияния характера питания, состояния моторики ЖКТ космонавта на жизнедеятельность его микробиоты и гомеостаза
8. В разработке технологий метаболической и нутритивной реабилитации.

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «ФЛЮОР-К» НА БОРТУ МКС

Григорьева О.В., Гальчук С.В., Ратушный А.Ю., Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

STUDYING THE FUNCTIONAL STATE OF HUMAN IMMUNE CELLS USING SCIENTIFIC EQUIPMENT «FLUOR-K» ON BOARD THE ISS.

Grigorieva O.V., Galchuk S.V., Ratushnyy A. Yu., Buravkova L.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В настоящее время накоплено большое число экспериментальных данных, выполненных на различных типах клеток человека и животных, доказывающих, что условия космического полета вызывают как структурные изменения, так и изменения функциональной активности клеток. В частности, изучение влияния микрогравитации на культуры иммунокомпетентных клеток выявило снижение пролиферативной активности клеток в условиях невесомости и снижение способности клеточных культур к активации. Однако большинство исследований заключалось в послеполетном анализе биоматериала, возвращаемого после проведения экспериментов в условиях реального космического полета. Для непрерывной регистрации изменений, происходящих в клетках в условиях микрогравитации в ГНЦ РФ – ИМБП РАН была разработана научная аппаратура «Флюор-К» для космического эксперимента «Биосигнал», целью которого являлось исследование динамики изменения состояния системы внутриклеточной pH-регуляции при действии факторов космического полета. Прибор «Флюор-К» представляет собой малогабаритный автономный многоканальный флуориметр с программируемым алгоритмом работы.

В КЭ «Биосигнал» объектом исследований служила суспензионная культура лимфоцитов человека, выделенных из периферической крови непосредственно перед проведением КЭ.

В задачи КЭ «Биосигнал» входило:

- оценить работоспособность прибора и программного обеспечения в условиях космического полета, а также длительность автономного энергообеспечения;
- получить экспериментальные данные, отражающие динамику внутриклеточного pH на различных этапах космического полета;

- проанализировать влияния температурного режима как модулирующего фактора на внутриклеточный pH в условиях микрогравитации;

- изучить исследуемые параметры при длительных и кратковременных экспозициях прибора на борту МКС.

Во время наземной подготовки КЭ проводилось выделение лимфоцитов из периферической крови донора, окраска клеток флуоресцентными зондами, а также определение жизнеспособности и субпопуляционного состава суспензии лимфоцитов. В космическом эксперименте осуществлялась оценка влияния микрогравитации и других ФКП на систему внутриклеточной pH-регуляции лимфоцитов человека с помощью метода флуоресцентных зондов. Протекание эксперимента контролировалось по двум параметрам: интенсивность флуоресценции объектов и температура, значения зарегистрированных параметров сохранялись в собственной энергонезависимой памяти прибора «Флюор-К». После космического полета полученный биоматериал анализировался с помощью проточной цитофлуориметрии, световой и флуоресцентной микроскопии, а культуральная среда исследовалась на наличие в ней интерлейкинов иммуноферментным анализом.

В настоящий момент проведено 5 сеансов полетного эксперимента на РС МКС длительностью от 12 до 111 сут, выполненных российскими космонавтами во время работы экипажей МКС 39/40 – МКС 45/46.

Результаты исследования жизнеспособности клеток в 5 экспедициях показали, что после выделения из периферической крови в суспензии находилось 95–99 % жизнеспособных клеток. На 2–6-е сутки после выделения, то есть на момент проведения термостатирования при 29 °С в холодильнике «КРИОГЕМ» на борту МКС жизнеспособность лимфоцитов составляла 79–92 %. После завершения эксперимента, максимально на 111-е сутки после выделения, в суспензии оставалось не более 5–7 % жизнеспособных клеток. Данные были подтверждены на флуоресцентном микроскопе с использованием красителя ФДА. Субпопуляционный состав лимфоцитов изучался до проведения эксперимента в условиях микрогравитации, так как после завершения эксперимента и возвращения аппаратуры биоматериала (жизнеспособных клеток) было недостаточно для проведения такого анализа. Было показано, что субпопуляционный состав лимфоцитов находился в пределах физиологической нормы у всех доноров, клетки которых использовались в эксперименте. По поводу содержания интерлейкинов в культуральной среде после завершения эксперимента можно отметить, что в полетных пробах было снижено содержание IL-6 (в 10 раз по сравнению с наземным синхронным экспериментом), IL-4 (в 5 раз), IL-2 (в 5 раз), IFN-γ (в 2 раза).

По результатам предварительного анализа экспериментальных данных можно отметить, что наблюдается выраженное повышение внутриклеточного pH в первые 5–6 сут. В последующие 30 сут уровень pH существенно не изменяется, имея небольшую тенденцию к снижению, однако после 35–40 сут КЭ происходит постепенное повышение значения параметра, превышающее к концу эксперимента уровень первого месяца полета почти вдвое. Также наблюдается флуктуационная зависимость pH от температуры, не влияющая на общий характер динамики параметра.

Таким образом, в ходе проведения эксперимента «Биосигнал» в условиях реального космического полета было показано, что в подобранных нами условиях (состав культуральной среды, концентрация клеток и зонда, интегральная доза облучения и пр.) в биоматериале могут сохраняться жизнеспособные клетки, даже при длительных периодах экспозиции (до 111 сут), а разработанный прибор «Флюор-К» показал свою надежность и работоспособность при выполнении поставленных в эксперименте задач на всех этапах космического полета.

Результаты данного эксперимента могут быть использованы для планирования и проведения в дальнейшем новых космических экспериментов с исследованием более широкого набора клеточных культур человека и животных, а также других параметров функционального состояния клеток, которые можно проанализировать с помощью различных флуоресцентных зондов.

Работа выполнена в рамках договора между ГНЦ РФ – ИМБП РАН и ЦНИИмаш.

ВИДОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ В СПОСОБНОСТЯХ ГЕККОНОВ АДАПТИРОВАТЬСЯ К УСЛОВИЯМ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРБИТАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА БИОСПУТНИКАХ «БИОН-М1» И «ФОТОН-М4»

Гулимова В.И.¹, Барабанов В.М.¹, Бердиев Р.К.², Прошина А.Е.¹, Харламова А.С.¹, Савельев С.В.¹

¹ НИИ морфологии человека, Москва

² Учебно-научный центр реабилитации диких животных биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

SPECIES DIFFERENCES IN THE ABILITY OF GECKOS TO ADAPT TO THE CONDITIONS OF LONG-TERM ORBITAL EXPERIMENT ONBOARD «BION-M1» AND «FOTON-M4» BIOSATELLITES

Gulimova V.I.¹, Barabanov V.M.¹, Berdiev R.K.², Proschina A.E.¹, Kharlamova A.S.¹, Saveliev S.V.¹

¹ Research Institute of Human Morphology, Moscow

² Research and educational center for wild animal rehabilitation, Faculty of Biology, M.V.Lomonosov State University

В настоящее время страны, активно ведущие освоение космоса, уделяют большое внимание подготовке и реализации проектов, связанных с продолжительными космическими полетами (КП). Для их осуществления необходима

исчерпывающая информация о длительном влиянии факторов КП на организм позвоночных. В то же время, исследования поведения животных в невесомости остаются малочисленными в силу технических ограничений. Поведение гекконов в условиях продолжительного орбитального эксперимента на непилотируемом космическом аппарате (далее НКА) представляет интерес, поскольку эти животные благодаря способности прикрепляться к поверхностям, сохраняют нормальную локомоцию, и в значительной степени – типы поведенческой активности, характерные для них в наземных условиях.

Мы исследовали поведение взрослых половозрелых гекконов двух видов: ночных хрящепалых гекконов (*Chondrodactylus turneri* Gray, 1864; далее - ХГ) и дневных фельзум украшенных (*Phelsuma ornata* Gray, 1825; далее - ФУ) в ходе экспериментов на НКА «БИОН-М1» (19 апреля – 19 мая 2013 г.) и «ФОТОН-М4» (19 июля – 1 сентября 2014 г.). Для НКА «БИОН-М1» продолжительность полета - 30 сут, количество животных в полетной группе 15 (по 5 в каждом блоке исследования и обеспечения содержания, далее – БИОС), пол – самки. Средняя температура в полетных БИОСах +21,1 °С, на зонах обогрева (далее – ЗО) +31–32 °С днем (ночью ЗО не функционировали). Влажность – 52–64 %, освещенность – 485 лк днем и 7,7 лк ночью, среднее парциальное давление O₂ – 163,2; CO₂ – 0,01 мм рт. ст. Корм – живые личинки мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), количество кормушек – 10, циклограмма кормления: со дня старта кормушка открывалась через два дня на третий, 1 раз в сут на 4 ч. Поилка отсутствовала. Видеозапись: 1–4-е сутки полета – непрерывно. 5–30-е сутки полета – 6 включений в сут продолжительностью по 2 ч каждое с 2-часовым интервалом. Все полетные ХГ вернулись живыми. Для НКА «ФОТОН-М4» продолжительность полета – 44,5 сут, количество животных в полетной группе 5 (1 БИОС), пол – 4 самки, 1 самец. Средняя температура в полетных БИОСах +19,0 °С, на ЗО +32 °С днем и +26 °С ночью. Влажность в среднем 40,3 %, освещенность – 300 лк днем и 3–8 лк ночью, среднее парциальное давление O₂ – 135,1; CO₂ – 2,1 мм рт. ст. Корм – пастообразный, количество кормушек – 20, циклограмма кормления: со дня старта каждая кормушка открывается 2 дня подряд с 11.00 до 17.00. 3-й день – нет кормления, 4-й день и далее – повторение цикла. Циклограмма подачи воды: ежедневно с 11.00 до 23.00 каждые 3 ч по 0.3 мл. Видеозапись: до старта – около 21 ч непрерывно. После старта – первые 2-е суток непрерывно. Далее до посадки - в течение первого часа из каждых 3. Все ФУ из полетной группы погибли до завершения эксперимента. В каждом опыте для сравнения использованы видеозаписи поведения животных из группы отложенного синхронного контроля (ОСК), которые содержались в условиях, аналогичных полетным.

На возникновение невесомости оба вида одинаково быстро реагируют прикреплением: ХГ – в течение 21 с (данные эксперимента на НКА «ФОТОН-М3»), ФУ – 23 с. В невесомости для ХГ и ФУ характерна неодинаковая способность прикрепления к различным поверхностям. Наилучшей была адгезия к дубовым укрытиям, чуть хуже – к оргалиту. Максимум затруднений вызывало прикрепление к текстолиту пола и перемещения по нему. Однако ХГ за время полета научились это делать достаточно успешно, иногда придерживаясь одной из лап за оргалит стенок. Оба вида в полете почти не используют расположенные на текстолитовом полу ЗО, но ХГ делают это чаще и успешней: для ФУ за время видеорегистрации в невесомости выявлен только один случай кратковременного нахождения самки № 5 на ЗО, тогда как в предстартовый день и в ОСК гекконы регулярно грелись. У ФУ перемещения по текстолиту наблюдались крайне редко, и были характерны в основном для самца. Общая активность, выражающаяся в количестве перемещений, была у ФУ значительно ниже, чем у ХГ. ФУ подолгу оставались почти неподвижными (одна из самок – около 9 сут), для ХГ максимальное зафиксированное время неподвижности составило около 4 сут. Ни ФУ, ни ХГ в невесомости не использовали бег, перемещались в основном шагом, реже – прыжками. И если у ХГ в начале полета прыжки часто были неудачными, с последующим срывом во флотацию, то ФУ начинают успешно прыгать сразу, по-видимому, не испытывая пространственной дезориентации (первый такой прыжок отмечен через 23 с после наступления невесомости).

Большую часть полета оба вида гекконов провели в прикрепленном положении, однако иногда возникали флотации, составляющие по времени около 1 % от всей продолжительности видеозаписи. Для обоих видов характерны были флотации с попытками перемещения, однако у ФУ в 1-й день полета они наблюдались значительно чаще, чем у ХГ. Дальнейшее уменьшение количества таких флотаций у ФУ лишь в небольшой степени обусловлено адаптацией: скорее, его причина в том, что ФУ, за исключением самца, очень редко перемещались. Заметным отличием ХГ от ФУ является возникновение уже через несколько сут после начала полета способности к управляемым флотациям. ФУ, как правило, флотировали хаотично, совершая резкие круговые движения хвостом и вращаясь в разных плоскостях. Еще одна особенность флотаций ФУ – запрокидывание головы и принятие или сохранение характерной для обоих видов при флотировании «позы парашютиста» («skydiving posture») в неподходящий момент, т.е. в отсутствие причин для начала флотации, или при возможности прикрепиться и уже возникшую флотацию прекратить. ХГ оказались способны сохранять спокойствие во время флотации, осматриваться, выбирая место для приземления, после чего, изгибая туловище, хвост и совершая характерные гребные движения лапами, приближаться к намеченному участку и прикрепляться к нему. В то же время, только для ХГ были отмечены частичные открепления лап от субстрата и продолжительные флотации во сне, при которых геккон флотирует, оставаясь неподвижным, в той позе, из которой перешел во флотацию, и только после пробуждения начинает делать активные попытки прикрепиться. Поскольку в невесомости у ХГ была в большей степени сохранена естественная поведенческая активность, для них были характерны такие флотации, при которых геккон, будучи вовлечен в линьку, исследовательское, пищевое или агрессивное поведение, «забывает» о необходимости фиксироваться и открепляется от субстрата.

Важно отметить, что, несмотря на невесомость, гекконы обоих видов в состоянии покоя, при перемещениях и выходе из флотаций обычно были ориентированы так же, как и в контроле (спиной к потолку БИОСа), что можно объяснить наличием памяти и/или влиянием освещения. У части ФУ в полете наблюдалось питьевое поведение (8 успешных подходов к поилке у самца и только один у одной из самок, при том, что в ОСК и самец, и самки регулярно пили. Собственно пищевого поведения у ФУ в поле те мы не наблюдали, отмечено 2 подхода самца к кормушке, во время которых он ничего не ел; для самок подходы на видеозаписи не зафиксированы. В то же время, в кишечнике всех пятерых полетных ФУ найдено содержимое, позволяющее предположить, что они ели, но крайне редко, при этом нормальное пищеварение было невозможно из-за низкой температуры. В отличие от них, ХГ достаточно часто и эффективно охотились на ползающих мучных червей (съедены около 70 %), и только у одного ХГ отмечены две попытки (из них одна успешная) захватить и съесть флотирующего мучного червя.

У 4 из 5 ХГ в одном из контейнеров было обнаружено объектное игровое поведение по отношению к ошейнику, снятому одним из гекконов [подробно описано, Varabanov et al., 2015]. Исследовательское поведение по отношению к флотирующим объектам (корму, экскрементам, линным шкуркам и другим гекконам), отмечено как у ХГ, так и у ФУ. У последних оно наблюдалось гораздо реже, что можно объяснить как меньшей адаптированностью гекконов к невесомости, так и объективными причинами: более низкая температура в БИОСе и значительно меньшее, чем у ХГ, количество флотирующих объектов (не было ни мучных червей, ни линных шкурок). Линька в поле те наблюдалась только у ХГ (успешно перелиняли 9 из 15 полетных гекконов, в ОСК – все). Ни одна из ФУ не перелиняла за время полета (в ОСК – все), хотя на теле погибших полетных гекконов были видны признаки начала линьки.

В полете ХГ значительно чаще, чем ФУ демонстрировали социальное поведение: тактильные контакты, совместное расположение на укрытиях, проявления агрессии. В то же время, у ФУ отмечено несколько эпизодов полового поведения: вылизывание клоаки самцом, тактильные контакты и попытки садки на одну из самок (без копуляции). По-видимому, слабая выраженность полового поведения ФУ в полете связана с низкой температурой и недостаточной адаптацией к невесомости, хотя возможны и другие причины, поскольку в ОСК, где все ФУ регулярно ели, пили и пользовались зонами обогрева, половое поведение также не наблюдалось. Возможно, это связано с тем, что из-за неоднократных переносов времени старта к началу эксперимента сезон размножения у ФУ почти закончился.

Следует подчеркнуть индивидуальную вариабельность поведения у ХГ и ФУ как в полете, так и в контроле, при том, что в полетном эксперименте индивидуальные различия, например – способность к игре у некоторых ХГ или к адаптации у самца ФУ были более выражены. При сравнительном анализе полученных результатов нельзя забывать, что ФУ в ходе эксперимента объективно находились в худших условиях, чем ХГ, поскольку температура и парциальное давление кислорода на КА «ФОТОН-М4» были ниже, а парциальное давление углекислого газа – выше, чем на КА «БИОН-М1». Однако в целом по описанным поведенческим проявлениям можно заключить, что способности этих видов адаптироваться к продолжительному пребыванию в невесомости различны и лучше выражены у ХГ, чем у ФУ. С одной стороны, это обусловлено большей выносливостью ХГ, с другой, на наш взгляд, огромное значение имели функциональные особенности нервной системы ХГ, нуждающиеся в дальнейшем исследовании; прежде всего – ее способность компенсировать некорректную информацию, поступающую от вестибулярного анализатора, тактильными и зрительными сигналами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-04-00815).

КРАТКОВРЕМЕННАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СХОДНОГО С МАРСИАНСКИМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МИКРОЦИРКУЛЯЦИЮ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА

Гурфинкель Ю.И.^{1,2}, Васин А.Л.¹, Саримов Р.М.³, Бреус Т.К.², Сасонко М.Л.¹

¹ Научный клинический центр ОАО «РЖД», Москва

² Институт космических исследований РАН, Москва

³ Институт общей физики РАН, Москва

SHORT-TERM EXPOSURE MAGNETIC FIELD THAT IS SIMILAR TO THE MARTIAN AND ITS IMPACT ON HUMAN MICROCIRCULATION AND CARDIOVASCULAR SYSTEM

Gurfinkel Yu.I.^{1,2}, Vasin A.L.¹, Sarimov R.M.³, Breus T.K.², Sasonko M.L.¹

¹ Research Clinical Center of JSC «Russian Railways», Moscow

² Space Research Institute, RAS, Moscow

³ Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow

Магнитное поле Земли за небольшими исключениями в среднем составляет $5 \cdot 10^4$ нТ. Отправляясь в дальние космические экспедиции, человеку неизбежно придётся столкнуться с магнитными полями, не превышающими нескольких нанотесл как во время межпланетного полета, так и в период пребывания на поверхности Марса. Как поведет себя организм человека, его сердечно-сосудистая система и система микроциркуляции в этих условиях на сегодняшний день неизвестно.

Цель исследования: оценка влияния моделированных гипомагнитных условий приближенных к нулю на показатели капиллярного кровотока, артериального давления и длительности кардиоинтервалов у здоровых добровольцев двух разных возрастных групп.

Испытуемые добровольцы (32 человека без признаков сердечно-сосудистой патологии, средний возраст $44,7 \pm 17,6$ лет) были разделены на две возрастные группы. В первую группу вошли 15 человек до 39 лет включительно (средний возраст $28,4 \pm 5,9$), из них 8 мужчин и 7 женщин, во вторую 17 человек от 40 лет и старше (средний возраст $59,1 \pm 10,0$), из них 12 мужчин и 5 женщин. Перед началом исследования каждому добровольцу была представлена информация о сути эксперимента. Однако сведения о начале экспозиции в гипомагнитном поле или мнимой экспозиции испытуемым не сообщали с тем, чтобы эти сведения не могли сказаться на результатах.

Устройство для моделирования магнитных полей «Арфа» было создано совместно с сотрудниками Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Устройство «Арфа» позволяет в течение нескольких часов обеспечивать как стабильный уровень магнитного поля (МП), составляющий на широте Москвы ($55^{\circ}45'07''$ с.ш., $37^{\circ}36'56''$ в.д.), примерно 48 мкТл, так и компенсацию геомагнитного поля (гипомагнитные условия – ГМУ). Нулевой уровень МП поддерживался с точностью ± 10 нТл по оси системы. Рабочий объем устройства экранирован от статического и низкочастотного электрического поля. Экран выполнен в виде натянутой параллельными рядами металлической изолированной проволоки с шагом 3 см.

Запись значений магнитного поля внутри системы «Арфа» осуществлялась при помощи трехкомпонентного датчика, расположенного за спинкой кресла в области плечевого пояса испытуемого. Регистрация МП по трем компонентам проводилась непрерывно с частотой 1 кГц, с записью измерений в соответствующий текстовый файл. Также осуществлялась запись средних значений магнитного поля за 1 секунду. Для контроля физиологических параметров и минимизации влияния измерений на ход исследования нами были выбраны неинвазивные, т.е. неповреждающие методики, включающие мониторинг частоты сердечных сокращений, цифровую капилляроскопию, исследование скорости распространения пульсовой волны, определение значений функции эндотелия, измерение в автоматическом режиме артериального давления и пульса.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: у здоровых людей без сердечно-сосудистой патологии воздействие, оказываемое гипомагнитными условиями, проявляется в выраженной реакции увеличения скорости капиллярного кровотока с последующим возвращением к исходному уровню. ГМУ значительно уменьшают частоту сердечных сокращений к исходу 60 минут экспонирования. Результаты исследования также показывают достоверное снижение диастолического артериального давления ко времени окончания экспозиции по отношению к середине экспозиции. После прекращения экспонирования в гипомагнитных условиях, артериальное давление (САД и ДАД) повышается, а частота сердечных сокращений увеличивается до исходного уровня.

По сравнению с фоновой экспозицией, в гипомагнитных условиях среднее значение скорости капиллярного кровотока в целом у испытуемых увеличивается на 17%, а средняя длительность кардиоинтервалов увеличивается на 88,7 %.

Полученные результаты относятся всего лишь к краткому воздействию магнитного поля близкого к нулю. Однако не исключено, что в условиях пилотируемых межпланетных полетов, при длительном воздействии гипомагнитных полей, изменение показателей сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции может оказать существенное влияние на общее самочувствие и работоспособность космонавтов.

ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО СНАРЯЖЕНИЯ С СИСТЕМОЙ АКТИВНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

Гуськов С.Г.¹, Гуськов Г.С.¹, Дворников М.В.¹, Дворников С.М.¹, Матюшев Т.В.¹, Меденков А.А.²

¹ Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики)

² Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил МО РФ, Москва

PHYSIOLOGICAL-HYGIENIC AND ERGONOMIC PROBLEMS OF EFFECTIVE USE OF PROTECTIVE EQUIPMENT, ACTIVE THERMAL CONTROL

Guskov S.G.¹, Guskov G.S.¹, Dvornikov M.V.¹, Dvornikov S.M.¹, Matyushev T.V.¹, Medenkov A.A.²

¹ Scientific Research and Testing Center of Aerospace medicine and military ergonomics

² Central Scientific Research Institute of Military Air Forces, MD RF, Moscow

Специфика деятельности лиц опасных профессий (космонавтов, летного состава, пожарных, спасателей, подводников, водолазов и др.) требует обязательного применения защитного снаряжения (ЗС) от экстремальных факторов труда, защитные возможности которого могут в значительной степени снижаться в неблагоприятных климатических условиях выполнения профессиональных обязанностей. Для минимизации отягочающего эффекта снаряжения на тепловое состояние и качество деятельности человека-оператора широко применяются системы активного и пассивного терморегулирования. Однако более чем полувековой опыт их эксплуатации в экстремальных ситуациях свидетельствует о том, что полностью устранить многочисленные претензии пользователей к защитным, физиолого-гигиеническим и эргономическим характеристикам такого рода средств защиты в полном объеме не удается.

Анализ и обобщение накопленного опыта в разработке и испытаниях средств защиты, а также участия в психофизиологической подготовке и обучении навыкам пользования ими позволил выявить целый комплекс противоречий, минимизация которых представляет собой сложную медико-техническую и физиолого-гигиеническую проблему, решение которой возможно только на основе эргономических подходов. Большими потенциальными возможностями повысить эффективность и качество ЗС лиц опасных профессий обладают два направления.

Во-первых, следует пересмотреть отношение к специальному снаряжению лиц опасных профессий, которое по своей сути является не средством защиты в традиционном понимании, а становится обязательным элементом сложной человеко-машинной системы, назначение которой обеспечить полноту, качество и безопасность реализации поставленной задачи и выполняет функцию управления состоянием человека-оператора, вынужденного работать в экстремальных условиях. Действительно, любая защита предусматривает обязательное уменьшение энергетического воздействия неблагоприятного или опасного фактора, а существующие ЗС предназначены для поддержания функционального состояния человека-оператора, адекватного условиям деятельности. Современное ЗС лиц опасных профессий не только многофункционально, но оно еще выполняет роль «протезирования» отсутствующих или недостаточно развитых функций, необходимых человеку, работающему в непривычных экстремальных условиях. Следовательно, специальное снаряжение становится элементом сложной эргономической системы, а у человека-оператора – важнейшего звена такой системы появляются дополнительные функции – контроля своего состояния, текущего режима функционирования средств защиты и своевременной коррекции режимов работы и самого себя и своего снаряжения. К сожалению, в инструкциях персоналу, работающему в экстремальных условиях, сведений о возможности и необходимости таких манипуляций очень мало. Недостаточно информации о защитных принципах средств защиты и рациональных способах контроля и управления. Это может быть причиной недоверия работающего к снаряжению, а также к сомнению в собственной готовности к работе в сверх экстремальных условиях.

Признав справедливость такой оценки роли и места ЗС в деятельности человека-оператора, мы обязаны уточнить эргономические требования как к снаряжению, так и к алгоритму деятельности человека-оператора. Ограниченные возможности ЗС становятся важным источником информации для принятия решений по модернизации снаряжения, разработке систем информационной поддержки, рационального перераспределения режимов управления между человеком и автоматикой, внедрения методов психофизиологической подготовки операторов.

Во-вторых, решая проблему оптимизации защитного снаряжения необходимо учитывать сложные и противоречивые требования к физиолого-гигиеническим характеристикам ЗС, средствам оптимизации параметрами микроклимата в пододежном пространстве. Хорошо известно, что защитные и эргономические характеристики различных видов ЗС зависят от теплового состояния пользователя, от уровня его энергопродукции, которая может быстро колебаться в диапазоне 1,5–3-кратного изменения по сравнению с покоем, а также от внешних климатических условий, которые в экстремальных ситуациях авиационного или космического полета могут меняться в диапазоне от -50 до +50 градусов и более. Это требует обязательного использования в конструкции ЗС систем активного терморегулирования (САР), воздушного, водяного или радиационного типа. Потенциальные защитные возможности САР велики, однако существующие режимы регулирования мощности и вектора тепловых потоков между организмом и внешней средой становятся причиной появления теплового дискомфорта, сенсорного конфликта от противоречивых ощущений и даже фобий. Анализ накопленного опыта использования ЗС с САР показал, что в основе сенсорного конфликта лежат следующие физиологические механизмы. Во-первых, разнонаправленность векторов тепловых потоков в различных областях тела при неравномерных режимах терморегулирования (от интенсивного локального охлаждения на фоне перегрева или в режиме локального обогрева на фоне общего охлаждения), при которых даже в условиях поддержания общего теплового баланса в допустимой физиологической зоне локальный дискомфорт может достигать существенных значений. Во-вторых, следует учитывать специфическое влияние САР на участки пододеж-

ного пространства с неравномерным увлажнением белья, при котором разнонаправленность тепловых потоков через сухие и увлажненные соседние участки вызывает рефлекторный сенсорный конфликт и выраженный дискомфорт. В-третьих, САР способны существенно изменять структуру отдачи эндогенного и экзогенного тепла по основным каналам теплоотдачи кондукцией, конвекцией, радиацией и испарением пота, которая также воспринимается как тепловой дискомфорт. В-четвертых, САР способны влиять на естественный характер теплового поля организма, для которого важное значение приобретает градиент температуры между дистальным и проксимальными отделами тела человека.

Знание указанных особенностей физиологических реакций организма человека-оператора на локальные воздействия систем активного терморегулирования позволяет целенаправленно совершенствовать защитное и специальное снаряжение для лиц опасных профессий. Выявленные закономерности субъективных реакций организма на контрастные тепловые воздействия следует учитывать при формулировании медико-технических требований и к облику самого снаряжения, и к конструкции встроенных элементов САР, и к устройствам управления тепловым состоянием человека в экстремальных ситуациях. Большими потенциальными возможностями будут обладать ЗС, использующие гибридные системы терморегулирования различного типа: кондуктивного (костюмы водяного охлаждения), конвективного (вентилирующее снаряжение), радиационного (электрообогреваемые, электроохлаждаемые и термохимические устройства), а также технологии управления массопереносом влаги в пододежном пространстве за счет оптимизации

режимов испарения пота или временного поглощения его избытка. Но любые средства и технологии потребуют обязательной разработки и внедрения специальных медицинских рекомендаций и систем информационной поддержки работающего в экстремальных условиях.

НОВЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КОНТЕНТ-АНАЛИЗУ ОБЩЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКИПАЖА МКС

Гущин В.И., Юсупова А.К., Швед Д.М., Чекалина А.И., Виноходова А.Г., Шуева Л.В., Карпова О.И., Чернова Е.Г.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

NEW METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ANALYSIS OF ISS CREW COMMUNICATION WITH MCC

Gushin V.I., Yusupova A.K., Shved D.M., Chekalina A.I., Vinokhodova A.G., Shueva L.V., Karpova O.I., Chernova E.G.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Изучение общения космонавтов с Центром управления полетами (ЦУП) является штатной процедурой дистанционного медико-психологического мониторинга космических экипажей. Главной целью этого анализа является получение оперативных диагностических данных о психоневрологическом статусе членов экипажа под влиянием факторов космического полета (КП). Преимуществом метода контент-анализа является проведение мониторинга психоневрологического статуса космонавтов непосредственно в ходе выполнения ими реальной деятельности (важным элементом которой являются переговоры с ЦУП) без использования дополнительного оборудования и затрат времени экипажа.

Методика. Как показывает опыт психоневрологического мониторинга космических экипажей, для решения задач психологического мониторинга наибольшее значение имеет изучение обсуждения экипажем с ЦУП рутинных проблемных ситуаций, периодически возникающих на борту в ходе длительных КП. Анализ переговоров в этих случаях показывает: а) причину возникновения психофизиологической напряженности у космонавтов (тип дефицита ресурсов: инструментальных информационных, психологических); б) особенности взаимодействия в контуре «ЦУП–экипаж»; в) способы преодоления (копинг-стратегии) в проблемных ситуациях, а также г) их сравнительную эффективность для снижения уровня индивидуального стресса и решения проблем. Поэтому анализ содержания (контента) проблемных ситуаций мы считаем ключевым и наиболее значимым для решения задач исследования особенностей коммуникации экипажа с ЦУП. Разрабатывая новые методологические подходы к содержательному анализу общения космонавтов, мы отталкивались от классических работ Р.Лазаруса, указавшего, что в результате преодоления стрессовых ситуаций вырабатываются копинг-стратегии (способы преодоления) – эмоциональные, мотивационно-волевые, когнитивные и поведенческие конструкции, которые человек актуализирует для адаптации к трудовым ситуациям. При анализе общения в проблемной ситуации нами применяется хронологический подход, то есть, обсуждение проблемы рассматривалось в динамике, от момента ее возникновения до ее разрешения. Соответственно, мы рассматриваем содержание общения от момента детекции ошибки (кто обнаружил?), через стадию принятия ответственности за проблемную ситуацию (кто принял ответственность?) до момента собственно разрешения проблемной ситуации и связанных с этим усилий (кто исправил?).

Все высказывания в ходе переговоров классифицировались с позиций используемых стратегий преодоления стресса (тип копинга). При этом мы, как и давно использующая копинг-подход к анализу общения астронавтов группа Зюдфелда П. (2003), подразделяем копинг-стратегии на проблемно-ориентированные, направленные либо на разрешение проблемы, либо дистанцирование субъекта от стрессора (проблемы), а также на эмоционально-ориентированные, направленные на то, чтобы сделать проблему менее психологически болезненной, более переносимой. К первой группе относятся стратегии: а) планового разрешения проблем; б) инициативы, в) подчинения (выполнения указаний), а также расцениваемые нами как негативные: г) ухода от проблем или избегания; д) конфронтации (дискуссии, несогласия, отказа от решения). К эмоционально-ориентированным стратегиям относятся позитивные стратегии: е) самоконтроля, ж) принятия ответственности, з) поиска поддержки; и) позитивной переоценки, а также негативные стратегии: к) эмоционального дистанцирования, л) игнорирования серьезности проблемы. Склонность к применению тех или иных стратегий совладания во многом зависит от личностных особенностей индивида.

Задачей анализирующего общения эксперта является выделение семантических признаков использования вышеописанных копинг-стратегий. Следует подчеркнуть, что описанный подход используется при анализе сообщений 3 групп коммуникаторов: экипажа, группы операторов ЦУП и группы специалистов Земли. Выделение в общающихся с космонавтами на Земле подгрупп «операторы ЦУП» и «специалисты» обусловлено различием функций этих коммуникантов. Группа ЦУП, исходя из возложенных на нее руководством полета обязанностей, управляет процессами на МКС, сфокусирована на распределении информационных потоков в контуре «борт–Земля» (отправка и получение радиogramм и устных сообщений, распространение их содержания между космонавтами, специалистами и руководством

полета, коммутация специалиста с членом экипажа). Кроме того, она также осуществляет нормирование и контроль исполнения (квитанции) их содержания. Группа специалистов осуществляет непосредственную информационную поддержку выполнения операций полетной программы. При этом обе группы, будучи вовлечены в общение, выполняют, по Ломову Б.Ф. (1981), не только собственно обмен информацией (информационно-коммуникативная функция), но и делятся своими эмоциями (аффективно-коммуникативная функция), а также исполняют в отношении экипажа определенную социальную роль (регуляционно-коммуникативная функция).

Заключение. Мы предполагаем, что новые методологические подходы позволят расширить прогностические возможности полетного психологического мониторинга экипажей МКС, а сделанные на основе анализа результатов практические рекомендации будут способствовать улучшению эффективности обмена информацией и качества психологической поддержки в ходе коммуникаций экипажа с ЦУП.

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В РОССИИ И США

Гущин В.И.¹, Binsted K.², Дёмин Е.П.¹, Комиссарова Д.В.¹, Балаковский М.С.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Университет Гавайи в Маное, Гонолулу

EXPERIENCE AND PERSPECTIVES OF MODEL ISOLATION STUDIES IN RUSSIA AND IN THE USA

Gushin V.I.¹, Binsted K.², Demin E.P.¹, Komissarova D.V.¹, Belakovskiy M.S.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² University of Hawai'i at Manoa, Honolulu

Решение проблемы медико-биологического обеспечения длительной пилотируемой экспедиции является новым, перспективным направлением. Важнейшим условием для изучения и решения этой проблемы является организация и проведение наземных экспериментальных исследований в условиях изоляции с участием испытуемых-добровольцев. Глубинное комплексное изучение особенностей медико-биологического и психофизиологического реагирования организма на длительное воздействие космических факторов риска в условиях реального космического полета затруднено. Это обусловлено дефицитом времени на проведение исследований, ограничениями по массе и габаритам, затрудняющим доставку на борт необходимой для исследований аппаратуры и оборудования. Преимуществами наземных моделей космического полета следует считать: 1. возможность использования на Земле более широкого, ввиду существующих на борту ограничений по массе и габаритам, спектра научной аппаратуры и оборудования; 2. большая по сравнению с реальным полетом статистическая выборка; 3. возможность предварительной отработки новых методов, аппаратуры и оборудования.

В СССР в 60-90е годы было проведено множество модельных экспериментальных исследований в условиях изоляции. Условно их можно подразделить на: а) исследования, являющиеся контролем к конкретному реальному полету (например, HUBES-94); б) эксперименты по углубленному изучению одного из новых факторов космического полета (SFINCSS-99 был посвящен комплексному анализу гетерогенности состава экипажа по гендерному и национальному признакам); в) исследования, моделирующие новый тип космических экспедиций (например, МАРС-500); г) технологические испытания перспективных систем жизнеобеспечения. Большинство этих экспериментов было организовано на базе Наземного Экспериментального Комплекса (НЭК) Института медико-биологических проблем. Продолжительность изоляции составляла от 7 до 365 сут. Количество участников, как правило, не превышало 3–6 человек.

Среди исследований, проведенных в 60-е годы, выделяется наиболее длительный до начала проекта «Марс-500» годовой эксперимент, который назывался «Год в земном звездолете», проведенный с участием 3-х испытуемых с ноября 1967 года по ноябрь 1968 года. Он проводился в рамках советской марсианской программы и был направлен на изучение факторов сверхдлительного пребывания экипажа в условиях искусственной среды обитания и ограниченного объема. В результате него были получены многочисленные факты о влиянии длительного пребывания небольшой группы людей в замкнутых условиях, выявлены случаи конфликта в экипаже, повлекшего за собой повышенную психическую напряженность в группе, а также проблемы с лидерством.

В 1993 г. было принято совместное решение ЕКА и ИМБП о проведении в Институте медико-биологических проблем на базе НЭК модельного эксперимента HUBES-94 (Human Behaviour in Extended Spaceflight). В результате эксперимента был приобретен опыт, связанный с современной технологией постановки совместных международных исследований, обработки и анализа данных, а также широким использованием компьютерной аппаратуры и современных средств связи.

В период с 1995 г. по 1999 г. в ИМБП был проведен ряд международных изоляционных экспериментов (HUBES, ЭКОПСИ-95, SFINCSS-99), основной целью которых являлось исследование роли биологических объектов, в частности, растений в формировании замкнутой среды обитания. Результаты проведенных международных экспериментов имели большое практическое значение для совершенствования медицинского и психологического обеспечения долговременных пилотируемых полетов на космических станциях.

Целью проводимого РОСКОСМОСом и реализованного в 2010-11 гг. ИМБП РАН эксперимента «Марс-500» являлось изучение взаимодействия в контуре «человек – окружающая среда» и получение экспериментальных данных о состоянии здоровья и работоспособности человека, находящегося в условиях изоляции в герметично замкнутом пространстве ограниченного объема при моделировании основных отличий и ограничений, присущих автономному марсианскому полету. В рамках проекта «Марс-500» экипажи выполняли интенсивную научную программу, составленную Российской академией наук, Европейским космическим агентством и NSBRI (США), включающую более ста экспериментов, в том числе, специализированных, включал ряд экспериментов, имитирующих те или иные аспекты предполагаемого пилотируемого полета на Марс.

Серия экспериментов проекта реализовывалась в 3 этапа: 1) 14-суточная изоляция (окончена в ноябре 2007 г.); 2) 105-суточная изоляция (окончена в июле 2009 г.); 3) 520-суточная изоляция (окончена в ноябре 2011 г.). На каждом этапе участвовали группы испытуемых, состоящие из 6 человек. Первая группа смешанная – 5 мужчин и одна женщина, вторая и третья группы, состоящие только из мужчин. Следует отметить, что отработанная на первом и втором этапах эксперимента «Марс-500» система психологического отбора доказала свою эффективность на третьем этапе. Третий экипаж испытуемых при 520-суточной изоляции прошел эксперимент как хорошо сработавшая группа. Не возникло конфликтных ситуаций, тем более, требующих вмешательства наземных служб.

28 октября 2015 года в ИМБП стартовал эксперимент «Комплексная оценка психофизиологического статуса женского экипажа во время краткосрочной изоляции в гермообъекте, в рамках моделирования лунной экспедиции». Эксперимент включал в себя подготовительный этап, 2 серии вращения на ЦКР и две изоляции (3 и 8 сут). Испытуемые – 6 здоровых женщин добровольцев в возрасте от 22 до 45 лет. В рамках изоляционного эксперимента были созданы две нештатные ситуации, с которыми может столкнуться предполагаемый лунный экспедиционный корабль. Обе нештатные ситуации экипаж преодолел успешно. Все задачи, поставленные в рамках проекта, были выполнены в полном объеме.

Первые аналоговые изоляционные эксперименты в США начались в связи с подготовкой к полётам на Луну в 60-х годах 20-го века. Экспериментальной площадкой являлись Гавайи. Однако больше внимания в этих экспериментах уделялось подготовке космонавтов к управлению луноходами на поверхности, имитирующей поверхность Луны. В 2000 году была построена Арктическая база FMARS. Она находится на острове Девон в канадской Арктике. Первый эксперимент на базе состоялся в 2001 году: шесть экипажей от пяти до семи человек заселили станцию и начали работу. Всего с 2002 по 2013 годы на станции побывало 13 экипажей. Большинство миссий включали в себя изоляцию в течение 2-3 недель, однако некоторые по продолжительности были дольше, в том числе и 4-х месячная миссия в 2007 году, в которой принимал участие один из авторов, доктор К. Бинстед.

Основным спонсором практических всех миссий являлось марсианское сообщество, кроме того осуществлялась поддержка отдельных миссий NASA, CSA, а также различными американскими и канадскими университетами. Целями миссий являлись: 1. Работа (в том числе и в космических костюмах) в условиях с максимально приближенными к марсианским ограничениями; 2. Отработка методов сбора марсианского грунта на поверхности и на глубине; 3. Оценка когнитивных функций во время изоляции, продолжительностью до 19 дней (миссия 2003 года); 4. Методы изучения флоры и фауны в условиях имитации работы на другой планете; 5. Ряд микробиологических, технических и геологических экспериментов; 6. Отработка методов переработки воды в условиях имитации полёта к Луне/Марсу; 7. Изучение особенностей сна и бодрствования во время длительного аналогового изоляционного эксперимента и др.

Станция MDRS – Марсианская исследовательская станция в пустыне – была построена в начале 2000-х при поддержке Марсианского общества и расположена в пустынной области рядом с Ханксвиллем, Юта. Она используется для краткосрочной изоляции небольшими группами и проведения научных исследований. В состав комплекса входит здание, служащее базой на марсианской поверхности, оранжерея, обсерватория, а также небольшие наземные модули. Марсианское сообщество недавно объявило о начале проекта Марс 160: двух 80-ти дневных изоляционных экспериментов (один и тот же экипаж в обоих этапах). Первый этап начнётся осенью 2016 года и будет проходить на базе MDRS, а второй – летом 2017 и будет проводиться на станции FMARS.

Ещё одна площадка для проведения изоляционных исследований – Гавайская станция для космических аналоговых исследований HI-SEAS. Она расположена в уединении в центре острова Биг Айленд, Гавайи, заказчиком всех исследований выступает NASA. Особенности экспериментов на базе HI-SEAS являются: 1. Выбор экипажа осуществляется с максимальным учётом требований исследования; 2. Условия пребывания максимально приближены к условиям длительного полёта (жилой модуль, условия связи, миссии и др.); 3. Проведение экспериментов на площадке возможно круглогодично и позволяет проводить длительные миссии; 4. Ландшафт похож на марсианскую поверхность и может использоваться для исследований по работе на поверхности планеты. Первый эксперимент на базе HI-SEAS стартовал 13 августа 2013 года и продолжался 4 месяца, его целью было изучение психологических аспектов взаимодействия экипажа, а также особенностей питания. В рамках эксперимента проводилось несколько сеансов внекорабельной деятельности, которые члены экипажа проводили в специальных скафандрах. К настоящему времени на базе HI-SEAS проведено три эксперимента (2 миссии по 4 месяца и 1 – 8 месяцев), в настоящее время на базе проводится годовой эксперимент, который закончится в августе 2016 года. Следующей фазой эксперимента,

которая начнётся в январе 2017 года, будут две восьмимесячные миссии, в которых внимание учёных будет сфокусировано не на изучении сплочённости и работоспособности экипажа, а на выборе оптимального его состава.

В настоящее время в ГНЦ РФ-ИМБП РАН начаты работы по подготовке и проведению серии международных экспериментов по изоляции для решения психологических и физиологических проблем длительных космических полетов. В рамках проекта, который планируется реализовать с 2017 по 2021 гг., будут проведены нескольких изоляционных исследований с увеличивающейся продолжительностью пребывания испытуемых в гермообъекте. На каждом этапе эксперимента предполагается создание гендерно-смешанных экипажей международного состава. Целью планируемых изоляционных исследований является моделирование значимых событий в ходе длительного пребывания космонавтов на космической станции и при высадке на планету.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОНИЖЕННОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ГМП, СНИЖЕННОГО В 100 РАЗ, И НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ (50 Гц) НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА (*coturnix coturnix japonica*)

Дадашева О.А.¹, Гурьева Т.С.¹, Ездакова М.И.¹, Спасский А.В.², Лебедев В.М.², Труханов К.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

INFLUENCE OF REDUCED GEOMAGNETIC FIELDS AND COMBINED EFFECT OF THE GEOMAGNETIC FIELD REDUCED TO 100 TIMES AND LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD (50 HZ) ON THE EMBRYOGENESIS OF JAPANESE QUAILS (*COTURNIX COTURNIX JAPONICA*)

Dadasheva O.A.¹, Gurieva T.S.¹, Ezbekova M.I.¹, Spassky A.V.², Lebedev V.M.², Trukhanov K.A.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU), Moscow

В последнее время появляется все больше экспериментальных и теоретических данных, свидетельствующих о важности геомагнитного поля (ГМП) для жизнедеятельности. К настоящему времени получено большое количество данных по влиянию гипомагнитных условий на живые системы. В большинстве своем эти данные свидетельствуют о негативных последствиях для организма. Биофизики и врачи, изучающие физиологические процессы, происходящие под влиянием магнитного поля в организме человека, прежде всего, отмечают воздействия на систему кровообращения, состояние кровеносных сосудов, активность переноса кислорода через кровь к окружающим тканям, транспортировку питательных веществ через полупроницаемые мембраны клеток. Проведен целый ряд работ, посвященных изучению влияния экранирования ГМП на эмбриогенез. В этих исследованиях в качестве объектов выбирались организмы различных таксономических групп, в которых обнаружено патологическое действие ослабленного ГМП на развитие эмбрионов, что свидетельствует о чувствительности зародышей всех видов животных к данному фактору.

Анализ литературы и результаты, полученные в экспериментах по изучению эмбриогенеза японского перепела, развившихся в различных экстремальных условиях среды, позволили рассмотреть вопрос об использовании эмбрионов как объекта оценки биологического воздействия ГМП [Труханов, Гурьева, 2014].

Целью данной работы является исследование влияния различных величин (в 100 и 1000 раз) ослабленного ГМП Земли и сочетанного воздействия ГМП (в 100 раз) и низкочастотного на эмбриональное развитие японского перепела.

Для исследования влияния ГМП на эмбриональное развитие японского перепела использовались установки, представляющие собой системы колец Гельмгольца, способных путем создания магнитного поля, противонаправленное ГМП, обеспечивать различное по величине его ослабление.

Собранные от родительского поголовья перепелиные яйца были распределены на 3 группы и заложены в инкубаторы, расположенные в разных СИСТЕМАХ снижения ГМП. Инкубирование яиц во всех группах проходило с соблюдением режимов: температура + 37,50 ± 0,5 °С, влажности 60–68 %.

В эмбриональном развитии японского перепела можно выделить 4 возрастных критических этапа, которые отличаются не только анатомическими и морфометрическими данными, но особыми формами обмена. В данных экспериментах исследовались 7- и 14-суточные эмбрионы перепела, развившиеся в условиях сниженного МП земли. Для большей достоверности полученных результатов на 7-е сутки выемки яиц, для повторения данного этапа исследований, в те же ячейки были заложены яйца. Длительность эксперимента в целом составила 14 сут.

В норме на 7-е сутки у эмбриона перепела хорошо развита сеть кровеносных сосудов желточного мешка, идущих к зародышу и от зародыша. Наряду с сосудистой системой желточного мешка, в газообмене зародыша начинает участвовать сосудистая система аллантаоиса. Эти два органа выполняют основные жизненные функции эмбриона – питание и дыхание, и их кровеносные сосуды играют основную роль в эмбриональном кровообращении. На 14-е сутки развития зародыш быстро растет и занимает все большее пространство в яйце. С развитием мускулатуры и нервной системы

эмбрион приобретает способность к производным движениям. В результате проведенных экспериментов было установлено, что на 7-е сутки инкубирования в условиях ослабления ГМП в 100 раз 66,7 % эмбрионов были живыми, хотя треть их отставала в развитии. Однако следует отметить, что у всех эмбрионов обнаружены различные патологии, связанные с нарушением сосудистой системы: основные сосуды желточного мешка извилистые, узкие со слабо развитой капиллярной системой. Осмотр эмбриологического материала на 14-е сутки инкубирования показал, что возрасту соответствовали только 60,6 % зародышей, да и те имели изменения, связанные с нарушением развития сосудов. Инкубирование перепелиных яиц в условиях снижения ГМП в 1000 раз показало, что процент живых эмбрионов, соответствующих 7-м суткам инкубирования, составляет 90 % от двух закладок. Эмбрионы по анатомо-морфологическим признакам соответствовали норме развития и контролю, однако у 50 % из них имелись признаки нарушения развития сосудов: ломкость сосудов, выражающаяся в кровоизлияниях в различные части тела (в затылочной области головы и шеи, на коже туловища), а также наличие узких сосудов 1 и 2 порядка желточного мешка.

Таким образом, полученные данные показали, что эмбрионы, развитие которых проходило в условиях сниженного ГМП (в 100 и 1000 раз), имели значительные изменения в образовании кровеносных сосудов, т.е. в нарушении васкулогенеза в желточном мешке и хориоаллантаоисе. Причем, выявлена прямая зависимость между снижением ГМП и числом основных сосудов. Стоит отметить, что уменьшение количества капиллярных ветвей пропорционально снижению уровня ГМП, а именно, максимальное уменьшение общего количества сосудов отмечается в группе, где эмбрионы развивались в условиях снижения ГМП в 1000 раз.

Результаты эксперимента по оценке развития эмбрионов перепела в условиях ГМП, ослабленного в 100 раз, при дополнительном воздействии слабого (0,5 мкТл) низкочастотного магнитного поля (50 Гц), показали, что процент живых эмбрионов в опытной группе, соответствующих 7-м суткам развития, достаточно высокий (75 %). Однако при извлечении опытных эмбрионов из яйца, на теле зародышей обнаружены точечные кровоизлияния из-за разрыва кровеносных сосудов. При анатомо-патологическом вскрытии эмбрионов кровоизлияния были обнаружены и в брюшной полости. По-видимому, это можно объяснить условиями инкубирования яиц и их влиянием на различные системы развивающегося организма, а именно, на изменение скорости кровотока и коллоидно-осмотического давления в капиллярах эмбрионов, это может привести к гипоксии тканей. Такие явления нами были обнаружены у эмбрионов японского перепела, развитие которых проходило в условиях гипоксии. Таким образом, полученные экспериментальные данные по развитию эмбрионов японского перепела в условиях сочетанного воздействия ГМП, и воздействия низкочастотного магнитного поля 50 Гц, выявили усиление эффектов ГМП, СНИЖЕННОГО в 100 раз.

Проведенные эксперименты по оценке влияния ГМП земли на эмбриональное развитие японского перепела позволили сделать следующие выводы:

1. Развитие эмбрионов японского перепела в условиях снижения ГМП в 100 и 1000 раз выявило:
 - угнетение и нарушение ангиогенеза желточного мешка и хориоаллантаоиса у 7- и 14-суточных зародышей,
 - наличие морфологических нарушений головы, глаза и клюва.

2. Результаты развития эмбрионов японского перепела в условиях сочетанного воздействия геомагнитного поля, сниженного в 100 раз, при дополнительном действии СЛАБОГО низкочастотного МАГНИТНОГО поля 50 Гц, на эмбриональное развитие японского перепела выявили усиление эффекта снижения ГМП.

3. Выявлена зависимость между снижением ГМП и уменьшением количества капиллярных ветвей хориоаллантаоиса. Максимальное уменьшение общего количества сосудов отмечается в группе, где эмбрионы развивались в условиях снижения ГМП в 1000 раз.

ВИЗОКОНТРАСТОМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ АДАПТАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТА

Даниличев С.Н.

ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок

VIZOKONTRASTOMETRIY IN AN ASSESSMENT OF ADAPTATION RESERVES OF VISUAL SYSTEM OF THE ASTRONAUT

Danilichev S.N.

Federal State Budgetary Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center»

В современной офтальмоэргономике одним из перспективных методов исследования зрительного анализатора человека является визоконтрастометрия. Широко используются стандартные методы визоконтрастометрии (исследования частотно-контрастных характеристик глаза – ЧКХ) во время профессионального отбора летного состава и лиц, связанных с управлением транспортом (Шелепин Ю.Е., 2008, 2010; Овечкин И.Г., 1990-2003; Коскин С.А., Даниличев В.Ф., 1999, 2009).

Доказана высокая диагностическая ценность визоконтрастометрии в топической диагностике морфофункциональных нарушений зрительной системы (Шамшинова А.М., Зуева М.В., 2012).

В немногочисленных работах сегодня подчеркивается целесообразность оценки функционального состояния зрительного анализатора исходя из возрастных особенностей нейроглии сетчатки, которая, как доказано с помощью когерентной томографии, с возрастом истончается и имеет свой паттерн возрастных изменений нейроглии.

Некоторые авторы (Isas J. M., 2010; Зуева М.В., Цапенко И.В., 2015) подчеркивают крайнюю важность при оценке функционального состояния нейрорецепторного аппарата сетчатки учитывать «возрастную поправку».

Известно, что стрессовый фактор, превалирующий в работе лиц экстремальных профессий, отражается на функциональном состоянии ЦНС и не может не влиять на паттерн возрастных характеристик нейроглии сетчатки.

Исследование адаптационных резервов зрительной системы космонавтов методом визоконтрастометрии требует более совершенного подхода в дифференцированной оценке результатов, что обусловлено, с одной стороны, принципиально новым оценочным подходом с учетом возрастного статуса нейроглии сетчатки, с другой стороны, специфическим влиянием факторов космического полета на ЦНС (Рюмин О.О., 1990; Ginsburg A., Vahderloeg E., 1985), формирующих специфический паттерн изменений функционального состояния зрительного анализатора.

В рамках настоящего исследования проведена сравнительная динамическая оценка функциональной активности зрительного анализатора космонавта методом визоконтрастометрии при нагрузках медико-биологической подготовки и послеполетного действия факторов длительного космического полета. Оценка результатов визоконтрастометрии проводилась с учетом возрастного паттерна морфофункционального состояния фоторецепторного аппарата глаза по данным компьютерной томографии сетчатки.

Было выявлено, что показатели контрастной чувствительности глаза прямо коррелирует с морфофункциональным состоянием нейрорецепторного аппарата глаза по частотам 0,3; 1,0; 4,0 цикл/град.

В первые две недели после длительного космического полета (более 3 месяцев) отмечается снижение контрастной чувствительности в среднем на 40 %, прежде всего на низких пространственных частотах, что, по-видимому, отражает уровень функциональной активности афферентных путей зрительного анализатора, обусловленных последствием повышенного внутричерепного давления.

НОВЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Дворников М.В., Меденков А.А., Нестерович Т.Б.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

A NEW APPROACH TO ENSURE OF EFFICIENCY AND SAFETY OF FLIGHTS

Dvornikov M.V., Medenkov A.A., Nesterovich T.B.

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

Безопасность авиационных и космических полетов (КП) является задачей государственной важности. Уровень безопасности полетов характеризует состояние, научное обеспечение и инновационную направленность развития многих отраслей экономики. Обеспечение безопасности полетов предполагает совершенствование и развитие системы выявления, анализа и учета причин, факторов и обстоятельств, лежащих в основе инцидентов, происшествий и катастроф. Основу этой системы составляют методологические взгляды на пути, методы и средства обеспечения безопасности полетов, определяющие акценты в проведении исследований и соответствующих организационных мероприятий, а также их финансирования и оценки получаемых результатов. Существующие концепции безопасности авиационной и космической деятельности и соответствующие программы обеспечения долгое время базировались на теории надежности техники и вероятностного подхода к выявлению опасных факторов. Это повысило надежность авиационной и космической техники, однако радикально решить проблему обеспечения безопасности полетов не удалось. Дальнейшие усилия, ориентированные на повышение надежности техники и решение организационных вопросов, при практической реализации не обеспечивают достижения ожидаемых результатов. В связи с этим востребован новый теоретический подход к выработке, согласованию и имплементации системы мер по обеспечению эффективности и безопасности полетов. Предложения для учета при выработке такого подхода вытекают из изучения возможностей исключения инцидентов, происшествий, аварий и катастроф и обеспечения безопасности авиационных и КП по 4 основным составляющим функционирования авиационных и космических систем.

Основополагающей их составляющей является авиационная и космическая техника и ее предназначение, определяющее цели и задачи разработки, испытаний и эксплуатации. Надежное и безотказное функционирование техники закладывается специалистами в процессе проектирования, создания, подготовки техники к полету, выполнения и контроля качества регламентных и ремонтных работ. Однако эффективность этих работ во многом зависит от учета при их выполнении человеческого фактора, психофизиологических характеристик и возможностей тех, кому предстоит эксплуатировать авиакосмическую технику. Именно они ответственны за рациональное распределение функций между человеком и техникой (автоматикой), создание системы отображения информации и органов управления, автоматизацию действий и разработку робототехнических устройств, создание

консультативных, экспертных и советующих систем и информационную подготовку решений в интересах повышения безопасности полетов с учетом человеческого фактора, психофизиологических возможностей и характеристик человека. В связи с этим инновационное развитие авиации и космонавтики не представляется возможным без подготовки специалистов аэрокосмической отрасли по вопросам инженерной психологии, психологии труда и эргономики. Подготовка специалистов оборонно-промышленного комплекса по этим вопросам должна быть организована на основе государственного заказа в рамках планов и программ повышения безопасности полетов и конкурентоспособности отечественной авиакосмической техники.

Важнейшей составляющей, определяющей надежность эксплуатации техники, является личный состав (летчики, космонавты, члены экипажей), непосредственно управляющий ею в интересах предназначения. Обеспечение эффективности и надежности его работы предполагает функционирование специальной системы формирования и поддержания психофизиологической надежности профессиональной деятельности. Эта система предусматривает отбор, подготовку, оценку готовности, психологическое обеспечение и восстановление функционального состояния летного состава и космонавтов после полетов. Между тем, каждый этап этой системы нуждается в совершенствовании методологии и повышении эффективности используемых методов, способов и технологий. Профессиональный отбор, нацеленный на результаты обучения и подготовки, не обеспечивает достоверность прогноза профессионального развития и надежности профессиональной деятельности. Показатели психосоматического обследования не коррелируют с показателями эффективности совместной работы в группе, деятельности, в том числе в условиях воздействия стрессовых факторов. На профессиональное развитие влияет много факторов, способствующих или препятствующих становлению и развитию личности. Поэтому обеспечение профессиональной надежности требует целенаправленного формирования и развития профессионально важных качеств и навыков регуляции и самоконтроля действий как условий, обеспечивающих готовность к выполнению своевременных и адекватных действий в различных ситуациях. Для выявления и устранения причин снижения работоспособности и ухудшения функционального состояния летчика и космонавта особое внимание следует уделять соответствию их умственной и физической нагрузки и планируемых условий полета их состоянию здоровья, функциональной готовности и психофизиологическим возможностям, ресурсам и резервам, разработке средств защиты с интерактивными режимами контроля и коррекции измененного состояния. Все это требует проведения исследований, направленных на выявление причин ошибочных и несвоевременных действий летного состава и космонавтов в связи с недостатками эргономического и информационного обеспечения их деятельности и причин ухудшения функционального состояния, снижения работоспособности и устойчивости к действию факторов полета.

Не менее важной составляющей обеспечения безопасности полетов является профессионализм и психофизиологическая надежность лиц, осуществляющих и обеспечивающих управление полетами. Они должны обладать способностью предвидения возможного неблагоприятного развития обстановки и принимать меры по недопущению этого. Функциональное состояние лиц группы руководства или управления полетами нередко не отвечает требованиям для обеспечения их психофизиологической надежности. В связи этим возникают проблемы нормирования их нагрузки, оптимизации режима труда и отдыха, оценки готовности к дежурству и т.д.

Из составляющих надежного функционирования авиационных и космических систем нельзя исключать специалистов, отвечающих за разработку правовых основ производства полетов, организацию и нормирование труда и организующих научное сопровождение создание техники и ее эргономическую экспертизу на этапах испытаний. Ошибочные или несвоевременные действия могут стать следствием упущений в организации полетов, выявлении проблем и реагировании на недостатки, создающие угрозу безопасности полетов. Внимания требуют ошибки, неточности и неоднозначности положений и рекомендаций инструкций и руководств по эксплуатации техники. В настоящее время отсутствует система оценки, экспертизы и контроля качества эксплуатационной нормативно-технической документации, ее изложения простым и понятным языком и представления четкой последовательности и условий выполнения действий в зависимости от ситуации. Это относится и к организации использования информационно-советующих и консультационных систем, и к своевременному информированию о ситуации с предоставлением достаточного времени для анализа и оценки обстановки и выполнения адекватных действий.

В интересах обеспечения безопасности авиакосмических полетов, характеризующихся экстремальными условиями деятельности и повышенными требованиями к психофизиологической надежности экипажей необходимо учитывать следующее:

- успешность и безопасность выполнения полетного задания во многом зависит от состояния и функциональной готовности членов экипажа, их ресурсов и резервов, обеспечивающих переносимость гравитационных воздействий, качивания, вибрации и других факторов;

- профессиональная надежность во многом зависит от ресурсов организма, обеспечивающих адекватность его энергетических потребностей, устойчивость к действию гипоксии или гиперкапнии и адаптацию к измененной газовой среде, и эффективности методов профилактики снижения работоспособности;

- надежность профессиональной деятельности экипажа обеспечивается средствами защиты, отбором, специальной подготовкой и тренировками, повышающими устойчивость организма к действию факторов полета.

В интересах повышения безопасности авиационных и КП необходимо проведение исследований особенностей профессиональной деятельности летного состава и космонавтов в экстремальных условиях и уточнение ранее разработанных рекомендаций, нормативов, показателей и критериев оценки их готовности к полету и соответствия психофизиологических и функциональных возможностей полетному заданию. С учетом выше изложенного новый подход к обеспечению безопасности авиационных и КП должен предусматривать:

- периодическую оценку профессионально важных качеств и функциональной устойчивости организма к воздействию факторов авиационного или КП и проведение тренировок в целях актуализации знаний, навыков и умений для обеспечения психофизиологической надежности в процессе профессиональной деятельности;

- расширение и углубление исследований комплексного влияния факторов профессиональной деятельности на функциональное состояние и работоспособность летного состава и космонавтов, и взаимосвязанную разработку и обоснование рекомендаций, направленных на повышение психофизиологической надежности в полете и продление их профессионального долголетия;

- переход от общих ограничений, рекомендаций и решений по отбору и медицинскому освидетельствованию к целенаправленному обучению и адекватной психофизиологической подготовке, оценке готовности к полетам на основе индивидуального подхода в прогнозе профессиональной надежности, работоспособности и психосоматического состояния летного состава и космонавтов и целевой коррекции резервов организма;

- разработку методов, средств и технологий индивидуальной оценки психофизиологических резервов и ресурсов организма по обеспечению функциональной готовности к эффективному решению задач профессиональной деятельности в условиях воздействия факторов полета и разработку методов, способов и технологий их восстановления с учетом функциональных, мотивационных и личностных особенностей летчика и космонавта.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРТАТИВНОЙ БАРОКАМЕРЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА В ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Дворников С.М., Пятница А.С., Филипенков С.Н., Четин В.И.

ОАО «НПП «Звезда», пос. Томилино, Моск. обл.

FUNCTIONAL STATUS CORRECTION IN PORTABLE PRESSURE CHAMBER DURING EXTENDED SPACE FLIGHT

Dvornikov S.M., Filipenkov S.N., Pjatnitscha A.S., Chetin V.I.

JSC 'RD&PE ZVEZDA', Tomilino estate, Moscow Region

В настоящее время для перспективных программ автономных полетов пилотируемых космических комплексов (ПКК) рассматривается возможность применения на борту герметически изолированных капсул, оснащенных аппаратурой для создания искусственной газовой среды с индивидуально подобранными параметрами, оптимизированными по температуре, влажности, составу дыхательной смеси, с добавкой в кислородно-азотную атмосферу в качестве разбавителей инертных газов и биологически активных субстанций (Ушаков И.Б. и соавт., 2015; Крючков Б.И., Усов В.М., 2013).

В проведенных нами исследованиях с участием добровольцев показана возможность использования для этих целей автономной переносной барокамеры (ПБК) и умеренного повышения давления воздушной среды. Сеансы в ПБК позволяют активировать метаболизм тканей организма, пониженный при нарушениях кровообращения и транспорта кислорода после физических и психо-эмоциональных нагрузок у здорового человека, а также у пациентов с различными типами ишемии.

По полученным данным, согласующимся с проведенными Н.В.Казанцевой исследованиями метода нормоксической лечебной компрессии (НЛК), оптимальным режимом восстановления оксигенации тканей является режим 1,1–1,3 ата. Часовой сеанс дыхания воздушной атмосферой является эффективным методом восстановления мозгового и почечного кровотока, т.к. происходит нормализация кислотно-щелочного состояния и восстановление нормальной доставки кислорода в мозг и почки, где имеется антиоксидантная система с механизмами саморегуляции, защищающими от гипероксии, способной разрушить мембраны клеток, но нет депо кислорода, как в мышцах.

Сравнительная эффективность НЛК и гипербарической оксигенации (ГБО) при коррекции функционального состояния в ПБК исследуется нами в настоящее время при сравнении реакций организма на сеанс НЛК при дыхании воздухом под абсолютным давлением 1,1–1,3 ата с сеансами ГБО в малых дозах (МГБО). При этом использовалось дыхание кислородом через маску в окружающей воздушной атмосфере внутри той же камеры и при том же абсолютном давлении (10 мин компрессия, 40–45 мин режим изопрессии, 5–10 мин декомпрессия). С участием 20 испытуемых-добровольцев выполнены сеансы НЛК и МГБО при наиболее комфортных по субъективным данным режимам давления внутри камеры, а также проведены клинико-лабораторные анализы крови и мочи, биохимические исследования с определением активности ферментов и кислотно-щелочного состояния крови, психофизиологические исследования с определением насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови (SpO_2), измерением артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания, психологическое тестирование по опроснику САН.

Исследования показали выраженную положительную динамику изменений психологического статуса с улучшением самочувствия и настроения в среднем на 1,5 балла, наиболее выраженную при применении МГБО. Отмечено закономерное повышение SpO₂ с 94–98 % до 100 %, сопровождавшееся снижением ЧСС до 48–68 уд/мин, снижением АД от исходного уровня на 5–15 мм рт.ст.

Анализ проб крови показал быструю нормализацию кислотно-щелочного состояния крови после выполнения сеансов НЛК и МГБО, но не выявил достоверного изменения активности контролируемых ферментов. Отмечена лишь неспецифическая стресс-реакция в виде повышения концентрации катехоламинов в крови и увеличения парциального напряжения кислорода в артериализованной капиллярной крови.

Сравнение результатов анализа с исходными значениями, полученными перед исследованиями в барокамере показало, что все исследованные показатели находятся в допустимых пределах, за исключением многократного увеличения ферментативной активности и концентрации катехоламинов (КХА) в крови в первые 30–60 мин последствия. При исходных величинах содержания КХА в крови от 3 до 7 мкг % во время обследования в биохимической лаборатории до сеанса уже в самом начале сеанса при вдыхании O₂ через маску наблюдалось увеличение содержания КХА в крови в среднем с $14 \pm 1,9$ до $21 \pm 7,0$ мкг %.

Клинико-лабораторный анализ проб мочи, взятых до и после сеанса, показал значимое улучшение основных показателей, а именно: в моче снижалось количество эритроцитов и лейкоцитов, солей и мочевой кислоты, а также исчезал белок и различные виды цилиндров (если они имели место до воздействия). Следовательно, в результате повышения абсолютного давления воздуха до 1,1–1,3 ата удается улучшить мозговое и коронарное кровообращение, а также микроциркуляцию и фильтрацию в почках в большей степени, чем при сеансах МГБО.

Наиболее вероятной причиной улучшения самочувствия и эффективной коррекции функционального состояния организма являлись: повышение насыщения оксигемоглобина артериальной крови при дыхании воздухом при НЛК и кислородом в режиме МГБО, улучшение транспорта кислорода к тканям, оптимизации метаболизма мозга, миокарда и почек. Несмотря на положительные реакции организма практически здоровых лиц на сеанс НЛК, максимальный восстановительный эффект при предельных по тяжести физических нагрузках наблюдался только при дыхании кислородом под давлением 1,1–1,3 ата, сочетавшимся со снижением общего обмена веществ при ортостатическое положение тела в позе лежа в барокамере и наличием умеренной гиперкапнии, характерной для замкнутых гермообъемов.

Заключение: Сеансы НЛК и МГБО в ПБК с применением концентратора кислорода для его подачи могут применяться космонавтами на борту ПКК до и после напряженных физических упражнений и операций внекорабельной деятельности, а также использоваться поисково-спасательной службой в полевых условиях для оказания неотложной помощи неработоспособным или пострадавшим членам экипажа.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ

Демин А.В., Орлов О.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

MATH MODELING OF HUMAN CARDIORESPIRATORY SYSTEM INTEGRAL CHARACTERISTICS IN DIFFERENT PHYSIOLOGICAL STATES

Demin A.V., Orlov O.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В целях создания систем медицинского контроля и управления физиологическими функциями организма спортсмена и космонавта, для увеличения работоспособности с помощью целенаправленных воздействий на кардиореспираторную систему предпринято изучение математическими методами интегративных показателей – вегетативного индекса Кердо (ВИК) и потребления кислорода (ПК) при различных физиологических состояниях.

Цель исследования. Выявление количественных закономерностей динамики интегративных показателей кардиореспираторной системы человека при различных физиологических состояниях.

Материалы и методы. Исследованы процессы изменения интегративных показателей во времени у 36 практически здоровых людей (при дозированной физической работе и в состоянии покоя). Показатели регистрировались методом автономного суточного мониторинга гемодинамики с помощью портативной системы SomnoWatch (SomnoMedics, Германия) и с помощью цифровых тонометров MTX (Medisana, Германия). Артериальное давление рассчитывалось за каждый сердечный цикл по скорости прохождения пульсовой волны (Gesche H. et al., 2007, Mukkamala R. 2015). Потребление кислорода в покое и при физической работе на велоэргометре ViaSprint 150P (Erich Jaeger, Германия) регистрировали с помощью газоаналитических систем Innosog (Innovision, Нидерланды) и Oxycon Pro (VIASYS, Германия).

В результате корреляционного анализа результатов измерений установлено, что при ступенчатом увеличении мощности физической работы на велоэргометре (0,60 Вт и далее прибавляя по 15 Вт до максимально достигаемой мощности) величины ВИК и ПК линейно коррелируют у практически здоровых людей. Максимальному значению величины ВИК при этом соответствует максимальное зарегистрированное значение ПК. Найденное по результатам максимального нагрузочного теста (до отказа) регрессионное уравнение связи мощности физической работы, ПК и ВИК позволяет индивидуально оценить ПК по измеряемым ВИК и мощности нагрузки.

В результате составления и решения дифференциального уравнения процесса ПК при физической работе определено, что при ступенчатом возрастании мощности физической работы на велоэргометре (0,30 (60) Вт и до отказа, 15 Вт – ступень) потребление кислорода увеличивается по логистическому закону в зависимости от мощности физической работы. При максимальной скорости изменения потребления кислорода в зависимости от мощности величина ПК вдвое меньше расчетной (по математической модели) величины МПК.

Выявлено, что по определенным равновесному эйтоническому значению ВИК и индивидуальному диапазону значений индекса, в дальнейшем можно будет по измеряемому ВИК оценить физиологические состояния (сон, покой, субмаксимальная и максимальная нагрузка) и на любом исследуемом интервале времени численно оценить баланс трофонии и эрготропии.

В результате долговременного мониторинга индекса Кердо у 12 испытуемых программы «Марс-500» найдены новые закономерности изменения индекса Кердо в состоянии покоя: индекс Кердо изменяется индивидуально и может быть выражен (исчислен) длительными стационарными и нестационарными интервалами (сезонными и синодическими). Индивидуальная динамика стационарных и нестационарных интервалов может быть учтена при разработке более эффективных индивидуальных режимов труда, отдыха и тренировок.

Во всех случаях найдены аналитические выражения исследованных процессов, приемлемые для оценки работоспособности и создания систем управления регуляторным вегетативным тонусом.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Демин С.А., Панищев О.Ю., Неведьев Ю.А.

Казанский федеральный университет

DEVELOPING THE PROGRAM-ANALYTIC COMPLEX TO MONITORING THE HUMAN BRAIN ACTIVITY IN SPACE FLIGHT

Demin S.A., Panischev O.Yu., Nefedyev Yu.A.

Kazan Federal University, Kazan

Предстоящие пилотируемые космические полеты будут сопровождаться сбором большого объема уникальных экспериментальных данных (ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ, РЭГ, электро-, кардиограмм, энцефалограмм, миограмм, реоэнцефалограмм), генерируемых организмом человека в условиях космоса. Однако в то время как системы мониторинга за уровнем физической и умственной работоспособности членов космического экипажа разработаны в значительной мере, актуальными остаются задачи, связанные с интерпретацией полученных данных, что, в первую очередь, необходимо для прогнозирования резких изменений в поведении или состоянии человека, а также поддержания его нормального жизнеобеспечения. Ранее в работах авторов были предложены программные средства для исследования физиологических и патологических состояний человека в земных условиях на основе многопараметрического анализа временных сигналов, регистрируемых соответствующей контрольно-измерительной аппаратурой, в дополнение проведены исследования по получению физических параметров небесных тел [Nefedyev Y.A., Valeev S.G., Mikeev R.R., et al., 2012; Demin S.A., Panischev O.Yu., Nefedyev Yu.A., 2014; Sokolova M.G., Nefedyev Y.A., Varaksina N.Y., *Advances in Space Research*, 2014]. В их основу заложены оригинальные идеи из области физики сложных систем и неравновесной статистической физики, а также разработанные авторами численные алгоритмы и компьютерные программы их комбинированного использования. В качестве теоретических подходов предлагаются: формализм функций статистической памяти (ФФП); фликкер-шумовая спектроскопия (ФШС); инструменты для анализа фрактальных размерностей; стандартные возможности математической статистики и теории вероятностей. ФФП- и ФШС-подходы позволяют получить большой массив количественных параметров и качественных характеристик, достаточных для разграничения физиологических и патологических состояний человека. Экспериментальные данные были получены авторами в ходе многолетнего сотрудничества с ведущими российскими и зарубежными лабораториями научно-исследовательскими центрами (РФ, Англия, США, Канада).

Основное отличие ФШС состоит во введении информационных параметров, характеризующих составляющие исследуемых биомедицинских сигналов в разных диапазонах частот, и реализации необходимых процедур для выделения таких параметров; в возможности извлечения информации из одновременно измеряемых сигналов с

целью выявления и тестирования частотно-фазовых соответствий в функционировании взаимосвязанных подсистем организма; а также в установлении «предвестников» резких изменений функционально значимых показателей состояния организма [Тимашев С.Ф., 2007]. Согласно ФШС-методологии, особенности эволюции сложных систем проявляются, прежде всего, в низкочастотных составляющих сигналов, отражающих специфический для каждой системы набор собственных и инициируемых сторонними воздействиями частот, интерференционные вклады таких резонансов. На фоне такого типа низкочастотных «огигающих» неизбежно присутствуют более высокочастотные хаотические («шумовые») составляющие. При этом в последовательностях хаотических составляющих динамических переменных практически всегда выявляются индивидуальные для каждой системы, информационно значимые корреляционные взаимосвязи [Timashev S.F., Polyakov Yu.S., Yulmetyev R.M., et al., Laser Physics, 2009; Timashev S.F., Polyakov Yu.S., Yulmetyev R.M., et al., Laser Physics, 2010; Timashev S.F., Panischev O.Yu., Polyakov Yu.S., et al., Physica A, 2012].

ФФП основан на введении для фиксируемого биомедицинского ряда наблюдений многомерного динамического вектора состояния, подчиняющегося дискретному уравнению движения с временным шагом дискретизации [Yulmetyev R., Demin S., Emelyanova N., et al., Physica A, 2003; Yulmetyev R.M., Emelyanova N.A., Demin S.A., et al., Physica A, 2004; Yulmetyev R.M., Demin S.A., Panischev O.Yu., Hanggi P., Physica A, 2005; Yulmetyev R.M., Demin S.A., Panischev O.Yu., et al., Physica A, 2006; Demin S.A., Yulmetyev R.M., Panischev O.Yu., Hanggi P., Physica A, 2008]. Сокращение в описании динамических состояний системы достигается последовательным проектированием, связанным с использованием операторов эволюции и процедуры ортогонализации Грамма-Шмидта. Расчет ортогональных динамических переменных, построение плоских проекций зависимостей динамических переменных – фазовых портретов, временной корреляционной функции, функций памяти, их спектров мощности, релаксационных и кинетических параметров, частотных зависимостей мер статистической памяти, вводимых в рамках ФФП, выполняются непосредственно для экспериментальных временных серий. Представленные характеристики позволяют исследовать автокорреляции и эффекты статистической памяти одноканальных сигналов. Авторы проекта осуществили обобщение ФФП на случай анализа кросс-корреляций [Panischev O.Yu., Demin S.A., Bhattacharya J., Physica A, 2010; Panischev O.Yu., Demin S.A., Kaplan A.Ya., Varaksina N.Yu., Biomedical Engineering, 2013].

Размерность во фрактальной геометрии количественно выражает меру сложности временного сигнала, свойств его пространственно-временного скейлинга (масштабной инвариантности) и присутствия эффектов самоподобия. Авторами был предложен расчет фрактальной размерности посредством нескольких итераций, каждая из которых уточняла значение, полученное на предыдущем шаге. Построение топографических карт фрактальной размерности для разных областей коры головного мозга в норме и патологии определило существенные изменения в их деятельности [Panischev O.Yu., Demin S.A., Rusanova I.A., Biomedical Engineering, 2015].

Полученные ранее результаты определили основные направления поиска диагностически значимых критериев аномального функционирования мозга [Panischev O.Yu., Demin S.A., Zinatullin E.M., JPCS, 2015; Panischev O.Yu., Demin S.A., Panischeva S.N., Bhattacharya J., Nonlinear Phenomena in Complex Systems, 2015; Panischev O.Yu., Demin S.A., Muhametshin I.G., Demina N.Y., JPCS, 2015; Panischev O.Yu., Panischeva S.N., Demin S.A., JPCS, 2015; Panischev O.Y., Demin S.A., Bhattacharya J., Demina N.Y., International Journal of Applied Engineering Research, 2015; Demin S.A., Panischev O.Yu., Demina N.Y., JPCS, 2016]:

1) Исследование биоэлектрической активности отдельных областей коры головного мозга для выявления тех из них, в которых наблюдаются наиболее значительные патологические изменения.

2) Изучение эффектов синхронизации и согласованности сигналов, генерируемых различными областями коры головного мозга человека, что отражает изменения во взаимодействии между ними при наличии патологии.

В данной работе авторы представляют перспективы изучения медико-биологических аспектов влияния космического пространства на поведение и состояние человека путем дальнейшего развития имеющихся теоретических и программных возможностей, связанных с установлением физических механизмов, отражающих генерацию аномальных состояний различных систем жизнедеятельности, прежде всего центральной нервной системы. Речь идет о разработке программного аналитического комплекса, адаптируемого к мониторингу физиологических состояний, выявлению и прогнозированию экстремальных состояний человека в условиях космического полета. Непосредственная цель предлагаемого программного комплекса состоит в выявлении фундаментальных характеристик функциональных состояний коры головного мозга человека, накоплении базы знаний и параметров, отражающих аномальные изменения в центральной нервной системе. Конечная цель состоит в выработке четких критериев диагностики и прогнозирования различных патологических процессов и, в дальнейшем, комплексном использовании полученных результатов для совершенствования медицинского диагностического оборудования.

Еще одним прикладным аспектом создаваемого комплекса может стать разработка критериев распознавания эмоциональных расстройств и свойств, а также поведения человека в различных когнитивных (творческих) ситуациях в условиях космоса в ходе анализа спектрального поведения и динамических особенностей регистрируемых сигналов биоэлектрической активности мозга. Авторами были получены предварительные результаты исследования ЭЭГ-сигналов для творчески одаренных людей (музыкальное, художественное искусство) и людей без существенных способностей

в различных когнитивных ситуациях. Экспериментальные данные были любезно предоставлены Prof. Bhattacharya J. [Goldsmiths, University of London, UK).

Определенные надежды возлагаются на исследования ЭМГ-сигналов, фиксируемых для разных групп мышц космонавтов, с целью дальнейшего использования в восстановительной и спортивной медицине для диагностики нарушений функционирования опорно-двигательного аппарата человека, а также в их предполетной подготовке. В предыдущих работах авторов были отражены отдельные аспекты биологического старения и патологического функционирования нервно-мышечной системы человека [Yulmetyev R., Demin S., Emelyanova N., et al., Physica A, 2003; Yulmetyev R.M., Valliancourt D.E., Gafarov F.M., et al., arXiv: 0708.1255, 2007; Demin S.A., Yulmetyev R.M., Panischev O.Yu., Hanggi P., Physica A., 2008].

Работа частично выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 15-02-01638 а. Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ЗАЩИТЫ МИССИИ «ЭКЗОМАРС -2016»

Дешевая Е.А.¹, Хамидуллина Н.М.², Новикова Н.Д.¹, Гуридов А.А.¹, Захаренко Д.В.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НПО им. С.А.Лавочкина, г. Химки, Россия

IMPLEMENTATION OF MEASURES TO FULFILL THE PLANETARY PROTECTION REQUIREMENTS OF THE EXOMARS-2016 MISSION

Deshevaya E.A.¹, Khamidullina N.M.², Novikova N.D.¹, Guridov A.A.¹, Zakharenko D.V.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Lavochkin Association, Khimki, Moscow Region, Russia

Основная цель планетарной защиты заключается в том, чтобы предохранить исследуемые планеты от земного микробиологического загрязнения, а также защитить Землю от возможного биологического загрязнения, исходящего от внеземных образцов, от возвращаемых КА или их систем.

Поскольку в рамках миссии предполагается посадка аппарата на поверхность Марса без проведения биологических экспериментов, миссия «ЭкзоМарс -2016», согласно классификации КАСПАР, относится к категории IVa.

В совместном проекте под руководством ЕКА и Роскосмоса европейская сторона полностью несла ответственность за обеспечение заданного уровня микробиологической чистоты космического аппарата (КА), а российская сторона отвечала за выполнение требований планетарной защиты при предоставлении пусковых услуг на космодроме Байконур, которые заключались в предотвращении повторного загрязнения европейского КА. Для выполнения российской стороной своих обязательств были разработаны мероприятия, направленные на обеспечение заданного уровня бионагрузки объектов космодрома – чистых помещений сооружения 92А-50 технологического комплекса (ТК), вагона термостатирования, воздушной системы обеспечения теплового режима (BCOTP) на стартовой площадке.

Первоначально были проведены исследования по выбору эффективного дезинфицирующего средства, подавляющего жизнеспособность всех микроорганизмов, обнаруженных в помещениях, в которых должны были проводиться заключительные сборочные работы. Были разработаны инструкции по проведению уборочных мероприятий и рекомендации по применению импульсного ультрафиолетового облучения в чистых помещениях сооружения 92А-50 ТК Байконур. Для подтверждения эффективности дезинфекционных мероприятий была проведена их оценка в условиях рабочей обстановки в рамках одного помещения сооружения 92А-50 ТК Байконур.

В результате реализации разработанного комплекса мероприятий, состоящего из регулярной уборки чистых помещений с использованием эффективного дезинфицирующего средства и применения импульсного ультрафиолетового облучения, были созданы условия для надежного функционирования чистой палатки.

Замена фильтров в воздуховоде вагона термостатирования позволила кондиционировать КА чистым воздухом.

Результаты проведенных в период 2015–2016 гг. микробиологических исследований позволили сделать заключение о готовности чистых помещений сооружения 92А ТК Байконур, вагона термостатирования и воздушной системы обеспечения теплового режима на стартовой площадке космодрома Байконур к пусковой кампании в части выполнения российской стороной требований по планетарной защите миссии «ЭкзоМарс – 2016».

ДАнные О СОСТАВЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ТЕСТ»

**Дешевая Е.А.¹, Шубралова Е.В.², Цыганков О.С.³, Сыроешкин А.В.⁴, Гуридов А.А.¹,
Гребенникова Т.В.⁴, Поликарпов Н.А.¹, Василяк Л.М.⁵, Новикова Н.Д.¹**

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ФГУП ЦНИИмаш, Королев, Россия

³ ОАО «РКК «Энергия», Королев, Россия

⁴ РУДН, Москва, Россия

⁵ ОИВТ РАН, Москва, Россия

DATA ON THE COMPOSITION OF COSMIC DUST RECEIVED IN SPACE EXPERIMENTS «TEST»

**Deshevaya E.A.¹, Shubralova E.V.², Tsygankov A.S.³, Syroeshkin A.V.⁴, Guridov A.A.¹,
Grebennikov T.V.⁴, Polikarpov N.A.¹, Vasilyak L.M.⁵, Novikova N.D.¹**

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² TSNIIMASH, Korolev, Russia

³ S.P. KOROLEV ROCKET AND SPACE CORPORATION «ENERGIA», Korolev, Russia

⁴ RUDN University, Moscow, Russia

⁵ IHT RAS

С 2010 г. на Международной космической станции (МКС) выполняется эксперимент «Тест», направленный на исследование выпавших на внешнюю поверхность станции из окружающей среды мелкодисперсных продуктов и определение их состава. При наличии на космической станции системы выброса компонентов воздушной среды после ее очистки на внешнюю поверхность станции могут быть занесены микроорганизмы, содержащиеся в воздухе жилых отсеков. Поверхность МКС может также являться эффективной ловушкой космической пыли, собирающей дисперсные частицы из околоземного пространства.

Космический эксперимент «Тест» включает две фазы исследований: орбитальную и наземную. Задача орбитальной – отбор проб с внешней поверхности модулей МКС, в том числе газопылевых осадков, адсорбированных на поверхности станции из окружающей среды и мелкодисперсных продуктов деградации материалов конструктивных элементов, вызванной воздействием космических излучений, процессов коррозии и др.

Задача наземной фазы – проведение физико-химического, токсикологического, микробиологического и молекулярного (генетического) анализа проб. Решение этих задач стало возможно благодаря уникальному и в то же время достаточно простому устройству, обеспечивающему стерильность пробоотборников до отбора проб и после их доставки на Землю. Анализ проб включает определение состава загрязнений поверхности корпуса, что позволяет получать данные о химическом и биологическом составе космической пыли, осаждающейся на поверхности МКС, а также их влияния на микродеструкцию металла.

В результате анализа проб, получены уникальные данные, подтверждающие, что на внешней стороне космических объектов обнаруживаются и могут сохраняться жизнеспособные микроорганизмы, а также биологические структуры разных биологических доменов.

Первичные наземные эксперименты показали, что в условиях полного вакуума возможно сохранение жизнеспособности спорных форм микроорганизмов.

Впервые в мировой практике космических исследований в доставленных пробах был проведен анализ элементного профиля космической пыли, собранной с внешней поверхности МКС. Проведенный химический анализ отобранных проб показал, что геохимический состав пыли соответствует смешанному тропосферному аэрозолю с периодическим преобладанием морского или терригенного аэрозоля.

Полученные в КЭ «Тест» экспериментальные данные о химическом и биологическом составе космической пыли на поверхности МКС являются важнейшим фактическим материалом для исследования возможных механизмов попадания биоструктур и жизнеспособных микроорганизмов на поверхность космической станции.

О РОЛИ СТРЕССИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ В РАЗВИТИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дорожкина О.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

ROLE OF STRESSFUL FACTORS IN THE DEVELOPMENT RADIOBIOLOGICAL EFFECTS PROTON RADIATION

Dorozhkina O.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

A.I.Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center of FMBA, Moscow

Трудами патофизиологической научной школы академика П.Д. Горизонтова (1981) было доказано, что ионизирующее излучение является мощным стрессором для организма млекопитающих. В этой связи взаимодействие различных

стрессорных воздействий с радиационным стрессом представляет значительный интерес, поскольку облучение человека в аварийных и особых ситуациях сопровождается физическим и эмоциональным напряжением. За последние годы опубликованы данные, свидетельствующие о том, что как острый, так и хронический стресс индуцирует хромосомные аберрации и модифицирует чувствительность генома к мутагенам различной природы, в том числе и к ионизирующему излучению [Ингель Ф.И., 2006].

Целью нашей работы стало изучение влияния индивидуального и группового содержания мышей на радиорезистентность.

Исследования осуществлялись на аутбредных мышах ICR (CD-1)–SPF категории, а также инбредных C57Bl6 самцах в возрасте 4–4,5 мес с массой тела от 28 до 40 г. Облучение мышей проводили терапевтическим пучком протонов с энергией 171 МэВ в дозе 1 Гр. ЛПЭ протонов-171 МэВ составила 0,49 кэВ/мкм, мощность дозы 0,37 Гр/мин. Эвтаназию животных осуществляли путем цервикальной дислокации через 21–22 ч и на 8-е сутки после облучения.

Групповое содержание интактных животных привело к снижению числа кариоцитов в костном мозге и массы тимуса. Облучение мышей протонами с энергией 171 МэВ в дозе 1 Гр вызывает статистически значимое большее снижение клеток костного мозга при групповом содержании по сравнению с индивидуальным. При индивидуальном содержании облученных животных отмечена тенденция к большей сохранности числа лейкоцитов в периферической крови и более высокой пролиферативной активности клеток костного мозга, а также к снижению уровня aberrантных митозов по сравнению с групповым содержанием. В восстановительном периоде лучевой болезни при групповом содержании мышей восстановительные процессы проходят с большей скоростью.

Групповое содержание мышей-самцов вызывает повышенную чувствительность системы крови и иммунитета к действию радиации и в то же время ускоряет процессы пострадиационного восстановления.

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ И КОСМОНАВТА НА ДОЗУ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЗОНЫ ЮЖНО-АТЛАНТИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ

Дробышев С.Г., Бенгин В.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INFLUENCE OF ATTITUDE OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION AND COSMONAUT ON THE RADIATION DOSE WHEN PASSING THROUGH THE SOUTH-ATLANTIC ANOMALY

Drobyshev S.G., Benghin V.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

При осуществлении орбитальных пилотируемых полетов на Международной космической станции (МКС) примерно половина суточной дозы радиации, получаемой космонавтами, набирается за счет прохождений станции через область Южно-атлантической аномалии (ЮАА). Сочетание анизотропии радиационного поля в этой области и неравномерной защищенности космонавта МКС от потока излучения с разных направлений может приводить к зависимости поглощенной дозы от пространственной ориентации станции и космонавта.

Анализ результатов измерений дозы на МКС, выполненных с помощью системы радиационного контроля (СРК), установленной внутри Служебного модуля (СМ) МКС, подтверждает наличие данного эффекта. Было обнаружено, что мощность дозы, регистрируемая детекторами СРК в области ЮАА, меняется более чем в два раза при характерном изменении ориентации станции. Это открывает возможности для снижения доз облучения космонавта за счет изменения расположения экранирующих масс по отношению к направлению наибольшего потока излучения. Однако применяемые в настоящее время методы оценок радиационного воздействия на космических аппаратах, основанные на приближении изотропного падения космического излучения, не позволяют оценить масштаб возможного снижения дозы.

Для проведения соответствующей оценки разработана методика вычисления мощности поглощенной дозы на МКС в анизотропном поле излучения с учетом спектрально-углового распределения потока протонов, падающего на станцию, углового распределения массы вещества, экранирующей рассматриваемую точку на борту, и ориентации станции в пространстве. Использование, в качестве исходных данных для расчета, модели спектрально-углового распределения протонов радиационного пояса Земли в сочетании с моделью защищенности обитаемых отсеков СМ МКС позволило описать эффект изменения мощности дозы на станции при изменении ориентации станции в пространстве.

Проведено сравнение получаемых с помощью методики расчетных оценок мощности дозы с показаниями детекторов СРК для выбранных траекторий МКС, проходящих через центральную часть зоны ЮАА. Получено удовлетворительное согласие расчетных оценок с экспериментальными данными.

С помощью разработанной методики проведен расчетный анализ зависимости дозы радиации, поглощенной в различных точках тела космонавта за время движения станции через зону ЮАА по траекториям, проходящим вблизи центра этой зоны, от местоположения и ориентации космонавта относительно станции. Показано, что при нахождении космонавта на МКС в условиях слабой экранировки доза, поглощенная в мало защищенных радиочувствительных

органах его тела, может значительно меняться в зависимости от его ориентации по отношению к корпусу станции. Так, для хрусталика глаза соответствующее изменение дозы может превышать три раза.

Созданная методика может быть полезна для проведения расчетных оценок ожидаемого облучения космонавтов МКС при сопоставлении различных вариантов работ, планируемых на время прохождения станции через область ЮАА.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ВНИИВВИМ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Егорова И.Ю., Селянинов Ю.О., Колбасов Д.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной вирусологии и микробиологии Россельхозакадемии, п. Вольгинский

PRACTICAL EXPERIENCE VNIIVVIM IN ENSURING BIOLOGICAL SAFETY

Egorova I. Y., Selyaninov Y. O., Kolbasov D. V.

All-Russian research Institute of veterinary Virology and Microbiology RAAS, p. Volginsky

Обеспечение биологической безопасности представляет собой комплекс медико-биологических, ветеринарно-санитарных, организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на защиту населения, животных и окружающей среды от воздействия патогенных биологических агентов. При этом основу ветеринарно-санитарных мероприятий составляет комплекс специфических и неспецифических мер, предназначенных для предупреждения возникновения инфекционных болезней у животных и обеспечения безопасности, производимой из них животноводческой продукции.

Дезинфекция является важным звеном в системе неспецифических профилактических, противоэпидемических и противоэпизоотических мероприятий, обеспечивающих благополучие человека и животных по инфекционным болезням. В ГНУ ВНИИВВИМ Россельхозакадемии за весь период его существования накоплен значительный опыт в разработке средств и методов дезинфекции, оценки эффективности проведенных дезинфекционных мероприятий, в том числе и с использованием методов безлабораторного контроля, позволяющих в короткие сроки получать информацию о качестве проведенной дезинфекции и разрабатывать корректирующие мероприятия. Разработанные средства и методы дезинфекции нашли широкое применение в таких отраслях как птицеводство, животноводство, мясоперерабатывающая промышленность, пищевая индустрия, могут использоваться на объектах здравоохранения и образования, в лечебно-профилактических учреждениях, предприятиях фармацевтической, медицинской и биологической промышленности и многих других областях, в которых требуется либо полное отсутствие патогенной микрофлоры, либо снижение ее уровня до соответствующих нормативов.

Поскольку традиционные методы дезинфекции (протираание, орошение) имеют определенные недостатки и не всегда дают желаемый результат, в институте проведен целый комплекс работ по разработке и испытанию оборудования для аэрозольной или объемной дезинфекции. Разработан целый модельный ряд струйных аэрозольных генераторов (САГ), предназначенных для различных объектов и различных требований к проведению дезинфекции (вакцинные и лекарственные препараты, жидкости и порошки, объемные и направленные аэрозоли). Например, САГ-2М предназначен для обработки помещений до 3 тыс. м³, САГ-3М – для инкубационных шкафов, САГ-5 – для создания модельных аэрозолей при проведении работ по оценке защитной эффективности фильтров вытяжных систем биологических предприятий, САГ-6У – для создания либо тонкодисперсных объемных, либо грубодисперсных направленных аэрозолей, либо работы в режиме пеногенератора.

Наравне с дезинфекцией безопасность человека, входящего в группу риска заражения патогенными биологическими агентами (исследователи, работники медицинских и ветеринарных учреждений и др.), обеспечивают средства индивидуальной защиты и фильтры тонкой очистки, предназначенные для санации производственной среды и среды обитания, к которым предъявляются жесткие требования к пропускной способности инфекционных агентов. В ГНУ ВНИИВВИМ Россельхозакадемии также разработана методология оценки средств индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания, выпускных фильтров вытяжных систем на пропускную способность в отношении самых мелких представителей микроорганизмов – вирусов, что позволяет не только проводить оценку существующих и вновь разрабатываемых СИЗ органов дыхания на защитную эффективность и подтверждение их соответствия, но и контролировать биологическую и экологическую безопасности предприятий, использующих в своей практике инфекционные агенты. Разработанная методология используется в настоящее время для оценки фильтров тонкой очистки, существующих и вновь разрабатываемых СИЗ органов дыхания на пропускную способность в отношении вирусов.

Немаловажное значение в обеспечении биологической безопасности человека играет выпуск в реализацию пищевой и непищевой продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям. У института также имеется обширный опыт индикации и идентификации патогенных биологических агентов бактериальной природы, который был использован при разработке нормативно-методической документации, регламентирующей в Российской Федерации испытание и исследование пищевой и непищевой продукции на такие особо опасные и эпидемически значимые инфекции, как сибирская язва и листериоз.

Таким образом, практический опыт ГНУ ВНИИВВИМ Россельхозакадемии в обеспечении биологической безопасности может быть использован при разработке совместных с медицинскими службами программ по контролю дезинфекционных мероприятий, безопасности пищевой продукции и фильтрующих элементов, предназначенных для защиты органов дыхания человека и санации среды обитания.

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НА АНГИОГЕННУЮ АКТИВНОСТЬ МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ПРИ «ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ» ГИПОКСИИ

Ездакова М.И., Лобанова М.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EFFECTS OF FUNCTIONAL PROPERTIES ON THE ANGIOGENIC ACTIVITY OF MULTIPOTENT MESENCHYMAL STROMAL CELLS AT "PHYSIOLOGICAL" OXYGEN CONTENT

Ez dakova M.I., Lobanova M.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В настоящее время применение мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (МСК) является перспективным направлением в клеточной и регенеративной медицине. Считается, что терапевтический эффект достигается, в первую очередь, за счет их паракринной активности. Предполагается, что ангиогенные эффекты МСК могут зависеть от функционального состояния клеток и факторов микроокружения. В нише, которую занимают МСК, содержание кислорода не превышает 7 %. Таким образом, культивирование МСК в условиях пониженного содержания O_2 является более физиологичным, чем при 20 % O_2 . Однако ангиогенные свойства МСК при тканевых значениях O_2 практически не исследованы. Поэтому цель нашей работы заключалась в оценке влияния фаз роста, пассажа и остеоиндукции на ангиогенную активность МСК при тканевых значениях O_2 . Ангиогенный потенциал МСК *in vitro* оценивали по изменению концентрации цитокинов (VEGF, ИЛ-6, ИЛ-8) в кондиционированной среде (КС) с использованием иммуноферментного анализа. Оценку ангиогенной активности КС *in ovo* проводили на хориоаллантоисной оболочке (ХАО) эмбрионов японского перепела *Coturnix coturnix japonica*, определяя изменение общего числа сосудов (основные сосуды и ветви).

Для оценки влияния фазы роста МСК в культуре на их ангиогенную активность, КС собирали на разных этапах культивирования (lag-, log-фаза (экспоненциальный рост) и монослой). Для определения влияния длительности культивирования на ангиогенный потенциал, МСК пассировали до 22-го пассажа. Для изучения влияния ранней остеоиндукции на ангиогенную активность МСК инкубировали в остео-среде в течение 7 сут, после чего на 72 ч добавляли полную среду без остеоиндукторов. Все эксперименты проводили в нормоксических (20 % O_2) и гипоксических (5 % O_2) условиях.

Ангиогенная активность МСК зависела от фазы роста. Так, при 5 % O_2 происходило линейное изменение концентрации проангиогенных медиаторов (VEGF, ИЛ-6) в КС при увеличении плотности МСК в культуре, в отличие от 20 % O_2 с колоколообразным характером изменения. Эти отличия проявлялись в тесте *in ovo*. После добавления КС от МСК к ХАО максимальный прирост отмечался при 5 % O_2 в фазе монослой (в 1,4 раза ($p < 0,05$)), а при 20 % O_2 при экспоненциальной фазе роста (в 1,5 раза ($p < 0,05$)).

На ангиогенный потенциал повлияло число субкультивирований. Увеличение общего количества сосудов имело колоколообразный характер с максимумом на средних пассажах как при «физиологической» гипоксии, так и при нормоксии в 1,8 раза ($p < 0,05$). Однако как при 20 % O_2 , так и при 5 % O_2 , наблюдалось значительное снижение проангиогенных эффектов именно на поздних пассажах, что выражалось уменьшением роста сосудов после добавления КС.

Мы также обнаружили, что после ранней остеоиндукции была выявлена тенденция к снижению ангиогенного потенциала МСК при 5% и 20% O_2 , что сопровождалось снижением новообразования сосудов в ХАО и концентрацией ростовых факторов ответственных за ангиогенез в КС. Так было отмечено значительное снижение концентрации ИЛ-6, -8 и VEGF, причем этот эффект был более выражен при 20% O_2 .

Таким образом, МСК в условиях «физиологической гипоксии» способны продуцировать ряд биологически активных медиаторов, индуцирующих рост сосудов в модели *in ovo*. Наши данные позволяют предположить, что в зависимости от функционального состояния МСК (фаза роста, длительность культивирования, степень коммитирования) профиль продуцируемых цитокинов может меняться. Пониженное содержание кислорода в целом способствует усилению проангиогенного профиля. Результаты дальнейших исследований в этой области могут быть востребованы как при анализе фундаментальных механизмов участия МСК в ремоделировании тканей, так и с точки зрения возможности *ex vivo* модификации этих клеток.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-15-00693).

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ

Еремеев А.А., Федянин А.О., Балтина Т.В.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

SKELETAL MUSCLE ELECTROMYOGRAPHIC CHARACTERISTICS UNDER GRAVITY UNLOADING

Eremeev A.A., Fedianin A.O., Baltina T.V.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan

До настоящего времени недостаточно информации о принципах управления движениями в условиях нарушающих и/или ограничивающих моторику и, как следствие, остается невыясненным большое количество фундаментальных и прикладных вопросов, ответы на которые позволили бы лучше понять механизмы компенсаторно-восстановительной реорганизации двигательного контроля и предложить адекватные способы увеличения эффективности таких перестроек.

Целью работы являлось изучение электромиографических характеристик икроножной мышцы (ИМ) крысы в условиях моделирования гравитационной разгрузки, а также в условиях моделирования гравитационной разгрузки в сочетании с ежедневной вибростимуляцией опорных зон стопы задних конечностей. Микрогравитацию создавали вывешиванием животных в антиортостатическом (головой вниз) положении [Ильин Е.А., Новиков В.Е., 1980; Morey-Holton E.R., Globus R.K., 2002]. Через 7, 14, 21 и 35 сут воздействия опытных условий исследовали параметры электрических ответов ИМ, вызванных раздражением седалищного нерва одиночными прямоугольными импульсами. Регистрировали моторный (М) ответ, являющийся электрическим потенциалом мышцы, возникающим при раздражении эфферентов; рефлекторный (Н) ответ, представляющий собой реакцию двигательного центра на афферентную стимуляцию. Определяли порог возникновения и максимальную амплитуду вызванных потенциалов. Вычисляли значение отношения максимальных амплитуд рефлекторного и моторного ответов $[(H_{\max}/M_{\max})100\%]$. В экспериментах использовали оригинальную исследовательскую установку на базе электромиографа MG-42 фирмы «Медикор», процессора Pentium и программного обеспечения Miograph. Также регистрировали моторные потенциалы ИМ, вызванные магнитной стимуляцией шейно-грудного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга. Определяли порог возникновения, латентный период, максимальную амплитуду и длительность вызванных моторных потенциалов (ВМП). Также оценивали разность времени распространения магнитного импульса от момента стимуляции шейно-грудного отдела спинного мозга до момента регистрации ВМП и времени распространения магнитного импульса от момента стимуляции пояснично-крестцового отдела спинного мозга до момента регистрации ВМП – центральное время моторного проведения (ЦВМП). В данной экспериментальной серии использовали исследовательскую установку «Нейро-МВП-4» фирмы Нейрософт. В качестве контрольных служили данные, полученные при исследовании интактных животных.

Электромиография позволяет с большой степенью точности изучить динамику реорганизации двигательных единиц, дает возможность судить о функциональном состоянии любого звена в сложной цепи взаимодействия различных элементов нейромоторного аппарата – мотонейрона, его аксона, нервно-мышечной передачи и мышечных волокон [Гехт Б.Н. с соавт., 1997]. Результаты проведенных экспериментов показали, что при моделировании гравитационной разгрузки параметры регистрируемых в ИМ электрических потенциалов, вызванных как стимуляцией седалищного нерва, так и магнитной активацией эфферентных путей спинного мозга отличались от таковых, регистрируемых при исследовании интактных животных. Обнаруженные изменения электромиографических характеристик ИМ указывали на повышение рефлекторной возбудимости мотонейронов соответствующего спинального двигательного центра, расширение пула мотонейронов, реагирующего на раздражение, увеличение эффективности передачи возбуждения в центральных структурах двигательной системы. В серии экспериментов с ежедневной вибростимуляцией опорных зон стопы крыс, находящихся в условиях моделируемой гравитационной разгрузки подтверждена высокая роль афферентных сигналов, поступающих с рецепторов опоры, в модуляции функционального состояния двигательных центров. Так, параметры Н-ответа как ипси- (на стороне вибростимуляции), так и контралатеральной ИМ, регистрируемые в данных экспериментальных условиях отличались от таковых, обнаруженных у животных при антиортостатическом вывешивании (без вибростимуляции) и в контрольной серии экспериментов. Также обнаружено, что активация механорецепторов стопы ограничивала влияние гипогравитации на элементарные характеристики мышц: в этих условиях предотвращалась атрофия ИМ.

Зарегистрированные в условиях гравитационной разгрузки трансформации состояния центральных и периферических структур двигательного аппарата, нейронных сетей спинного мозга, обусловлены ограничением афферентного притока, в том числе и опорного, а также адаптацией центральной нервной системы к новым условиям двигательной активности при гравитационной разгрузке. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-04-05951.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОЙ МАЛОЙ ГРУППЫ

Еськов К.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EFFECTIVENESS OF COOPERATIVE ACTIVITY OF AN ISOLATED SMALL GROUP

Eskov K.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

За последние годы в Институте медико-биологических проблем и за рубежом (с участием сотрудников Института) проведен ряд экспериментов с камерной изоляцией различной продолжительности.

Для оценки эффективности межличностного инструментального взаимодействия в отдельных экспериментах использовалась психодиагностическая методика «Гомеостат» – реальная взаимозависимая операторская деятельность малой группы испытуемых. В целях углубленного и систематизированного изучения эффективности совместной деятельности в условиях продолжительной изоляции к настоящему времени выполнен ряд аналитических исследований.

Эффективность (соотношение энергетических затрат и результатов функционирования системы) в нашем случае – это композиция двух признаков: успешности взаимозависимой операторской деятельности и активности изолированной малой группы при ее выполнении. Следует подчеркнуть, что основным (доминантным) признаком эффективности является ее успешность, а групповая активность – уточняющим (сопутствующим) признаком. Эффективность также подразумевает детальную оценку особенностей индивидуального и группового поведения в процессе совместной деятельности.

Разработан метод классификации изолированных малых групп с использованием в качестве определяющего признака составного показателя эффективности взаимозависимой операторской деятельности. Предложена ориентировочная градация изолированных малых групп в соответствии со структурой разработанного классификатора. Проведена частная классификация экипажей в экспериментах с камерной изоляцией проекта «МАРС-500».

По результатам, полученным в 3 наземных экспериментах с использованием методики «Гомеостат», проведено исследование динамики успешности взаимозависимой операторской деятельности в условиях продолжительной изоляции. Обнаружена тенденция к повышению успешности совместной операторской деятельности на определенных этапах изоляционного периода. Получена математическая формула исследуемой зависимости.

По результатам мониторинга особенностей инструментального взаимодействия участников эксперимента с изоляцией в условиях аномальной жары и задымления установлено, что фактор внешнего экстремального воздействия влияет на активность членов изолированной малой группы. Отмечена стабилизация на протяжении наблюдаемого периода усредненного по группе значения показателя относительной лидерской активности – доли времени моторной активности оператора, затраченного на сознательное управление и отражающего, как мы полагаем, осмысленную составляющую тактики индивидуального поведения. При этом вариативность данного показателя у каждого из 6 операторов весьма существенна, что с учетом вышесказанного является, на наш взгляд, подтверждением статусного характера значения усредненного показателя относительной лидерской активности для конкретной изолированной малой группы, отражающего ее способность к успешному взаимодействию, которая обеспечивается (ситуативно) переходом (делегированием) от одного оператора другому той неспецифической составляющей тактики индивидуального поведения необходимой для поддержания предопределенной групповой успешности.

Оценивая (априори) влияние основных факторов космического полета на процесс автономного выполнения методики «Гомеостат» экипажем на борту КК, сравнивая и сопоставляя воздействие этих факторов на процесс выполнения методики группой испытуемых в условиях наземного эксперимента, можно предположить, что влияние этих факторов на процедуру и результат гомеостатического тестирования не является критическим и возможен прогностический анализ результатов, полученных в наземных экспериментах с камерной изоляцией.

Планирование сложных технологических операций на борту КК, требующих от экипажа согласованных взаимозависимых действий, с учетом прогнозируемого времени подъема или спада уровня успешности группового взаимодействия, очевидно, повысит вероятность успешного выполнения полетных заданий. Целевое психодиагностическое (гомеостатическое) тестирование экипажа КК перед выполнением сложной профессиональной деятельности, позволит экипажу иметь объективную оценку уровня текущего состояния межличностного инструментального взаимодействия.

ВЛИЯНИЕ ПРОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК В УСЛОВИЯХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

Жидкова О.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PROINFLAMMATORY ACTIVATION IMPACTS ON PROPERTIES OF MESENCHYMAL STEM CELLS IN CONDITIONS OF PHYSIOLOGICAL HYPOXIA

Zhidkova O.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (ММСК) можно выделить практически из любой ткани организма, они обладают способностью к дифференцировке в другие клеточные типы и длительно пролиферировать *in vitro*. Хотя свойства ММСК в физиологических условиях не до конца изучены, они успешно применяются для терапии в моделях воспалительных заболеваний. Считается, что ММСК играют важную роль в поддержании тканевого гомеостаза путем замещения погибших клеток и секреции различных цитокинов. Повреждение ткани обычно сопровождается воспалением, в свою очередь, медиаторы воспаления (например, TNF- α) могут служить сигналами к активации регенеративных свойств ММСК. Эксперименты *in vitro* при стандартном атмосферном содержании O_2 (20 %) показывают, что в присутствии провоспалительных цитокинов ММСК синтезируют целый ряд биологически активных медиаторов, однако свойства ММСК после провоспалительной активации при тканевых значениях O_2 (5 %) не исследованы. Изучение влияния провоспалительного стимула на регенеративные свойства ММСК может помочь в понимании механизмов их действия в области повреждения и разработке стратегий по более эффективному использованию этого терапевтического ресурса.

Для экспериментов использовали ММСК, постоянно культивируемые при 5 % O_2 . Провоспалительная активация проводилась в течение 24 ч путем помещения клеток в среду с TNF- α (5 нг/мл). Регенеративные свойства ММСК *in vitro* характеризовали по изменению способности клеток к миграции, пролиферации, образованию КОЕ-ф, экспрессии молекул адгезии (ICAM-1, ITGA5, CD44, VCAM-1, N-cadherin, ITGB3) и концентрации цитокинов (VEGF, MCP-1, ИЛ-6,-8) в кондиционированной среде (КС).

В ответ на провоспалительную активацию при тканевых значениях O_2 ММСК не изменяли способность к пролиферации, миграции и образованию КОЕ-ф. Активация TNF- α в течение 24 ч привела к достоверному увеличению процентного соотношения клеток с экспрессией ICAM-1 и увеличению интенсивности флуоресценции этих клеток. Активация не приводила к достоверному изменению количества клеток, экспрессирующих ITGA5, CD44, VCAM-1, N-cadherin, ITGB3. Однако наблюдалось достоверное повышение количества молекул антигенов ITGA5 и CD44 на поверхности ММСК. Анализ концентрации цитокинов в КС после активации показал достоверное увеличение уровня ИЛ-6, ИЛ-8, при этом концентрации VEGF и TGF- β не изменялись.

Таким образом провоспалительная активация TNF- α в условиях тканевых значений O_2 не влияет на такие свойства ММСК, как пролиферация, миграция и способность к образованию КОЕ-ф. Провоспалительный стимул приводит к достоверному повышению уровня экспрессии антигенов молекул адгезии ММСК (ICAM-1 ITGA5, CD44) и к повышению секреции ИЛ-6, ИЛ-8. Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях провоспалительного окружения первичный ответ ММСК направлен на изменение межклеточного взаимодействия с окружающими клетками с помощью паракринного механизма (секреция цитокинов) и контактного механизма (экспрессия молекул адгезии) для дальнейшего репаративного ремоделирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-15-00693).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В ПЕРИОДЕ РЕАДАПТАЦИИ

Журавлева О.А., Маркин А.А., Кузичкин Д.С., Заболотская И.В., Вострикова Л.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE INFLUENCE OF THE FINAL STAGE CONDITIONS OF SPACE FLIGHTS ON THE HUMAN BODY METABOLIC REACTIONS DURING THE READAPTATION PERIOD

Zhuravleva O.A., Markin A.A., Kuzichkin D.S., Zabolotskaya I.V., Vostrikova L.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Наиболее ответственными и психофизиологически напряженными для участников орбитальных экспедиций являются этапы выведения космического корабля (КК) на околоземную орбиту и спуска с нее при возвращении на Землю [Колотева М.И., Глебова Т.М., Войтулевич Л.В., 2013]. В это время на космонавтов действуют инерционные силы, величина, направленность и продолжительность действия которых напрямую зависят от слаженности работы бортовых

систем и конструктивных особенностей КК, угла входа их в плотные слои атмосферы, скорости движения и ряда других факторов [Бурдаев М.Н., 2014.]. Под действием испытываемых перегрузок изменяется функциональное состояние организма человека, в основе чего лежат механизмы, связанные с перестройками метаболических реакций в ответ на действие гравитационного фактора.

Целью данной работы является сравнительный анализ метаболических реакций космонавтов после продолжительных полетов на Международной космической станции (МКС) с приземлением на разных типах космических кораблей.

Изучались особенности метаболических реакций у 16 членов экипажей длительных экспедиций на МКС. Восемь космонавтов первой группы совершили полеты продолжительностью от 141 до 196 сут и возвращались на Землю на космических кораблях «Дискавери» и «Индевор», а 8 космонавтов второй группы участвовали в орбитальных экспедициях продолжительностью от 161 до 195 сут и приземлялись на КК «Союз».

Взятие венозной крови осуществлялось за 30 сут до начала орбитальных экспедиций, а также в день приземления (0-е сутки) и на 7-е сутки периода восстановления (ПВ). В образцах крови измеряли значения 40 биохимических показателей, характеризующих основные звенья обмена веществ и функциональное состояние различных органов и тканей.

Величины показателей, измеренных на 0-е сутки ПВ через 4-6 часов после возвращения на Землю, могут с большой долей вероятности свидетельствовать об изменениях метаболических реакций, происходящих непосредственно в полете. Иными словами, их можно рассматривать как метаболический след адаптации к условиям длительного пребывания в условиях невесомости [Маркин А.А., Журавлева О.А., 2012].

В день приземления наблюдались общие для космонавтов обеих групп изменения ряда биохимических показателей. Так, у всех участников длительных экспедиций на МКС выявлен нарастающий в течение реадaptационного периода тренд активности щелочной фосфатазы в среднем на 28 %, а ее костного изофермента в среднем на 52 %. Кроме того, отмечено увеличение активности кислой фосфатазы в среднем на 20 % по сравнению с фоновыми величинами. Сдвиги активности вышеназванных энзимов свидетельствуют об активации анаболических процессов в костной ткани. Так же у всех без исключения обследованных космонавтов выявлено достоверное снижение концентрации общего и непрямого билирубина в среднем на 25 % и снижение в 1,5 раза содержания сывороточного железа, что отражает наличие сформировавшейся во время длительного пребывания в невесомости эритропении, характеризующейся наличием большого числа микроцитов, снижением величины гематокрита и уменьшением содержания гемоглобина в эритроцитах [Иванова С.М., 2002].

Однако по некоторым параметрам выявлены статистически значимые различия, обусловленные, по всей видимости, особенностями приземления разных типов космических кораблей. У космонавтов, совершивших посадку на КК «Союз», на 0-е сутки ПВ отмечено увеличение на 35 % активности аспартатаминотрансферазы, повышение в 3,1 раза активности креатинфосфокиназы, в 3,3 раза ее мышечного изофермента и в 1,5 раза сердечного изофермента. Кроме того, у членов экипажей, приземлявшихся на кораблях «Союз», выявлено достоверное увеличение активности лактатдегидрогеназы на 20 % и α -гидроксибутиратдегидрогеназы на 29 %. При этом у космонавтов, возвратившихся на Землю на КК «Дискавери» и «Индевор», значения вышеназванных показателей практически не отличались от фоновых данных. Подобные сдвиги величин исследованных параметров после посадки на КК «Союз» могут быть обусловлены испытываемыми в момент приземления перегрузками, на которые, как известно, в первую очередь реагируют сердечно-сосудистая система и мышцы [Гора Е.П., 2007]. Наблюдались достоверные различия и по показателям углеводного обмена. Так, на 0-е сутки ПВ концентрация глюкозы у космонавтов, возвратившихся на Землю на кораблях «Дискавери» и «Индевор», была выше исходных значений на 15 %. При этом у космонавтов, приземлившихся на КК «Союз», она на 27 % превышала исходные значения. Содержание лактата в крови членов экипажей после посадки на кораблях типа «Спейс Шаттл» имело только тенденцию к увеличению, в то время как у космонавтов, приземлившихся на КК «Союз», оно повышалось в 2,7 раза относительно фоновых данных. Что касается пировиноградной кислоты, то и у той, и у другой группы ее концентрация увеличивалась, но больше у тех космонавтов, которые возвращались на Землю на российских кораблях. Это может быть обусловлено активацией анаэробного пути утилизации глюкозы [Маркин А.А., Журавлева О.А., 2012].

Вышеописанные сдвиги параметров, возникшие в день посадки, практически нивелировались на 7-е сутки ПВ. Однако спустя неделю после возвращения на Землю у космонавтов наблюдались достоверные межгрупповые различия индекса атерогенности и ЛПВП-отношения. У членов экипажей, совершивших посадку на КК «Союз», значения этих показателей однонаправленно изменялись на величины, вдвое большие, чем у членов экипажей, приземлявшихся на КК «Дискавери» и «Индевор». При этом изменения концентрации общего белка у обеих групп космонавтов носили разнонаправленный характер. У членов экипажей, приземлявшихся на кораблях «Дискавери» и «Индевор», содержание общего белка достоверно возрастало на 6 % относительно фоновых значений, в то время как у космонавтов, совершивших посадку на КК «Союз», оно достоверно снижалось на величину того же порядка. Подобный характер изменений может быть обусловлен воздействием перегрузок разной силы и длительности при приземлении на разных типах космических кораблей. По всей видимости, для адекватной компенсации энерготрат при приземлении на российских кораблях, организм помимо глюкозы и липидов использует в качестве энергетических субстанций белки и нуклеиновые кислоты.

Таким образом, условия заключительного этапа полета оказывают существенное влияние на сдвиги метаболических реакций в остром периоде реадaptации. Динамика биохимических показателей в восстановительном периоде после длительных орбитальных экспедиций требует дальнейшего углубленного изучения, в том числе и в наземных условиях при моделировании факторов КП.

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОМ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Зарецкий Б.Ф.¹, Гузенберг А.С.², Курмазенко Э.А.¹, Прошкин В.Ю.¹, Морозов Г.И.³

¹ АО «НИИХиммаш», Москва

² РКК «Энергия», г. Королев, Московская область

³ МАИ, Москва

AN EFFECTIVE CONTROL SYSTEM OF COMPLEX LIFE-SUPPORT SYSTEMS FOR LONG-TERM SPACE STATION CREW

Zaretsky B.F.¹, Guzenberg A.S.², Kurmazenko E.A.¹, Proshkin V.Ju.¹, Morozov G.I.³

¹ JSC «NIIChimmash», Moscow

² RSC «Energia», Korolev, Moscow region

³ MAI, Moscow

Комплекс систем жизнеобеспечения (КСЖО) для экипажа долговременной космической станции в общем виде может включать в свой состав системы жизнеобеспечения на запасах, физико-химические системы жизнеобеспечения и биотехническую систему жизнеобеспечения. КСЖО представляет собой принципиально новый класс объектов управления. Авторами доклада [Зарецкий Б.Ф., 2008–2015] проведены исследования с целью создания теоретической базы для последующего построения эффективной автоматизированной системы управления (АСУ). При создании АСУ КСЖО необходимо сформулировать глобальные критерии эффективности и построить уравнения для поиска оптимальных решений. Из большого множества противоречивых критериев предлагается выделить 3 обобщенных глобальных критерия эффективности: живучесть, себестоимость и комфортность. В каждом из глобальных критериев объединена группа таких локальных критериев эффективности, чтобы они не противоречили друг другу и взаимно не конкурировали. Для каждого обобщенного глобального критерия эффективности определяется его оптимальное значение. При решении уравнения оптимизации для конкретного глобального критерия, на остальные два глобальных критерия накладываются ограничения.

Живучесть. Этот обобщенный глобальный критерий включает в свой состав такую группу критериев, как ресурс, надежность, ремонтпригодность и т.д., используется при определении оптимальной структуры АСУ КСЖО и задает идеологию управления. При создании АСУ для всех предлагаемых технологий, процессов и их комбинаций проводится логический и математический анализ по критерию живучесть. Этот анализ доказывает преимущество распределенной системы управления по сравнению с централизованной системой управления. В распределенной АСУ локальные блоки управления обеспечивают оперативное управление отдельными подсистемами в составе КСЖО, а центральный компьютер бортового комплекса управления (БКУ) согласует работу подсистем и поддерживает оптимальные параметры среды обитания экипажа. При сбое или необходимости отключения одного из элементов АСУ (локального блока управления или центрального компьютера), его функции временно берет на себя другой элемент. Для планетной базы ресурс элементов АСУ должен быть не менее 15 лет.

Предлагается ввести понятие «предельное время восстановления функции управления» при возникновении нештатной ситуации в центральном компьютере. Если это время, например, при старте космического корабля, порядка секунды, то надежность АСУ обеспечивает троирование центрального компьютера при горячем резерве дублирующих компьютеров, а восстановление управления достигается переключением управляющих выходов БКУ. Для АСУ КСЖО троирование лишено актуальности, поскольку предельное время восстановления составляет порядка нескольких часов. Отказавший элемент нужно отключить, и он может быть заменен экипажем вручную.

Для АСУ КСЖО предлагается использовать функциональное дублирование, которое заключается в том, что оценка технического состояния конкретного аппарата проводится по 2 (или более) датчикам, контролирующим разные параметры, характеризующие работу аппарата. Датчики являются аналоговыми (непрерывно измеряющими величину параметра), и по сопоставлению величин параметров и их изменению во времени проводится прогноз технического состояния аппарата в составе КСЖО.

Себестоимость. Этот обобщенный глобальный критерий включает в свой состав такую группу критериев, как стоимость разработки и изготовления, массу, энергопотребление, необходимые запасные части, затраты времени экипажа на обслуживание и т.д. и используется для выбора элементной базы и технического обеспечения АСУ. Предлагалось использовать такой частный критерий, как «приведенная масса» (Малозёмов, 1980), но глобальный критерий себестоимость является более общим, т.к. позволяет дополнительно учесть еще и множество других параметров. При поиске

оптимального значения критерия себестоимость обязательно необходимо учитывать взаимодействие как отдельных подсистем внутри КСЖО, так и взаимодействие КСЖО в целом с другими системами на борту космической станции. Анализ проблемы показывает необходимость создания адекватной элементной базы для АСУ КСЖО, использования универсального контроллера для распределенной системы управления с интерфейсом на базе оптоволоконного кабеля.

Комфортность. Этот обобщенный глобальный критерий включает в свой состав такую группу критериев, которая определяет параметры среды обитания экипажа и взаимодействие экипаж–система. Сегодня критерий комфортность в пилотируемой космонавтике не используется. Авторы доклада предлагают использовать этот обобщенный глобальный критерий на стадии разработки алгоритмов управления АСУ и выбора оптимальных режимов функционирования КСЖО. В качестве примера разработан алгоритм управления, обеспечивающий оптимальный газовый состав атмосферы обитаемого отсека космической станции по следующим параметрам: общее давление атмосферы, парциальные давления кислорода и углекислого газа, относительная влажность воздуха и концентрации микропримесей в атмосфере.

Объект управления. Для анализа особенностей сложного объекта управления предложено его обобщенное математическое описание в виде функционала объекта управления Y , который является множеством параметров состояния среды обитания экипажа, и может быть записан в общем виде как:

$$Y = Y(X, Z, A, V, U, N, Re)$$

где: X – множество технических параметров КСЖО; Z – множество структур АСУ КСЖО; A – множество целевых параметров КСЖО; V – множество возмущающих воздействий; U – множество управляющих воздействий; N – энергопотребление; Re – множество ресурсов, потребляемых КСЖО.

На элементы всех этих множеств накладываются определенные ограничения. Главным возмущающим воздействием в КСЖО является численный состав экипажа. При анализе ограничений на параметры среды обитания предлагается выделить 3 области состояния параметров среды обитания: область комфорта, область выживания экипажа и область, несовместимая с выживанием экипажа (область аварии). Область комфорта ограничивается оптимальными значениями параметров, а область выживания – их предельно допустимыми значениями, которые зависят от времени их действия (т.е. от длительности пребывания экипажа при данных параметрах окружающей среды). Подобный подход является особенно актуальным при создании планетных баз, в связи с более долговременным пребыванием космонавтов в искусственно созданной среде обитания.

Наблюдаемость и управляемость. Эти понятия введены Рудольфом Калманом - иностранным членом РАН [Калман, 1970, 2004] и они могут быть применены в управлении КСЖО. При анализе технологии и конструкции соответствующей подсистемы КСЖО устанавливается минимальное необходимое и достаточное количество контролируемых параметров, определяющих работоспособность и ресурс подсистем КСЖО. АСУ КСЖО должна обеспечивать непрерывный контроль и прогнозирование состояния этих параметров с целью управления и поддержания их в заданных пределах. Главная задача АСУ КСЖО – поддержание параметров среды обитания экипажа в комфортных или допустимых пределах путем управления работой всех подсистем КСЖО. При этом важен выбор методики эффективного контроля параметров, из которой следует необходимость применения аналоговых датчиков контроля взамен широко применяемых в настоящее время дискретных (пороговых) датчиков. Только такая техника обеспечивает главные цели АСУ КСЖО. В качестве примера эффективности указанного подхода рассмотрено управление типовым побудителем расхода, у которого контролируются 2 параметра: создаваемое давление рабочей среды (напор) и ток, потребляемый электродвигателем.

С точки зрения управляемости рассмотрена система управления для электромагнитных клапанов с применением «моторного автомата». Эти клапаны стоят в системах жизнеобеспечения экипажа, разработанных «НИИХиммаш» и применяемых сейчас на Международной космической станции (МКС). На клапане имеются две электромагнитные катушки: на открытие и на закрытие. Фиксация положения штока клапана осуществляется за счет намагничивания катушками магнитных фиксаторов. Сигнал на закрытие или открытие клапана подается строго по рабочему алгоритму управления. Имеются задержки и фильтры, исключающие случайные срабатывания. Положение клапана контролируется герконами. Случайные срабатывания клапана полностью исключены. Выпадение срабатывания из заданного алгоритма фиксируется как нештатная ситуация.

Разработка программного обеспечения для АСУ носит индивидуальный характер для каждой подсистемы КСЖО. В результате подробного рассмотрения по глобальному критерию «комфортность» работоспособности АСУ для управления газовым составом атмосферы обитаемого отсека был получен комбинированный алгоритм управления по рас согласованию и по возмущению. В среде LabView проведено математическое моделирование данного алгоритма, применительно к управлению работой системы электролизного получения кислорода из воды (российская система «Электрон-ВМ» на борту МКС). При моделировании такой алгоритм управления обеспечил поддержание парциального давления кислорода в отсеке с незначительным отклонением от оптимального.

АСУ КСЖО лунной базы. Ближайшей целью развития обитаемой космонавтики будет создание планетных баз. При сегодняшнем уровне развития техники и материальных возможностях, более рационально начать процесс освоения солнечной системы с создания лунной базы. На лунной базе требуется АСУ для управления большим количеством объектов в составе КСЖО, с высокой производительностью систем, непрерывным циклом работы и разнообразными принципами действия. КСЖО будет непрерывно развиваться и модернизироваться. При создании и оптимизации

АСУ можно применить описанные обобщенные глобальные критерии: живучесть, себестоимость и комфортность. АСУ КСЖО будет гибкой системой с распределенной структурой, обеспечивающей высокую степень наблюдаемости и прогноз технического состояния объектов управления.

Выводы. 1. Сформированы обобщенные глобальные критерии эффективности: живучесть, себестоимость и комфортность и на их основе предложен системный подход к созданию АСУ КСЖО.

2. Разработано математическое описание объекта управления. Проведен анализ действующих ограничений, возникающих при решении задачи управления КСЖО.

3. Созданный подход дал возможность получить общие методические рекомендации по направлениям создания и модернизации АСУ КСЖО и ряд конкретных технических решений.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ МЯГКОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА

Зеленский К.А.¹, Садков В.Ю.¹, Иванов О.Г.¹, Волковицкий В.В.², Шигуева Т.А.¹, Томиловская Е.С.¹, Ярманова Е.Н.¹, Козловская И.Б.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ЗАО «Научный инновационный инжиниринговый Центр Академии инженерных наук», Москва

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR SOFT EXOSKELETON BIOLOGICAL FEEDBACK

Zelenskiy K.A.¹, Sadkov V.Y.¹, Ivanov O.G.¹, Volkovitskiy V.V.², Shigueva T.A.¹, Tomilovskaya E.S.¹, Yarmanova E.N.¹, Kozlovskaya I.B.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² JSC «Scientific Innovation Engineering Centre of Academy of Engineering Science», Moscow

Метод кинезиотерапии с использованием костюма аксиального нагружения отличается от всех других видов тем, что в процессе занятий обеспечивается одновременное включение в работу практически всех мышечных групп [Барер А.С. и др., 1972, 1994, 1997, 1998]. Метод этот является перспективным в реабилитации двигательных нарушений позы и локомоций. Особенно перспективным представляется комбинация костюма с устройствами, позволяющими вызывать сокращения отдельных мышц для стабилизации позы или восстановления локомоторного паттерна. В течение нескольких лет в Институте медико-биологических проблем ведется разработка мягкого экзоскелетона, обеспечивающего нагружение различных мышечных групп, аксиальную нагрузку на позвоночник, а также электрическую стимуляцию отдельных мышц по системе обратной связи, базирующейся на сигналах, поступающих от системы измерения нагрузок на элементах экзоскелетона. Разработка нового мультимодального экзоскелетона ведется на основе костюма аксиального нагружения «Пингвин», используемого в космических полетах, который уже оснащен системой измерения нагрузок. Клинический аналог костюма «Пингвин» - костюм «Регент» вследствие конструктивных особенностей нуждается в специальной разработке подобной модификации. Для этого ведется поиск принципиально нового подхода к фиксации тензодатчиков, измеряющих нагрузки. Цель данной работы составило построение алгоритма взаимосвязи работы двух составных частей создаваемого экзоскелетона: системы нагружающих эластических тяжей и электромиостимуляционной системы. Разработка такого алгоритма составит основу для системы обратной связи, входящей в состав нового экзоскелетона.

В системе обратной связи «Блок Ввода» и «Блок Управления» собираются и обрабатываются показатели нагрузок эластичных тяжей, передаваемых на «Блок Вывода» в качестве сигналов для управления электростимуляционными воздействиями. Оба блока автономны и не ограничивают испытуемого в движениях. Испытуемый надевает костюм аксиального нагружения вместе с комплектом стимулятора на ноги. После чего встает на стабилоплатформу. При этом он выполняет указание: удерживать вертикальную стойку, руки сцеплять перед собой и смотреть в указанную точку (глаза открыты). Измерение статокинезиограммы проводилось при стойке без нагрузки, с нагрузкой, с нагрузкой и поочередной стимуляцией мышц бедра и голени, а также с поочередной стимуляцией мышц бедра и голени без нагрузки. Величина нагрузки на тяжах составила: на ногах сзади 6,9 кгс, на ногах спереди 9,15, на спине 17,4 и на груди 11,6. Параметры электромиостимуляции составляли от 16 до 19 мА при частоте 50 Гц.

Результаты исследования показали, что при стойке с нагрузкой без стимуляции площадь эллипса статокинезиограммы является наименьшей. Среди трех точек стимуляции (передняя поверхность бедра (m. Rectus femoris), передняя поверхность голени (m. Tibialis), задняя поверхность бедра (mm. Biceps femoris и Semitendinosus) наиболее полезными оказались стойка с нагрузкой и стимуляцией бедра спереди (амплитуда колебаний центра давлений в сагитальной плоскости при этом составила 39,3 % от таковой при стойке без нагрузки и стимуляции) и стойка со стимуляцией передней поверхности бедра без нагрузки (амплитуда колебаний центра давления в сагитальной плоскости при этом составила 37,7 % от таковой при стойке без нагрузки и стимуляции). Принимая во внимание то, что с нагрузкой стойка имеет наименьшую площадь эллипса статокинезиограммы, можно предположить, что добавление стимуляции к нагрузке может повысить эффективность вертикальной стойки.

По показаниям системы измерения нагрузок, наибольшую эффективность в задаче снижения нагрузки на разных сегментах тела испытуемого (снижение нагрузки на ногах сзади, на голени спереди и на спине) оказала стимуляция задней поверхности бедра (mm. Biceps femoris и Semitendinosus). Стимуляция передней поверхности голени (m. Tibialis) обеспечивала влияние на снижение нагрузки на грудной сегмент. Стимуляция передней поверхности бедра (m. Rectus femoris), в основном, снижала нагрузку на мышцы передней стороны бедер. Дальнейшие работы направлены на тарировку тензодатчиков и амплитуд стимуляции для определения оптимальных значений, а также комбинирования стимуляции нескольких сегментов одновременно.

Работа поддержана программой Президиума РАН № I.31. «Актуальные проблемы робототехники» проекта «Разработка мягкого мультимодального экзоскелетона со встроенными системами управления стимуляционными воздействиями, БОС-анализа степени двигательного участия пациента, виртуальной реальности, и его адаптация к клиническому применению для реабилитации больных с поражениями сенсомоторной системы» и грантом РФФИ и ОФИ-м (проект №16-29-08320).

ОЦЕНКА ГИДРАТАЦИИ ЛЕГКИХ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МАНЕВРОВ МЕТОДОМ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА

Золотарев А.М.^{1, 2}, Семенов Ю.С.^{1, 2}

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Московский физико-технический институт (государственный университет)

THE EVALUATION OF LUNG HYDRATATION DURING THE BREATHING MANEUVERS, USING THE BIOIMPEDANCE ANALYSIS

Zolotarev A.^{1, 2}, Semenov Yu.^{1, 2}

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Moscow Physical and Technological Institute (University), Dolgoprudny

Известно, что во время выполнения дыхательных маневров за счет сокращения дыхательной мускулатуры и изменения конфигурации реберной клетки изменяется внутриплевральное и интерстициальное давления. Также при некоторых типах маневров (например, маневр Вальсальвы) изменяется и альвеолярное давление. Сосуды, расположенные в грудной клетке, чувствительны к такого рода изменениям, меняется кровенаполнение легких. Целью работы является оценка гидратации легких во время выполнения дыхательных маневров при помощи биоимпедансного анализа. Биоимпедансный анализ (измерение электрического импеданса участка тела) – один из наиболее дешевых и простых методов исследования кровенаполнения и степени гидратации легких, дающий качественно точные результаты [Николаев Д.В., 2009]. Биоимпедансный анализ легких осложняется необходимостью учитывать не только легочную ткань, но и мышечную, костную и другие ткани, а также изменения объема воздуха в легких.

Мы предполагали, что активное сопротивление грудной клетки прямо пропорционально отношению объема воздуха в легких к кровенаполнению легких. Согласно данному предположению, при выполнении модифицированного маневра Мюллера (глубокий выдох примерно до уровня остаточного объема, попытка вдоха через закрытый мундштук до достижения разрежения в дыхательных путях -30 мм рт. ст. и удержание давления в течение 30 сек) из-за снижения внешнего давления на сосуды кровенаполнение легких должно возрастать, а активное электрическое сопротивление – уменьшаться. При выполнении модифицированного маневра Вальсальвы (глубокий вдох до уровня общей емкости легких, попытка выдоха через закрытый мундштук до достижения давления в дыхательных путях 30 мм рт. ст. и удержание давления в течение 30 сек) мы ожидали снижения кровенаполнения легких и увеличения активного сопротивления. Также оценивали влияние изменения объема легких на их активное сопротивление. Для этого добровольцам было предложено выполнить задержку дыхания в течение 30 сек при тех же объемах легких без изменения давления в дыхательных путях (при открытом надгортаннике). По нашим расчетам, изменения сопротивления во время выполнения маневров с изменением альвеолярного давления должны быть больше, чем без него.

Для оценки изменения кровенаполнения легких мы использовали реографический анализатор «Спрут-2М» (Медасс, Россия). Применяли тетраполярный метод наложения электродов: пара электродов (токовый и измерительный) крепились на проекцию правого поля Кренига, токовый на 4–5 см выше измерительного, вторая пара электродов накладывалась справа на спине на уровне поясницы на среднелопаточной линии, токовый ниже измерительного на 4–5 см. При использовании данного наложения регистрируется преимущественно импеданс правого легкого [Данилов А.А., Саламатова В.Ю., Василевский Ю.В., 2011]. В эксперименте приняли участие 10 здоровых добровольцев (мужчины в возрасте 20–35 лет). Каждый из них выполнил 4 вида дыхательных маневров: задержка дыхания на вдохе без дополнительного давления и с ним (+30 мм. рт.ст.), задержка дыхания на выдохе без дополнительного давления и с ним (-30 мм. рт. ст.). Каждый маневр повторялся два или три раза и длился 30 сек, пауза на восстановление между подходами составляла 2 мин. Во время эксперимента доброволец находился в положении лежа.

Анализ результатов показал, что изменения импеданса, полученные в эксперименте, качественно совпадают с ожидаемыми, причем изменения активного сопротивления во время маневров с изменением альвеолярного давления оказались больше, чем без него. С помощью теста Уилкоксона мы выявили достоверные ($p < 0,05$) различия между этими видами маневров.

Авторы благодарят д.т.н. А.И.Дьяченко за постановку задачи и обсуждение результатов. Работа выполнена при поддержке гранта Программы IV.7.1. Президиума РАН «Интеграция регуляторных влияний в обеспечении функций организма».

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЭПРОН ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Золотарев И.А., Бенгин В.В., Нечаев О.Ю., Амелюшкин А.М., Петров В.Л., Панасюк М.И., Яшин И.В.

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

DEPRON SPACE EXPERIMENT FOR RADIATION MONITORING.

Ivan A. Zolotarev, Victor V. Benghin, Oleg Yu. Nechayev, Alexander M. Amelyushkin, Vasilii L. Petrov, Mikhail I. Panasyuk, Ivan V. Yashin

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University

Эксперимент ДЭПРОН на борту спутника Ломоносов направлен на получение глобальных карт радиационных условий и комплементарной информации для моментов регистрации экстремальных явлений другими приборами комплекса. Образовательный спутник Ломоносов был запущен 28 апреля 2016 года с космодрома Восточный на солнечно-синхронную орбиту, высотой около 480 км, основной целью миссии является изучение транзиентных явлений в атмосфере Земли. Эксперимент ДЭПРОН позволяет получить с секундным разрешением динамику накопления поглощенной дозы от протонов и электронов космического излучения, а также скорости счета тепловых нейтронов. В результате проведения эксперимента по мониторингу радиационных условий на орбите получены карты регистрируемых потоков заряженных частиц в полупроводниковых детекторах и мощностей доз. Получить доступ к данным эксперимента и дополнительным материалам можно на сайте миссии <http://lomonosov.sinp.msu.ru>.

ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И ОСОБЕННОСТИ РОСТА КОРНЕЙ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН СОРТОВ ЛУКА, ЭКСПОНИРОВАННЫХ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ФОТОН-М» № 4

Зотов А.В., Горелов Ю.Н. Кавеленова Л.М., Курганская Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева

CONCERNING THE SEED GERMINATION AND ROOTS GROWTH OF SEEDLINGS GOT BY GERMINATION OF ALLIUM VARIETIES SEEDS EXPOSED ON «FOTON-M» №4 SATELLITE

Zotov A.V., Gorelov Yu.N., Kavelenova L.M., Kurganskaya L.V.

Samara national research university, Samara city

С начала проведения биологических экспериментов на космических аппаратах внимание исследователей неизменно привлекают два фундаментальных вопроса: что может дать изучение организмов во взвешенных условиях для понимания процессов жизнедеятельности и какой вклад в освоение космоса внесут эти биологические знания [Young, 1968]. Первый из этих вопросов связан с изучением влияния невесомости, перегрузок, радиации и прочих составляющих факторов на живые объекты на организменном, клеточном и субклеточном уровнях. Второй вопрос определяется необходимостью изучения рисков космического полета для человека, с развитием систем жизнеобеспечения для длительных пилотируемых полетов и пр. На борту космического аппарата организмы испытывают интегрированное воздействие комплекса факторов, среди которых первое место принадлежит невесомости и радиации. Отрицательные биологические эффекты радиации связаны с запуском цепи химических реакций в клетках и тканях [Hellweg et al., 2007], следствием воздействия ионизирующей радиации являются гибель клеток [Barendsen, 1994], нарушения клеточных циклов, мутации, трансформация клеток, генетическая нестабильность [Kronenberg, 1994]. Воздействие невесомости на растительные организмы приводит к изменению градиента гормонов, а в итоге – нарушениям в программе реализации морфогенеза.

Семена высших растений в состоянии вынужденного покоя существуют практически в состоянии анабиоза, здесь до минимального уровня замедляются обменные процессы, а в результате – снижается уязвимость к термическим воздействиям, способным погубить вегетирующие растения. Это, а также удобство работы с не требующими дополнительных мероприятий по уходу биообъектами, сделало семена наиболее удобным экспериментальным объектом, пригодным для транспортировки на околоземную орбиту и возвращения на Землю для дальнейшего изучения в ходе

послеполетных экспериментов. Однако более чем вероятно, что при экспозиции на борту космических аппаратов может наблюдаться возрастание свободнорадикальной активности в семенах, изменение внутреннего магнетизма в кристаллических структурах их биополимеров, изменение энергии связей молекул. Уровень воздействия на конкретные биообъекты в силу многоплановости его характера сложно поддается измерению, а дальнейшие изменения для конкретных видов растений и режимов воздействия априори нельзя предсказать. Именно поэтому правомочно говорить о действии комплекса факторов космического полета, но методически возможно и вычленять либо исключать (ослаблять) влияние отдельных факторов, располагая испытуемые образцы в специально сконструированных модулях.

В нашем сообщении будет представлена часть результатов послеполетных экспериментов, выполненных и экспонированных на борту космического аппарата «Фотон-М»№4. Как известно, специализированный космический аппарат «Фотон», разработанный «ЦСКБ-Прогресс», стал одним из первых представителей автоматических космических аппаратов для решения технологических проблем. Он начал разрабатываться в 1983 г., а в 1985 г. был совершен первый запуск спутника на космическую орбиту. Первая серия спутников имела в своем составе 12 аппаратов, летавших на орбиту в период с 1985 по 1999 г. [Кирилин и др., 2011]. В 2002 г. была создана серия космических аппаратов «Фотон-М», которая отличается от предшествующей модели более широким спектром сервисных возможностей. Он создавался для проведения в условиях высокой микрогравитации при орбитальном полете космических экспериментов в области космической технологии, биотехнологии, физики невесомости, с целью получения опытных образцов материалов с новыми или улучшенными свойствами. После окончания эксперимента все образцы доставляются на Землю в спускаемом аппарате [Абрашкин и др., 2008].

На борту космического аппарата «Фотон-М» № 4 при помощи специализированного оборудования были произведены различные эксперименты, в том числе космический эксперимент с семенами редких растений Самарской области (разработчик НА – ЦНИИМаш (г. Королев, Московская обл.), постановщик космического эксперимента – Ботанический сад Самарского университета; КЭ – «БИОКОНТ-Б/Ботсад»). Этот эксперимент логически продолжил серию, уже начатую в рамках экспериментальной программы на «Бион-М» № 1 [Абрашкин и др., 2013], когда после экспозиции семян растений природной флоры специалистами Самарского университета было начато последующее развитие растений, полученных из этих семян. При планировании эксперимента для «Фотона» список привлекаемых семян-объектов был расширен, а воздействие на образцы было дифференцировано. Так, помимо семян растений природной флоры были взяты семена различных сортов лука, используемые для выявления генотоксического и мутагенного эффектов (проведение процедуры так называемого *Allium*-теста). Это классический пример биотестирования – использования живых объектов, в частности, семян, в качестве своего рода «живых датчиков», позволяющих выявить и измерить уровень негативного воздействия.

Дифференцированный характер воздействия на идентичные подготовленные для эксперимента партии семян был достигнут путем помещения в модули различной конструкции: стандартный модуль, при помещении в который сохранялось воздействие всего комплекса факторов, либо модули с исключением какого-либо компонента факторов (гипомагнитный модуль – снятие влияния магнитного поля, дополнительное свинцовое покрытие обычного модуля – защита от радиации, и пр.).

В данной статье представлены первичные результаты, полученные при проведении послеполетного изучения образцов семян лука репчатого различных сортов, которые были экспонированы на борту космического аппарата «ФОТОН-М»№4.

Семена лука, для которых можно было априори предполагать неодинаковый уровень чувствительности к интегрированному воздействию и его составляющим, были использованы в серии экспериментов в качестве модельных объектов для выявления влияния факторов космического полета на субклеточном уровне. В эксперименте были использованы семена сортов и видов лука (семенной материал, реализуемый в торговой сети): Лук репчатый сорта: Шаман, Серебряный принц, Карамель, Стригуновский местный, Белое перо, Красный салатный, Лук шалот Деликатес. Для каждого сорта были подготовлены по 3 образца семян по 50 шт. Один из них служил контролем, два других были помещены в гипомагнитный модуль (вариант Космос1) и в модуль но с дополнительной свинцовой экранирующей от остаточной радиации упаковкой (вариант Космос2).

Семена сортов лука по процедуре *Allium*-теста в декабре 2014 г. в стандартных лабораторных условиях проращивались на влажных фильтрах в чашках Петри при +25 0С. В течение 5 дней фиксировали число проросших семян, измеряли длину корней проростков, спустя 5 дней меристемы корней были зафиксированы для последующих окрашивания и выявления показателей генотоксичности, при сопоставлении с контролем – идентичными образцами семян, не экспонировавшимися на борту космического аппарата. Первичный цифровой материал, полученный при изучении процессов прорастания семян, проанализирован с помощью общепринятых статистических методов пакета Excel.

Предварительная оценка всхожести семян лука, выполненная ранее [Зотов, Иванова, 2014], продемонстрировала недостаточно высокое качество семян лука, реализуемого торговыми сетями. Удовлетворительная всхожесть семян была установлена у сортов лука репчатого Белое перо, Деликатес, Шаман, Красный салатный, а также луков душистого и особенно – батуна, что в принципе делает их пригодными для использования в качестве тест-объекта. Используемые для эксперимента семена (сорта лука репчатого сортов: Шаман, Серебряный принц, Карамель, Стригуновский местный, Белое перо, Красный салатный, лука-шалота Деликатес) обнаружили различный уровень

всхожести. Всхожесть в опытных вариантах по сравнению с контролем максимально отличалась у сортов Серебряный принц (снижение на 20–40 %) и Шалот (повышение на 10–20 %). У сортов Карамель и Белое Перо, семена которых обладали в норме самой высокой всхожестью, опытные показатели не отличались от уровня контроля. Для сорта Красный Салатный семена из экранированного свинцом образца слабо превысили всхожесть контрольного образца, из гипомагнитного – заметно уступали контролю.

Для большинства изучавшихся сортов и образцов семян опытные варианты продемонстрировали более заметное влияние экспозиции семян на борту космического аппарата на развитие корней проростков. Отставание роста корней проростков было максимальным у Шалота деликатесного, Шамана и Красного Салатного, эффект ингибирования практически отсутствовал у сорта Белое перо. Изменения длины корней являются следствием изменений скорости клеточных делений, что позволяет нам ожидать обнаружения при дальнейшем изучении корневых меристем лука различных генотоксических эффектов.

К сожалению, было установлено, что взятые для экспериментов семена не в полной мере обладали достаточно высокими посевными свойствами. Однако полученные значимые результаты при последующей оценке генотоксического эффекта, выполненной при микроскопическом анализе зафиксированных меристем корней проростков лука, продемонстрировали неодинаковый уровень уязвимости – у разных сортов и при конкретном уровне воздействия, что мы детально продемонстрируем в следующей публикации.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СВЕТОВЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Зуева М.В.

«Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России

PROSPECTS OF APPLICATION OF THE NON-LINEAR EFFECTS OF LIGHT FOR PRESERVATION AND ENHANCEMENT FUNCTIONS OF THE HUMAN VISUAL SYSTEM AND BRAIN IN EXTREME CONDITIONS

Zueva M.V.

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Moscow

Недавно сформулирована и теоретически обоснована гипотеза, связывающая развитие и поддержание нормальной структуры нейронных сетей и активности мозга и сетчатки со сложностью зрительных и других сенсорных сигналов среды, воздействующих на человека в течение жизни, то есть с опытом нелинейной стимуляции [Zueva M., 2015]. Из теории следует, что дефицит нелинейных характеристик окружающей световой среды приводит к аномалиям развития и старения ЦНС, а применение фрактальной и другой нелинейной стимуляции может быть эффективным в восстановлении функции головного мозга, в том числе, при травмах, инсультах и нейродегенеративной патологии, как метод повышения пластичности. Хорошо описаны естественные ритмы активности головного мозга и зрительной системы, такие как нейронный и сетевой шум, спонтанная активность индивидуальных нейронов и флуктуации суммарной корковой активности, флуктуации коррелированной активности нейронов соседних корковых зон. Временная структура этих ритмов может быть разной в зависимости от функции, которую они выполняют, однако в здоровом организме она всегда нелинейная. Например, белый шум важен для настройки контрастной чувствительности зрительной системы, фрактальный шум играет ключевую роль в обеспечении функциональной связности локальных и отдаленных участков головного мозга и его интегральной функции, включая поведение человека. Нормальные физиологические процессы отличает фрактальная динамика: они характеризуются долговременными корреляциями, инвариантны во времени, спектр их флуктуаций подчиняется поведению $1/f$ с фрактальной размерностью больше топологической. При патологии разрушаются дальние корреляции, и в динамической системе происходит либо умеренное снижение сложности (Броуновское блуждание вместо фрактального шума), либо возникает высоко периодичное поведение (осцилляции на единственной частоте) или полностью некоррелированное поведение системы (белый шум).

Согласно нашей теории, потеря по разным причинам сложных нелинейных характеристик стимулов среды способствует упрощению схемы сетевых контактов и активности мозга. Сегодня известны разнообразные методы реактивации нейропластичности у взрослого человека, которые адресованы к механизмам обучения, формирования следов памяти, получения новых навыков – процессам, ведущим к ремоделированию нейронной сети и сетевой активности. Разработка новых технологий воздействия на пластичность и знание механизмов управления этим процессом должны способствовать более эффективному восстановлению нарушенных межнейронных контактов, когнитивных функций и общей функциональности у лиц с поражением нервной ткани или находящихся в экстремальных условиях. Мы обосновываем, что ритмы сенсорной стимуляции должны быть нелинейно модулированы для того, чтобы обеспечивать эффективную реставрацию или ремоделирование схемы нейронных связей и усиление функций сетчатки и мозга. Знание эффектов, которые оказывают на сетчатку и головной мозг нелинейные стимулы, может обеспечить

возможность управления этими эффектами, причем, не только для разработки инновационных стратегий терапии нейродегенеративных патологий, но и для влияния на мозг здорового человека. В экстремальных условиях, а также при умственно и физически напряженных видах труда применение особых режимов терапевтической фрактальной стимуляции должно способствовать восстановлению и расширению когнитивных функций и резервов головного мозга. С другой стороны, эти методы могут быть перспективными в будущих технологиях расширения границ активного ментального долголетия и усиления умственных способностей при старении человека.

СРАВНЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОРАЖЕНИЯ КОСТНОГО МОЗГА И УРОВНЯ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ ПРИ КОРПУСКУЛЯРНОМ И ФОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Иванов А.А.^{1,2,3}, Булынина Т.М.^{1,2}, Дорожкина О.В.^{1,2}, Абросимова А.Н.^{1,2}, Молоканов А.Г.³, Гаевский В.Н.³

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

³ Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

COMPARISON OF THE DEPTH OF BONE MARROW DAMAGE AND THE LEVEL OF CHROMOSOMAL ABERRATIONS IN CORPUSCULAR AND PHOTON EXPOSURE

Ivanov A.A.^{1,2,3}, Bulinina T.M.^{1,2}, Dorozhkina O.V.^{1,2}, Abrosimova A.N.^{1,2}, Molokanov A.G.³, Gaevsky V.N.³

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems, RAS, Moscow

² A.I.Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center of FMBA, Moscow

³ Joint Institute for nuclear research, Dubna

Основными показателями тяжести лучевого поражения и дозы лучевого воздействия у человека и млекопитающих являются состояние костно-мозгового кроветворения и число хромосомных повреждений. Нами проведено сопоставление числа кариоцитов в костном мозге у мышей ICR(CD-1) и C57Bl6 и уровня хромосомных aberrаций в костно-мозговых клетках после облучения протонами с различной энергией и γ -квантами ^{60}Co .

Установлено, что гамма-облучение вызывает более глубокое поражение костного мозга, но менее выраженное нарушение хромосомного аппарата, по сравнению с протонным облучением в равных поглощенных дозах. Оказалось, что относительная биологическая эффективность протонов со средней энергией 171 МэВ и в пике Брэгга по показателю клеточности костного мозга меньше 1,0, а по уровню хромосомных aberrаций больше 1,0.

Модификация протонного пучка с помощью гребенчатого фильтра, позволяющего облучать мышей целиком в пике Брэгга, обеспечивало увеличение ЛПЭ протонов с 0,49 кэВ/мкм до 1,6 кэВ/мкм, при этом происходило увеличение радиобиологического эффекта протонов по обоим показателям.

В случае модификации пучка протонов с энергией 171 МэВ с помощью силикатного стекла и водосодержащего материала отмечено увеличение мощности дозы облучения, при этом увеличивалось поражение костного мозга, однако число хромосомных aberrаций снижалось.

Полученные данные обсуждаются с позиции роли вторичного нейтронного и фотонного излучения, возникающего при взаимодействии протонов с тканями организма, включая костную ткань, и с веществом физической защиты.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИНСТИТУТА БИМЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ К ПЕРЕЧНЮ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ, ТРЕБУЮЩИХ РЕШЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕДИКО-САНИТАРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Иванов А.С., Згода В.Г., Лохов П.Г., Шумянцева В.В.

Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича (ИБМХ), Москва

PROPOSALS OF THE INSTITUTE OF BIOMEDICAL CHEMISTRY TO THE LIST OF SCIENTIFIC AND APPLIED THEMATIC ISSUES REQUIRING DECISION FOR IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF MEDICAL AND SANITARY SUPPORT AT THE PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF HUMAN SPACE FLIGHTS

Ivanov A.S., Zgoda V.G., Lokhov P.G., Shumyantseva V.V.

Institute of Biomedical Chemistry (IBMC), Moscow

Институт биомедицинской химии (ИБМХ) имеет большой опыт и научно-технические ресурсы в области современных биомедицинских исследований с использованием новейших технологий. ИБМХ имеет также опыт выполнения НИР и ОКР в рамках научных программ Роскосмоса. В ответ на запрос ФАНО о представлении предложений к перечню научно-прикладных тематических вопросов, требующих решения в интересах совершенствования системы

медико-санитарного обеспечения при подготовке и выполнении пилотируемых космических полётов ИБМХ предложил 3 перспективные темы (с привязкой к конкретным вопросам перечня):

1. Применение методов протеомного профилирования для качественного и количественного анализа цитохромов P450 в биологических пробах (в скобках указаны номера вопросов из перечня):

1.1 отбор и освидетельствование кандидатов в космонавты и космонавтов на всех этапах их подготовки к полёту (2);

1.2. персонализированная оценка чувствительности и/или резистентности к различным лекарственным средствам (3);

1.3. разработка персонализированных фармакологических средств (6);

1.4. послеполетное медицинское обследование и персонализированная послеполетная реабилитация космонавтов (7);

1.5. разработка высоко эффективных медицинских средств защиты нового поколения от радиационного, химического и биологического факторов (радиопротекторы, антидоты, вакцинные препараты, специальные биомедицинские технологии) и разработка пищевых рационов (9);

1.6. разработка программ профилактики, протоколов лечения заболеваний и коррекции нарушений функционального состояния, характерных для условий межпланетного полёта и нахождения на планетарных базах (10);

2. Применение метаболомных технологий анализа крови:

2.1. разработка персонализированных фармакологических средств (6);

2.2. разработка современных методов диагностики заболеваний и изменений функционального состояния организма для послеполётного медицинского обследования и персонализированной послеполетной реабилитации космонавтов (7);

3. Применение оптических и электрохимических биосенсорных технологий:

3.1. участие в разработке современной бортовой диагностической аппаратуры – разработка биохимических компонентов и технологий анализа, участие в тестировании, калибровке и испытаниях (4);

3.2. разработка новых экспресс-методов и участие в разработке технических средств биологического контроля поверхностей и среды обитания (5);

3.3. разработка новых лекарственных препаратов – селективных ингибиторов цитохромов P450 (6).

ДИНАМИКА ПРОСТЫХ ПСИХОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ У ЖЕНЩИН ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛУННОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Иванов О.Г., Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

DYNAMICS OF SIMPLE PSYCHOMOTOR REACTIONS OF WOMEN AT SIMULATION OF LUNAR EXPEDITION

Ivanov O.G., Nichiporuk I.A., Vassilieva G.Yu.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Надежная профессиональная деятельность космонавтов требует высокой способности к достоверному восприятию цветных зрительных образов (ЗО) и различению цветовых сигналов, особенно при выполнении ответственных заданий по операторской деятельности (стыковка, расстыковка, облет орбитальной станции), а в перспективе межпланетных космических полетов в круг обязанностей экипажа, вероятно, войдут задачи посадки и старта в ручном режиме, точной ориентации на поверхности планет и др., которые также требуют высокого уровня цветового зрения. Кроме того, дальнейшее развитие пилотируемой космонавтики, безусловно, будет сопровождаться все большим включением в состав как орбитальных, так и межпланетных экипажей женщин-космонавтов.

Ранее было показано, что при наземном моделировании основных факторов космического полета в экспериментах с сухой иммерсией, с кратковременной и длительной антиортостатической гипокинезией у здоровых мужчин-добровольцев в возрасте 20–40 лет имелись различия в скорости зрительно-моторных реакций, точности сравнительной оценки ЗО разных цветов на разном фоне дисплея, которые могли быть обусловлены типологическими и индивидуальными особенностями зрительного восприятия и надежности деятельности обследуемых добровольцев-операторов, вызванными изменением функциональной активности сенсорных систем под воздействием моделируемых факторов космического полета на организм здорового человека [Иванов О.Г., Ничипорук И.А., 2014], однако исследований особенностей цветового зрения и элементов операторской деятельности (ЭОД) в модельных исследованиях с участием здоровых женщин практически не проводилось.

Поэтому основной целью исследований являлось изучение ЭОД, в частности, особенностей восприятия простых ЗО видимого спектра (красный, зеленый, синий, RGB-стандарт) при наземном моделировании лунной экспедиции с участием 6 здоровых женщин-добровольцев в возрасте 25–35 лет до начала, во время основного воздействия и после завершения эксперимента. ЭОД воспроизводились с помощью диалоговой компьютеризированной программы «Сенсор», позволявшей оценивать латентные периоды простой двигательной реакции и непосредственной реакции на световой сигнал, время реакции выбора после предъявления ЗО (линии, контурные и закрашенные квадраты, треугольники, окружности) и абсолютную ошибку при их распознавании на светлом и черном фоне дисплея. Проводилась автоматическая запись результатов

обследования в режиме «on line» в файл-протокол (количество предъявлений, средняя арифметическая, стандартное отклонение и коэффициент вариации времени реакций, разница в пикселях). Общее время на работу с программой составляло 15–20 мин за одно обследование. Частной задачей настоящей работы являлась оценка особенностей динамики простой двигательной реакции и непосредственной реакции на световой сигнал (зрительно-моторной реакции) у женщин-добровольцев с учетом их антропометрических данных. Моделирование лунной экспедиции (космического полета к Луне и обратно без посадки на поверхность планеты) осуществлялось с помощью 8-дневной изоляции обследуемых женщин в гермообъектах с атмосферой, близкой по составу к параметрам газовой среды пилотируемых космических объектов.

Первичные экспериментальные данные были обработаны методами параметрической и непараметрической статистики с использованием компьютерной программы Statistica for Windows (v. 6.0, StatSoft Inc., США).

Оценка экспериментальных данных до и во время изоляции показала наличие достоверных различий среднегрупповых показателей ($M \pm m$) латентных периодов простой двигательной (ЛППДР) и зрительно-моторной (ЛПЗМР) реакций (141 ± 2 и 135 ± 2 мсек., $p = 0,015$; 275 ± 4 и 261 ± 4 мсек., $p = 0,012$ соответственно), а также коэффициентов вариации (КВ) ЛППДР ($11,2 \pm 0,7$ и $13,0 \pm 0,5$ %, $p = 0,03$). После завершения изоляции сохранялись различия по сравнению с фоном только для значений ЛППДР (133 ± 2 и 141 ± 2 мсек., $p = 0,002$). Эти результаты свидетельствуют об улучшении психомоторных реакций обследуемых женщин в период основного воздействия, что могло быть обусловлено, во-первых, эффектом тренировки, а, во-вторых, относительно спокойным режимом труда и отдыха в условиях изоляции, который был менее стрессогенным по сравнению с условиями привычного образа жизни и периода предэкспериментальных (фоновых) обследований, но при этом, вероятно, сопровождался высоким уровнем мотивации на выполнение ЭОД и «полетных» мероприятий, что существенным образом отличалось от 105-суточной изоляции мужчин-добровольцев, когда обследуемым в период изоляции были свойственны излишняя расслабленность, вялость, апатичность и спокойствие – состояние «сверхудовлетворенности», низкий уровень мотивации в трудных ситуациях, что в отдельных эпизодах сопровождалось развитием ленности и демонстрацией плохих результатов в выполнении плановых заданий [Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Носков В.Б., Морук В.В., 2011].

Результаты линейного корреляционного анализа первичных экспериментальных данных настоящих исследований выявили ожидаемую зависимость между ростом и ЛППДР до, во время и после изоляции (по Spearman, $R = -0,574$; $-0,435$; $-0,580$, $p < 0,0001$ соответственно) и достоверную связь между возрастом обследуемых женщин и значениями ЛППДР (до и во время изоляции, $R = 0,319$; $0,486$, $p < 0,04$ соответственно), ЛПЗМР и центральной (перцептивной) задержки (только в фоновый период, $R = -0,528$; $-0,583$, $p < 0,0001$ соответственно), что инициировало формирование ранжированных групп до и старше 30 лет. Анализ ранжированных по возрасту данных показал, что при практически одинаковых среднегрупповых показателях ЛПЗМР младшая и старшая возрастные группы в условиях изоляции достоверно различались по значениям ЛППДР (131 ± 1 против 136 ± 2 мсек., $p = 0,02$), и КВ психомоторных реакций (КВ ЛППДР $10,9 \pm 0,4$ против $13,7 \pm 0,5$ %, $p < 0,0001$; КВ ЛПЗМР $16,7 \pm 1,2$ против $13,1 \pm 1,1$ %, $p < 0,03$), указывающих на более быстрый и стабильный моторный компонент двигательного ответа у женщин моложе 30 лет и на более стабильное выполнение ответной реакции на предъявление ЗО у обследуемых старшей группы, что могло быть обусловлено их большими жизненным опытом и уровнем внимания.

Существенных особенностей ЛПЗМР при предъявлении простых ЗО основных цветов видимого спектра не выявлено.

В целом, полученные результаты свидетельствуют, что в условиях кратковременной изоляции в гермообъектах, моделирующей лунную экспедицию, у здоровых женщин-добровольцев отмечалось улучшение показателей простых психомоторных реакций, вероятно обусловленное высоким уровнем мотивации, а также прослеживалась их достоверная взаимосвязь с антропометрическими параметрами, из которых критически важным для успешного выполнения элементов операторской деятельности является возраст.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКАХ: ПРИНЦИПЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ

Иванова О.А., Шуршаков В.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

DOSIMETRY RESEARCH ABOARD BIOLOGICAL SATELLITES: PRINCIPLES AND RELIZATION

Ivanova O.A., Shurshakov V.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В общем случае дозовая нагрузка при орбитальном полете зависит от высоты и наклона орбиты, толщины защиты, а также фазы цикла солнечной активности и определяется радиационными поясами Земли (РПЗе – электронный и РПЗр – протонный пояса), галактическими и солнечными космическими лучами (ГКЛ и СКЛ). Космическое излучение является сложным по составу и представлено электронами, протонами и тяжелыми заряженными частицами (ТЗЧ), входящими преимущественно в состав ГКЛ. Излучение РПЗ характеризуется сильной анизотропией. Определенный

вклад в дозу дают и вторичные нейтроны, образующиеся при взаимодействии первичного излучения со стенками космического аппарата (КА) и его внутренним оборудованием.

Особенности космического излучения, такие как широкий динамический диапазон изменения доз на трассе полета, анизотропия, смешанный состав частиц, включая вклад нейтронов, предъявляют специфические требования по его мониторингу в процессе космического эксперимента, которые в проведенных ранее (до 2013 г) исследованиях на биологических спутниках учитывались, к сожалению, не в полной мере.

Целью исследований на КА «Бион-М» № 1 (19 апреля – 19 мая 2013 г.) и «Фотон-М» № 4 (19 июля – 1 сентября 2014 г.) в рамках КЭ «Биорадиация» и «Биорадиация-Ф» являлось изучение биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства и внутри спутника, а также исследование и отработка новых методов и средств космической дозиметрии для их последующего применения в перспективных космических миссиях.

К биологически значимым характеристикам космического ионизирующего в рассматриваемом контексте излучения относятся:

- поглощенная доза;
- коэффициент качества (эквивалентная доза);
- спектр линейной передачи энергии (ЛПЭ);
- флюенс частиц и их зарядовый (изотопный состав);
- расположение трека частицы по отношению к радиационно-чувствительной области биообъекта.

В рамках реализации упомянутых выше КЭ решались следующие задачи:

- отработка средств и методов контроля радиационных условий с учетом вклада в дозу вторичных нейтронов космических излучений;
- верификация методов расчета прохождения космических излучений через вещество защиты космических аппаратов;
- проведение полетных радиобиологических экспериментов на биообъектах, не требующих создания и установки на борт специальных систем поддержания их жизнедеятельности;
- радиационно-физическое сопровождение биологических экспериментов, проводимых внутри и снаружи КА.

Оборудование и условия функционирования биоспутников обеспечивают широкие возможности проведения экспериментальных исследований в области космической радиобиологии. Так, внутри спутника в условиях защищенности, аналогичным обитаемым отсекам пилотируемых космических аппаратов, можно изучать характеристики, как первичного, так и вторичного космического излучения, возникающего при взаимодействии первичного с материалами конструкции спутника. На внешней поверхности спутника в специальных контейнерах научной аппаратуры (КНА) обеспечены условия открытого космического пространства, что позволяет изучать радиобиологические эффекты низкоэнергетического космического ионизирующего излучения и его радиационные характеристики. Эти исследования позволяют расширить знания о радиационном поле в околоземном космическом пространстве, необходимые для оценки радиационных нагрузок на космонавтов и биологические объекты, а также на элементы конструкций, покрытия, оптику, электронное оборудование, находящиеся как на внешней поверхности космического летательного аппарата, так и внутри его.

Наклонение орбиты биоспутников $\sim 64,8^\circ$ позволяет проводить радиационно-физические исследования при сниженных по сравнению с орбитой МКС (наклонение орбиты $51,6^\circ$) условиях экранирования космической радиации геомагнитным полем, что приближает условия полета к условиям замагнитосферного пространства. Кроме того, уменьшение геомагнитного порога на высоких широтах позволяет измерять дозы космической радиации с учетом вклада от низкоэнергетического участка спектра, что существенно с точки зрения оценок доз для планируемых пилотируемых полетов в межпланетном пространстве.

Для определения вклада в дозу от различных источников космической радиации необходимо иметь измерения распределения дозы вдоль траектории полета, что невозможно осуществить с помощью только пассивных интегрирующих детекторов, использовавшихся в предыдущих полетах спутников этой серии до 2013 г. Для этих целей необходимы активные детекторы, имеющие объем собственной памяти, достаточный для записи информации в течение всего времени полета об измерениях мощности дозы вдоль траектории с приемлемым временным разрешением (одно – два измерения за минуту).

Отметим, что в случае солнечных протонных событий возможно существенное (в десятки и сотни раз) возрастание суточной мощности дозы внутри КА, для регистрации которого впервые в истории запусков спутников «Бион» нами был предусмотрен дозиметрический прибор, осуществляющий измерения с временным разрешением 60 с.

Для более точной оценки радиационной нагрузки на биообъекты при орбитальных полетах необходимо определение эквивалентной дозы, в том числе от нейтронов, наряду с поглощенной дозой, обусловленной заряженными частицами. Для более полной и правильной интерпретации вклада нейтронов в дозу облучения также необходимы измерения спектров нейтронов вдоль траектории с заданным шагом по времени полета. Знание спектров нейтронов позволяет вычислить их коэффициент качества и получить оценки их вклада в суммарную эквивалентную дозу. Необходимо отметить, что большая часть нейтронов возникает в результате ядерных реакций первичной космической радиации в материалах космического аппарата. С учетом этого важно одновременно с измерением характеристик нейтронов иметь достаточно

полные данные по первичному компоненту излучения вдоль траектории, что должно быть реализовано упомянутой выше активной аппаратурой для измерения динамических характеристик мощности поглощенной дозы.

Вместе с тем определение тех же характеристик радиационных полей в различных точках космического аппарата с помощью пассивных детекторов не утрачивает своего значения, приобретая, кроме того, важные дополнительные функции. Исследуются такие значимые радиационные характеристики, как распределение доз по объекту, что позволяет получить информацию о кривой ослабления излучения для данной эпохи, а также дозы на поверхности объекта и распределение их по глубине за защитой малой ($< 1 \text{ г/см}^2$) толщины. Одновременно с этим полученные физические данные позволяют получить картину распределения дозы по биологическим объектам (например, семенам высших растений) в условиях внешнего экспонирования и оценить возможные хромосомные нарушения в этих растениях после их возвращения на землю.

Кроме того, результаты измерений пассивными детекторами используются для нормировки и проверки модельных описаний динамических характеристик космических лучей и повышения точности анализа измерений, выполненных активными приборами. ЛПЭ-спектры необходимы для корректной оценки радиационной нагрузки на биообъекты, поэтому проводимые измерения с помощью комбинированного использования термолюминесцентных и трековых детекторов имеют большое научное и методологическое значение.

Для целей космической дозиметрии необходимы технологии, позволяющие измерять эквивалентную дозу в смешанных полях ТЗЧ и нейтронов. Последние исследования с пузырьковыми детекторами позволяют заключить, что такие детекторы способны измерять эквивалентную дозу, обусловленную вкладом нейтронов. Исследования с применением «Баббл-детекторов» были также запланированы и проведены в полете биоспутников «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4, использовалась специальная технология обработки полученных результатов с привлечением данных активных приборов и количественным анализом вклада в измеренные значения заряженного и нейтрального компонентов космической радиации.

Следует отметить, что подобные исследования характеристик космического ионизирующего излучения, значимых для безопасности космонавтов при орбитальных полетах, предусматривающие одновременное измерение различных параметров радиационных полей вне и внутри КА, активными и пассивными детекторами и с учетом вклада в дозу нейтронов, не проводились ранее ни на предыдущих спутниках серии «Бион», ни на других беспилотных КА.

Проведенные исследования на биоспутниках «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4 знаменуют собой новое направление в космической дозиметрии и направлены на получение новых знаний как в фундаментальных областях науки - радиобиология, космическая физика, так и в прикладной области - радиационная безопасность космических полетов. Полученные результаты имеют большое научно-практическое значение для выяснения закономерностей формирования дозы в орбитальных космических аппаратах и для отработки принципов и технологии дозиметрии в смешанных полях излучений с высокими значениями ЛПЭ.

Впервые в истории запусков биоспутников в рамках российской научной программы был предусмотрен активный дозиметрический прибор, осуществляющий измерения дозы и потока с временным разрешением 60 с. В натуральных условиях успешно проведена экспериментальная отработка перспективных методов и средств измерения космической радиации. Использованные методологические подходы и полученные результаты могут быть использованы при реализации проектов на КА серии «Бион-М», «ОКА-Т», «Возврат-МК», а также для решения проблем обеспечения радиационной безопасности в перспективных пилотируемых космических миссиях 21 века.

В заключение авторы выражают свою искреннюю признательность сотрудникам Службы главного конструктора ГНЦ РФ – ИМБП РАН и специалистам ОАО «РКЦ «Прогресс» за инженерно-техническую поддержку в организации и проведении экспериментов на КА «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4.

СИСТЕМА КРАСНОЙ КРОВИ У КОСМОНАВТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ ДЛИТЕЛЬНЫХ И СВЕРХДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Иванова С.М.¹, Максимов Г.В.², Лабетская О.И.¹

¹ ГНЦ Российской Федерации - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, кафедра биофизики

THE SYSTEM OF RED BLOOD IN COSMONAUTS EXPOSED TO FACTORS THE LONG AND EXTREMELY LONG SPACE FLIGHTS

Ivanova S.M.¹, Maksimov G.V.², Labetskaya O.I.¹

¹ RF State Scientific Centre - Institute for Biomedical Problems of RAS, Moscow

² Moscow State M.V. Lomonosov University, Chair of Biophysics

Космические полеты (КП) различной продолжительности сопровождаются комплексным изменением состояния эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, снижением количества ретикулоцитов и тромбоцитов, увеличением количества лимфоцитов, нарушением обмена железа [Иванова С.М., 2002, Иванова С.М., Максимов Г.В., Моруков Б.В. 2011].

В настоящее время установлено, что изменения в системе красной крови как у космонавтов после завершения длительных КП, так и у обследуемых в модельных экспериментах (антиортостатическая гипокинезия, пребывание человека в замкнутом объеме с измененной газовой средой) свидетельствуют не только о снижении количества эритроцитов, но и о сдвигах в метаболических показателях и изменении структурно-функционального состояния мембраны эритроцитов, обуславливающих появление трансформированных форм эритроцитов [Ivanova S.M. et al., 1990].

В данном сообщении представлены сравнительные результаты исследования состояния красной крови у космонавтов, совершивших КП различной продолжительности (длительные до 200 сут и сверхдлительные 312–365 сут) на орбитальных станциях «МИР» и «МКС». Задачами исследования явились: исследование морфологической картины крови, состояния красной крови по интенсивности метаболизма эритроцитов, характеристике их мембран и архитектонике клеток с использованием растровой электронной микроскопии, изучение показателей обмена железа и состояния макрофагальной системы. Исследования проводили до и после КП, а также в условиях КП в рамках космических экспериментов «Микровзор», «Эритроцит», «Толерантность», «Гомеостаз».

Анализ результатов, полученных при обследовании космонавтов, совершивших КП различной продолжительности, убедительно продемонстрировал как наличие сдвигов в системе крови, так и адаптационный характер выявленных изменений. При этом было отмечено, что направленность изменений была идентичной как для длительных, так и сверхдлительных КП.

Проведение бортовых экспериментов «МИКРОВЗОР», «ЭРИТРОЦИТ», «ГОМЕОСТАЗ» по программе медико-биологических исследований позволило впервые оценить состояние крови в условиях КП [Поляков В.В., Иванова С.М., Носков В.Б. и др. 1998]. При исследовании морфологической картины крови в условиях КП было обнаружено снижение количества эритроцитов с 70 по 200 сут КП, которое коррелировало с изменениями метаболического статуса клеток и состояния их мембран. Более длительное пребывание на орбите приводило к нормализации этих показателей и, несмотря на малочисленность имеющихся данных, можно предположить наличие фазных изменений в системе красной крови. Последнее возможно, отражается и на ее состоянии в период раннего пребывания на Земле после завершения КП. Так, наибольшие и статистически достоверные изменения в показателях красной крови (метаболизм и структурно-функциональное состояние мембран) наблюдали после завершения КП длительностью 166–200 сут.

Другим важным выводом, полученным в результате проведения эксперимента «ЭРИТРОЦИТ», является выявленное снижение доли нормальных форм эритроцитов как в условиях КП, так и после их завершения. При этом в условиях КП уменьшение доли нормальных форм – дискоцитов происходило за счет увеличения процентного содержания необратимых форм – стоматоцитов, книзоцитов и сфероцитов, а сразу после завершения КП наблюдали увеличение обратимых форм эритроцитов – эхиноцитов. Последнее сопровождается различным структурно-функциональным состоянием мембраны эритроцитов – увеличением «текучести» мембраны в условиях КП и жесткости после их завершения. Результаты послеполетного обследования космонавтов, совершивших КП на ОС «МИР» выявили другие важные и информативные показатели – состояние ПОЛ и антиоксидантной защиты. У большинства обследованных космонавтов повышение продуктов ПОЛ сопровождается увеличением активности ферментов антиоксидантной защиты, что приводит к последующему снижению интенсивности процессов липопероокисления. Следует отметить, что выраженность отмечаемых сдвигов так же, как и при исследовании метаболизма и состояния мембран эритроцитов, была различной. Так, статистически достоверные изменения отмечали только после КП продолжительностью 150–200 сут.

Обнаруженная дестабилизация клеточной мембраны в условиях КП и в первые дни после его завершения свидетельствует о возможном появлении в кровяном русле популяции эритроцитов с укороченным сроком жизни, подлежащей преждевременной элиминации. Это подтверждается выявленным в послеполетных обследованиях повышением содержания сывороточного ферритина и иммуноглобулинов на поверхности эритроцитов. Последнее, наряду со снижением интенсивности эритропоэза может расцениваться, как один из механизмов развития эритроцитопенического синдрома невесомости. Для выявления механизмов возникновения этого синдрома, на наш взгляд, является важным, учитывая малочисленность имеющихся данных, исследование уровня эритропоэтина в условиях длительных КП.

Обнаруженные морфо-биохимические изменения в эритроцитах указывают на возможное нарушение газотранспортной функции красной крови. По литературным данным достоверно доказана роль физико-химических свойств плазматической мембраны в регуляции эффективности переноса гемоглобином кислорода и развитии клеточной гипоксии при сердечно-сосудистой патологии (нейроны мозга, клетки периферических нервов, мышечные клетки сердца и сосудов) [Григорьев А.И. и др., 2008].

Обнаруженные морфо-биохимические изменения в эритроцитах указывают на возможное нарушение газотранспортной функции красной крови. В последнее время показано, что изменение физико-химических свойств плазматической мембраны эритроцита влияет не только на эффективность переноса молекулы кислорода в клетку, но и на состояние гемоглобина.

Исследования, проведенные нами при обследовании космонавтов после длительных КП на орбитальной станции, МКС выявили изменения в конформации гемопорфиринов гемоглобина, а также снижение способности связывать кислород, что может быть одним из факторов возникновения тканевой гипоксии [Grigoriev et al., 2008, Ivanova S.M. et al., 2011, Иванова С.М. и др. 2011].

ИССЛЕДОВАНИЕ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ В ДЕСНЕВОЙ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ И КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Ильин В.К., Соловьева З.О., Скедина М.А., Ковалева А.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

IMMUNOGLOBULIN IN GINGIVAL FLUID IN A «DRY» IMMERSION AND SPACE FLIGHT

Ilyin V.K., Soloviova Z.O., Skedina M.A., Kovaleva A.N.

State Research Center - Institute of Biomedical Problems RAS, Moscow

Исследования, проводимые в условиях длительного космического полета (КП) и в эксперименте «сухая» иммерсия, которая является одной из моделей фактора невесомости, имеет стрессовый характер для лиц, находящихся в данных условиях. Несмотря на определенную стабильность и состав бактериальной популяции различных биотопов она может изменяться под влиянием как различных стрессовых агентов, так и физиологического состояния организма хозяина. Исследования по влиянию хронического психоэмоционального стресса на ткани пародонта показали, что стресс может провоцировать расстройства в системе микроциркуляции и как следствие нарушаются обменные процессы в околозубных тканях. Имеются сообщения, свидетельствующие об изменении метаболизма в минерализованных тканях при воздействии экстремальных факторов.

Изучалось содержание анаэробной микрофлоры пародонта и иммунологических показателей в десневой жидкости участников 5 экспедиций на Международную космическую станцию (МКС). У 8 человек, находившихся в условиях 5-суточной «сухой» иммерсии, дополнительно проводились исследования микроциркуляции в тканях пародонта. Забор проб производился: при иммерсии на 1-е сутки, на 5-е сутки и на 7-е сутки по окончании иммерсии; при КП на 60-е, 14-е сутки до старта, единожды в период полета за 1-2 суток до отправления пробоотборников на Землю, на 1-е, 7-е сутки после посадки. Пробы отбирались стерильными тампонами. Локализация датчика при определении микроциркуляции в тканях пародонта аналогична местам забора проб десневой жидкости. При изучении иммунологических показателей обследуемых учитывалось содержание иммуноглобулинов классов sIgA, IgA и IgM в десневой жидкости. Для определения иммуноглобулинов использовался иммуноферментный метод анализа (ИФА). Применялись наборы реагентов «IgA общий-ИФА-Бест», «IgM общий-ИФА-Бест», «IgA секреторный-ИФА-Бест» (ЗАО «Вектор-Бест», Россия). Качественный состав основных пародонтопатогенных видов микроорганизмов определялся применяя полимеразную цепную реакцию (ПЦР). Исследование микроциркуляции в тканях пародонта проводилось с использованием ультразвукового доплерографа «Минимакс-Допплер-К» (ООО «СП-Минимакс», Россия, Санкт-петербург) с датчиком 20 МГц. Положение испытуемого при исследовании - полулежа. Все исследования проводились натошак, перед чисткой зубов.

Целью данной работы является анализ результатов исследований в условиях «сухой» иммерсии и космического полета.

Показано носительство пародонтопатогенной микрофлоры. При статистической обработке данных использовались непараметрические методы анализа. Выявлен достоверный прирост показателя после выхода из иммерсии относительно фона для sIgA ($p = 0,0173$), IgA ($p = 0,0146$) и на 7-е сутки после посадки для sIgA относительно выхода ($p = 0,0173$). Для IgM никаких достоверных изменений выявлено не было. Для sIgA в КП выявлено статистически достоверное снижение показателя ($p = 0,0251$) на 1-е сутки после посадки относительно 14-х суток до старта. На 7-е сутки после посадки значение достоверно ниже полетного ($p = 0,0437$), но достоверно выше, чем на 1-е сутки ($p = 0,0173$). Для IgA на 14 сутки до старта значение достоверно выше полетного ($p = 0,0004$) и на 7-е сутки после посадки ($p = 0,0299$). Полетные значения достоверно ниже ($p = 0,0117$) всех послеполетных значений. Для IgM выявлено статистически достоверное снижение показателя в полете ($p = 0,0113$) и на 7-е сутки после посадки ($p = 0,0494$) относительно 14-х суток до старта. На 1-е сутки после посадки значение достоверно выше полетного ($p = 0,0425$). Характер изменения содержания иммуноглобулинов у обследуемых говорит о возможности возникновения воспалительного процесса в тканях пародонта.

Сравнение значений иммуноглобулинов в иммерсии и КП проводилось с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни для несвязных групп. Наиболее близки по значениям: для sIgA 1-е сутки иммерсии и 14-е сутки до старта, для IgA и IgM 7-е сутки по окончании иммерсии и после посадки, для IgM 1-е сутки после посадки и 5-е сутки по окончании иммерсии.

Проведена корреляция между показателями микроциркуляции в тканях пародонта в артериолярном и капиллярном звеньях и содержанием иммуноглобулинов в десневой жидкости с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0. Использовалась оценка корреляции по Спирману с принятым уровнем значимости $p = 0,05$. Наблюдается умеренная обратная корреляция (до $R = -0,33$) линейных скоростей в капиллярном звене и содержанием иммуноглобулинов sIgA, IgA, IgM.

Таким образом, комплексные исследования показали предрасположенность тканей пародонта обследуемых в условиях иммерсии и КП к развитию воспалительных заболеваний. Необходимо проводить дальнейшие исследования для увеличения данных по исследуемым показателям.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛОСТИ РТА У ОПЕРАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Ильин В.К., Шумилина Г.А., Соловьева З.О.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ON THE STUDY OF THE FUNCTIONAL STATE OF ORAL CAVITY OPERATORS UNDER EXTREME CONDITIONS

Ilyin V.K., Shumilina G.A., Soloviova Z.O.

State Research Center - Institute of Biomedical Problems RAS, Moscow

Для реализации межпланетных экспедиций необходим специальный комплекс медико-биологического обеспечения (МБО). Задачей МБО является сохранение здоровья и работоспособности экипажа на всех этапах экспедиции.

Воздействие на человека специфического комплекса факторов, присущих условиям космического полета (КП), может приводить к изменению некоторых показателей функционального состояния полости рта и развитию воспалительных изменений слизистой полости рта и десен.

Исследования физиолого-гигиенического состояния полости рта проводились у различных контингентов обследуемых в условиях повседневной жизни в целях получения нормативных показателей, характеризующих индивидуальные особенности, при наземном моделировании условий КП во время пребывания в герметично замкнутых помещениях (ГЗП) и при антиортостатической гипокинезии (АНОГ), а также в период подготовки, во время КП и после его завершения. Проведенные исследования позволили объективно оценивать состояние полости рта и контролировать качество гигиенического ухода за зубами и деснами во время КП.

Продолжением ранее проведенных работ явились исследования состояния тканей пародонта в условиях КП, а именно изучение анаэробной составляющей микробиоты пародонта и иммунологических показателей в десневой жидкости. Для определения иммуноглобулинов использовался иммуноферментный метод анализа (ИФА). Качественный состав основных пародонтопатогенных видов микроорганизмов определяли, применяя современные методы молекулярно-биологического исследования, а именно полимеразную цепную реакцию (ПЦР).

Изучалось содержание анаэробной микрофлоры пародонта и иммунологических показателей в десневой жидкости участников 5 экспедиций на Международную космическую станцию (МКС) и их дублеров. В рамках клинико-физиологических обследований исследования иммунологических показателей в десневой жидкости проводили на 90-е, 60-е, 14-е сутки до старта, 1 раз в период полета за 1–2 сут до отправления пробоотборников на Землю, на 1-е, 7-е сутки после посадки. В те же сроки осуществляли микробиологические обследования. При изучении иммунологических показателей обследуемых учитывалось содержание иммуноглобулинов классов sIgA, IgA и IgM в десневой жидкости.

Целью данной работы является анализ полученных результатов исследований и использование их в качестве рекомендаций по гигиеническому уходу за полостью рта и зубами космонавтов во время полета.

Проведенная детекция маркерной дезоксирибонуклеиновой кислоты пяти основных пародонтопатогенных видов – *Prevotella intermedia*, *Tannerella forsythia*, *Treponema denticola*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivalis*, показала наличие в ротовой полости обследуемых испытуемых всех представителей этой группы. Наличие 5 основных пародонтопатогенных видов микроорганизмов предполагает этиологическую значимость этих микроорганизмов и потенциальную возможность вызывать заболевания.

При анализе десневой жидкости у обследуемых испытуемых на содержание иммуноглобулинов (sIgA, IgA, IgM) наблюдается снижение уровня иммуноглобулинов sIgA, IgM, а IgA только в полете, что может говорить о возможности возникновения воспалительного процесса в тканях пародонта.

Данная работа является логическим продолжением изучения выявления групп риска развития воспалительных заболеваний пародонта под влиянием экстремальных факторов и основанием по подбору адекватных средств профилактики, в том числе средств личной гигиены.

Выбор средств ухода за полостью рта и зубами проводится индивидуально каждым космонавтом в период наземной подготовки к КП с учетом результатов вышеперечисленных исследований, на основании чего формируется комплекс гигиенических средств, доставляемых на МКС в составе наборов «Комфорт». При необходимости возможна корректировка средств ухода за полостью рта и зубами космонавтов во время полета.

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИСКУССТВЕННОЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ПОЛЕТАХ БИОСПУТНИКОВ «БИОН»

Ильин Е.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико–биологических проблем РАН, Москва

STUDY OF BIOLOGICAL EFFECTS OF ARTIFICIAL GRAVITY IN FLIGHTS OF BION BIOSATELLITES

Ilyin E.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Проблема создания искусственной силы тяжести (ИСТ) в космических полетах давно волнует умы ученых и конструкторов. Первым, кто высказал предположение о целесообразности создания ИСТ в качестве средства обеспечения нормальной жизнедеятельности человека в космическом полете был К.Э.Циолковский – великий русский мыслитель и теоретик космонавтики. Впоследствии разработкой этой идеи занимались многие специалисты СССР, США и России. Однако впервые концепция К.Э.Циолковского была реализована в полетах биоспутников «Бион». Основной задачей этих экспериментов являлось создание на борту биоспутников контрольной группы биообъектов, которые бы подвергались воздействию всех факторов космического полета, но при этом находились бы в условиях 1 g как на Земле. Такой бортовой контроль рассматривался специалистами как идеальный и его использовали при анализе физиологического действия невесомости. Одновременно это позволило оценить биологическую идентичность земной силы тяжести и ИСТ, чему и посвящен планируемый доклад.

В 19,5-суточном полете биоспутника «Бион-3» (1975) эксперименты с ИСТ проводили на культурах растительной ткани, семенах, грибах и мухах дрозофилах. В 18,5-суточных полетах биоспутников «Бион-4» (1977) и «Бион-5» (1979) объектами исследований были крысы линии Вистар и мухи дрозофилы соответственно. На борту биоспутника «Бион-10» (1992) эксперименты с ИСТ проводили на проростках высших растений, клеточных культурах и тканях млекопитающих и, наконец, в 14-суточном полете биоспутника «Бион-11» (1996) на бортовой малогабаритной центрифуге находились только проростки высших растений. ИСТ в полетных экспериментах создавали вращением биообъектов на центрифугах различного радиуса, скорость вращений которых подбирались таким образом, чтобы в зоне размещения биообъектов создавалась ИСТ величиной 1 g.

Сравнительный анализ результатов полетных экспериментов в условиях ИСТ (1 g) и экспериментов, которые проводились синхронно в тех же контейнерах и сборках, но в наземных стационарных условиях (1 g), выявили различия в ряде исследуемых параметров. Однако какую-либо закономерность изменений обнаружить не удалось: при 1 g в условиях полета некоторые процессы жизнедеятельности протекали более активно, чем при 1 g в условиях Земли, а другие наоборот, более медленно. Но по большинству параметров жизнедеятельности исследуемых объектов различий в эффектах 1 g в полете и 1 g на Земле не выявлено.

При анализе результатов эксперимента, проведенного на крысах, основное внимание было уделено состоянию мышц и костной системы, т.е. гравитационно-зависимым системам организма млекопитающих. Сравнение результатов исследований мышц у крыс, находившихся в условиях ИСТ величиной 1 g в полете (первая группа), в условиях вивария (вторая группа) и в синхронном стационарном контроле в макете биоспутника (третья группа) показало, что только одной статической (весовой) нагрузки, создаваемой в полете с помощью ИСТ, недостаточно, чтобы в мышцах не развивались атрофические процессы и изменения метаболизма, обусловленные гипокинезией в связи с пребыванием животных в клетках ограниченного объема. В отношении костной системы крыс вопрос обстоит еще более сложно. В условиях ИСТ в полете рост кости в длину и ширину был более медленным, чем в виварном и синхронном стационарном контроле, а механическая прочность бедренной кости была ниже, чем у виварных животных, но выше, чем в синхронном стационарном контроле. Удельная плотность, минеральная насыщенность и зольность бедренной кости животных, находившихся в условиях ИСТ, была выше, чем в двух наземных контрольных экспериментах. Дегенеративные структурные изменения и снижение АТФ-азной активности миозина миокарда у крыс в условиях ИСТ были, скорее всего, обусловлены гипокинезией в связи с длительным пребыванием животных в ограниченном пространстве клеток. В пользу этого свидетельствует отсутствие каких-либо различий в этих параметрах у крыс, находившихся в условиях 1 g на бортовой центрифуге и в наземном синхронном эксперименте в клетках того же размера, что и на бортовой центрифуге.

Проведенные эксперименты показали, что ИСТ величиной 1 g, создаваемая в космическом полете вращением биообъектов на бортовых центрифугах, по большинству исследованных биологических и физиологических параметров идентична естественной /земной/ силе тяжести. Это означает, что ИСТ можно рассматривать как перспективное средство поддержания оптимального функционального состояния организма в космическом полете. Одновременно с этим обнаружено, что некоторые функциональные, морфологические и биохимические параметры у биообъектов, находившихся в полете в условиях ИСТ величиной 1 g и в условиях естественной /земной/ силы тяжести, существенно отличаются. Основной причиной этих различий является влияние на организм сопутствующих факторов любого космического полета, например, перегрузок при взлете и спуске с орбиты. Некоторые различия исследуемых параметров

в мышцах, костной системе, миокарде и ЦНС животных (крыс) могли быть также обусловлены техническими особенностями бортовой центрифуги, такими как зона обитания животных, малый радиус вращения - 33 см, большая скорость вращения - 54 об/мин, ускорения Кориолиса и прецессионные ускорения, микровибрации и шум мотора при вращении центрифуги.

Полученные результаты следует учитывать при подготовке и проведении физиологических и биологических экспериментов с созданием ИСТ в полетах КА «Бион-М». Основная задача этих экспериментов – исследования применительно к будущим полетам человека на Луну и Марс.

БИОЭТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗА МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГРАММЕ ПОЛЕТА МКС

Ильин Е.А., Смирнова Т.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

BIOETHICAL REVIEW OF BIOMEDICAL RESEARCH IN ISS FLIGHT PROGRAM

Ilyin E.A., Smirnova T.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В проведении биомедицинских исследований с участием человека особое место занимают исследования в условиях реального космического полета (КП) на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС). Учитывая международный статус станции, большое внимание уделяется вопросам проведения биоэтической экспертизы заявленных экспериментов на основе унифицированных подходов, форм организации и критериев оценки.

В соответствии с «Меморандумом о взаимопонимании между РКА и НАСА ...», регламентирующим взаимоотношения международных партнеров по созданию и эксплуатации МКС, учрежден Многосторонний экспертный Совет по исследованиям на человеке (Human research multilateral review board – HRMRB), на который возложены полномочия по рассмотрению и утверждению всех программ исследований на человеке, предлагаемых для проведения на борту станции, а также в до- и послеполетный периоды.

Представителями США, России, Канады, ЕКА, Японии согласованы вопросы, относящиеся к статусу, функциям и организации работ HRMRB, включая: членство в многостороннем экспертном Совете; полномочия HRMRB; поддержку полетных научных исследований; прием предложений для экспертизы; процедуру двухступенчатой экспертизы; процедуру голосования; периодичность встреч; решения и форма заключений; председательство. Эти соглашения зафиксированы в «Уставе HRMRB» и в согласованной сторонами форме «Информированного согласия» космонавта (астронавта) на участие в эксперименте.

В ходе проведенных согласований специалисты стран-партнеров по биоэтическим проблемам разработали документацию и процедуры рассмотрения заявок как Национальными комиссиями по биоэтике, так и Многосторонним экспертным Советом по исследованиям на человеке.

Включенные в научную программу пилотируемого КП медико-биологические исследования и эксперименты, как правило, должны быть тщательно апробированы в наземных условиях, в том числе при имитации воздействия на человека исследуемых факторов космического полета, что обеспечит объективную оценку информативности используемых методических приемов и позволит интерпретировать результаты полетных исследований с большей достоверностью. Такой подход позволит уменьшить вероятность потери научной информации, неоднозначность трактовки получаемых результатов, а экспериментальные риски получат оправдание высокой результативностью исследований.

Динамика и тенденции изменений исследуемых функций организма человека в космических полетах могут быть объективно оценены только в сопоставлении с достоверными данными, получаемыми в пред- и послеполетных обследованиях, а также на статистически достоверной выборке лиц, обследуемых в космических полетах различной продолжительности. По этой причине повторение одних и тех же экспериментов в нескольких полетах представляет собой нормальное явление, а стремление стандартизировать исследовательские методы должно поощряться до тех пор, пока изучаемый вопрос не будет исчерпывающе выяснен. После этого эксперимент может быть исключен из программ дальнейших исследований, заменен или модернизирован.

Биоэтическая экспертиза отечественных заявок на проведение экспериментов на первой стадии формирования программы проводится Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ–Института медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ–ИМБП РАН) в соответствии с «Биоэтическими правилами проведения исследований на человеке и животных» и «Положением о Комиссии», утвержденным директором ГНЦ РФ–ИМБП РАН, Заместителем председателя Российского Комитета по биоэтике при Комиссии РФ по делам ЮНЭСКО и согласованным с Начальником Управления пилотируемых космических программ Федерального космического агентства.

После предварительного одобрения Комиссии и включения заявки в Долгосрочную программу научно-прикладных исследований на РС МКС, утвержденную РАН и Роскосмосом, исполнители планируемого исследования или

эксперимента готовят англо- и русскоязычные варианты «Протокола медико-биологического исследования», разработанные российской стороной в соответствии с форматом, принятым в HRMRB, и представляют на рассмотрение в Комиссию для определения степени риска и принятия окончательного решения с последующим направлением материалов в HRMRB.

На совместном заседании всех членов HRMRB, которое проводится один раз в квартал (теле-видео-конференция), в соответствии с порядком, принятым Уставом HRMRB, происходит рассмотрение и одобрение (или неодобрение) медико-биологических исследований, планируемых для проведения международными партнерами на Международной космической станции. Одобренные Протоколы медико-биологических исследований получают допуск на их проведение на два года, по прошествии двух лет проводится обновление допуска. При этом ответственные исполнители экспериментальных исследований заполняют соответствующую форму, включающую подробный отчет о полученных результатах, которая рассматривается на заседании Комиссии по биомедицинской этике ГНЦ РФ–ИМБП РАН и вместе с решением направляется на рассмотрение HRMRB для продления допуска на дальнейшее проведение эксперимента.

ИЗМЕРЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БОРТУ ВОЗВРАЩАЕМОГО СПУТНИКА «ФОТОН-М4» ПАСИВНЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Иноземцев К.О.^{1,2}, Кушин В.В.^{1,2}, Кодаира С.³, Толочек Р.В.¹, Учихори Ю.³, Китамура Х.³, Кавасима Х.³, Курано М.³, Довгополая Е.А.², Шуршаков В.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ», Москва

³ Национальный Институт Радиологических Наук при Национальных Институтах Квантовых и Радиологических Наук и Технологий, г. Чива, Япония

MEASUREMENT OF BIOLOGICALLY SIGNIFICANT CHARACTERISTICS OF SPACE RADIATION ON BOARD "FOTON-M" N 4 RECOVERABLE SATELLITE BY MEANS OF PASSIVE DETECTORS

Inozemtsev K.O.^{1,2}, Kushin V.V.^{1,2}, Kodaira S.³, Tolochek R.V.¹, Uchihori Yu.³, Kitamura H.³, Kawashima H.³, Kurano M.³, Dvogopolaya E.A.², Shurshakov V.A.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems, RAS, Moscow

² National Research Nuclear University MPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation

³ National Institute of Radiological Sciences for QST, Chiba, Japan

Возвращаемый научно-технологический космический аппарат (КА) ФОТОН-М № 4 был запущен 18 июля 2014 г. на орбиту с высотой в апогее 565 км, высотой в перигее 260 км и наклоном 64.5°, длительность полета составила 45 сут. В ходе реализации научной программы космического эксперимента «БИОРАДИАЦИЯ-Ф», проводившегося на КА, были измерены распределения биологически значимых характеристик космического излучения (спектры линейной передачи энергии, поглощенные и эквивалентные дозы и усредненные коэффициенты качества) внутри и снаружи спускаемой капсулы спутника. В эксперименте использовалась научная аппаратура «СПД» и «БРАДОЗ» с различными типами твердотельных трековых детекторов (ТТД CR-39 «TASTRAK» и TD-1 «HARZLAS») и термолюминесцентных детекторов (LiF:Mg с природным составом лития, фосфатное стекло, активированное Ag⁺ и Al₂O₃:C).

Твердотельные трековые детекторы были обработаны методом одностадийного травления с отбором треков частиц с пробегами R > 8 мкм в CR-39 (для «TASTRAK») и R > 16 мкм в CR-39 (для TD-1 «HARZLAS»). При измерении учитывались как треки протонов с E_p < 6 МэВ и тяжелых ядер релятивистских и промежуточных энергий (ТЗЧ), так и треки вторичных короткопробежных частиц, образованных в результате ядерных реакций в стенках сборок «СПД» и в тканезквивалентном материале самих детекторов. ТТД TD-1 «HARZLAS» сканировались на специализированном автоматическом микроскопе-томографе в лаборатории NIRS с применением программы обработки данных «PitFit». Примененный метод отбора треков и обработки экспериментальной информации для ТТД CR-39 «TASTRAK» показал преимущество перед методом, ранее использованным для этого же типа детекторов в экспериментах на борту КА «БИОН-М1» и МКС. Удалось снизить порог регистрации (с 15 до 7 кэВ/мкм в воде), повысить информативность метода путем отбора, в том числе, и треков вторичного происхождения.

Данные термолюминесцентных детекторов и трековых детекторов использованы для расчетов комбинированным методом суммарных эквивалентных доз и усредненных коэффициентов качества, обусловленных излучением сложного состава как первичным, так и вторичным.

В докладе представлены результаты измерений распределения потоковых и дозовых характеристик космического излучения различными типами и марками детекторов, проведен анализ данных трековых детекторов, полученных в результате применения различных методов сканирования и обработки экспериментальной информации. Оценен вклад в дозу и поток от сильноионизирующих короткопробежных частиц вторичного происхождения, представляющих наиболее биологически опасный компонент космической радиации.

Полученные результаты измерений и отработанная методика будут использоваться для анализа данных КЭ «МАТРЕШКА-Р» на борту российского сегмента МКС в 2017–2018 гг., при планировании радиационно-физических экспериментов на борту КА «БИОН-М2» и при анализе эффектов радиационного воздействия на модельные биологические объекты, экспонировавшиеся в сборках «СПД» и «БРАДОЗ».

ХРОНОТИП, МЕЖПОЛУШАРНАЯ АСИММЕТРИЯ И АДАПТАЦИЯ К СТРЕССУ

Карпова О.И., Закружная М.А., Карпетян А.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

HRONOTIP, INTERHEMISPHERIC ASYMMETRY AND ADAPTATION TO STRESS

Karpova O.I., Zakrzhnaia M.A., Karapetian A.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Несмотря на стремительное развитие космической медицины и совершенствование средств и методов психологического обеспечения космических полетов, состояние психической астенизации остается одной из актуальных психологических проблем пилотируемой космонавтики. Известно, что у многих космонавтов развивается астенизация различной степени выраженности после 1-2 месяцев полёта, что является проявлением дезадаптации. Данное состояние характеризуется повышенной утомляемостью, быстрой истощаемостью, частичной или полной потерей способности к длительному физическому или интеллектуальному напряжению, что существенно осложняет выполнение программы полёта и представляет угрозу безопасности экипажа.

Существующая в настоящее время система профилактики пока не обеспечивает полной адаптации нервной системы к воздействию невесомости и других экстремальных факторов полёта и не может полностью предупредить развитие астенизации. Известно, что скорость развития и выраженность данного состояния зависят от индивидуальных психофизиологических особенностей организма. В связи с этим, представляет значительный интерес создание системы профилактики психоастенического синдрома с учётом индивидуальных психических и физических особенностей организма.

В данном аспекте наибольший интерес представляет изучение взаимосвязи хронотипа и особенностей межполушарного взаимодействия со способностью адаптироваться к экстремальным условиям жизнедеятельности, так как, несмотря на большое количество исследований этой проблемы, изучение адаптационных процессов в условиях космического полёта с учётом хронофизиологических и стереофункциональных особенностей организма человека не проводилось.

В современной литературе имеется достаточно данных о том, что тип межполушарных взаимоотношений является фактором, обуславливающим особенности протекания физиологических и психофизиологических процессов, таким образом, оказывая влияние на способность организма адаптироваться.

Девииции функциональной асимметрии у отдельных индивидов в сторону преобладания каких-либо специализированных функций могут в определенной степени определять вид и стратегию адаптивного процесса или характер его срыва и появления заболеваний. К настоящему времени накоплены убедительные данные в пользу неравенства полушарий мозга в формировании адаптивного поведения.

Анализ межполушарных соотношений в условиях острого психоэмоционального стресса показал, что левополушарные индивиды могут хорошо переносить лишь острый эмоциональный стресс, а при его хронизации правополушарные получают преимущество. Следовательно, правое полушарие мозга является более эмоционально устойчивым, и индивиды с исходным правополушарным латеральным поведенческим фенотипом («левши») обладают несравненным преимуществом для существования в экстремальных условиях среды. Кроме того, правополушарные индивиды оказываются более устойчивыми к действию постоянно (монотонно) предъявляемых раздражителей. Интересные данные были получены при изучении процесса адаптации у военнослужащих - было выявлено, что высокая степень первичной и вторичной адаптации связана с наличием левосторонних признаков (одной или двух функций) асимметрии в индивидуальном профиле, при этом высокая степень адаптации обусловлена выраженной асимметрией полушарий.

При изучении хронобиологических аспектов адаптации, оказалось, что более высокая устойчивость к психоэмоциональному стрессу наблюдается у людей с вечерним хронотипом. Интересные данные были получены при обследовании лиц многосменного труда. Правополушарные испытуемые с хронотипом «совы» легче приспосабливались к работе не только в ночную смену, но и в дневную. При исследовании особенностей адаптации у жителей Заполярья, а также представителей экстремальных профессий (военные, авиадиспетчеры-операторы, альпинисты, рабочие - «вахтовики») была выявлена корреляция между типами адаптации по В.П.Казначееву и типом межполушарных взаимодействий, так «спринтеры» представляют собой ярко выраженных левополушарных людей, а «стайеры» - правополушарных, также были установлены функциональные связи: правое полушарие - «сова» - «стайер»; левое полушарие - «жаворонок» - «спринтер», что в свою очередь предопределяет различную стратегию и тактику процесса адаптации, а также различный её исход.

Резюмируя эти данные, можно говорить о том, что наличие у человека утреннего или вечернего хронотипа, наряду с оптимизацией суточного ритма, является одним из необходимых звеньев формирования адаптивной устойчивости к психоэмоциональному стрессу при проживании в экстремальных или дискомфортных климатогеографических условиях. При этом степень значимости хронотипа в обеспечении адаптивной стрессоустойчивости зависима от наличия у человека того или иного типа адаптивного реагирования и типа межполушарного взаимодействия.

Таким образом, учитывая приведенные данные, можно сделать вывод о несомненной важности учёта индивидуальных особенностей латерального фенотипа и хронотипа при изучении процессов срочной и долговременной адаптации к экстремальным нагрузкам, в том числе и к условиям космического полёта, что является актуальным для прогнозирования успешности деятельности космонавтов и планирования тренировочного процесса на этапе подготовки.

Изучение и выявление оптимальных сочетаний латерального фенотипа и хронотипа при адаптации к условиям космического полёта дает возможность проанализировать системные аспекты регуляции на уникальной модели максимальной мобилизации функциональных резервов организма, может способствовать пониманию механизмов индивидуальной фенотипической адаптации и может лечь в основу разработки новых технологий.

Дальнейшее исследование этого вопроса позволит усовершенствовать систему отбора, создать индивидуальные программы режима труда и отдыха пилотов, а также патогенетически обоснованную систему психопрофилактических и психокоррекционных мероприятий, направленных на поддержание психического благополучия и высокой работоспособности космонавтов в ходе полёта.

ГЕНДЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЖЕНЩИН-КОСМОНАВТОВ В ДЛИТЕЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЁТЕ

Карпова О.И., Закружная М.А., Рудометкин Н.М.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

GENDER ASPECTS OF ENSURING THE HEALTH OF FEMALE ASTRONAUTS IN PROLONGED SPACE FLIGHT

Karpova O.I., Zakrzhnaya M.A., Rudometkin N.M.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Изучение репродуктивной функции в условиях длительного космического полёта (КП) продолжает оставаться одним из основных направлений деятельности космической медицины. Особенно актуальным оно становится в связи с перспективой сверхдлительных и межпланетных полётов, созданием лунных и марсианских баз, где работать будут не только мужчины, но и женщины.

Несмотря на многочисленные исследования в этой области, особенности гормональной регуляции и факторы развития гинекологической патологии в условиях микрогравитации недостаточно изучены. Известно, что скорость развития и выраженность патологии зависят от индивидуальных психофизиологических особенностей женского организма. В связи с этим, продолжают оставаться востребованными методики изучения индивидуальных особенностей состояния женского здоровья и выявления групп риска возникновения заболеваний репродуктивной системы.

В настоящее время в числе ведущих подходов к изучению адаптационных процессов в женском организме являются хронофизиологический и стереофункциональный, так как взаимосвязь хронотипа и особенностей межполушарного взаимодействия влияют на способность адаптироваться к экстремальным условиям жизнедеятельности.

Но, несмотря на большое количество исследований этой проблемы, изучение адаптационных процессов в условиях КП с учетом хронофизиологических и стереофункциональных особенностей женского организма не проводилось. В литературе имеются крайне ограниченные данные о хронолатеральных предикторах различных функциональных отклонений.

При изучении данной проблемы необходимо учитывать, что с хронофизиологических позиций в процессе эволюции наибольшее значение приобрели суточные (циркадианные) биоритмы, включающие в себя цикл «сон–бодрствование», а со стереофункциональных позиций – принцип морфологической и функциональной «симметрии–асимметрии» женской репродуктивной системы.

В связи с изменениями цикла «сон–бодрствование» в условиях длительного КП, также отмечается значительный интерес к изучению регуляторной роли эпифиза и свойств его гормонов, особенно мелатонина. В связи с биоритмическим характером деятельности, эпифиз с помощью мелатонина обеспечивает модуляторную подстройку метаболических процессов женского организма к меняющимся в течение суток условиям среды обитания. Снижение или повышение секреции мелатонина в организме может служить сигналом о расстройстве пинеального и гипофизарного контроля над яичниковой цикличностью и о развитии патологии.

В настоящее время известно, что существует не только временная, но и пространственная согласованность предгестационных и гестационных процессов, каждый из которых детерминирован генетически и реализуется с учетом индивидуального латерального фенотипа. Гестационная доминанта при одноплодной беременности является

однополоушарной. Она захватывает лимбико-диэнцефальные образования в полушарии, контрлатеральной стороне расположения доминанты, и составляет основу нормального течения беременности. Вероятность неосложненного течения беременности значительно выше при доминировании правого яичника и в случаях левополоушарной и амбилатеральной локализации гестационной доминанты и правосторонней плаценте. Статистика свидетельствует, что нарушения менструального цикла и другие гинекологические заболевания в условиях неблагоприятного воздействия производственной среды встречаются чаще у женщин с превалированием левосторонних фенотипических признаков. Также выявлены различия в вегетативной регуляции у женщин с различными латеральными признаками.

В исследованиях, посвященных изучению влияния взаимосвязи хронотипа и фенотипа на репродуктивное здоровье женщин, было выявлено, что нарушения менструального цикла и гинекологическая патология чаще развиваются у женщин при сочетании хронотипа «жаворонки» с левым фенотипом, и «совы» – с правым фенотипом. Также было обнаружено, что нормальное вегетативное обеспечение функций и удовлетворительная адаптация отмечаются у женщин с хронотипом «жаворонки» с сопутствующим правым латеральным профилем, а также хронотипом «совы» в сочетании с левым латеральным профилем. В то же время, выраженные нарушения вегетативного обеспечения функций и снижение адаптационного потенциала характерны для женщин с хронотипом «совы» в сочетании с правым латеральным поведенческим фенотипом и для женщин с хронотипом «жаворонки» в сочетании с левым латеральным поведенческим фенотипом. Также, по данным некоторых исследований, было установлено, что хронофизиологические и стереофункциональные особенности женского организма определяют структуру психоэмоциональных нарушений. Так, наиболее высокий уровень тревожности чаще отмечается у женщин с хронотипом «аритмики», а наиболее высокий уровень депрессии регистрируется у женщин с левым латеральным поведенческим профилем в сочетании с хронотипом «жаворонки». В связи с этим, есть основания полагать, что локализация пика функциональной активности женского организма в светлое время суток (хронотип «жаворонки») в сочетании с левым латеральным поведенческим фенотипом, а также пика функциональной активности в темное время суток (хронотип «совы») в сочетании с правым латеральным поведенческим фенотипом являются конституциональными факторами риска развития вегетативных, эндокринно–метаболических и психоэмоциональных нарушений.

В связи с тем, что процессы адаптации в определенной мере управляемы, установленные механизмы взаимодействия центрального и эффекторного звеньев репродуктивной системы открывают реальные пути оптимизации адаптивности и резистентности женского организма в условиях экстремального воздействия среды.

Проведение многоуровневых полифункциональных исследований репродуктивной, вегетативной нервной, эндокринной и сердечно-сосудистой систем, а также сомнологического и психоэмоционального статуса, в зависимости от хронофизиологической и стереофункциональной организации репродуктивной системы, может способствовать выявлению конституциональных предикторов гинекологической патологии в условиях космического полета с участием женщин и углубить представления об индивидуальных и типологических особенностях адаптационных процессов в женском организме.

БЕЛКИ МОЧИ, ФУНКЦИОНАЛЬНО СВЯЗАННЫЕ С ЭНДОТЕЛИЕМ, И ИХ СВЯЗЬ С БИОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КРОВИ У ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА В 21-СУТОЧНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ

Каширина Д.Н.¹, Пастушкова Л.Х.², Кусто М.¹, Доброхотов И.В.¹, Носовский А.М.¹, Кононихин А.С.¹, Ларина И.М.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Университет Анже, Анже, Франция

URINE PROTEINS, RELATED TO ENDOTHELIUM, AND THEIR RELATIONSHIP WITH A NUMBER OF BLOOD BIOCHEMICAL PARAMETERS OF HEALTHY PEOPLE AT 21-DAY ANTIORTHOSTATIC HYPOKINESIA

Kashirina D.N.¹, Pastushkova L.Kh.², Custaud M.¹, Dobrokhotov I.V.¹, Nosovsky A.M.¹, Kononikhin A.S.¹, Larina I.M.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² University of Angers, Angers, France

Антиортостатическая гипокинезия (АНОГ), помимо влияния на углеводный обмен, также оказывает негативное действие на сердечно-сосудистую систему, что сопровождается изменением функции эндотелия. С целью изучения влияния комплекса факторов АНОГ на состав белков, связанных с эндотелием, в составе протеома мочи и выявления связей между белками и биохимическими показателями проведено хромато-масс-спектрометрическое исследование образцов мочи, полученных у 8 здоровых добровольцев в возрасте от 20 до 40 лет в модельном эксперименте с 21-суточной АНОГ.

Хромато-масс-спектрометрический анализ образцов мочи после ряда этапов стандартной пробоподготовки проводили на системе, состоящей из хроматографа Agilent 1100 (Agilent Technologies Inc., Санта-Клара, США) и гибридного

масс-спектрометра LTQ-FT Ultra (Thermo, Бремен, Германия). С помощью программы ANDSystem было проведено выявление функционально связанных с эндотелием белков путем установления прямых взаимосвязей между различными эндотелиальными процессами и белками, обнаруженными в протеоме мочи добровольцев. Программа позволила определить 7 процессов, связанных с функционированием эндотелия, и имеющих прямые связи с 13 белками, определенными в протеоме мочи испытуемых. Произведена ручная аннотация выявленных наиболее значимых, с точки зрения функций эндотелия, белков. По результатам корреляционного анализа частоты встречаемости белков в моче с биохимическими показателями отмечена достоверная положительная связь белков – альбумина, антигена CD44, рецептора эндотелиального протеина С, муцина-1, остеопонтина, тирозинкиназного рецептора с глюкозой крови (в состоянии натощак), а так же рецептора эндотелиального протеина С и синдекана-4 с рассчитанным индексом инсулинорезистентности. На основе полученных данных можно выдвинуть гипотезу об участии вышеописанных белков в метаболизме глюкозы и их влиянии на углеводный обмен. Таким образом, с помощью методов протеомики на основе хромато-масс-спектрометрии возможно получить новые данные о процессах, происходящих в организме в условиях АНОГ, и сделать предположения о механизмах их реализации.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-04-02463 А и научной школы НШ 7479.2016.4.

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТРАСС

Кибабшина М.А., Меденков А.А.

Научно-техническое общество Института авиационной и космической медицины, Москва

MEDICO-BIOLOGICAL SENSING OF COSMIC TRAILS

Kibabshina M.A., Medenkov A.A.

Scientific and Technical Society of Aviation and Space Medicine Institute, Moscow

В 2016 г. прогрессивное человечество отметило 55-летие космического полета (КП) Ю.А. Гагарина. Сегодня это событие считается выдающимся достижением отечественной науки и техники. Этот подвиг отечественных ученых навсегда останется в анналах истории освоения космического пространства. Из отдельных открытий, фактов и событий сложно выстроить логику превращения идей, знаний и концепций в осуществление мечты человечества о полетах за пределы атмосферы Земли. Однако в развитии медико-биологических исследований космической направленности они оказались взаимосвязанными. И хотя каждый из них не являлся единственным основополагающим научным достижением, вместе они демонстрируют роль личности в истории, эффективность естественнонаучного подхода к изучению законов биологии и физиологии и важность благоприятного сочетания возможностей, потребностей и условий, позволяющих раскрывать таланты, способности и незаурядные качества исторических личностей.

Полет Ю.А. Гагарина готовился исследованиями, разработками и совместными усилиями ученых и специалистов многих научно-исследовательских организаций и производственных предприятий. Главная роль в медико-биологическом обеспечении полета принадлежала Научно-исследовательскому испытательному институту авиационной и космической медицины. Исследования этой направленности проводились в Институте в течение 12 лет, предшествовавших историческому полету. Их проведение связано с именем Владимира Ивановича Яздовского. Он считается патриархом отечественной космической биологии.

В созданном в 1947 г. Всесоюзном научно-исследовательском испытательном институте авиационной медицины В.И. Яздовский занимался медико-техническими проблемами создания герметических кабин и скафандров. И ему было поручено возглавить проведение исследований в интересах медико-биологического обеспечения полетов на большие высоты. 22 июля 1951 г. впервые в мире состоялся запуск на высоту 100 км геофизической ракеты, в герметической кабине которой находились собаки Дезик и Цыган. Дворняжки благополучно возвратились на Землю. Благодаря этому полету, подготовленному В.И. Яздовским, А.Д. Серяпиным и В.И. Поповым, была доказана возможность безопасного пребывания живых организмов на космических высотах. Этот полет стал началом серии запусков одноступенчатых геофизических ракет с животными на высоты 212 км и 450 км для проведения биологических исследований в интересах обеспечения возможности жизни в условиях космоса. В экспериментах исследовалось влияние ускорений и невесомости на организм животных, анализировались и обобщались материалы исследований по проблемам космической биологии. Благополучное катапультирование собак в специально сконструированных скафандрах с высоты 80 км позволило приступить к подготовке запуска спутника с собакой.

Полеты с кратковременной невесомостью не давали возможность прийти к окончательному выводу относительно комплексного и более продолжительного действия факторов КП и, прежде всего, невесомости и космической радиации. Поэтому планировались полеты кораблей-спутников суточной продолжительности для подтверждения возможности безопасного орбитального КП с участием человека. Для этого необходимо было создать и испытать системы жизнеобеспечения и организовать дистанционный контроль влияния на организм факторов КП. В Институте

авиационной медицины этим занимались В.И. Яздовский, О.Г.Газенко, А.М.Генин, А.Д. Серяпин, А.А. Гюрджян, Е.М. Юганов, И.И.Касьян, А.Р. Котовская, Е.А. Петрова, И.С. Балаховский, Б.Г. Буйлов и другие специалисты. Они отбирали и тренировали собак, приучали к приему пищи из автоматических кормушек, обучали переносить перегрузки и вибрации, разрабатывали рационы питания, создавали специальное снаряжение и системы ассенизации.

Во время полета собаки Лайки на 2-м искусственном спутнике Земли 3 ноября 1957 г. оценка ее состояния осуществлялась по данным регистрации электрокардиограммы, артериального давления, частоты дыхания и двигательной активности. В истории космической биологии и медицины этот полет стал важнейшим этапом экспериментальных биологических исследований, обеспечивших научно-практическое обоснование возможности жизни в условиях космоса. 19 августа 1960 г. удалось запустить и вернуть после КП суточной продолжительности собак Белку и Стрелку. В полете у них регистрировались электрокардиограмма, артериальное давление, частота дыхания, температура тела и двигательная активность. Они стали первыми животными, благополучно вернувшимися после полета вокруг Земли. Следующий полет космического корабля-спутника 1 декабря 1960 г. суточной продолжительности с собаками Пчелкой и Мушкой окончился неудачно по техническим причинам. Тем не менее, впервые у животных в космосе удалось осуществить регистрацию электромиограммы. Успешным для собаки Чернушки стал 1,5-часовой полет на 4-м космическом корабле-спутнике 9 марта 1961 г. Полуторачасовой полет 5-го космического корабля-спутника 25 марта 1961 г. с собакой Звездочкой и другими его обитателями также оказался удачным. Эти исследовательские полеты с участием животных явились, по образному выражению В.И.Яздовского, важным этапом «биологического зондирования будущих трасс КП и проверкой надежности работы всех систем космических кораблей».

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 5 января 1959 г. № 22-10 «Об усилении научно-исследовательских работ в области медико-биологического обеспечения КП» Министерству обороны, Академии наук и Академии медицинских наук поручалось считать важнейшей задачей решение вопросов, связанных с медико-биологическим обеспечением КП. Министерству обороны поручалось создать Центр подготовки космонавтов. Научно-исследовательский институт авиационной медицины был преобразован в Государственный научно-исследовательский испытательный институт авиационной и космической медицины первой категории. В соответствии с Директивой Главного штаба ВВС от 14 марта 1959 г. с июня 1959 г. институт был переведен на новый штат с организацией исследований по направлениям:

– авиационной и космической гигиены кабин и скафандров, обмундирования и специального снаряжения, питания, авиационной и космической токсикологии;

– авиационной и космической физиологии с отделами высотной физиологии, ускорений и невесомости, физиологии слуха, речи и вестибулярного анализатора, физиологической оптики;

– специальных научных исследований с отделами медицинского обеспечения безопасности полетов на ракетах, медицинских исследований воздействия факторов КП, медицинского отбора и подготовки экипажей ракетных кораблей.

Так, физиологические исследования космической направленности проводились в отделе О.Г.Газенко, системы жизнеобеспечения разрабатывались в отделе А.М. Генина, проблемы отбора и подготовки космонавтов решались в отделе Н.Н. Гуровского, испытательные работы возлагались на сотрудников отдела Е.А.Карпова. Проводились испытания безмасочного скафандра, средств индивидуальной защиты, систем жизнеобеспечения и приземления с помощью катапультного кресла и в самом корабле.

В соответствии с приказом Главкома ВВС от 30 сентября 1959 г. был организован отбор кандидатов в космонавты. Председателем комиссии по отбору являлся начальник Службы авиационной медицины – главный врач ВВС А.Н. Бабийчук, секретарем комиссии был назначен Е.А. Карпов. В соответствии с приказом Главкома ВВС Главного маршала авиации К.А. Вершинина от 7 марта 1960 г. началось комплектование отряда будущих космонавтов. «Положением о космонавтах СССР», утвержденным Постановлением ЦК КПСС и Советом Министров СССР от 3 августа 1960 г., предусматривались должности «слушателя-космонавта», «космонавта», «инструктора-космонавта» и «старшего инструктора-космонавта», определялись этапы подготовки кандидатов к КП и организации, на которые возлагалось ее проведение.

На основании решения Главной медицинской комиссии по результатам отбора слушателями-космонавтами были назначены И.Н. Анিকেев, В.Ф. Быковский, Б.В. Воынов, Ю.А. Гагарин, В.В. Горбатко, В.М. Комаров, А.А. Леонов, Г.Г. Нелюбов, А.Г. Николаев, П.Р. Попович, Г.С. Титов и Г.С. Шонин. После продолжения отбора в отряд были зачислены Д.А. Заикин, В.И. Филатьев и Е.В. Хрунов, а затем и П.И. Беляев, В.В. Бондаренко, В.С. Варламов и М.З. Рафиков, а также А.Я. Карташов. Им предстояло первыми проложить дорогу пилотируемой космонавтике. 17–18 января 1961 г. Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, Г.Г. Нелюбов, А.Г. Николаев, П.Р. Попович и В.Ф. Быковский успешно сдали экзамен на готовность к КП, продемонстрировав навыки управления кораблем и показав знания его технических систем и оборудования. Члены экзаменационной комиссии Ю.М. Волынкин и В.И. Яздовский оценивали их подготовку по вопросам космической медицины.

Полет Ю.А. Гагарина 12 апреля 1961 г. продемонстрировал миру возможности научно-технического прогресса и перспективы познания и освоения космического пространства. За подготовку и осуществление первого в мире полета человека в космос 92 сотрудника Института авиационной и космической медицины были награждены государственными наградами. В последующем специалисты Института занимались медицинской подготовкой и обеспечением космических полетов Г.С. Титова, А.Г. Николаева, П.Р. Поповича, В.Ф. Быковского и В.Н. Терешковой.

С тех пор космонавтика шагнула далеко вперед в деле освоения космического пространства, ускорения прогресса, разработки новых технологий и познания возможностей человека. Между тем, философия будущих побед и достижений во многом покоится на памяти и уважении труда тех, кто стоял у истоков становления и развития отечественной космонавтики. В этой связи представляется важным не забывать историю страны и людей, положивших начало космической эре человечества. И во главе этого списка заслуженно будут находиться имена К.Э. Циолковского, С.П. Королева, В.И. Яздовского, Ю.А. Гагарина, других космонавтов первого набора и всех тех, кто своим трудом сделал нашу страну космической державой. Своей жизнью, научным вкладом в подготовку и осуществление пилотируемых КП они заслуживают, чтобы их имена навсегда остались в памяти человечества. Долг нынешнего поколения не забывать трудовой и интеллектуальный подвиг этих людей и как можно дольше сохранять память об их делах и свершениях.

ИННОВАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Кибабшина М.А.¹, Меденков А.А.², Нестерович Т.В.¹

¹ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

² Научно-техническое общество Института авиационной и космической медицины, Москва

INNOVATION IN TRAINING OF SPECIALISTS FOR AEROSPACE

Kibabshina M.A.¹, Medenkov A.A.², Nesterovich T.V.¹

¹ Moscow Aviation Institute (National Research University)

² Scientific-technical society of the Institute of Aviation and Space Medicine, Moscow

Инновационное развитие авиации и космонавтики становится одним из приоритетных направлений государственной политики в области науки и техники. Безопасность полетов во многом обеспечивается учетом психофизиологических возможностей летного состава и космонавтов, их функциональной и психологической готовностью к полетам. Такой учет представляет собой системную реализацию медико-технических, социально-психологических и эргономических рекомендаций как составляющих обеспечения психофизиологической надежности профессиональной деятельности. Отечественные исследования авиакосмической направленности связаны с психофизиологическим анализом содержания деятельности и учетом его результатов при проектировании авиакосмической техники и распределении функций, отборе, тренировке и подготовке к полетам летного состава и космонавтов и информационном обеспечении их деятельности. Для решения этой задачи нужны специалисты, способные овладевать и распоряжаться знаниями, разрабатывать и внедрять новые технологии при проектировании и эксплуатации авиационной и космической техники. Таких специалистов необходимо готовить, и система их подготовки должна обеспечивать не только профессиональное образование, но и обучать использовать полученные знания, навыки и умения в процессе трудовой деятельности. Это относится и к технологиям учета психофизиологических характеристик и возможностей человека, без которых невозможно создавать надежные, эффективные и конкурентоспособные летательные аппараты. Поэтому актуальным направлением профессиональной подготовки специалистов для аэрокосмической отрасли становится обучение учету человеческого фактора при проектировании авиакосмической техники для обеспечения ее надежной эксплуатации. Основу методологии такой подготовки инженеров в университете аэрокосмической направленности составили принципы и положения, обеспечивающие формирование представлений и практических навыков и технологий учета психофизиологических возможностей и характеристик человека-оператора при проектировании и эксплуатации летательных аппаратов, распределении функций и разработке алгоритмов и средств деятельности. В практике обучения студентов аэрокосмического университета применялись следующие направления, способы и методы их образовательно-исследовательской подготовки в области учета человеческого фактора:

- использование данных о психофизиологических характеристиках и возможностях человека-оператора при проектировании алгоритмов, средств и условий труда летного состава и космонавтов;
- анализ структуры профессиональной деятельности и определение факторов, влияющих на психофизиологическую надежность летчика и космонавта;
- применение технологий учета человеческого фактора на всех этапах жизненного цикла авиакосмической техники;
- учет взаимовлияния факторов профессиональной деятельности, характеризующих психофизиологическую надежность летного состава и космонавтов;
- оценка влияния различных факторов на эффективность решения задач профессиональной деятельности и функциональное состояние летного состава и космонавтов;
- учет динамики формирования навыков и умений при оценке функциональной готовности человека-оператора к решению задач профессиональной деятельности.

Основными учебными формами, в рамках которых осуществлялась подготовка студентов, были лекции и лабораторные работы. Программы подготовки, курсы лекций и лабораторные работы концентрировали внимание студентов

на вопросах методологии исследования человеческого фактора в авиации и космонавтике, учета данных о возможностях и характеристиках человека-оператора и использования методов проектирования алгоритмов и средств деятельности и систем жизнеобеспечения. При изучении методологии проведения медико-технических и инженерно-психологических исследований в авиации и космонавтике акцент делался на влиянии недостаточного учета психофизиологических характеристик и возможностей летчика и космонавта при разработке средств и алгоритмов и организации труда на их функциональное состояние, эффективность работы и профессиональную надежность. В прогнозе эффективности труда человека-оператора при инженерно-психологическом проектировании его деятельности изучалось совместное влияние и взаимовлияние различных факторов на функциональное состояние, качество работы и профессиональную надежность. Особое внимание обращалось на интеграцию знаний, закономерностей и психофизиологических характеристик человека-оператора в интересах прогноза эффективности их учета при эксплуатации авиакосмической техники. Это методологическое положение выступало в качестве системообразующего при выборе методов, способов и технологий формирования научного мышления студентов в процессе их обучения. Программа подготовки студентов по вопросам учета человеческого фактора была нацелена на решение практических задач оценки и проектирования алгоритмов, средств труда и организации авиационных и космических полетов. Студентов обучали методам, способам и технологиям учета психофизиологических характеристик и возможностей летчика при проектировании бортовых систем и оборудования и обеспечению его работоспособности в полете. Содержание лабораторных работ связывалось с исследованиями и разработками по оптимизации средств и алгоритмов деятельности с использованием учебных, операторских и игровых моделей, адекватных профессиональной деятельностью летчика и космонавта по психологическому содержанию процесса переработки информации и принятию типовых решений. Применительно к задачам информационного обеспечения и разработке системы индикации и отображения пилотажно-навигационной информации использовались модели, характеризующие возможности человека-оператора воспринимать и перерабатывать информацию различной модальности. Для выявления факторов, влияющих на качество учебной, операторской и игровой деятельности регистрировались показатели, характеризующие конституцию, функциональное и психологическое состояние студентов, особенности их психических процессов и операторских качеств, а также социальные и психологические отношения в группах. Социометрия проводилась с помощью известных методик в интересах прогноза успешности совместной учебной, операторской и игровой деятельности в зависимости от психологической совместимости студентов. Функциональное состояние оценивалось на основе показателей, характеризующих состояние сердечно-сосудистой, дыхательной и ряда других систем в разное время суток, а также при дозированных нагрузках. Конституция характеризовалась соответствующими данными, в том числе рядом антропометрических показателей. Психическое состояние личности исследовалось с помощью бланковых методик, тестов, опросников и шкал, позволяющих определять и оперировать качественными и количественными показателями. Характеристики психических процессов выявлялись с помощью традиционных методов исследования оперативной, кратковременной и долговременной памяти. Для оценки операторских качеств использовались специально разработанные методики. Статистический и математический анализ результатов исследования осуществлялся с использованием пакета программ «Статистика». Анализируются данные, связи и математические модели, статистически достоверные при уровне значимости $p < 0,01$. В результате выполнения лабораторных работ получались данные, позволяющие анализировать успешность учебной, операторской и игровой деятельности в связи с функциональным и психическим состоянием, характеристиками психических процессов, свойствами и качествами личности, а также характеристиками конституции и функциональных возможностей организма. Аппроксимация полученных данных позволяла разрабатывать многофакторные модели, характеризующие успеваемость, качество решения задач в связи с особенностями психических процессов, функционального состояния и конституции студентов. Предложенная методология выполнения лабораторных работ способствовала формированию у студентов представлений о том, что эффективность профессиональной деятельности регулируется коммуникативными, регулятивными и когнитивными закономерностями, учет которых при проектировании летательных аппаратов, бортового оборудования и средств защиты, а также при организации профессиональной деятельности летчика и космонавта обеспечивает повышение их профессиональной надежности и безопасности полетов. Интеграция и взаимосвязь теоретических и практических занятий в исследованиях при выполнении лабораторных работ и последующее использование полученных результатов в лекциях и семинарах и при подготовке студентами тезисов докладов и сообщений на научных конференциях способствовали закреплению интереса к науке, участию в научных исследованиях и поступлению в аспирантуру.

На основании практического опыта подготовки специалистов в области учета человеческого фактора в авиации и космонавтике представляется возможным сформулировать следующее. Инновационное развитие авиации и космонавтики предполагает повышение качества подготовки студентов аэрокосмических специальностей и формирования специалистов, владеющих профессиональными знаниями, навыками и умениями для создания и эксплуатации авиакосмической техники с учетом закономерностей осуществления операторской деятельности и обеспечения ее психофизиологической надежности в условиях воздействия различных факторов. Одним из направлений повышения качества такой подготовки является вовлечение студентов в процесс исследования закономерностей

и психофизиологических характеристик и возможностей человека в авиации и космонавтике и их учета при проектировании и создании авиакосмической техники. Реализация такого подхода к теоретической и практической подготовке студентов в области инженерной психологии и эргономики способствует формированию у них представлений о целях, задачах и возможностях учета человеческого фактора в авиации и космонавтике. В целом, обучение студентов учитывать человеческий фактор повышает их интерес к исследованию закономерностей психической деятельности и психофизиологических характеристик и возможностей человека в авиации и космонавтике, их учету при проектировании и эксплуатации авиакосмической техники. Основные направления дальнейшего повышения качества подготовки специалистов авиакосмических специальностей в области учета человеческого фактора связаны с разработкой и совершенствованием методов и способов формирования соответствующих навыков и умений и управления контролем качества обучения с использованием новых информационных технологий.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Коган И.Л.

АО "НИИХиммаш", Москва

CARBON DIOXIDE REDUCTION SYSTEM SIMULATION MODEL WITH MALFUNCTIONS FORECAST BY TELEMETRY DATA

Kogan I.

JSC "Niichimmash", Moscow

К системам, предназначенным для использования на борту космических аппаратов, предъявляются особо высокие эксплуатационные требования. С увеличением продолжительности полетов и осуществлением в ближайшем будущем долгосрочных пилотируемых миссий, связанных с программой полета к Марсу, еще больше ужесточаются требования к применяемому оборудованию из-за невозможности пополнения ресурсов и поставки ЗИП с Земли.

В условиях ограниченности ресурсов, обеспечение максимальной степени замкнутости по кислороду будет достигаться его регенерацией из выдыхаемого углекислого газа. Для этой цели АО "НИИХиммаш" разрабатывает систему переработки диоксида углерода: сложный комплекс технических систем, обеспечивающий избирательную сорбцию углекислого газа из атмосферы космического аппарата, концентрирование углекислого газа и его дальнейшую переработку до воды и газообразных веществ. Получаемая при этом вода пригодна для электролиза без дальнейшей подготовки.

Важную роль в поддержании максимальной производительности и надежности работы систем играет мониторинг технического состояния каждого из их узлов. При ограниченном объеме телеметрической информации, получаемой наземными службами, затрудняется оперативный контроль функционирования, что требует повышенного внимания к разработке средств моделирования работы систем и прогнозирования нештатных ситуаций на основе доступных телеметрических данных.

Для решения поставленных задач в среде графического программирования National Instruments LabView разработана имитационная модель функционирования системы переработки диоксида углерода, сформирована группа критических сигналов телеметрии, определен список нештатных ситуаций, условия и предпосылки их возникновения, а также методы устранения и предупреждения экипажем.

Имитационная модель системы включает в себя:

- модель блока гидрирования диоксида углерода (реактора Сабатье), включающую в себя расчеты скорости реакции, степени превращения, теплового режима в каждой из зон реактора, рекуперации тепла для предварительного подогрева реагирующих газов, охлаждения продуктов реакции в теплообменнике системы терморегулирования и термоэлектрическом холодильнике на эффекте Пельтье, тепловые нагрузки на СТР, ресурс элементов, подлежащих периодической замене, в зависимости от условий эксплуатации на борту.

- модель блока концентрирования диоксида углерода, описывающую ресурс сорбента в зависимости от загрязненности атмосферы гермомодуля, формализованное описание процессов, протекающих в аппаратах блока, влияющих на качество работы.

- модель совместного взаимодействия блока концентрирования выдыхаемого диоксида углерода, его переработки до воды и газообразных веществ и получения кислорода электролизом воды в системе «Электрон-ВМ».

- вероятностный анализ нештатных ситуаций на борту.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ СЕРИИ “AQH-AKWAPИУМ”: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ РЫБ И ЛИЧИНОК ХИРОНОМИД К УСЛОВИЯМ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Козлова О.¹, Аршанский К.¹, Черкасов А.¹, Шагимарданова Е.¹, Левинских М.², Сычев В.², Гусев О.^{1, 2, 3}

¹ Казанский федеральный университет

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

³ RIKEN, Йокогама

AQH-AQUARIUM SPACE PROGRAM: GENETIC ASPECTS ADAPTATION OF FISH TO SPACEFLIGHT ENVIRONMENT

Kozlova O.¹, Arshamskii K.¹, Cherkasov A.¹, Shagimardanova E.¹, Levinskykh M.², Sychev V.², Gusev O.^{1, 2, 3}

¹ Kazan Federal University, Kazan

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

³ RIKEN, Yokohama

Тонкие механизмы адаптации водных организмов к условиям космического полета представляют собой значительный интерес как в фундаментальном плане, так и в аспекте создания систем жизнеобеспечения для длительных межпланетных перелетов. В рамках совместного российско-японского эксперимента, система аквариумов была установлена в РС на борту МКС. В серии совместных экспериментов а период 2013–2014 годов были исследованы рыбки видов *Oryzias latipes* и *Danio rerio*, а также личинки хирономид. В процессе работы проводились экспериментальные исследования: доставка 8 мальков медаки на борт МКС в транспортном контейнере и фиксация их в буфере RNAlater для сохранения нуклеиновых кислот через 6 дней; доставка взрослых рыб медаки на борт МКС в транспортном контейнере, содержание рыб в течение 60 дней, с последующей фиксацией 4 рыб в буфере RNAlater для сохранения нуклеиновых кислот; доставка образцов в лабораторию и полногеномный анализ экспрессии РНК в «земных» и космических» группах рыб, методом RNAseq с использованием платформы высокопроизводительного секвенирования HiSeq (Illumina). Пост-полетный анализ показал высокую сохранность мРНК в буфере RNAlater без признаков деградации. Были подготовлены и секвенированы экспрессионные библиотеки из 13 органов взрослых рыб и библиотека из мальков. Первые результаты анализа показали, что, несмотря на внешнюю полную адаптацию рыб к условиям МКС, космический полет оказывает значительное влияние на активность генома медаки. Последующие эксперименты с использованием *Danio* расширили спектр анализа до изучения в ряде органов регуляторных элементов генома (метод анализа кэп-фрагментов РНК), реагирующих на условия космического полета и реадaptация рыб после возвращения на Землю. Результаты показали, что наиболее интенсивно экспрессия генов меняется в течение первых дней пребывания рыб на борту МКС. В это время наблюдалось значительное изменение работы групп генов, связанных, в частности, с циркадианными ритмами. Примечательно, что глобальный профиль экспрессии в двух видах рыб имел значительные сходства, что свидетельствует о наличии общих механизмов, регулирующих стрессовый ответ в условиях измененной гравитации.

Также проводились эксперименты по регидратации и восстановлению активности криптобиотических личинок комаров-звонцов *Polypedilum vanderplanki*. Впервые было показано, что водные насекомые успешно проходят метаморфоз в условиях космического полета. Полногеномный анализ экспрессии мРНК в личинках через 3 и 24 часа после восстановления активности показал значительное влияние космического полета на работу генов. В частности, в отличие от контрольных личинок на Земле, возвращение к “нормально-метаболическому” профилю экспрессии занимало значительно больше время в условиях космоса. Кроме того, отмечалось значительное повышение экспрессии генов анти-оксидантной системы в оживших личинках на борту МКС.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы повышения конкурентоспособности К(П)ФУ.

ПАССИВНЫЕ СРЕДСТВА В РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЕ ПРОФИЛАКТИКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВЛИЯНИЙ НЕВЕСОМОСТИ

Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Фомина Е.В., Коряк Ю.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PASSIVE MEANS IN RUSSIAN SYSTEM OF COUNTERMEASURE FOR NEGATIVE EFFECTS OF WEIGHTLESSNESS

Kozlovskaya I.B., Yarmanova E.N., Fomina E.V., Koryak Yu.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одну из важных особенностей российской системы профилактики негативных влияний факторов космического полета составляет наличие в ее составе так называемых пассивных средств, предполагающих такие средства и методы, которые обеспечивают предупреждение или ослабление негативных эффектов невесомости без выполнения

физических упражнений и следовательно, экономящих время и силы космонавтов. При разработке первых же профилактических комплексов в их состав были введены средства, направленные на предотвращение развития нарушений в скелетно-мышечной системе – аксиальный нагрузочный костюм «Пингвин» и электромиостимулятор, и на поддержание работоспособности сердечно-сосудистой системы – противоперегрузочный костюм «Кентавр», костюм «Чибис», создающий отрицательное давление на нижнюю половину тела, и пережимные браслеты).

Темой настоящего доклада являются российские пассивные средства, направленные на сохранение в ходе полета мышечных качеств, и соответственно, поддержание физической работоспособности космонавтов. К таким средствам относится прежде всего костюм аксиального нагружения «Пингвин», разработанный исходно специалистами НПО «Звезда» и ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Костюм обеспечивает аксиальное нагружение основных сегментов тела за счет резиновых тяжей, которые, будучи расположены вдоль тела, воспроизводят архитектуру его мышечного скелета и обеспечивают нагрузку до 36–40 кг (по 18–20 кг на каждое плечо) как в статическом, так и динамическом режимах. По данным А.С.Барера и соавт. (1973), костюм существенно увеличивает миографическую стоимость выполняемых упражнений. В течение последних лет в конструкцию и комплектацию костюма внесены существенные изменения, главным из которых явилось оснащение его системой измерения нагрузок (СИН). Опыт применения костюма «Пингвин» на борту космических станций показал, что его использование уменьшает выростание космонавтов в невесомости, а также способствует уменьшению у них выраженности болей в спине. Исследования с применением костюма в условиях 5-суточной наземной модели невесомости («сухой» иммерсии) выявили его эффективность в предотвращении развития гипогравитационных нарушений в двигательной системе.

Рекомендованные к использованию на борту электромиостимуляторы «Стимул-01 ВЧ» и «Стимул-01 НЧ» обеспечивают высоко- и низкочастотную электрическую стимуляцию мышц ног и спины. Высокочастотная и высокоамплитудная электрическая стимуляция направлена в основном на сохранение скоростно-силовых свойств и тонуса локомоторных мышц, составляющих силовой мышечный скелет. Низкочастотная и низкоинтенсивная электростимуляция, адресующаяся в основном медленным тоническим волокнам, обеспечивает сохранность скоростно-силовых свойств и тонуса мышц поструральных, наиболее подверженных в условиях космического полета и его моделей атонии и атрофии.

В настоящее время ведется интенсивная работа по созданию на основе костюма «Пингвин» мультимодального экзоскелетона, объединяющего возможности аксиального нагружения и электромиостимуляции за счет системы обратной связи и средств воздействия на проприосенсорные каналы.

Работы поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 16-29-08320 ОФИ-м) и Программой Президиума Российской академии наук № I.31 «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности. Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва. Актуальные проблемы робототехники».

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОРГАНИЗМА КОРЕННЫХ ЖИТЕЛЕЙ РЕГИОНА ВЫСОКИХ ШИРОТ

Колосова О.Н.^{1,2}, Мельгуй Н.В.², Николаева Е.Н.², Шадрина Л.П.³

¹ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск

² Клиника Медицинского института СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск

³ Академия наук РС(Я), Якутск

INFLUENCE OF SPACE WEATHER ON PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF THE INDIGENOUS INHABITANTS OF THE REGION OF HIGH LATITUDES

Kolosova O.N.^{1,2}, Melgui N.V.², Nikolaeva E.N.², Shadrina L.P.³

¹ Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk

² Clinic of Medical Institute of NEFU named after M.K. Ammosov, Yakutsk

³ Academy of Sciences Republic of Sakha, Yakutsk

Важным фактором, под влиянием которого происходило формирование специфических физиолого-биохимических и конституционально-морфологических изменений у коренных жителей региона высоких широт (Арктика, субарктика), является комплекс климатогеографических факторов, в том числе, геофизических изменений, связанных с незащищенностью регионов высоких широт от воздействия космической радиации: геомагнитных бурь и суббурь, высыпаний высокоэнергетических частиц, инфразвуковых излучений; нарушенного фотопериодизма; метеорологических изменений, связанных с низкими температурами, резкими перепадами температур и атмосферного давления. Экстремальные природные факторы, характерные для климата арктического и субарктического регионов, вызывают у человека большое напряжение функциональных систем организма. Комплекс физиолого-биохимических изменений, возникающий в процессе адаптации к условиям высоких широт, ранее был охарактеризован и выделен как «синдром полярного напряжения» и представляет специфическую форму хронического стресса организма. Причем наибольшее напряжение организм испытывает зимой во время долгой полярной ночи.

Цель исследования – выявление изменений состояния психофизиологических параметров организма человека на субавроральных широтах в зимний период под воздействием геомагнитных бурь.

Для достижения данной цели в декабре 2014 г. в спокойной геомагнитной обстановке 18 декабря и в начале геомагнитной бури (ГМБ), начавшейся в 18 ч 23 декабря и достигшей максимального понижения в 1 ч 24 декабря, в г. Якутске было проведено исследование уровня тревожности, психоэмоционального напряжения, скорости простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) и вегетативной регуляции функций организма добровольцев студентов-мужчин коренной национальности (якуты; $n = 18$) медицинского института СВФУ ($19,92 \pm 2,23$ года). Психофизиологическое тестирование проводили на АПК «Психофизиолог-Н» (Медиком МТД). Для оценки тревожности использовался опросник ситуативной и личностной тревожности Спилбергера (методика Спилбергера и Ю.Л.Ханина); уровень психоэмоциональной устойчивости диагностировался с помощью теста Г.Айзенка (EPI, форма А). Для оценки вегетативной регуляции использовали метод анализа вариабельности сердечного ритма (BCP) по Р.М.Баевскому. Исследование проводилось на АПК «ВНС-Микро» компании Нейрософт в течение 5 мин в положении лежа утром натощак. Исследование проводилось в полном соответствии с этическими рекомендациями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Для обработки данных исследования использовались пакет статистической обработки экспериментальных данных на MS Excel и статистическая программа StatSoft STATISTICA Automated Neural Networks 10 for Windows Ru. Проверка законов нормального распределения сделана с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Были рассчитаны среднее значение (M), стандартная ошибка средней (m), стандартное отклонение (SD), медиана (Me). Сравнение 2 групп по количественным признакам с нормальным распределением значений проведено с использованием модифицированного критерия Стьюдента, с ненормальным распределением с помощью критерия Манна–Уитни и метода парных сравнений Вилкоксона. Статистически значимыми признаны результаты при $p < 0,05$.

Полученные результаты указывают на то, что под воздействием умеренной ГМБ (понижение Dst индекса на 58 нТл) происходит достоверное увеличение процентного содержания лиц с высоким уровнем психоэмоционального напряжения (ПЭН): с 33 % (18 декабря) до 50 % (23 декабря) и 72,5 % (24 декабря).

Поскольку основой проявления эмоциональной неустойчивости может быть повышение внутреннего напряжения, тревоги, уровень ПЭН рассмотрен параллельно с анализом уровня тревожности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что после ГМБ выявляется статистически достоверное ($p < 0,05$) увеличение психоэмоциональной неустойчивости организма студентов-мужчин на фоне повышения уровня ЛТ ($r = 0,781$), что характеризуется повышенной склонностью к переживаниям, тревожностью, возникновением необоснованного ощущения чувства страха и т.д. Во время главной фазы ГМБ в организме происходит усиление межсистемного контроля за счет дублирующих влияний со стороны центральной, нейрогуморальной регуляции функций. С усилением ГМБ отмечается снижение скорости простых психических реакций ($r = 0,832$). Таким образом, повышение психоэмоционального напряжения, коррелирующее со снижением мощности спектра BCP ($r = 0,812$) наряду с преобладанием активности парасимпатической и нейрогуморальной регуляций, является свидетельством снижения адаптационных ресурсов и стрессоустойчивости организма человека под воздействием геомагнитных бурь в зимний период на субавроральных широтах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНОСИМОСТИ ПЕРЕГРУЗОК «ГОЛОВА-ТАЗ» (+Gz) ЖЕНЩИНАМИ ДО И ПОСЛЕ 8-СУТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЦЕНТРИФУГЕ КОРОТКОГО РАДИУСА

Колотева М.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва

STUDY OVERLOAD «HEAD-TO FEET» (+Gz) TOLERANCE BY FEMALES BEFORE AND AFTER AN 8-DAY ISOLATIONS ON SHORT RADIUS CENTRIFUGE

Koloteva M.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Разработка проблемы создания на борту межпланетного космического корабля специального устройства для борьбы с неблагоприятным влиянием невесомости на организм человека – центрифуги короткого радиуса (ЦКР) – является составной частью программы медицинского обеспечения длительных пилотируемых космических полетов (КП) и предназначено для обеспечения, совместно с традиционными средствами профилактики, на новом качественном уровне поддержания здоровья и работоспособности космонавтов; защиты их от неблагоприятного воздействия невесомости и сокращение периода реадaptации после возвращения на Землю.

Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью ЦКР предусматривает необходимость решения многих вопросов, связанных с действием перегрузок на организм человека. Наиболее важным из них является определение предпочтительного режима действия перегрузок на ЦКР с точки зрения оптимальной переносимости человеком этого режима, а также его эффективности для предупреждения неблагоприятного влияния невесомости.

В результате наземных исследований с участием человека, проведенных с помощью ЦКР в России в 1978–1987 гг. (Шульженко Е.Б., Виль-Вильямс И.Ф. и др., 1975; Шульженко Е.Б., Виль-Вильямс И.Ф., 1975; 1976; 1978; Виль-Вильямс И.Ф., Шульженко Е.Б., 1980; Виль-Вильямс И.Ф., 1993; Виль-Вильямс И.Ф., 1994), США и Японии, была установлена принципиальная возможность профилактики ряда негативных последствий имитированной невесомости с помощью периодического использования гравитационных стимулов на ЦКР. Среди многочисленных требований к конструкции ЦКР вполне обоснованными являются многофункциональность решаемых научных задач, максимальная комфортность, информативность получаемой научной информации и безопасность в эксплуатации. В ИМБП такой стенд был создан, веден в эксплуатацию и подготовлен к решению любых научных задач, связанных с ИГ. Стенд ЦКР является новым перспективным средством профилактики неблагоприятных эффектов невесомости и исследования в части ИГ. Итогом целенаправленных наземных исследований будет разработка бортового варианта ЦКР с перспективой апробации наземных результатов в орбитальных полетах.

Развитие космонавтики с использованием долговременных орбитальных космических комплексов требует участия в полетах широкого круга специалистов различных областей науки и более активного участия в полетах женщин, чей труд и профессионализм могут оказаться важным вкладом в успех космической экспедиции. Женщины в настоящее время являются, наряду с мужчинами, полноправными членами экипажей Международной космической станции и их дальнейшее участие в различных космических миссиях с перспективой межпланетных уже является закономерным. Доказана принципиальная возможность женщин выдерживать перегрузки на участке спуска после различных сроков реальной невесомости (Колотева М.И., 2002). Сравнительный анализ переносимости перегрузок у женщин и мужчин в КП (как кратковременных, так и длительных), где использовался комплекс профилактических мероприятий и противоперегрузочный костюм на участке спуска, показал, что различия в субъективных ощущениях и объективных показателях у женщин и мужчин были минимальны, что свидетельствует о сходстве физиологических реакций (Виль-Вильямс И.Ф., 1994; Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф. и др., 1993, 1994, 1998, 2001; Котовская А.Р., Колотева М.И., 2011 и др.). В контексте эксперимента с 8-суточной изоляцией «Луна-2015» ЦКР впервые была использована для отработки тестовых режимов вращений в группе испытуемых женщин-добровольцев.

Методы исследования. В исследованиях участвовали женщины-добровольцы в возрасте 25–35 лет. Во время ознакомительных вращений участвовало 4 женщины. Во время контрольных вращений участвовало 5 женщин.

Действующим фактором в испытаниях являлись перегрузки направления «голова-таз» (+Gz). До 8-суточной изоляции женщины подвергались воздействию перегрузок дважды: во время ознакомительного и контрольного вращений. После 8-суточной изоляции женщины подвергались воздействию перегрузок во время контрольного вращения один раз. Каждое исследование на ЦКР проводилось в течение одного рабочего дня.

Ознакомительный режим вращений у женщин на ЦКР до изоляции предусматривал разгон ЦКР до перегрузки 2,0 ед. (на уровне стоп с учетом земной гравитации) с «площадкой» длительностью 60 сек.; общее время вращения составляло \approx 9 минут. Гравитационный градиент ($\Delta G \%$) = 85 % (голова испытуемого находилась на расстоянии 30 см от оси вращения). Контрольный режим вращений до и после изоляции: разгон ЦКР до перегрузки 1,5 ед. (на уровне стоп с учетом земной гравитации) с «площадкой» длительностью 180 сек., далее разгон ЦКР до перегрузки 2,0 ед. (на уровне стоп с учетом земной гравитации) с «площадкой» длительностью 180 сек.; общее время вращения составляло \approx 14 минут. Гравитационный градиент ($\Delta G \%$) = 85 % (голова испытуемого находится на расстоянии 30 см от оси вращения). Между ознакомительным и контрольным вращением на ЦКР до изоляции был перерыв 2-е суток.

Для сравнительной оценки переносимости различных режимов перегрузок с точки зрения гендерных (женщины, мужчины) различий переносимости перегрузок использовались данные, полученные при вращении по аналогичным режимам перегрузок на ЦКР у 6 мужчин-добровольцев в возрасте от 21 до 35 лет. Ознакомительное и контрольное вращения на ЦКР у мужчин проводилось один раз. Между ознакомительным и контрольным вращением на ЦКР был перерыв 2-е суток.

Регистрация физиологических показателей у испытуемых проводилась в покое (до и после вращений) и при воздействии перегрузок на ЦКР. Все испытуемые размещались на ложементе ЦКР вдоль радиуса ЦКР головой к оси вращения в позе «лежа на спине» с привязными ремнями с вытянутыми ногами. Одновременно на ложементе консоли ЦКР вращался один человек. Во время вращений ЦКР испытуемые были «изолированы» от дополнительных зрительных оптокинетических воздействий. После окончания испытаний проводился осмотр кожных покровов испытуемых для выявления петехиальных и иных кровоизлияний, связанных с действием перегрузок. Переносимость перегрузок оценивалась на основе анализа самочувствия испытуемых и их ощущений (зрительных расстройств, затруднений дыхания и речи, вестибуловегетативных реакций) с помощью опроса по специально разработанной анкете и данных объективной физиологической информации, получаемых с помощью аппаратуры медицинского контроля «Мед-ЦФ». Допуск к вращениям всех испытуемых на ЦКР осуществлялся по критериям, принятым для космонавтов-профессионалов. Вращения женщин проводились независимо от фазы менструального цикла.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием непараметрических методов сравнения независимых групп – критерия Вилкоксона. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. До начала воздействия перегрузок при ознакомительных вращениях из-за отсутствия опыта все испытуемые женщины испытывали признаки эмоционального напряжения. В то же время, все женщины по субъективной оценке воспринимали воздействие перегрузок достаточно легко, оценивали свое состояние в целом как хорошее. Жалоб

на ухудшение самочувствия или появление каких-либо симптомов, лимитирующих переносимость перегрузок, не отмечено. Все исследуемые физиологические параметры не превышали критических значений и соответствовали хорошей переносимости. После завершения исследования самочувствие всех женщин, по субъективной оценке было хорошим. Все женщины самостоятельно, без посторонней помощи перешли из зала ЦКР в медицинскую комнату. Ортостатических и вестибулярных нарушений не наблюдалось. При осмотре после вращения петехиальных и иных изменений на кожных покровах не выявлено. Значения физиологических показателей не превышали допустимых значений. В целом, переносимость перегрузок во время ознакомительных вращений на ЦКР у всех женщин соответствовала хорошей оценке. При сравнительном анализе объективной физиологической информации у женщин, по сравнению с мужчинами, отмечена тенденция к более высоким значениям по всем физиологическим параметрам. Значимые различия на всем протяжении исследования получены по данным систолического артериального давления в сосудах мочки уха (АДу).

В контрольной серии исследований до и после изоляции женщины испытывали более длительное действие перегрузок на «площадках». До изоляции все испытуемые волновались, в том числе, «из-за груза ответственности и неизвестности от предстоящих испытаний». Все женщины субъективно воспринимали воздействие перегрузок легко, при «выходе» на «площадку» +2,0 Gz у всех возникло ощущение «вертикального положения туловища и вставания на ноги». На протяжении воздействия контрольного режима жалоб на ухудшение самочувствия или появление каких-либо симптомов, лимитирующих переносимость перегрузок, не было. Все исследуемые физиологические параметры не превышали критических значений и соответствовали хорошей переносимости перегрузок, критических симптомов, лимитирующую переносимость перегрузок не отмечено. После окончания вращения все женщины чувствовали себя хорошо, жалоб не предъявляли. Ортостатических и вестибуловегетативных нарушений не наблюдалось. Петехиальные и иные изменения на кожных покровах отсутствовали. Переносимость перегрузок во время контрольных вращений до изоляции соответствовала хорошей оценке. После изоляции вращение на ЦКР женщинами субъективно воспринималось как «важное завершение серьезного этапа исследований» и общее настроение было позитивным и более спокойным, чем до изоляции. В целом, при обследовании после 8-суточной изоляции у женщин не отмечено жалоб, замечаний или пожеланий. Со слов, перегрузки все женщины перенесли также как и перед изоляцией. Объективно: отмечена тенденция к более низким значениям частоты сердечных сокращений (ЧСС) и частоты дыхания (ЧД), чем до изоляции. В целом физиологические показатели не превышали допустимых значений, критических симптомов, лимитирующую переносимость перегрузок не отмечено. После остановки ЦКР самочувствие всех женщин, по субъективной оценке было хорошим. Ортостатических и вестибуловегетативных нарушений не наблюдалось. При осмотре после вращения петехиальных и иных изменений на кожных покровах не выявлено. Значения ЧСС, ЧД, артериального давления (АД) в сосудах плеча были в пределах физиологической нормы. В целом, переносимость перегрузок во время контрольных вращений на ЦКР после изоляции у всех женщин соответствовала хорошей оценке.

Сравнительный анализ данных женщин и мужчин до изоляции выявил тенденцию к более высоким значениям ЧСС и ЧД, а также значимым различиям в значениях систолического АД в сосудах плеча у женщин. После изоляции различия по физиологическим параметрам были минимальны.

Впервые на ЦКР в настоящих исследованиях, наряду с мужчинами участвовали испытуемые женщины. Их участие было целесообразно и необходимо с точки зрения выявления особенностей реакций (субъективных, объективной физиологической информации) на воздействие перегрузок на ЦКР, о которых на сегодняшний день в доступных литературных источниках нет информации. В целом, настоящие вращения на ЦКР по тестовым режимам подтвердили предположения о возможности женщин переносить перегрузки вполне благоприятно наряду с мужчинами. Однако в этих предварительных исследованиях были выявлены особенности женского организма, по сравнению с мужчинами в виде тенденции или в ряде случаев статистических различий по ряду физиологических показателей. Эти материалы свидетельствуют о необходимости начала целенаправленных исследований в части влияния ИГ на организм человека и, в частности, исследований по изучению особенностей организма женщин применительно к переносимости перегрузок в модельных экспериментах и, особенно в условиях реальных КП.

ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ИНДИВИДА НА МОТИВАЦИЮ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИИ

Комаревцев С.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE INFLUENCE OF THE MANAGEMENT ON THE INDIVIDUAL MOTIVATION TO PERFORM PROFESSIONAL ACTIVITIES IN ISOLATION

Komarevtsev S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одной из основных проблем повышения эффективности профессиональной деятельности экипажей пилотируемых космических аппаратов в условиях изоляции является оптимизация дистанционного контроля за этой деятельностью со стороны специалистов, находящихся в пункте управления.

С точки зрения психологов бихевиорального направления, излишний контроль за деятельностью и постоянное управление индивидом приводит к формированию поведенческого феномена, называемого «выученная беспомощность» – далее по тексту ФВБ [Seligman M., 1975]. Суть его заключается в том, что лишение человека возможностей самостоятельной деятельности может вызывать депрессивное состояние и демотивировать против выполнения профессиональных обязанностей, поскольку человек лишается собственного управления своей деятельностью и личного влияния на ее результат. Проведенные позже углубленные исследования [Гордеева Т.О., 2006; Кравченко Ю.Е., 2011] выявили также изменения в эмоционально-волевой сфере, в частности, изменение общего настроения с позитивного на негативное, вплоть до полного равнодушия к выполняемой деятельности. Показано также, что на результаты деятельности может повлиять даже частичное вмешательство извне, поэтому при выполнении работ, требующих контроля за деятельностью индивида, всегда необходимо соблюдать баланс между самостоятельным выполнением работы в рамках компетентности этого индивида, и контролем за результатом деятельности, выполняемым специалистами извне.

В доступных нам источниках данных об изучении ФВБ в экспериментах с изоляцией обнаружить не удалось. В целях выявления возможности формирования ФВБ у лиц, находящихся в изоляции, необходимые для этого исследования проведены в рамках эксперимента «Луна-2015».

В эксперименте приняли участие 6 женщин-добровольцев (25–35 лет), задачей которых являлось 8-суточное пребывание в условиях изоляции с выполнением профессиональной деятельности под контролем специалистов, находящихся вне условий изоляции. Исследование проводилось в 3 этапа, на каждом из которых обследование испытуемых выполнялось один раз. Этап 1 – фоновое обследование, во время которого испытуемые после получения инструкций самостоятельно выполняли тесты. Этап 2 – обследование во время эксперимента, когда испытуемые выполняли тесты под контролем психолога. Этап 3 – самостоятельное выполнение тестов (так же, как в фоновом обследовании) по завершению эксперимента.

В ходе обследования использовались 2 психологические методики.

1. Шкала психологического благополучия К. Рифф [версия Шевеленковой Т.Д., Фесенко П.П., 2005]. Опросник позволяет выявить психологические особенности индивида в процессе его адаптации к условиям изоляции, именно: наличие позитивных связей с окружающими; независимость от окружающих в принятии решений; наличие навыков управления окружающей средой (способность справляться с повседневными делами); целеполагание (наличие достижимых целей); личностный рост (ощущение личностного прогресса и способность к усвоению новых навыков); самопринятие (позитивное или негативное отношение к себе) и индекс психологического благополучия (суммарное значение всех вышеперечисленных шкал), показывающий уровень адаптации индивида к среде.

2. Бланковая методика самооценки эмоционального состояния – дифференциальная шкала эмоций – ДШЭ [Изард К., 1999]. Методика позволяет самостоятельно оценить собственное состояние по шкалам, характеризующим базовые эмоции (интерес, радость, удивление, горе, гнев, отвращение, презрение, страх, стыд, вина), а также соотношение позитивных и негативных эмоций, обозначаемое как индекс эмоциональной стабильности индивида.

Выбранные методики дали возможность объективно оценить наличие ФВБ и его влияние на адаптацию участниц эксперимента «Луна-2015» к условиям изоляции и их мотивацию к деятельности. Полученные данные указали на высокую корреляционную связь между показателями «автономия», «управление средой», «индекс психологического благополучия» (адаптированность к среде). Кроме того, индекс психологического благополучия коррелировал с показателями «самопринятие» и «личностный рост», показывая тем самым, что увеличение степени независимости в принятии решений помогало испытуемым лучше справляться с повседневными делами и заботами, оптимизировало адаптацию к окружающей среде и способствовало усвоению новых навыков. Эта зависимость сохранялась и сразу же после окончания эксперимента, что подтверждает возможность возникновения ФВБ в условиях строго регуляции деятельности индивида. Более того, методика К. Рифф позволила разделять испытуемых на индивидов с выраженной внешней мотивацией (независимость/зависимость от других в принятии решения) и индивидов с внутренней мотивацией. У последних эффективность действия была связана не только с автономией от экспериментатора, но и с уровнем оценки их деятельности другими испытуемыми. У индивидов с выраженной внешней мотивацией во время эксперимента выявлена взаимосвязь показателей «автономия» и «индекс психологического благополучия», а также положительная корреляция показателя «автономия» с уровнем радости, целеполаганием и личностным ростом. То есть, чем выше автономия, тем лучше адаптация к среде, тем ярче радостная окраска настроения, влияющая на формирование целей и прогресс в обучении новым навыкам.

Нужно отметить, что среди испытуемых были выявлены такие лица, у которых мотивация на протяжении обследования менялась с внутренней на внешнюю и наоборот, что говорит о необходимости дальнейшего изучения групповой и индивидуальной динамики личностных особенностей человека в условиях изоляции.

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОВОГО ПОТОКА НА КАЧЕСТВО БИОМАССЫ РАСТЕНИЙ В КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕЕ**Коновалова И.О.¹, Беркович Ю.А.¹, Ерохин А.Н.¹, Смолянина С.О.¹, Яковлева О.С.², Знаменский А.И.², Иванов Т.М.², Тараканов И.Г.², Радченко С.Г.³, Лапач С.Н.³**¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва³ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев**LIGHT SPECTRAL COMPOSITION EFFECT ON PLANTS BIOMASS QUALITY IN SPACE GREENHOUSE****Konvalova I.O.¹, Berkovich Yu.A.¹, Erokhin A.N.¹, Smolyanina S.O.¹, Yakovleva O.S.², Znamenskii A.I.², Ivanov T.M.², Tarakanov I.G.², Radchenko. S.G.³, Lapach S.N.³**¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia³ National Technical University "Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine

Увеличение длительности и сложности космических миссий повышает требования к качеству среды обитания в пилотируемых космических аппаратах (ПКА) как к фактору, в значительной мере определяющему сохранение здоровья, работоспособности и надежности операторской деятельности экипажей [Романов и др., 2007; Gitelson et al., 2003]. По мнению ряда специалистов, перспективными системами жизнеобеспечения (СЖО) экипажей для проведения дальних межпланетных экспедиций являются биолого-технические СЖО (БТСЖО), имеющие в составе одно или несколько биологических звеньев [Беркович и др., 2007; Erokhin et al., 2006; Lobascio et al., 2006]. Анализ технических возможностей проектируемых в настоящее время ПКА для дальних космических полетов показал, что в ближайшее десятилетие единственным биологическим звеном в БТСЖО могут быть относительно небольшие овощные, или витаминные, космические оранжереи (КО), предназначенные для обеспечения экипажа свежими овощами, богатыми естественными витаминами, а также для создания психологического комфорта [Романов и др., 2007; Беркович и др., 2007; Беркович и др., 2009; Erokhin et al., 2006].

Основным отличием КО от наземных вегетационных устройств является необходимость минимизации занимаемого объема и энергопотребления на единицу выращенной витаминной зелени в связи с гораздо более жесткими ограничениями на эти бортовые ресурсы и их высокой стоимостью. Среди ряда проблем, стоящих перед разработчиками КО, особое место занимает обеспечение адекватных условий освещения. Системы искусственного освещения, выполненные на основе светоизлучающих диодов (СД), в настоящее время считаются наиболее перспективными для КО [Yeh and Chung, 2009; Massa et al., 2006; Bula et al., 1991]. СД позволяют комбинировать спектр излучения в светильнике из фотонов в различных частях диапазона фотосинтетически активной радиации.

Режим освещения является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность функционирования звена фотоавтотрофных растений в составе БТСЖО. Оптимизация режима освещения в КО может обеспечить существенную экономию такого дефицитного на настоящий момент ресурса, как потребление электроэнергии на борту ПКА. Для растений с СЗ-типом фотосинтеза, к которым относится большинство сельскохозяйственных культур, энергетическая функция света зависит от плотности потока фотонов (ППФ) в диапазоне приблизительно от 20 до 1000–1500 $\mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$, а также от спектрального состава света [Кузнецов, Дмитриева, 2006]. Вместе с тем фотосинтез и рост растений могут быть существенно угнетены вследствие серьезных нарушений в морфогенезе и онтогенетическом развитии растений, вызванных удалением из спектра длин волн, малоактивных с точки зрения энергетической функции света [Yorio et al., 2001; Аверчева и др., 2014]. Спектральный состав света вызывает у растений наибольшее разнообразие реакций, характеризующихся высокой видовой и сортовой специфичностью [Olle, Virsile, 2013; Kozai et al., 2016].

Анализ научной литературы позволил заключить, что для задач оптимизации наибольший интерес представляет диапазон значений ППФ от 100 – 150 до 500 – 600 $\mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$, где наблюдается квазилинейная зависимость между интенсивностью освещения и фотосинтетической активностью растений. Кроме того, представлялось целесообразным исследовать влияние на рост и развитие растений параметров импульсного излучения с учетом известных данных о реакции растений на их варьирование [Olvera-Gonzalez et al., 2012]. Что касается спектрального состава, то многообещающим приемом с точки зрения повышения КПД фотосинтеза посева может быть использование белого света с повышенной долей красной составляющей, учитывая его ключевую роль в обеспечении энергетической и информационной функций. Энергия квантов света в области максимума поглощения хлорофилла а (660 нм) является минимальной по сравнению с квантами в других областях фотосинтетически активной радиации. Вследствие этого обогащение светового потока квантами в красном диапазоне энергетически наиболее выгодно. В работе [Yoneda and Mori, 2004] было обнаружено, что комбинация красных и белых светодиодов в светильнике приводит к увеличению прироста биомассы салата по сравнению с освещением белыми светодиодами.

В ходе проведения 3-факторного эксперимента с посевами китайской капусты *Brassica chinensis* L., сорт Веснянка (селекция ВНИИССОК) были исследованы продукционные и биохимические показатели растений при варьировании

уровня ППФ от 260 до 500 $\mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{с})$, доли красного света в спектре от 33 % до 73 %, периодах подачи 30 мкс световых импульсов в диапазоне от 0 до 501 мкс. Растения выращивали в течение 24 сут в фитотронах (лаборатория физиологии растений РГАУ-МСХА им К.А.Тимирязева) под светильником на основе белых (цветовая температура 4000 К) и красных (660 нм) светодиодов (СД) при круглосуточном освещении. На основании полученных результатов были построены регрессионные модели для показателей продуктивности посевов и качества выращиваемой биомассы в зависимости от исследованных параметров освещения.

Согласно построенной модели, сухая масса урожая в посевах монотонно возрастала по мере увеличения уровня ППФ при слабом влиянии других параметров освещения. Однако при ППФ в окрестности 500 $\mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{с})$ импульсный характер излучения и увеличение доли красной составляющей в спектре оказали заметное стимулирующее действие на рост растений.

Известно, что содержание сухого вещества в биомассе определяет как биологическую ценность, так и вкусовые качества салатной зелени. Увеличение доли красного света в наших опытах повышало содержание сухого вещества в побегах, причем, чем выше был уровень ППФ, тем выше была доля красного света в спектре, при которой отмечали максимальное значение данного показателя. Эта тенденция сохранялась при любом характере излучения, хотя форма поверхности отклика по содержанию сухого вещества зависела от характеристик импульсного света. В наших опытах при ППФ свыше 350 $\mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{с})$ содержание сухого вещества в побегах не выходило за пределы значений, рекомендуемых для капустных культур (5–8 %), только при доле красного света в спектре 55 % – 60 %. При более низкой ППФ значение этого показателя находилось в рекомендуемых пределах во всех опытах.

Доля свободных сахаров в сухой массе побегов является важным показателем с точки зрения физиологического статуса растений и биологической ценности выращенной биомассы. Чем ниже доля сахаров в сухой массе, тем меньше резерв для дальнейшего роста, однако чрезмерно высокое содержание свободных сахаров в съедобной биомассе листовых овощных культур снижает ее биологическую ценность. В наших опытах доля свободных сахаров в побегах возрастала по мере увеличения доли красного света в спектре, но импульсный характер излучения в ряде случаев нивелировал этот эффект.

Зависимость концентрации аскорбиновой кислоты в сухой массе побегов от параметров режима освещения оказалась наиболее сложной по сравнению с другими исследованными показателями растений. Одним из главных выявленных трендов явилось повышение концентрации аскорбиновой кислоты при увеличении доли красного света в спектре вплоть до 73 %, однако форма поверхности отклика по данному показателю в значительной мере зависела от сочетанного действия других параметров освещения.

Для выбора оптимального режима освещения растений в КО, обеспечивающего как достаточно высокую продуктивность посева с высоким содержанием аскорбиновой кислоты в биомассе витаминной зелени, так и высокий энергетический КПД посева, предложен глобальный критерий оптимизации светового режима в виде максимума функции вида:

$$Q_b = (C_A M) M/E,$$

где M – прирост сухой биомассы посева за время эксперимента, C_A – содержание аскорбиновой кислоты в сухой массе посева, E – энергия светового потока, падающего на посев за время эксперимента.

Проведен анализ регрессионной зависимости Q_b и выделена область оптимальных параметров светодиодного освещения посева в витаминной КО.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬФА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЛЕТАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ МОДИФИКАЦИЙ В ГЕНАХ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК, НАРУШЕНИЙ КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА И РЕПАРАЦИИ

Корзенева И.Б., Вяткина О.В.

Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский Научно-исследовательский Институт Экспериментальной Физики (РФЯЦ – ВНИИЭФ), г. Саров

NEW DATA ON ALPHA- AND GAMMA RADIATION BIOLOGICAL EFFICIENCY BASED ON THE LETHAL DNA DAMAGE RATE COMBINED WITH THE EPIGENETIC MODIFICATIONS IN THE GENES OF DNA DAMAGE SIGNAL PATHWAYS, CELL CYCLE ARREST AND REPAIR

Korzeneva Inna B., Vyatkina Oxana V.

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC–VNIIEF) 607190 Sarov, 37 Mira ave., Nizhny Novgorod Region, Russia

Основными источниками радиационной опасности при осуществлении длительных космических полетов, например, к Марсу, являются галактическое космическое излучение (ГКЛ), излучение радиационных поясов Земли (РПЗ) и – в

периоды максимума солнечной активности – стохастическое корпускулярное воздействие от солнечных космических лучей (СКЛ). Таким образом, основными ионизирующими компонентами радиационного воздействия на космонавтов являются протоны высоких энергий (≥ 500 МэВ/кулон) ($> 90\%$), высокоэнергетические α -частицы (7%), ядра более тяжелых элементов ($\sim 1\%$), электроны и γ -кванты – как космического происхождения, так и образующиеся в результате взаимодействия космических лучей между собой и с атмосферой Земли.

С точки зрения радиационной проницаемости, наибольшую опасность представляют ускоренные до высоких энергий протоны и ядра гелия – α -частицы, которые имеются как в составе ГКЛ, так и в излучении солнечных вспышек (СКЛ). Для решения проблемы радиационной безопасности в условиях длительных пилотируемых полетов необходимо входное тестирование кандидатов с целью подбора наименее радиочувствительных космонавтов. При тестировании важно оценивать: 1) частоту летальных повреждений ДНК; 2) концентрации маркеров повреждения ДНК, нарушений клеточного цикла и репарации повреждений, а также 3) относительную биологическую эффективность действующих на космонавтов видов ионизирующего излучения (ИИ).

Специалистами Российского Федерального ядерного центра (РФЯЦ-ВНИИЭФ) был выполнен сравнительный анализ биологических эффектов фотонного проникающего редко ионизирующего γ -излучения и корпускулярного плотно ионизирующего α -излучения по результатам измерения частоты летальных повреждений ДНК (метод «Comet assay») в сочетании с оценкой эпигенетических модификаций в генах сигнальных путей повреждения ДНК, нарушений клеточного цикла и репарации (иммуноцитохимический метод, проточная цитометрия).

Представленные в докладе результаты исследований говорят о том, что при совместном воздействии α - и γ -излучений (при небольшом вкладе α -излучения в суммарную дозу (< 10 мЗв)) в лимфоцитах периферической крови человека при постоянно идущей репарации наблюдается нарастание числа незарепарированных разрывов ДНК по сравнению с клетками человека при γ -облучении. Это свидетельствует о недостаточной эффективности репарационной системы в клетках лиц, подвергавшихся совместному воздействию γ - и α -излучений, причем, на всем возрастном интервале (≥ 18 лет).

Кроме того, обнаружено, что совместное воздействие γ - и α -излучения обладает выраженным стимулирующим пролиферацию эффектом, превышающим эффекты возраста. При этом в группе лиц, подвергавшихся совместному воздействию α - и γ -излучений, высокий уровень клеточной пролиферации достигается на 10–20 лет раньше, чем в группе лиц, подвергавшихся действию только γ -излучений, и остается стабильно высоким в старшем возрасте (≥ 60 лет).

Таким образом, получены новые данные о биологической эффективности α -излучения по сравнению с γ -излучением на основе сравнительного анализа значений современных иммуноцитохимических показателей, которые могут быть использованы для разработки стандарта входного тестирования индивидуальной радиочувствительности кандидатов в отряд космонавтов.

РАЗРАБОТКА МАРКЕРОВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА НА ДЛИТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОДОЗОВОГО ГАММА-НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНЕКЛЕТОЧНОЙ ДНК ПЛАЗМЫ КРОВИ И УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ДНК

Корзенева И.Б., Панкратова Г.В., Журавлева В.Ф.

Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский Научно-исследовательский Институт Экспериментальной Физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ), г. Саров

DEVELOPMENT OF THE BIOLOGICAL MARKERS FOR LOW-DOSE GAMMA AND NEUTRON IRRADIATION OF HUMANS BASED ON THE BLOOD PLASMA EXTRACELLULAR DNA CONCENTRATION COMBINED WITH THE DNA DAMAGE RATE

Korzeneva Inna B., Pankratova Galina V., Zhuravleva Veronika F.

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF) 607190 Sarov, 37 Mira ave., Nizhny Novgorod Region, Russia

В докладе описаны два взаимодополняющих маркера для оценки индивидуальной реакции организма человека на длительное воздействие гамма-нейтронного излучения, разработанных по результатам измерения состава и концентрации внеклеточной ДНК (вкДНК), активности фермента ДНКазы1, титра антител к вкДНК и общего уровня поврежденности ДНК (Comet assay).

Внеклеточная (свободно-циркулирующая) ДНК содержится в плазме крови здоровых людей, основным ее источником являются гибнущие в результате апоптоза клетки. Концентрация вкDNA увеличивается при увеличении уровня гибели клеток организма, например, при действии ионизирующего излучения (ИИ). Наряду с усилением гибели клеток, в организме облученного человека активируются системы, направленные на элиминацию фрагментов вкДНК из кровотока. Фермент ДНКазы1 является основным фактором, отвечающим за этот процесс. Механизм элиминации

заключается в последовательном гидролизе эндонуклеазами фосфодиэфирной связи в молекулах ДНК, возникновении однонитевых разрывов ДНК (ОДР), накопление которых в обеих цепях ДНК приводит к возникновению двунитевых разрывов (ДНР) и фрагментации вкДНК до низкомолекулярных фрагментов, которые затем элиминируются из кровотока путем почечной фильтрации с мочой. Другой путь элиминации вкДНК – это образование иммунных комплексов ДНК с антителами к ДНК (АТ ДНК) с последующим поглощением их макрофагами. Образование большого количества АТ ДНК наблюдается при нарушении клиренса вкДНК из кровотока, что характерно для развития аутоиммунного процесса в организме, в частности, при системной красной волчанке (СКВ).

Для сравнения полученных нами показателей свободно-циркулирующей ДНК с другими известными показателями, которые отражают воздействия ИИ на клетки организма, был выполнен анализ при помощи метода ДНК-комет в неденатурирующих условиях (*Comet assay*), позволяющего оценить количество радиационно-индуцированных ДНР ДНК. В качестве наиболее информативного показателя был использован параметр «Момент хвоста» (МХ), который представляет собой произведение длины хвоста кометы на его интенсивность и полезен в широком диапазоне доз ИИ, поскольку длина хвоста начинает увеличиваться при малых дозах ИИ, а при дальнейшем увеличении дозы растет не длина, а интенсивность флуоресценции; МХ учитывает оба указанных эффекта.

В результате исследования, выполненного специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ на образцах плазмы крови и лимфоцитов лиц, контактировавших с двумя видами ИИ – внешнего гамма-нейтронного излучения или внутреннего β -излучения трития, в сравнении с контрольной выборкой, не контактировавшей с источниками ИИ, установлено, что длительное воздействие низкодозового ИИ на человека сопровождается повышением уровня повреждения ДНК (показатель МХ) на фоне значительного снижения концентрации вкДНК при увеличении активности ДНК-азы1 и концентрации АТ ДНК. Показано, что одной из причин снижения количества вкДНК в кровотоке может быть сниженный уровень апоптоза поврежденных клеток облученного организма, а второй – значительная активация факторов элиминации вкДНК из кровотока, которую можно также рассматривать как одно из проявлений адаптации организма человека к повреждающему действию ИИ, в том числе, в условиях космического полета.

С целью поиска показателей, отражающих максимальные различия между облученными и необлученными людьми, был проанализирован ряд величин-отношений, в числителе которых стоит концентрация вкДНК (уменьшается у облученных людей), а в знаменателе – ДНКазы1, АТ ДНК и МХ или произведение этих параметров (знаменатель увеличивается у облученных). Установлено, что наиболее информативным, учитывающим все 4 проанализированных в настоящем исследовании параметра одновременно, является величина $\text{вкДНК}/\text{ДНКазы1} \times \text{АТДНК} \times \text{МХ}$. Особенно перспективно использование данного показателя в случае хронического воздействия на организм внешнего гамма-нейтронного излучения. Таким образом, величина $\text{вкДНК}/\text{ДНКазы1} \times \text{АТДНК} \times \text{МХ}$ предложена в качестве маркера индивидуальной реакции организма человека на длительное воздействие низкодозового внешнего ИИ, характеризующего различные типы состояний как облученного, так и необлученного организма.

Важно отметить, что маркер $\text{вкДНК}/\text{ДНКазы1} \times \text{АТДНК} \times \text{МХ}$ мало зависит от того, работал ли человек с источниками ИИ в тот период, когда проводили анализ, или не работал больше года. Это дает основание предполагать, что хроническое облучение организма малыми дозами ИИ вызывает стойкое изменение профиля экспрессии генов генома, ответственных за элиминацию поврежденных клеток и элиминацию циркулирующей вкДНК из кровотока на протяжении длительного времени.

Для того, чтобы в условиях повышенной эндонуклеазной активности (у подвергающихся ИИ-воздействию людей) использовать фрагменты вкДНК в качестве маркера гибели клеток наиболее точно, в дополнение к маркеру $\text{вкДНК}/\text{ДНКазы1} \times \text{АТДНК} \times \text{МХ}$, по результатам анализа состава вкДНК облученных лиц и измерения концентрации ее компонентов (методом Саузерн блот-гибридизации), был разработан маркер $\text{RpДНК}/\text{RcatIII}$, где RpДНК – содержание высокомолекулярной GC-богатой последовательности транскрибируемой области рибосомного гена (рДНК), локализованной в ядрышке и наиболее устойчивой к действию эндонуклеаз; *RcatIII* – содержание низкомолекулярного повтора SatIII, расположенного на поверхности ядра и легко фрагментирующегося в присутствии эндонуклеаз. Установлено, что при гамма-нейтронном облучении в плазме крови человека – на фоне снижения общей концентрации вкДНК – накапливаются фрагменты рДНК и снижается содержание SatIII в составе циркулирующей вкДНК по сравнению с вкДНК необлученных лиц.

Для разработанных маркеров – $\text{вкДНК}/\text{ДНКазы1} \times \text{АТДНК} \times \text{МХ}$ и $\text{RpДНК}/\text{RcatIII}$ – статистически значимо установлено отсутствие зависимости от возраста и от дозы ИИ только у облученных лиц, что делает маркеры универсальными для тестирования любых кандидатов в члены космических экипажей.

Разработанные маркеры актуальны для большого числа групп людей разных профессий, подвергающихся длительному действию ионизирующего излучения в небольших дозах: от космонавтов и летчиков до работников атомных объектов и больных, часто проходящих рентгенодиагностические или радиоизотопные обследования.

ВЫЯВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА ГЕНОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МАКСИМАЛЬНУЮ АДАПТАЦИЮ КОСМОНАВТОВ К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРЕХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Корзенева И.Б., Степанова Е.В.

Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский Научно-исследовательский Институт Экспериментальной Физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ), г. Саров

ETERMINING COSMONAUTS' MAXIMUM ADAPTATION TO STRESS FACTORS OF SPACE FLIGHTS UNDER CRONIC EXPOSURE OF THREE DIFFEERENT IONIZING RADIATION TYPES

Korzeneva Inna B., Stepanova Elena V.

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF) 607190 Sarov, 37 Mira ave., Nizhniy Novgorod Region, Russia

Одной из самых серьезных медицинских проблем длительных пилотируемых полетов, например, к Марсу, является разработка системы подбора членов космического экипажа, основанной не только на низкой радиочувствительности, но и на максимально возможной психологической устойчивости к стрессовым воздействиям факторов космического полета. В этих условиях из-за длительно не меняющейся окружающей обстановки, недостатка слуховых, тактильных, зрительных и других раздражителей резко уменьшается приток информации – нервных импульсов – в центральную нервную систему (ЦНС) космонавта. Поскольку для нормального функционирования физиологических систем организма человека необходим определенный минимум импульсов, ниже которого возможны нарушения и даже психические расстройства, при длительных космических полетах остро встают вопросы поведения и психологии человека в условиях замкнутого пространства, неизменности обстановки, ограниченности круга общения и т.д. Исключительно важны сведения об индивидуальных психофизиологических особенностях кандидатов в космонавты для решения вопросов индивидуального управления мышечной деятельностью и регуляции движения в экстремальных условиях. Недостаточная проработанность личностных психологических и когнитивных особенностей членов экипажа может привести, в конечном итоге, к стойким нарушениям в функционировании физиологических систем организма – нервной, сердечно-сосудистой, двигательной, желудочно-кишечной, эндокринной. Это заметно снизит работоспособность и надежность космонавтов. Кроме того, осознание космонавтами постоянного воздействия на них ионизирующего излучения (ИИ) – высокоэнергетических компонентов галактического космического излучения (ГКЛ), излучения радиационных поясов Земли (РПЗ) и солнечных космических лучей (СКЛ) также является стрессовым фактором, оказывающим свое дестабилизирующее действие на ЦНС.

Таким образом, изучение психологических особенностей человека, надежности его нервной системы и эмоционального состояния в различных условиях деятельности, приближенных по характеристикам к условиям космического корабля, имеет огромное значение, т.к. от устойчивости нервной и нейро-гуморальной регуляции будет зависеть поддержание нормальных пространственно-временных связей и физиологических функций организма космонавта. Особенно важно получение сведений о генетически детерминированных психофизиологических качествах и о модифицирующем действии на них конкретных особенностей профессиональной деятельности *на этапе входного тестирования кандидатов* в члены космических экипажей.

В докладе представлены результаты исследований, выполненных на 4 когортах лиц, работающих в условиях хронического воздействия ИИ, но различающихся по характеру деятельности: персонал исследовательских ядерных реакторов (Р-когорта), производственных участков (П-когорта) и участники полигонных испытаний ядерного оружия (И-когорта). В контрольную когорту были включены лица, не контактирующие с ИИ на производстве (К-когорта). Для условий работы каждой из обследованных когорт в различной степени характерны черты, аналогичные условиям работы космонавтов (и в этом смысле эти условия можно использовать как наземные аналоги космического полета) – необходимость в постоянной психологической готовности к реагированию на внештатные ситуации в состоянии неопределенности и высокого риска, в сложных бытовых условиях экспедиции, длящейся несколько месяцев; в тщательности, внимательности, постоянной собранности, высокой дисциплинированности и строгой согласованности коллективных действий; необходимость постоянно строго контролировать свои эмоциональные проявления и сдерживать агрессивные реакции.

Лица, включенные в обследованные когорты, были подвергнуты психологическому тестированию при помощи следующих методов: *диагностика самооценки тревожности Спилбергера–Ханиной* [Райгородский, 2001; Батаршев, 2002], *диагностика уровня невротизации Вассермана* [Карелин, 2007], *диагностика агрессивности Басса–Дарки* [Карелин, 2007], *диагностика темперамента, нейротизма, психотизма, экстра- и интроверсии Айзенка–EPI* (в адаптации Шмелева–Суходольского–Попова) [Райгородский, 2001; Суходольский, 2004; Глуханюк, 2003] и методика изучения *типа нервной деятельности Стреляу* [Райгородский, 2001]. Генотипирование проведено по 21 гену (ABO, RhD, RhC, RhC, Kell, MN, ACP, EsD, PGM, 6-PGD, GLO1, Tf, Gc, Hp, GSTT1, GSTM1, GSTP1, CSF1PO, F13A01, TPOX, TH01) с использованием стандартных молекулярно-генетических методик.

Среди обследованных когорт выявлены достоверные различия по 13 психологическим (Ψ) показателям из 18 проанализированных. При этом ряд ключевых показателей статистически значимо различается между всеми четырьмя когортами (К-, Р-, П-, И-): показатели тревожности, агрессии и экстраверсии. Наибольшими значениями психологических показателей характеризуется И-когорта (7 из 13 показателей). Результаты множественного регрессионного анализа показали значимую зависимость перечисленных Ψ-показателей от конкретного характера работ и возраста, при этом с возрастом значимо снижаются во всех когортах только физическая агрессия и индекс враждебности (отрицательная корреляция), остальные увеличиваются с возрастом. Таким образом, показано, что в обследованных когортах особенности работы сформировали характерный для каждой из когорт психотип сотрудников.

Генетический анализ выявил значимую зависимость восьми (8) Ψ-показателей от полиморфизмов по следующим генам и локусам ДНК: *невротизация* – ген GSTP1; *ситуативная тревожность* – гены MN, ACP; *возбуждение* – ген ACP; *физическая агрессия* – локусы TPOX и ген ACP; *вербальная агрессия* – локус CSF1PO; *негативизм* – локус CSF1PO и *подозрительность* – локус TPOX. Это описывает комплекс адаптивных генотипов, носительство которых позволяет длительно (в течение нескольких десятков лет) работать в конкретных условиях.

Полученные данные позволили, исходя из особенностей выявленных адаптивных психотипов и адаптивных генотипов, предварительно установить критерии подбора персонала в различные условия работы, приближенных по характеристикам к условиям космического корабля. Результаты изучения когнитивных и поведенческих особенностей человека в тех же условиях, будут опубликованы отдельно и также будут включены в сформированный комплекс критериев.

ВНЕКЛЕТОЧНАЯ ДНК КАК МАРКЕР РЕЗИСТЕНТНОСТИ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА К ХРОНИЧЕСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ В МАЛЫХ ДОЗАХ

Костюк С.В., Ершова Е.С., Конькова М.С., Малиновская Е.М., Каменева Л.В., Сергеева В.А., Вейко Р.В., Кальянов А.А., Ермаков А.В., Вейко Н.Н.

Медико-генетический научный центр, Москва

CELL-FREE DNA AS A MARKER OF HUMAN CELLS RESISTANCE TO CHRONIC LOW-DOSE RADIATION

Kostyuk S.V., Ershova E.S., Konkova M.S., Malinovskaya E.M., Kameneva L.V., Sergeeva V.A., Veiko R.V., Kalyanov A.A., Ermakov A.V., Veiko N.N.

Research Centre for Medical Genetics, Moscow

Радиация представляет определенную опасность для здоровья и жизни человека во время длительных космических полетов. Вопрос защиты космонавтов от радиации в космосе относится к числу приоритетных. Поэтому наиболее актуальными задачами в рамках программы совершенствования системы медико-санитарного обеспечения пилотируемых космических полетов являются: исследование механизмов действия малых доз радиации на человека; разработка маркеров оценки и прогнозирования индивидуальной радиочувствительности человека для эффективного медицинского отбора кандидатов в космонавты и космонавтов; поиск маркеров рисков возникновения нарушений здоровья и работоспособности космонавтов вследствие длительного воздействия факторов межпланетного космического полета; изучение влияния факторов космического полета на организм человека в среднесрочной и долгосрочной перспективе; разработка на основе геномных и клеточных технологий высоко эффективных медицинских средств защиты нового поколения.

Многие внешние повреждающие воздействия (в том числе, ионизирующее излучение от различных источников) сопровождаются окислительным стрессом и гибелью клеток организма. На ранних стадиях работы человека в условиях повышенного радиационного фона часто невозможно существующими методами определить наличие в организме субпопуляций клеток с повышенным уровнем гибели. Поэтому нами разработан диагностикум гибели клеток организма на основании изменяющихся свойств внеклеточной ДНК (вкДНК). Внеклеточная ДНК – это ДНК, которая присутствует в межклеточной среде организма или в среде культивирования клеток. Основным источником вкДНК являются погибшие клетки. При патологии и опасных для генома воздействиях, таких, как ионизирующее излучение, возрастает уровень гибели клеток, соответственно, изменяются и характеристики вкДНК. Определение молекулярных маркеров в составе вкДНК плазмы крови человека при внешнем повреждающем воздействии позволяет проводить диагностику в ранний период, до развития патологии.

Нами показано, что хроническое воздействие низких доз ионизирующего излучения (ИИ) на человека сопровождается увеличением повреждения ДНК в ядрах лимфоцитов периферической крови снижением концентрации вкДНК. При этом увеличивается нуклеазная активность плазмы крови (возрастает активность ДНКазы1) и повышается концентрация антител к вкДНК. Эти результаты получены на выборке лиц, длительное время контактировавших с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) на предприятиях атомной промышленности. Обнаруженные изменения сохраняются у людей, которые завершили работу с ИИИ за год до обследования. В образцах плазмы крови каждого донора определяли: концентрацию вкДНК(КвкДНК), индекс активности ДНКазы1 (иДНКазы1) и титр антител к вкДНК (тАТ).

Повреждение ДНК в клетках определяли с помощью метода комет (индекс момента хвоста кометы ИМ). Соотношение (КвкДНК / иДНКазы1 × тАТ × ИМ) предлагается использовать в качестве маркера хронического воздействия человека повреждающего воздействия малых доз ионизирующего излучения. Сформулировано предположение, что совместный анализ вкДНК, ДНКазы1 и антител к вкДНК может дать представление о резистентности клеток человеческого организма к хроническому облучению в низких дозах о развитии адаптивного ответа в организме, направленном на эффективную элиминацию вкДНК из плазмы крови ина стимуляцию выживания клеток, в том числе, клеток с поврежденной ДНК (Korzeneva, Kostyuk, Ershova et al., *MutatRes.*, 2015).

При хроническом воздействии малых доз ИИ повышается эндонуклеазная активность и возрастает титр антител к вкДНК в плазме крови, что приводит к снижению общей концентрации, циркулирующей вкДНК у облученных людей. Таким образом, общая концентрация вкДНК не может рассматриваться в качестве маркера гибели клеток при облучении. Мы показали, что в составе пула циркулирующей вкДНК у облученных людей накапливаются фрагменты ДНК- GC богатые последовательностей (69 % GC) транскрибируемой области рибосомного повтора человека (рДНК), которые устойчивы к образованию двунитевых разрывов и к действию нуклеаз плазмы крови (индекс рДНК, ИрДНК). При этом в составе вкДНК облученных людей уменьшается содержание сателлита III (индекс сателлита III - ИсатIII) по сравнению с контрольной группой лиц, не подвергавшихся облучению. Такой показатель, который одновременно отображает как увеличение содержания рДНК в составе вкДНК, так и уменьшение содержания сателлита III в составе вкДНК (ИрДНК / ИсатIII) может быть рекомендован в качестве маркера хронических процессов в организме, которые связаны с повышенной гибелью клеток при эффективной элиминации вкДНК (Korzeneva, Kostyuk, Ershova et al., *MutatRes.*, 2016).

Полученные данные оценки радиорезистентности и/или радиочувствительности организма (оценка поврежденности ДНК клеток человека, оценка характеристик внеклеточной ДНК (вкДНК), изменение содержания GC-богатых последовательностей в составе вкДНК, коррелирующих с повреждающих внешним воздействием) могут привести к разработке новых критериев медицинского отбора и медицинского освидетельствования кандидатов в космонавты и космонавтов на всех этапах их подготовки к полёту.

Важным для предотвращения негативных последствий воздействия на человека ИИ является разработка на основе геномных и клеточных технологий высоко эффективных радиопротекторов. Нами создана и исследована генетическая конструкция, содержащая накапливающийся в составе вкДНК облученных людей фрагмент рДНК. Созданная генетическая конструкция при добавлении к культивируемым клеткам человека *in vitro* вызывает адаптивный ответ на лимфоцитах, фибробластах, клетках эндотелия, стволовых клетках. В клетках происходит стимуляция экспрессии рецептора TLR9, что приводит к увеличению экспрессии генов NF-κB - сигнального пути, происходит транслокация p65NF-κB в ядра клеток, в результате в среде культивирования умеренно возрастает концентрация цитокина TNFα. Кроме того, генетическая конструкция активирует антиапоптотические процессы в клетках, вызывая повышение экспрессии антиапоптотических генов *BCL2*, *BCL2A1*, *BCL2L1*, *BIRC2(c-IAP1)* и *BIRC3 (c-IAP2)*. Нами получен патент «Применение фрагмента ДНК транскрибируемой области рибосомного повтора для повышения устойчивости мезенхимных стволовых клеток к действию агрессивных факторов окружающей среды». Проведенное нами исследование может лечь в основу создания эффективного радиопротектора.

РАЗРАБОТКА ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Котовская А.Р.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

DEVELOPMENT OF THE ARTIFICIAL GRAVITATION PROBLEM - THE STRATEGIC GOAL OF MEDICAL SUPPORT OF PILOTTED SPACE FLIGHTS

Kotovskaya A.R.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Человек создан для жизни на Земле. Невесомость – чуждая для человека среда.

Большой научный материал, накопленный российскими и американскими учеными на протяжении более 55 лет осуществления пилотируемых космических полетов (КП) свидетельствует о проявлении детренированности сердечно-сосудистой системы человека, особенно при действии перегрузок на этапе спуска космического корабля (КК) на Землю, а также – после приземления при попытке человека принять вертикальную позу.

Зрительные нарушения при действии перегрузок в виде «черной пелены» возникают у космонавтов преимущественно при баллистическом спуске (28,5 %, n=2 из 7 человек), реже – при штатном режиме спуска (1,5 %, n= 1 из 75 человек).

После выхода космонавтов из спускаемого аппарата (СА) возникали кратковременные обмороки (8 % случаев, n= 6 из 75 человек), у других космонавтов обмороки возникали через 15 часов после посадки (4 % случаев, n= 3 из

75 человек). В 9,3 % наблюдений обморокам предшествовали выраженные нарушения на ЭКГ при действии перегрузок на участке спуска СА на Землю.

Это означает, что человек после возвращения на Землю нуждается в посторонней помощи. Практика космических полетов свидетельствует о возможности жизни в невесомости, на околоземной орбите, в течение 14,5 месяцев, при условии выполнения всего комплекса традиционных мер профилактики.

Практика космических полетов свидетельствует также о том, что, несмотря на меры профилактики, явления детренированности сердечно-сосудистой системы возникают в невесомости, и это особенно ярко проявляется при возвращении человека на Землю, к условиям земной гравитации.

В настоящее время нет достаточно веских оснований прогнозировать безопасный для здоровья человека полет любой продолжительности, и особенно – полет вне Земной орбиты.

Наиболее реальный путь решения этой проблемы – использовать на борту космической станции центрифугу короткого радиуса (ЦКР), которая при своем вращении создаст перегрузки и обеспечит для человека в невесомости утраченную «весомость».

Решен вопрос о направлении действия перегрузок на человека при его вращении на ЦКР, т.е. перегрузки должны действовать в направлении «голова – ноги» (+Gz).

Использование ЦКР в США, России и Японии в наземных исследованиях выявило принципиальную возможность профилактики негативного влияния имитированной невесомости (антиортостатическая гипокинезия и сухая иммерсия).

Положительное влияние периодического вращения человека на ЦКР проявлялось улучшением гравитационной устойчивости организма, уменьшением негативного влияния имитированной невесомости на сердечно-сосудистую систему, систему внешнего дыхания, костно-мышечную систему, водно-электролитный и транскапиллярный обмен, показатели гематокрита и объема плазмы.

Вместе с тем существуют и негативные эффекты при вращении человека на ЦКР (появление предвестников обморока, вестибуло-вегетативные расстройства, а также возможность появления признаков кумуляции при длительном действии перегрузок (появление патологических нарушений со стороны органов малого таза). Ключевой задачей при разработке проблемы искусственной гравитации является определение оптимального режима действия перегрузок с позиции их переносимости и эффективности.

Стенд ЦКР не следует считать универсальным средством профилактики от всех факторов неблагоприятного влияния невесомости.

ЦКР следует использовать наряду с другими традиционными мерами профилактики.

Ключевыми крупными задачами исследований по указанной проблеме в самом общем виде следует считать:

1. Определение оптимального с точки зрения переносимости и эффективности режима/режимов воздействия перегрузок направления «голова – таз» (+Gz) путем поиска эффективных соотношений радиуса ЦКР, величины перегрузки, скорости ее нарастания, длительности, частоты и периодичности вращений, определения оптимального гравитационного градиента для тела человека, а также оптимальной позы человека в ложементе ЦКР.

2. Разработка средств и методов телемедицины.

3. Исследование переносимости человеком повторных воздействий перегрузок с большим гравитационным градиентом для предупреждения развития отрицательных эффектов кумуляции.

4. Разработка мер, направленных на оптимизацию пребывания человека в условиях вращения на ЦКР.

5. Определение места и протоколов использования ИСТ в интегрированной общей системе профилактики.

Разработка проблемы искусственной гравитации должна проводиться поэтапно. Условно выделено три этапа работ:

I этап НИР – исследования на Земле):

– наземные исследования на ЦКР с участием человека в том числе с использованием имитированной невесомости разной длительности;

– разработка и определение оптимального режима / режимов / перегрузок +Gz на ЦКР;

– разработка и создание бортовой (летной) ЦКР для последующей поставки на орбитальную станцию (модуль).

II этап НИР – Исследования на орбитальных станциях (модулях):

– летно-космические испытания с участием космонавтов на орбитальной станции (модуле) работы ЦКР;

– оценка эффективности выбранных на Земле режимов перегрузок +Gz;

– замечания, уточнение и коррекция для разработки и создания на Земле бортовой (летной) ЦКР, и последующей поставки её на «Космическое изделие» для полета вне Земной орбиты.

III этап – Реальное использование ЦКР в полетах вне Земной орбиты:

участие специалистов технического профиля (инженеров, баллистиков и др.) при разработке проблемы искусственной гравитации является полезной необходимостью.

ГИПОНОРАДРЕНЕРГИЧЕСКИЙ СИНДРОМ НЕВЕСОМОСТИ У МЛЕКОПИТАЮЩИХ, НОВЫЕ АСПЕКТЫ

Краснов И.Б.

Государственный научный центр Российской Федерации - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

HYPONORADRENERGIC SYNDROM OF WEIGHTLESSNESS IN MAMMALS NEW ASPECTS

Krasnov I.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Анализ результатов биохимических, иммуногистохимических и морфологических исследований эндокринных органов, мышц и костей крыс, находившихся в космических полетах (КП) на биоспутниках «Космос -605, -782, -936, -1129, -1667, -2044», опубликованных в 1979–1990 гг. различными группами ученых, позволил высказать гипотезу о том, что в основе обнаруженных после полета изменений лежит развитие у животных в невесомости гипонорадренергического синдрома как результата гипофункции норадренергических нейронов ядра А6 моста головного мозга – «синего пятна» (СП), которая возникла вследствие уменьшения в невесомости поступающего в СП афферентного вестибулярного и проприоцептивного притоков [Краснов, 1991]. Гипотеза была подтверждена обнаружением признаков гипофункции нейронов СП у крыс, декапитированных в невесомости в полете на борту американского космического корабля «Колумбия» по программе «Спейслэб-2» [Краснов и соавт., 1998; Краснов, Дьячкова, 2003], и «Нейролэб» [Помпейано и соавт., 2002]. Концепция развития гипонорадренергического синдрома поддерживается также результатами анализа крови космонавтов, находившихся в КП [Попова, Григорьев, 1992].

СП получает афферентацию от вестибулярных ядер [Fung et al., 1987], на которые проецируются эфференты отолитового аппарата и полукружных каналов, а также экстеро- и проприоцептивная импульсация от механорецепторов кожи, мышц, костей и суставов через спино-вестибулярные волокна. Стимуляция отолитов активирует нейроны СП [Kaufman, 1992]. Норадренергические нейроны СП иннервируют все структуры мозга, осуществляя на них модуляторное влияние и участвуя в формировании поведения [Berridge, Waterhouse, 2003], когнитивных процессах обучения и памяти [Cartford et al., 2004; Uematsu et al., 2015], вестибулярной адаптации [Pompeiano, 1998], синтезе серотонина [Kaehler et al., 1999], дофамина [Grenhoff et al., 1993], а также модулируют спинальные мотонейроны через церуло-о-спинальный путь [Fung et al., 1991]. Поэтому снижение активности СП в невесомости влияет на широкий спектр процессов функционирования и регуляции структур ЦНС млекопитающих в КП.

Одним из проявлений гипофункции норадренергических нейронов СП в невесомости является, очевидно, обнаруженное у мышей, находившихся в КП на биоспутнике «БИОН-М-1», резкое снижение в структурах мозга экспрессии генов дофаминергической системы [Ророва et al., 2015], синтез медиатора которой – дофамина, контролируется норадреналином, а также экспрессии генов *CDNF* и *GDNF*, модулирующих синтез норадреналина и дофамина [Tsybko et al., 2015].

Возможные пути предотвращения снижения синтеза норадреналина и дофамина в структурах мозга в невесомости будут подвергнуты обсуждению.

КОМПЕНСАТОРНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА ПРИ АДАПТАЦИИ К ДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Кузичкин Д.С., Маркин А.А., Журавлева О.А., Заболотская И.В., Вострикова Л.В., Сервули Е.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

HEMOSTASIS SYSTEM COMPENSATORY RESOURCES IN HUMAN BODY ADAPTATION TO SPACE FLIGHT FACTORS IMPACT

Kuzichkin D.S., Markin A.A., Zhuravleva O.A., Zabolotskaya I.V., Vostrikova L.V., Servuli E.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Система гемостаза является важным компонентом формирования гомеостатического равновесия в организме человека. При экстремальных воздействиях ее реакции в значительной мере определяют стрессоустойчивость организма и его адаптивные резервы.

Исследование системы гемостаза является неотъемлемой составной частью комплексного до- и послеполетного клинико-физиологического обследования космонавтов. Оно позволяет оценить и прогнозировать состояние здоровья, работоспособность членов экипажей, а также повлиять на решение о допуске космонавтов к полету. На ранних этапах послеполетного периода восстановления, динамика величин показателей данной системы принимается во внимание при составлении индивидуальных планов реабилитационных мероприятий для каждого члена экипажа.

В ходе предыдущих исследований на первые сутки после кратковременных полетов обнаружено повышение уровня фибриногена [Фомин А.Н., 1982; Stein T.P., 2006; Kuzichkin D.S., 2009] вызванного, по мнению исследователей, развитием

реакций напряжения, вазомоторными сдвигами и гемоконцентрацией в условиях космического полета (КП), а также в период реадaptации к наземным условиям. Большое значение состояние системы гемостаза имеет на этапе выведения и спуска с орбиты, когда наблюдается повреждение кровеносных сосудов вследствие воздействия перегрузок.

Таким образом, поддержание гемостатического баланса важно на всех этапах КП, а истощение компенсаторных возможностей регуляторных компонентов данной системы может привести к появлению тромбофилических состояний и развитию гиперкоагуляции.

Цель. Целью настоящего исследования явилась оценка регуляторно-компенсаторного потенциала системы гемостаза у космонавтов до полета и изменение его в послеполетный период.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие 26 космонавтов мужского пола в возрасте 35–55 лет, совершивших полеты длительностью 90–200 сут. Взятие биоматериала осуществлялось за 30–45 сут до начала полета, а также на 1-е и 7-е сутки послеполетного периода. В цитратной плазме космонавтов клоттинговыми, иммунологическими и хромогенными методами на автоматическом коагулометре Sysmex CA-1500 определяли концентрацию фибриногена, плазминогена и Д-димера; тромбиновое время, активированное парциальное тромбопластиновое время (АПТВ), международное нормализованное отношение (МНО); активность антитромбина III (АТIII), протеина С (ПС) и альфа-2-антиплазмина. Проводилось сравнение статистических характеристик выборки космонавтов со среднепопуляционной. Границы выборок представлялись 5 и 95 персентилями ранжированной выборки (интерперсентильный диапазон). Также исследовали динамику изменения параметров гемостаза после полета с помощью критерия Уилкоксона (Реброва Р.Ю., 2006).

Результаты и обсуждение. В ходе исследований обнаружено достоверное укорочение АПТВ на 1-е сутки после полета с тенденцией к восстановлению значений показателя к фоновому уровню к 7-м суткам периода реадaptации. Однако в фоновом периоде у космонавтов значения интерперсентильного диапазона значительно выше среднепопуляционного, а на 1-е сутки после полета наблюдается существенное их снижение и сближение с диапазоном среднепопуляционной нормы, на 7-е сутки прослеживается тенденция к возвращению значений до фонового уровня.

Активированное парциальное тромбопластиновое время отражает интегральный потенциал внутреннего пути свертывания, активацию которого можно рассматривать как эволюционно сложившийся механизм, подготавливающий организм к возможной кровопотере в экстремальных стрессогенных условиях. Известно, что одним из физиологических активаторов фактора Хагемана (инициатора внутреннего механизма свертывания) является адреналин (Зубаиров Д.М., 2000). В группе космонавтов сниженный исходный потенциал внутреннего пути может отражать наличие адаптационных изменений в организме, направленных на предотвращение угрозы возникновения тромбофилических состояний при активации данного процесса в ходе профессиональной подготовки и при воздействии стрессогенных факторов КП.

Значения международного нормализованного отношения существенно не отличаются от фоновых и значительно не изменяются, что отражает стабильность потенциала внешнего пути коагуляции при действии факторов КП, при адаптации к ним и реадaptации к наземным условиям.

Интерперцентильные диапазоны показателей тромбинового времени и концентрации фибриногена (характеризующих потенциал конечного этапа свертывания) сужены и приближены к соответственно верхней и нижней границам среднепопуляционного диапазона, что отражает снижение потенциала конечного этапа коагуляции.

95-е перцентили значений АТIII и ПС превышают верхний предел среднепопуляционного диапазона. Данные белки являются ингибиторами факторов коагуляционного каскада и способствуют снижению активности свертывания на различных этапах этого процесса.

Существенных отличий от среднепопуляционного диапазона показателей фибринолитического звена системы гемостаза космонавтов не наблюдается.

Заключение. Результаты исследований системы гемостаза показывают, что воздействие факторов КП приводит к повышению прокоагулянтного потенциала крови, выражающемуся в активации внутреннего механизма свертывания.

Выявлено, что границы референтных величин исследованных показателей, характеризующих потенциал внутреннего механизма и конечного этапа свертывания, а также антикоагулянтного звена гемостаза у космонавтов несколько сужены по сравнению со среднепопуляционными, ориентировочными диапазонами, предлагаемыми изготовителями наборов реагентов, используемых нами для обследования космонавтов. По всей вероятности, это обусловлено унификацией ряда объективных факторов, связанных с профессией обследованных: возраст, телосложение, диета, уровень тренированности, особенности воздействий на организм.

Кроме того, диапазоны референтных значений некоторых параметров приближены к одной из границ среднепопуляционного референтного интервала и даже выходят за его пределы. Вероятно, наблюдаемый эффект является результатом адаптационных изменений в организме, вызванных воздействием стрессогенных факторов этапа подготовки космонавтов. В выборке космонавтов отмечаются повышенные адаптивные возможности организма, снижающие риск возникновения тромбофилических состояний при воздействии экстремальных факторов. Не исключено, что у группы лиц, прошедших жесткий медицинский отбор, отличия от генеральной среднепопуляционной совокупности, способствующие повышению устойчивости организма и ускорению адаптации, обусловлены генетически.

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ КАМЕР НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Кузнецов П.А., Васильева О.В., Маннинен С.А., Мухамедзянова Л.В.

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей», Санкт-Петербург

QUESTIONS ON AMORPHOUS-BASED CHAMBERS DEVELOPMENT FOR GEOMAGNETIC SHIELDING DURING MEDICAL-BIOLOGICAL INVESTIGATIONS

Kuznetsov P.A., Vasilyeva O.V., Manninen S.A., Mukhamedzyanova L.V.

Central Scientific Research Institute of Structural Materials «Prometey», Saint-Petersburg

Известно, что магнитные поля воздействуют на химические, физические и биологические процессы, происходящие в веществе. В последнее время возрос интерес со стороны исследователей к проблемам воздействия слабых магнитных полей и гипомагнитной обстановки на различные биологические объекты. Интерес связан не только с желанием понять фундаментальные тонкие механизмы воздействия таких условий на живые организмы, но и с возможностью их конкретного практического применения в области диагностики и лечения различных заболеваний. В настоящее время сложной и наукоемкой задачей является создание камер, значения индукции магнитного поля в которых в сотни и тысячи раз меньше индукции поля Земли, т.е. составляют величины на уровне 50нТл и менее.

Следует отметить, что большинство существующих в настоящий момент статических магнитных экранов созданы на основе широко распространенных кристаллических магнитомягких сплавов пермаллового класса –79НМ, 80НМА. Основным недостатком данной группы сплавов является существенная деградация их магнитных свойств под действием внешних механических воздействий.

В настоящее время освоен промышленный выпуск аморфных и нанокристаллических магнитомягких сплавов, магнитные свойства которых (начальная и максимальная магнитная проницаемость) существенно выше их кристаллических аналогов пермаллового класса. Кроме того, аморфные сплавы обладают устойчивостью своих магнитных свойств к механическим воздействиям. В связи с этим данные сплавы являются наиболее перспективными для создания на их основе статических магнитных экранов с высоким коэффициентом экранирования.

В ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» разработана и запатентована перспективная технология получения экранирующих рулонных композиционных материалов на основе лент аморфных и нанокристаллических сплавов, предназначенных для создания на их основе различных экранирующих конструкций. Технология получения состоит из следующих этапов.

На первом этапе осуществляется прецизионная термическая обработка исходных аморфных лент. Варьированием параметров термообработки (температура и время изотермической выдержки), удается снять остаточные закалочные напряжения в ленте и получить в аморфной матрице нанокристаллы заданного размера и концентрации. Используя данную контролируемую кристаллизацию, можно получить магнитные характеристики, сопоставимые и превосходящие характеристики традиционных кристаллических материалов, используемых для систем магнитного экранирования.

На втором этапе, из полученных аморфных и нанокристаллических лент, производится изготовление удобных для практического применения рулонных экранирующих материалов. Ленты скрепляются между собой внахлест посредством ПЭТФ пленки.

На третьем этапе, производится изготовление конкретных экранирующих конструкций. При этом рулонные экранирующие материалы наносятся на каркасные конструкции из стеклопластика, имеющие чаще всего цилиндрическую геометрию.

В процессе разработки экранирующих конструкций применяются методы численного моделирования для расчета эффективности экранирования и выбора количества слоев рулонного материала, необходимого для достижения заданного коэффициента экранирования.

Моделирование экранирующих конструкций производится методом конечных элементов с помощью профессиональной версии коммерческого программного комплекса ELCUT 6.0. и выполняется в двумерном приближении. Поскольку обычно толщина экрана много меньше диаметра экранирующей конструкции, в моделях используется треугольная сетка переменного шага, сгущающаяся вблизи экрана. В расчетах учитываются нелинейные магнитные свойства материала экрана, В-Н характеристики, измеренные на установке МК ЗЭ производства НПО «Интротест».

Оценка эффективности готовых экранирующих конструкций осуществляется на основе измерения индукции магнитного поля внутри экранирующей конструкции с помощью трехкомпонентного феррозондового магнитометра МТ-4, позволяющего выполнять измерения малых постоянных магнитных полей до значений порядка 10 нТл.

Для получения экранирующих конструкций с коэффициентом экранирования более 500, используются двойные экраны в виде концентрических цилиндров разного радиуса. Для достижения наиболее высоких значений коэффициента экранирования, порядка 1000 и более, изготавливается размагничивающая обмотка в виде соленоида, который располагается в промежутке между двумя экранирующими цилиндрами. С помощью специального размагничивающего устройства через соленоид пропускается переменный ток с уменьшающейся до нуля амплитудой. Таким образом

магнитный экран намагничивается по безгистерезисной кривой намагничивания, которая характеризуется очень высокими значениями начальной магнитной проницаемости, позволяющими достигать экстремально малых значений магнитного поля внутри экрана.

С применением разработанных рулонных экранирующих материалов на основе аморфных и нанокристаллических лент, созданы образцы научно-технической продукции научного и прикладного значения в виде различных экранированных изделий. Так в качестве элемента конструкции они использовались для изготовления экранированного кабеля (совместная разработка ЦНИИ КМ «Прометей» с ОАО «Севкабель»), экранированной защитной одежды, применение которой целесообразно для защиты сварщиков, обслуживающего персонала электрических подстанций, морских сооружений и судов. Для Института медико-биологических проблем РАН и Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, разработана серия гипомагнитных камер, выполненных в виде цилиндрических боксов с коэффициентом экранирования магнитного поля Земли в диапазоне от 40 до 1000. Совместно с Федеральным Центром сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова Росмедтехнологий с использованием такой камеры проведены исследования и получены данные по воздействию слабых магнитных полей на сердечнососудистую систему лабораторных крыс. Экспериментально доказана возможность неинвазивного воздействия и управления основными гемодинамическими показателями лабораторных животных: артериальным давлением и частотой сердечных сокращений.

Для института цитологии РАН была изготовлена экранированная камера, в которой проводилось исследование влияния гипогеомагнитных условий на биологические объекты на клеточном уровне. Показано, что создание гипомагнитного поля с помощью магнитных экранов позволяет исследовать влияние магнитных полей на генную структуру, возникновение наследственных болезней

В институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН с помощью экранирующей камеры изучено воздействие экранированного поля Земли на деление, дифференцировку и функциональную активность культивируемых мышечных клеток, а также на скорость сокращений колоний кардиомиоцитов. Исследования показали, что экранирование ГМП временно подавляет деление и дифференцировку скелетных и кардиомиоцитов.

На биолого-почвенном факультете Санкт-Петербургского государственного университета изучена вариабельность морфологических свойств микромицетов при экспонировании их в экранированной от магнитного поля Земли камере. Исследование показало значительное временное запаздывание фазы спороношения в мицелиальных грибах вплоть до ингибирования процессов образования спор.

Полученные с помощью разработанных камер многочисленные экспериментальные данные по влиянию гипомагнитных полей на все уровни организма показывают большие перспективы использования магнитных экранов в электромагнитной экологии, биологии и медицине. Исследование влияния измененного естественного геомагнитного поля на биологические объекты, в том числе и экранированного, позволит изучить механизмы воздействия таких полей, а следовательно, снизить возникновение отклонений в адаптации и поведенческих реакциях при космических полетах, а также уменьшить долговременные отрицательные последствия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЖЕНСКОМ ЭКИПАЖЕ ПРИ КРАТКОСРОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ (ЭКСПЕРИМЕНТ «ЛУНА-2015»)

Кузнецова П.Г.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CREW INTERACTION IN THE FEMALE GROUP UNDER SHORT-TERM CONFINEMENT (EXPERIMENT "LUNA-2015")

Kuznetsova P.G.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Проблема взаимодействия в полностью женских экипажах космических экспедиций в отечественной литературе практически не освещена. В то же время, исследования американских психологов [S.Bishop et al., 2011], сравнивавших поведение и деятельность однородных по гендерному составу экипажей в условиях моделирования марсианской экспедиции, говорят об актуальности данного направления применительно к оптимизации комплектования марсианских экипажей. В них показано, что однородные мужские и женские экипажи по-разному проявили себя во внутригрупповом взаимодействии и общении с группой сопровождения и контроля эксперимента.

Исследования российских психологов, проведенные на материалах эксперимента «Марс-500», позволили подтвердить связь успешности индивидуальной адаптации членов мужского экипажа к условиям межпланетного полета и уровня их психологической устойчивости. Эксперимент «Луна-2015», в котором впервые в отечественной практике принимал участие женский экипаж, был направлен на сравнение индивидуального поведения, взаимодействия и степени реагирования на стресс и работоспособности в зависимости от гендерной принадлежности обследуемых.

Наряду с традиционными психологическими методами оценки поведения и деятельности, для изучения более широкого спектра показателей применялся метод видеонаблюдения, хорошо зарекомендовавший себя при анализе поведения членов экипажа эксперимента «Марс-500». На основе видеоанализа и оценки взаимодействия между членами экипажа были выделены паттерны поведения, характерные для инструментальных и эмоциональных лидеров группы и членов экипажа с более низким социометрическим статусом (менее популярных в группе [Tafforin et al., 2015; Кузнецова П.Г. с соавт., 2016]).

Целью работы был поиск данных, подтверждающих результаты американских исследователей о наличии существенных различий между женскими и мужскими экипажами во внутригрупповом взаимодействии, и значимых факторов, которые оказывают влияние на это взаимодействие. В связи с целью были поставлены задачи: исследовать статусную структуру группы, психологическую устойчивость каждой представительницы экипажа, индивидуальные модели поведения и взаимодействия и качества личности, которые являлись для них значимыми в условиях краткосрочной изоляции.

Для реализации поставленных задач использовались следующие методы исследования:

Компьютеризированный тест PSPA [Гущин В.И. с соавт., 1997] использовался для изучения ценностных ориентаций, самовосприятия и межличностного восприятия, взаимоотношений в группе. Методика заключается в подборе и использовании значимых для испытуемого критериев, которые используются им для описания себя и членов экипажа. Для обработки данных использовался факторный анализ (метод главных компонент). Вычислялся относительный вес каждого фактора, вес отдельных критериев в факторе, проекция оцениваемых персонажей на ось главных компонент. Проводился анализ психологических «дистанций» между образами межличностного восприятия и механизмов групповой идентификации участниц эксперимента. Тест применялся до изоляции и на 6-е сутки после начала и по окончании изоляции.

Для выявления уровня психологической устойчивости членов экипажа использовался компьютеризированный тест цветовых выборов М.Люшера в модификации Л.Н.Собчик (2007) (проводился в фоновом исследовании, на 4-е и 7-е сутки изоляции и после ее окончания). Данная проективная методика позволяет оценить текущее эмоциональное состояние и, в частности, интенсивность тревоги.

Анализ видеозаписей групповых дискуссий и метод видеонаблюдения за взаимодействием в экипаже использовались для получения объективных данных об особенностях групповой динамики в изолированном женском экипаже. Таким образом, коммуникативное поведение испытуемых было оценено в условиях, требующих принятия общегруппового решения, и при обычном, бытовом взаимодействии в течение нескольких дней эксперимента.

Для оценки социальных предпочтений в группе применялся классический социометрический опросник Дж. Морено [Ю.М.Жуков ред., 1981]. Подсчитывался групповой социометрический статус (популярность) каждого члена экипажа, который отражал успешность индивидуальной адаптации в группе. Методика проводилась в фоновом исследовании, на 2-е и 9-е сутки изоляции.

Результаты. Данные социометрического теста, показали, что экипаж продемонстрировал достаточно высокую степень сплоченности на протяжении всего периода изоляции. Отмечено некоторое увеличение сплоченности по критерию, связанному с проведением досуга. Структура эмоциональных предпочтений в экипаже, выявляемая с помощью социометрии, может быть охарактеризована как благоприятная для условий изоляции и имеющая тип «ядро – периферия».

По тесту PSPA, выявлена недостаточная степень знакомства девушек друг с другом, связанная с отсутствием подготовки в составе конкретного экипажа. Короткий срок изоляции не позволил развиться более глубинным механизмам групповой идентификации. В то же время наблюдались классические стадии существования группы (знакомство, формирование ролевой структуры, распад группы). Тенденции распада группы (рост воспринимаемых межличностных различий в ходе изоляции и после нее) требуют дополнительного изучения в более продолжительных модельных экспериментах.

Тест Люшера выявил повышение уровня тревоги у нескольких участниц эксперимента, связанное с мобилизацией и повышенным чувством ответственности. Видеонаблюдение за поведением членов женского экипажа во время решения проблемных задач показало, что до начала изоляции способность группы к эффективному взаимодействию была недостаточной для принятия общего решения. В ходе изоляции командиру экипажа удалось наладить взаимодействие в процессе групповых дискуссий и на основе предложений всех участниц выработать общее решение задачи.

Заключение. Получены данные о специфических особенностях адаптации женского экипажа к условиям изоляции в гермообъеме, в частности, применяемые стили взаимодействия, их сочетание со структурой группы и субъективно-значимыми качествами при оценке себя и других. Эти данные будут учтены при формировании рекомендаций по отбору и формированию оптимального состава межпланетной экспедиции.

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОСТЮМА АКСИАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ «ПИНГВИН» В УСЛОВИЯХ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ

Кукоба Т.Б., Рукавишников И.В., Шигуева Т.А., Амирова Л.Е., Носикова И.Н., Китов В.В., Соснина И.С., Зеленский К.А., Савинкина А.Н., Лысова Н.Ю., Фомина Е.В., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

COUNTERMEASURE EFFICACY OF AXIAL LOADING SUIT "PENGUIN" UNDER CONDITIONS OF DRY IMMERSION

Kukoba T.B., Rukavishnikov I.V., Shigueva T.A., Amirova L.Ye., Nosikova I.N., Kitov V.V., Sosnina I.S., Zelenskiy K.A., Savinkina A.N., Lysova N.Yu., Fomina E.V., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Целью работы являлось изучение влияния весовой аксиальной нагрузки в условиях безопорности на характеристики произвольных движений различной сложности и организации (локомоции, поза, программные и следящие точностные движения), на состояние корковых и спинальных механизмов центральной интеграции, а также характеристики активности основных проприорецептивных входов – вестибулярного и мышечного. Участники эксперимента были разделены на две группы, в одной из которых (условно контрольной) испытуемые не подвергались каким-либо другим воздействиям, кроме безопорности, воспроизводимой с помощью модели «сухой» иммерсии (Шульженко Е.Б., Виль-Вильямс И.Ф., 1975). В другой (условно экспериментальной) в ходе иммерсионного воздействия они ежедневно в течение 4 часов были одеты в костюм аксиального нагружения «Пингвин» с нагрузкой 16–18 кг. В эксперименте, программа которого была утверждена комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН, приняли участие 8 физически здоровых добровольцев, подписавших в соответствии с Хельсинской декларацией информированные согласия на участие.

Проведенные исследования показали, что дополнительная аксиальная нагрузка в условиях безопорности обеспечивает ускорение процессов восстановления стабильности и точности ходьбы, а также способствует сохранению увеличивающихся в иммерсии величин дифференциального и абсолютного порогов в системе управления точностными движениями рук.

Применение весовой нагрузки в условиях безопорности сопровождалось развитием тенденции к повышению порогов корковых и спинальных вызванных моторных ответов мышц голени и снижению амплитуд спинальных вызванных моторных ответов, таким образом препятствуя повышению возбудимости спинальных механизмов двигательной регуляции. Применение костюма аксиального нагружения в ходе иммерсии способствовало и увеличению стабильности стабилметрических ответов на гальваническое раздражение: вариативность амплитуд ответов в экспериментальной группе была существенно меньшей, как непосредственно после завершения иммерсионного воздействия, так и в последующем. Кроме того, в экспериментальной группе наблюдалась меньшая выраженность болей в спине и не столь значительное увеличение роста, как в группе контрольной.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект №14-25-00167).

РАСШИРЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕПОЛЕТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ СВОЙСТВ МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА

Кукоба Т.Б., Фомина Е.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EXPANSION OF ASSESSMENT METHODS CHANGES POST-FLIGHT OF SPEED AND POWER PROPERTIES OF MUSCLE HUMAN

Kukoba T.B., Fomina E.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Длительное пребывание в невесомости сопровождается функциональными и структурными перестройками в гравивисимых системах организма. Опорно-двигательный аппарат является наиболее гравитационно-зависимым, потери мышечной силы и массы наблюдаются уже с 7-го дня космического полета. Атония, атрофия, снижение скоростно-силовых свойств и выносливости наиболее выражены в постуральных мышцах и мышцах конечностей, прежде всего в мышцах-экстензорах.

Физические упражнения во время космического полета являются условием для сохранения необходимого уровня работоспособности и обеспечения возможности выполнения миссии и благополучной реадaptации к условиям Земли. Силовые упражнения вносят существенный вклад в поддержание силовых способностей за период космического полета. Ранее нами было показано, что глубина и направленность изменений, как максимальной произвольной силы,

так и силовой выносливости мышц ног в длительных космических полетах зависит от доли пассивного режима в локомоторной тренировке и объема физической нагрузки при выполнении резистивных упражнений на силовом тренажере ARED. Так, силовая выносливость мышц-экстензоров бедра снижалась в среднем на 23 % ($p \leq 0,01$), в группе космонавтов, где доля пассивного режима в локомоторной тренировке составляла менее 30 %, а величина «весовой» нагрузки в процессе резистивных тренировок в ходе космического полета, составляла 50–60 % от повторного максимума [Кукоба Т.Б., Лысова Н.Ю., Фомина Е.В., 2015], а момент сил мышц-экстензоров голени значимо снижается на всех оцениваемых угловых скоростях [Фомина Е.В., Лысова Н.Ю., Савинкина А.О., Кукоба Т.Б. 2015].

С целью детализации изучения изменений силовых свойств мышц космонавтов после полета помимо показателей максимальной произвольной силы были обработаны и проанализированы данные изокинетического тестирования, максимальный момент сил, время достижения максимального момента сил и скорость достижения максимального момента сил.

Изокинетическое тестирование 18 космонавтов показало, что на 4-е сутки после полета максимальные моменты сил, развиваемые мышцами бедра в изокинетическом режиме снижаются, как для флексоров, так и для экстензоров. Наибольшее снижение моментов сил выявлено в мышцах – экстензорах бедра ($P = 0,04$), потери по группе составили 27 %.

В мышцах – флексорах бедра снижение максимального момента сил было выражено меньше, чем в экстензорах, и составляло в среднем 15 % ($P = 0,03$).

Для мышц голени наблюдается снижение моментов сил на угловой скорости 30 град/св экстензорах и повышение во флексорах. Увеличение по группе во флексорах составило 35 %, снижение в экстензорах 32 %.

Силовая выносливость мышц бедра космонавтов снижалась как в мышцах – экстензорах ($P = 0,04$) так и во флексорах. Снижение данного показателя в экстензорах бедра составляло 15 %.

Анализ скорости достижения максимальных моментов сил показал, что после полета зарегистрировано снижение скорости достижения максимального момента сил мышцами флексорами, для экстензоров голени наблюдалась та же тенденция.

Анализ данных электромиограммы при выполнении изокинетического тестирования показал, что электрокимографическая стоимость усилий мышц (Аmax) голени возрастала после полета на угловой скорости 30 град/скак в мышце soleus, так и в мышце tibialis anterior. Наибольшее увеличение Аmax в мышце soleus отмечено при среднескоростном изокинетическом режиме, которое достигало 100 % от исходного уровня.

При высокоскоростном изокинетическом режиме Аmax снижается, более выражено в мышце soleus, в меньшей степени в мышце tibialis anterior. На угловой скорости 90 град/с снижение в мышце tibialis anterior достигает 14 %.

В изометрическом режиме при снижении моментов сил экстензоров бедра на 12 %, а флексоров на 30 % отмечено увеличение электрокимографической стоимости в мышцах экстензорах на 10 %, флексорах – на 15 %.

Таким образом, увеличение электрокимографической стоимости работы отмечено в изометрическом и низкоскоростном режимах, являющихся наиболее нагрузочными и соответственно информативными для оценки степени сохранения скоростно-силовых свойств мышц. Регистрация электрокимографической стоимости при изокинетическом тестировании максимальной произвольной силы позволяет повысить объективность оценки скоростно-силовых свойств мышц.

Работа поддержана РФФ № 14-25-00167.

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭКИПАЖА МЕЖПЛАНЕТНОГО КОРАБЛЯ

Курмазенко Э.А., Коробков А.Е., Цыганков А.С., Кочетков А.А., Прошкин В.Ю.

АО «НИИхиммаш», г. Москва

A GENERALIZED MODEL of the INTEGRATED LIFE-SUPPORT SYSTEM EFFICIENCY FOR THE CREWS OF INTERPLANETARY SPACE VEHICLE

Kurmazenko E.A., Korobkov A.E., Tsygankov A.S., Kochetkov A.A., Proshkin V.Ju.

JSC "NIIchimash", Moscow

Категория «эффективность» при проектировании сложных технических систем, к которым относится интегрированная система жизнеобеспечения (ИСЖО) как абиотическая часть экосистемы межпланетного космического аппарата (МКА), имеет важное теоретическое и практическое применение, так как на ее оценке при внешнем и внутреннем проектировании системы проводится решение следующих основных задач:

- выбор совокупности технологий преобразования массовых и энергетических потоков в структуре системы;
- сопоставление альтернатив вариантов функциональных блоков для выбора технологической структуры системы;
- определение перспективности системы и повышение степени соответствия системы своему целевому назначению.

Особенностями предлагаемой постановки задачи исследования эффективности технологий, синтеза и анализа функционирования технологической структуры ИСЖО являются:

– выражение полезного эффекта от функционирования ИСЖО и входящих в нее систем и функциональных блоков через эксергетическую производительность;

– учет неопределенности исходной информации и склонности лица, принимающего решение, к риску при определении значений показателей эффективности;

– ориентация на применение интерактивных систем поддержки принятия решения с целью исключения субъективных факторов в решении задачи.

В настоящее время отсутствует единый подход к оценке эффективности ИСЖО. Формализованная цель системы – ее целевая функция, подменяется количественной оценкой отдельного качества, определяющего возможность ее реализации или закономерностей функционирования. При этом в качестве целевой функции принимается формализованное свойство системы, которое в рассматриваемый момент времени в рамках априорной информации о свойствах системы представляется наиболее важным для проектировщика.

ИСЖО и входящие в нее отдельные системы и функциональные блоки характеризуются конкретным перечнем характеристических и общесистемных свойств, определяемых с учетом неопределенности в исходной информации. Вследствие этого:

– понятие эффективность является внешним по отношению к ИСЖО, никакое описание системы не является достаточным для формирования модели эффективности;

– формирование целевой функции требует учета свойств «надсистемы» – экосистемы МКА.

Более целесообразным является подход к проектированию ИСЖО, основанный на методе задания эффективности. При данном подходе, исходя из программы межпланетного полета, обосновывается физический критерий эффективности, выражающий место системы в надсистеме, назначение отдельной системы в надсистеме и обеспечивается согласованность отдельных этапов проектирования. Проектирование системы должно обеспечить экстремальное значение подобного критерия.

На этапе постановки задачи синтеза технологической структуры ИСЖО на основе системного подхода целесообразно формализовать цель системы в форме некоторого глобального физического показателя, отражающего обмен абстрактными ресурсами между системой и внешней, относительно системы, средой в терминах «и, v – обмена», который всегда характеризуется оптимальным значением затрат абстрактных ресурсов окружающей среды для выполнения целевого назначения системы.

Для формирования обобщенной модели эффективности (ОМЭ) для внешнего и внутреннего проектирования ИСЖО в качестве исходных постулатов применены:

– общая формулировка задачи принятия решений и системный подход к проектированию;

– концептуальная модель эколого-технической системы;

– 3-й, 4-й и 5-й законы энергоэнтропии;

– эксергетический подход к анализу технологий.

В качестве физического критерия эффективности применена целевая эксергетическая функция термомассовой оптимизации (ЦЭФТМО), выражающаяся через отношения постоянных и переменных затрат массы на функционирование ИСЖО к эксергетической производительности системы.

При решении задач на этапе внешнего проектирования, направленного на формирование «облика» технологической структуры, для выбора альтернативных технологий при решении задачи синтеза в ОМЭ введены метрические термодинамические показатели эффективности, основанные на формировании для применяемых технологий эталонных технологий на основе обратимых процессов. Для решения задач, связанных с анализом функционирования синтезированной технологической структуры, на данном этапе проектирования целесообразно ввести в ОМЭ критерии эффективности на основе вероятностных показателей эффективности с применением распределения Вейбулла.

При этом окончательное принятие решений должно быть осуществлено на основе ЦЭФТМО.

При решении задач внутреннего проектирования ИСЖО должна решаться многокритериальная задача с учетом неопределенности в исходной информации и предпочтений лица, принимающего решение. Для ее решения в ОМЭ введен перечень локальных (частных) показателей эффективности.

К отдельным показателям эффективности, входящим в данный перечень, предъявляются следующие существенные требования:

– каждый локальный показатель эффективности должен иметь объективную шкалу измерений и давать возможность построения распределения для каждой альтернативы;

– каждый локальный показатель эффективности должен быть исчерпывающим, т.е. значение показателя должно давать полное представление о степени достижимости цели системы;

– показатели эффективности, входящие в модель ОМЭ, должны быть линейно независимыми и независимыми по предпочтению;

– ограничивающие показатели эффективности, имеющие одинаковые значения для рассматриваемых альтернатив технологий, в модель ОМЭ не включаются.

– количество показателей эффективности должно быть минимальным и достаточным для проведения анализа эффективности ИСЖО.

Учитывая, что каждый локальный показатель эффективности характеризует определенное свойство системы, которое может быть наблюдаемым (непосредственно измеримым) или качественным (характеризующим неизмеримое свойство), принято локальные показатели эффективности разделять на количественные и качественные.

При формировании локальных показателей эффективности ОМЭ приняты для измерения шкала отношений и шкала интервалов для количественных показателей эффективности и шкала простого порядка, построенная на основе лингвистических термов теории нечетких множеств, для качественных показателей эффективности.

Учет неопределенности в исходной информации в предлагаемой ОМЭ произведен на основе модифицированной логарифмической функции принадлежности.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НЕРВНО-ПСИХИЧЕСКОЙ СФЕРЫ КОСМОНАВТОВ В ДЛИТЕЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Лаврентьева И.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EVALUATION OF COSMONAUT'S NEURO-PSYCHIC SPHERE IN LONG-DURATION SPACE FLIGHT

Lavrentyeva I.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Профессия космонавта относится к экстремальным видам труда. Условия космического полета (КП) предъявляют повышенные требования к нервно-психической сфере членов экипажей.

В состав группы медицинского обеспечения космических полетов (ГМО), работающей в Центре управления полетами (ЦУПе) и осуществляющей ежедневный контроль состояния здоровья космонавтов, входят специалисты-психоневрологи. Ведущей особенностью деятельности психоневрологической службы ЦУПа является профилактическая направленность: распознавание самых ранних признаков неблагополучия – нарастания утомления и нарушений сна – и, в конечном счете, предупреждение развития заболевания. Задачей психоневрологов является также выявление предвестников и предупреждение конфликтов внутри экипажа, а также между космонавтами и представителями наземных служб.

Каждый день психоневролог по определенной схеме описывает и оценивает особенности психоневрологического статуса космонавтов, главным образом: когнитивные процессы – восприятие, память, внимание, мышление; устойчивость эмоциональной сферы; волевые качества, умение «держаться удар», когда силы уже на исходе; ответственность, четкость и тщательность в работе; нацеленность на успех (уровень мотивации); общий жизненный настрой; текущее самочувствие (по поводу последнего нужно отметить, что жалобы на состояние здоровья космонавты предъявляют редко, поэтому в работе психоневролога важен контакт с врачом экипажа, с которым космонавты более эмоционально близки и доверительны).

Полученная информация обобщается в недельном заключении. При этом дается не только общая оценка состояния, но и прогноз на ближайшее будущее, выделяются акценты и наиболее уязвимые моменты, требующие дальнейшего наблюдения и корректировки. В сложных случаях происходит обсуждение психоневрологического состояния экипажа на еженедельных заседаниях ГМО, особое внимание обращается на готовность космонавта выполнять наиболее ответственные и сложные виды работ. При необходимости психоневролог принимает участие в разборе ошибочных действий экипажа, особенно если проблема касается не столько технической, сколько медицинской стороны вопроса.

В КП можно выделить этапы адаптации (вработываемости), оптимальной работоспособности и «конечного порыва», предшествующего приземлению [Медведев В., 1993]. Каждый этап предъявляет свои требования к нервно-психической сфере космонавтов, и психоневролог должен учитывать это в своей работе. На стадии адаптации особенно ярко проявляются негативные эффекты факторов КП и прежде всего, невесомости, что, безусловно, отражается на состоянии нервно-психической сферы членов экипажей. С этой точки зрения большое значение имеет индивидуальный опыт предшествующих полетов, который может облегчать течение адаптационного процесса как в физиологическом, так и в психологическом отношении. По словам космонавтов, опыт КП позволяет организму «вспомнить невесомость», т.е. быстрее и легче адаптироваться к ней. И, конечно, и самочувствие, и переносимость рабочих нагрузок у «новичков» и у опытных космонавтов будут разными. Очень важно, что знание индивидуального опыта полетов дает возможность психоневрологу более адекватно оценивать профессиональную надежность космонавта и его способность успешно справляться с нештатными ситуациями.

На завершающем этапе полета чаще, чем раньше, со стороны членов экипажей наблюдается повышенная критичность к службам и отдельным специалистам ЦУПа. В этот период отмечается усиление сплоченности экипажа, поэтому свои замечания космонавты нередко предъявляют от имени всего экипажа. Повышенная критичность, возможно, связана с некоторой «пресыщенностью» полетной обстановкой и накопившейся усталостью.

Все сказанное необходимо учитывать при оценке состояния нервно-психической сферы.

Условием эффективной работы психоневролога является изучение дополетного психоневрологического статуса космонавтов, что требует анализа и систематизации перед предстоящим полетом имеющихся данных дополетного обследования (ЭЭГ, РЭГ, МРТ головного мозга и др.). С той же целью необходимо изучение психологической характеристики каждого космонавта, результатов его прошлых КП (анализ архива КП ГМО). Психоневрологу полезно знакомиться с данными, полученными в процессе динамического наблюдения за комплексными тренировками в ЦУПе, в ходе предполетных встреч с космонавтами в ЦУПе. Все это позволяет наиболее глубоко и точно оценивать состояние нервно-психической сферы космонавтов во время полета.

Заключительным этапом психоневрологического сопровождения экипажа является оформление итогового отчета, куда входят и результаты послеполетной встречи с космонавтами в ЦПК им. Ю.А.Гагарина. В отчете отражается динамика состояния когнитивных и эмоциональных процессов, проявления личностных качеств, стиль общения космонавтов друг с другом и с наземными специалистами в ходе полета, анализируются наиболее сложные этапы полета, описываются проводимые при необходимости профилактические медицинские мероприятия, дается оценка устойчивости рабочей мотивации членов экипажей на успешное выполнение программы полета.

ИНДИКАТОРЫ АКТИВНОСТИ БЕЛОКСИНТЕЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ С ИЗОЛЯЦИЕЙ HUBES И MARC-500: ВЛИЯНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Ларина О.Н., Беккер А.М.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INDICES OF THE ACTIVITY OF HEPATIC PROTEIN SYNTHESIS SYSTEM IN ISOLATION STUDIES HUBES AND MARC-500: THE IMPACT OF EXPERIMENT INFRASTRUCTURE

Larina O.N., Bekker A.M.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Эксперименты с изоляцией, моделирующие воздействие факторов длительного космического полета на человека, сопровождаются изменениями, сходными с эффектами гипокинезии. Во время исследования с 370-суточной антиортостатической гипокинезией (АНОГ) происходило существенное снижение процентного содержания α 1- и α 2-глобулиновых фракций белков крови, которое, по аналогии с клиническими наблюдениями, может рассматриваться как результат подавления синтеза белка в печени, в клетках которой осуществляется синтез секреторных белков крови, поступающих в кровеносную систему. Среди причин, обуславливающих более низкий уровень биосинтетических процессов в печени при АНОГ, следует выделить сниженную тиреоидную функцию. Эксперимент с 370-суточной АНОГ показал, что применение различных режимов профилактики позволяет замедлять темпы снижения уровня α -глобулиновых фракций в ходе АНОГ, а также наращивать их содержание в крови вплоть до возврата к доэкспериментальным значениям.

Необходимость имитации максимального числа факторов космического полета в наземных условиях, при автономном пребывании обследуемых во время изоляции в экспериментальном комплексе, требует наличия сложной инфраструктуры, развитие которой осуществляется по мере накопления опыта реальных космических полетов и изоляционных исследований. Изменения претерпевают обитаемые и необитаемые помещения экспериментального комплекса, системы жизнеобеспечения, режим труда и отдыха, средства и методы профилактики. Например, в эксперименте HUBES продолжительностью 135 сут 3 испытуемого (возраст 35.0 ± 2.6 лет) находились в модуле объемом 100 м^3 , в то время как в экспериментах в рамках проекта Марс-500 общий объем обитаемых модулей, предназначенных для работы 8 членов экипажа, составил 550 м^3 . В состав экспериментального комплекса также входил имитатор марсианской поверхности объемом 1200 м^3 .

В эксперименте HUBES было исследовано процентное содержание электрофоретических фракций белков крови и концентрации белков, входящих в состав фракций α -глобулинов α 1-антитрипсин (α 1-АТ), α 2-макроглобулин (α 2-М) и гаптоглобин (Нр). В 105-суточном эксперименте по программе «Марс-500» были измерены концентрации α 1-АТ, α 2-М, Нр. В эксперименте по программе «Марс-500» продолжительностью 520 сут (8 испытуемых, возраст 32 ± 4.7 лет) помимо вышеперечисленных белков определяли концентрации α 1-кислого гликопротеина (α 1-AGP) и аполипопротеина А1 (АроА1), а также церулоплазмина (Сer), мигрирующего при электрофорезе на границе между фракциями α 1- и α 2-глобулинов.

Во время изоляции по программе HUBES процентное содержание α 1-глобулинов поддерживалось на уровне, близком к исходному, за исключением резкого, в среднем на 21 %, падения значений показателя на 57-е сутки воздействия. Процентное содержание фракции α 2-глобулинов снижалось в первые 85 сут изоляции, при этом средняя величина изменений достигла 23 %. В последующие сроки изоляции наблюдалась тенденция к восстановлению содержания данной фракции в крови. Снижение концентраций индивидуальных белков было более существенным (на 30–40 % по отношению к фону) и продолжалось в течение всего периода иммерсии. В отдельные сроки эксперимента

отмечались значения концентраций $\alpha 1$ -АТ и $\alpha 2$ -М ниже физиологической нормы. Во время изоляции HUBES не наблюдалось значительных изменений концентрации общего белка и процентного содержания альбумина.

В экспериментах по программе «Марс-500» в течение первых 90–150 суток изоляции, в отличие от эксперимента HUBES, уменьшения содержания $\alpha 1$ -АТ $\alpha 2$ -М не выявлено. В этот же период времени уровень Нр снижался, однако в меньшей степени, чем в эксперименте HUBES. При более длительном пребывании в замкнутом объеме происходило постепенное снижение концентрации $\alpha 2$ -М. Концентрация $\alpha 1$ -АТ, напротив, проявляла тенденцию к росту в течение 500 сут изоляции. Полученные результаты предполагают, что условия изоляции в эксперименте «Марс-500» оказывали более мягкое воздействие на плазматический уровень $\alpha 1$ -АТ, $\alpha 2$ -М и Нр по сравнению с экспериментом HUBES, и, возможно, обеспечивали более высокую активность синтеза секреторных белков крови в печени.

Измерения концентрации других исследованных белков – представителей α -глобулинов $\alpha 1$ -AGP, ApoA1 и Cer, свидетельствуют о существенном снижении их уровня в ходе 520-суточного эксперимента по программе «Марс-500», подтверждая эффект ослабления гепатического синтеза белков крови под влиянием изоляции. У нескольких испытуемых плазматические концентрации Нр, Cer и ApoA1 в отдельные периоды изоляции выходили за нижнюю границу нормального диапазона. Отмечено также продолжительное снижение общего белка плазмы и альбумина, максимальные изменения составили 10 % и 7 % соответственно. Таким образом, пребывание в условиях эксперимента продолжительностью 520 сут, выполненного по программе «Марс-500», так же, как в эксперименте HUBES, вызывает снижение синтеза секреторных белков крови в печени. В первые 3–4 мес изоляции в 105- и 520-суточных экспериментах по программе Марс-500 изменения уровней белков были менее выражены по сравнению с 135-суточной изоляцией проекта HUBES, что, вероятно, объясняется совершенствованием системы профилактики и улучшением условий пребывания испытуемых в экспериментальном комплексе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ К МУТАЦИОННЫМ НАРУШЕНИЯМ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Ларина О.Н., Беккер А.М.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

STUDY OF GENETIC FACTORS RESPONSIBLE FOR THE RESISTANCE OF BIOLOGICAL OBJECTS TO THE EMERGENCE OF MUTATIONS IN SPACEFLIGHT CONDITIONS

Larina O.N., Bekker A.M.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Главным отличием условий существования живых организмов в космическом полете на околоземной орбите являются невесомость и ионизирующее излучение, уровни которого однако недостаточны для того, чтобы оказывать негативное воздействие на генетический аппарат даже чувствительных к радиационному воздействию биологических видов, в том числе человека. Однако весьма часто у космонавтов после пребывания в космическом полете наблюдался рост числа хромосомных мутаций. Более того, увеличение частоты возникновения мутаций отмечается и у модельных организмов, проявляющих намного более высокую устойчивость к ионизирующей радиации. Устойчивость к возникновению мутаций является актуальной проблемой пилотируемых космических полетов. В настоящее время причины индивидуальной вариативности устойчивости генетического аппарата, также как и средовые факторы, индуцирующие мутагенез во время космического полета, изучены далеко не полностью.

Исследования, проведенные с модельными биологическими объектами, в первую очередь, на плодовой мушке *Drosophila melanogaster*, позволили раскрыть многие фундаментальные генетические закономерности, а сами дрозофилы стали одним из наиболее популярных и изученных объектов генетических исследований. Широкому распространению *D. melanogaster* в качестве исследуемого объекта способствовали достаточно простые методы содержания дрозофил в лабораторных условиях, короткий цикл индивидуального развития и возможность быстрого получения большого количества особей, имеющих необходимые для исследований признаки. В последние годы в работе часто используются биологические виды, обладающие удобными для экспериментальных исследований биологическими и генетическими особенностями, например, нематода *Caenorhabditis elegans*.

Исследования, проведенные с дрозофилами несколькими исследовательскими группами в реальных космических полетах, выявили заметное повышение числа мутаций в генеративных и соматических клетках, однако имеются сообщения и об отсутствии эффектов космического полета на мутационный процесс, также как об изменениях противоположной направленности, например, для лабораторной мутантной линии mei-41 показано снижение частоты возникновения мутаций после космического полета по сравнению с наземным контролем.

В рамках проводимого на МКС космического эксперимента «Полиген» с *D. melanogaster* получены данные, указывающие на существование различий в устойчивости к появлению мутационных нарушений (частота доминантных летальных мутаций, ДЛМ) между природными популяциями дрозофилы. Дальнейшие исследования, выполненные с *D. melanogaster*

популяции BV-09, показали, что возникновение мутаций у мушек может быть обусловлено не только космическим излучением, но и воздействием неблагоприятных условий обитания, в результате так называемого «экологического стресса». В частности, повышенные температуры окружающей среды являются для дрозофил одним из мощных индукторов мутаций. Показатель флуктуирующей асимметрии, характеризующий стабильность индивидуального развития, проявил значительно более высокую чувствительность к воздействию условий космического полета, чем частота ДЛМ.

Полученные к настоящему времени результаты предполагают, что для выяснения эффектов, оказываемых радиационной компонентой и динамическими факторами космического полета, на мутационный процесс и индивидуальное развитие дрозофил важно поддерживать оптимальные для них температурные условия в ходе эксперимента. С целью дифференцированной оценки вклада отдельных факторов космического полета необходимо проведение дополнительных экспериментов, таких, как экспонирование биообъектов ионизирующему излучению в наземных условиях в дозах, соответствующих расчетным параметрам радиационной обстановки на орбите МКС.

Основной причиной возникновения ДЛМ является остановка клеточного цикла в эмбриональных клетках, которая, как правило, происходит в результате двунитевых разрывов ДНК, результатом которых может быть формирование хромосомных мутаций. Как двунитевые повреждения, так и другие виды мутационных нарушений генетического аппарата могут быть исправлены ферментами системы репарации ДНК. Сниженная активность или отсутствие белков, участвующих в репарации, повышает вероятность появления мутаций, однако мутационный процесс может зависеть и от других генных систем, например, обеспечивающих адаптацию организма к изменившимся условиям среды, инактивацию токсичных соединений. На формирование признаков, определяемых несколькими генами, может также оказывать влияние эпистаз - изменение экспрессии генов под влиянием продуктов экспрессии других генов. Для исследования генетических признаков, связанных с устойчивостью биообъектов к образованию мутаций в условиях космического полета, необходимо идентифицировать гены, значимые для мутационного процесса.

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРГРАВИТАЦИИ И АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ, ОБУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ АКТИВНОСТЬ В СИСТЕМЕ INTELLICAGE У МЫШЕЙ ЛИНИИ C57BL/6

Лебедева-Георгиевская К.Б., Матвеева М.И., Шуртакова А.К.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE INFLUENCE OF G FORCE AND TAIL SUSPENSION ON THE BEHAVIOR, LEARNING AND EXPLORATION ACTIVITY OF MICE C57BL/6

Lebedeva-Georgievskaya K.B., Matveeva M.I., Shurtakova A.K.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одним из наиболее важных факторов космического полета можно назвать нахождение экипажа в условиях измененной гравитации. Если влияние гипер- и гипогравитации на физиологию в целом изучено достаточно хорошо, то вопрос о том, какое действие оказывает изменение гравитации на обучение и другие когнитивные функции остается не до конца решенным. В данном докладе подводятся итоги 3 различных экспериментов, проведенных в 2012, 2014 и 2015 годах на базе «Планерная» ГНЦ РФ ИМБП РАН, по влиянию гипер- и гипогравитации на особенности поведения и обучения мышей линии C57BL/6.

В качестве модели воспроизведения условий невесомости в наземных условиях использовался метод антиорто-статического вывешивания (АНОВ) [Штемберг А.С., 1992, 1997], для создания перегрузки – центрифуга. Для обучения животных, оценки активности и длительного наблюдения за поведением использовали систему, Intellicage TSE (New Behavior, Германия) которая позволяет осуществлять автоматизированный сбор и анализ данных о поведении животных. Однозначным плюсом этой системы, по сравнению с другими, можно назвать минимизацию влияния экспериментатора на поведение животных, что позволяет длительно (несколько суток и более) наблюдать нормальное, в том числе и социальное, поведение грызунов в условиях домашних клеток. В данных исследованиях фиксировались следующие параметры (число и длительность): посещение угла с поилкой, попытка дотянуться до воды и акт питья, на основе этих данных также выяснялись предпочтения животными того или иного угла. Обучение в системе Intellicage происходило по следующей парадигме: после 4-дневной адаптации, когда все поилки доступны, в ответ на тычок носом, доступной становится только одна из поилок, после достижения критерия обученности, правильной становится следующая справа от правильной поилка. Дополнительно к системе Intellicage были использованы тесты: открытое поле (эксперименты в 2012, 2014 годах) и методика дискриминантного обучения (эксперимент 2015 года) [Григорьян Г.А., 2005.]

Исходя из данных «открытого поля», у мышей групп АНОВ происходит увеличение тревожности и снижение исследовательской активности, что выражается в увеличении латентного периода выхода из центра открытого поля, достоверное уменьшение общего числа побегов, норковых реакций, стоек и выходов в центр.

Схожие результаты были получены в системе Intellicage: уменьшается число посещений углов в экспериментальных группах при увеличении длительности пребывания в углах. Кроме того, у животных экспериментальных групп

наблюдается возникновение стереотипии в поведении как во время адаптации, так и после, когда для них становится предпочтителен только один угол, в то время как контрольные группы в равных долях посещают разные углы. Схожее воздействие оказывает перегрузка. По результатам наших исследований комбинированное воздействие перегрузки и АНОВ оказывает более серьезное влияние, чем только перегрузка или АНОВ.

Результаты обучения не столь однозначны: можно лишь наблюдать некоторые тенденции к снижению обучаемости животных после воздействия. (Обучение проводилось только в 2015 с группами контроль и АНОВ.) Отдельно стоит отметить факт значительного увеличения агрессивности по отношению друг другу после воздействий.

Таким образом, результаты исследований говорят о наличии влияния изменения гравитации на когнитивные функции мышей. что говорит о необходимости дальнейшего и более детального изучения данного вопроса.

Работа поддержана грантами РФФИ 15-04-03569 и 15-04-02005.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ НА БОРТУ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ШТАТНЫХ ОРАНЖЕРЕЙ ДЛЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МИССИЙ

Левинских М.А., Сычев В.Н., Подольский И.Г., Неведова Е.Л., Сигналова О.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE RESULTS OF STUDIES OF HIGHER PLANTS ON BOARD THE ORBITAL STATIONS AND THE PROSPECTS FOR ESTABLISHED GREENHOUSES FOR INTERPLANETARY MISSIONS

Levinskikh M.A., Sychev V.N., Podolsky I.G., Nefedova, E.L., Signalova O.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В задачи медико-биологического обеспечения человека в длительных пилотируемых космических экспедициях входят вопросы создания систем жизнеобеспечения (СЖО). Можно ожидать, что в СЖО первых длительных межпланетных экспедиций будут включены некоторые элементы биологических систем жизнеобеспечения, в первую очередь, высшие растения. В связи с этим, исследования роста и развития высших растений в условиях космического полета имеют важное значение.

Анализ результатов 23 космических экспериментов по культивированию 12 видов и сортов растений различной таксономической принадлежности в отечественных космических исследовательских оранжереях «Свет» и «Лада» на борту ОК «Мир» и МКС, выполненных нами в период с 1995 г. по 2011 г., показал, что при использовании разработанной технологии, позволяющей максимально полно обеспечить потребности исследуемых организмов

– морфологические и биометрические показатели высших растений в космическом полете не отличаются от таковых в наземных контрольных экспериментах;

– условия космического полета не являются препятствием для осуществления высшими растениями нормального цикла индивидуального онтогенетического развития «от семени до семени»;

– семена высших растений, сформированные в отсутствии гравитационного фактора, являются биологически полноценными, а растения, полученные из этих семян, не отличаются от обычных «земных» растений;

– возможен рост и развитие высших растений в ряду последовательных поколений (по крайней мере четырех) в условиях космического полета;

– генетический анализ растений гороха, выращенных из «космических» и «земных» семян первого-четвертого последовательных поколений, в опытном и контрольном вариантах не выявил генетического полиморфизма, что дает серьезные основания для предположения о том, что генетический аппарат растений не претерпевает изменений при выращивании нескольких последовательных генераций в условиях полета на борту орбитальной станции;

– значительное возрастание показателя суммарной загрязненности воздушной среды МКС (показатель суммарной загрязненности воздушной среды Т изменялся в 5 экспериментах от 4 до 22 ед.) не вызывало снижения продуктивности листового овощного растения мизуны, однако, сопровождалось незначительным изменением экспрессии генов, ответственных в первую очередь за нейтрализацию окислительного стресса;

– возрастание показателя суммарной загрязненности воздушной среды орбитальной станции может вызывать снижение общей и семенной продуктивности растений гороха и пшеницы;

– в условиях гермообитаемого космического объекта в открытой по газообмену оранжерее возможно выращивание листовых овощных растений с потребительскими качествами, не отличающимися по основным параметрам от «земного» варианта.

Таким образом, результаты исследований, полученные при выращивании растений в космических оранжереях на борту орбитальных станций, показали, что растения могут длительное время, сопоставимое с длительностью марсианской экспедиции, выращиваться в условиях космического полета без потери общей и семенной продуктивности, формировать при этом жизнеспособные семена и обеспечивать экипаж полноценной растительной биомассой в качестве источника питания.

ВЛИЯНИЕ ГЛЮКОЗНОЙ ДЕПРИВАЦИИ НА СОДЕРЖАНИЕ АФК В МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ПРИ РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА

Лобанова М.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

GLUCOSE DEPRIVATION EFFECTS ON ROS CONTENT IN MULTIPOTENT MESENCHYMAL STROMAL CELLS AT DIFFERENT OXYGEN CONCENTRATIONS

Lobanova M.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (ММСК) – это малодифференцированные стромальные предшественники, которые представляют большой интерес для клеточной терапии благодаря своей способности к мультилинейной дифференцировке, высокой пролиферации и участию в формировании регенеративного микроокружения. Показано, что ММСК являются перспективным инструментом, применимым в медицине при лечении заболеваний, связанных с нарушением кровообращения. Однако в этом случае на эффективность применения клеток могут оказать существенное влияние неблагоприятные факторы микроокружения, такие как окислительный стресс, снижение уровня поступления питательных веществ и ростовых факторов. В связи с этим актуальной задачей представляется изучение функционирования ММСК в условиях различного содержания кислорода – важного фактора микроокружения *in vitro*, который в значительной степени определяет устойчивость клеток, оказывая влияние на регуляцию энергетического обмена и антиоксидантную активность.

В данной работе проводилось изучение уровня активных форм кислорода (АФК) в ММСК при критическом снижении концентрации глюкозы в условиях различного содержания кислорода в среде культивирования. Исследовали клетки при постоянном культивировании в условиях 20 % и 5 % O₂, а также изменении содержания кислорода с 20 % и 5 % до 1 % на 72 ч. Содержание глюкозы в среде культивирования уменьшали до 10 % от контроля также на 72 ч. Продукцию АФК оценивали методом проточной цитофлуориметрии с помощью 2,7-дихлорфлуоресцеин диацетата H₂DCFDA.

Количество АФК в ММСК при постоянном культивировании в условиях 20 % и 5 % достоверно не различалось. Снижение содержания глюкозы в среде приводило к увеличению продукции АФК клетками в 1,5–2 раза. Совместное действие глюкозной депривации и снижения содержания кислорода сдерживало рост АФК в среднем на 30 %. При действии протонифора карбонилцианид-3-хлорфенилгидразона (СССР) было показано, что значительный вклад в продукцию АФК в условиях глюкозной депривации вносит работа дыхательной цепи митохондрий ММСК.

Таким образом, на основании полученных данных можно предположить, что культивирование в условиях снижения содержания кислорода способствует сдерживанию продукции АФК, вызываемой действием глюкозной депривации.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 16-34-01336 мол_а.

АКТИВАЦИЯ КИНАЗЫ ЭЛОНГАЦИОННОГО ФАКТОРА 2 В M.SOLEUS ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ. БЛОКИРОВАНИЕ CAV1.1 СНИЖАЕТ АКТИВНОСТЬ EEF2K

Ломоносова Ю.Н., Вильчинская Н.А., Белова С.П., Шенкман Б.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ACTIVATION OF ELONGATION FACTOR 2 KINASE IN M.SOLEUS UNDER DIFFERENT HINDLIMB SUSPENSION PERIODS. CAV1.1 BLOCKADE DECREASES EEF2K ACTIVITY

Lomonosova Y.N., Vilchinskaya N.A., Belova S.P., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В условиях гипогравитационной разгрузки происходит атрофия скелетных мышц [Thomason et al., 1990; Flück et al., 2002], в особенности постуральной мышцы m. soleus [Vajotto et al., 2011]. Снижение синтеза белка было обнаружено уже на 3-и сутки функциональной разгрузки задних конечностей крыс [Loughna et al., 1986]. Белок eEF2 – один из важнейших членов семейства eEF. Известно, что eEF2 катализирует одновременную транслокацию двух тРНК и мРНК на рибосоме 80S [Taylor et al., 2007], а его фосфорилирование специфической киназой eEF2k приводит к остановке элонгации трансляции [Browne et al., 2002]. В данной работе оценены изменения активности сигнального пути eEF2k-eEF2 в m. soleus при различных сроках разгрузки. Более того, мы применили специфический блокатор кальциевых каналов L-типа (Cav 1.1) нифедипин, чтобы проверить гипотезу о том, что увеличенное содержание Ca²⁺ во время разгрузки через Cav 1.1 приводит к активации eEF2k. Самцы породы Вистар были разделены на 5 групп: контрольная группа (группа К, n = 7), вывешенные группы в течение 3 (группа В3, n = 7), 7 (группа В7, n = 7) и 14 сут (группа В14, n = 7), вывешенная 3 сут с введением нифедипина, блокатора Cav1.1 (В3 + Ниф). Мы показали, что экспрессия eEF2-киназы была увеличена относительно контрольной группы, начиная с 3-х суток вывешивания, и оставалась

таковой вплоть до 14 сут. Содержание белка eEF2k также было увеличено после 3 сут разгрузки по сравнению с контролем. Экспрессия самого элонгационного фактора 2 оставалась неизменной в течение всех периодов вывешивания. При этом содержание eEF2 снизилось на 30 % после 7 сут вывешивания, а после 14 сут уменьшилось вдвое относительно такового в контрольной группе. Количество P-eEF2 (T56) увеличилось в 4 раза после 3 сут вывешивания, после 7 сут оно не отличалось от группы К, на 14-е сутки вдвое превышало контрольную группу. Применение нифедипина значительно снизило рост количества P-eEF2 (T56) на 3-и сутки разгрузки. Таким образом, наши данные позволяют предположить, что на ранних сутках разгрузки происходит активация eEF2k с участием каналов Cav1.1, что приводит к ингибированию eEF2, и, вероятно, снижает скорость элонгации белка. На более поздних сроках, вероятно, происходит протеолиз eEF2, что является компенсаторным механизмом при сниженной скорости элонгации белка.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 11-04-01769-а, 15-04-05729-а.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ЖЕНСКОГО ОРГАНИЗМА В ПРОЕКТЕ «ЛУНА-2015»

Луцицкая Е.С., Русанов В.Б., Черникова А.Г. Исаева О.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INVESTIGATION OF THE REGULATION MECHANISMS OF BLOOD CIRCULATION ON FEMALE ORGANISM IN THE PROJECT "LUNA 2015"

Luchitskaya E.S., Rusanov V.B., Chernikova A.G., Isaeva O.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Целью настоящей работы явилось изучение возможности одновременной оценки функционального состояния группы испытуемых, имитирующих деятельность экипажа космического корабля в условиях гермокамеры на основе исследования механизмов регуляции системы кровообращения. Задача состояла в том, чтобы выяснить согласованность физиологических реакций в группе лиц, выполняющих однотипные нагрузки, и разработать критерии оценки физиологической надежности и устойчивости для последующего применения в длительных космических полетах на МКС.

Методы. На МКС для индивидуального контроля функционального состояния и адаптационных реакций членов экипажа в длительном космическом полете в настоящее время используются приборы «Космокард» и «Кардиовектор». Первый из них обеспечивает регистрацию электрокардиограммы в 2-х отведениях в течение 24-х часов. Программное обеспечение этого прибора позволяет анализировать ЭКГ, исследовать вариабельность сердечного ритма и оценивать функциональное состояние организма по степени напряжения регуляторных систем (СН) и их функциональному резерву (ФР). На основе вероятностного подхода определяется так называемый адаптационный риск (Баевский Р.М., Черникова А.Г. и др., 2011) – вероятность развития донозологического, преморбидного или патологического состояния. Космический эксперимент «Кардиовектор» проводился с помощью аналога бортовой аппаратуры с целью получения данных о пространственном распределении энергии сердечных сокращений.

Поскольку профилактика, использование телемедицинских технологий и персонализация – основные направления развития медицины как на Земле, так и в Космосе, существует необходимость использования результатов научных космических экспериментов при создании новых телемедицинских систем для контроля и самоконтроля состояния здоровья членов космических экипажей. В связи с этим, для оценки функциональных резервов регуляторных механизмов кроме двух космических экспериментов использовалась новая методика «Антистресс». Она была создана на основе разработанного в нашей лаборатории прогностического подхода для раннего выявления снижения функциональных резервов как фактора риска срыва адаптации и вероятных донозологических (предпатологических) отклонений регуляторных механизмов. Программное обеспечение «Антистресс» разработано в результате анализа исследований вегетативной регуляции в условиях космических полетов и наземных модельных экспериментов. Оно предназначено для длительного самостоятельного мониторинга состояния одного или нескольких пользователей на основе регистрации субъективных (самооценка) и объективных параметров.

Результаты. Как показывают наши исследования, динамика регуляторных механизмов в условиях изоляции носит индивидуальный характер и в некоторых случаях сопровождается астенизацией систем регуляции на разных уровнях системы управления физиологическими функциями. Главным лимитирующим фактором при этом является функциональный резерв механизмов регуляции, который и обуславливает адаптационные возможности организма. Это в очередной раз доказывает, что изменения активности регуляторных механизмов в условиях изоляции (которая является одним из факторов космического полета) относится к фундаментальным закономерностям процесса адаптации к новым условиям.

БОЛЕЗНЬ ДВИЖЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ И ЭЭГ-ИССЛЕДОВАНИЙ**Лычаков Д.В., Аристакесян Е.А.**

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова РАН, Санкт-Петербург

MOTION SICKNESS: RESULTS OF BEHAVIOR AND EEG-STUDIES**Lychakov D.V., Aristakesian E.A.**

Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of RAS, St. Petersburg

Укачиванием, или болезнью движения (БД), называют болезненное состояние, возникающее у человека во время качки на море (морская болезнь), при «болтанке» самолета (воздушная болезнь), при переходе к условиям невесомости у 40–50 % космонавтов развивается космическая форма БД и т.д. При наличии здорового вестибулярного аппарата зрительные динамические стимулы также могут вызвать БД. Долгое время считалось, что укачиванию подвержены представители всех классов позвоночных. Однако проведенные нами специальные опыты по укачиванию рыб и амфибий, а также многочисленные эксперименты других авторов показали, что низшие позвоночные не подвержены БД, в том числе ее космической форме [Лычаков, 2012]. На основании имеющихся экспериментальных данных и теоретических представлений о механизмах развития БД нами была представлена синтетическая гипотеза укачивания, включающая в себя гипотезу рассогласования, гипотезу Трайсмана и резонансную гипотезу [Лычаков, 2012]. Эта синтетическая гипотеза предполагает наличие в ЦНС особой области, которую мы условно назвали «центром субъективных тошнотворных ощущений» (ЦСТО). Согласно ей в основе ЦСТО лежит некая нейронная сеть, или цепь связанных между собой нейронных центров. Возбуждение ЦСТО происходит, по крайней мере, в трех случаях. Во-первых, при отравлениях. Во-вторых, при наличии рассогласований между двумя моделями базовой моделью поведения, закрепленной в памяти субъекта, и реальной картиной внешнего мира, отражающей имеющиеся на данный момент сенсорно-сенсорные и сенсорно-моторные взаимоотношения. В-третьих, при действии достаточно интенсивных вестибулярных и динамических зрительных стимулов меняющихся с частотой около 0,2 Гц. Предполагается, что нейроны, образующие ЦСТО, имеют базовую активность частотой около 0,2 Гц, мощность которой усиливается при возбуждении центра. Согласно резонансной гипотезе даже при отсутствии явных рассогласований или отравлений, но при действии достаточно сильных и длительных переменных вестибулярных и зрительных стимулов частотой около 0,2 Гц ЦСТО возбуждается за счет своеобразного резонанса. Активация ЦСТО во всех случаях приводит к БД.

Чтобы определить, какие структуры ЦНС задействованы в реализации феномена БД, нами впервые была осуществлена одновременная регистрация ЭЭГ-активности поверхностных корковых и глубоких (хвостатое ядро, дорзальный гиппокамп, передний гипоталамус) отделов головного мозга до и после двухчасового укачивания на параллельных качелях с частотой 0,2 Гц у крыс ювенильного возраста (30 сут). Анализ спектров мощности ЭЭГ показателей мозговых структур на фоне бодрствования показал, что после укачивания имеет место достоверное увеличение средней величины нормированной мощности медленных (0,2–3,0 Гц) волн дельта диапазона в гипоталамусе и гиппокампе и уменьшение мощности быстрых (более 8,0 Гц) составляющих, что в целом соответствовало данным об усилении низкочастотных ритмов ЭЭГ на фоне БД и согласовывалось с резонансной гипотезой болезни движения. Полученные результаты позволяют предполагать, что нейроны, обеспечивающие работу ЦСТО, должны находиться в таких структурах лимбической системы мозга как гипоталамус и гиппокамп.

Далее мы проследили, как влияет БД на цикл бодрствование–сон (ЦБС) у 30-суточных интактных крыс и крыс Г13 и Г19, подвергшихся предварительной гипоксии на 13- и 19-й дни в период внутриутробного развития соответственно. Использование пренатальной гипоксии на развивающийся организм является эффективным инструментом изучения ЦНС, поскольку показано, что недостаток кислорода даже в краткосрочный период может существенно повлиять на формирование соответствующих структур ЦНС [Отеллин, Хожай, Ордян, 2007; Дубровская, Журавин, 2008].

Проведенное исследование показало, что укачивание во всех группах крыс приводило к достоверному уменьшению времени бодрствования и к увеличению времени парадоксального сна (ПС). При этом после укачивания продолжительность бодрствования в ЦБС уменьшалась у интактных крыс почти в 2 раза, у крыс Г13 — в 3 раза, а у крыс Г19 — 1,5 раза. Средняя продолжительность ПС у интактных крыс увеличивалась в 3,5 раза, у крыс Г13 и Г19 соответственно в 3,7 и 1,9 раза. Следует обратить внимание на тот факт, что изменения продолжительности бодрствования и ПС у «гипоксических» крыс оказались выраженными в разной степени. Так, бодрствование у крыс Г13 было вдвое меньше по сравнению с Г19 животными. В то же время у крыс Г13 продолжительность ПС мало отличалась от таковой у интактных крыс, но была в 1,4 раза больше, чем у крыс Г19 группы.

Таким образом, укачивание четко влияет на структуру ЦБС. Точные механизмы этого влияния неизвестны, однако не случайно, что механизмы регуляции ЦБС и БД в определенной степени принадлежат одной и той же системе интеграции ЦНС, а именно, лимбической системе. Очевидно, что пренатальная гипоксия в определенный период эмбрионального развития может повлиять на взаимодействие этих систем.

Известно, что на 13–14-й день внутриутробного развития у крыс происходит формирование основных ядер гипоталамуса и начинается формирование гипоталамической системы регуляции различных функций, в том числе и

ЦБС [Дубровская, Журавин, 2008; Морина, Аристакесян, Кузик, Оганесян, 2016]. Эмбриогенез гипоталамических ядер завершается к 19–20-му дню эмбрионального развития. По-видимому, параллельно с этими процессами идет формирование гипоталамической системы регуляции ЦСТО, обеспечивающей возникновение БД. Можно предположить, что кислородное голодание у крыс Г13 изменяет взаимодействие между системами регуляции ЦБС и ЦСТО на уровне гипоталамуса. Несмотря на высокую пластичность нервной системы молодых животных, данное нарушение не компенсируется в процессе постнатального онтогенеза крыс, и даже у 30-суточных животных оно проявляется в виде более выраженного уменьшения доли бодрствования в ЦБС. Можно также предположить, что у животных и человека, у которых сильно выражен синдром убаюкивания, *sofite syndrome*, (или этот синдром вообще является единственным проявлением БД [Graybiel, Кнептон, 1976]), оказываются сохраненными связи между гипоталамическими системами, регулирующими ЦБС и БД. Не исключено, что другие типы реакции на укачивание (от полной толерантности к нему до гиперфагии), по-видимому, связаны с иными гипоталамическими центрами регуляции функций.

19–20-й дни внутриутробного развития являются периодом критическим для процессов дифференцировки клеток коры и развития таламических ядер, проявления эволюционно молодой таламокортикальной системы интеграции ЦБС, и медленноволновой фазы сна (МФС), в частности. К этому времени эмбриогенез гипоталамических ядер в целом завершен. Гипоксия, осуществленная на 19-й день внутриутробного развития, оказывает больший повреждающий эффект на таламокортикальные сонрегулирующие структуры, по сравнению с гипоксией, осуществленной на 13-й день, когда нарушенными оказываются гипоталамо-гиппокампальные системы регуляции медленноволнового сна. На этом фоне укачивание существенно подавляет деятельность активирующих систем головного мозга, обеспечивающих поддержание бодрствования (по-видимому, это восходящая ретикулярная активирующая система), и усиливает работу тех активирующих систем, которые регулируют ПС.

NO-ЗАВИСИМЫЕ МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ЭКСПРЕССИИ МЕДЛЕННОЙ ИЗОФОРМЫ МИОЗИНА В *M. SOLEUS* ПРИ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ

Любимова К.А., Птицын К.Г., Ломоносова Ю.Н., Шенкман Б.С..

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

NO-DEPENDENT MACHINERY OF THE EXPRESSION OF SLOW MYOSIN DOWNREGULATION IN SOLEUS MUSCLE UNDER GRAVITATIONAL UNLOADING

Lyubimova Ch.A., Ptitsyn K., Lomonosova Yu.N., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В условиях реальной или моделируемой микрогравитации наблюдается снижение экспрессии изоформ тяжелых цепей миозина (ТЦМ) медленного типа, и в некоторых случаях IIa типа, а также увеличение экспрессии изоформ IIb и IIId/x. Важнейшим механизмом, определяющим трансформацию фенотипа мышечного волокна из медленного в быстрый, является ингибирование сигнального пути кальцинейрин/NFAT через экспрессию кальсарцинов и дефосфорилирование GSK3beta, фактора, способствующего экспорту NFAT из ядра. Мы предположили, что снижение образования оксида азота в камбаловидной мышце крысы приводит к активации GSK3beta, которая в свою очередь способствует экспорту NFATc1 из ядра и снижению экспрессии мРНК медленной изоформы тяжелых цепей миозина. Ранее было показано снижение уровня NO в *m. Soleus* крысы в условиях вывешивания [Lomonosova et al., 2011]. Целью нашего исследования стал анализ влияния различного содержания оксида азота (через GSK3beta) в миоплазме на ряд параметров, определяющих мышечный фенотип в условиях функциональной разгрузки: содержание в миоплазме тяжелых цепей изоформ миозина ТЦМIIbeta, ТЦМIIa, ТЦМIIId/x, ТЦМIIb; содержание фосфорилированной и нефосфорилированной формы GSK3beta, содержание NFATc1 в миоядрах, а также содержание в миоплазме HSP90, являющегося основным протектором и регулятором функциональной активности нейрональной NO-синтазы.

Самцы крыс Вистар были вывешены на протяжении 7 дней. Для достижения различий в концентрации уровня NO в мышцах у разных экспериментальных групп, группе А в течение всего периода вывешивания вводили внутривенно раствор L-аргинина в дозировке 500 мг на кг массы. Чтобы иметь возможность исключить NO-независимые эффекты L-аргинина, группе N вводили раствор L-аргинина в той же дозировке, что и группе А совместно с блокатором активности NO-синтазы L-NAME.

В группе с введением L-аргинина мы не обнаружили уменьшения уровня фосфорилирования GSK3β и снижения содержания мРНК ТЦМIIbeta, в отличие от группы, которой вводили физраствор. Таким образом, можно предположить, что повышение уровня NO препятствует ингибиторной активности GSK3β и предотвращает снижение уровня экспрессии медленного миозина. Мы предполагаем, что снижение уровня NO, происходящее при разгрузке, вносит вклад в трансформацию мышечных волокон из медленных в быстрые. Таким образом, можно прийти к заключению, что снижение уровня оксида азота в камбаловидной мышце крысы приводит к активации GSK3beta, которая в свою очередь способствует экспорту NFATc1 из ядра и стабилизации быстрого миозинового фенотипа. При этом мы показали, что

содержание белка теплового шока HSP90 в *m. Soleus* после 7 сут разгрузки снижается, однако содержание NO в мышце не оказывает влияния на содержание в ней HSP90. На основании данного факта можно сделать вывод, что снижение HSP90 в условиях функциональной разгрузки не зависит от уровня NO и не влияет на фосфорилирование GSK3beta и на экспрессию мРНК медленной изоформы тяжелых цепей миозина.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда (РНФ) #14-15-00358.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРО- И ГЕМОДИНАМИКИ ГЛАЗА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В УСЛОВИЯХ ОРТОСТАТИЧЕСКОГО ПАУЭРЛИФТИНГА

Макаров И.А.^{1, 2}, Воронков Ю.И.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Научный центр неврологии, г. Москва

CHANGES OF THE EYES FOR POWERLIFTING TRAINING SUBJECTS

Makarov I.A.^{1, 2}, Voronkov Y.I.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Neurology Research center, Moscow.

Введение. Известно, что при выполнении физических упражнений, связанных с поднятием тяжелого веса спортсмены нередко задерживают дыхание и натуживаются. Это сопровождается приливом крови к голове и снижением венозного оттока от головы к предсердию. Подобная физическая нагрузка, как правило, приводит к повышению внутричерепного давления, снижению кровообращения центральной нервной системы и глаза. При этом нередко спортсмены отмечают головокружение, «полеты», быстропроходящее потемнение в глазах.

Вместе с тем, в зарубежной литературе имеются многочисленные публикации о том, что в условиях длительной микрогравитации со стороны органа зрения возникает ряд изменений, связанных с перераспределением крови и ликвора по направлению от нижних конечностей к голове в условиях невесомости. Эти симптомы получили название VIIP-синдром. Несмотря на то обстоятельство, что причиной развития этого синдрома считается внутричерепная гипертензия, клиническая картина проявляется не у всех членов экипажа МКС, в связи с чем патогенез этого состояния остается не ясным. Одно из предположений развития синдрома может быть связано, в том числе с влиянием тяжелой физической нагрузки, которую в обязательном порядке для профилактики мышечной атрофии и остеопороза выполняют астронавты на борту, применяя резистивные упражнения в условиях близких к пауэрлифтингу.

Целью нашей работы являлось изучение влияния физических упражнений, выполняемых в условиях ортостатического пауэрлифтинга, на показатели внутриглазного давления (ВГД) и гемодинамику глаза у лиц молодого возраста.

Материал и методы. Под нашим наблюдением находилось 19 молодых людей в возрасте от 18 до 30 лет (в среднем 21,8 лет), занимающихся ежедневно в фитнес-клубе. Для участия в исследовании подбирались здоровые лица. Применяли общепринятое офтальмологическое обследование. Состояние глаз оценивали методами биомикроскопии на щелевой лампе, непрямой офтальмоскопии и методом лазерной конфокальной офтальмоскопии на аппарате HRT; Heidelberg Engineering GmbH, Heidelberg, Germany. ВГД измеряли с помощью пневмотонометра Reichert, поле зрения с помощью автоматического периметра Tomey.

Моделирование условий по перераспределению крови по направлению к голове и создание условий для кратковременного венозного застоя в головном мозге проводилось путем тяжелой физической нагрузки в ортостатическом положении тела. Физическая нагрузка состояла из поднятия руками штанги определенного веса (от 27 до 87 кг в зависимости от подготовки спортсмена) в положении лежа на скамье, используя для фиксации штанги специальные приспособления для пауэрлифтинга. Вначале исследования производили осмотр глазного дна и измеряли ВГД. Затем спортсмен производил отжимание штанги определенного веса 4 раза. Во время отжима спортсмену предлагали производить глубокий вдох, а при опускании штанги – выдох, тем самым добиваясь дополнительного натуживания. После 4-го жима производили третье измерение ВГД. Затем 4-кратные упражнения повторяли снова, также после последнего жима измеряли ВГД. После всех упражнений производили офтальмоскопический осмотр глазного дна.

Анализ результатов проводился в двух группах молодых людей, различающихся физической подготовкой. 1 группа состояла из 11 молодых людей, условно названных физически неподготовленными для пауэрлифтинга. 2 группа состояла из 8 спортсменов, занимающихся пауэрлифтингом не менее одного года.

Результаты. При офтальмоскопии, на глазном дне не выявляли каких-либо изменений, только у лиц, которые постоянно выполняли физические упражнения дома или в тренировочном зале, отмечали увеличение диаметра вен, по сравнению с обычными людьми в 1-ой группе. Исходное ВГД у всех испытуемых было в среднем $11,3 \pm 3,3$ мм рт. ст. (колебания от 8 до 15). В положении лежа в течение 5 минут у всех лиц ВГД снизилось до $10,6 \pm 3,0$ мм рт. ст. (от 7 до 14). После 1-го упражнения с 4 отжимами штанги ВГД повысилось в среднем до $18,2 \pm 5,1$ мм рт. ст. (от 14 до 29). Из них у 11 человек ВГД повысилось больше, чем на 5 мм рт. ст. (5–9), в то время как у 3 из них ВГД повысилось на 11,

13 и 17 мм рт. ст. Прослеживалась корреляция между физически тренированным человеком и колебаниями ВГД при поднятии штанги. У лиц с менее развитой мускулатурой, повышенным индексом веса тела и отсутствия тренировки или опыта физической подготовки отмечали наибольшие колебания ВГД при поднятии тяжестей, вне зависимости от веса штанги. После второго этапа упражнений ВГД по сравнению с первым этапом в среднем стало немного меньше ($p > 0,05$) и составило $17,9 \pm 5,3$ мм рт. ст. (от 12 до 28). Однако в 1-ой группе, составленных из физически неподготовленных испытуемых, ВГД после второго этапа упражнений повысилось до $22,4 \pm 5,9$ мм рт. ст. (от 17 до 28), в то время, как у физически подготовленных спортсменов снизилось до $17,0 \pm 4,7$ мм рт. ст. (от 12 до 21). После завершения выполнения упражнений в течение 5-минутного отдыха ВГД снизилось в среднем до $12,5 \pm 3,1$ мм рт. ст. (от 9 до 17), но в 1-ой группе значения ВГД были выше ($14,3 \pm 2,8$ мм рт. ст.).

При осмотре глаз у 11 испытуемых в 1-ой группе и 2 спортсменов во 2-ой группе отмечали увеличение диаметра вен, их большее кровенаполнение, из них у 4 (30,8 %) - увеличение гиперемии соска зрительного нерва по сравнению с осмотром до силовых упражнений. Также у 4 испытуемых наблюдали исчезновение спонтанного венного пульса центральной вены сетчатки в области диска зрительного нерва.

Заключение. Поднятие штанги тяжелого веса в ортостатическом положении тела спортсмена, занимающегося пауэрлифтингом, приводит в той или иной степени к изменениям в гидро- и гемодинамики глаза. Установлено, что при поднятии штанги, особенно в условиях задержки дыхания и натуживании в ряде случаев отмечены более высокие показатели офтальмотонуса и изменения сосудов на глазном дне в виде расширения и полнокровия вен сетчатки, гиперемии диска зрительного нерва. Эти изменения, по-видимому, связаны с повышением внутричерепного давления, и вследствие этого, нарушением венозного оттока из сосудов головного мозга и возникновением при этом застойных явлений на глазном дне. Изменения были более выражены у лиц, недостаточно подготовленных физически и в худшей физической форме, у менее тренированных субъектов, а также у лиц с повышенным индексом веса тела. Исследование свидетельствует о неблагоприятном воздействии тяжелых физических нагрузок с задержкой дыхания и натуживанием на гидро- и гемодинамику глаза. Не исключено, что именно в условиях естественной микрогравитации на околоземной орбите, резистивные физические упражнения в режимах пауэрлифтинга с использованием тренажера ARED, могут быть причиной возникновения некоторых осложнений со стороны глаза с развитием клинической картины VIIP-синдрома у астронавтов.

МЕДИКО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В КОСМИЧЕСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ МЕДИЦИНЕ (НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ)

Мамонова Е.Ю., Орлов О.И., Леванов В.М., Переведенцев О.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

MEDICAL AND ORGANIZATIONAL PARALLELS FOR MODELS OF RISK MANAGEMENT IN AEROSPACE AND INDUSTRIAL MEDICINE (ON EXAMPLE OF OIL INDUSTRY)

Mamonova E.Yu., Orlov O.I., Levanov V.M., Perevedentsev O.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Несмотря на множество отличий в организационных подходах между космической медициной и «земной» промышленной медициной, обусловленных спецификой условий и содержания трудовой деятельности, при разработке моделей управления производственными рисками можно проследить некоторые общие подходы.

Работа в нефтедобывающей отрасли сопряжена с определенными рисками для здоровья, которые понимаются как вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан. Особо выделяется группа профессиональных рисков (ПР), включающих неблагоприятные факторы для здоровья, связанные с производственной деятельностью.

В частности, в нефтедобывающей отрасли в настоящее время происходит расширение районов добычи, при которой трудовая деятельность значительных контингентов работников происходит в отдаленных местностях с неблагоприятным, иногда – экстремальным климатом. Работы там ведутся вахтовым методом, при этом в связи с изменением часовых поясов и климатогеографических зон, освещенности, микроклимата работники испытывают проявления так называемого общего адаптационного синдрома, который накладывает повышенные требования к резервам организма (Ананьева О.В., 2000).

Особого внимания требует оценка и управление рисками для здоровья при проведении работ в северных условиях. По данным различных авторов долговременная адаптация к условиям Севера продолжается до трех лет, что существенно превышает продолжительность вахт. Поэтому для вахтовых работников можно говорить только об оперативной (следовательно – незавершённой и несовершенной) адаптации, что увеличивает риски для здоровья (Кривошеиков С.Г., 1989). Адаптация организма человека, развиваясь по общим закономерностям адаптации к различным природным факторам и к новым факторам среды вообще, проявляется в возникновении специфических (адаптационных) реакций, вызванных воздействием специфических факторов высоких широт. Как отмечено рядом авторов, в период

адаптации происходит изменение эндокринной регуляции с активацией симпатико-адреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (Максимов А.Л., Белкин В.Ш., 2005).

При этом адаптация усугубляется воздействием комплекса производственно-техногенных факторов, факторами климато-географического, производственного, бытового и социально-психологического характера. Большинство из примерно 40 основных профессий нефтедобывающей отрасли соответствует 3 классу 1–4 степени вредности, при этом для бурильщиков, помощников бурильщиков – класс 3.3–3.4, для операторов капитального, подземного ремонта скважин – класс 3.2–3.3, для машинистов – класс 3.2, для операторов по добыче нефти и газа, обезвоживающей, обессоливающей установок, поддержания пластового давления – класс 3.1.

На это при вахтовом методе накладываются бытовые и психологические факторы: ограничения в питании, отказ от привычных продуктов и меню; нерегулярный режим сна, обусловленный режимом вахт; ограниченные возможности отдыха и досуга, относительная социальная изоляция; отрыв от родственников и знакомых; ограниченный объем поступающей информации; монотонность распорядка дня; вынужденный и достаточно узкий круг общения и т.д.

Как представляется именно для этой группы работников могут быть использованы элементы системы медицинского обеспечения длительных космических полетов. В частности, ее многолетний опыт может быть использован при построении перспективных моделей управления рисками для здоровья персонала отдаленных промышленных объектов нефтедобычи, работы на которых ведутся вахтовым методом.

Основной общей проблемой являются риски, связанные со сложностями в организации адекватной экстренной медицинской помощи на отдаленных объектах, которые могут быть отнесены в три большие группы:

1. Риски для здоровья, вызванные воздействием условиями рабочей среды.
2. Риски, связанные с гигиеной труда работника
3. Риски для здоровья, связанные с оказанием медицинской помощи и медицинской эвакуации с производственных объектов.

Идеальным решением является снижение риска, по крайней мере в части прогнозируемых рисков, связанных с обострением хронических заболеваний, как можно более ранним выявлением острых заболеваний, предотвращении травматизма.

К первой группе относится широкий спектр физических, химических, биологических и психофизиологических факторов. Физические включают повышенный уровень шума, вибрацию, повышенную запыленность, способных вызвать профессиональные заболевания, ожоги. Кроме того, это риски, связанные с высокими и низкими температурами поверхностей, использованием электрических сетей, солнечное и ионизирующее излучение, использование газов и жидкостей под давлением и т.д.

К химическим относятся газообразные, жидкие твердые горючие и опасные химические вещества, а также инертные газы и возможный недостаток кислорода в атмосфере рабочей зоны замкнутых пространств.

Психофизиологические факторы включают статические физические перегрузки (ограниченное пространство, стесненность движений, работа в неудобной позе, узкие места проходов, загромождение оборудованием и материалами, замкнутые помещения с ограниченным входом/выходом и недостаточной или чрезмерной освещенностью, недостаточной вентиляцией помещений), а также напряженность труда (умственное и эмоциональное перенапряжение) и нервно-психологические нагрузки и временные лишения.

Как видно из перечня, большинство факторов актуальны и для космической медицины.

Снижение рисков, непосредственно связанных с условиями трудовой деятельности, лежит в двух плоскостях: совершенствовании условий производственной деятельности, безопасности и охраны труда и развитии и дополнении системы медицинских осмотров. Наряду с предварительными и периодическими осмотрами, для персонала, работающего вахтовым методом, целесообразно проведение предвахтовых осмотров, в том числе – целевых осмотров, направленных на углубленное обследование работающих. Соответствующие риски связаны с допуском к проведению работ сотрудника, не соответствующего по медицинским показаниям к их выполнению, что может вызвать развитие острого или обострение хронического заболевания, травму.

В некоторых пунктах (например, включения в систему обследования психометрических тестов) это требует дополнения существующей нормативной базы.

Чрезвычайно важно выполнение рекомендаций, полученных по результатам медицинских осмотров, включая оздоровительные и реабилитационные мероприятия в межвахтовый период.

Что касается третьей группы – рисков для здоровья, связанных с оказанием первой, первичной медико-санитарной помощи и медицинской эвакуации с производственных объектов, то и здесь имеются определенные параллели, особенно при возникновении экстренных ситуаций.

На части производственных объектов медицинская эвакуация затруднена в силу их климато-географических условий, удаленности от транспортной и медицинской инфраструктуры. Поэтому важной составляющей является этап первой помощи, которая осуществляется во внегоспитальных условиях медицинскими помощниками, которые должны иметь соответствующую подготовку и быть оснащены аптечками первой помощи на производственном объекте. Здесь напрашивается прямая аналогия с медицинской подготовкой экипажей орбитальных станций.

Не менее важен и второй этап оказания медицинской помощи – на здравпунктах предприятий, где выполняется основной объем первичной медико-санитарной помощи на догоспитальном этапе, в т.ч. в условиях «золотого часа». Поэтому особое внимание уделяется профессиональной подготовке медицинского персонала, а также оснащению здравпунктов санитарным автотранспортом и медицинским оборудованием, включая электрокардиографы, дефибрилляторы, пульсоксиметры и др. Этот комплекс мер нацелен на обеспечение единых стандартов оказания экстренной медицинской помощи, независимо от места расположения предприятия.

В рамках обеспечения этапности оказания медицинской помощи, в т.ч. – экстренной, каждый производственный объект должен иметь план экстренного медицинского реагирования на производственном объекте, включая средства медицинской эвакуации, в т.ч. санитарно-авиационной, для оказания специализированной, в т.ч. высокотехнологичной медицинской помощи.

Перспективным направлением в системе управления производственными рисками на отдаленных объектах, где может быть использован опыт космической медицины, являются телемедицинские технологии. Как показал опыт, они могут успешно применяться проведение дистанционных тренингов для персонала здравпунктов по вопросам оказания экстренной медицинской помощи на догоспитальном этапе. Для удаленных территорий может быть организован сегмент системы телеконсультирования между здравпунктами и центрами специализированной медицинской помощи. Актуальной представляется организация мониторинга физиологических показателей при осуществлении высокорисковых трудовых операций, Еще одной перспективной разработкой может стать служба дистанционной психологической поддержки, аналогичной используемой в длительных космических полётах, нацеленной на снижение рисков психологического характера, связанных с относительной социальной изоляцией, дефицитом поступающей информации, оторванностью работников от привычного круга общения.

Таким образом, опыт системы медицинского обеспечения длительных космических полетов может быть использован для создания системы углубленных медицинских осмотров, оздоровления и реабилитации персонала, работающего вахтовым методом, обучения немедицинского персонала приемам первой помощи, использования портативного медицинского оборудования, комплектации медицинских упаковок, организации экстренной медицинской помощи, применения телемедицинских технологий.

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО СПУСКА С ОРБИТЫ

Маркин А.А., Журавлева О.А., Кузичкин Д.С., Колотева М.И., Заболотская И.В., Вострикова Л.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

METABOLIC EFFECTS OF BALLISTIC DESCENT FROM AN ORBIT

Markin A.A., Zhuravleva O.A., Kuzichkin D.S., Koloteva M.I., Zabolotskaya I.V., Vostrikova L.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одним из наиболее значимых и в физиологическом, и в психологическом плане для членов экипажей является этап спуска космического корабля (КК) с околоземной орбиты при возвращении на Землю. Если на КК при спуске с околоземной орбиты действует аэродинамическая подъемная сила, то управляя ее вертикальной составляющей, можно управлять траекторией движения спускаемого аппарата в земной атмосфере в автоматическом режиме. Аэродинамическое качество спускаемых аппаратов кораблей «Союз» позволяет ограничивать величины максимальных перегрузок при движении в атмосфере Земли не более 3–4 g. Если же при спуске аппарата не используется подъемная сила, то он приземляется по баллистической траектории, и величины перегрузок могут достигать 8–10 g и выше (Феокистов К.П., 1980). С учетом того, что члены экипажей после длительного пребывания в условиях невесомости субъективно воспринимают силу перегрузки на несколько единиц выше ее истинной величины [Бряннов И.И., Еремин А.В., Степанцов В.И., 1988], с физиологической точки зрения гипергравитационное воздействие баллистического спуска (БС) с орбиты является крайне неблагоприятным.

Целью данной работы явилось проведение сравнительного анализа метаболических реакций космонавтов после длительных экспедиций на Международную космическую станцию (МКС) с приземлением кораблей «Союз» в режимах автоматического управляемого спуска (АУС) и баллистического спуска с околоземной орбиты.

Исследовали особенности метаболических реакций у пяти космонавтов после экспедиций на МКС продолжительностью от 161 до 197 сут с приземлением по баллистической траектории и тех же космонавтов после полетов на МКС длительностью от 163 до 183 сут с приземлением в режиме АУС. Величины перегрузок при АУС не превышали $4,2 \pm 0,1$ g, длительность их действия составляла в среднем $413,0 \pm 11,2$ с. При баллистическом спуске величины перегрузок колебались в пределах $7,8 \pm 0,1$ g с максимальным значением 8,7 g, длительность их действия составляла в среднем $287,0 \pm 27,1$ с [Котовская А.Р., Колотева М.И., 2011].

Взятие крови осуществлялось из локтевой вены за 30 сут до начала полета, на 1-е и 7-е сутки после его окончания, а в случае с приземлением в режиме баллистического спуска так же на 14-е сутки периода восстановления (ПВ) В

пробах венозной крови определяли значения 50 биохимических показателей, отражающих функциональное состояние органов и тканей, а также характеризующих основные пути обмена веществ.

При спуске кораблей «Союз» с околоземной орбиты в режиме БС сдвиги метаболических реакций у космонавтов носили весьма негативный характер, особенно в случае с параметрами, характеризующими состояние сердечно-сосудистой системы. Так, в крови членов экипажей длительных экспедиций на МКС на следующие сутки после БС наблюдалось повышение активности креатинфосфокиназы (КФК) на 77 %, ее сердечного изофермента КФК-МВ – на 52 % и высокоспецифичного фермента миокарда альфа-гидроксибутиратдегидрогеназы (α -ГБДГ) – на 28 %. При этом концентрация высокочувствительного С-реактивного белка, являющегося независимым предиктором сердечно-сосудистых заболеваний [Pate V.B., Robbins M.A., Topol E.J., 2001], увеличивалась в 5,4 раза. Следует отметить, что активность КФК-МВ и α -ГБДГ превышала границу физиологической нормы, а активность α -ГБДГ при этом еще и изменялась по нарастающему тренду на протяжении 7 сут ПВ. У тех же космонавтов после полетов сравнимой продолжительности при приземлении КК в режиме АУС изменения активности ферментов сердечной констелляции на 1-е сутки ПВ практически отсутствовали, а содержание в крови высокочувствительного СРБ повышалось только в 2,3 раза. В обоих случаях на 7-е сутки ПВ наблюдалась дислипидемия с достоверным снижением концентрации антиатерогенных (холестерин липопротеидов высокой плотности – ХС ЛПВП) и выраженной тенденцией ($p < 0,07$) к увеличению концентраций атерогенных фракций холестерина (холестерин липопротеидов низкой плотности и холестерин липопротеидов очень низкой плотности), а также триглицеридов. Однако обращает на себя внимание, что, несмотря на падение на 7-е сутки ПВ содержания ХС ЛПВП лишь на 15 % и практически неизменный уровень холестерина, у космонавтов, приземлявшихся по баллистической траектории, на 59 % увеличивался индекс атерогенности. После приземления же в режиме АУС 7 сут спустя он находился на уровне исходных величин. Усиление процессов атерогенеза у членов экипажей, приземлявшихся в режиме БС, можно рассматривать как тревожную тенденцию в плане развития кардиальных осложнений.

Наблюдались выраженные достоверные различия в активности ферментов печеночной констелляции. В крови членов экипажей, приземлявшихся по баллистической траектории, на 1-е сутки ПВ отмечалось увеличение активности АСТ на 91 %, а активность ГЛДГ в 2 раза превышала исходную. При спуске же КК в режиме АУС активность АСТ практически не отличалась от фоновых величин, а активность ГЛДГ была повышена лишь на 19 %. Различия в величинах активности других ферментов печени при БС и АУС были недостоверны. Однако следует отметить, что после приземления по баллистической траектории у космонавтов на 1-е сутки ПВ наблюдалось увеличение активности АЛТ на 62 %, ГГТ на 80 %, в то время как у членов экипажей, приземлявшихся в режиме АУС, величины активности вышеуказанных энзимов не отличались от дополетных значений.

Изменения активности ферментов, характеризующих состояние желудочно-кишечного тракта, при разных режимах приземления носили разнонаправленный характер. Так, на 1-е сутки после БС в крови космонавтов наблюдалось достоверное увеличение активности триацилглицериновой липазы на 12 % и α -амилазы на 20 %, в то время как у тех же космонавтов после приземления в режиме АУС на том же сроке обследования активности вышеуказанных ферментов, наоборот, снижались на 39 % и 16 % соответственно по отношению к фоновым данным.

Отмечались существенные различия изменений показателей углеводного обмена и кислотно-основного равновесия на 1-е сутки восстановительного периода у космонавтов при разных способах приземления спускаемых аппаратов. Так, в крови членов экипажей на следующие сутки после БС концентрация глюкозы повышалась на 23 %, двукратно увеличивалось содержание лактата, концентрация бикарбонатов при этом снижалась на 19 %. У тех же космонавтов при приземлении в режиме АУС уровень глюкозы не менялся по сравнению с фоновыми величинами, концентрация молочной кислоты превышала его лишь на 18 %, а содержание бикарбонатов было ниже исходного на 6 %. При этом концентрация β -гидроксibuтирата после БС увеличивалась в полтора раза, отражая активацию липолитических процессов, в то время как после АУС, уровень этого метаболита увеличивался всего на 7 %. У членов экипажей, осуществивших БС с орбиты, на 7-е сутки ПВ концентрация глюкозы оставалась выше дополетных значений на 18 %, а содержание пирувата по-прежнему превышало фоновое в 2,3 раза. При приземлении же в режиме АУС концентрация глюкозы на 7-е сутки ПВ у космонавтов оставалась на уровне дополетных величин, а концентрация пировиноградной кислоты была выше исходной лишь на 31 %. Наблюдались выраженные различия и в содержании в крови бикарбонатов. Так, у космонавтов спустя неделю после БС их уровень оставался ниже фонового на 15 %, а после АУС только на 6 %. Негативный тренд сдвигов метаболических реакций у космонавтов после приземления по баллистической траектории сохранялся и на 14-е сутки реадaptации.

Таким образом, после приземления кораблей «Союз» по баллистической траектории во время восстановительного периода в крови космонавтов наблюдались неблагоприятные в прогностическом плане изменения биохимических показателей, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы. Отмечались выраженные сдвиги величин активности ферментов печеночной и желудочно-кишечной констелляции. Динамика же показателей углеводного, липидного обмена и кислотно-основного равновесия свидетельствовала о значительном напряжении всех систем организма и истощении его функциональных резервов. Изменения метаболических реакций у космонавтов во время восстановительного периода находятся в прямой зависимости от условий заключительного этапа полетов. У участников длительных экспедиций на МКС, приземлявшихся по баллистической траектории, эти изменения имеют негативную направленность и являются прогностически неблагоприятными в плане развития кардиальных, гепатологических и

желудочно-кишечных осложнений. Поэтому для членов экипажей кораблей «Союз» с приземлением в режиме баллистического спуска необходим тщательный мониторинг состояния здоровья в течение всего реадaptационного периода и разработка особого комплекса реабилитационных мероприятий с учетом повышенного риска развития патологии.

СТРОМАЛЬНЫЕ КЛЕТКИ-ПРЕДШЕСТВЕННИКИ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ C57BL67/6N ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОЙ АНОГ

Маркина Е.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE MARROW STROMAL PROGENITOR CELLS OF C57/BL/6N MICE AFTER 30-DAY HINDLIMB UNLOADING

Markina E.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Создание и использование адекватных систем, моделирующих факторы космического полета (КП), является важным направлением экспериментальной биологии и медицины в космических исследованиях. В период КП трижды происходит изменение величины силы тяжести. Во время старта до выхода на орбиту и при возвращении спускаемого аппарата на организм действуют перегрузки, а в течение орбитального полета он находится в условиях микрогравитации. Несмотря на кратковременное воздействие перегрузок, они сильно влияют на системы организма.

Антиортостатическая гипокинезия (АНОГ) является признанной и широко используемой моделью для мелких лабораторных животных, воспроизводящей изменения в организме, в частности в костном мозге, возникающие при микрогравитации. Центрифуги для мелких лабораторных животных могут создавать необходимое увеличение силы тяжести нужной длительности.

Целью данной работы было изучение влияния 30-суточной АНОГ и центрифугирования до и после АНОГ на стромальные предшественники костного мозга мышей.

Для этого были изучены клеточность, пролиферативный, клоногенный и дифференцировочный потенциал стромальных клеток-предшественников костного мозга длинных трубчатых костей мышей.

Исследование проводили на самцах мышей линии C57Bl/6N следующих групп: ВК – животные виварного контроля, В – животные после 30-суточной АНОГ и ЦВ – животные, подвергнутые кратковременному центрифугированию до и после 30-суточной АНОГ. Количество КОЕ-ф определяли на 14-е сутки культивирования клеток первичной культуры костного мозга окраской раствором кристалвиолета. Пролиферативную активность определяли по числу удвоений популяций (PD) клеток 1-го пассажа. Расчет проводили по формуле $PD = \log_2(N/N_0)$, где N_0 и N – начальное и конечное количество клеток. Дифференцировочный потенциал оценивали по выраженности спонтанной и индуцированной остео- и адиподифференцировки клеток 1 пассажа.

После длительного вывешивания произошло снижение клоногенной и пролиферативной активности стромальных клеток. В группе ЦВ выявлено усиление пролиферативной и дифференцировочной активности стромальных предшественников костного мозга.

Полученные результаты указывают на негативное влияние АНОГ на функциональную активность стромальных предшественников костного мозга мышей. В тоже время кратковременная перегрузка после АНОГ оказывает на них стимулирующее воздействие.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ ИМБП РАН и частично поддержана грантом «Ведущие научные школы».

НИША ПРОГЕНИТОРНЫХ КЛЕТОК КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ «БИОН-М1» И СИНХРОННОГО НАЗЕМНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Маркина Е.А., Бобылева П.И., Горностаева А.Н., Григорьева О.В., Сотнезова Е.В., Андрианова И.В., Андреева Е.Р., Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE NICHE OF MURINE BONE MARROW PROGENITOR CELLS AFTER 30-DAY FLIGHT OF THE BION-M1 BIOSATELLITE AND GROUND CONTROL EXPERIMENT

Markina E.A., Bobyleva P.I., Gornostaeva A.N., Grigorieva O.V., Sotnezova E.V., Andrianova I.V., Andreeva E.R., Buravkova L.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Основная задача медико-биологических экспериментов в космических полетах (КП) – изучение механизмов адаптации земных организмов к воздействию комплекса факторов КП и последующей реадaptации к условиям на Земле.

Костный мозг – орган, являющийся источником стволовых и прогениторных клеток, относящихся к гемопоэтическому и стромальному дифференциалам. Значительный вклад в понимание процессов, происходящих в костном мозге в условиях КП, вносят эксперименты, проводимые на беспилотных летательных аппаратах-биоспутниках. С момента начала программы «Космос» изучению этого компартмента уделялось большое внимание. Клетки костного мозга принимают участие в процессах ремоделирования костной ткани и клеточных компонентов крови, кроме этого они активно вовлечены в разнообразные иммунные реакции. Известно, что во время КП эти системы претерпевают значительные изменения, поэтому так важно для профилактики негативных последствий после возвращения на Землю исследовать причины и механизмы возникающих изменений.

Цель работы – изучить влияния факторов длительного КП на основные морфофункциональные показатели клеток-предшественников костного мозга большеберцовой кости мышей линии C57/Bl/6N после 30-суточного полета на биоспутнике «Бион-М1».

Для этого были исследованы следующие морфологические показатели: клеточность костного мозга, иммунофенотип выделенных клеток, клоногенная активность стромальных и гемопоэтических предшественников, пролиферативная активность и потенциал к спонтанной остео- и адиподифференцировке клеток стромального дифференциала костного мозга мышей линии C57/Bl/6N.

Исследования проводились на самцах мышей линии C57/Bl/6N из следующих групп: полет (П) - животные после 30 сут полета на биоспутнике «БИОН-М1» по околоземной орбите (n = 5), восстановление после полета (П-в) (n = 5). Животные после 30 суток наземного эксперимента в бортовой аппаратуре (С) (n = 7). Животные 7-суточного периода реадaptации после контрольного синхронного эксперимента (С-в) (n = 3). Группы виварного контроля к группам П, С, П-в, С-в, соответственно: (ВК) (n = 8), (СВК) (n = 9), (ВК-в) (n = 6) и (СКВ-в) (n = 4). Животные из групп виварного контроля к полетному и синхронному экспериментам были объединены с животными из групп контроля 7-суточной реадaptации после полетного и синхронного экспериментов соответственно.

После выделения клеток проводили их подсчет. Жизнеспособность клеток определяли после окрашивания трипановым синим.

Имунофенотипирование проводили с помощью моноклональных антител против CD45, CD34, CD90 на проточном цитофлуориметре Epics XL (Beckman Coulter).

При оценке пролиферативной активности клеток в течение 14-суточного культивирования определяли число удвоений популяций (PD). Расчет проводили по формуле $PD = \log_2(N/N_0)$, где N_0 и N – начальное и конечное количество клеток.

Для определения числа миелоидных колониобразующих единиц гемопоэтических предшественников из костного мозга использовалась селективная среда MethoCult GF M3434.

Для характеристики малодифференцированных стромальных клеток анализировали число КОЕ-ф и способность к адипо- и остеодифференцировке.

Показано, что через 12 ч после приземления биоспутника клеточность костного мозга в группах варьировала в пределах $21 \cdot 10^6$ – $25 \cdot 10^6$ клеток. В наземном синхронном эксперименте число выделенных клеток составило $17 \cdot 10^6$ – $24 \cdot 10^6$ клеток.

Анализ на проточном цитофлуориметре клеток всех групп позволил четко выделить две субпопуляции, отличающиеся по размеру клеток: 1 – мелкие, 2 – крупные клетки. В полетном и синхронном эксперименте вторая субпопуляция отличалась наибольшим содержанием клеток с панлейкоцитарным антигеном, а первая – большей долей CD90+ клеток по сравнению со второй популяцией и высоким процентом CD45+ клеток. Доля D34+ недифференцированных гемопоэтических предшественников в обеих субпопуляциях была незначительной.

Не обнаружено различия в пролиферативной активности стромальных предшественников, числе КОЕ-ф, уровне спонтанной адипо- и остеодифференцировки в полетных и синхронных группах.

Факторы КП не повлияли на общее число и соотношение уни- и мультипотентных гемопоэтических колоний. При этом, число эритробластических бурсообразующих единиц после КП было достоверно меньше, чем в контроле. После периода 7-дневной реадaptации наблюдалось увеличение доли унипотентных колоний, а также доли гранулоцитарных колониобразующих единиц. Число эритробластических бурсообразующих единиц увеличилось по сравнению со значениями после полета, но не достигло контрольных значений.

Общее число гемопоэтических колоний после наземного синхронного эксперимента демонстрирует тенденцию к снижению в группе С. Кроме этого, в группе С происходило увеличение числа БОЕ-Э. После 7 сут реадaptации произошло увеличение числа гемопоэтических колоний и долей КОЕ-Г, М, ГМ. Доля БОЕ-Э уменьшилась до уровня контроля. Соотношение мульти- и унипотентных колоний в группах СВК и С было одинаковым. В группе С-в доля мультипотентных предшественников была несколько выше, чем в контроле.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что факторы длительного КП и синхронного наземного эксперимента не повлияли на клеточность, клоногенную и пролиферативную активность, спонтанный дифференцировочный остео- и адипопотенциал стромальных предшественников костного мозга большеберцовой кости мышей C57Bl/6N при увеличении эффективности адгезии *in vitro* этих клеток. Имуноцитофлуориметрический анализ показал

увеличение доли крупных CD45+ клеток в группах П, П-в, С и С-в. Кроме этого установлено, что факторы длительного КП оказывают негативное влияние на эритропоз. Клоногенная активность гемопоэтических предшественников в полетном и синхронном эксперименте не изменилась. Изменения соотношений числа разных миелоидных предшественников в группе С-в говорит о фазе восстановления после стрессирующих воздействий.

Таким образом, изменения, выявленные после КП и синхронного наземного эксперимента, носят умеренный обратимый характер, что свидетельствует о сохранности потенциалов ранних гемальных и стромальных предшественников костного мозга.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ ИМБП РАН и частично поддержана грантом «Ведущие научные школы».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГОТРАТ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Матюшев Т.В., Дворников М.В., Рыженков С.П., Гуськов С.Г., Дворников С.М.

Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил МО РФ, Москва

DEFINITION OF THE KIND OF DEPENDENCE OF POWER EXPENDITURE FROM INDICATORS OF FUNCTION OF EXTERNAL BREATH OF THE PERSON

Matyushev T.V., Dvornikov M.V., Ryzhenkov S.P., Guskov S.G., Dvornikov S.M.

Scientific Research and Testing Center of Aerospace medicine and military ergonomics Central Scientific Research Institute of Military Air Forces, MD RF, Moscow.

Перспективы развития авиации, освоение космоса и разработка перспективных индивидуальных средств защиты (гермошлемы, теплозащитные костюмы, скафандры разного назначения и т.п.) диктует необходимость тщательного количественного описания динамики массо- и энергообменных процессов организма, необходимого для решения следующих актуальных задач, связанных с жизнеобеспечением полетов:

- формирование оптимальных условий микроклимата в кабинах летательных аппаратах, где человек является замкнутой метаболической системой;

- разработка рационального режима питания и обеспечение необходимых запасов пищи исходя из величины энергозатрат;

- сохранения теплового баланса организма человека на оптимальном уровне, обеспечивающем поддержание длительной работоспособности, особенно при работе в скафандре и т. п.

В рамках этого направления наиболее общие научно-практические данные о функциональном состоянии организма и происходящих в нем сдвигах в условиях полета может дать исследование газообмена как интегрального показателя изменений происходящих в организме. Прогнозирование энергозатрат () возможно по показателям функции внешнего дыхания (ФВД): частоте дыхания (), минутному объему дыхания или легочной вентиляции (), альвеолярной вентиляции (), дыхательному объему, а так же интенсивности метаболизма - потреблению кислорода () и выделению углекислого газа (), объему альвеолярного и мертвого пространства и др. Однако в настоящее время пока еще нет надежного количественного метода прогнозирования энергозатрат у членов экипажей летательных аппаратов.

Для установления и анализа закономерностей, возникающих в сложных системах, широко используются методы регрессионного анализа, с помощью которого определяют функциональную зависимость между одной зависимой переменной от одной или нескольких независимых переменных. Для этого предполагается, что зависимая переменная (отклик) определяется известной функцией (моделью), зависящей от зависимой переменной или переменных (предикторов или факторов).

Таким образом, целью наших исследований является количественное определение энергозатрат человека в зависимости от показателей функции внешнего дыхания и метаболизма методом регрессионного анализа.

Регрессионный анализ предполагает решение двух задач. Первая заключается в выборе независимых переменных, существенно влияющих на зависимую величину, и определении вида уравнения регрессии. Вторая задача, анализ параметров, решается с помощью того или иного статистического метода обработки данных наблюдения.

В наших исследованиях первая задача решалась анализом экспериментальных данных [Парин В.В., 1974, Степанов В.К., 1972, 1979]. Данные обрабатывались в среде программирования MatLab 8 и универсальной интегрированной системе для статистического анализа и обработки данных Statistica 6.5. В результате проведенного анализа были получены уравнения регрессии, описывающие зависимость между энергозатратами организма и вентиляцией:

(1)

(2)

(3)

Зависимость энерготрат от частоты дыхания описывалась уравнением:

(4)

Для определения зависимости энерготрат организма от интенсивности потребления O_2 и выделения CO_2 был получен набор формул:

(5)

(6)

(7)

(8)

Для определения величины теплопродукции, образуемой в результате обменных процессов, нами была проведена аппроксимация полиномами экспериментальных данных, приведенных в работе А.А. Глушко [Глушко А.А., 1986]:

(9)

При решении второй задачи для проверки значимости полученной модели использовалась F-статистика. Так как выборочные значения F-критерия были больше критических при уровне значимости $p < 0,05$, а зависимость между откликами и предикторами сильная ($R^2 \approx 1$), была принята гипотеза об адекватности модели результатам наблюдений. Построенные нелинейные и множественные регрессии адекватно описывают взаимосвязь между откликом и предикторами, но частота дыхания не является информативным показателем отражающим влияние показателей ФВД на энерготраты организма.

Наиболее адекватными являются нелинейные регрессионные зависимости для (1) и (5). Хотя, полученные уравнения множественной регрессии (3) и (8) и описывают процесс с достаточной степенью точности, но усложнение расчетов оказалось не целесообразным.

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ОТОЛИТОВОЙ БОЛЕЗНИ ДВИЖЕНИЯ, ВЫЗВАННОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ УКАЧИВАНИЕМ ЧЕЛОВЕКА НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КАЧЕЛЯХ В АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ

Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э., Ничипорук И.А.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF THE OTOLITH MOTION SICKNESS OF BY LONG ROCKING THE PERSON ON THE PARALLEL SWING IN ANTIORTOSTATIC POSITION

Matsnev E.I., Sigaleva E.E., Nichiporuk I.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Теоретические представления о патогенезе «космической формы болезни движения» (КБД), в раннем периоде адаптации космонавта к невесомости, подчеркивают важную роль в ее развитии той противоречивой информации, которая поступает в ЦНС от различных сенсорных модальностей (полукружных каналов, отолитов, зрения, проприоцепции) и моторной системы, которые не отражают физическую реальность. В дальнейшем, эти данные, легли в основу теории «сенсорного конфликта» в развитии КБД [Oman Ch., et al., 1986; 1998]. Большое значение в этом процессе принадлежит изменениям отолитовой афферентации [Ventre-Dominey et al., 2008]. Сенсорные изменения в невесомости происходят на фоне перераспределения крови в верхнюю половину туловища, что, не исключает возможных негативных влияний данного фактора в функционировании центральных механизмов регуляции зрительно-вестибулярных нейронных связей (velocity storage mechanism) – [Robinson, 1975; Raphan et al., 1977]. В настоящем сообщении представлен ретроспективный анализ отолитовой модели болезни движения при продолжительном (до 4 ч) укачивании здоровых добровольцев на «модифицированных параллельных качелях» (МПК) в сагитальной плоскости в антиортостатическом положении (АНОП) тела (-8°). Стенд МПК представляет 4-штанговые параллельные качели с электроприводом. При длине штанг 2.3 м и периоде качания 3,2 сек., платформа ПК отклонялась от нейтральной

позиции на 15°. Стенд был оборудован системой датчиков для съема физиологической информации, для регистрации амплитуды качания качелей, а также специальным пневмовакuumным трубопроводом, обеспечивающим возможность использования пневмовакuumного костюма «Чибис» во время качания обследуемого. Теоретический расчет величины адекватных нагрузок, воздействующих на отолитовый аппарат при качании обследуемых на МПК составлял: для утрикулюса – 0,08 g, для саккулюса – 0,025 g (расчет нагрузок на отолиты был проведен д.б.н. А.А.Шиповым).

В 2 сериях экспериментальных исследований с участием 12 здоровых добровольцев в возрасте от 25 до 47 лет (из них 6 космонавтов), ранее имевших опыт космических полетов (КП) различной продолжительности по программе «ТК-Союз» и «ОС-МИР», была проведена оценка переносимости 4-часового укачивания в сагиттальной плоскости на стенде МПК. В I серии – обследуемые укачивались в антиортостатическом положении (АНОП -8°); во II серии – аналогичное укачивание проводилось с приложением отрицательного давления на нижнюю половину туловища (ОДНТ). Индивидуальный подбор режима разряжения в ПВК «Чибис» проводился в соответствии с антропометрическими данными и параметрами кровообращения. Тарировка заключалась в определении режима разряжения, при котором субъективные ощущения обследуемых в АНОП становились близкими к их состоянию в горизонтальном положении (с учетом уменьшения или исчезновения субъективных признаков перераспределения жидких сред организма в АНОП). Средний уровень «рабочего» разряжения ПВК во время укачивания на стенде МПК колебался от 10 до 20 мм рт.ст. Оценка переносимости укачивания на стенде МПК осуществлялась по времени переносимости воздействия (в мин), по выраженности вестибуло-вегетативных реакций (ВВР) и вестибуло-сенсорных реакций (ВСР), в соответствии с классификацией Graybiel A., et al., (1968; 1975). Вестибуло-гемодинамические реакции (ВГР) оценивались по 3-бальной шкале (отсутствие реакций, реакции средней степени выраженности и выраженные реакции). Все добровольцы и космонавты имели исходный высокий и средний уровень вестибулярной устойчивости, определенный по переносимости тестов с кумулятивным воздействием Кориолисовых (прецессионных ускорений) - [Matsnev E., Sigaleva E., 2007].

Укачивание на МПК досрочно прекращалось при достижении «конечной» стадии БД (16 баллов по классификации Graybiel A.), а также при выраженных гемодинамических сдвигах (жалобы на головную боль, парестезии и др.). В качестве медконтроля использовали регистрацию ЧСС, ЭКГ в 3 отведениях по Небу, регистрацию компенсаторных движений глаз методом электроокулографии, опрос обследуемых о самочувствии. Космонавты описывали сходство и различия в ощущениях, которые они испытывали при укачивании на стенде МПК и в КП. До и после укачивания на МПК производилась оценка ортостатической устойчивости и функции постурального равновесия [по Graybiel A., et al., 1968; 1975].

Среднее время переносимости укачивания на МПК (в мин) в I серии составляло: $(198,0 \pm 24)$, во II серии – $(176,4 \pm 42)$ мин. соответственно ($p > 0,05$). При этом средняя степень ВВР (в баллах) составляла: $7,1 \pm 0,6$ и $6,6 \pm 0,7$ ($p > 0,1$); ВСР: $1,08 \pm 0,9$ и $0,6 \pm 0,1$ балла ($p > 0,01$). Средняя степень вестибуло-гемодинамических реакций составляла: $2,2 \pm 0,8$ и $1,2 \pm 0,9$ балла ($p < 0,0001$). В целом, переносимость укачивания на МПК в группе добровольцев в I серии исследований была хуже, чем в группе космонавтов: (153 ± 08) мин и (203 ± 49) мин, соответственно. Аналогичная тенденция наблюдалась и во II серии исследований: 157 ± 83 мин - у добровольцев и 195 ± 59 мин - у космонавтов. При этом степень выраженности ВВР, ВСР и ВГР у добровольцев имела тенденцию к ухудшению, по сравнению с космонавтами.

Установлено, что 4-часовое воздействие на стенде МПК в АНОП (-8°) приводило к развитию «вестибуло-гемодинамического синдрома», характеризующегося вестибуло-вегетативными, вестибуло-сенсорными и гемодинамическими реакциями. У 8 обследуемых (по 4 в I и II серии исследований соответственно) укачивание на МПК было досрочно прекращено в связи с выраженными (16 баллов по шкале Graybiel A., 1968), симптомами БД. 8 обследуемых описали возникновение пространственных иллюзий во время качания (ощущение «падения», «опрокидывания», «переворачивания туловища», переоценки «угла наклона» ложементов).

Подавляющее большинство обследуемых (10 из 12) отметили общий дискомфорт в виде «скованности» в поясничной области и мышцах спины, «одуловатости» лица, заложенности ушей, чувства прилива крови к голове, головной боли, пульсирующей в такт качания и др. После завершения воздействия, у 4 обследуемых (по 2 в каждой серии), было отмечено снижение ортостатической устойчивости (вплоть до развития предколлаптоидного состояния). Использование ОДНТ в указанном режиме не обеспечило достаточно эффективной профилактики этих нарушений.

По данным отчета космонавтов, выявлено значительное сходство между субъективными ощущениями, отмеченными ими в периоде адаптации к невесомости в космическом полете и при укачивании на стенде МПК. В первую очередь, они относятся к характерным иллюзорным ощущениям, симптомам «прилива крови к голове», отека слизистой носа и затруднению носового дыхания, дискомфорту в эпигастральной области, развитию рвоты без предвестников, усилению диуреза. Вегетативные расстройства усиливались при движении головой. 2 космонавтов с проявлениями КБД в космическом полете, описали сходную картину развития вестибуло-вегетативных расстройств и пространственных иллюзий в раннем периоде адаптации в реальной невесомости и при укачивании на стенде МПК.

У 8 из 12 обследуемых укачивание на МПК сопровождалось метеоризмом, позывами к мочеиспусканию, на фоне характерного снижения в крови концентрации альдостерона и активности ренина плазмы. Отмечена достоверная ($p < 0,01$) корреляция между переносимостью воздействия на МПК и частотой сердечных сокращений (ЧСС). Высокая

степень вестибуло-вегетативной устойчивости характеризовалась незначительными отклонениями от исходного уровня ЧСС. Напротив, плохая переносимость укачивания сопровождалась большими колебаниями ритма ЧСС, брадиаритмией (у 8 обследуемых) с тенденцией к брадикардии на пике вестибулярного дискомфорта.

В восстановительном периоде у 3 обследуемых (1 - после I и 2 - после II серии исследований соответственно), была зарегистрирована тошнота и рвота, сопровождавшаяся головокружением при движениях головой. Отмечено достоверное снижение ортостатической устойчивости, нарушение функции постурального равновесия и координации движений у обследуемых с симптомами БД. Повторное воздействие на МПК (II серия), характеризовалось менее выраженными вегетативными реакциями и функции постурального равновесия, что расценивалось как проявление тренирующего эффекта.

Выявление исходной отолитовой асимметрии при исследовании компенсаторных движений глаз при фоновых обследованиях на стенде МПК, достоверно ($p < 0,01$) коррелировало с переносимостью 4-часового укачивания, что может свидетельствовать о важном прогностическом значении отолитовой асимметрии в прогнозировании КБД в полете. Полученные данные свидетельствуют о перспективе использования данной модели для изучения патогенеза КБД, роли отолитовой асимметрии и гемодинамического фактора в развитии КБД.

ПРОБЛЕМЫ ПОСЛЕПОЛЕТНОЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Меденков А.А.¹, Нестерович Т.Б.²

¹ Научно-техническое общество Института авиационной и космической медицины, Москва

² Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

PROBLEMS OF POST-FLIGHT PSYCHO-PHYSIOLOGICAL REHABILITATION

Medenkov A.A.¹, Nesterovich T.B.²

¹ Scientific-Technical Society of the Institute of Aviation and Space Medicine, Moscow

² Moscow Aviation Institute (National Research University)

В процессе полета организм космонавта подвергается воздействию неблагоприятных факторов и, прежде всего, невесомости. Несмотря на предпринимаемые меры по подготовке организма к воздействию факторов полета, систему тренировок и использование специальных средств и методов сохранения работоспособности космонавтов в условиях невесомости, компенсировать неблагоприятные эффекты ее влияния в полной мере не представляется возможным. При большой продолжительности полетов, в том числе при осуществлении межпланетных экспедиций, эти эффекты будут еще более значимы, что представляет опасность для организма, особенно при возвращении к условиям земной гравитации. В интересах таких полетов нынешняя система организационных решений и сложившаяся практика оценки и восстановления функционального состояния космонавтов после полетов нуждается в совершенствовании и развитии. В этой связи развитие методологии и разработка методов, способов и технологий восстановления функционального состояния космонавтов после полетов становится актуальной медицинской и психологической задачей.

Возвращение к земной гравитации для организма является мощным стресс-фактором. В условиях продолжительного пребывания в невесомости уменьшается минеральная насыщенность костей, масса мышц, особенно нижних конечностей, а также сила, выносливость и физическая работоспособность, что существенно снижает переносимость перегрузок на этапе спуска. В острый период реадaptации отмечаются нарушения координации движений разной выраженности в зависимости от продолжительности воздействия гиподинамии и невесомости. Выраженная астения снижает активность физиологической антиоксидантной системы, повышается активность процессов перекисного и свободно-радикального окисления и понижается резистентность организма к гипоксии, гипертермии и физическим нагрузкам. Динамика перестройки водно-солевого обмена и водно-электролитного баланса в раннем послеполетном периоде подлежит учету при восстановлении ортостатической устойчивости и устранении неблагоприятных изменений сердечно-сосудистой системы. Выведение в полете из организма кальция и фосфора и развитие остеопороза после возвращения к земной гравитации повышают риск перелома костей таза, поясничного отдела позвоночника, шейки бедра и пяточной кости. Фактором, способным лимитировать продолжительность космического полета, являются изменения иммунологических реакций и устойчивости к инфекциям, повышающие восприимчивость к заболеваниям в первые месяцы после полета. Процесс реадaptации к земным условиям, требующий усиленного медико-психологического контроля и использования специальных методов диагностики и тестирования, оценивается в три недели. Период физической реабилитации проходит в течение нескольких месяцев. Большая часть клинических проявлений может быть устранена в течение года. Для восстановления плотности костей после многомесячных полетов может потребоваться от 1 года до 3 лет. Применительно к многомесячным орбитальным полетам и, тем более, к межпланетным экспедициям для устранения последствий действия невесомости и других факторов космического полета потребуются целенаправленные многомесячные реабилитационные мероприятия. Специфика изменений психосоматического состояния космонавтов в полете должна учитываться при организации их восстановительного лечения и реабилитации,

в том числе в санаторно-курортных условиях.

В настоящее время разработана система подготовки и оценки готовности организма космонавта к возвращению к земной гравитации. Предусматривается комплекс послеполетных обследований с последующим направлением экипажа в санаторий для восстановления и отдыха. Процесс восстановления координируется врачом экипажа, который обеспечивает учет индивидуальных показаний к проведению тех или иных реабилитационных мероприятий. Однако специализированных санаториев, обеспечивающих использование методов, способов и технологий реабилитации космонавтов с учетом этиопатогенеза нарушений функций и систем организма, нет. В связи с этим является актуальным формирование системы, методов, способов и технологий восстановления функционального состояния космонавтов после полетов с учетом этиопатогенеза и возможностей современных технологий восстановления функционального состояния, алгоритмов комплексной оценки процесса восстановления и выбора индивидуальных методов, средств и способов реабилитации. Опыт отечественной восстановительной медицины свидетельствует о необходимости реабилитации на основе индивидуальных оздоровительных программ, учитывающих влияние факторов продолжительного космического полета и генетические, физиологические, биохимические и другие особенности организма. При этом методы, способы и технологии реабилитации должны ориентироваться на этиологию нарушений и патогенетические механизмы их развития в условиях космического полета, а также на показатели восстановления функционального состояния, характеризующие его эффективность. Для контроля процесса реабилитации космонавтов необходимы алгоритмы системной оценки ресурсов и резервов организма и их изменений в связи с воздействием факторов космического полета, а также технологии оценки индивидуальных показателей и их мониторинга для управления послеполетной реабилитацией с учетом предполетных данных оценки здоровья и психофизиологических резервов.

Повышению эффективности восстановительного лечения может способствовать социально-психологическое обеспечение восстановительного лечения и использование методов, средств и способов активации социальных и психологических ресурсов. При нарушениях, вызванных продолжительным воздействием факторов космического полета, для сохранения и пролонгирования эффекта реабилитации в большинстве случаев показано участие психолога не только в процессе восстановительного лечения, но и в первые месяцы по его окончании. Для этого требуется уточнить цели, задачи и структуру психологических услуг на этапе закрепления результатов санаторно-курортного лечения. Это касается анализа психологических проблем восстановления состояния и изменения жизненной стратегии, выявления трудностей в реализации актуальных намерений и определении возможностей их преодоления, а также выработки стратегии, направлений и методов психологической поддержки для достижения жизненных целей и обеспечения психологической безопасности личности.

Целью реабилитации космонавтов является не только обеспечение продолжения трудовой деятельности, но и продление их профессионального долголетия. И в том, и в другом случае восстановление функционального состояния необходимо проводить до достижения требуемого уровня психофизиологической надежности. В связи с этим оценка эффективности восстановления должна проводиться с ориентацией на показатели этой надежности, определяемые с использованием соответствующих методов, средств и технологий. Это означает, что в практике санаторно-курортного обеспечения космонавтов и их послеполетной реабилитации необходимо применять методы оценки сохранения мотивации у космонавтов на продолжение профессиональной деятельности, повышение квалификации и профессиональное развитие.

В интересах восстановления функционального состояния космонавтов на уровне, обеспечивающем их профессиональную надежность, представляется целесообразным использование технологий индивидуальной оценки, мониторинга и управления реабилитацией с учетом показателей и критериев предполетной оценки состояния их здоровья, психофизиологических ресурсов и резервов организма. Выраженность отдаленных проявлений продолжительного влияния невесомости и других факторов полета во многом зависит от индивидуального психосоматического статуса космонавта, эффективности поддержания функций и систем его организма к возвращению к земной гравитации посредством специальных упражнений и тренировок и системы жизнеобеспечения в полете. Для контроля и управления процессом реабилитации необходимы данные о механизмах функционирования органов и систем в условиях невесомости и индивидуальных психофизиологических особенностях и резервах организма космонавтов. В связи с этим в качестве основы эффективной реабилитации функционального состояния космонавтов после полетов следует рассматривать создание и использование персональных банков данных космонавтов, характеризующих особенности их психофизиологического состояния и функциональных возможностей. По результатам анализа состояния и направлений развития системы восстановления космонавтов после полетов представляются актуальными следующие положения и выводы.

Восстановление функционального состояния космонавтов после космических полетов является необходимым условием сохранения их здоровья и обеспечения психофизиологической готовности к продолжению профессиональной деятельности. Структура и содержание реабилитации космонавтов должны учитывать специфику влияния факторов космического полета на их организм и обеспечивать восстановление значений показателей его предполетного функционирования. Сила и согласованность сердечных сокращений, а также скорость наполнения полостей сердца кровью в условиях невесомости у космонавтов отличаются в зависимости от конституции, функциональных и регуляторных

особенностей. Это обстоятельство имеет значение для определения программ и режимов тренировок, а также выбора упражнений и нагрузки в процессе реабилитации космонавтов после космических полетов и определения режимов их физической тренировки для восстановления психофизиологических ресурсов и резервов. В связи с этим необходимо обеспечить сравнимость и сопоставимость данных о психофизиологическом состоянии и возможностях организма до полета и в процессе реадaptации к земной гравитации. Психологическая поддержка космонавтов как направление обеспечения психофизиологической надежности их деятельности должна осуществляться и в период послеполетной реабилитации. Практика восстановительного лечения свидетельствует о необходимости совершенствования системы психологической информационно-аналитической и консультативной поддержки космонавтов и разработки специальных программ их послеполетной реабилитации в условиях специализированного лечебно-реабилитационного центра. При этом объем оказываемых восстановительных и реабилитационных услуг должен определяться стандартами, обеспечивающими учет этиологии и патогенеза изменений в психосоматическом состоянии космонавтов в продолжительных космических полетах. Для этого необходимо специальное оборудование для использования методов, способов и средств восстановления психосоматического состояния космонавтов после воздействия факторов космического полета.

РАЗРАБОТКА БРИКЕТИРОВАННОГО КОРМА ДЛЯ МЫШЕЙ В ПРОЕКТЕ «БИОН-М» № 2

Медникова Е.И., Гущина О.А., Гурьева Т.С., Дадашева О.А

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

DEVELOPMENT OF BRIQUETTED FOOD FOR MICE IN «BION-M2» PROJECT

Mednikova E.I., Gushchina O.A., Dadasheva O.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical problems RAS, Moscow

Для содержания мышей в условиях космического полета на борту космического аппарата (КА) «Бион-М» № 1 использовался пастообразный корм, основанный на стандартном комбикорме с содержанием протеина 18,3 % и влажностью 74 %. Потребление животными пастообразного корма позволяет одновременно решать две задачи, обеспечить животных полноценным питанием и водой.

Программа исследований мышей в проекте Бион-М» № 2 включает в себя сравнительные исследования животных, потребляющих во время полета пастообразный корм, с животными, потребляющими отдельно твердый корм и воду. В связи с этим, для будущего космического эксперимента на борту КА Бион-М» № 2 одной из задач является разработка технологии приготовления твердого несыпучего корма для мышей.

Для приготовления брикетированного корма использовали несколько вариантов стандартного лабораторного корма для грызунов. Однако экспериментальные результаты по потреблению и усвоению животными приготовленных кормов, дали основание выбрать только один – экструдированный комбикорм ПК – 120 – 152 Премиум. В рецептуру разработанного корма входят следующие компоненты: 87,7 % комбикорма, казеин обезжиренный - 4,4 %, лецитин - 2,0 %, подсолнечное масло – 1,5 %, мед – 4,0 %, Na_2HPO_4 – соль-плавитель, комплекс витаминов «Биомах» и сорбиновая кислота – 0,3 %. Приготовленный корм для мышей имеет твердую однородную консистенцию с влажностью от 23 до 28 %. По основным пищевым показателям он состоит из 21,8 % сырого протеина, 6,94 % – углеводов, 7,9 % – жиров, и калорийность составляет 292 ккал.

Биологическая оценка брикетированного корма была проведена в нескольких экспериментах на беспородных, белых лабораторных мышах длительностью от 21 до 30 сут. Отобранные по принципу аналогов (по массе) грызуны были поделены на 2 группы: опытную и контрольную. Животные содержались в клетках. Кормление было одноразовое без ограничений и при неограниченном потреблении воды.

Ежедневное наблюдение за животными обеих групп не выявило каких-либо различий в их поведении. Масса тела мышей, получавших опытный брикетированный корм, увеличилась к концу эксперимента на 4,1 г (исходный вес самца составлял $20,4 \pm 0,27$ г), в контрольной группе масса мышей увеличилась на 4,0 г (исходная масса тела составляла $19,0 \pm 0,3$ г).

Учет потребления корма, проведенный в обменные дни, показал, что контрольные мыши в среднем в сутки съедали – 3,9 г, а опытные – 4,8 г. Потребление воды мышами в контрольной группе составляло – 4,0 мл в сутки на голову, а в опытной группе – 4,15 мл в сутки на голову.

При содержании мышей на борту КА «Бион-М» № 2, предполагается использовать в качестве источника питья гелированную воду на основе КМЦ АКУЦЕЛЬ, использующийся в пищевой промышленности.

В опытах на лабораторных мышах апробирована гелированная вода с различным содержанием КМЦ АКУЦЕЛЬ – 1,5 %, 2 % и 3 %. Из исследованных вариантов в качестве источника питья была выбрана 2 % гелированная вода. Результаты, полученные при содержании мышей на опытном брикетированном корме и 2 % гелированной воде, показали, что в первые двое суток животные незначительно теряли в массе и мало потребляли предложенный в качестве

питья гель, но в дальнейшем все стабилизировалось и к концу 30 сут опытные мыши поправились на 5 г.

По окончании эксперимента животные были забиты с патолого-анатомическим вскрытием. Отдельные органы были взяты на гистологическое исследование, результаты которых будут доложены на конференции.

Все экспериментальные процедуры проводились при строгом соблюдении правил и норм биоэтики.

РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА БЕЛКА В M.SOLEUS КРЫСЫ В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ РЕАДАПТАЦИИ ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ

Мирзоев Т.М., Тыганов С.А., Петрова И.О., Туртикова О.В., Птицын К.Г., Шенкман Б.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PROTEIN SYNTHESIS REGULATION IN RAT SOLEUS DURING AN ACUTE RELOADING FOLLOWING FUNCTIONAL UNLOADING

Mirzoev T.M., Tyganov S.A., Petrova I.O., Turtikova O.V., Ptitsyn K.G., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Для успешной реабилитации космонавтов после длительных космических полетов необходимо более детальное понимание молекулярных механизмов, которые способствуют восстановлению постуральных мышц после атрофии, вызванной сниженной двигательной активностью. Ключевая роль в восстановлении атрофированной мышцы принадлежит синтезу белка. Однако внутриклеточные анаболические сигнальные пути, регулирующие синтез белка в постуральных мышцах млекопитающих в острый период реадaptации после функциональной разгрузки, остаются малоизученными.

Цель исследования заключалась в оценке ключевых маркеров трансляционной емкости и эффективности, задействованных в регуляции скорости синтеза белка в камбаловидной мышце крысы в течение первых 24 ч реадaptации после функциональной разгрузки. Самцы крыс Вистар подверглись 14-суточному антиортостатическому вывешиванию с последующим восстановлением в течение 6-, 12- и 24 ч. Все процедуры с животными были одобрены комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Скорость синтеза белка оценивалась методом SUNSET, а содержание сигнальных белков определялось вестерн-блот анализом. С помощью RT-PCR была получена экспрессия таких маркеров биогенеза рибосом, как *c-Myc* и 28S rRNA. Окраска красителем Evans Blue позволила определить степень повреждения сарколеммы мышечных волокон. Через 12 и 24 ч реадaptации наблюдалась повышенная проницаемость мышечных волокон по сравнению с группой вывешивания. Скорость синтеза белка после антиортостатического вывешивания снизилась на 40 % ($p < 0,05$), при этом после 6 и 12 ч скорость синтеза белка была достоверно выше, чем в группе вывешивания, а к 24 ч реадaptации больше, чем в контрольной группе на 44 % ($p < 0,05$). Уровень экспрессии транскрипционного фактора *c-Myc* был повышен после 12 и 24 ч реадaptации по сравнению с контрольными значениями ($p < 0,05$). Функциональная разгрузка привела к достоверному снижению содержания P-p70s6k и P-4E-BP1 на 37 % и 30 % ($p < 0,05$) соответственно. После 6-часовой реадaptации содержание фосфорилированных форм данных белков не отличалось от контроля, а к 12 ч реадaptации наблюдалось достоверное увеличение содержания P-p70s6k и P-4E-BP1 ($p < 0,05$) относительно контроля. После 24 ч реадaptации наблюдалось небольшое снижение P-p70s6k по сравнению с контролем, в то время как содержание P-4E-BP1 не отличалось от контроля. Кроме того, после разгрузки было отмечено пониженное содержание таких маркеров, как P-GSK3beta и P-p90RSK ($p < 0,05$). К 12 ч реадaptации содержание данных белков восстановилось до уровня контроля. Таким образом, можно заключить, что увеличение скорости синтеза белка в *m.soleus* крысы в острый период реадaptации могло быть связано как с усилением рибосомального биогенеза, так и с активацией таких сигнальных путей как GSK3beta-eIF2B и mTORC1. Работа поддержана грантом РФФИ № 16-34-00530а.

ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ ПО СОПРЯЖЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ АГЕНТОВ С ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ НА КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

Мицуков А.С., Белишева Н.К.

Кольский научный центр РАН, Апатиты

EXTRAPOLATION OF THE GROUND BASED DATA ABOUT CONNECTION OF VARIATIONS OF ELIOGEOPHYSICAL AGENTS WITH A HUMAN PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE IN ARCTIC ENVIRONMENT ON THE SPACE FLIGHT

Mitsukov A.S., Belisheva N.K.

Kola Science Center RAS, Apatity

Цель исследования состояла в выявлении зависимости между динамикой геофизической среды и психофизиологическим состоянием организма человека в условиях Арктики, где воздействие гелиогеофизических агентов на организм человека носит экстремальный характер. Высокая чувствительность организма человека к высокоширотным геофизическим агентам позволяет экстраполировать закономерности реакции организма на воздействие гелиогеофизических агентов в наземных экспериментах на условия космического полета, в которых факторы космического пространства могут вызывать сходные с наземными реакции отклика у космонавтов.

Исследование зависимости психофизиологического состояния человека от вариаций геофизической среды проводили на группе добровольцев-студентов (7 человек и 319 измерений), которые ежедневно проходили тест Люшера в течение периода с 17 июня по 7 августа 2015 г. В соответствии с методическими рекомендациями для данного теста, психофизиологическое состояние испытуемых оценивалось на основе численных показателей цветовых предпочтений; средних по ряду выборов места каждого цвета, суммарном отклонении от аутогенной нормы (СО) и вегетативного коэффициента (ВК), который рассчитывался на основе цветовых предпочтений пары цветов: красного и желтого, синего и зеленого. Уменьшение значения СО свидетельствует о наличии у испытуемого определенных резервов работоспособности и стрессоустойчивости. Увеличение значений СО отражает низкую стрессоустойчивость.

Геокосмические данные были получены на сайте <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb/>, который содержит базу данных, характеризующих солнечную активность; состояние межпланетной среды на основе специальных индексов и параметров, отражающих динамические характеристики межпланетного магнитного поля (ММП), солнечного ветра (СВ); индексы геомагнитной активности (ГМА) и др. Динамические характеристики геофизической среды оценивались на основе показателей солнечной активности (СА), ассоциированной с вариациями геофизических агентов у поверхности Земли, включающих индексы геомагнитной активности и показатели счета наземного нейтронного монитора (станция нейтронного монитора Полярного геофизического института КНЦ РАН, г. Апатиты). Данные статистически обрабатывались с применением пакета программ STATISTICA 10, для сглаживания кривых использовался метод скользящего усреднения (<http://www.polybook.ru/comma/1.7.2.pdf>), построение графиков осуществлялось с применением графического редактора ORIGIN.

Оценка психофизиологического состояния испытуемых на основе индексов СО и ВК показала, что их среднесуточные значения по выборке испытуемых существенно варьируют, причем, возрастание СО свидетельствует о снижении стрессоустойчивости испытуемых, а снижение значений – о повышении работоспособности и стрессоустойчивости. Сходные вариации средних значений по выборке также характерны и для ВК. Вариабельность значений СО и ВК отражает изменчивость психофизиологического состояния испытуемых, причина которой могла бы быть связана с воздействием геофизических агентов. Оценка связи между индивидуальными значениями показателей СО, ВК и геофизическими индексами показала, что на одно и то же воздействие геофизической среды реакции у разных испытуемых могут иметь альтернативный характер. Так было показано, что при возрастании излучения Солнца в радиочастотном диапазоне (F 10.7) у одного испытуемого психофизиологическое состояние свидетельствует о снижении стрессоустойчивости (возрастание показателя СО), а у другого, напротив, о повышении адаптационного резерва (снижении показателя СО).

Оценка связи между индивидуальными значениями показателей СО, ВК и геофизическими индексами подтвердила, что коэффициенты корреляции между психофизиологическими показателями состояния организма и индексами, характеризующими динамические свойства геофизической среды, могут иметь противоположные знаки.

Анализ связи между психофизиологическим состоянием испытуемых и глобальными гелиогеофизическими агентами выявил, что с изменением СА, параметров ММП, характеристик солнечного ветра синхронно меняется психофизиологическое состояние организма у испытуемых по индивидуальному сценарию. В целом можно отметить, что возрастание вариабельности векторов ММП и «возмущенности» межпланетной среды, вызванной вариабельностью параметров солнечного ветра, как правило, сопровождается возрастанием суммарного отклонения психоэмоционального состояния от аутогенной нормы и снижением значений вегетативного коэффициента. То есть снижением устойчивости функционального состояния организма.

Для выявления роли наземных геофизических агентов, ассоциированных с ГМА, была проанализирована степень зависимости психофизиологического состояния испытуемых от вариаций элементов магнитного поля Земли. Как и в случае связи с глобальными гелиогеофизическими агентами, реакция на вариации элементов земного магнетизма у разных испытуемых носила индивидуальный характер.

Анализ связи между показателями психофизиологического состояния организма у отдельных испытуемых с локальными индексами ГМА (Ак и K(zhd)) показал, что суммарное отклонение от аутогенной нормы у 16,7 % испытуемых имеет обратный знак корреляции с индексами ГМА ($p < 0.05$), что означает улучшение состояния организма при возрастании ГМА. У 16,7 % испытуемых коэффициенты корреляции между индексами Ак и K(zhd) и вегетативным коэффициентом – имеют отрицательный знак связи, то есть возрастание ГМА приводит к снижению функциональных возможностей организма. А у 33,3 % испытуемых знаки связи с индексами ГМА – положительные ($p < 0.05$). Такой характер зависимости между показателями психофизиологического состояния свидетельствует, что у 33,3 % испытуемых возрастание ГМА повышает функциональное состояние организма или не вызывает отрицательных реакций.

Однако у 16,7 % – возрастание ГМА может приводить к снижению функциональной устойчивости и, возможно, к нервно-психическим срывам, что, возможно, обусловлено определенными структурно-энергетическими характеристиками вариаций ГМП [Белишева и др., 1995; Белишева, Конрадов, 2005].

Оценка связи между показателями психофизиологического состояния и фоновыми вариациями нейтронного счета у поверхности Земли выявила, что фоновые вариации космических лучей необходимы для нормального функционального состояния организма, выраженного через индексы суммарного отклонения от аутогенной нормы и вегетативного коэффициента.

Для выявления степени зависимости психоэмоционального состояния от динамических свойств геофизической среды, нами были оценены вклады глобальных гелиофизических и наземных геофизических агентов в модуляцию психофизиологического состояния испытуемых. Оказалось, что при одном и том же числе параметров глобальных и локальных гелиогеофизических агентов их вклады в модуляцию психофизиологического состояния испытуемых имеют индивидуальный характер.

Проведенное исследование по выявлению воздействия геофизической среды на психофизиологическое состояние человека в условиях Заполярья с применением психофизиологического теста Люшера, показало, что динамические свойства геофизической среды находят полное отражение в психофизиологическом состоянии организма человека. Выявлено, что такие показатели, как суммарное отклонение от аутогенной нормы и вегетативный коэффициент имеют значимые связи практически у всех испытуемых с теми или иными глобальными и локальными гелиогеофизическими параметрами. Причем, знак связи с одними и теми же геофизическими индексами у различных испытуемых может иметь альтернативный характер. Показано, что возмущение межпланетной среды, отраженное в гелиогеофизических индексах, сопровождается у определенной доли испытуемых снижением функциональных возможностей, что проявляется в возрастании показателя отклонения от аутогенной нормы и снижением вегетативного коэффициента.

Выполненная работа демонстрирует высокую степень чувствительности молодых и здоровых испытуемых, проживающих в арктических условиях, к динамическим процессам в оболочках Земли. Знание о характере воздействия гелиогеофизических процессов на психофизиологическое состояние человека в наземных условиях может служить основой для прогноза возможного поведения космонавтов в условиях космического полета при возмущенном состоянии межпланетной среды.

ЛЕТУЧИЕ МЕТАБОЛИТЫ – БИОМАРКЕРЫ ПРОЦЕССОВ ЛИПИДНОЙ ПЕРОКСИДАЦИИ В ВЫДЫХАЕМОМ ВОЗДУХЕ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЫХАНИИ КИСЛОРОДОМ

Мухамедиева Л.¹, Долх М.², Озеров Д.¹, Царьков Д.¹, Феттер В.³, Франц М.³, Леник И.⁴, Хуммель Т.³, Суворов А.¹

¹ ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Российская Федерация

² Университетский госпиталь Мюнхена – отдел анестезиологии, Мюнхен, Германия

³ Европейский аэрокосмический и оборонный концерн, Фридрихсхафен, Германия

⁴ Институт аэрокосмической медицины, Бонн, Германия

VOLATILE METABOLITES IN EXHALED AIR OF HEALTHY HUMANS AS BIOMARKERS OF LIPID PEROXIDATION DURING OXIGEN BREATHING

Mukhamedieva L.¹, Dolch M.², Ozerov D.¹, Tsarkov D.¹, V. Fetter V.³, Franz M.³, Lenic I.⁴, Hummel T.³, Suvorov A.¹

¹ Institute for Biomedical Problems of RAS, Moscow, Russian Federation

² Department of Anesthesiology, University Hospital of Munich - Campus Grosshadern, 81366 Munich, Germany

³ Airbus Defence & Space, Space Systems 88039 Friedrichshafen, Germany

⁴ Institute of Aerospace Medicine, Space Administration, German Aerospace Center (DLR), 53227 Bonn, Germany

Перспектива межпланетных миссий требует разработки неинвазивных методов оценки действия на человека комплекса неблагоприятных факторов, среды обитания в полете: многокомпонентная по химическому составу воздушная среда, невесомость, пролонгированное гамма-облучение в малых дозах, оксигенация при внекорабельной деятельности (ВКД), психоэмоциональное напряжение. Наиболее перспективным методом неинвазивной диагностики метаболических процессов в условиях космического полета является детектирование продуктов перекисного окисления липидов по динамике биомаркеров в выдыхаемом воздухе космонавтов.

В настоящее время в рамках совместного эксперимента DLR, Airbus DS, ИМБП, KUM разрабатывается аппаратура для детектирования низкомолекулярных метаболитов в выдыхаемом воздухе человека в условиях космического полета. Одновременно для установления перечня биомаркеров, подлежащих детектированию, разрабатываемой аппаратурой E-Nose, проведена серия экспериментов, ориентированных на поиск биомаркеров неинвазивного, раннего

детектирования активности свободнорадикального окисления липидов, как универсального механизма повреждения клеточных мембран. Активацию процессов накопления кислородсодержащих радикалов моделировали кислородной нагрузкой.

Сочетанием метода газовой хроматографии и масс-спектрометрии исследован состав низкомолекулярных летучих метаболитов (ЛОС) в выдыхаемом воздухе 16 здоровых добровольцев при дыхании медицинским кислородом ГОСТ Р ИСО 2046-73. длительностью 1 ч (10 добровольцев) и двухчасовую (6 добровольцев).

Программа исследований была рассмотрена биоэтической комиссией Института медико-биологических проблем РАН и одобрена, как соответствующая международным нормам биоэтики (регистрационный номер 395 от 27.05.2015). Все процедуры соответствовали Хельсинкской декларации, международному и российскому законодательству. Участники были допущены к исследованиям медицинской комиссией и дали письменное согласие. Пробы выдыхаемого воздуха (по 4 пробы на каждое исследование) отбирали в мешки из нейтрального полимерного материала объемом 5 л, по схеме: перед дыханием кислородом, сразу по окончании кислородной нагрузки и спустя 24 ч (реабилитационный период). Отбор проб воздуха проводили пол контролем CO₂ на комплексе Oxuson Pro фирмы Jaeger-VITASYS (Германия). Полученные пробы воздуха содержали в основном альвеолярный газ, соответствующий F ET CO₂ – содержание CO₂ в конечной порции выдыхаемого воздуха.

Анализ проб выдыхаемого воздуха проводили на газовом хроматографе 6890N с масс-селективным детектором 5973N (фирмы Agilent Technologies). Проанализировано 240 проб выдыхаемого воздуха и 12 проб воздуха помещения, в котором проводили исследования. Идентификацию детектированных соединений проводили с использованием библиотеки масс-спектров NIST. В дополнение для идентификации ЛОС были использованы времена удерживания, полученные при анализе калибровочных смесей.

Малоновый диальдегид (МДА) в сыворотке крови определяли по тесту с тиобарбитуровой кислотой. Кровь из вены отбирали утром натощак за 1 сут до кислородной нагрузки, затем сразу по окончании оксигенации и спустя 24 ч (реабилитационный период).

Статистическую обработку данных проводили в пакете Statistica 8.0 (StatSoft, Inc). Сравнения между сериями измерений проводили с помощью критерия Уилкоксона. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$. При анализе каждой пробы в зависимости от настройки фильтров масс было идентифицировано до 60 летучих органических соединений (ЛОС). Статистическим анализом выделено 9 веществ (этан, пропан, 3-метилгексан, гептанон-2, 2-метилпропан, 3-метилгексан, 2-метилпентан, 2-метилпропеналь), в концентрации которых определялась значимая динамика сразу по окончании кислородной нагрузки и сохраняющаяся в реабилитационном периоде, спустя 24 ч после кислородной нагрузки. Направленность изменений концентраций ЛОС, детектированных в выдыхаемом воздухе обследованных после одно и двухчасового дыхания кислородом, показана в виде полиномиальных кривых, рассчитанных методом наименьших квадратов в программе Statistica Statsoft ver.8.

Показано, что увеличение суммарного содержания алканов в выдыхаемом воздухе обследованных при моделировании процессов липидной перекисидации, согласуется с динамикой содержания этана в выдыхаемом воздухе, одного из установленных экспериментально в наших исследованиях и исследованиях международных авторов, как биомаркер оксидативного стресса. Пентан количественно не детектирован, что возможно связано с метаболическими процессами в печени. По окончании одночасового дыхания кислородом только у одного из обследованных наблюдалась тенденция к увеличению содержания малонового диальдегида в сыворотке крови. В то же время установлено, значимое ($p < 0.05$) снижение содержания МДА в сыворотке крови всех обследованных спустя 24 ч после кислородной нагрузки. Наблюдаемая динамика обусловлена по-видимому компенсаторной активацией антиоксидантной системы здорового человека.

ВЕСТИБУЛЯРНАЯ ФУНКЦИЯ ПОСЛЕ РЕАЛЬНОЙ И МОДЕЛИРУЕМОЙ НЕВЕСОМОСТИ

Наумов И.А., Корнилова Л.Н., Глухих Д.О., Екимовский Г.А., Хабарова Е.В., Павлова А.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE STATE OF VESTIBULAR FUNCTION AFTER REAL AND STIMULATED WEIGHTLESSNESS

Naumov I.A., Kornilova L.N., Glukhikh D.O., Ekimovskiy G.A., Khabarova E.V., Pavlova A.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Сенсомоторные нарушения в невесомости вызваны нарушением функционирования гравитационно-зависимых систем, прежде всего – вестибулярной и опорной. Возникает вопрос, какова роль и удельный вклад опорной афферентации в развитии наблюдаемых нарушений. Для исследования этого мы использовали модель невесомости – горизонтальную «сухую» иммерсию.

Всего было обследовано 30 субъектов мужского пола, которые находились в иммерсионной ванне от 5 до 7 дней и участвовали в оценке состояния вестибулярной функции. Сеансы эксперимента проводились дважды до погружения в

иммерсионную ванну (фон) и на 1-е, 3–4-е и 5–6-е сутки после завершения иммерсионного воздействия. Полученные результаты были сопоставлены с данными исследования 47 российских космонавтов на МКС, участвовавших в исследовании вестибулярной функции до и после длительных космических полетов (125–219 сут). Обследования космонавтов проводились дважды до полета за 60–30 суток (фон) и на 1–2-е, 4–5-е и 8–9-е сутки после полета.

Исследовались: спонтанные движения глаз (СДГ), статический отолито-шейно-окулярный рефлекс (ОШОР) при наклонах головы, динамический вестибуло-шейно-окулярный рефлекс (ВШОР) при вращениях головой, вестибулярная реактивность (ВР). Использовались два метода регистрации движений глаз (с одновременной регистрацией движений головы): электро- и видеоокулография.

После иммерсии были обнаружены: а) нарушения СДГ; б) значимое снижение ОШОР (вплоть до полного отсутствия или даже инверсии отолитового рефлекса), и в) одновременное значимое повышение ВШОР и ВР с отрицательной корреляцией между параметрами отолитовых и каналовых реакций.

Что касается космонавтов, значимые изменения СДГ («уплывания» глаз, спонтанный нистагм и нистагм взора) и снижение ОШОР (значимо сниженное отолитовое противовращение глаз, которое местами переходило в отсутствие или инверсию рефлекса) наблюдались начиная с R+1 сут после полета вплоть до R+8. Кроме того, было показано, что повторный космический полет приводил к значимому снижению продолжительности периода реадaptации к земной гравитации. Атипичные послеполетные нарушения вестибулярной функции (инверсия и отсутствие отолитового рефлекса, отсутствие вестибуло-окулярного рефлекса) наблюдались у космонавтов без предварительного опыта пребывания в невесомости, у которых, кроме того снижение ОШОР сопровождалось повышением реакции полукружных каналов. У космонавтов, впервые находившихся в невесомости, достоверное изменение состояния вестибулярной функции и ухудшение показателей зрительного слежения наблюдается у 50 % космонавтов – вплоть до 4-х суток и у 35 % – до 8-х. У космонавтов, имевших предварительный опыт пребывания в условиях невесомости, значимые изменения показателей вестибулярной и зрительной систем наблюдаются преимущественно только на 1-е сутки после полета.

Сравнительный анализ результатов, полученных после космического полета и после иммерсии, показал схожесть изменений вестибулярной функции; однако в ходе и после иммерсии эти изменения были менее выражены и процесс восстановления до фоновых показателей занимал значимо меньшее время. Это свидетельствует о том, что иммерсия является адекватной моделью для оценки эффектов невесомости.

КАК ЗАПУСКАЕТСЯ РАСПАД БЕЛКА В ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЕ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ?

Немировская Т.Л.^{1,2}, Шенкман Б.С.², Белова С.П.²

¹ ФФМ МГУ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

WHAT IS THE TRIGGER FOR PROTEIN DEGRADATION UNDER GRAVITATIONAL UNLOADING?

Nemirovskaya T.L.^{1,2}, Shenkman B.S.², Belova S.P.²

¹ Faculty of Basic Medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Баланс между сигнальными системами, контролирующими процессы синтеза и деградации белка, нарушается при гравитационной разгрузке: снижается белковый синтез и увеличивается белковый распад [S.Kandarian и др., 2004, Goldberg A.L., 2012]. Белковую деградация при этом виде атрофии контролируют две катаболические системы: кальпаиновая и убиквитин-протеасомная. Серия наших последних работ была посвящена выявлению ключевых маркеров, контролирующих работу этих систем. 1. Работу кальпаиновой системы мы исследовали, ингибируя работу мю-кальпаина при разгрузке мышц. 2. Работу протеасомной системы и накопления эндогенных аминокислот в регуляции работы сигнальных путей и атрофических процессов в скелетной мышце исследовали, ингибируя работу протеасом бортезомибом. 3. Исследовали также работу транскрипционных факторов, регулирующих экспрессию E3-лигаз: FOXO3 и NF-κB.

Интенсивность синтеза белка контролировали методом оценки трансляционных процессов (SuNSET). Что инициирует процесс убиквитинирования и делает доступными белки для взаимодействия с E3-лигазами остается неизученным. Ряд авторов полагает, что атрофия при функциональной разгрузке мышц, а также при их денервации и иммобилизации связана с наличием NF-κB транскрипционной активности [Susan C. Kandarian и др., 2013, 2014]. Однако мало известно о том, какие гены являются мишенью транскрипционного фактора NF-κB при атрофии. Чаще всего транскрипционным фактором, запускающим экспрессию E3-лигаз Atrogen-1 и MuRF-1, называли FOXO3. Однако в недавнем исследовании мы обнаружили ситуацию, когда фосфорилирование транскрипционного фактора FOXO3 не предотвращало повышение экспрессии E3-лигазы MURF1 при вывешивании крыс [Ломоносова, 2013]. Al.Goldberg и соавторы на модели атрофии мышцы, вызванной кахексией, показали, что FOXO3 увеличивает экспрессию атрогена-1 (2004). Поэтому, хотя сейчас известно, что FOXO3 является транскрипционным фактором, регулирующим как транскрипцию

атрогена-1, так и MURF1, мы предположили, что, возможно, он является не единственным фактором, контролирующим экспрессию MURF1. Мы проверяли эту гипотезу, ингибируя работу NF- κ B при разгрузке у крыс.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-04-01632.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Нероев В.В.¹, Ушаков И.Б.², Зуева М.В.¹, Цапенко И.В.¹, Лантух Е.П.¹, Бубеев Ю.А.², Манько О.М.², Смолеевский А.Е.²

¹ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

FUNCTIONAL CHANGES OF THE VISUAL SYSTEM IN THE CONDITIONS OF LED LIGHTING

Neroev V.V.¹, Ushakov I.B.², Zueva M.V.¹, Tsapenko I.V.¹, Lantuh E.P.¹, Bubeev Y.A.², Manko O.M.², Smoleevsky A.E.²

¹ Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Moscow

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Влияние на функциональную активность зрительной системы человека искусственного светодиодного (СД) освещения различного спектрального состава не достаточно изучено в настоящее время. СД излучение существенно отличается от излучения ламп накаливания и люминесцентных источников. В частности, СД освещение характеризуется повышенной долей составляющей в синей области спектра и известно двоякое влияние коротковолнового излучения на зрительную систему и весь организм человека [Островский М.А., 2005]. С одной стороны, свет в диапазоне 446–477 нм жизненно необходим для регуляции синтеза мелатонина [Brainard G.C. et al., 2001], а с другой стороны, хорошо изучено, что синий свет в диапазоне 415–455 нм является фототоксичным для сетчатки [Arnault E. et al., 2013]. Качество искусственного освещения помещений особенно важно для сохранения работоспособности в условиях герметически замкнутого пространства, что характерно для некоторых видов профессий.

Целью работы было определить характер изменений биоэлектрической активности сетчатки и зрительной коры при длительном нахождении человека в замкнутом пространстве с искусственным освещением, создаваемым светодиодными (СД) лампами с изменяемыми спектрально-энергетическими характеристиками.

Методы. У 4 здоровых добровольцев до и после 11-суточного гермокамерного эксперимента, имитирующего условия в космических летательных аппаратах, выполнен комплекс стандартных офтальмологических исследований, регистрировали электроретинограмму (ЭРГ) на диффузные ганцфельд вспышки, паттерн-реверсирующие и мультифокальные стимулы, а также и зрительные вызванные корковые потенциалы (ЗВП) с помощью диагностической системы RETIport/scan21 по стандартам ISCEV.

Результаты. Длительное нахождение человека в условиях замкнутого СД освещения, создаваемого источниками с высокой коррелированной цветовой температурой (КЦТ), не оказывало выраженного негативного воздействия на функцию сетчатки. Изменения амплитуды ЭРГ и ЗВП были незначительными, но имели специфику, ассоциированную с историей предыдущих травм или функциональных нарушений. Также, по данным ЗВП на реверсирующий шахматный паттерн, характерным признаком изменения активности зрительной системы у всех участников было раздвоение пика P100, возможно, связанное с темпоральным разобщением (десинхронизацией) активности зрительных каналов.

Заключение. Искусственное освещение светодиодным светом с высокой КЦТ может оказывать как положительные, так и негативные эффекты на функциональную активность сетчатки и зрительной коры, характер которых, по-видимому, зависит от функционального исходного состояния зрительной системы, которая, таким образом, должна строго контролироваться. По данным ЗВП на реверсирующий шахматный паттерн, характерным признаком изменения функциональной активности зрительной системы является раздвоение пика P100, которое может быть связано с нарушением интеграции работы каналов зрительной системы.

ПОЛЕТНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА РОССИЙСКИХ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Нестеров В.Ф., Королёва М.В., Степанова С.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

MONITORING OF WORK-REST SCHEDULE OF RUSSIAN ISS-CREWMEMBERS

Nesterov V.F., Korolyova M.V., Stepanova S.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Полетный мониторинг режима труда и отдыха (РТО) российских космонавтов-участников экспедиций на Международной космической станции (МКС), осуществляется научными сотрудниками Института медико-биологических проблем РАН, выполняющими функции экспертов по РТО в составе группы медицинского обеспечения (ГМО) Московского центра управления полетами. Сочетание научной и практической деятельности обеспечивает эксперту по РТО знание фундаментальных и прикладных проблем космической медицины. Научное образование может дать ему хорошую подготовку в теоретических вопросах общей и космической биоритмологии, понимание места ритма в природе и роли ритмических процессов в обеспечении нормального функционирования организма. Тесное общение со специалистами, выполняющими научные исследования, позволяет эксперту регулярно получать новые знания о медико-биологических эффектах космического полета (КП) и на этой основе постоянно повышать качество решения экспертных задач. Эксперт по РТО должен представлять, с какими биоритмологическими проблемами сталкивается человек в условиях КП и как можно с ними справляться. Ему важно понимать значение рациональной организации труда и отдыха для поддержания здоровья и работоспособности участников КП. Наряду с этим, эксперт по РТО должен быть знаком с основами научной организации труда и отдыха представителей экстремальных профессий, к которым относится профессия космонавта. В общем, для того чтобы ориентироваться во всем этом, оценивать происходящее с точки зрения угроз здоровью и работоспособности, эксперту требуется не только высшее медицинское образование, но и непрерывное совершенствование своей научной подготовки. Фундаментально образованный эксперт сможет увидеть то, чего не заметят его менее знающие коллеги.

В том, что касается оперативных вопросов, эксперт по РТО должен знать перечень и содержание основных рабочих операций, выполняемых космонавтами в процессе полета; цели и задачи полетного мониторинга РТО; действующую полетную документацию, имеющую отношение к организации труда и отдыха экипажей (эту документацию он обязан не просто знать, но более того принимать непосредственное участие в ее разработке).

Эксперт по РТО должен работать в контакте со специалистами группы планирования, которые ежедневно предоставляют ему детальные планы работы и отдыха (сна) экипажа на текущий день. Для получения дополнительной информации ему необходимо общаться с врачом экипажа, с экспертами-психоневрологами и представителями группы психологической поддержки ГМО. И конечно, эксперт должен иметь доступ к содержанию радиопереговоров с экипажем. Пользуясь этими источниками, эксперт по РТО получает сведения о конкретных видах работ, запланированных на текущий день; об их распределении в течение дня; о плановых и фактических сроках выполнения рабочих операций; о занятости в рабочие и выходные дни; о планировании сна с указанием времени отхода ко сну и подъема; о состоянии здоровья космонавтов, их жалобах и замечаниях, в частности, по поводу особенностей РТО. На основе этих данных эксперт составляет еженедельные заключения с обобщением всей информации, поступившей на протяжении недели, и рекомендациями к продолжению полета, а в случае надобности – к оптимизации РТО. Содержание заключений он доводит до сведения руководства и специалистов ГМО.

После завершения каждой очередной экспедиции проводится рабочая встреча членов экипажа с наземными специалистами. Эксперту необходимо принимать участие в этом мероприятии, потому что в личной беседе можно выяснить какие-то детали и получить какие-то замечания, с которыми космонавты предпочитают не выступать во время полета.

По материалам еженедельных заключений и послеполетной встречи с членами экипажа эксперт по РТО составляет итоговый отчет. Еженедельные заключения и итоговые отчеты в текущем порядке передаются специалистам по РТО, работающим в ГНЦ РФ – ИМБП РАН, выполняющим ретроспективный анализ результатов полетного мониторинга.

Целью ретроспективного анализа является выявление закономерных, т.е. воспроизводимых во многих полетах особенностей организации труда и отдыха российских членов экипажей МКС.

Предметами первоочередного внимания являются избыточные (сверхнормативные) рабочие нагрузки и отклонения от штатного распорядка сна-бодрствования (сдвиги сна) – факторы, создающие напряженность РТО. Анализируются типичные причины напряженности, определяются пути и способы ее профилактики и купирования. Результаты оформляются в виде печатных публикаций и докладов на различных научных форумах (конференциях, съездах и т.п.).

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЖИДКОСТНЫХ СРЕД И ПСИХОНЕЙРОЭНДОКРИННОГО СТАТУСА В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА (ЭКСПЕРИМЕНТ «МОРЗЭ»)

Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Муранова А.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE PRIMARY RESULTS OF THE COMPLEX STUDY OF FLUID SHIFTS' AND PSYCHONEUROENDOCRINE STATUS' DYNAMICS IN THE CONDITIONS OF SPACE FLIGHT (EXPERIMENT «MORZE»)

Nichiporuk I.A., Vassilieva G.Yu., Muranova A.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Современное состояние пилотируемой космонавтики – эксплуатация на орбите длительно действующих международных орбитальных комплексов и, особенно, перспектива осуществления межпланетных космических полетов (КП) сопровождаются и будут сопровождаться впредь увеличением их длительности, уровня нагрузок, численности экипажей, возрастными, половыми, языковыми и культуральными различиями. В этих условиях повышается риск развития разнообразных форм преходящих нарушений здоровья и психической дезадаптации, и крайне важным является определение пределов адаптивных резервов организма с учетом особенностей психонейроэндокринного статуса индивидуума и типологических особенностей личности, возможность достоверной прогностической оценки риска развития психических расстройств и соматических заболеваний в условиях длительного воздействия комплекса факторов КП и напряженной профессиональной деятельности космонавтов.

При этом в комплексной оценке состояния физического и психического здоровья в условиях КП необходимо учитывать взаимовлияние и взаимосвязь нейрогормональной системы регуляции обмена веществ и психофизиологического статуса, а также их изменения в динамике пилотируемой экспедиции. Такие исследования немногочисленны, но остро необходимы как для понимания тонких механизмов адаптации организма человека к воздействию факторов КП, так и для использования полученных результатов в практике медико-биологического обеспечения высокой работоспособности и надлежащего здоровья космонавтов.

В связи с актуальностью проблемы и ее недостаточной изученностью был подготовлен и проводится космический эксперимент «МОРЗЭ» - «Мониторинг обмена веществ и его регуляции, динамики защитных систем организма и экологических факторов во время космических полетов на МКС».

Основными задачами, которые предполагается решить в ходе проведения эксперимента, являются: получение новых данных о состоянии обмена веществ и его нейрогормональной регуляции; получение данных о связи нейрогормонального и психофизиологического статуса с параметрами окружающей среды и сроками пребывания в условиях микрогравитации; получение новых прогностических параметров ортостатической устойчивости членов экипажей в период ранней послеполетной реадаптации к условиям земной гравитации.

В настоящее время эксперимент «МОРЗЭ» провели 6 экипажей МКС. Обследование космонавтов проводилось в предполетном периоде за 60-45 сут до старта, дважды в период КП (в начальный период и перед завершением – на 39–156-е сутки) и на 7-е сутки после посадки. Динамику жидкостных сред организма оценивали неинвазивным биоимпедансометрическим методом с помощью портативного прибора «Спрут-2», специально разработанного для работы в условиях КП, психофизиологическое состояние космонавтов – по результатам анализа заполненных ими на компьютере тестов-опросников Лазаруса, Кеттелла, Стрелау, СУПОС-8 и выполнения компьютеризированной программы «Сенсор».

Статистическая обработка первичных экспериментальных данных непараметрическими методами (SPSS, v.12) не показала наличие достоверных различий показателей психофизиологического статуса и состояния жидкостных сред космонавтов в разные сроки обследования (до, в начале, на завершающей стадии КП и в ранний период реадаптации), однако были выявлены высокие коэффициенты линейной корреляции по Spearman между возрастом и значениями оценок беспечности-сдержанности, аутичности, устойчивости к стрессу, социабельности, экстра-интровертированности, индекса массы тела (ИМТ), жировой массы тела и уровнем основного обмена ($R = -0,833; 0,738; -0,956; 0,761; -0,888; -0,736; -0,571; 0,572$ соответственно, $p < 0,05$), а также существенная связь личностной тревожности с уровнем энерготрат, с ИМТ и % жировой ткани ($R = -0,802; 0,554; 0,802$ соответственно, $p < 0,05$), что инициировало формирование ранжированных групп до и старше 45 лет, а также групп нетревожных и тревожных членов экипажей.

Повторный статистический анализ позволил обнаружить, что в условиях КП между младшей и старшей возрастными группами отмечались существенные различия по показателям циклотимии-аффектотимии, доминантности, беспечности-сдержанности, морального контроля поведения, устойчивости к стрессу и экстра-интровертированности.

Кроме того, в условиях КП при практически одинаковых среднegrupповых значениях массы тела и роста, старшая и младшая возрастные группы достоверно различались по объемам общей, внеклеточной и клеточной жидкости, по тощей и жировой составляющим массы тела и ИМТ, а также по уровню основного обмена.

В свою очередь, группы тревожных и нетревожных космонавтов достоверно различались в условиях КП по значениям оценок способности к логическим умозаключениям, эмоциональной устойчивости, спонтанности и интропунитивности, а также массы тела, % жировой ткани и уровня энерготрат. В серии дополнительных расчетов была выявлена существенная связь амби- и экстравертированности членов экипажей в период КП с возрастом и определяемыми переменными, характеризующими состав тела и состояние жидкостных сред.

В целом, результаты начального этапа космического эксперимента «МОРЗЭ» позволяют обозначить важную роль определяемых переменных, характеризующих личностную и ситуативную тревожность и полярные состояния в таких чертах личности и темперамента как общительность, учет в поведении мнения группы, стремление к ее признанию, склонность к доминированию или подчинению в интерперсональных отношениях, самостоятельность в решениях и поступках и др., которые существенным образом связаны с возрастом и опытом космонавтов и наличием стратегии адаптации к условиям длительного КП, включающей изменения жидкостных сред, адекватные непривычной среде обитания.

Поскольку в наших предшествующих исследованиях показаны тесные взаимосвязи свойств темперамента, показателей нейрогормональной регуляции и психофизиологического статуса в условиях вестибулярных воздействий, длительной изоляции в гермообъектах и сухой иммерсии [Nichiporuk I.A., Grishanin D.V., Grigoriev A.I., 1990; Васильева Г.Ю., 2007; Ничипорук И.А., 2008; Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Моруков Б.В., 2013] полученные в эксперименте «МОРЗЭ» результаты (кроме увеличения общего числа наблюдений) будут дополнены гормональными и иммунологическими показателями, что позволит выявить диагностически важные критерии и особенности психонейроэндокринного статуса.

Полученные научные данные в дальнейшем будут использованы при планировании режима труда и отдыха космонавтов, а также для совершенствования системы медицинского контроля и профилактики неблагоприятных воздействий комплекса факторов космического полета на состояние здоровья и работоспособность членов экипажей, особенно на начальных этапах и в период выполнения ответственных операций, а также на этапе реадaptации организма к условиям земной гравитации после посадки. В дальнейшем предполагается использование результатов эксперимента «МОРЗЭ» на этапах планирования и разработки программ пилотируемых сверхдлительных межпланетных космических полетов.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ ДИНАМИКИ

Новик О.Б., Смирнов Ф.А.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н.В. Пушкова РАН, Москва

DEPENDENCE OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES BRAIN ON GEOMAGNETIC DYNAMICS

Novik O.B., Smirnov F.A.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the RAS, Moscow

Исследовалось влияние геомагнитных бурь на электрические колебания коры больших полушарий для группы молодых (от 18 до 23 лет) здоровых испытуемых, московских студентов. Широта Москвы исключала интенсивный геомагнитный режим высоких широт. За время исследований не было зафиксировано выхода за пределы нормы ЭКГ, артериального кровяного давления – АД, дыхательного ритма. Согласно данным Института Земного Магнетизма и Распространения Радиоволн (ИЗМИРАН), за время исследований имели место умеренные геомагнитные бури со значениями геомагнитного индекса $K = 5$ или $K = 6$.

Стандартными электроэнцефалографическими (ЭЭГ) измерениями показано, что при выполнении задания на компьютере (обнаружение на экране определенного сочетания символов из их случайной последовательности) во время геомагнитной бури или не более, чем через 24 ч после ее окончания (данные ИЗМИРАН) функция когерентности электрических колебаний лобной и затылочной долей коры головного мозга в диапазоне 4–7.9 Hz (тета-ритм мозга) снижалось у испытуемых в 2 раза или больше, зафиксировано и снижение до 0, независимо от пола и одинаково для левого и правого полушария. Авторы наблюдали асимметрию лишь в процессе естественного восстановления когерентности (на 2-е сутки после магнитной бури, см. ниже), однако необходимы дополнительные наблюдения подобных случаев. При отмеченных понижениях когерентности регистрируемые у каждого испытуемого во время сеанса ЭЭГ артериальное кровяное давление, дыхательный ритм и электрокардиограмма не отклонялись от нормы. Обычные значения функции когерентности (0.5–0.6) восстанавливались на 2-е сутки после окончания геомагнитной бури. Сходные, но менее четко выраженные, результаты наблюдались и при исследовании дельта-ритма, но подобная реакция снижения когерентности отсутствовала в фоновой геомагнитной обстановке ($K < 5$), а также для частотных диапазонов других ритмов и/или ЭЭГ отведений с других точек поверхности головы.

Испытуемым студентам, приходившим для исследований в свободное от занятий время, не было ничего известно о геомагнитной обстановке или ее прогнозе. Более того, им ставился зажим на запястье (как было выяснено, не влияющий на ЭЭГ) и говорилось, что исследуется влияние слабой боли на ЭЭГ записи. Таким образом, исключался «настрой на геомагнитную бурю». Из-за случайного времени прихода испытуемых оказалось, что для некоторых существуют только фоновые, без влияния геомагнитной бури, ЭЭГ-записи, а для других — только записи под ее влиянием (буревые записи), т.е. сделанные во время бури или не позже 24 ч после ее окончания. Для этой части испытуемых нельзя было сравнить фоновые и буревые записи одного и того же испытуемого, т.е. персонифицированный подход к обработке записей (результаты излагались выше) был в этом случае невозможен. Поэтому был применен еще и множественный подход: все ЭЭГ записи были разбиты на подмножество Ф фоновых записей и подмножество Б буревых записей, независимо от персонификации испытуемых. Оказалось, что записи с пониженной (не превосходящей 0.2) тета-ритмовой лобно-затылочной когерентностью в подмноестве Б встречаются намного чаще, чем в подмноестве Ф (аналогичный результат получается, если пониженными считать значения когерентности, не превосходящие 0.3). Таким образом, как при персонифицированной, так и при множественной обработке ЭЭГ записей получаем, что геомагнитные бури существенно снижают когерентность электрических процессов мозга практически здоровых молодых испытуемых, выполняющих тест на компьютере

КОСТНАЯ СИСТЕМА КОСМОНАВТОВ В ПОВТОРНЫХ И ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕТАХ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Новиков В.Е., Кабицкая О.Е., Мурашко Л.М., Найдина В.П., Чернихова Е.А., Гордиенко К.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

BONE SYSTEM OF COSMONAUTS IN REPEATED AND LONG-TIME MISSIONS ON INTERNATIONAL SPACE STATION

Novikov V.E., Kabitskaya O.E., Murashko L.M., Naydina V.P., Chernikhova E.A., Gordienko K.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Костная ткань взрослого человека, как и все живые ткани, обладает способностью к самообновлению благодаря постоянно протекающим в ней процессам разрушения (рассасывания, резорбции) и новообразования. Это явление физиологической перестройки костной ткани обеспечивает ее функциональную адаптацию к меняющимся условиям жизни (экологические и социальные факторы, объём и характер физических нагрузок) и в процессе эволюции вида всегда происходило при воздействии гравитационного поля Земли. Поэтому невесомость представляет потенциальную опасность для костной системы в виде развития остеопороза. Мониторинг, физиологическая оценка наблюдаемых изменений и исследование возможности их прогноза являются основными задачами исследований в данной области. Остеоденситометрия является основным методом оценки состояния костной системы

Физические принципы остеоденситометрии или двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (dual energy x-ray absorptiometry – DXA) основаны на различной проникающей способности излучения разной жесткости (энергии). Метод позволяет по величине поглощения оценить проекционную минеральную плотность костной ткани – МПК, г/см² (bone mineral density – BMD, g/cm²) и содержание костного минерала – СКМ, г (bone mineral content – BMC, g) в любой интересующей области. Наличие двух энергетических областей в спектре излучения позволяет расчетным (программным) путем исключить влияние мягких тканей, а также по специальной программе регионального анализа (Whole Body – «Все тело») проводить вычисление минеральной плотности отдельных участков скелета (черепа, рук, грудных и поясничных позвонков, ребер, таза, ног), а также рассчитывать состав тела по параметрам СКМ, массы жировой и безжировой ткани (г).

Проведен анализ многократных до- и послеполетных обследований российских космонавтов - участников экспедиций на международную космическую станцию (МКС). Обследования проводили на серийных клинических остеоденситометрах HOLOGIC: до 2011 г. - QDR-1000W и с 2011 г. - Delphy по стандартным клиническим программам, включающим поясничные позвонки, проксимальный отдел бедра и «все тело». В заключение отмечали соответствие костной системы международным стандартам здоровья для МКС, согласно которым остеопороз для профессии космонавта недопустим, а в случае остеопении возможен индивидуальный подход.

Согласно рекомендациям ВОЗ диагностика остеопении проводится на основании сопоставления измеренных значений МПК с максимальными значениями, которые человек должен иметь в возрасте около 20 лет (т.н. пиковыми), выраженными в среднеквадратичных отклонениях (SD, или T-масштаб). В пределах нормы находятся значения, отклоняющиеся менее чем на 1 SD; значения менее -1 SD, но более -2,5 SD классифицируются как остеопения, значения менее -2,5 SD классифицируются как остеопороз и значения менее -2,5 SD при наличии хотя бы одного перелома позвонка или шейки бедра – как тяжелый остеопороз. В референтных базах, используемых в современных денситометрах, отклонение -2 SD (T-масштаб) соответствует примерно 80 % пиковой костной массы.

Стандарты здоровья для участников экспедиций на МКС, определены в совместном соглашении специалистов России и США «Medical evaluation Documents (MED) Volume A – medical standards for ISS Crewmembers». Они представлены в абсолютных значениях МПК (г/см²) в виде двух уровней, соответствующих по упомянутому регламенту ВОЗ верхней границе остеопении (по поясничным позвонкам L1–L4 не ниже 0,937 г/см² и по шейке бедренной кости не ниже 0,738 г/см²) и верхней границы остеопороза (соответственно 0,772 г/см² и 0,572 г/см²). Следует отметить, что эти значения МПК соответствуют нормам для женщин при обследованиях на денситометрах HOLOGIC, используемых в России и США. Нормы для мужчин соответственно должны быть выше. Динамическое наблюдение и сопоставление пациентов возможно только на денситометрах одного и того же изготовителя и значения МПК, полученные на денситометре LUNAR, также широко распространенном, будут другие.

Динамическое наблюдение за состоянием МПК космонавтов показало индивидуальную специфичность как исходного состояния костной системы, так и ее реакций на воздействие факторов космического полета.

Потери костной массы (КМ) в разных сегментах скелета увеличиваются в направлении вектора гравитации и закономерны ($r = 0,904$) лишь в трабекулярных структурах костей нижней половины скелета. В костях верхней половины скелета отмечаются отчетливые тенденции к увеличению СКМ, что является следствием перераспределения жидкостных сред и электролитов в краниальном направлении. В ранние сроки периода реадaptации может наблюдаться

вторичное снижение КМ в отдельных сегментах скелета, что отражает активацию адаптивного ремоделирования костной ткани в ответ на «возвращение» механической нагрузки.

Высокие индивидуальные значения МПК у космонавтов даже после обычных (средних по группе наблюдения) потерь МПК после полета в большинстве случаев позволяли квалифицировать ее состояние как норму, а у космонавтов с невысокой МПК как остеопению. В то же время, в одном случае, когда МПК была изначально низкой, только дополнительный прием минерального комплекса позволил достичь соответствия международным стандартам здоровья для МКС, а послеполетное состояние МПК квалифицировалось как остеопороз.

Изменения КМ весьма вариабельны индивидуально. Кроме того, после повторных полетов (ОС «Мир» и МКС) соотношение изменений МПК в разных сегментах скелета у одного и того же космонавта сохраняет индивидуальный характер независимо от типа ОС. Последнее может быть связано с фенотипическими особенностями метаболизма различных сегментов скелета (костных органов). Восстановление КМ после полетов до 6 мес описывается экспоненциальной функцией и требует времени от 1 до 3 лет.

Установлено положительное прогностическое значение исходной высокой МПК для амплитуды ее изменений после продолжительных космических полетов. При этом оказалось, что «оптимальная» исходная МПК, детерминирующая минимальные нежелательные изменения в скелете после полета, существенно выше значений нормы, установленных популяционными исследованиями в США, а также для населения Московского региона. При полетах на МКС была показана в среднем несколько меньшая амплитуда изменений МПК, чем после полетов сопоставимой продолжительности на ОС «МИР», однако индивидуальные различия значительно превышают среднюю разницу результатов при полетах на той или иной станции. Количество наблюдений не позволяет сделать доказательный вывод о связи исходно низкой величины МПК с величиной ее снижения в условиях невесомости, а также затрудняет расчет вероятности достижения критического уровня деминерализации скелета в процессе длительной (1,5–2 года) космической миссии.

Предполагается, что физиологические механизмы, обеспечивающие изменения в костной системе в условиях невесомости реализуются на тканевом клеточном и молекулярном уровне: остеоцитарный остеолиз, разобщение связи «коллаген–кристалл», замедление остеобластического гистогенеза, снижение всасывания Са в кишечнике и реабсорбции его в почках, активация остеокластической резорбции. Наблюдаемые явления можно было бы расценивать как быстро развивающуюся, но обратимую остеопению, т.е. как проявление функциональной адаптации костной системы к меняющейся механической нагрузке, однако при сопоставлении с клинической практикой возникает ряд опасений.

По аналогии с клинической практикой оценку МПК проводят в участках с преобладанием губчатой костной ткани: поясничные позвонки и проксимальный эпифиз бедра, в то время как наши наблюдения часто показывают более значительные потери в других участках скелета в т.ч. с компактной костной структурой. Отсутствие средств динамического наблюдения на борту ОС не позволяет говорить о равномерности потери и стабилизации МПК за какой-либо срок. Такая высокая скорость снижения МПК в земных условиях не встречается. Так, у мужчин отрицательная костная динамика с возрастом минимальна, а у женщин «физиологическая» скорость потерь МПК в постменопаузе в поясничных позвонках обычно не превышает 2 % за год.

Измерение МПК не дает представления о качестве оставшейся костной ткани, которая может реагировать на изменение внешних условий не только как материал, но и как конструкция. Особенности формирования костной архитектуры в невесомости требуют дальнейшего изучения.

Поскольку число наблюдений невелико, отмеченная индивидуальная вариабельность не дает оснований для уверенности, что потери МПК в других случаях не окажутся более значительными.

Успешно проведенные длительные космические миссии внушают оптимизм и не дают оснований считать риски для костной системы при полетах данной продолжительности чрезмерными. Однако увеличение продолжительности пребывания человека в космосе и числа космонавтов потребует ответов на поставленные выше вопросы.

КОРТИКАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА, ВЫЗВАННЫЕ ЛОКОМОТОРНОЙ СТИМУЛЯЦИЕЙ ОПОРНЫХ ЗОН СТОП, У КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Носикова И.Н.¹, Томиловская Е.С.¹, Рукавишников И.В.¹, Румшильская А.Д.², Литвинова Л.Д.², Печенкова Е.В.², Мершина Е.А.², Синицин В.Е.², А. Ван Омберген³, Ф.Уайтс³, Шишкин Н.В.¹, Козловская И.Б.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ФГБУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России

³ Университет г. Антверпен, Бельгия

CORTICAL BRAIN RESPONSES TO INDUCED LOCOMOTOR STIMULATION OF SOLES SUPPORT ZONES IN ASTRONAUTS AFTER LONG-TERM SPACE FLIGHT. PRELIMINARY RESULTS

Nosikova I.N.¹, Tomilovskaya E.S.¹, Rukavishnikov I.V.¹, Rumshiskaya A.D.², Litvinova L.D.²,

Pechenkova E.V.², Merzhina E.A.², Sinitsin V.E.², A.Van Ombergen³, F.Wuyts³, Shiskin N.V.¹, Kozlovskaya I.B.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Medical Rehabilitation Center, Ministry of Health, Moscow;

³ Antwerp University, Belgium

Известно, что длительное пребывание в условиях измененной гравитации сопровождается нарушениями в системах двигательного управления, в частности - управления точностными движениями человека [Koziovskaia I.B., 1987]. Механизмы этих нарушений до настоящего времени изучены недостаточно. Имеются основания предполагать, что в развитии данных нарушений существенная роль может принадлежать изменению функциональной организации нервной сети коры головного мозга (КГМ), обеспечивающей адаптацию к новым условиям среды обитания. В совместных работах специалистов ГНЦ РФ – ИМБП РАН и НЦ неврологии РАМН с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) были описаны зоны активации КГМ при осуществлении механической стимуляции опорных зон стоп в режиме локомоций, аналогичные таковым при осуществлении воображаемых движений [Кремнева Е.А., 2013]. В связи с вышесказанным, задачу исследования составляло изучение зон КГМ, вовлеченных в регуляцию локомоций, до и после космических полетов (КП).

Исследование проведено с участием 6 членов экипажей международной космической станции, длительность полетов которых составляла 6 мес. В качестве контроля использовались данные 6 здоровых добровольцев. У испытуемых обеих групп проводились фМРТ исследования корковых проекций на фоне локомоторной стимуляции опорных зон стоп. Исследования выполнялись по специально разработанному протоколу, в котором 20 с стимуляции чередовались с 20 с покоя, протокол включал 8 сессий [Черникова Л.А., 2011]. Стимуляция опорных зон стоп осуществлялась в режиме локомоций со скоростью 75 шагов/мин и давлением 40 кПа. В группе космонавтов фМРТ исследования проводились до начала и на 8–9-е сутки после завершения КП, а также через 6 мес восстановительного периода.

Аналогично, в группе контроля исследования проводились также до и после 6 месячного периода «дублирующего» периода пребывания космонавта в полете. Ни у одного добровольца через 6 мес после первого сканирования существенных изменений в зонах активации при локомоторной активности не обнаружилось.

В группе космонавтов изменения через 6 мес были различными. (На данном этапе только 3 космонавта завершили исследование в полном объеме. Еще 3 космонавта находятся в периоде восстановления и в ближайшем будущем завершат обследование полностью). У 2 космонавтов из 6 объемы очагов активации в первичной и вторичной моторной коре имели отличные от нуля значения на 8–9-е сутки сканирования. У остальных активация в первичной и вторичной моторной коре была близкой к нулю.

Через 6 мес после завершения КП практически у всех членов группы паттерн активации возвращался к исходным значениям, что свидетельствует о том, что эти изменения носят обратимый характер.

Исследование поддержано грантом РФ №14-25-00167.

ПРОФИЛЬ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, КОДИРУЮЩИХ ЦИТОСКЕЛЕТНЫЕ БЕЛКИ В КЛЕТКАХ ЛИЧИНОК *DROSOPHILA MELANOGASTER*, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСЛЕ 44,5-СУТОЧНОГО ПОЛЕТА СПУТНИКА «ФОТОН-М № 4» И 12-СУТОЧНОГО ПОЛЕТА НА БОРТУ РС МКС

Огнева И.В.^{1,2}, Куприянова М.С.^{1,2}, Жданкина Ю.С.², Сычев В.Н.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Первый Московский Государственный Медицинский Университет им. И.М.Сеченова

EXPRESSION PROFILE OF GENES, ENCODING CYTOSKELETAL PROTEINS, IN *DROSOPHILA MELANOGASTER* LARVAE CELLS AFTER 44.5-DAY SPACEFLIGHT ON SATELLITE «FOTON-M» № 4 AND 12-DAY SPACEFLIGHT ON RUSSIAN SEGMENT OF ISS

Ogneva I.V.^{1,2}, Kupriyanova M.S.^{1,2}, Zhdankina Yu.S.², Sychev V.N.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² I.M.Sechenov First Moscow State Medical University

Целью данной работы был скрининговый анализ экспрессии генов, кодирующих белки цитоскелета клеток личинок *Drosophila melanogaster*, полученных после 44,5-суточного космического полета (КП) (спутник «Фотон-М» № 4, 2014, Россия) (было получено 3-е поколение личинок) и последующего 12-суточного КП (РС МКС, 2014, Россия) (было получено 5-е поколение личинок) для выявления генов-мишеней факторов КП.

Материалом исследования служили личинки 3-й стадии развития *Drosophila melanogaster* линии Canton S, полученные после 44,5-суточного КП космического аппарата «Фотон-М» № 4 (сроки полета: 19.07.14, 0:50 мск, Байконур, Казахстан – 01.09.14, 13:20 мск, Оренбургская область, Россия) и 12-суточного КП на борту Российского сегмента

Международной космической станции (29.10.14, 10:06 мск, Байконур, Казахстан – 10.11.14, 06:58 мск, севернее г. Аркалык, Казахстан).

На борту спутника «Фотон-М» № 4 объекты исследования были размещены в пластиковых пробирках объемом 50 мл типа Falcon в 3 блоках ББ-2 научной аппаратуры ББ-1Ф, в которых была обеспечена пассивная оксигенация за счет воздушной среды спутника. В каждый блок ББ-2 были помещены 30 пробирок, закрытых воздухопроницаемыми крышками. В пробирках находилась твердая стандартная (для разведения дрозофилы) питательная среда следующего состава.

За 80 ч до старта спутника имаго *Drosophila melanogaster* линии Canton S (3–5 пар самок и самцов), возрастом 2 дня, были помещены в пробирки, которые далее были загружены в научную аппаратуру ББ-1Ф (разработана В.Седлецким, ГНЦ РФ – ИМБП РАН). Все процедуры проводили при комнатной температуре (24–26 °С).

Во время нахождения на стартовом столе и полета спутника был осуществлен мониторинг состояния среды в спутнике, осуществлен контроль температуры и газового состава среды. Средняя температура в полете составила 18,1 °С, давление в аппарате – 100 529 Па, содержание O₂ – 134,5 мм рт. ст., CO₂ – 2,22 мм рт. ст., влажность – 39,6 %. Синхронный наземный контроль проводили в тех же температурных условиях и при поддержании воздушного состава среды, аналогичного тому, что был измерен во время полета спутника. Процедуры подготовки и загрузки биообъектов были аналогичны таковым перед стартом спутника, так же, как и распределение биоматериала для исследований после окончания срока эксперимента.

Распределение биоматериала и его фиксацию после посадки спутника проводили следующим образом. Биоматериал (личинки 3-й стадии развития) из одного блока ББ-2 был зафиксирован через 1,5 ч после приземления спутника (группа «3LF» соответственно), из второго блока ББ-2 – через 12 ч (группа «3LF+12h» соответственно), из третьего блока ББ-2 – через 24 ч (группа «3LF+24h» соответственно). Часть личинок была оставлена в пробирках с целью получения их потомства для повторного экспонирования в космосе.

Соответственно были сформированы следующие группы после окончания синхронного контроля: группа «3LS» (зафиксированные через 1,5 ч после окончания эксперимента личинки 3-й стадии развития), группа «3LS+12h» (личинки, зафиксированные через 12 ч после окончания), группа «3LS+24h» (личинки, зафиксированные через 24 ч после окончания).

После приземления спутника «Фотон-М» № 4 из незафиксированных личинок 3-го поколения получили имаго, которые затем дали 4-е поколение. Аналогично личинки 3-го поколения, полученные в синхронном контроле, также дали 4-е поколение. Личинки 4-го поколения третьей стадии развития (5 пар самцов и самок) были отправлены на Российский сегмент МКС на борту ТГК «Прогресс М-25М» № 424. После приземления через 12 сут с экипажем МКС 40/41 на борту ТПК «Союз ТМА-13М» № 713 были получены живые имаго 4-го поколения и личинки 5-го поколения. Материал был зафиксирован на месте посадки через 1,5 ч после приземления спускаемого аппарата.

После 12-суточного КП были сформированы следующие группы исследования: «5LFF» - 5-е поколение личинок той линии, где 3-е поколение личинок получено в полете спутника «Фотон-М» № 4; «5LSF» - 5-е поколение личинок той линии, где 3-е поколение личинок получено в синхронном эксперименте к полету спутника «Фотон-М» № 4. В наземном синхронном эксперименте к этому 12-суточному полету также получено 5-е поколение личинок и сформированы следующие группы: «5LFS» - 5-е поколение личинок той линии, где 3-е поколение личинок получено в полете спутника «Фотон-М» № 4; «5LSS» - 5-е поколение личинок той линии, где 3-е поколение личинок получено в синхронном эксперименте к полету спутника «Фотон-М» № 4.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание мРНК генов, кодирующих изоформы актина Act57B и Act87E увеличивалось в условиях гипоксии, снижаясь при возвращении к нормоксическим условиям. Однако при сочетанном действии гипоксии и факторов КП, по-видимому, микрогравитация играла определяющую роль, приводя к снижению содержания мРНК Act57B и Act87E в личинках третьего поколения, а последующее действие земной гравитации его увеличивало.

Содержание мРНК генов, кодирующих белки, связывающие мономеры актина, Argc3A и Tmod, не менялось в личинках третьего поколения, зафиксированных через различное время после посадки спутника. Не было изменений и в группе 5LSF, то есть после 12-суточного КП. Однако в группе «повторного» экспонирования снижение содержания мРНК этих генов было значительным.

Содержание мРНК генов, кодирующих белки, связывающие актиновые филаменты, менялось по-разному. Так, содержание мРНК Svil менялось только в группе «повторного» экспонирования, значительно снижаясь относительно контрольного уровня. Содержание мРНК Fim в группе личинок, зафиксированных через 1,5 ч после посадки спутника, было на уровне контроля, через 12 ч – резко снижалось, а через 24 ч – восстанавливалось до контрольных значений. При этом в группе после «первичного» 12-суточного полета 5LSF содержание мРНК Fim было ниже контрольного уровня, а в группе после «повторного» экспонирования 5LFF – еще ниже. В то же время, содержание мРНК альфа-актинина в синхронных к полету спутника контролях превышало уровень группы 5LSS, что, по-видимому, может быть связано с увеличением содержания изоформ актина в гипоксических условиях. Однако так же как и для актина, содержание мРНК Actn в личинках, зафиксированных через 1,5 ч и 12 ч после посадки спутника было существенно ниже, чем в

соответствующих контрольных группах и резко возрастало через 24 ч.

Содержание мРНК генов, кодирующих компоненты тубулинового цитоскелета, *Betatub85D*, *Msp5*, *Cct5* и *T-cp1eta*, не менялось ни в одной из групп, за исключением группы повторного экспонирования 5LFF, где содержание этих мРНК существенно снижалось. Однако содержание мРНК гена, кодирующего один из компонентов тубулинового цитоскелета, который участвует в фолдинге белков, *T-cp1* существенно превышало контрольный уровень через 1,5 ч после окончания эксперимента, снижалось через 12 ч и падало до контроля через 24 ч. Аналогичная динамика имела место в группах после полета, однако содержание мРНК в соответствующих послеполетных группах было ниже, чем в группах синхронного контроля.

Содержание мРНК генов, кодирующих такие метаболические белки как глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа и цитохром *c*, *Gapdh* и *Cyt-c*, в личинках, зафиксированных через 1,5 и 12 ч после полета спутника было существенно ниже, чем в соответствующих контрольных группах, возрастая до контрольного уровня через 24 ч после посадки. При этом в группе после «первичного» 12-суточного полета изменений в содержании мРНК *Gapdh* и *Cyt-c* не было, а в группе после «повторного» полета содержание мРНК гена, кодирующего цитохром *c*, было снижено.

Работа поддержана программой фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Программой Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология».

СОДЕРЖАНИЕ ЦИТОСКЕЛЕТНЫХ БЕЛКОВ И МАТРИЧНОЙ РНК КОДИРУЮЩИХ ИХ ГЕНОВ В КАРДИОМИОЦИТАХ МЫШЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСЛЕ 37-СУТОЧНОГО ПРЕБЫВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ НА БОРТУ АС МКС

Огнева И.В.^{1,2}, Максимова М.В.¹, Сычев В.Н.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Первый Московский Государственный Медицинский Университет им. И.М.Сеченова

CONTENT OF CYTOSKELETAL PROTEINS AND THEIR MATRIX RNA IN MICE CARDIOMYOCYTES UNDER 37-DAY SPACEFLIGHT ON AMERICAN SEGMENT OF ISS

Ogneva I.V.^{1,2}, Maximova M.V.¹, Sychev V.N.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² I.M.Sechenov First Moscow State Medical University

Длительное пребывание в условиях космического полета (КП) как человека, так и животных приводит к ряду негативных последствий для их здоровья, в частности для сердечно-сосудистой системы. Все инвазивные исследования сердечной мышцы, проведенные на различных биологических объектах, в первую очередь, на грызунах свидетельствовали о большом количестве патологических изменений в этой ткани. Однако все подобного рода исследования были возможны только после возвращения исследуемых объектов на Землю, что существенно затрудняет интерпретацию получаемых результатов.

Целью данной работы являлась оценка содержания ряда цитоскелетных белков и мРНК кодирующих их генов в клетках сердечной ткани мышей, эвтаназия которых проводилась на борту Американского Сегмента Международной Космической Станции (АС МКС) через 37 сут после старта космического корабля SpaceX 4 (сентябрь 2014 г., США). Были выделены 4 группы исследования: F - группа полета, G - группа синхронного контроля, V - группа виварного контроля, B - группа базального контроля, в каждой из которых было по 5 животных.

В группах "B" и "V" содержание мРНК всех исследованных генов не отличалось от группы "G". Относительное содержание мРНК генов, кодирующих бета- и гамма-актин (компоненты микрофиламентов), некоторые актин-связывающие белки (*Arcp3*, *Svil*, *Lcp1*, *Actn1*) бета-тубулин (компонент микротрубочек) в клетках левого желудочка сердца было одинаковым во всех группах исследования. Содержание мРНК *Des*, *Actn4*, *Cct5*, *Cct7*, *Cycc*, *Gapdh* в группе "F" снижалось по сравнению с группой "G" на 72 % ($p < 0,05$), 35 % ($p < 0,05$), 44 % ($p < 0,05$), 41 % ($p < 0,05$), 31 % ($p < 0,05$), 29 % ($p < 0,05$), соответственно. Относительное содержание бета-актина, гамма-актина, альфа-актинина 1, альфа-актинина 4, бета-тубулина в мембранной фракции белков правой части сердца оставалось сходным в группах "B", "V", "G" и "F". В цитоплазматической фракции относительное содержание бета-актина, гамма-актина, бета-тубулина и десмина также не менялось в группах "B", "V", "G" и "F". В то же время, относительное содержание альфа-актинина 1 и альфа-актинина 4 снижалось в группе "F" по сравнению с группой "G" на 40 % ($p < 0,05$) и 30 % ($p < 0,05$) соответственно.

В то же время, полученные нами ранее данные после полета биоспутника «БИОН-М» № 1 (2013 г., Россия), свидетельствовали о том, что содержание бета-актина в мембранной фракции белков во всех группах исследования находилось на одном уровне, при этом в цитоплазматической фракции белков имело место снижение содержания бета-актина в группе после полета, так же как и содержания соответствующей мРНК. Содержание гамма-актина и уровень экспрессии соответствующего гена не менялись. Содержание альфа-актинина-1 оставалось без изменений в послеполетной группе, в то время как содержание соответствующей мРНК в группе после полета было выше, чем

в контрольных группах. Содержание альфа-актина-4 в мембранной фракции белков кардиомиоцитов левого желудочка мышей послепополетной группы было снижено на 28 % относительно контроля при отсутствии изменений в цитоплазматической фракции. При этом экспрессия соответствующего гена снижалась на 18 %.

Таким образом, сопоставляя полученные в этих экспериментах данные, можно предложить гипотезу, что пребывание в условиях длительного КП приводит к снижению уровня экспрессии генов, кодирующих Des, Actn4, Cct5, Cct7, Cucs, Gapdh, а также к снижению относительного содержания альфа-актина 1 и альфа-актина 4 в цитоплазматической фракции белков. Пребывание в течение 13 часов в условиях действия земной гравитации после длительного КП приводит к снижению уровня экспрессии гена, кодирующего бета-актин, а также к уменьшению его продукта в цитоплазматической фракции белков; увеличению экспрессии Actn1 и восстановлению содержания этого белка до контрольного уровня; увеличению экспрессии Actn4 и перераспределению его продукта между мембранной и цитоплазматической фракциями. В то же время такое сопоставление имеет характер предположения, что связано с несколько различной длительностью полета, полем и линией животных, процедурами диссекции, заморозки и хранения биоматериала и пр.

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Программой Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология».

ЦЕНТРИФУГА КОРОТКОГО РАДИУСА – НОВОЕ СРЕДСТВО ПРОФИЛАКТИКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ЭФФЕКТОВ НЕВЕСОМОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДЛИТЕЛЬНЫМ МЕЖПЛАНЕТНЫМ ПОЛЕТАМ

Орлов О.И., Котовская А.Р., Колотева М.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

SHORT RADIUS CENTRIFUGE THERE IS A NEW METHOD OF PREVENTION ADVERSE EFFECTS OF MICROGRAVITY APPLIED TO LONG INTERPLANETARY FLIGHTS

Orlov O.I., Kotovskaja A.R., Koloteva M.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Длительное пребывание в условиях невесомости закономерно вызывает изменения гемодинамики с развитием детренированности сердечно-сосудистой системы и венозного застоя во внутренних органах, а также изменения функций опорно-двигательного аппарата и мышечной системы, водно-солевого обмена и систем его регуляции, кальциевого метаболизма и минеральной насыщенности костной ткани, изменения в системе крови, снижение иммунологической реактивности организма (Газенко О.Г., 1984; Григорьев А.И., Егоров А.Д., 1988, 1997). Несмотря на проводимые профилактические мероприятия, основными медицинскими проблемами на заключительном этапе полета по-прежнему являются утомление и астенизация, снижение переносимости перегрузок на спуске (Богомолов В.В., Моргун В.В., 2001; Котовская А.Р., 1970, 1976; Котовская А.Р., И.Ф. Виль-Вильямс 2001; Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф., Лукьянюк В.Ю., Катаев Ю.В., 2005; Котовская А.Р., Колотева М.И., 2011), детренированность сердечно-сосудистой системы к ортостатическим воздействиям (Богомолов В.В., Моргун В.В., 2001) и физической нагрузке, вестибуловегетативная дисфункция, нарушения движений и координации; атония и атрофия скелетных мышц (Козловская И.Б., Степанцов В.И., Егоров А.Д., 2005). Снижение ортостатической устойчивости людей в послепополетном периоде является следствием развития детренированности ССС в условиях невесомости (Газенко О.Г., Какурин Л.И., 1976). Открывающаяся перспектива межпланетных полетов с их возрастающей продолжительностью и автономностью существования человека в космосе предъясняет повышенные требования к обеспечению медицинской безопасности и ставит новые проблемы перед космической биологией и медициной. Среди этих проблем особое место занимает предсказанная К.Э. Циолковским возможность устранения неблагоприятных эффектов невесомости созданием в космических летательных аппаратах искусственной силы тяжести (далее «искусственная гравитация» – ИГ). Существуют 2 общие концепции профилактики неблагоприятного влияния невесомости на организм человека. Первая концепция состоит в том, чтобы предотвратить адаптацию организма к невесомости (Котовская А.Р., Галле Р.Р., Шипов А.А., 1977; Котовская А.Р., Шипов А.А., Виль-Вильямс И.Ф., 1996; Пестов И.Д., Гератеволь З.Дж., 1975; Пестов И.Д., 2006) путем созданием на космических кораблях постоянного и достаточно полного эквивалента земной силы тяжести. Наиболее реальной в практическом отношении следует считать вторую концепцию, подразумевающую использование на борту космической станции центрифуги короткого радиуса (ЦКР) для создания кратковременных, но периодически повторяющихся гравитационных нагрузок (Котовская А.Р., 1970; Котовская А.Р., Шипов А.А., Виль-Вильямс И.Ф., 1996; Пестов И.Д., Гератеволь З.Дж., 1975). Наземные исследования с использованием ЦКР, проводившиеся в России, США и Японии, выявили принципиальную возможность профилактики ряда неблагоприятных последствий невесомости с помощью периодического использования гравитационных стимулов на центрифуге короткого радиуса, особенно со стороны сердечно-сосудистой системы. В ИМБП имеется уникальный опыт проведения сложных наземных экспериментов по моделированию факторов космических полетов различной длительности с участием человека. В 2015 г.

введена в эксплуатацию новая ЦКР для проведения комплексных экспериментов по проблеме ИГ и решения проблем освоения человеком дальнего космоса при полетах за пределы магнитосферы Земли. Итогом целенаправленных наземных исследований будет разработка бортового варианта ЦКР с перспективой апробации наземных результатов в орбитальных полетах.

Методы исследования. Проведен ретроспективный анализ данных наземных исследований (ИМБП, Россия, 1963–1992 гг.) по проблеме искусственной силы тяжести с длительным вращением мужчин (21–45 лет) на специальных стендах: Медленновращающаяся комната (МВК-1) – вращения с постоянной угловой скоростью в течение 24 часов при ограничении подвижности и внешних раздражений; Юпитер-1 – вращения со скоростью 15,3 об./мин. до 4 часов при изменяющемся радиусе центра масс кабины и угле отклонения кабины от горизонта; Юпитер-2 – вращения с угловой скоростью 6 или 9 об./мин. в течение 5 часов; ЦКР – воздействие перегрузок направления «голова-таз» (+Gz) на уровне стоп до 1,6 ед. Проведено 93 исследования переносимости перегрузок +Gx космонавтами Международной Космической Станции (МКС) на этапе спуска космических кораблей (КК) «Союз» в течение 2000–2015 гг. в кратковременных (8–14 суток) и длительных (164–199 суток) КП. Спуск на Землю КК «Союз» в 2001, 2003, 2007 и 2008 гг. осуществлялся в режиме штатного спуска с переходом в режим баллистического спуска (БС). Проведен сравнительный анализ переносимости перегрузок на этапе штатного и баллистического спусков, а после 6-месячных КП на Российском сегменте (РС) МКС и годовых КП на ОС «МИР» (ретроспективный анализ). Переносимость перегрузок оценивали на основе данных объективной информации: изменений ЭКГ, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и частоты дыхания (ЧД), получаемой с помощью штатной аппаратуры медицинского контроля, а также анализа субъективных ощущений космонавтов при устном собеседовании и их опросе по специальной анкете после полета. В контексте эксперимента с 8-суточной изоляцией «Луна-2015» ЦКР впервые была использована в группе 5 испытуемых женщин-добровольцев для отработки тестовых режимов вращений до и после изоляции: перегрузки 1,5 ед. и до 2,0 ед. (на уровне стоп с учетом земной гравитации) с «площадками» длительностью 180 сек каждая; общее время вращения составляло ≈ 14 минут. Гравитационный градиент ($\Delta G \%$) = 85 %. Действующим фактором в испытаниях являлись перегрузки направления «голова-таз» (+Gz). Для сравнительной оценки переносимости различных режимов перегрузок с точки зрения гендерных (женщины, мужчины) различий переносимости перегрузок использовались данные, полученные при вращении по аналогичным режимам перегрузок на ЦКР у 6 мужчин-добровольцев в возрасте от 21 до 35 лет. Регистрация физиологических показателей у испытуемых проводилась в покое (до и после вращений) и при воздействии перегрузок на ЦКР. После окончания испытаний проводился осмотр кожных покровов испытуемых для выявления петехиальных и иных кровоизлияний, связанных с действием перегрузок. Переносимость перегрузок оценивалась на основе анализа данных объективной физиологической информации и субъективных ощущений с помощью опроса по специально разработанной анкете. Допуск к вращениям всех испытуемых на ЦКР осуществлялся по критериям, принятым для космонавтов-профессионалов. Вращения женщин проводились независимо от фазы менструального цикла. Статистическая обработка данных проводилась с использованием непараметрических методов сравнения независимых групп – критерия Вилкоксона а также непараметрических методов сравнения независимых групп – U-критерия Манна-Уитни и качественных признаков – критерия χ^2 (оценивалось наличие/отсутствие достоверных различий между группой анализируемых признаков, а также ранжирование (значимость) отдельных нарушений в статистической значимости различий). Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. В результате ретроспективного анализа данных наземных исследований (ИМБП, Россия, 1963–1992 гг.) по проблеме искусственной силы тяжести установлена принципиальная возможность активного существования человека (до 1 мес) во вращаемой системе с постоянной угловой скоростью (до 6 об/мин). Определена возможность профилактики с помощью ЦКР снижения переносимости функциональных проб после моделированной невесомости (ортопробы, перегрузок +3 Gz, пробы с ОДНТ). Сочетанное воздействие ЦКР с тренировками на велоэргометре и приемом водно-солевых добавок способствовало поддержанию гравитационной устойчивости в большей мере, чем использование этих средств в отдельности, выявлены некоторые ограничения в связи с появлением негативных эффектов при вращениях на ЦКР.

В условиях реальных КП выявлены наиболее яркие проявления детренированности организма космонавтов на спуске и в послеполетный период после КП различной длительности. В подавляющем большинстве случаев все оценки снижения переносимости перегрузок на спуске были обусловлены напряжением физиологических систем организма и/или изменениями на электрокардиограмме и вплоть до резко выраженных проявлений в виде нарушений сердечного ритма в виде политопной, групповой экстрасистолии, эпизодов относительной брадикардии, эпизодов пароксизмальной тахикардии, нарушений внутрипредсердной проводимости с эпизодами деформации зубца Р по двугорбому типу, миграцией водителя ритма, появления признаков ишемических изменений миокарда и ухудшения процессов реполяризации, что свидетельствовало о значительной детренированности организма. Снижение порога появления нарушений физиологических функций человека при спуске на Землю после пребывания в невесомости появляются при более низких величинах перегрузок. Тем более, в условиях БС после невесомости различной длительности по сравнению с штатным спуском и, особенно после длительных КП, выявлено отчетливое уменьшение

функциональных резервов организма космонавтов: достоверно более высокие величины ЧСС, чаще затруднения дыхания, речи и вестибуловегетативные расстройства. Переносимость перегрузок на этапе спуска КК на Землю снижалась у всех космонавтов и после всех КП. Независимо от продолжительности КП после посадки в 100 % наблюдений у всех космонавтов отмечены признаки ортостатической неустойчивости в виде учащения сердечных сокращений, снижения систолического и пульсового давления, а главное, увеличения предрасположенности к развитию обморочных состояний при попытках принять вертикальную позу, свидетельствующие о резко выраженной детренированности сердечно-сосудистой системы (ССС), а в отдельных случаях на фоне вестибуловегетативных расстройств (тошноты, рвоты). Частота различных нарушений после длительных полетов была отчетливо большей, чем после кратковременных КП, а также при БС, чем при штатном режиме. Степень снижения ортостатической устойчивости не зависит от длительности КП: снижение ортостатической устойчивости после полета сроком 14 дней не было большим, чем после 6-месячных или 6-ти суточных КП. У космонавтов МКС в послеполетном периоде появлялись отчетливые признаки предобморочного состояния или кратковременного обморока в отличие от предыдущих космических полетов на ОС «МИР», когда такой степени детренированности ССС не возникало. Всего было зарегистрировано 10 случаев возникновения кратковременных обмороков, из которых 8 случаев при штатном режиме спуска, а 2 случая – при БС. Кроме того, из 10 наблюдений в 4 случаях обморочные состояния были у российских космонавтов, а в 6 – у астронавтов разных стран.

Медицинские испытания на ЦКР с участием мужчин позволили технически подготовить стенд ЦКР к эксплуатации и провести серию тестовых испытаний впервые с участием женщин. Во всех испытаниях добровольцы по субъективной оценке воспринимали воздействие перегрузок достаточно легко, оценивали свое состояние в целом как хорошее. Жалоб на ухудшение самочувствия или появление каких-либо симптомов, лимитирующих переносимость перегрузок, не отмечено. Все исследуемые физиологические параметры не превышали критических значений и соответствовали хорошей переносимости. После завершения исследования самочувствие всех испытуемых, по субъективной оценке было хорошим, все испытуемые самостоятельно, без посторонней помощи перешли из зала ЦКР в медицинскую комнату. Ортостатических и вестибулярных нарушений не наблюдалось. При осмотре после вращения петехиальных и иных изменений на кожных покровах не выявлено. Значения физиологических показателей не превышали допустимых значений. В целом, переносимость перегрузок во время вращений на ЦКР у всех испытуемых соответствовала хорошей оценке.

Практика космических полетов свидетельствует также о том, что несмотря на меры профилактики, явления детренированности ССС возникают в невесомости, и это особенно ярко проявляется при действии перегрузок на этапе возвращения человека на Землю, а также в послеполетном периоде. Причина детренированности ССС человека связана с исчезновением гидростатического компонента давления крови в условиях невесомости. Реальным вариантом нового профилактического средства, следует считать периодическое создание ИГ, путем использования на борту станции ЦКР. Необходимы целенаправленные наземные исследования по изучению особенностей организма человека применительно к переносимости перегрузок на ЦКР в модельных экспериментах и, особенно в условиях реальных полетов.

РАЗВИТИЕ И ОСОБЕННОСТИ СЕМЯНОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЭКСПОНИРОВАННЫХ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ «БИОН-М»№ 1 И «ФОТОН-М»№ 4 СЕМЯН

Павлова Е.А., Рузаева И.В., Кавеленова Л.М., Горелов Ю.Н.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара

DEVELOPMENT AND SEED FORMATION FEATURES OF NATIVE FLORA PLANTS GROWN FROM SEEDS EXPOSED ON «BION-M» № 1 AND «FOTON-M» № 4 SATELLITES

Pavlova E.A., Ruzayeva I.V., Kavelenova L.M., Gorelov Yu.N.

Samara national research university, Samara

Полувековой опыт освоения человеком околоземного космического пространства, в получении которого ведущую роль сыграли СССР, а позднее – Российская Федерация, существенным образом изменил повседневную жизнь человечества. Благодаря использованию космических аппаратов изучены различные стороны физических процессов, протекающих вне земной атмосферы, оцениваются энергетические потоки, часть которых достигает земной поверхности, находятся подтверждения гипотезам, объясняющим процессы мира элементарных частиц и далеких звезд [Воронов и др., 1994]. В то же время использование космических технологий является основой современного информационного пространства, средств связи, источником огромного массива данных в области дистанционного зондирования Земли.

Оказываясь на околоземной орбите, живые организмы, как человек (космонавт), так и все другие формы земной жизни испытывают на себе влияние комплекса факторов космического полета (особые энергетические воздействия, отсутствие гравитации, радиация и пр.). Более полувека суммарные эффекты комплекса факторов и составляющих этого воздействия изучаются биологами и медиками как на космических кораблях, так и в последующих послеполетных

экспериментах [Сычев и др., 2002, 2007]. Естественно, что организм человека в этом отношении изучался особенно пристально, так как имеется необходимость противодействия негативным изменениям здоровья, развивающимся в ходе космического полета.

С другой стороны, растения в виде семян и иных объектов (луковиц, вегетирующих растений) неоднократно использовались в космических экспериментах (изучение особенностей развития, программ регуляции растительного организма, выявление эффектов неспецифического мутагенеза и пр.) [Krikorian et al., 1992; Сычев и др., 2007]. С 2013 г. к проведению космических экспериментов с растениями подключился Самарский государственный университет, сейчас послеполетный этап экспериментов проводят совместно сотрудники Ботанического сада Самарского университета, сотрудники и студенты биологического факультета. Наша работа является частью данного исследования и вносит вклад в нахождение ответа на вопрос - насколько безопасно длительное нахождение в космосе семян высших растений природной флоры? Решив этот вопрос, человечество откроет новые возможности для реализации масштабных проектов в области сохранения биоразнообразия.

Целью нашей работы было получение новых данных по влиянию космического полета на особенности начального развития растений природной флоры после экспонирования их семян на космических аппаратах (КА) «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4.

Задачи исследования включали два блока направлений:

- исследование влияния факторов космического полета на всхожесть, рост и онтогенетическое развитие растений, полученных из экспонированных на борту КА «Бион-М» и «Фотон-М» семян 20 видов высших растений природной флоры;

- оценку качества семян, сформированных растениями, полученными из экспонированных на борту «Бион-М» № 1 семян и изучение начальных этапов развития полученных из них растений (первого поколения потомков).

На борту КА «Бион-М» № 1 было реализовано 79 научных экспериментов как российских, так и зарубежных научных организаций, в том числе космический эксперимент, проведенный с использованием научной аппаратуры «БИОКОНТ-Б», с семенами редких растений Самарской области (разработчик НА – ЦНИИМаш (г. Королев, Московская обл.), постановщик – Ботанический сад Самарского университета; «БИОКОНТ-Б/Ботсад»). На борту космического аппарата «Фотон-М» № 4 при помощи специализированного оборудования также был проведен ряд экспериментов, включая космический эксперимент с семенами редких растений Самарской области (разработчик НА – ЦНИИМаш (г. Королев, Московская обл.), постановщик КЭ – Ботанический сад Самарского университета; КЭ – «БИОКОНТ-Б/Ботсад») [3, 34]. Объектами наших исследований послужили семена 9 видов редких растений природной флоры Самарской области, которые экспонировались на КА «Фотон-М» №4: астра альпийская *Aster alpinus* L., гвоздика Андреевского *Dianthus andrzejowskianus* Kulcz., касатик карликовый *Iris pumila* L., клематис цельнолистный *Clematis integrifolia* L., лен многолетний *Linum perenne* L., лилия мартагон *Lilium martagon* L., примула крупночашечковая *Primula macrocalyx* Bunge, прострел раскрытый *Pulsatilla patens* (L.) Mill, синюха голубая *Polemonium caeruleum* L. и 10 видов высших растений, экспонированных на КА «Бион-М» № 1: астранция большая *Astrantia major* L., беламканда китайская *Belamcanda chinensis* (L.) DC., василек русский *Centaurea ruthenica* Lam., ветреница лесная *Anemone sylvestris* L., ирис безлистный *Iris aphylla* L., ирис солелюбивый *Iris halophila* Pall, пион молочноцветковый *Paeonia lactiflora* Pall., пион тонколистный *Paeonia tenuifolia* L., шаровница крапчатая *Globularia punctata* Lapeyr, ясенец голоistolбиковый *Dictamnus gymnostylis* Steven.

Исследования включали воздействие комплекса факторов космического полета на семена, экспонируемые на борту космических аппаратов и послеполетные исследования. В экспериментах на «Бион-М» № 1 все образцы семян испытывали одинаковое воздействие при их экспонировании внутри экспериментального модуля. На «Фотон-М» № 4 семена каждого испытуемого вида располагались в трех вариантах размещения, что изменяло характер воздействия на них: в обычном модуле (как на «Бион-М» №1), гипомагнитном модуле и в обычном модуле, но с дополнительной свинцовой экранирующей от остаточной радиации упаковкой.

Комплекс послеполетных исследований высших растений, развившихся из экспонированных на КА семян, включал проведение необходимых агротехнических мероприятий по уходу за растениями (прополка, рыхление, полив, пересадка) и собственно проведение исследований.

Методами послеполетного исследования высших растений, развившихся из экспонированных на КА «Фотон-М» № 4, были визуальное наблюдение, проведение морфометрических измерений, подготовка цифровых фото. Для исследования первого поколения семян высших растений, развившихся из экспонированных на КА «Бион-М» №1 был произведен посев и последующие наблюдение, оценка полевой всхожести, проведение морфометрических измерений, подготовка цифровых фото.

Проведение послеполетных испытаний семян, прошедших экспозицию на КА «Бион», было начато в 2013 г. Семена данных 9 видов растений были получены после экспонирования на КА «Бион-М» № 1 21 мая и 25 июля высеваны в открытый грунт на глубину 1– 2 см, в соответствии с размером семян. До настоящего момента не появилось всходов у лилии мартагон, примулы крупночашечковой и астры альпийской. многолетние растения, которым в природе свойственны неодинаковые продолжительность жизни и скорость онтогенетического развития, обнаружили заметные различия.

В вегетационном периоде 2015 г. растения группы БИОН-Р (выросшие из экспонированных на борту КА семян): лен многолетний, синюха голубая, гвоздика Андржеевского – вступили в генеративную фазу развития и дали семена; ирис низкий, прострел раскрытый – находились в ювенильной стадии развития; не сформировали всходов лилия мартагон, примула крупночашечковая, астра альпийская.

Сформированные в 2015 г. растениями группы БИОН-Р семена характеризовались следующими показателями: масса 1000 семян: лен многолетний – 1,4 г; синюха голубая – 0,7 г; гвоздика Андржеевского – 0,5 г; полевая всхожесть к осени 2015 г. лен многолетний - 32%; синюха голубая – 4%; гвоздика Андржеевского – 11 %.

Из растений посева 2015 года, полученных из семян, сформированных растениями группы БИОН-Р (группа БИОН-F1) у льна многолетнего и гвоздики Андржеевского мы наблюдали наличие особей, которые имеют разные возрастные состояния. Среди всходов льна присутствовали растения в ювенильном и виргинильном состояниях, с преобладанием последнего. Синюха голубая имела меньшую скорость онтогенетического развития, у нее большинство особей относилось к ювенильному состоянию

Для семян, экспонированных на КА «Фотон-М» и высеванных в грунт в 2014 г., мы установили в конце вегетационного периода 2015 г. наличие развитых всходов у астранции большой, беламканды китайской, василька русского, ветреницы лесной, ириса безлистного, ириса солелюбивого, шаровницы крапчатой. У пиона молочнокветкового, пиона тонколистного и ясенца голостолбикового во время наблюдений в апреле 2016 г. было отмечено появление всходов в группе некоторых модулей, что соответствовало необходимости прохождения этими семенами особой естественной стратификации.

Анализ развития растений, полученных посевом экспонированных на КА «Фотон - М» семян, выявил наиболее заметные эффекты для большинства видов-объектов при размещении семян в гипомагнитном модуле (наблюдались как стимуляция, так и ингибирование по сравнению с контролем). Для поверхностного и экранированного модулей выявлено по 1 объекту, отличающемуся высоким ингибированием (ветреница лесная и ирис солелюбивый соответственно), у которых к осени 2015 г. всходы отсутствовали. Прочие эффекты в этих модулях были ограничены уровнем 20 % в расхождении с показателями контроля.

Для растений группы «Фотон-М» полевые наблюдения подтвердили наличие указанного ранее эффекта возрастания неоднородности растений, преимущественно на ранних стадиях развития. Среди всходов наблюдались более крупные экземпляры, которые значительно опережают по развитию соседние особи, что отчетливо показали растения беламканды китайской и василька русского.

Мы считаем, что эти данные следует рассматривать как промежуточные, а в случае «Фотона» - предварительные, и продолжим изучение последующих этапов развития всех экспериментальных растений.

ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ ВО ВРЕМЯ ДЫХАНИЯ КИСЛОРОДОМ, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПОДГОТОВКУ К РАБОТЕ В СКАФАНДРЕ ПЕРЕД ВКД

Памова А.П., Суворов А.В., Федорович А.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CHARACTER OF CIRCULATION DURING INHALATION OXYGEN SIMULATING PREPARATION FOR ACTIVITY IN SPACESUIT BEFORE EXTRAVEHICULAR ACTIVITY

Pamova A.P., Suvorov A.V., Fedorovich A.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одной из наиболее экстремальных ситуаций при пребывании в космосе остается выход в открытый космос и внекорабельная деятельность (ВКД). Космонавтам требуется предварительная десатурация организма от азота, которая обеспечивается дыханием чистым кислородом (нормобарическая оксигенация). Необходимость такой процедуры обусловлена тем, что при работе в скафандре с давлением ниже обычного, азот, находящийся в тканях человека, начинает поступать в кровь, что может приводить к развитию декомпрессионной болезни (ДКБ), а десатурация организма обеспечивает защиту от негативных явлений во время ВКД. Удаление азота из организма происходит благодаря разнице в напряжении или в парциальном давлении между тканями, кровью, альвеолярном или вдыхаемом газе, в котором, как в нашем случае, практически не содержится азота.

Однако, дыхание смесями с высокими концентрациями кислорода, сопряжено с локальными и системными неблагоприятными эффектами, в частности, изменениями целого ряда параметров центральной и периферической гемодинамики. Например, при изучении действия гипероксии на микроциркуляторное русло (МЦР) у животных было показано уменьшение капиллярной перфузии (Bertuglia, S., 1991). Вместе с тем, лишь единичные работы были посвящены изучению МЦР на здоровых людях.

Транспорт кислорода и питательных веществ к работающим мышцам (которые в условиях ВКД выполняют повышенную работу) и метаболитов от мышц обеспечивает, как известно, система крови, прежде всего, на уровне МЦР.

Проблемам реологии крови посвящено относительно много работ, но описания взаимосвязи ВКД с состоянием микроциркуляции и ее влияния на работоспособность космонавтов в доступной нам литературе выявить не удалось. Вместе с тем известны жалобы космонавтов на периодическое онемение пальцев верхних конечностей при использовании скафандра, что мешает им проводить тонкую работу при ВКД. Многочисленные исследования и испытания при работе со скафандрами «Орлан» убедили производителей скафандра в необходимости рекомендовать 30-минутную десатурацию организма дыханием чистым кислородом до начала работы с полной изоляцией от окружающей среды. В реальности процесс десатурации обычно увеличивается до 40 и даже 60 мин. Именно такое (наибольшее по продолжительности) воздействие было нами изучено с целью оценки особенностей микроциркуляции у человека при моделировании подготовки к ВКД с помощью часового дыхания чистым кислородом и проверки гипотезы о том, что нормобарическая гипероксия (НГ) в течение часа не оказывает существенного влияния на состояние микроциркуляторного русла верхних конечностей космонавтов и не является причиной чувства онемения пальцев у космонавтов при ВКД.

В комплексном эксперименте по изучению влияния часовой НГ на человека приняли участие 10 практически здоровых мужчин в возрасте от 20 до 34 лет, имеющих среднее физическое развитие и средний уровень физической работоспособности. Перед экспериментом было подписано Информированное согласие, а программа экспериментов была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ-ИМБП РАН.

Во время исследований испытуемые находились в положении сидя в помещении с комфортной температурой и при нормальном атмосферном давлении. Запись начинали после периода адаптации и отдыха. Для дыхания использовали медицинский кислород, который подавали из 40-литровых баллонов через редуктор, ресивер и лицевую маску. Из наиболее распространенных в настоящее время неинвазивных методов исследования МЦР мы выбрали лазерную доплеровскую флоуметрию (ЛДФ) с помощью ЛАКК-02 (НПП «ПЛАЗМА», Москва) и капилляроскопию с применением прибора Капилляроскан-01 (ООО «Новые Энергетические Технологии», Россия). По информативности методы дополняют друг друга и одновременное применение данных методов позволяет получать информацию о функциональном состоянии путей притока крови в микроциркуляторное русло (артериолы), путей ее оттока (венулы) и характере кровотока непосредственно в капиллярах. С помощью капилляроскопии мы оценивали общее количество капилляров (шпилек) в ногтевом ложе 4-го пальца и размер перикапиллярной зоны. ЛДФ применяли в области срединной линии предплечья на 4 см выше шиловидных отростков лучевой и локтевой костей правой руки. Оценивали уровень тканевой перфузии – М, усредненную по времени амплитуду вазомоций «активных» тонус-формирующих механизмов модуляций (эндотелиальный (Аэ), нейрогенный (Ан) и миогенный (Ам)) и «пассивных» – респираторно обусловленных (Ад) и пульсовых (Ас) колебаний кровотока. Данные параметры оценивали в условных перфузионных единицах (пф) по результатам анализа амплитудно-частотного спектра (АЧС) с использованием адаптивного вейвлет-преобразования. Ад оценивали строго на частоте соответствующей количеству дыхательных движений в минуту. На основании представленного комплекса параметров мы надеялись выявить преобладание определенного фактора в регуляции тонуса периферических сосудов. Дополнительно, с помощью прикроватного монитора реаниматолога МПР6-03 («Тритон», Россия), происходила запись параметров центральной гемодинамики (ЧСС, АД, УО, МОК, СИ, ОПС, УИ), а также параметров дыхания (ЧД, ДО, МОД). Запись параметров производили до, во время часового дыхания и в период восстановления. Полученные данные обрабатывали с помощью программы STATISTICA с использованием непараметрических статистических методов (Фридмен и Вилкоксон). Критический уровень значимости соответствовал $p < 0,05$.

По результатам анализа нами были сделаны следующие заключения: существенных изменений в центральной гемодинамике не произошло, за исключением диастолического и систолического АД. Периоды наблюдения были разделены на 4 этапа: период адаптации (1), первые 10–15 мин дыхания кислородом (2), 50–55 мин дыхания кислородом (3) и период восстановления (4). Статистические изменения диастолического АД определили с помощью метода Фридмана (уровень $p = 0,03$), группы (1–4) состояли из 10 человек, мы получили следующие медианы [квартили]: 76 [75,78], 76 [65,80]; 78 [76,80], 82 [80,86], затем провели попарно сравнение групп (Вилкоксон с введением поправки Бонферрони, уровень значимости $p = 0,017$) которое не показало различий в группах, но при проблеме множественных сравнений (ПМЖ) принято полагаться на первично проведенный метод, поэтому мы считаем, что значимые различия были. Как видно из представленных данных, диастолическое АД возрастало, и было больше в периоде восстановления (4). Также менялось и систолическое АД, по методу Фридмана (уровень $p = 0,01$) медианы [квартили] составили: 120 [113;128]; 128 [123;138]; 123 [121;124], 127 [124;130], затем попарно сравнение тех же групп по Вилкоксону (с применением поправки Бонферрони уровень значимости $p = 0,017$) выявило, что статистически значимые изменения произошли между (1) и (2) группой $p = 0,012$, а также между (1) и (4) $p = 0,007$, следовательно, как видно из представленных данных, систолическое АД возрастало к периоду восстановления. Хорошо известно, что уровень диастолического давления в основном определяется периферическим сопротивлением мелких артерий и частотой пульса, а также эластичностью сосудов, и таким образом, во время дыхания кислородом, вероятно, происходил спазм мелких артерий и артериол (так как в норме тканям необходимо всего около 5 мл кислорода из 100 мл переносимых гемоглобином, а при исследованном нами воздействии это значение выше), в результате чего, очевидно, имело место повышение диастолического АД. Систолическое АД определяется частотой и силой сердечных сокращений. Статистически достоверных изменений ОПС и ЧСС не выявлено, но оба значения имели тенденцию к увеличению. По всей видимости,

именно система регуляции АД первой отреагировала на повышенное парциальное давление кислорода во вдыхаемой смеси. По данным микроциркуляции достоверных изменений в размере перикапиллярного пространства или количестве шпилек капилляров также не происходило. Вместе с тем, была выявлена тенденция к их общему снижению, что так же логично в данной ситуации. При этом, не только при нормальном давлении, но и при пониженном давлении.

Таким образом, дыхание чистым кислородом для десатурации организма космонавта от азота перед надеванием скафандра и выходом в открытый космос не оказывает существенного влияния на периферическую гемодинамику верхних конечностей космонавта, а чувство онемения верхних конечностей, вероятно, обусловлено другими причинами.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ В КОСМОСЕ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

*Панасюк М.И.^{1,2}, Калегаев В.В.¹, Мирошниченко Л.И.^{1,3}, Кузнецов Н.В.¹, Ныммик Р.А.¹,
Попова Е.П.¹, Юшков Б.Ю.¹, Дайбог Е.И.¹, Логачев Ю.И.¹, Бенгин В.В.^{1,4}*

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, МГУ, Москва

² Физический факультет, МГУ, Москва

³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Moscow, Троицк

⁴ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EXTREME RADIATION CONDITIONS IN SPACE AND ITS POSSIBLE EFFECTS ON BIOLOGICAL OBJECTS

*Panasyuk M.^{1,2}, Kalegaev V.¹, Miroshnichenko L.^{1,3}, Kuznetsov N.¹, Nymmik R.¹, Popova E.¹,
Yushkov B.¹, Daibog E.¹, Logachev Yu.¹, Benghin V.^{1,4}*

¹ Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Physics Department of Lomonosov Moscow State University, Moscow

³ Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk

⁴ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Космическое излучение представляет собой многокомпонентные поля радиации, что затрудняет оценки радиационных рисков как для роботизированных, так и пилотируемых космических полетов. При этом нельзя исключать синергетические эффекты для разных орбит космических аппаратов, которые являются результатом одновременного воздействия различных радиационных полей. Во время экстремальной солнечной и геомагнитной активности параметры излучения требуют дополнительного исследования, так как уровень радиации может существенно возрасти. Источники космического излучения, которые мы рассматриваем в течение различных экстремальных уровней геомагнитной и солнечной активности: захваченные частицы (Trapped Radiation) на низкой околоземной орбите (НОО-LEO); проникающие в магнитосферу солнечные космические лучи (СКЛ-SCR), включая нуклонную компоненту высокой энергии (Ground Level Enhancement, GLEs) и вариации галактических космических лучей (ГКЛ-GCR). В данной работе мы делали оценку радиационной обстановки на базе эмпирических моделей для различных радиационных полей и на основе результатов измерений их физических параметров (энергетические спектры, пространственные и временные вариации) для различных уровней солнечной активности (экстремальных солнечных максимумов и солнечных минимумов) и геомагнитной (магнитные бури). Эмпирические модели основаны на построении количественного соотношения между потоками частиц и солнечной активностью (обычно используется число солнечных пятен в качестве модулирующего параметра). Мы анализируем некоторые примеры использования этих моделей для оценки изменений радиационной опасности в межпланетном пространстве для ожидаемого случая снижения уровня солнечной активности в течение ближайших солнечных циклов 25 и 26. Представлены также результаты вычислений доз облучения и эффекты, связанные с воздействием одиночных ионизирующих частиц (Single Event Effects, SEE) на низких орбитах.

ВЛИЯНИЕ ИНГИБИРОВАНИЯ КАЛЬПАИН-ЗАВИСИМОГО РАСПАДА ЦИТОСКЕЛЕТНЫХ БЕЛКОВ НА ПАСИВНУЮ ЖЕСТКОСТЬ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ КРЫСЫ ПОСЛЕ 3-СУТОЧНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ

Петрова И.О., Тыганов С.А., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

AN INFLUENCE OF CALPAIN-DEPENDENT DEGRADATION OF CYTOSKELETAL PROTEINS ON PASSIVE TENSION OF POSTURAL RAT MUSCLE AFTER 3-DAY HINDLIMB SUSPENSION

Petrova I.O., Tyganov S.A., Mirzoev T.M., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Исследования двигательной системы в условиях реальной и моделируемой невесомости показывают, что наряду с другими изменениями работы двигательной системы в постуральных мышцах наблюдаются редукция мышечной массы и снижение жесткости мышцы как в условиях покоя, так и при вызванном сокращении изолированных мышц и волокон. Оба эти комплекса изменений наряду с другими изменениями обеспечивают целесообразную двигательную адаптацию целостной биологической системы к существованию в условиях реальной или моделируемой микрогравитации. Поэтому в настоящее время, одной из актуальных проблем гравитационной физиологии скелетных мышц является выяснение природы механических свойств мышцы в условиях функциональной разгрузки. Стоит вопрос о том, какие цитоскелетные или иные факторы определяют изменения в пассивной жесткости мышцы в период функциональной разгрузки.

Цель исследования состояла в исследовании природы и механизмов изменений эластичного компонента жесткости мышцы и мышечных волокон в условиях гравитационной разгрузки.

В исследовании использовали 48 (две серии по 24 животных в каждой) половозрелых самцов крыс Wistar массой 180–220 г, которые были случайным образом разделены на 3 группы (в каждой группе по 8 животных): «Контроль», «3-HS» (антиортостатическое вывешивание в течение 3 сут), «HS+PD» (вывешивание в течение 3 сут с введением ингибитора μ -кальпаина PD 150606 в концентрации 3мг на кг массы животного). Материалом для исследования служила камбаловидная мышца (*m. soleus*) крысы. Антиортостатическое вывешивание задних конечностей с целью моделирования гравитационной разгрузки проводилось по стандартной методике Ильина-Новикова в модификации Morey-Holton. *Ex vivo* тест жесткости целой мышцы осуществлялся с помощью Aurora Scientific DMC датчика силы и растяжения мышцы. Мышца растягивалась на оптимальную длину, затем проводилось растяжение на 15 % от оптимальной длины со скоростью 250 мм/с (скорость, исключающая исключающее релаксацию напряжения). После 3 измерений фиксировался максимальный пиковый ответ. Измерялась пиковая сила, которая затем соотносилась с поперечным сечением мышцы для вычисления динамического напряжения. Для исключения влияния актин-миозинового взаимодействия при измерении жесткости использовался блеббистатин. Программа эксперимента и все манипуляции, выполняемые с животными, были одобрены комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

После 3 сут вывешивания наблюдалось достоверное ($p < 0,03$) уменьшение жесткости целой мышцы на 15 % по сравнению с контрольными мышцами. Введение ингибитора μ -кальпаина предотвращало это снижение. Эффект снижения жесткости для мышц, полученных из вывешенных крыс, при измерении силы в присутствии физраствора с блеббистатином был более ярко выражен (уменьшение на 22 %) по сравнению с идентичным измерением без блокатора актин-миозинового взаимодействия. Следует отметить, что абсолютное значение разницы между жесткостью в присутствии и в отсутствие блеббистатина не различалось в контроле и в группах с вывешиванием, следовательно, снижение жесткости не связано с уменьшением образования актин-миозиновых мостиков. Для определения вклада деструкции цитоскелетных белков в процесс снижения жесткостных показателей мышцы на разных сроках разгрузки была проведена отдельная экспериментальная серия (без механических тестов *ex vivo*), в которой было измерено содержание ряда регуляторных белков (десмина, телетонина, миозин-связывающего С-белка, альфа-актина), а также гигантских саркомерных цитоскелетных белков (титина и небулина).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что снижение пассивной жесткости в результате 3-дневной гравитационной разгрузки связано с активностью μ -кальпаина.

Исследование поддержано грантом РФФИ 16-04-00529.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИГИПОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И АМИНОКИСЛОТ В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ КИСЛОРОДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Петухова Н.Ф., Цублова Е.Г., Трошина М.В., Иванова Т.Г., Скачилова С.Я.

ФГБОУ ВО «Брянский инженерно-технологический университет»; ФБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск; АО «Всероссийский научный центр по безопасности биологически активных веществ», МО, Старая Купавна

STUDY OF ANTIHYPOXIC PROPERTIES OF NEW DERIVATIVES OF HETEROCYCLIC COMPOUNDS AND AMINO ACIDS IN CONDITIONS OF ACUTE OXYGEN INSUFFICIENCY

Petuhova N.F., Tsublova E.G., Troshina M.V., Ivanova T.G., Skachilova S.YA.

FSBEI HE "Bryansk State Technological University of Engineering"; FSBEI HPE "Bryansk State University n.b. acad. I.G. Petrovsky", Bryansk; OJSC "All-Russian Scientific Center of Safety of Biologically Active Substances", MD, Staraya Kupavna

Цель. Исследование влияния новых производных гетероциклических соединений и аминокислот на

продолжительность жизни лабораторных животных в условиях острой гипоксии различного генеза.

Материалы и методы. Опыты проведены на белых нелинейных мышах-самцах массой 20–24 г. Тестированию подвергали производные гетероциклических соединений и аминокислот с общим шифром ЛХТ. Исследуемые вещества вводили внутрибрюшинно в дозах 1, 5 и 10 мг/кг за 1 ч до проведения эксперимента в виде взвеси с твин-60. Животным контрольной группы тем же путем и в те же сроки вводили эквивалентный объем растворителя. Действие экспериментальных соединений сравнивали с эффектами препаратов сравнения – эталонным антигипоксантом амтизолом сукцинатом и антиоксидантом с антигипоксическим действием мексидолом. Препараты сравнения вводили в дозах 10, 25 и 50 мг/кг. Для исследования антигипоксических свойств соединений использовали модели острой гипоксии: гемической, гистотоксической и гипоксии с гиперкапнией. Острую гипоксию с гиперкапнией моделировали в герметически закрывающихся стеклянных емкостях объемом 250 см³. Острую гистотоксическую гипоксию моделировали путем подкожного введения животным натрия нитропрусида в дозе 20 мг/кг, острую гемическую – натрия нитрита в дозе 400 мг/кг. Во всех случаях регистрировали продолжительность жизни животных в минутах.

Результаты. В результате проведенных экспериментов было установлено, что из 6 исследованных соединений в условиях острой гипоксии с гиперкапнией только одно вещество с шифром ЛХТ-21-01 достоверно ($p < 0,05$) повышало продолжительность жизни лабораторных животных: при его введении в дозе 1 мг/кг положительный эффект составил 27 % в сравнении с контрольными значениями, принятыми за 100 %. Под влиянием ЛХТ-1-13 в дозе 5 мг/кг и ЛХТ-4-97 в дозе 10 мг/кг продолжительность жизни подопытных животных была ниже на 31 и 16 % соответственно в сравнении с контролем.

Из лекарственных средств сравнения в условиях острой гипоксии с гиперкапнией эффективен был только амтизола сукцинат в дозе 50 мг/кг, положительный эффект составил 21 % в сравнении с контрольными значениями.

В условиях острой гистотоксической гипоксии повышение продолжительности жизни мышей наблюдалось под влиянием 3 соединений. Так, ЛХТ-10-12 в дозе 10 мг/кг достоверно увеличивал время жизни подопытных животных на 19 %, ЛХТ-4-13 в дозе 5 мг/кг – на 64 %, а ЛХТ-4-97 в дозе 1 мг/кг – на 17 % в сравнении с контролем. Остальные соединения какого-либо влияния на продолжительность жизни животных в указанных условиях опыта не оказывали.

На модели острой гистотоксической гипоксии из эталонных препаратов в исследованных дозах был активен только амтизола сукцинат. При его введении наблюдалось увеличение продолжительности жизни животных на 21–32 % в сравнении с контрольными значениями.

В условиях острой гемической гипоксии антигипоксические свойства проявляли соединения с шифром ЛХТ-21-01 (5 мг/кг) и ЛХТ-4-97 (1 мг/кг). Положительный эффект составил 18 и 23 % соответственно в сравнении с контролем.

В указанных условиях опыта только амтизола сукцинат в дозе 50 мг/кг повышал продолжительность жизни животных на 28 % в сравнении с контролем. Мексидол в испытанных дозах был не активен.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно утверждать, что среди новых производных гетероциклических соединений и аминокислот есть вещества, проявляющие антигипоксические свойства на моделях острой гипоксии. ЛХТ-21-01 и ЛХТ-4-97 были активны на двух моделях из трех исследованных, ЛХТ-4-13 – на одной модели. Причем эффективными оказались преимущественно наименьшие и наибольшие из исследованных доз, что является основанием для проведения дальнейших исследований по определению широты эффективных доз наиболее активных веществ в условиях острой гипоксии. На необходимость дальнейшего изучения активности указанных соединений указывает тот факт, что величина антигипоксического действия сопоставимо, а на моделях острой гипоксии с гиперкапнией и острой гистотоксической гипоксии превышает таковое у эталонного антигипоксанта амтизола сукцината.

ВЛИЯНИЕ ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ ПРОРАЩИВАНИЯ НА ЧАСТОТУ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЕ ОБЛУЧЕННЫХ СЕМЯН

Платова Н.Г.¹, Лебедев В.М.², Спаский А.В.², Толочек Р.В.¹, Труханов К.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

INFLUENCE OF HYPOMAGNETIC ENVIRONMENT OF GERMINATION TO CHROMOSOME ABERRATION FREQUENCY IN A ROOT MERISTEM OF IRRADIATED SEEDS

Platova N.G.¹, Lebedev V.M.², Spassky A.V.², Tolochek R.V.¹, Trukhanov K.A.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU), Moscow

Геомагнитное поле (ГМП) является естественным фактором, воздействующим на все живые организмы, находящиеся на Земле. При полетах вне земной магнитосферы, на лунных и марсианских базах человек и элементы биорегенеративной системы жизнеобеспечения будут находиться в условиях пониженного на несколько порядков магнитного поля. Радиационная обстановка в этих условиях определяется галактическими и солнечными космическими лучами, в

состав которых входят тяжелые заряженные частицы, обладающие значительной биологической эффективностью. В космических оранжереях в условиях пониженного геомагнитного поля будут прорасти облученные семена растений. Моделированию таких условий посвящена данная работа.

В эксперименте использовали семена салата *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, полученные в условиях защищенного грунта Московской области на Опытно-производственной базе ФГБНУ ВНИИССОК. Семена облучали на ускорителе Национального Института Радиологических Наук (NIRS, QST, г. Чiba, Япония) ионами ^{40}Ar с энергией 290 МэВ/нуклон и ЛПЭ (в воде), равной $1,1 \cdot 10^2$ кэВ/мкм, ионами ^{12}C с энергией 400 МэВ/нуклон и ЛПЭ (в воде) 11 кэВ/мкм. Семена проращивали в условиях гипомагнитной камеры из магнитомягкого материала. Величина магнитной индукции составила $2 \cdot 10^1$ нТл, $1,4 \cdot 10^2$ нТл и $1 \cdot 10^3$ нТл с соответствующим ослаблением ГМП в $2,5 \cdot 10^3$ раз, в $3,6 \cdot 10^2$ раз и $5 \cdot 10^1$ раз. Контрольные семена проросли в лабораторных условиях при величине магнитной индукции $3 \cdot 10^1 - 4 \cdot 10^1$ мкТл. Некоторое снижение уровня ГМП по сравнению с обычным земным $5 \cdot 10^1$ мкТл обусловлено экранированием помещения железобетонными конструкциями здания. В этих же условиях проращивали семена, летавшие в течение 231 сут на МКС в составе первой сборки СПД-10 эксперимента «Матрешка - Р». Доза при облучении ионами аргона и углерода составила 1 Гр, доза за полет, измеренная с помощью ТЛД, – $95,4 \pm 4,0$ мГр. Использовали анна-телофазный метод для исследования хромосомных aberrаций в первом митозе корневой меристемы.

Необлученные семена при прорастании в гипомагнитных условиях (ГМУ) показали увеличение процента aberrантных клеток с достоверным превышением у вариантов, прораставших при $2 \cdot 10^1$ нТл и $1 \cdot 10^3$ нТл и увеличение процента клеток с множественными aberrациями с достоверным превышением у вариантов, прораставших при $1,4 \cdot 10^2$ нТл и $1 \cdot 10^3$ нТл.

Процент aberrантных клеток в проростках семян, облученных ионами ^{40}Ar и ^{12}C , а также летавших на МКС, достоверно отличался от такового у проростков необлученных семян, прораставших в лабораторных условиях, при всех режимах ослабления магнитного поля. Процент клеток с множественными aberrациями в проростках полетных семян, а также облученных ионами аргона был также увеличен. У варианта, облученного ионами углерода и прораставшего в лабораторных условиях, оставался на уровне контроля, однако при прорастании в ГМУ достоверно увеличивается у всех вариантов. При проращивании семян, облученных ионами аргона при величинах магнитной индукции $1 \cdot 10^3$ нТл и $1,4 \cdot 10^2$ нТл, не обнаружено увеличения процента клеток с хромосомными aberrациями и клеток с множественными aberrациями по сравнению с облученными семенами, прораставшими при лабораторных условиях. В то же время при $2 \cdot 10^1$ нТл отмечено возрастание более чем в 2 раза процента aberrантных клеток и клеток с множественными aberrациями. Проростки семян, облученных ионами углерода, уже при $1,4 \cdot 10^2$ нТл и $2 \cdot 10^1$ нТл имели превышение процента aberrантных клеток и клеток с множественными aberrациями над такими же облученными семенами, но прораставшими в обычных условиях. Наблюдалось снижение числа делящихся клеток в стадиях анафазы и телофазы в корневой меристеме проростков при различных вариантах облучения и ГМУ.

В докладе также приводится систематизированное изложение полученных результатов в сравнении с цитогенетическими показателями семян салата, облученных альфа-частицами с энергией 25,8 МэВ на циклотроне НИИЯФ МГУ и пророщенными при тех же условиях ослабления ГМП.

При совместном действии рассмотренных факторов происходит усиление радиационного поражения корневой меристемы, что желательнo учитывать при проектировании космических оранжерей.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ ИМБП РАН и использовании оборудования, приобретенного НИИЯФ МГУ за счет «Программы развития Московского университета».

РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Поддубко С.В., Дешева Е.А., Зарубина К.В., Полянская А.Б., Новикова Н.Д.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE RESULTS OF THE MICROBIOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENT OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Poddubko S.V., Deshevaya E.A., Zarubina K.V., Polyanskaya A.B., Novikova N.D.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Важнейшей характеристикой и непременным условием эксплуатации пилотируемых космических аппаратов (ПКА) является их экологическая безопасность, включающая обеспечение надежного контроля за физическими, химическими и биологическими параметрами среды обитания, в том числе – за микробиологическим фактором.

В течение многолетней непрерывной эксплуатации МКС регулярно проводится микробиологический контроль состояния воздушной среды и поверхностей интерьера и оборудования обитаемых отсеков. К настоящему времени отобрано около 950 проб аэрозольной фазы и с декоративно-отделочных, конструкционных материалов и оборудования.

Всего в среде обитания МКС было обнаружено более 80 видов микроорганизмов. В составе бактериальной флоры доминировали постоянные обитатели слизистых оболочек и кожных покровов человека – представители родов *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*. Помимо типичных представителей аутомикрофлоры человека, в среде обитания МКС часто обнаруживали спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, а также грамотрицательные неферментирующие бактерии, являющиеся обитателями природных резервуаров. Как свидетельствуют полученные данные, при всем разнообразии видового состава микрофлоры, включающего как представителей аутомикрофлоры человека, так и обитателей природных резервуаров, среда обитания МКС формируется в основном непатогенными микробами, однако ряд выявленных из среды обитания бактерий и микромицетов способны при иммунодефицитных состояниях вызывать различные заболевания у людей.

Состав грибного компонента отличался значительным разнообразием. Наиболее широко в среде обитания орбитальных комплексов были представлены микромицеты родов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Ulocladium*. Кроме того, часть обнаруженных бактерий и значительное число выявленных грибов известны как потенциальные биодеструкторы конструкционных материалов, которые могут вызывать биоповреждения различного оборудования. Как показывают исследования, используемые на МКС системы жизнеобеспечения и комплекс санитарно-гигиенических мероприятий способны поддерживать уровни микробной загрязненности воздуха и поверхностей в пределах нормативных показателей. Вместе с тем, постоянный микробиологический контроль среды обитания является необходимым условием, обеспечивающим безопасность космических полетов.

Для усовершенствования системы противомикробной защиты и микробиологического мониторинга среды ПКА необходимо разработать методы экспресс-диагностики и оперативного контроля биоконтаминации их внутренних объемов. С этой целью на основании результатов наземных исследований на МКС внедрено новое средство противомикробной защиты «Велтогран», входящее в комплект «Фунгистат», которое отличается выраженным биоцидным действием и пролонгированным эффектом.

Накопленные данные свидетельствуют о необходимости постоянного контроля за микробным фактором среды обитания в целях поддержания ее оптимального санитарно-микробиологического состояния и предотвращения процессов биодеструкции конструкционных материалов.

СПЕЦИФИКА И СТРАТЕГИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОРАНЖЕРЕЙ В ПИЛОТИРУЕМОЙ КОСМОНАВТИКЕ

Подольский И.Г., Левинских М.А., Сычев В.Н.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

SPECIFICS AND STRATEGY OF STRUCTURES SPACE GREEN HOUSE IN MANNED SPACE FLIGHT

Podolskiy I.G., Levinskih M.A., Sychev V.N.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Настоящий этап развития пилотируемой космонавтики позволяет говорить не только о зрелой стадии этапа освоения ближнего Космоса, но и о зарождении нового этапа космической деятельности человека, связанной с расширением сферы пилотируемой космонавтики за пределов геостационарных орбит, с освоением Луны и Марса. К настоящему моменту сложилось мнение о желательности включения устройств для культивирования высших растений в состав штатных систем жизнеобеспечения экипажей обитаемых гермообъектов различного назначения для пополнения рациона свежей растительной пищей, регенерации атмосферы и воды, психологической поддержки людей.

Современная космическая оранжерея (КО) – крайне специфический технический объект. Правила, по которым создаются эффективные конструкции КО, отличаются от правил создания наземных оранжерей. Конкретный облик будущих КО может быть определен в зависимости от назначения КО и орбиты космического сооружения, для которого они должны проектироваться (околоземная орбитальная станция, межпланетный пилотируемый корабль, лунная база или марсианская база), численности экипажа, длительности функционирования, энерговооруженности, технической оснащенности и, конечно, от степени готовности тех или иных технологических процессов, включая процессы мониторинга *interface* климата, управляемого культивирования растений и параметров надежности КО в реальных условиях космоса.

В настоящее время технология выращивания высших растений в длительных космических полетах (КП), и исследования, выполненные в рамках «Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС» в космическом эксперименте «Растения» позволяет говорить, что растения способны расти, развиваться и размножаться в условиях орбитального полета. Растения формируют нормальный посев, сопоставимый с таковым в наземных условиях. Обсемененность растений микрофлорой находится в пределах нормы, патогенные микроорганизмы на растениях не обнаружены. Не обнаружены и генетические изменения у растений, по крайней мере, в 4 «космических» поколениях. До настоящего времени целью разработанных оранжерейных устройств были научные

исследования. За эти годы по результатам сделано более 40 докладов на различных конференциях и опубликовано значительное количество статей в России и за рубежом.

При разработке КО для космических экипажей в настоящее время приходится исходить из того, что измененный уровень гравитации будет обязательным условием их функционирования. Для эксплуатации КО, функционирующих длительное время в условиях КП, требуется понимание точностных параметров контроля среды обитания растений. Поэтому все, что относится к этой проблеме, необходимо рассматривать с точки зрения возможности функционирования КО в этих условиях. Точность измерения и регулирования различных параметров культивирования растений в оранжереях и исследования interface-климата растений, а также его организация для условий КП остаются актуальными до настоящего времени. Любой датчик работает в сложных, изменяющихся во времени условиях. Это обусловлено тем, что процесс измерения – это сложное, многогранное явление, характеризующееся множеством воздействующих на датчик факторов (как со стороны объекта, так и со стороны внешней среды, температуры, источников питания и т. д.). Каждый из этих факторов может быть измерен в отдельности, но в условиях КП, когда на датчики действует комплекс факторов, провести измерения нельзя. При исследовании датчиков в лабораторных условиях все значения величин, влияющих на работу датчиков, могут поддерживаться в узких пределах. Такие оговоренные в технической документации условия поверки или градуировки принято называть нормальными, а погрешности датчиков, возникающие в этих условиях, – основными погрешностями. В эксплуатационных условиях КП, при установке датчиков, например, в КО в условиях длительных КП, ему придется работать при изменениях, происходящих из-за параметров внешней среды, что будет к появлению погрешностей, естественно, больших, чем в нормальных условиях. В условиях КП из-за изменения условий теплообмена в связи с изменением естественной конвекции параметры точности датчиков также будут меняться. Одним из важнейших критериев совершенства устройств КО и технологий выращивания растений в настоящее время является работоспособность устройств и оценка их эксплуатационных характеристик в условиях КП. В рамках технологического направления исследований начата разработка методологии метрологических исследований установок и нестандартной аппаратуры для космических оранжерей. Следовательно, стратегия разработок будущих КО для пилотируемой космонавтики будет иметь место только после завершения большого цикла целенаправленных исследований в реальных условиях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПОИСКА ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ В ПИЛОТИРУЕМОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Поляков А.В.¹, Дашевский В.П.², Усов В.М.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), г. Санкт-Петербург

USING RFID-TECHNOLOGIES FOR OPERATIVE SEARCH FOR DRUGS IN HUMAN SPACEFLIGHT

Polyakov A.V.¹, Dashevskiy M.P.², Usov V.M.¹

¹ Institute of Biomedical Problems of the Russian of the Russian Academy of Sciences, Moscow

² St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS), St. Petersburg

Эффективность медицинских мероприятий определяется своевременностью их выполнения. При развитии жизнеугрожающих состояний фактор времени приобретает чрезвычайно важное, порой решающее значение для сохранения жизни и здоровья пострадавшего и минимизации негативных последствий и осложнений. В неотложной медицинской ситуации (НМС) в пилотируемом космическом полете членам экипажа необходимо быстро сориентироваться в обстановке, своевременно поставить диагноз пострадавшему и оказать ему медицинскую помощь в соответствии с имеющимися средствами.

Для оказания в полете медицинской помощи членам экипажа пилотируемые космические аппараты (далее – ПКА) оснащаются медицинскими укладками, в состав которых входят лекарственные препараты в различных формах и средства для их введения. Ассортимент поставляемых на ПКА средств оказания медицинской помощи довольно большой, как по составу, так и по количеству.

Экипаж проходит на Земле специальную подготовку по вопросам диагностики и по оказанию медицинской помощи и лечению наиболее вероятных заболеваний имеющимися на борту ПКА средствами. Но, несмотря на это, при развитии в космическом полете нештатной медицинской ситуации быстро найти необходимое для ее купирования медицинское имущество довольно сложно.

Использование в полете RFID-технологии может оказать экипажу реальную помощь при решении задачи быстрого поиска медицинских средств, необходимых для оперативного оказания медицинской помощи при развитии в полете неотложной медицинской ситуации. В том случае, когда быстрота достигается контекстной информационной поддержкой и улучшением селективных возможностей обнаружения целевого объекта по заранее сформированным критериям, можно говорить об интеллектуальном поиске лечебных средств. В этом случае, заранее подготовленные

экспертами предметной области описания составляют ту базу знаний, доступ к которой позволяет уменьшить число ошибок у лиц, не имеющих базового медицинского образования.

Для реализации в полете RFID-технологии быстрого поиска необходимых медицинских средств предлагается использовать стандартный серийный смартфон с предустановленным модулем NFC и со специальным программным обеспечением, позволяющим считывать информацию с RFID-меток, закрепленных на медицинских изделиях.

Объем информации, который может быть записан на RFID-метки, ограничен, но его вполне достаточно для организации оперативного поиска необходимого медицинского средства в медицинских укладках, имеющихся на ПКА. Вся требуемая для этого информация (наименование изделия, срок годности, дозировка, серийный номер и др.) может быть записана в памяти RFID-меток.

Всю дополнительную медицинскую информацию, которая может потребоваться для оказания медицинской помощи и которая не помещается в памяти RFID-меток, можно хранить в смартфоне в виде справочника. Информацию, находящуюся в справочнике, при необходимости можно будет обновить через Интернет.

Внедрение современных IT- технологий в практику особенно важно для медицинского обеспечения полетов на борту ПКА за пределами низких околоземных орбит, когда экипажу придется самостоятельно оказывать медицинскую помощь в условиях автономной деятельности.

ОСОБЕННОСТИ МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ РС МКС

Поляков А.В., Ковачевич И.В., Репенкова Л.Г.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

FEATURES OF MEDICAL SUPPORT RS ISS

Polyakov A.V., Kovachevich I.V., Repenkova L.G.

Institute of Biomedical Problems of the Russian of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Анализ результатов полетов экипажей МКС показывает, что медицинское обеспечение, наряду с другими видами обеспечения экипажей, позволяет сохранить здоровье и поддержать у членов экипажей требуемый для выполнения программы полета уровень работоспособности.

Международными партнерами принято решение об интеграции всех имеющихся медицинских средств в интересах сохранения здоровья и работоспособности экипажей МКС.

Для разработки единых подходов и координации медицинских мероприятий в полете создана единая структура, включающая медицинских представителей от всех стран-партнеров МКС. При участии медицинских специалистов стран-партнеров МКС разработан пакет документов, определяющих порядок медицинского обеспечения экипажей МКС. Эти документы постоянно дополняются и совершенствуются.

Оперативное управление медицинским обеспечением экипажей МКС осуществляют медицинские группы, базирующиеся в ЦУП-М и ЦУП-Х. Важнейшая роль в медицинском обеспечении международных экипажей отводится полетным врачам.

Однако, несмотря на интеграцию медицинских сил и средств, в настоящее время в связи с фактическим делением МКС на два сегмента, сохраняется автономность медицинского обеспечения экипажей различных сегментов МКС. Это не исключает, как уже говорилось выше, что при необходимости все имеющиеся на станции медицинские средства будут задействованы для решения любой проблемы, связанной со здоровьем членов международного экипажа.

В связи с автономностью медицинского обеспечения экипажа РС МКС работы по совершенствованию российской системы медицинского обеспечения продолжаются. Это, в первую очередь, связано с изменением подходов к допуску членов экипажа к выполнению космических полетов. Все чаще в состав экипажа включаются космонавты, имеющие особенности в состоянии здоровья и нуждающиеся в связи с этим в проведении в полете поддерживающей терапии. Таким космонавтам доставляется на РС МКС индивидуальная медицинская укладка, в состав которой включаются препараты, рекомендованные ГМК для проведения им поддерживающей терапии в полете. Также, учитывая особенности их здоровья и связанные с ним риски необходимо в ряде случаев скорректировать (увеличивать количество обследований, расширять программу медконтроля) штатных средств оказания медицинской помощи в полете.

Проведение постоянной поддерживающей терапии, как правило, требует внедрения на РС МКС новых методов медицинского контроля. В основном, это касается наблюдения за динамикой биохимических показателей крови, но иногда выполнения и других диагностических мероприятий.

В связи с этим в настоящее время активно ведутся работы по совершенствованию состава диагностических средств и средств оказания медицинской помощи в полете. При выборе перспективных диагностических средств предпочтение отдается простым в эксплуатации приборам, имеющим небольшие массогабаритные размеры, автономное питание и позволяющим передавать на Землю результаты обследований.

На завершающей стадии находится разработка ряда аппаратов для клиничко-лабораторной диагностики в полете.

В 2016-2017 г.г. планируется доставить на РС МКС «РЕФЛЕКОМ-БХК», «КОАГУЧЕК-М», «ЛАКТАТ-2», «ГЕМАТОКРИТ-2».

В мае текущего года на секции Совета МКС были рассмотрены ряд образцов перспективного оборудования, позволяющего расширить возможности для клиничко-лабораторной диагностики в полете. В ближайшее время, при выделении соответствующего финансирования, предлагается разработать новые бортовые диагностические комплексы «ИММУНОХРОМ», «ДИАГЕМ», бортовой комплекс для микробиологического анализа «РЕФЛЕКОМ-МБА».

Продолжаются работы по совершенствованию средств физической профилактики РС МКС. Разработан и уже создан действующий макет прообраза силового тренажера, который планируется включить в комплекс средств российской системы профилактики.

Большое внимание уделяется совершенствованию средств оказания медпомощи в полете. Ежегодно в составе медукладок заменяется до 5% устаревших препаратов. Разрабатываются новые медицинские укладки. В этом году на РС МКС поставлена укладка «Наушники», в составе которой российскому экипажу доставляются средства индивидуальной защиты органа слуха – наушники с активным шумоподавлением. На разных стадиях разработки находятся перспективные медукладки «НП-2» (для оказания неотложной медицинской помощи в полете) и укладка для лечения заболеваний ЛОР-органов.

Ведутся и другие НИОКР, направленные на совершенствование российской системы медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов. Особенно это важно в связи с началом работ по освоению дальнего космоса, т.к. полеты за пределами низких околоземных орбит будут иметь свои специфические особенности, которые, несомненно, окажут влияние на медицинское обеспечение данных полетов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАННЕГО ПЕРИОДА АДАПТАЦИИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА К УСЛОВИЯМ ИЗОЛЯЦИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ, А ТАКЖЕ ВРАЩЕНИЮ НА ЦКР

Пономарев С.А., Берендеева Т.А., Калинин С.А., Муранова А.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

RESEARCH OF THE EARLY PERIOD OF IMMUNE SYSTEM ADAPTATION TO THE ISOLATION FACTORS OF THE CHAMBER AND TO ROTATION ON SRC

Ponomarev S.A., Berendeeva T.A., Kalinin S.A., Muranova A.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Космический полет (КП) оказывает существенное влияние на различные системы человеческого организма, включая и систему иммунитета. К факторам космического полета, оказывающим наибольшее воздействие на организм человека можно отнести психоэмоциональное напряжение, шумовое и радиационное воздействие, искусственная атмосфера и микроклимат, перегрузки (на этапе вывода космического корабля на орбиту и при посадке), гиподинамия и, собственно, микрогравитацию. С целью выявления характера и степени выраженности изменений, происходящих в системе иммунитета человека в условиях моделируемого КП, была проведена оценка состояния клеточного звена иммунной системы 6 практически здоровых женщин, добровольцев-испытателей, ставших участниками проекта «Луна-2015».

В настоящем исследовании впервые в мире было показано, какие изменения происходят как в адаптивном, так и врожденном иммунитете женщины в условиях 9-суточной изоляции до и после вращения на центрифуге короткого радиуса (ЦКР), и проведено сопоставление выявленных изменений, вызываемых вращением на ЦКР до и после пребывания в гермообъекте. В ходе эксперимента оценивали содержание в периферической крови лимфоцитов с фенотипом CD3⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺, CD19⁺, CD3⁺CD16⁺CD56⁺, а также моноцитов и гранулоцитов, экспрессирующих на своей мембране сигнальные образ-распознающие рецепторы семейства Toll-like (TLR) TLR2, TLR4, TLR6, имеющих поверхностную локализацию.

Результаты проведенных исследований показали, что краткосрочная изоляция оказывает существенное влияние на способность иммунной системы к активации; вращение на ЦКР и пребывание в условиях 9-суточной изоляции в гермообъекте приводит к разнонаправленным изменениям в адаптивном и врожденном компонентах системы иммунитета. Было отмечено достоверное увеличение абсолютного содержания Т-лимфоцитов (CD3⁺) на 5-е сутки пребывания в гермообъекте по сравнению с фоновыми значениями за счет повышения абсолютного содержания Т-хелперов (CD3⁺CD4⁺). Относительное содержание в периферической крови естественных киллеров (ЕК-лимфоцитов) с фенотипом CD3⁺CD16⁺CD56⁺ после вращения на ЦКР по завершению изоляции достоверно снижалось по сравнению с фоновыми значениями. Абсолютное количество ЕК-клеток также достоверно снижалось после вращения на ЦКР как до, так и после изоляции.

Говоря об изменениях, происходящих в системе естественной резистентности у добровольцев - испытателей, стоит отметить, что содержание абсолютного и относительного содержания числа моноцитов и гранулоцитов в периферической крови, экспрессирующих на своей поверхности TLR2, TLR4 и TLR6, носит разнонаправленный характер, при этом наблюдаемая динамика изменений имеет одинаковую направленность для всех участниц проекта. С нашей

точки зрения, выявленные в ходе эксперимента изменения, являются отражением сложного адаптационного процесса, происходящего в системе иммунитета в ранний период адаптации к условиям пребывания в гермообъекте, а также вращению на ЦКР.

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- 1) 9-суточная изоляция в герметично замкнутом объекте, а также вращение на ЦКР приводят к гетерогенным изменениям, затрагивающим клеточное звено адаптивного и врожденного компонентов системы иммунитета человека.
- 2) В ходе эксперимента не выявлено существенного негативного влияния вращения на ЦКР в заданном режиме на иммунную систему женского организма до и после 9-суточного периода изоляции в гермообъекте.

ПРОЕКТ «ЛУНА-2015». ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

Пономарёв С.А., Смолевский А.Е., Маркин А.А., Швед Д.М., Попова Ю.А., Васильева Г.Ю., Сервули Е.А., Гушин В.И., Колотева М.И., Рукавишников И.В., Смирнова Т.А., Белаковский М.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

MOON-2015 PROJECT. MAINRESULTS

Ponomarev S.A., Smolevskiy A.E., Markin A.A., Shwed D.M., Kuznetzova P.G., Popova Yu.A., Vasilyeva G.Yu., Servuli E.A., Gushin V.I., Koloteva M.I., Rukavishnikov I.V., Smirnova T.A., Belakovskiy M.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одним из приоритетных направлений развития и реализации космической программы Российской Федерации согласно «Основам государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу», утвержденным Президентом Российской Федерации 19 апреля 2013 г. (№ Пр-906), является осуществление пилотируемого полета на Луну, для выполнения которого необходима комплексная современная система медико-биологического обеспечения полёта, апробированная в наземных модельных экспериментах.

В настоящее время активное участие в исследовании космического пространства начинают принимать женщины. Однако, долгие годы исследования, связанные с подготовкой экипажа к космическому полету (КП), проводились в основном на мужчинах. В связи с этим вопрос об особенностях функционирования женского организма в условиях КП и наземного моделирования действия неблагоприятных факторов КП остается открытым. Кроме того, специального изучения требуют и психофизиологические аспекты, связанные с взаимодействием внутри женского и смешанного экипажа при совершении пилотируемых лунных экспедиций, а также при наземном моделировании некоторых их факторов, включая изоляцию в замкнутом пространстве с искусственной средой обитания. Экспериментальные исследования, выполненные в рамках проекта «Луна-2015», должны стать одними из первых шагов по изучению влияния особенностей адаптации женского организма к факторам КП, выявлению специфических черт группового поведения женского и смешанного экипажей, а также по оценке влияния центрифуги короткого радиуса (ЦКР) на организм человека до и после изоляции в гермообъекте.

В соответствии с Программой экспериментальных исследований для достижения целей Проекта были решены следующие задачи:

- изучены психологические особенности взаимодействия в женском экипаже;
- получены данные об иммунологическом и биохимическом статусе добровольцев-испытателей до и после изоляции в гермообъекте, а также после вращения на ЦКР;
- исследован водно-электролитный гомеостаз, состояния жидкостных сред и нейрогуморальный статус в условиях девяносточасовой изоляции в гермообъекте, а также после вращения на ЦКР;
- получены данные о состоянии сердечно-сосудистой и дыхательной системах женского организма в условиях девяносточасовой изоляции, а также вращения на ЦКР,
- получены данные о психо-физиологических особенностях женского организма во время девяносточасовой изоляции, а также вращения на ЦКР.

В результате исследования было установлено:

1) Гипергравитационное воздействие на центрифуге короткого радиуса приводит к развитию стресс-реакции, характеризующейся повышением в крови уровня глюкозы, холестерина, повышением активности креатинфосфокиназы. В результате вероятного изменения фазовых характеристик биомембраны, снижается активность некоторых цитозольных ферментов. Нахождение в условиях гермообъема даже в течение ограниченного времени приводит к появлению метаболических признаков гиподинамии, которые быстро нивелируются по завершении этого воздействия.

2) Вращение на ЦКР и пребывание в условиях девяносточасовой изоляции приводит к разнонаправленным изменениям в адаптивном и врожденном компонентах системы иммунитета. Вращения на ЦКР в заданном режиме не оказывает существенного негативного влияния на иммунную систему женского организма как до, так и после краткосрочной

изоляции в гермообъекте.

3) Анализ экспериментальных данных показал, что кратковременная изоляция в гермообъекте существенным образом не влияла на гидратационный статус и состав тела участниц эксперимента.

4) Изучение гормональной регуляции женской репродуктивной системы не выявило особенностей гормональных реакций женского организма на нахождение в условиях девятисуточной изоляции. Концентрация гормонов, характеризующих состояние репродуктивной системы, у всех обследованных на протяжении всего периода наблюдений была на уровне физиологической нормы по нормативам ВОЗ и носила ярко выраженный индивидуальный характер.

5) Полученные данные по изменению содержания костного минерала с тенденцией к его снижению, дают основания для продолжения и расширения исследований, в том числе с использованием компьютерной томографии и наблюдением за динамикой маркеров костной ткани.

6) Во время вращения на ЦКР значения физиологических показателей не превышали допустимых значений. В целом, переносимость перегрузок во время ознакомительных вращений на ЦКР у всех женщин соответствовала хорошей оценке. При сравнительном анализе объективной физиологической информации у женщин, по сравнению с мужчинами, отмечена тенденция к более высоким значениям по всем физиологическим параметрам. Значимые различия на всем протяжении исследования получены по данным систолического артериального давления в сосудах мочки уха (АД_у).

7) Пребывание практически здоровых женщин в относительно изолированном объекте с атмосферным воздухом в течение 9 суток не сопровождается выраженными изменениями паттерна дыхания, объемов лёгочной вентиляции. Основные показатели форсированной спирометрии (ФЖЕЛ, ОФВ₁, ПОС) участниц эксперимента до, после и во время изоляции в гермообъекте находились в пределах норм, установленных для здоровых женщин. Все указанные изменения не выходили за пределы повторяемости показателей и не имели диагностического значения. Во время изоляции не выявлено значимых изменений акустической длительности шумов форсированного выдоха и индекса Тиффно ОФВ₁/ФЖЕЛ, при этом установлена высокая корреляция между ними. Таким образом, изоляция не привела к ухудшению бронхиальной проходимости у женщин. Параметры кислотно-основного состояния крови также характеризовались относительной стабильностью. Относительное повышение PaCO₂ (в рамках физиологической нормы) в крови на 7 сутки пребывания в объекте, по всей вероятности, обусловлено более низкой вентиляцией атмосферы в отсеке в период исследования.

8) Анализ динамики биопотенциалов коры головного мозга испытуемых выявил разнонаправленные изменения функционального состояния в ходе эксперимента, однако статистически значимых различий по параметрам ЭЭГ между фоном и 9-ти суточной изоляцией не обнаружено.

9) Экипаж продемонстрировал достаточно высокую степень сплоченности на протяжении всего периода изоляции. Данные социометрии свидетельствуют о том, что в экипаже сложилась структура группы «ядро – периферия», в которой сплоченное ядро было образовано тремя участницами, к которым чуть позже добавилась четвертая. Такая структура считается благоприятной и весьма устойчивой для изолированных групп. В то же время, в конце изоляции отмечалось отсутствие взаимных выборов между двумя лидерами популярности, что может отражать тенденцию к скорому изменению неформальной структуры группы. Короткий срок изоляции не позволил развиться более глубинным механизмам групповой идентификации. Быстро проявившиеся тенденции распада женской группы (рост воспринимаемых межличностных различий в ходе изоляции и после нее) требуют дополнительного изучения в более продолжительных модельных экспериментах. Получены данные о специфических особенностях адаптации женского экипажа к условиям изоляции в гермообъеме, в частности, применяемые стили взаимодействия, их сочетание со структурой группы и субъективно-значимыми качествами при оценке себя и других. Эти данные будут учтены при формировании рекомендаций по отбору и формированию оптимального состава межпланетной экспедиции.

10) В эксперименте была протестирована и отработана методика анализа дневниковых записей, разрабатываемая для последующего использования в космических и изоляционных экспериментах. Выявленная корреляция между результатами анализа дневников и данными психологического тестирования (оценка эмоционального статуса, мотивации, взаимодействия), указывает на валидность методики и позволяет в перспективе осуществлять многосторонний анализ психологического и психофизиологического состояния членов экипажа, а также внутри- и межгрупповых взаимодействий без вмешательства в естественный процесс коммуникации. Предварительный тематический анализ дневников показал, что наиболее значимыми для экипажа являлись темы, связанные с экспериментальными работами (мотивация на успех), внутригрупповыми взаимоотношениями, сном (жалобы на недосыпание), вынужденной публичностью («нас видят»), значимыми событиями. Эмоциональная окраска в основном позитивная, за исключением манифестаций негативного восприятия отдельных ситуаций. В качестве стратегий совладания со стрессом в основном использовались: поиск поддержки (как внутри группы, так и вовне), самоконтроль, конфронтация (с «Землей», т.е. трансфер негативных эмоций вовне), планирование.

11) Данные актиграфии показали отсутствие значимого негативного влияния условий эксперимента на ночной сон добровольцев. Некоторое снижение общей продолжительности ночного сна было вызвано особенностями циклограммы исследований. При этом продолжительность спокойного сна на протяжении всего эксперимента сохранялась

постоянной и практически не отличалась от фонового значения.

Полученные результаты подтверждают необходимость развития данного направления исследований в условиях длительной изоляции с целью выявления гендерных отличий в психофизиологической реакции организма на действие изоляционного фактора.

РЕАКЦИЯ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ОБЪЕМА ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ КРОВИ МЫШЕЙ НА АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЕ ВЫВЕШИВАНИЕ РАЗНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Попова А.С.^{1,2}, Лагерева Е.А.¹, Андреев-Андриевский А.А.^{1,2}

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND BLOOD VOLUME IN MICE AFTER HINDLIMB UNLOADING OF VARIOUS DURATION

Popova A.^{1,2}, Lagereva E.¹, Andreev-Andrievsky A.^{1,2}

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² MSU, Moscow

Введение. Гравитационный фактор играет большую роль в нормальном функционировании сердечно-сосудистой системы. Пребывание в условиях микрогравитации вызывает адаптивные изменения деятельности сердечно-сосудистой системы, затрагивающие, в том числе, микроциркуляцию, водный обмен, состав и объем крови. Известно, что в условиях невесомости у человека исчезает разница в гидростатическом давлении в разных точках аорты, происходит перераспределение крови в краниальном направлении, что приводит к увеличению объема межклеточной жидкости в передней части тела. Увеличение венозного возврата приводит к рефлекторному повышению экскреции жидкости и снижению циркулирующего объема крови. Именно перераспределение жидкости считают одной из ключевых причин физиологических и морфологических изменений в сердечно-сосудистой системе у людей [Григорьев А.И., Егоров А.Д., 1988]. У мышей, существенно (на три порядка) меньших по размеру, 30-суточный космический полет вызывает выраженные изменения в работе сердечно-сосудистой системы мышей, сходные с наблюдаемыми у человека (тахикардия и повышенная пульсовая стоимость бега [Gazenko O.G., Genin A.M., Egorov A.D., 1981]. Однако вследствие малых размеров и положения тела гидростатический градиент у мышей практически отсутствует. Можно предположить, что микроциркуляторные процессы, мало зависящие от размера организма, и которые маскируются более выраженными последствиями отсутствия градиента гидростатического давления в сосудистом русле у крупных млекопитающих, являются «мишенью» действия микрогравитации.

Цель работы. Оценить перераспределение жидкости в теле мышей по изменению содержания воды в различных тканях, объем циркулирующей крови и гематологические параметры при моделировании эффектов микрогравитации путем антиортостатической гипокинезии (АНОГ) у мышей.

Материалы и методы. Самцов мышей линии Balb/C, весом 25–27 г, вывешивали за основание хвоста с максимально возможным сохранением свободы движения под углом 30° к полу на срок 0, 12, 24, 48, 72 и 168 ч. Содержание воды в тканях слюнных желез, мозга, почек, легких, придаточного аппарата (семенные пузырьки и простата), мышц плеча (*m.triceps*) и мышц голени (вместе *m.gastrocnemius* и *m.soleus*) определяли по разности сухой (сушка 8 ч при 105 °С) и влажной массы. Объем циркулирующей крови определяли по разведению красителя (1 % раствора синего Эванса, 1 мл/кг) при введении в яремную вену через заранее вживленный катетер. Гематокрит определяли при помощи гематокритной центрифуги (Elmi CM-70), остальные гематологические параметры - при помощи автоматического анализатора (Hemolite 1280). Статистический анализ данных проводили в программе GraphPad Prism 6.0 методом двухфакторного дисперсионного анализа с апостериорным сравнением по Данетту; величина статистической значимости была принята равной 0.05.

Результаты. Влажность тканей мозга и легких вывешенных мышей практически не изменялась, за исключением 3 сут вывешивания (на 0.4 %, $F(5,69) = 2.32$, $p = 0.0607$ и 0.7 %, $F(5,70) = 2.03$, $p = 0.0845$ соответственно, здесь и далее по сравнению с фоновыми значениями). Влажность почек была снижена в течение первых трех дней вывешивания (на 1.2 %, $F(5,70) = 4.45$, $p = 0.0014$) и восстанавливалась к 7 дню вывешивания ($p = 0.1960$). Влажность мышц голени ($F(5,70) = 8.21$, $p < 0.0001$) и мышц плеча ($F(5,70) = 5.28$, $p = 0.0004$), вопреки ожидаемому разнонаправленному изменению, сопоставленно снижалась, максимум реакции на 3-и сутки вывешивания составлял 1.3 и 0.9% соответственно. Влажность слюнных желез и придаточного аппарата, также сопоставленно, сначала снижалась (на 1,7 %, $F(5,70) = 3.33$, $p = 0.0094$ для придаточного аппарата), а на 7-е сутки АНОГ влажность слюнных желез превышала исходные значения на 3 % ($F(5,70) = 12.01$, $p < 0.0001$). По данным корреляционного анализа, изменения влажности тканей не были опосредованы снижением массы тела мышей.

При вывешивании гематокрит, содержание эритроцитов и гемоглобина снижалось и к 7-му дню АНОГ было ниже

фоновых значений на 10–20 %. Средний объем клеток оставался неизменным и к 7-му дню вывешивания составлял 51.2 ± 0.9 фл соответственно. В течение АНОГ у мышей незначительно увеличивался объем крови, а объем плазмы увеличивался значительно и на 3- и 7-е сутки превышал фоновые значения на 10–20 %. Интересно, что изменения гематологических параметров мышей в модели АНОГ противоположны изменениям крови у мышей [Rizzo A.M. et al., 2012] и крыс [Lange R.D. et al., 1987] в космическом полете и однонаправлены с изменениями состава и объема крови на начальном этапе космического полета у человека.

Выводы. При моделировании эффектов микрогравитации в АНОГ у мышей происходит перераспределение жидкости: снижается содержание воды в тканях, увеличивается объем плазмы и изменяется клеточный состав крови. Учитывая миниатюрный размер и положение тела мышей, наблюдаемые изменения, по-видимому, обусловлены функциональными изменениями фильтрационно-реабсорбционных характеристик микроциркуляторного русла, не связанными с изменением градиента гидростатического давления.

КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ КРОВИ У ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЫХАНИИ В ИЗОЛИРУЮЩЕМ СНАРЯЖЕНИИ

Попова Ю.А., Суворов А.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE ACID-BASE BALANCE IN HEALTHY HUMANS UNDER BREATHING BY USE OF INSULATING EQUIPMENT

Popova J.A., Suvorov A.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Разработка и внедрение в народное хозяйство средств индивидуальной защиты органов дыхания горнорабочих при подземных авариях, связанных с образованием непригодной для дыхания среды, продолжает оставаться актуальной задачей. Как правило, шахтные самоспасатели представляют собой изолирующие дыхательные аппараты разового применения с химически связанным кислородом и маятниковой схемой дыхания. Однако следует отметить, что применение подобных устройств сопровождается воздействием ряда экстремальных факторов, влияющих, в первую очередь, на состояние кардиореспираторной системы и газотранспортной функции человека: увеличенное аэродинамическое сопротивление на вдохе и выдохе, повышенная температура, а также измененный газовый состав дыхательной смеси (повышенное содержание диоксида углерода при повышенной концентрации кислорода) и т.д. В связи с этим, исследование показателей кислотно-основного состояния крови (КОС) при использовании шахтного самоспасателя представляет важное звено в оценке физиологических эффектов длительного дыхания через защитное устройство на организм человека, а также обоснования физиолого-гигиенических требований к самоспасателю в целом.

Целью нашей работы являлась оценка газового состава и параметров КОС артериализованной крови у здорового человека при применении шахтного спасателя (производства ОАО «Росхимзащита», Россия) в условиях покоя и при выполнении физической работы различной мощности. Проведение исследования в условиях лаборатории позволяет провести комплексную оценку физиологических параметров у обследуемого при воздействии, включая взятие проб крови для определения изучаемых показателей. В комплексном экспериментальном исследовании принимали участие 10 практически здоровых мужчин в возрасте от 20 до 35 лет, допущенных врачебно-экспертной комиссией ГНЦ РФ – ИМБП РАН к участию в эксперименте. Все обследуемые подписали Информированное согласие на добровольное участие в проводимом исследовании. Программа экспериментальных исследований была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Все обследуемые последовательно в отдельные дни принимали участие в следующих сериях эксперимента: дыхание через самоспасатель в покое (в положении сидя) в течение 120 мин, дыхание через самоспасатель при умеренной и умеренно-тяжелой физической нагрузке (ходьба на тредмиле со скоростью 4,7 км/ч по горизонтальной поверхности и ходьба на тредмиле со скоростью 3,0 км/ч по наклонной «в гору» поверхности соответственно, длительностью 60 и 30 мин). В качестве контроля к серии с применением изолирующего снаряжения в условиях умеренно-тяжелой физической работы была выполнена оценка регистрируемых показателей при ходьбе со скоростью 3,0 км/ч по наклонной «в гору» поверхности в течение 30 мин без применения самоспасателя. Изменения газового состава в дыхательном контуре при умеренно-тяжелой физической нагрузке выражались в повышении во вдыхаемой смеси содержания диоксида углерода до 3–4 %, кислорода – до 99 %. Временной промежуток между отдельными сериями при участии каждого обследуемого составлял 7–10 дней. Пробы артериализованной крови из пальца отбирали в гепаринизированные капилляры в следующие периоды каждой экспериментальной серии исследования: за 5 мин до использования изолирующего снаряжения, во время дыхания через устройство (на 50 и 120 мин — в покое (в положении сидя), 20 и 60 мин — при выполнении умеренной физической работы и на 20 и 30 мин — при воздействии умеренно-тяжелой физической нагрузки), а также на 10 мин периода восстановления. Для артериализации капиллярной крови проводили предварительный разогрев кисти обследуемого в течение 10 мин до непосредственного забора пробы. Параметры газового состава и КОС в свежеполученных образцах крови определяли

на анализаторе ABL-80 (Radiometer, Дания). Статистический анализ результатов проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica 7.0 с применением непараметрических критериев Фридмана и Уилкоксона.

В период дыхания через самоспасатель в состоянии покоя отмечено статистическое значимое повышение напряжения кислорода (PaO_2) в артериализованной крови, в период последствия в течение 10 мин уровень PaO_2 оставался повышенным по сравнению с фоновой величиной. Нарушений со стороны КОС не выявлено.

В условиях применения самоспасателя при умеренной физической нагрузке также показано статистическое значимое повышение PaO_2 в артериализованной крови. Выраженных сдвигов показателей КОС по группе не выявлено. У трех обследуемых отмечались проявления дыхательного ацидоза (уровень напряжения диоксида углерода в крови (PaCO_2) составлял 48–49 мм рт.ст.), компенсированного метаболическим алкалозом (увеличением величины избытка/дефицита оснований – ВЕ). В остальных наблюдениях данной экспериментальной серии параметры КОС (кроме увеличенного PaO_2) не выходили за пределы физиологической нормы.

Во время дыхания с использованием изолирующего снаряжения при умеренно-тяжелой физической нагрузке кроме статистически значимого повышения PaO_2 отмечали более выраженное повышение уровня PaCO_2 и сдвиги в уровне ВЕ, различия в величинах рН, PaCO_2 и ВЕ также статистически значимы. Кроме того, у 7 испытуемых во время данной физической нагрузки при дыхании с использованием самоспасателя были выявлены признаки декомпенсированного дыхательного ацидоза со снижением величины рН до 7,25. На 10-й минуте периода восстановления у 3 обследуемых величина рН не достигала нижней границы физиологической нормы.

В контрольном исследовании отмечали статистическое значимое повышение PaCO_2 , а также сдвиги в величинах ВЕ. Следует отметить, что выявленные изменения в уровнях PaCO_2 и ВЕ в контрольной серии исследований носили менее выраженный характер по сравнению с исследованием при аналогичном уровне физической нагрузки с применением изолирующего снаряжения.

Таким образом, применение самоспасателя в покое и при физической нагрузке приводит к ожидаемому увеличению напряжения кислорода в артериализованной крови. В ответ на повышение напряжения диоксида углерода в артериализованной крови с увеличением мощности выполняемой работы при использовании изолирующего снаряжения происходит выраженное смещение рН, которое при выполнении умеренно-тяжелой физической нагрузки характеризуется декомпенсированным нарушением КОС. Обнаруженные сдвиги в параметрах КОС статистически достоверны при сравнении с величинами, полученными в контрольной серии исследований. В периоде восстановления после применения изолирующего снаряжения при умеренной физической нагрузке исследуемые параметры достигали фоновых значений, в то время как после умеренно-тяжелой нагрузки и дыхания через устройство полного восстановления по показателям КОС не наблюдалось. Тем не менее, даже после выполнения умеренно-тяжелой работы с одновременным использованием самоспасателя величины газового состава и КОС артериализованной крови не превышали допустимых уровней, предусмотренных стандартами, регламентирующими физиологические параметры при применении такого рода устройств. Следовательно, применение изолирующего снаряжения для защиты органов дыхания от неблагоприятных условий у здорового человека как в покое (в течение 120 мин), так и при выполнении умеренно-тяжелой физической нагрузки (в рамках расчетного времени защиты 30 мин) не сопровождается необратимыми патологическими изменениями со стороны показателей КОС.

Авторы выражают благодарность всем обследуемым-добровольцам за участие в эксперименте, а также ответственному врачу эксперимента Д.Р. Хуснутдиновой.

Работа выполнена в рамках договора № 15-13-840 от 30.01.2015 г. между ОАО «Корпорацией «Росхимзащита» и ГНЦ РФ – ИМБП РАН (Шифр «Самоспасатель 30»).

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕМОТОРНЫХ НЕЙРОНОВ СПИННОГО МОЗГА МЫШЕЙ C57/BL6 ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ БИОН-М1

Порсева В.В.¹, Шилкин В.В.¹, Стрелков А.А.¹, Краснов И.Б.², Маслюков П.М.¹

¹ ГБОУ ВПО ЯГМУ Минздрава России, Ярославль

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF PREMOTOR NEURONS IN THE SPINAL CORD OF MICE C57/BL6 AFTER 30-DAY FLIGHT ON BIOSATELLITE BION-M1

Porseva V.V.¹, Shilkin V.V.¹, Strelkov A.A.¹, Krasnov I.B.², Masliukov P.M.¹

¹ Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Большинство влияний на мотонейроны спинного мозга (СМ) осуществляют «внутренние» – премоторные нейроны, которые являются ключевыми в нейронных сетях СМ, обеспечивающих локомоторную активность и координацию синергетического мышечного сокращения [Levine, 2014]. Общая характеристика премоторных интернейронов СМ,

изученных на сегодняшний день, заключается в том, что они получают комплексный мультисенсорный вход от афферентов различных типов и различного происхождения. На основании физиологических исследований премоторные нейроны локализируют в медиальной части пластинок III–VI, в пластинках VII и X СМ, считая их холинергическими интернейронами, непосредственно участвующими в модуляции двигательной активности, как правило, ипсилатеральных мотонейронов [Miles G.B. et al., 2007; Liu T.T. et al., 2010; Stepien A.E. et al., 2010; Coulon P. et al., 2011]. Сопоставление физиологических характеристик интернейронов с морфологическими и нейрохимическими открывает перспективы идентификации не только топографической, но и морфофункциональной характеристики премоторных нейронов СМ.

Целью исследования явилось изучение структурных, иммуногистохимических и морфометрических характеристик премоторных интернейронов грудного отдела спинного мозга мышей, находившихся в 30-суточном космическом полете (КП) на биоспутнике Бион-М1.

Исследовали экспрессию холинацетилтрансферазы (ХАТ), нейрофиламента 200 кДа (НФ), кальбиндина 28 кДа (КАБ), нейрональной NO-синтазы (nNOS) иммуногистохимическим (ИГХ) методом и НАДФН-диафоразы гистохимическим методом (ГХ) в интернейронах Т3–Т5 сегментов СМ у самцов мышей С57/BL6, находившихся в условиях 30-суточного КП на биоспутнике Бион-М1. Контрольная группа мышей находилась в наземных условиях вивария в течение всего полета спутника с мышами полетной группы. Солокализацию исследуемых белков и ферментов в нервных клетках выявляли ИГХ методом двойной метки в комбинации каждого с ХАТ. Взятие материала осуществляли через 12 ч с момента посадки биоспутника. Морфологический и морфометрический анализ интернейронов проводили на поперечных криостатных срезах толщиной 14 мкм. Выявление всей популяции нейронов проводили ИГХ методом окраски NeuroTrace Red Fluorescent Nissl Stains, изучение структурных изменений – окраской тионином. Эксперименты выполнялись в соответствии с решением Комиссии по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол № 319 от 4.04.2013 г.), одобряющем проведение исследования по проекту «Бион-М» № 1.

Количественно меченная различными маркерами популяция интернейронов СМ мышей, находившихся в стандартных условиях вивария ($n = 3$, масса тела $26,9 \pm 1,16$ г.) была существенно меньше, чем количество интернейронов, обнаруживаемых флюоресцентным методом Ниссля и проявляла гетерогенность по форме, размерам и нейрохимической организации.

В поверхностной области дорсального рога СМ (пластинки I и II) в интернейронах выявляется КАБ, NOS и НАДФН-диафораза, в глубокой области дорсального рога СМ (пластинки III и IV) интернейроны экспрессируют ХАТ+НФ, КАБ, NOS и НАДФН-диафорузу; в пластинке V – ХАТ, ХАТ+НФ, КАБ, NOS и НАДФН-диафорузу; в области медиального края (ОМК) дорсального рога СМ, куда фактически заходят все пластинки глубокой области дорсального рога – КАБ, NOS и НАДФН-диафорузу.

В промежуточной области серого вещества СМ (пластинка VII) обнаружены интернейроны с ХАТ, ХАТ+НФ, КАБ, NOS и НАДФН-диафоразой. В парацентральной области серого вещества СМ (пластинка X) выявлены интернейроны IP к ХАТ, NOS и НАДФН-диафоразе, в вентральном роге (пластинка IX) интернейроны экспрессировали кальбиндин.

Известно, что интернейроны I и II пластинок получают информацию от первичных чувствительных нейронов, связанных с рецепторами общей чувствительности, а интернейроны спинномозговых сетей (модулей), связанные с проприоцептивной чувствительностью или премоторные, локализируются в пластинках III, IV, V, VII и X. Наиболее изученными премоторными нейронами является их субпопуляция, известная как клетки Реншоу, локализующиеся в области верхушки вентрального рога СМ. Считается, что патогномичным маркером клеток Реншоу является кальбиндин, который определяется и в интернейронах другой локализации. С учетом сказанного, к премоторным относятся мелкие кальбиндин-содержащие клетки пластинок III и IV, пластинки V, ОМК, пластинки VII, клетки Реншоу.

К премоторным следует также отнести интернейроны, сходные по нейрохимической организации с мотонейронами, т.е. содержащие ХАТ и ХАТ+НФ [Porseva V.V. et al., 2014, 2015]. Субпопуляция премоторных нейронов, состоящая из крупных интернейронов, в которых ХАТ солокализирована с НФ, локализуется в пластинках III–IV. В пластинках V и VII содержатся две группы ХАТ IP интернейронов: 23–25 % клеток средних размеров с ХАТ имеют солокализацию с НФ, в остальных НФ не обнаруживается. В X пластинке к премоторным можно отнести крупные ХАТ-позитивные интернейроны. Выявленная нейрохимическая неоднородность премоторных интернейронов, возможно, объясняет их функциональные свойства – тормозные и возбуждающие влияния на мотонейроны.

У мышей полетной группы ($n = 3$, масса тела $28,9 \pm 1,73$ г.) общее число интернейронов не отличалось от контрольных значений, морфологических изменений в интернейронах при окраске тионином не обнаружено. В то же время нейрохимическая организация интернейронов СМ у мышей полетной группы имела существенные отличия.

Отмечено, что в пластинках I–II по сравнению с контролем увеличилось количество КАБ интернейронов на 71 % и 62 % соответственно, средняя площадь сечения которых не менялась в пластинке I и уменьшилась в пластинке II на 24 %.

Ни в одной пластинке серого вещества СМ не выявлены интернейроны, содержащие НАДФН-диафорузу. Напротив, число NOS IP нейронов было в 2 раза больше в поверхностной области дорсального рога и в 1,5 раза в других аналогичных с контролем областях серого вещества СМ.

Основным в плане освещения реализации цели настоящей работы, являлось отсутствие КАБ IP субпопуляций

клеток Реншоу и премоторных нейронов в ОМК дорсального рога СМ. В пластинках III–IV, V и VII КАБ ИР нейронов было меньше, чем в контроле – на 43, 17 и 26,5 % соответственно. Среди немногочисленных КАБ содержащих клеток присутствовали одиночные, огромные интернейроны овальной формы, от тела которых отходило 5–6 толстых радиально направленных отростков длиной до 100 мкм. Кальбиндин в них выявлен как в цитоплазме, так и в ядре. Средняя площадь сечения КАБ ИР субпопуляций премоторных нейронов глубокой области дорсального рога СМ значительно превышала контрольные показатели – в 1,3 – 1,5 раза, особенно в пластинках III–IV – в 3,4 раза. Напротив, средняя площадь сечения КАБ ИР нейронов пластинки VII была меньше на 22 % контрольных значений.

Различное проявление реакции КАБ ИР премоторных нейронов является свидетельством их функциональной разнородности – невыевляемость КАБ после КП в клетках Реншоу и в ОМК дорсального рога, сохранение кальбиндина в части интернейронов глубокой области дорсального рога и пластинки VII.

Число ИР премоторных нейронов с ХАТ в полетной группе было меньше, чем в контроле в пластинке V – на 27 % и в пластинке VII – на 30 %. Средняя площадь сечения ХАТ ИР субпопуляций нейронов превышала контрольные цифры в дорсальном роге – в 1,3 раза, в промежуточной области – в 1,4 раза. В пластинках III–IV и X субпопуляции ХАТ ИР нейронов в контроле были представлены единичными клетками (1–2 на срезе), что не позволяет с достоверностью судить об изменении их качественных и количественных характеристик. При этом в пластинках V и VII в премоторных нейронах с НФ, как и в контроле, выявлена солокализация с ХАТ. Немаловажным является то, что при стабильном количестве субпопуляций ХАТ+НФ премоторных нейронов в пластинках V и VII (23–25 %) в полетной группе, средняя площадь их превышала контрольные значения также в 1,4 раза. Показано, таким образом, что влияние условий КП не зависит ни от локализации ХАТ содержащих субпопуляций премоторных интернейронов, ни от солокализации в них ХАТ и НФ.

Как видно, условия 30-суточного КП и 12-часовая адаптация к наземным условиям повлияли на всю популяцию интернейронов. Наиболее существенные изменения были выявлены в субпопуляциях премоторных интернейронов иммунореактивных к кальбиндину, локализованных в пластинках III, IV, V, VII и к холинацетилтрансферазе, локализованных в пластинках V, VII.

РЕАБИЛИТАЦИЯ КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Потапов М.Г., Скедина М.А., Ковалева А.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

REHABILITATION OF COSMONAUTS AFTER SPACE FLIGHTS- MODERN STATE OF QUESTION

Potapov M.G., Skedina M.A., Kovaleva A.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Одна из основных задач космической медицины - сохранить здоровье и работоспособность космонавтов на всех этапах их профессиональной деятельности. В этом плане весьма актуальны вопросы восстановления функционального состояния космонавтов в послеполетном периоде, сохранения их профессионального долголетия.

Профессиональная деятельность космонавтов сопряжена с комплексным воздействием на организм экстремальных факторов космического полета (невесомость, космическая радиация, гермозамкнутый объем, нервно-эмоциональное напряжение и др.), обуславливающих возникновение различных функциональных расстройств, требующих проведения большого объема профилактических и реабилитационных, а в некоторых случаях и лечебных мероприятий.

Проблема восстановления состояния здоровья и работоспособности космонавтов после космических полетов становится в настоящее время особенно актуальной в связи с увеличением длительности полетов, многократными участиями космонавтов в полетах, а также в связи с участием в космических полетах высококвалифицированных специалистов разного профиля, старшего возраста или имеющих парциальную недостаточность в состоянии здоровья.

Медицинская реабилитация после космических полетов направлена на восстановление изменений в организме, происшедших главным образом в результате физиологической адаптации к условиям космического полета и последующей реадaptации к земным условиям. Эти изменения в целом нельзя квалифицировать как патологические, их следует рассматривать как адаптационные, возникающие в ответ на действие факторов полета. Все это определяет важность создания условий, способствующих более быстрому и полноценному протеканию восстановительных процессов, повышению их эффективности после завершения космического полета.

Наиболее характерные реадaptационные синдромы: детренированность сердечно-сосудистой системы к ортостатическим воздействиям и физическим нагрузкам; вестибуловегетативные отклонения; изменения в функциональном состоянии опорно-двигательного аппарата и в системах управления про-извольными движениями; комплекс обменных отклонений и прежде всего со стороны водно-солевого обмена; активация симпатико-адреналовой, холин-, гистаминергических систем; изменения со стороны красной крови (уменьшение эритроцитарной массы, снижение

резистентности эритроцитов); ретикулоцитопения; снижение иммунологической реактивности. Выраженность отмеченных отклонений весьма вариабельна, и определяется в основном индивидуальными особенностями.

Сложившаяся система медицинской реабилитации космонавтов после продолжительных полетов предусматривает поэтапное проведение восстановительных мероприятий. Начальный этап осуществляется на реабилитационной базе космодрома или в Центре подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина в течение 2–3 нед после завершения длительного полета. В этот период усилия сосредоточиваются прежде всего на купировании неблагоприятных риадаптационных проявлений, повышении функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата, восстановлении ортостатической устойчивости, статокINETических и координаторных функций, снятии послепо-летного утомления.

Второй этап реабилитации (санаторно-курортный) продолжается в среднем 21 день, однако может быть продлен до 30–40 дней. До 2012 г. санаторно-курортный этап реабилитации проводился с сотрудниками ГНЦ РФ-ИМБП РАН, с привлечением специалистов ЦПК им. Ю.А.Гагарина. С 2012 г. ответственным за проведение данного этапа реабилитации является ЦПК им. Ю.А.Гагарина, а сотрудники ГНЦ РФ-ИМБП РАН участвуют в организации и проведении послеполетной реабилитации в качестве специалистов по восстановительной медицине. На этом этапе медицинской реабилитации ставится цель полностью восстановить состояние здоровья, функциональные резервы организма космонавтов. Важно подчеркнуть, что в космической медицине задачи медицинской реабилитации сводятся не просто к восстановлению соматического здоровья, но и к приобретению достаточно высоких функциональных резервов организма для последующей профессиональной деятельности.

В период работы космонавтов на международной космической станции (МКС) с 2001 по 2016 г. сотрудниками ГНЦ РФ-ИМБП РАН было организовано и проведено 30 этапов послеполетной медицинской реабилитации с участием 32 космонавтов РС МКС, и в 10 этапах санаторно-курортной реабилитации специалисты института принимали участие в качестве врачей по восстановительной медицине.

Выбор баз для проведения санаторно-курортного этапа медицинской реабилитации определялся состоянием здоровья космонавтов, медицинскими показаниями, пожеланиями самих космонавтов, с учетом времени года и климато-географических условий. Данные этапы реабилитации проводились как на российских, так и на зарубежных базах. Из российских баз чаще всего использовался район Кавказских минеральных вод – среднегорье – 920 м над уровнем моря (санатории г. Кисловодск). Кроме того, реабилитация проводилась в Верхнем Поволжье, в центральной полосе России, в предгорьях Урала, Краснодарском крае, Камчатке. Из зарубежных баз использовались санатории и спа-отели, обладающие достаточно высоким уровнем реабилитационной инфраструктуры: Испании, Черногории, Италии, Чехии и островной Греции.

Первые 2 дня пребывания на санаторной базе отводились на акклиматизацию. В дальнейшем основу восстановительных мероприятий составляли лечебная физкультура (ЛФК), терренкур, плавание, водные и тепловые процедуры, различные виды массажа, нарзаннЫе ванны. Важное место в комплексе восстановительных мероприятий занимали мероприятия психологической реабилитации. Состояние космонавтов по прибытии на санаторную базу реабилитации обычно характеризовалось умеренно выраженной астенизацией, что проявлялось повышенной утомляемостью, ощущением дефицита сна, снижением переносимости физических нагрузок. Неврологическое обследование и исследование внутренних органов не выявляли, как правило, каких-либо отклонений. Лишь у отдельных космонавтов наблюдалась легкая дискоординация (неустойчивость в позе Ромберга). При ЭКГ-обследовании в покое на фоне умеренной дыхательной аритмии сохранялось снижение амплитуды зубца Т по сравнению с предполетными данными, у части обследуемых было снижение амплитуды зубцов QRS. В первые дни пребывания в санатории отмечалась лабильность показателей АД и частоты пульса при малых физических нагрузках и при постуральных воздействиях. Показатели клеточных элементов периферической крови в целом соответствовали норме, но по сравнению с предполетными данными выявлено снижение количества эритроцитов и гемоглобина. При обследовании опорно-двигательного аппарата обращали на себя внимание сглаженность мышечного рельефа в области спины, ягодиц, бедер, а также изменения в осанке (сутулость, снижение мышечного тонуса брюшных мышц). Результаты предшествующих функциональных проб со ступенчато возрастающей физической нагрузкой свидетельствовали о неполном восстановлении физической работоспособности космонавтов по сравнению с предполетным уровнем. Плантографические исследования указывали на уплощение поперечных и продольных сводов стопы по сравнению с предполетными исследованиями. Состояние космонавтов в этот период расценивалось как удовлетворительная адаптация к условиям окружающей среды при умеренном снижении функциональных резервов и напряжении регуляторных систем при средней физической нагрузке.

К концу санаторного этапа восстановления функциональное состояние космонавтов приближалось к предполетному уровню или достигало его, о чем свидетельствовали результаты заключительного клинИко-физиологического обследования, проводимого по окончании медицинской реабилитации. Происходило восстановление функционального состояния сердечно-сосудистой системы, физической работоспособности, статокINETических и координаторных функций, иммунологической реактивности.

Учитывая большую продолжительность пребывания космонавтов на МКС, очень важна социально-психологическая реабилитация космонавтов. С этой целью, для создания благоприятных психологических условий восстановления

здоровья космонавтов, санаторный этап реабилитации проводился при совместном пребывании с космонавтами членов их семей. Кроме того, в процессе реабилитации использовался широкий спектр мероприятий культурной программы (экскурсии, осмотр местных достопримечательностей, посещение различных памятных мест, встречи с государственными и общественными деятелями, пресс-конференции и т.п.).

Космонавты отмечают большое значение этих мероприятий для создания благоприятного психологического климата в процессе проведения всего этапа медицинской реабилитации.

Таким образом, санаторный этап медицинской реабилитации весьма важен для восстановления функционального и психологического состояния космонавтов после длительных космических полетов.

Однако в настоящее время актуальность рассмотрения существующей практики применения медико-психологической реабилитации космонавтов вызвана необходимостью ее совершенствования в условиях увеличивающейся длительности космических полетов, интенсивности полетных программ, обеспечения возможности неоднократных полётов космонавтов, с учетом увеличения их среднего возраста и, особенно с возможностью перспективных межпланетных полетов.

3D КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК СТАНДАРТ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО ОСМОТРА ЛИЦ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТИНГЕНТА

Прокопович Л.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

3D COMPUTER TOMOGRAPHY AS A MEDICAL STANDARD FOR STOMATOLOGICAL EXAMINATION OF SPECIAL FORCES CREW

Prokopovich L.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Клиника Здорового Человека представляет клинический случай, обосновывающий необходимость обязательного введения 3D компьютерной томографии лицевого скелета в стандарты осмотра лиц специального контингента на примере предупрежденного одонтогенного верхнечелюстного аэросинусита у морского пехотинца за счёт своевременной диагностики предтравматического процесса, который было невозможно диагностировать стандартными методами, применяемыми в ходе обычного профилактического осмотра.

Разрешение на обработку цифровых и аудиовизуальных образов получено у пациента.

Лицами специального контингента называют представителей особых подразделений специального назначения, таких как глубоководная разведка, морская пехота, воздушный десант, лётчики-истребители и космонавты. Эти люди подвергаются высоким физическим нагрузкам за счёт резкого перепада давления, и как в норме - очень здоровые люди – редко жалуются на своё здоровье, а если жалуются, то не всегда адекватно своему состоянию вследствие адреналиновой зависимости и боязни потерять доступ к своей деятельности. В результате любой представитель специального контингента может подвергнуться внезапной травме, такой как одонтогенный верхнечелюстной аэросинусит, вызванный прорывом мембраны Шнайдера одонтогенной радикулярной кистой за счёт резкого перепада давления в придаточных пазухах при исполнении задания. Однако введение обязательной 3D компьютерной томограммы костей лицевого черепа в стандарт такого профилактического осмотра поможет решить проблему.

В данный момент помимо выяснения жалоб, сбора анамнеза и клинического осмотра, использующих пальпацию и перкуссию, применяется стандартная 2D рентгенограмма улыбки по типу ортопантограммы. Такое лучевое исследование не всегда показывает истинную картину заболевания, а в представленном случае оказалось неинформативным и бесполезным для постановки правильного диагноза.

Пациент является двадцатитрёхлетним морским пехотинцем Российской Армии. Он является опытным аквалангистом и парашютистом с общим числом дайвов 2200. После обязательной военной службы на авианосце, пациент 2 года прослужил в условиях офисной службы, после чего принял команду к возвращению на службу к условиям, приближенным к боевым. Во время обязательного медицинского осмотра врача-стоматолога насторожил спрутинг в чувствительности левого подглазничного нерва. После тщательного клинического осмотра и анализа стандартного рентгенологического обследования по типу ортопантограммы было принято решение провести 3D компьютерную томографию лицевого скелета, после исследования которой пациент был упрежден от воздействия резких перепадов давления и развития одонтогенного верхнечелюстного аэросинусита.

Клиническая значимость своевременной диагностики подобных предтравматических состояний упреждает не только от потери трудоспособности лиц специального контингента, но также выбора тактики лечения. Сейчас многие стоматологи считают стандартом лечения удаление таких потенциально опасных зубов и постановку дентальных имплантатов с последующим протезированием. Однако зуб является органом, а утрата органа вследствие действия физического лица считается тяжким вредом здоровью согласно 111 статье Уголовного Кодекса РФ. Поэтому стандартом

оказания медицинской помощи будут являться все виды зубосохраняющих операций – от эндодонтического лечения до цистэктомии или цистотомии, с возможной премоляризацией или костной пластикой.

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДА ДЛЯ ДЫХАНИЯ ЭКИПАЖА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А.

АО «НИИхиммаш», Москва

TECHNICAL AND OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR THE OXYGEN GENERATION SYSTEM FOR BREATHING CREW OF A LONG-TERM SPACE STATION

Proshkin V.Ju., Kurmazenko E.A.

JSC "NIIChimmash", Moscow

На долговременной космической станции и планетной базе (ДКСИПБ) для обеспечения экипажа кислородом для дыхания необходимо получать кислород электролизом из продуктов жизнедеятельности человека (CO_2 , вода). Технология прямого электролиза CO_2 имеет недостатки: температура до 1000 °С, неполное разложение CO_2 , образование угарного газа СО и твердого углерода (сажа), который отравляет катализатор и засоряет аппаратуру. Поэтому переработка CO_2 будет по реакции Сабатье: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, пары воды извлекаются из потока газа путем конденсации. На ДКСИПБ вся регенерируемая вода будет получена в жидком виде, в том числе конденсат водяного пара из атмосферы. Запасы кислорода также будут в виде воды, т.к. у других способов (газообразный, криогенный, в составе кислородосодержащих соединений) при длительном полете неприемлемые массовые характеристики. Для планетных баз вода будет источником местных ресурсов на Марсе и, возможно, на Луне (если существует лед в глубине кратеров под слоем реголита, куда не попадает солнечный свет или воду получают при разложении реголита). Таким образом, система генерации кислорода (СГК) должна быть основана на электролизе жидкой воды. Более сложная технология высокотемпературного электролиза водяного пара дает выигрыш в затратах энергии на процесс электролиза по сравнению с электролизом воды, но требует затрат энергии на перевод воды в пар, т.е. при отсутствии независимого источника тепловой энергии суммарное потребление энергии не уменьшается (и при этом растут потери из-за высокой температуры).

Для ДКСИПБ ресурс каждого из аппаратов в составе СГК должен быть минимум 3 года наработки (без учета времени стоянок), при сроке нахождения в эксплуатации (с учетом времени стоянок) минимум 7 лет. Все СГК электролизом воды – это ряд аппаратов для проведения определенного набора технологических процессов. Технические и эксплуатационные параметры аппаратов и процессов должны соответствовать ряду требований.

Электролизер. Максимальная производительность не менее 160 л O_2 /час (при потреблении 25 л O_2 /час на человека – здесь и ниже объемы даны для нормальных условий). Напряжение на электролизной ячейке менее 2,0 В и, значит, энергопотребление менее 9,57 Вт-час/л O_2 (минимально возможное адиабатическое напряжение разложения жидкой воды 1,48 В, при энергопотреблении 7,08 Вт-час/л O_2). На максимуме выработки O_2 ток питания более 50 А при плотности тока более 1,5 кА/м² (обеспечение компактности электролизера). Коэффициент использования тока в электролизере более 0,997. Обеспечение отвода тепла, выделяющегося при электролизе.

Электролит. Низкая чувствительность к примесям и их влиянию на напряжение электролиза. Если при нештатной ситуации (НШС) произошел рост напряжения, то после устранения НШС напряжение должно возвращаться на прежний уровень, т.е. должна отсутствовать деградация электродов и электролита.

Разделитель газо-жидкостной смеси (ГЖС) после электролизера – обязательный аппарат (получение полностью сухих O_2 и H_2 на всех этапах работы СГК приводит к сложной конструкции и системе, неустойчивой в работе). Исключить проскок жидкости с газами и попадание газа в жидкость. Отсутствие энергопотребления, т.е. статическое разделение фаз. Устойчивость к развитию микрофлоры на пористых поверхностях.

Электролизные газы: O_2 и H_2 . Очистка от аэрозоля жидкости и недопустимость конденсации паров воды. Высокая чистота при получении, если необходимо, дополнительная очистка от примесей (в том числе, очистка H_2). Объемное содержание H_2 в O_2 и O_2 в H_2 менее 0,5 %. Пожаро- и взрывобезопасность при НШС.

Система циркуляции. Гарантия подвода воды на электролиз во все ячейки электролизера. Отвод тепла из электролизера и унос продуктов электрохимической коррозии. Ресурс насоса не должен влиять на ресурс СГК.

Система охлаждения. Выделение тепла в СГК не более 2,5 Вт-час/л O_2 . Внешнее охлаждение. Перегрев недопустим (особенно электролизера), в том числе при отсутствии циркуляции или отказе внешнего охлаждения.

Система подачи воды в СГК. Контроль воды на наличие пузырей газа и удельную электропроводность (содержание микропримесей). Самовсасывание воды в СГК предпочтительнее принудительной подачи насосом. Снижение требований к чистоте воды для электролиза, для снижения массы сорбентов в системе очистки воды.

Аппаратура и насосы. Суммарное энергопотребление ~1 % от максимального потребления электролизера.

Стоянка и хранение СГК. Не менее 300 включений-отключений и стоянок при полном отключении (перерывы в работе или хранение) длительностью от 1 ч до 1 года без влияния на параметры СГК.

Контроль и управление СГК. Полнота текущего контроля и прогноз технического состояния, аналоговые (непрерывно измеряющие) датчики взамен дискретных (пороговых). Безопасное и своевременное отключение при НШС. Автономный блок управления. Минимизация включений-отключений (для снижения числа НШС).

Проектирование СГК. Готовность к НШС различного типа, которые не должны выводить СГК из строя.

Требования к СГК и система «Электрон-ВМ». На борту Международной космической станции (МКС) с 2000 г. работает российская СГК «Электрон-ВМ», обеспечивающая получение кислорода электролизом воды со щелочным электролитом. Технологический блок (ТБ) СГК реализует все технологические процессы. Масса ТБ 160 кг из 164 кг для всей СГК. Другие блоки СГК: блок согласования сигналов и команд (БССК) – электронный посредник между ТБ и бортовым компьютером, управляющим СГК, и кабели между ТБ и БССК. Сегодня на МКС наработка (без учета стоянок) составляет: 1265 сут до отказа у ТБ 009 в 2006-2011 гг. и 1083 суток без отказа у ТБ 011 с 2011 г. по настоящее время (16.05.2016 г.). Срок нахождения этих ТБ в эксплуатации (с момента проверки работоспособности при изготовлении) – 5,5 и 8 лет. На Земле срок нахождения в эксплуатации ТБ и его аппаратов достиг 14 лет (один ТБ) и 11 лет (два ТБ) при сохранении работоспособности. В системе «Электрон-ВМ»:

Электролизер состоит из 12 электролизных ячеек, масса 26 кг, производительность по O_2 25-160 л/час при токе питания 10-64 А (диаметр электрода 198 мм, плотность тока 0,3–2,1 кА/м²). Максимальное напряжение на электролизной ячейке не более 1,90 В, а среднее (по результатам работы на МКС) 1,70 В, следовательно, энергопотребление 9,09 и 8,13 Вт-час/л O_2 . В электролизере приняты конструктивные меры к подавлению утечек тока через коллекторы подвода-отвода, что обеспечило коэффициент использования тока более 0,999. Отвод тепла, выделяющегося при электролизе, идет за счет циркуляции электролита через катодные и анодные камеры ячеек.

Электролит (раствор КОН 25 % по массе) к примесям нечувствителен. Разбавление электролита до 12 % и переход до половины КОН в растворимые соли на напряжение электролиза не влияет. Примеси в электролите преобразуются до растворимых солей калия. Часть примесей удаляется путем их выделения с электролизными газами. При залповом внесении большого объема примесей или НШС (например, если нет подачи электролита) возможен рост напряжения на электролизере (12 ячеек) до 26 В, с дальнейшим снижением до обычного уровня.

Два разделителя ГЖС (в кислородной и водородной линии) – статические разделители, фильтрация жидкости через пористую диафрагму за счет перепада давления $\approx 0,5$ кгс/см². Величина критического давления (проскока газа) диафрагмы более 1,0 кгс/см², что исключает попадание газа в жидкость. Щелочной электролит полностью подавляет развитие микрофлоры на пористой диафрагме. Для ТБ системы «Электрон-ВМ» (на МКС и на Земле) проскок электролита с газом из-за выработки ресурса разделителя (из-за забивки пор диафрагмы) не фиксировался, а происходившие проскоки вызывались отсутствием перепада давления разделения при НШС.

Электролизные газы (O_2 , H_2). Относительная влажность после разделителей ГЖС 70-85 % (давление паров воды на линии насыщения над электролитом ниже, чем над водой). В трубопроводе давление газов падает, а их температура меньше температуры стенок, что исключает конденсацию. O_2 и H_2 чистятся от аэрозоля электролита в две ступени: фильтр в составе ТБ и внешний фильтр после выхода из ТБ. Кислород дополнительно чистится в блоке дожигания (БД) – сменном блоке в составе ТБ: фильтрация, сорбция аммиака и его соединений (если они есть) и окисление на катализаторе следов H_2 и возможного СО (газовые анализы на Земле следов СО в O_2 не обнаруживали никогда). На МКС объемное содержание H_2 в O_2 до БД обычно 0,20-0,25 % с зафиксированным максимумом 0,80 % и вызвано диффузией H_2 через пористую диафрагму в электролизере в объеме 0,1-0,3 л/час. После БД объемное содержание H_2 в O_2 не более 0,20 %. На МКС объемное содержание O_2 в H_2 максимум 0,10 %. Пожаро- и взрывобезопасность обеспечена внешними газоанализаторами взаимного содержания H_2 и O_2 , и H_2 в воздухе из ТБ, датчиком температуры в БД и продувкой O_2 и H_2 линий азотом, если время стоянки более 12 ч.

Система циркуляции – основной и резервный насосы с расходом электролита через электролизер ≈ 22 л/час, равномерным распределением по 12 ячейкам и между катодной и анодной полостями ячейки. Идет равномерное охлаждение ячеек и унос продуктов электрохимической коррозии, оседающих на диафрагме разделителей ГЖС. При отказе двух насосов предусмотрен сменный внешний блок циркуляции, что снимает вопрос ресурса насосов.

Система охлаждения основана на охлаждении потоков ГЖС после электролизера путем подключения ТБ к системе терморегулирования МКС. Выделение тепла в ТБ не более 2,01 Вт-час/л O_2 , а среднее (по результатам работы на МКС) 1,05 Вт-час/л O_2 . Температура в электролизере выше температуры окружающей среды: максимум на 20 °С, фактически не более чем на 10 °С, при отсутствии циркуляции электролита максимум на 40 °С. При отказе внешнего охлаждения идет отключение ТБ по датчику температуры при прогреве конструкции до +30 °С.

Подача воды в ТБ идет самовсасыванием. Визуальный контроль пузырей газа в воде при ее подготовке. Контроль удельной электропроводности воды отсутствует (технические требования – не более $1,8 \times 10^{-4}$ См/см).

Аппаратура и насосы ТБ и БССК потребляют энергии суммарно не более 10 Вт.

Стоянка и хранение ТБ возможны в течение 6 месяцев (практически до 1,5 лет) без включения, число стоянок – любое, реальное число включений-отключений одного ТБ более 200 на МКС и более 900 на Земле.

Контроль и управление. Безопасное отключение СГК в НШС, создаются методики обработки параметров и прогноза состояния ТБ. *Недостатки:* управление с общего бортового компьютера (из-за компьютера идет более 50 % штатных отключений СГК), дискретные датчики затрудняют прогноз технического состояния, потеря части данных о параметрах ТБ на линии: ТБ → БССК → бортовой компьютер → Земля (ЦУП) → разработчики СГК.

Проектирование СГК. Постоянная модернизация ТБ с учетом опыта эксплуатации. Создан комплект дополнительного оборудования для устранения НШС и их последствий и продления ресурса ТБ в СГК.

Выводы. 1. Система «Электрон-ВМ» соответствует требованиям к СГК для ДКСИПБ, но желательна доработка контроля и управления. 2. Задача на сегодня – достигнуть ресурса ТБ системы в 5-6 лет наработки.

КЛЕТКИ ПУРКИНЬЕ ВЕСТИБУЛЯРНОГО МОЗЖЕЧКА МЫШЕЙ ЛИНИИ C57 BL6K И ХРЯЩЕПАЛЫХ ГЕККОНОВ ПОСЛЕ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ "БИОН-М1"

Прошина А.Е., Харламова А.С., Гулимова В.И., Барабанов В.М., Савельев С.В.

Научно-исследовательский институт морфологии человека, Москва

PURKINJE CELLS IN THE VESTIBULAR CEREBELLUM OF C57/BL6N MICE AND THICK-TOED GECKOS AFTER SPACE FLIGHT ON THE BIOSATELLITE BION-M1

Proschina A.E., Kharlamova A.S., Gulimova V.I., Barabanov V.M., Saveliev S.V.

Research Institute of Human Morphology, Moscow

В условиях космического полета изменяется характер вестибулярной афферентации и нагрузки на опорно-двигательный аппарат, возникает необходимость адаптации центральной нервной системы к новым условиям. Хорошо известны эффекты вестибулярных аномалий, такие как иллюзии восприятия положения тела в пространстве, иллюзорное восприятие движений головы и чувство вращения, нистагмы и головокружения, а также, так называемая, космическая болезнь движения SMS (space motion sickness)-синдром, который переживают космонавты в период адаптации к невесомости. Описанные выше нарушения связаны, прежде всего, с восприятием линейных ускорений в условиях отсутствия силы тяжести, за которое отвечает отолитовый аппарат позвоночных. При переходе от земной гравитации к состоянию невесомости и обратно требуется адаптировать координацию изменившейся афферентации от внутреннего уха с сигналами от опорно-двигательной и других сенсорных систем.

В многочисленных исследованиях было показано, что у млекопитающих невесомость не вызывает грубых необратимых изменений отолитовых органов внутреннего уха. Центральное же представительство вестибулярных функций изучено недостаточно. При этом в целом ряде работ предполагается, что в процессы нарушения функций во время космического полета могут быть вовлечены структуры мозжечка. Наиболее часто в литературе о нарушениях в условиях космического полета и его имитации встречаются данные об изменениях слоя клеток Пуркинье. Основная функция этих клеток состоит в интеграции моторной и сенсорной информации при координации движений. Целью данной работы являлось выявление эффектов длительного пребывания в условиях космического полета на клетки Пуркинье вестибулярного мозжечка мышей линии C57/BL6N и хрящепалых гекконов (*Chondrodactylus turneri* Gray, 1864).

Исследование проводилось на самцах мышей линии C57/BL6N, возраст которых на момент запуска биоспутника (или начала контрольного эксперимента) составлял 19–20 нед и на 3 группах самок гекконов в возрасте 1.5–2 года. Мыши в группе полета находились в условиях невесомости 30 сут на борту спутника «БИОН-М» № 1. В группе реадaptации (восстановления) животных после возвращения из космического полета наблюдали на протяжении 7 сут. Группы отложенного контроля к группам полета и реадaptации включали в себя животных, которые обитали в условиях, имитирующих условия обитания полетных животных, за исключением факторов космического полета. В группах виварного контроля мыши жили в обычных клетках. Нами был исследован мозжечок 26 мышей: по 5 животных в 2 экспериментальных группах – группе полета и группе восстановления (реадaptации) после полета, а также по 4 животных из 4 контрольных групп – виварного контроля к полету и к группе восстановления и отставленного наземного контроля к группе полета и группе восстановления. Гекконы из полетной группы также находились в условиях космического полета на «БИОН-М» № 1, из группы отложенного синхронного контроля (ОСК) содержались на Земле в условиях, аналогичных полетным, из группы отложенного террариумного контроля (ОТК) - в стандартных террариумных условиях. Всего исследовали мозжечок 13 гекконов: 5 - из группы полета, 4 - из ОСК и 4 - из ОТК.

Было проведено гистологическое (окраска по Нисслю) и иммуногистохимическое исследование (реакции с антителами к нейронспецифическому бета-3 тубулину (NST)) вестибулярного мозжечка. На каждом 10-м срезе мозжечка животных при увеличении объектива $\times 40$ регистрировались клетки с цитологическими изменениями и вычислялось их отношение к общему числу клеток в вестибулярном мозжечке у гекконов и в узелке червя мозжечка (*nodulus*) у мышей. Для количественного сопоставления одновременно больше чем 2 выборки был использован непараметрический тест Крускал-Уоллиса, для попарного сравнения был использован тест Манна-Уитни. Различия во всех тестах принимались достоверными при уровне вероятности (p) меньше чем 0.05.

У мышей афферентные волокна от вестибулярных центров приходят в нижнюю (заднюю) долю мозжечка (*Lobus inferior (posterior)*). В недавних исследованиях было показано, что сигналы от отолитовых органов поступают у мышей преимущественно во втулочку (*uvula*), а от полукружных каналов - в узелок (*nodulus*) червя мозжечка. В нашем исследовании у мышей в *nodulus* были обнаружены клетки с неспецифическими патоморфологическими изменениями: гиперхроматозом, хроматолизом и вакуолизацией. Гиперхроматоз характеризуется чрезмерным окрашиванием базофильного вещества и свидетельствует о повышенной активности нейрона. Такие изменения как набухание клеток, центральный и сегментарный хроматолиз, увеличение и эктопия ядра являются признаками первичного раздражения нейрона. Субтотальный и тотальный хроматолиз, вакуолизация и набухание при сохранности выявления основных структур клетки соответствуют так называемому «острому заболеванию клетки» и отражают состояние дальнейшего раздражения клетки. В нашем исследовании, значимых изменений в относительном количестве клеток Пуркинье с такими нарушениями между группами мышей не было обнаружено. Однако у мышей из группы полета и реадaptации отмечалось значимое по сравнению с другими группами увеличение числа клеток с признаками пикноза ядер, что соответствует уже более серьезному повреждению нейронов. При исследовании распределения NST получены предварительные данные о тенденции к усилению реакции к этим антителам в относительно большем числе клеток Пуркинье в группах полета и восстановления. У мышей из группы отложенного синхронного контроля к группе восстановления также были выявлены сходные изменения, что, вероятно, связано с тем, что животные проходили серию поведенческих тестов после пребывания в условиях замкнутого пространства. Однако изменения, которые были нами выявлены, являются, по большей части, обратимыми. Результаты нашего исследования согласуются с данными о преимущественной связи узелка червя мозжечка с полукружными каналами и коррелируют с данными по изменениям в поведении животных. При осмотре мышей на месте приземления (через 2–3 ч после возвращения) были обнаружены выраженные признаки дезадаптации животных к условиям земной гравитации. Восстановление двигательной активности у мышей происходило относительно быстро, и уже через 6–8 ч они передвигались по клетке и могли вставать на задние лапы. Полное восстановление функциональной активности мышей происходило не ранее, чем на 7-й день реадaptации.

У рептилий афференты от вестибулярных ядер тоже приходят в заднюю часть мозжечка. У гекконов в клетках Пуркинье вестибулярного мозжечка были также выявлены гиперхроматоз, хроматолиз базофильного вещества цитоплазмы (тигроида) и вакуолизация цитоплазмы в разной степени выраженности. У гекконов из группы полета было выявлено значимое увеличение числа клеток Пуркинье с этими патоморфологическими изменениями по сравнению с остальными исследованными группами. При этом достоверных различий между группами контроля не обнаружено. Число клеток Пуркинье с признаками гиперхроматоза, тигролиза и вакуолизацией в вестибулярном мозжечке гекконов из группы полета достигало в среднем 10 %, в то время как в контрольных группах – 4 %. При морфометрическом анализе препаратов мозжечка гекконов с иммуногистохимической реакцией на NST, в группе полета было выявлено значимое увеличение числа клеток Пуркинье (в среднем - 10 % против 4 % в контроле) с более интенсивной реакцией на эти антитела. Описанные нами изменения считаются обратимыми и отражают функциональную нагрузку на клетки Пуркинье вестибулярного мозжечка. Возможно, это связано не только с адаптацией вестибулярной системы к невесомости, но и с обучением животных к осуществлению двигательных функций в непривычных условиях. Мозжечок отвечает не только за координацию движений, но и за формирование новых двигательных навыков. Хрящепалые гекконы являются хорошей моделью для проведения орбитальных экспериментов из-за их способности к прикреплению, что позволяет животным в течение эксперимента, в основном, сохранять нормальную локомоцию (в состоянии флотации гекконы находились менее 1 % времени от проанализированных видеозаписей). Интересно, что во время флотации животные совершали гребные движения лапами, выбирая место для прикрепления, тем самым координируя свою двигательную активность в условиях невесомости. Ранее считалось, что к этому способны только человек и первичноводные животные. Другие животные, попадая в условия невесомости, хаотично флотируют или вращаются.

В целом, в нашем исследовании были показаны неспецифические изменения клеток Пуркинье в вестибулярном мозжечке у мышей и гекконов, свидетельствующие об усилении функциональной нагрузки на эти клетки в состоянии невесомости и, таким образом, адаптации вестибулярной системы к новым условиям.

Мы благодарны за помощь в проведении данного исследования ГНЦ РФ ИМБП РАН и АНО ИБП. Работа поддержана грантом РФФИ № 16-04-00815.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ СЕАНСАХ В СТАЦИОНАРНОЙ МНОГОМЕСТНОЙ БАРОКАМЕРЕ ПО СРАВНЕНИЮ С ПОРТАТИВНОЙ ОДНОМЕСТНОЙ БАРОКАМЕРОЙ ПРИ КОМПРЕССИИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ К ДАВЛЕНИЮ 840 ММ РТ.СТ.

Пятница А.С., Филипенков С.Н.

ОАО «НПП «Звезда» имени академика Г.И. Северина», Томилино, Россия

COMPARATIVE EFFICIENCY OF REHABILITATION SEANCES IN STATIONARY MULTIPERSONS

PRESSURECOMPLEX AND PORTABLE PRESSURE CHAMBER FOR SINGLE MAN DURING HYPERBARIC TREATMENT IN AIR AT 840 MM HG**Pjatnitsa A.S., Filipenkov S.N.**

JSC 'RD&PE Zvezda', Tomilino, Moscow Region

Введение. В 1862 году Николай Католинский первым из российских врачей обнаружил положительный эффект действия повышенного давления воздуха на организм человека. В настоящее время лечение повышенным давлением по методу нормоксической лечебной компрессии (НЛК), разработанному Н.В.Казаковой с соавторами, практикуется при терапии нейродегенеративных заболеваний и профилактики нарушений недостаточности мозгового кровообращения при сосудистых заболеваниях мозга. При целом ряде сосудистых заболеваний мозга баротерапия с умеренным повышением общего давления воздуха до $1,15 \text{ кг/см}^2$, благодаря дополнительному увеличению содержания кислорода в тканях организма, позволяет активировать метаболизм клеток и их регенерацию, пониженные из-за хронического нарушения кровообращения или острого уменьшения транспорта кислорода при ишемии, инфарктах и инсультах. В отличие от сеансов гипербарической оксигенации (ГБО) при НЛК по методу Н.В.Казанцевой (1998) отсутствуют спастические реакции сосудов и токсическое действие активных форм кислорода, благодаря чему удается восстановить имевшиеся нарушения микроциркуляции в тканях мозга и почек.

Целью настоящей работы стало сравнение эффективности оксигенации и общего метаболизма, достигаемых с помощью метода НЛК при баротерапии с использованием 6-местного стационарного барокамерного комплекса (БКК) и при баротерапии в одноместной портативной барокамере (ПБК), в 30–60-минутном сеансе НЛК в воздушной газовой среде с давлением $840 \pm 5 \text{ мм рт.ст.}$

Методика. У 43 практически здоровых лиц при 2–12-часовой экспозиции в стационарном БКК и в течение 0,5–1-часового пребывания в переносной ПБК проводилась оценка состояния организма при дыхании в воздушной атмосфере с $P_v = 840 \pm 5 \text{ мм рт.ст.}$ ($1,14\text{--}1,15 \text{ кг/см}^2$). Методом масс-спектрометрии контролировали газовый состав вдыхаемого воздуха и парциальные давления кислорода, углекислого газа и азота на фазе вдоха (P_{iO_2} , P_{iCO_2} и P_{iN_2}), а также в альвеолах легких (P_AO_2 , P_ACO_2 и P_AN_2). На протяжении сеанса регистрировали изменения ЭКГ, частоту сердечных сокращений (ЧСС) и аксиллярную температуру тела (ТТ). Методом Короткова измеряли систолическое и диастолическое артериальное давление (САД и ДАД), а методом пульс-оксиметрии регистрировали ЧСС и насыщение кислородом гемоглобина в артериальной крови (SpO_2). Вначале и при завершении сеанса методами непрямой дыхательной калориметрии измеряли потребление кислорода организмом за минуту ($V'O_2$, $V'CO_2$), минутный и дыхательный объемы (МОД и ДО). Дискретно до и через час сеанса НЛК определяли методом микро-Аstrup напряжение газов артериализованной капиллярной крови (P_aO_2 , P_aCO_2) и исследовали изменения показателей кислотно-щелочного состояния (КЩС). До и после сеансов контролировали гематологические, биохимические и эндокринологические показатели крови, а также проводили клинико-лабораторный анализ мочи и ее исследование на наличие эритроцитов, лейкоцитов, следов белка, цилиндров, почечного эпителия, солей мочевой кислоты и уратов. Оценивали общий гемоглобин, гематокрит, количество эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, скорость оседания эритроцитов, общий белок, общий и прямой билирубин, содержание альбумина, глюкозы, креатинина, холестерина и триглицеридов, мочевины, неорганического фосфата и других органических соединений. В сыворотке крови определяли активность катехоламинов по методу Э.Ш.Матлиной и соавт. (1965) и ряда ферментов: трансаминаз (АСТ и АЛТ), α -амилазы, дегидрогеназ (α -ГБДГ, ЛДГ), щелочной фосфатазы (ЩФ), трансферазы (γ -ГТ), креатининкиназы (КК).

Результаты. Во время сеансов при температуре воздушной среды в пределах $25\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ метаболизм изменялся следующим образом: $V'O_2 = 0,25\text{--}0,30 \text{ л/мин (STPD)}$, $V'CO_2 = 0,3\text{--}0,4 \text{ л/мин (STPD)}$ в состоянии относительного покоя и увеличивался вдвое при движениях. Другие показатели газообмена при повышенном давлении воздуха ($P_v = 840 \pm 5 \text{ мм рт.ст.}$) изменялись следующим образом: $P_{iO_2} = 162 \pm 1,5 \text{ мм рт.ст.}$, $P_{iCO_2} = 5 \pm 1,9 \text{ мм рт.ст.}$, $P_{iH_2O} = 10 \pm 3,2 \text{ мм рт.ст.}$, и $P_{iN_2} = 663 \pm 1,5 \text{ мм рт.ст.}$, $P_AO_2 = 123 \pm 2,7 \text{ мм рт.ст.}$, в 1-й час сеанса $P_ACO_2 = 39,8 \pm 0,56$ и в конце сеанса $P_ACO_2 = 36,2 \pm 0,56 \text{ мм рт.ст.}$, $P_{iH_2O} = 47 \pm 0,2 \text{ мм рт.ст.}$, $P_{iN_2} = 628 \pm 1,2 \text{ мм рт.ст.}$, в начале сеанса $P_aO_2 = 84 \pm 1,8 \text{ мм рт.ст.}$ и в конце сеанса $P_aO_2 = 94 \pm 2,7 \text{ мм рт.ст.}$, $P_aCO_2 = 38,7 \pm 0,55 \text{ мм рт.ст.}$, $P_{iN_2} = 628 \pm 1,2 \text{ мм рт.ст.}$. SpO_2 достигало $99\text{--}100 \%$. В 2–12-часовых сеансах имелось значимое снижение pH крови с $7,39 \pm 0,002$ до $7,375 \pm 0,0025$ ед, избыток оснований повышался с $-2,8 \pm 2,62$ до $-2,1 \pm 0,27$ ед, общее содержание CO_2 повышалось с $22,0 \pm 0,35$ до $23,35 \pm 0,345$ ед, другие показатели КЩС имели лишь тенденцию, характеризующую начало развития дыхательного алкалоза. Витальные показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем оставались в пределах физиологической нормы. Сидя и стоя САД = $124 \pm 6 \text{ мм рт.ст.}$, ДАД = $81 \pm 5 \text{ мм рт.ст.}$, в позе лежа САД = $108 \pm 11 \text{ мм рт.ст.}$, ДАД = $72 \pm 7 \text{ мм рт.ст.}$. В покое ЧСС = $78 \pm 8 \text{ 1/мин}$, ЧД = $17 \pm 2 \text{ 1/мин}$. При движениях ЧСС = $114 \pm 8 \text{ 1/мин}$, ЧД = $22 \pm 2 \text{ 1/мин}$. МОД составлял $2,1\text{--}5,6 \text{ л/мин}$, ДО – $0,2\text{--}0,3 \text{ л (STPD)}$.

По данным анализа крови и мочи биохимические и эндокринологические исследования обмена веществ и гормонального статуса при пребывании в стационарном БКК не выявили отклонений от нормы, но анализы проб мочи, взятые сразу же после сеанса в ПБК, имели положительную динамику по таким показателям, как исчезновение белка, снижение количества цилиндров и форменных элементов при нормализации удельного веса мочи, если он был

изменен до сеанса.

Закключение. Дыхание воздухом под повышенным давлением в ПБК эффективнее, чем в БКК и может широко применяться у лиц опасных профессий в полевых, домашних и амбулаторных условиях для улучшения общей гемодинамики, а также микроциркуляции в тканях мозга и почек.

Физиологические, эндокринологические и биохимические реакции организма на сеансы НЛК в переносной ПБК вполне сопоставимы по эффективности с сеансами в БКК.

В отличие от стационарных барокамер, где применение воздушной атмосферы при избыточном давлении 0,15 кг/см² в течение 2–12 ч сопровождалось лишь умеренным повышением оксигенации крови и сдвигом КЩС в сторону дыхательного алкалоза, в одноместных ПБК при 0,5–1-часовом сеансе в положении лежа наблюдается гиперкапния, гипотония и повышенная вентиляция легких ($P_1\text{CO}_2 = 5 \pm 1,9$ мм рт.ст., $P_A\text{CO}_2 = 39,8 \pm 0,56$ мм рт.ст., ЧД = 22 ± 2 л/мин, МОД до 5,6 л/мин) с достижением SpO_2 величины 100 %.

По клинко-лабораторным данным только при сеансе в ПБК улучшалась фильтрация мочи в почках, что сопровождалось восстановлением нормального удельного веса, исчезновением следов белка, цилиндров и уменьшением в моче количества эритроцитов и лейкоцитов в моче.

РАЗВИТИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕРЕОЗРЕНИЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКИХ НАВЫКОВ У КОСМОНАВТОВ И ПИЛОТОВ

Рабичев И.Э.¹, Врубляюскас М.², Мальных Т.Б.³

¹ Центр исследования и коррекции зрения «Восприятие», г. Москва

² VISUS-4D Center, г. Вильнюс

³ Психологический институт Российской академии образования, г. Москва

THE DEVELOPMENT OF A DYNAMIC STEREOPVISION TO IMPROVE OPERATOR SKILLS FOR THE ASTRONAUTS AND PILOTS

Rabichev I.E.¹, Vrubliauskas M.², Malyh T.B.³

¹ Vision Research and Correction Center "Perception", Moscow

² VISUS-4D Center, Vilnius, Lithuania

³ Psychological Institute of Russian Academy of Education, Moscow

Для водителей транспортных средств, особенно для пилотов и космонавтов актуальны высокая острота стереозрения, концентрация внимания, быстрое принятие решений и минимальное время реакции при выполнении действий в пространстве зрительной сцены и даже за ее пределами.

Для эффективной реализации этой задачи мы предлагаем использовать два метода развития потенциала стереозрения с использованием биологической обратной связи (БОС).

Первый – метод «слияния двойных изображений при физиологическом двоении». Он не предполагает использования приборов, оптики.

Второй метод – с использованием компьютерно-программного комплекса Стереометр «Visus-4D», с поляридным разделением полей зрения. Он тренирует стереозрение в статическом и динамическом режиме, используя принципы БОС для формирования связи между стереозрением и согласованным движением объектов на экране, активностью глазодвигательных мышц и управлением движениями руки.

В основе первого метода лежит формирование виртуального зрительного образа при слиянии пар идентичных изображений в состоянии физиологического двоения. Биологическая обратная связь основана на управлении мышцами глаза при удержании виртуального стереообраза. Пара идентичных изображений размещается на прозрачном материале, расстояние между изображениями (3,5–4,5 см) определяется в зависимости от межзрачкового расстояния у обследуемого. Его просят, управляя произвольно вергенцией, найти виртуальный бинокулярный стереоскопический образ. Удерживание этого виртуального бинокулярного образа позволяет оценивать наличие стереозрения и тренировать его при слежении глазами за перемещаемым тест-объектом. Тренировка происходит при согласованных движениях глаз и движениях головы в широком диапазоне пространства. То есть тренировка возможна во всем бинокулярном поле зрения, с учетом изменения положений головы в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Второй метод использует возможности Стереометра «Visus-4D» (автор программы М. Vrubliauskas, научный консультант Рабичев И.Э.)

Цель тренинга на Стереометре «Visus-4D»: развитие динамического стереозрения в процессе управления объектом в пространстве.

Методы. В основе первого метода лежит формирование виртуального зрительного образа при слиянии пар идентичных изображений в состоянии физиологического двоения. Удержание этого виртуального образа позволяет оценивать и тренировать стереозрение при слежении глазами за перемещаемым стереообразом при согласованных

движениях глаз и движениях головы в широком диапазоне пространства. Т.е. тренировка возможна во всем бинокулярном поле зрения с учетом изменения положений головы в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Второй метод – в основе комплекса Стереометр Visus-4D, который состоит из компьютера, с разделяющей по вертикали поляроидной пленкой экран монитора, пробной оправы со сменными призмами с поляроидами для разделения изображений на правый и левый глаз и компьютерной программы «Visus-4D». Обследуемому требуется совместить Тестовый объект и Базовый объект на экране, каждый из которых он должен увидеть как целый виртуальный стереообраз состоящий из двух разведенных изображений, которые он видит правым и левым глазом через призмы. Тестовый и Базовые виртуальные образы могут восприниматься на различной глубине. Таким образом, пары изображений для правого и левого глаза попадают на соответствующие корреспондирующие рецептивные поля (при прямой фузии в правый и в левый глаз соответственно), и при этом формируется виртуальный стереоскопический образ. С помощью Стереометра «Visus-4D» исследование стереозрения выполняется в условиях случайно изменяющейся микровергенций глаз, управляемых в ручном или автоматическом режиме, а затем статически предъявляемом изображении базового объекта, а также при динамически изменяющихся положений пар базового объекта, вызывающих вергенцию на заданном отрезке пространства и времени. Такой подход позволяет оценивать стереозрение при движущихся объектах.

Программа позволяет производить точную регистрацию параметров стереозрения (точности слияния изображений, характера движения управляемым объектом для слияния, восприятия глубины, его порога), варьировать в широком диапазоне величину диспаратности от 1 до 120 угл. мин, временем выполнения задачи от 10 до 900 сек и более, с неограниченным количеством измерений. Так же, с помощью данной компьютерной реализации можно варьировать глубину и скорость перемещения базового и тестового объектов в виртуальном пространстве, угол зрения, цвет и форму объектов.

Выполнение стереоскопических задач по совмещению тестового объекта (ТО), управляемого тестируемым лицом, с базовым объектом (БО), управляемого программой, происходит с регистрацией и оценкой выполнения стереоскопических задач в стереоскопическом виртуальном пространстве и регистрацией принятия решения и времени реакции по действию руки с компьютерной мышью.

Каждый результат совмещений ТО с БО в пространстве и времени, каждое движение руки, или остановка движения руки регистрируется. По результатам строится таблица и многопараметрическая диаграмма, а также проводится статистический анализ. По этим данным можно судить о точности стереозрения, внимании, а также точности и времени реакции обследуемого. Из таблиц и диаграмм видны точность и ошибки результатов. Кроме того можно вычислить и выделить в диаграмме время принятия решения, время реакции обследуемого, а также время отвлечения внимания от процесса измерений, что характеризует его состояние и наблюдательность. Многократные измерения при выполнении задач в пространстве и времени при различной сложности позволяют оценить диапазон порога остроты стереозрения и точности действий, а также уровень подготовленности, внимательности, обучаемости и утомляемости обследуемого.

Результаты. Описанные методы тренинга стереозрения применялись для восстановления отсутствующего и развития стереозрения у детей и взрослых в Центре «Восприятие» (г. Москва) и Центре VISUS-4D (г. Вильнюс) на Стереометре VIZUS 4D. Дома закрепление навыков проводилось с помощью метода «слияния двойных изображений при физиологическом двоении». Общее количество добровольцев участвующих в исследовании 202 человека. У 199 участников получены положительные результаты, развита фузионная способность у 18 человек, у 139 - развито стереозрение, у 42 – наблюдалось совершенствование способности выполнять зрительно-моторные задачи. У 3 участников результат не был достигнут, так как у них было расходящееся косоглазие с циклодиплопией (циклическое косоглазие).

Выводы.

1. Метод слияния парных изображений в условиях физиологического двоения – доступный способ тренировки стереозрения на основе биологической обратной связи. Его преимущество в том, что он не имеет координатных ограничений в пространстве и времени, связанных с размерами экрана монитора и состоянием фузии с близкого расстояния, а также не требует использования оптики и разделителя полей зрения.

2. Стереометр VISUS 3D является устройством для количественной оценки остроты стереозрения и для количественной и качественной оценки времени принятия решения и времени реакции при выполнении зрительно-моторных стереоскопических задач при импульсном и динамическом изменении стереоскопического пространства. Также этот комплекс является тренажером стереозрения в статике и в динамике с интегральной обратной связью и позволяет количественно оценивать параметры стереозрение, время принятия решения и время реакции и оценивать особенности слежения оператором за движущимся объектом.

3. Полагаем, что оба метода могут быть использованы для развития динамического стереозрения и совершенствования операторских навыков у космонавтов и пилотов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНЕЛЛ И ПАРАКРИННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭФФЕКТОВ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Ратушный А.Ю. Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CHARACTERIZATION OF INTRACELLULAR ORGANELLES AND PARACRINE CHANGES OF MULTIPOTENT STROMAL CELLS IN SIMULATED MICROGRAVITY

Ratushnyy A. Buravkova L.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (ММСК) являются одним из пулов стволовых клеток взрослого организма и участвуют в процессах обновления и регенерации. Данный тип клеток обнаружен практически во всех тканях и имеет способность дифференцироваться во многих направлениях. Кроме того, ММСК обладают низкой иммуногенностью, способностью мигрировать в область повреждения и выделять биологически активные медиаторы, участвующие в процессах репарации. Благодаря перечисленным и некоторым другим свойствам на современном этапе ММСК активно изучаются с целью их возможного применения в регенеративной медицине.

Исследования эффектов космического полета на прогениторные клетки немногочисленны, а их результаты часто противоречивы по причине гетерогенности в популяции ММСК и разницы в методологии исследований. Из-за определенных технических сложностей постановки экспериментов на борту пилотируемых и беспилотных космических аппаратов исследователи применяют различные способы моделирования эффектов микрогравитации в наземных условиях. Одним из таких способов является рандомизация положения изучаемого объекта относительно вектора гравитации. На сегодняшний день получены многочисленные доказательства, в том числе и в нашей лаборатории, гравичувствительности клеток в целом и, в частности, ММСК. Цель нашей работы заключалась в изучении морфофункционального состояния и паракринной активности ММСК на начальных этапах моделирования эффектов микрогравитации.

В экспериментах использовали ММСК, выделенные из жировой ткани человека. Клетки культивировали в среде α MEM с добавлением пенициллин-стрептомицина (1 %) и 10 % фетальной телячьей сывороткой в стандартных условиях (37 °C, 5 % CO₂). Для моделирования эффектов микрогравитации использовали прибор Desktop RPM (RPM – random position machine) (Duchspare, Нидерланды). Для анализа вклада перемешивания среды использовали динамический контроль (флакон с клетками помещали на шейкер). Флаконы с клетками полностью заполняли средой, не допуская попадания пузырьков воздуха. Клетки подвергали экспозиции на RPM в течение 96 ч. Жизнеспособность ММСК определяли с помощью набора Annexin V-FITC/PI (Immunotech, Франция). Уровень АФК в клетках с использованием CM-H₂DCFDA, функциональное состояние митохондрий и лизосом с использованием Mitotracker Red FM и Lyso-tracker Green DND26 соответственно. Детекцию флуоресценции проводили методом проточной цитофлуориметрии на приборе Accuri C6 (BD, США). Концентрацию паракринных факторов оценивали при помощи иммуноферментного анализа (ИФА). Эксперименты проводили на клетках четырех доноров. Достоверность подтверждали при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни.

Согласно результатам проведенных исследований, пролиферативная активность при экспозиции ММСК на RPM увеличивалась в 1,5–2 раза относительно статического контроля в аналогичных условиях. При этом не обнаружено изменений в жизнеспособности. Количество клеток позитивно окрашенных аннексином (апоптоз) и йодидом пропидия (некроз) оказалось примерно равным во всех исследуемых пробах и не превышало в сумме 5 % от общего числа клеток в образце. Уровень эндогенных АФК значимо не изменялся, достоверных изменений митохондриального потенциала также не обнаружено. В то же время было показано снижение средней интенсивности флуоресценции зонда LysoTracker Green DND-26, что свидетельствует о снижении активности лизосомального аппарата клетки и может быть следствием уменьшения потребности клетки в аутофагических процессах. Анализ морфологических изменений показал снижение среднего размера и гранулярности клеток, культивируемых на RPM относительно статического и динамического контролей. Исследования паракринной активности включали оценку концентраций в кондиционированной среде ИЛ-6, ИЛ-8, VEGF, TGF- β . Показано, что при экспозиции на RPM увеличивается продукция ИЛ-8 и VEGF. При этом концентрация VEGF также возрастала в динамическом контроле, что свидетельствует о решающем влиянии на продукцию данного фактора перемешивания среды, а не рандомизации вектора гравитации. Согласно полученным данным, продукция ИЛ-6 снижалась при экспозиции на RPM, а концентрация TGF- β в кондиционированной среде в рамках эксперимента не изменялась. Таким образом, было показано, что моделирование эффектов микрогравитации не является для ММСК фактором стресса.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-15-10407.

АНАЛИЗ ТРАНСКРИПТОМА ПЕРЕДНЕЙ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ МЫШЦЫ МЫШЕЙ ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ БИОН-М1 И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ 7-СУТОЧНОЙ ПОСЛЕПОЛЕТНОЙ РЕАДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ ГРАВИТАЦИИ НА ЗЕМЛЕ

Резвяков П.Н.¹, Гусев О.А.^{3,4}, Тяпкина О.В.^{2,3}, Нуруллин Л.Ф.^{2,3}, Никольский Е.Е.^{1,2,3},

Исламов Р.Р.¹

¹ Казанский медицинский университет, Казань, Россия

² Институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН, Казань, Россия

³ Казанский федеральный университет, Казань, Россия

⁴ RIKEN, Yokohama, Japan

TRANSCRIPTOM'S ANALYSIS OF THE ANTERIOR TIBIAL MUSCLE OF MICE AFTER 30-DAY SPACE FLIGHT ON THE BION-M1 BIOSATELLITE AND THE SUBSEQUENT 7-DAY POSTFLIGHT READAPTATION TO GRAVITATION CONDITIONS ON THE EARTH

Rezvyakov P.N.¹, Gusev O.A.^{3,4}, Tyapkina O.V.^{2,3}, Nurullin L.F.^{2,3}, Nikolskiy E.E.^{1,2,3}, Islamov R.R.¹

¹ Kazan state medical university, Kazan, Russia

² Institute of biochemistry and biophysics of Kazan science center of RAS, Kazan, Russia

³ Kazan federal university, Kazan, Russia

⁴ RIKEN, Yokohama, Japan

Для выяснения механизмов развития гипогравитационного двигательного синдрома проведено полногеномное исследование передней большеберцовой мышцы мышей линии c57black/6, находившихся в космическом полете (КП) на биоспутнике БИОН-М1. Образцы мышц выделяли у животных, находившихся в 30-суточном КП (полетная группа), у мышей, прошедших 7-суточную послеполетную реадaptацию на Земле (группа восстановления) и у контрольных мышей (контрольная группа). Общую РНК, полученную из мышечной ткани, использовали для реакции обратной транскрипции и последующего анализа транскриптома с помощью платформы микрочипов Mouse Development Microarray Kit, 4x44000 (Agilent). Результаты экспрессии генов документированы с помощью программного пакета Subio Platform. Внутриклеточные сигнальные пути, изменившие свою активность у мышей из полетной группы и группы восстановления, определяли с помощью базы данных KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes). Биоинформационный анализ выявил существенные сдвиги в экспрессии ряда генов у животных экспериментальных групп относительно соответствующих контрольных. Особенно обращает на себя внимание факт, что у мышей полетной группы сигнальные внутриклеточные каскады, отвечающие за биогенез рибосом репрессированы, а за биогенез лизосом и пероксисом — активированы. При этом у мышей группы восстановления выявлены обратные изменения, а именно повышение активности путей, отвечающих за биогенез рибосом и снижение активности каскадов, обеспечивающих биогенез лизосом и пероксисом. Полученные данные свидетельствуют об изменении катаболических и анаболических процессов в условиях невесомости и продвигают нас в понимании механизмов, приводящих к морфофункциональным изменениям скелетных мышц при гипогравитационном двигательном синдроме.

Исследование поддержано грантами: Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования для разработки биомедицинских технологий», субсидией, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ВИЗОМЕТРИИ

Рожкова Г.И.¹, Малых Т.Б.²

¹ Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва

² Психологический институт Российской академии образования, г. Москва

THE CONTEMPORARY ASPECTS OF VISOMETRY STANDARDIZATION

Rozhkova G.I.¹, Malyh T.B.²

¹ Institute for Information Transmission Problems (Kharchevich Institute) of RAS, Moscow

² Psychology Institute of Russian Academy of Education, Moscow

В последние годы, в связи с быстрыми изменениями условий жизни и появлением принципиально новых видов профессиональной деятельности, всё чаще возникает потребность в мониторинге состояния зрительных функций для оценки влияния различных факторов, как неблагоприятных, так и благоприятных, и для раннего выявления нарушений зрения. В первую очередь, это касается измерений остроты зрения – визометрии, которая является обязательным компонентом любой оценки состояния зрительной системы. До последнего времени на практике в подавляющем большинстве случаев оценка остроты зрения производилась без заботы о высокой точности измерений. При массовых скрининговых обследованиях основной задачей было выявление случаев снижения остроты зрения по отношению к условной норме, за которую принято считать 1,0 в десятичных единицах, 20/20 (6/6) по Снеллену, 0,0 в LogMAR или

30 цикл/град по шкале пространственных частот. В клинике показателем успешности лечения и реабилитации было достижение пациентом всё той же условной нормы.

Поскольку у большинства здоровых людей индивидуальные значения остроты зрения, существенно превышают условную норму (Базарный, 1991; Рожкова и др., 2001; Colenbrander, 2008) очевидно, что при сложившейся практике измерений во многих случаях выявляются уже достаточно запущенные случаи, так как своевременное обнаружение небольших изменений, необходимое для ранней диагностики, не обеспечивается. Многие рядовые клиницисты даже не знают, что возрастные нормы по остроте зрения превышают 1,0 уже в младшем школьном возрасте, составляют 1,6–1,8 у подростков и держатся на уровне выше 1,0 примерно до 55 лет.

К сожалению, организация эффективной системы мониторинга остроты зрения не решается простым повышением точности существующего единого стандартного теста, так как такого теста не существует. В настоящее время в разных странах используются десятки методов визометрии. Даже если рассмотреть только субъективные методы, не требующие специальной сложной аппаратуры, то выясняется, что при измерении используются разные зрительные задачи (обнаружение, различение, узнавание); разные оптоотипы (силуэтные и контурные изображения предметов и геометрических фигур, буквы, синусоидальные решетки, элементы Габора, шахматные паттерны, специальные знаки); различные средства для предъявления оптоотипов (картонные и пластиковые таблицы, проекционные устройства, дисплеи компьютеров); различные способы чередования оптоотипов разного размера и различные алгоритмы вычисления показателей по ответам испытуемого.

Для налаживания эффективной системы мониторинга остроты зрения и обеспечения возможности координированных международных исследований необходимо:

- провести теоретический анализ свойств и возможностей различных тестовых изображений и выбрать перспективные *научно обоснованные оптоотипы*;

- получить *нормативные данные* для выбранных перспективных оптоотипов;

- разработать *оптимальный протокол* проведения тестирования;

- разработать физиологически обоснованный *оптимальный график* проведения тестирования;

- обучить грамотному проведению тестирования (правильной работе с тестами в соответствии с протоколом) специальный персонал или самих испытуемых;

- создать условия для беспрепятственного тестирования и записи результатов с занесением в базу данных.

- изучить возможности использования для мониторинга остроты зрения современных электронных устройств для автоматизированного отслеживания динамики показателей, в том числе используя распознавание голосовых ответов.

Более того, поскольку зрительная система функционирует в неразрывной связи с аккомодационной и глазодвигательной системами, оценку зрительных показателей нужно проводить, учитывая необходимость обеспечения комфортных условий работы всех трех систем.

К сожалению, многие аспекты визометрии до сих пор слабо исследованы теоретически, а практические условия работы и традиции в разных странах сильно различаются, в связи с чем, при подготовке международных проектов могут возникать разногласия. В частности, весьма неожиданным препятствием для согласования проектов, включающих оценку остроты зрения, является различие используемых единиц измерения, которое требует особого внимания на начальных этапах работы.

ВЛИЯНИЕ НОРМОБАРИЧЕСКИХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ГИПОКСИЧЕСКО-ГИПЕРОКСИЧЕСКИХ ТРЕНИРОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕЛИЯ И БИООБРАТНОЙ СВЯЗИ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНОВ

Ружичко И.А.¹, Суворов А.В.¹, Логунов А.Т.², Гришин В.И.², Суворов К.Г.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ЗАО «СКТБ ЭО при ИМБП РАН», Москва

INFLUENCE OF NORMOBARIC INTERVAL HYPOXIC-HYPEROXIC WORKOUT USING HELIUM AND BIOFEEDBACK ON EXERCISE PERFORMANCE IN PROFESSIONAL ATHLETES

Ruzhichko I.A.¹, Suvorov A.V.¹, Logunov A.T.², Grishin V.I.², Suvorov K.G.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² ZAO «SCTB EE attached to IMBP RAS», Moscow

В настоящее время все более актуальным становится поиск немедикаментозных методов максимального раскрытия резервных возможностей организма спортсменов. Одним из направлений такого поиска является использование различных искусственных дыхательных смесей кислорода с индифферентными газами (гелием, аргоном, ксеноном, криптоном), открывающее новые возможности сочетанного воздействия на физиологические системы организма спортсмена в период тренировочного процесса.

Особый интерес в этом отношении представляет гелий. К настоящему времени практически доказана

целесообразность и эффективность использования кислородно-гелиевой терапии не только как лечебного средства, но и как средства реабилитации после интенсивных нагрузок. Существует ряд работ, которые показывают, что гелий благодаря физическим свойствам обеспечивает увеличение объемной скорости движения газа в трахеобронхиальном дереве, улучшает газообмен за счет облегчения доставки кислорода к альвеоло-капиллярной мембране, снижает работу дыхательной мускулатуры. Подогретая кислородно-гелиевая газовая смесь не только по сравнению с воздухом, но и с гелийсодержащей дыхательной смесью комнатной температуры расслабляет гладкую мускулатуру, уменьшая нагрузку на нее, при этом происходит и мощное тепловое и теплорефлекторное воздействие на организм [Павлов Б.Н., Дьяченко А.И. и соавт., 2003]. Использование 50 %-ных кислородно-гелиевых смесей в восстановительном периоде спортсменов, способствует улучшению и увеличению объема тренирующих воздействий как аэробной, так и анаэробной направленности [Поликарпочкин А.Н., Левшин И.В., 2010]. Сотрудниками ГНЦ РФ-ИМБП РАН научно обосновано применение подогретых кислородно-гелиевых смесей, значительно превышающих термонейтральный диапазон, а также разработаны средства применения этих смесей в медицинских целях [Павлов Б.Н. и соавт., 1995]. Накоплен опыт применения кислородно-гелиевой терапии в ряде видов спорта с использованием аппаратных средств и методик, впервые разработанных в нашей стране с использованием зарегистрированных аппаратов для кислородно-гелиевой терапии (ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»). Разработаны методические рекомендации по применению кислородно-гелиевой терапии (ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»), утвержденные Федеральным медико-биологическим агентством (Приказ ФМБА России от 09.04.2012. № 32/407). Однако данных о применении кислородно-гелиевых смесей в процессе тренировок или в качестве самостоятельного средства тренировок организма спортсменов, занимающихся различными видами спорта, явно недостаточно.

Другим направлением использования газовых смесей с измененным составом является применение тренировок в виде периодического дыхания гипоксическими или гипоксическо-гипероксическими газовыми смесями. Десять лет назад был запатентован один из способов повышения неспецифических адаптационных возможностей человека на основе гипоксическо-гипероксических газовых смесей [Архипенко, Сазонтова, 2006]. Проведенные исследования по влиянию комплексной интервальной нормобарической гипоксическо-гипероксической тренировки с биообратной связью на работоспособность человека [Костин А.И., Глазачев О.С. и соавт., 2009] показали, что курс гипоксическо-гипероксического преко кондиционирования повышает устойчивость спортсменов к острой дозированной гипоксии, восстановлению и прогрессу исходно сниженного уровня работоспособности и аэробной выносливости, оптимизации вегетативной регуляции сердца, улучшению психологического статуса.

Таким образом, представляет интерес исследование объединенного воздействия гелия, как компонента дыхательной газовой смеси, и гипоксическо-гипероксической тренировки на спортивный результат и на физическую работоспособность и уровень аэробной выносливости профессиональных спортсменов.

На базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН в сотрудничестве с ЗАО «СКТБ ЭО при ИМБП РАН» проведен ряд экспериментальных исследований, направленных на комплексную оценку влияния нормобарических интервальных гипоксическо-гипероксических тренировок с использованием гелия и биообратной связи на работоспособность и уровень аэробной выносливости спортсменов высокой квалификации.

В одном из таких исследований проведена оценка влияния интервальных гипоксическо-гипероксических тренировок с биообратной связью на работоспособность и уровень аэробной выносливости спортсменов-пловцов. Всего было обследовано 11 человек (7 юношей и 4 девушки) в возрасте от 14 до 26 лет. На каждом этапе исследований принимали участие две группы: группа, в которой тренировки сочетались с дыханием кислородно-гелиевыми смесями (5 человек), и контрольная группа без дополнительных дыхательных тренировок (6 человек). Уровень физических нагрузок в традиционном тренировочном процессе был приблизительно одинаков для обеих групп. В промежутке или в конце тренировочного процесса спортсмены принимали участие в соревнованиях всероссийского уровня. В основу тренировок с дыханием была положена схема, предполагавшая проведение курса из кислородно-гелиевых тренировок, состоящего из 2–3 сеансов в неделю (один сеанс в сутки) в тренировочный период (1–2 мес), предшествующий участию в соревнованиях. Интервальные гипоксическо-гипероксические дыхательные тренировки применяли как дополнительные тренировки, проводившиеся, как правило, после основной традиционной тренировки, включающие с себя занятия «на воде» и/или «на суше». Суммарная длительность дополнительной тренировки или каждого сеанса составляла около 15–45 мин в зависимости от уровня подготовки спортсмена, объема и интенсивности работы, выполненной во время основной тренировки. В отдельных случаях использовали восстановительное дыхание для ускорения восстановительных процессов. При проведении дыхательных тренировок использовали комплекс оборудования «Циклический дыхательный тренажер ТД-В2» (ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»), который представляет собой аппаратный комплекс с адаптивной биологической обратной связью для циклической дыхательной тренировки с использованием нормобарических подогреваемых гипокси- и гипероксических кислородно-гелиевых смесей. В основном, применяли газовые смеси фиксированного состава, подготавливаемые предварительно, исходя из персональных особенностей и функционального состояния спортсмена (группы спортсменов), а продолжительность гипоксических и нормоксических воздействий формировалась автоматически на основе показателей пульсоксиметрии в процессе дыхательной тренировки.

В результате исследований было показано, что применение выбранного режима комплексных тренировок,

включающих дыхание гипоксическо-гипероксическими смесями, привело, прежде всего, к более высокому спортивному результату (улучшение спортивных результатов имело место в 9 из 10 заплывов) по отношению к контрольной группе (более высокие спортивные результаты отмечены в 6 из 12 заплывов). Кроме того, было показано, что применение кислородно-гелиевых дыхательных тренировок повышает способности организма спортсмена к восстановлению после физической нагрузки. Восстановление спортсменов (по значению ЧСС на 5-й и 10-й минутах восстановления) после выполнения дозированной работы субмаксимальной мощности в тестах с физической нагрузкой, у спортсменов, применявших дыхательные тренировки, наступало раньше по отношению к фоновым значениям в контрольной группе. Значение ЧСС в группе спортсменов, применявших дыхательные тренировки, на 5-й минуте восстановления ниже значения ЧСС в покое на 6,2 уд/мин (-6,0 %), тогда как на 10-й минуте восстановления ниже на 4,2 уд/мин (-4,0 %). ЧСС в контрольной группе спортсменов на 5-й минуте восстановления выше значения ЧСС в покое на 2,7 уд/мин (+3,8 %), тогда как на 10-й минуте восстановления выше на 5,7 уд/мин (+7,8 %). По тесту PWC₁₇₀ не выявлено значимого влияния дыхательных тренировок на физическую работоспособность спортсменов, не было отмечено различий и в потреблении кислорода при нагрузке мощностью 2,5 Вт на кг массы. Вместе с тем, было отмечено понижение уровня анаэробного порога, сопоставимое по величине в обеих группах, что, в целом, подтверждает эффективность тренировочного процесса.

Таким образом, более высокие спортивные результаты (интегральный показатель эффективности комплексных тренировок) были показаны спортсменами, применявшими гипоксическо-гипероксические дыхательные тренировки с использованием гелия и биообратной связи. Снижение уровня анаэробного порога в обеих группах после окончания соревнований, вероятнее всего, является результатом метаболических изменений в организме спортсменов. Достоверные и разнонаправленные изменения ЧСС в восстановительный период после нагрузки (по сравнению с теми же периодами фоновых исследований) подтверждают более высокую эффективность комбинированных тренировок, включающих дыхание с применением искусственных газовых смесей.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ СИСТЕМЫ ИММУНИТЕТА В РЕГУЛЯЦИИ ОСТЕОКЛАСТОГЕНЕЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Рыкова М.П., Антропова Е.Н., Берендеева Т.А., Калинин С.А., Васильева Г.Ю., Пономарев С.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INVESTIGATION OF THE ROLE OF THE IMMUNE SYSTEM IN THE REGULATION OF OSTEOCLASTOGENESIS UNDER THE INFLUENCE OF SPACE FLIGHT FACTORS ON THE HUMAN BODY

Rykova M.P., Antropova E.N., Berendeeva T.A., Kalinin S.A., Vassilieva G.Y., Ponomarev S.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Гравитация является фундаментальным механическим фактором, определяющим особенности структурно-функциональной организации опорно-двигательной системы. Анализ полученных при обследовании космонавтов результатов свидетельствует, что, несмотря на использование комплекса профилактических мероприятий, после завершения длительных космических миссий наблюдается феномен быстро развивающейся, но обратимой остеопении [Оганов В.С., Григорьев А.И., 2012]. В ряде выполненных за последнее десятилетие работ, направленных на изучение роли местных и системных факторов, регулирующих процессы ремоделирования костной ткани, были получены принципиально новые факты, подтверждающие гипотезу, что одним из критических механизмов развития остеопороза является продукция клетками иммунной системы остеокластогенных факторов. Однако до сих пор практически неизученным остается вопрос о возможности и, тем более, механизмах взаимодействия процессов, протекающих в костной ткани и иммунной системе при воздействии на организм разных уровней гравитации.

Исследования, выполненные нами за 60 сут до старта и на 1–7-е сутки после приземления, включали в себя анализ количественных и функциональных характеристик клеточных факторов адаптивного иммунитета, цитокиновой системы остеопротегерин/лиганд рецептора-активатора ядерного фактора каппа-В (OPG/RANKL), уровня экспрессии генов транскрипционного фактора NF-κB и костных морфогенетических белков (BMP), а также биохимических маркеров костного метаболизма у 22 российских космонавтов, принимавших участие в длительных (124–199 сут) экспедициях на МКС.

Результаты исследования уровня в сыворотке крови космонавтов OPG и RANKL, играющих ключевую роль в формировании, дифференцировке и активности остеокластов, показали, что у 11 космонавтов на 1-е сутки после возвращения на Землю было отмечено повышение соотношения OPG/RANKL. В то же время у других 11 космонавтов, напротив, наблюдалось снижение этого соотношения. Следует отметить, что в раннем периоде реадaptации повышение соотношения содержания в сыворотке крови OPG и RANKL было обусловлено существенным снижением содержания RANKL, а снижение соотношения OPG и RANKL – снижением содержания OPG. Анализ полученных результатов также позволил выявить зависимость между соотношением OPG/RANKL и концентрацией биохимических маркеров обмена костной

ткани – остеокальцина и тартрат–резистентной кислой фосфатазы (КФтарт). Так, в группе обследованных космонавтов, у которых в послеполетном периоде было выявлено существенное снижение этого интегрального показателя, наблюдалось не только значительное снижение уровня OPG, но и значительное увеличение уровня КФтарт в сыворотке крови, указывающее на преобладание процессов резорбции над образованием новой костной ткани. В то же время в группе обследованных космонавтов, у которых в послеполетном периоде было выявлено существенное повышение соотношения OPG/RANKL, было выявлено снижение концентрации RANKL и увеличение содержания остеокальцина, указывающее на преобладание процессов синтеза костной ткани.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что синтез OPG осуществляется наряду с остеобластными клетками, клетками стромы, эндотелиальными клетками сосудов также и В-лимфоцитами, а синтез RANKL – клетками остеобластического ряда и активированными Т-лимфоцитами [Boyce BF, Xing L, 2007]. Проведенный нами анализ субпопуляционного состава лимфоцитов периферической крови, показал, что на 1-е сутки периода реадaptации у обследованных космонавтов наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) повышение абсолютного содержания CD19⁺-В-клеток и CD3⁺-Т-клеток, связанное с повышением уровня CD3⁺CD4⁺-клеток. При изучении экспрессии активационного маркера Т-лимфоцитов – CD25, в 54 % наблюдений была выявлена выраженная тенденция к увеличению содержания клеток, имеющих этот рецептор, по-видимому, отражающее состояние активации иммунной системы *in vivo*.

При определении способности мононуклеарных клеток периферической крови членов экипажей длительных экспедиций на МКС продуцировать факторы контроля остеогенеза на уровне остеокласт-остеобласт-генеза в системе *in vitro* не было выявлено статистически достоверных изменений способности иммунокомпетентных клеток синтезировать OPG и RANKL на 1-е сутки послеполетного периода. Вместе с тем анализ динамики индивидуальных показателей позволил отметить, что у 7 из 12 человек наблюдалось снижение синтеза OPG на 15–57 % от исходного уровня в 48-часовых культурах МНК в отсутствие стимуляции. Однако уже на 7-е сутки после возвращения на Землю у этих космонавтов содержание OPG в супернатантах нестимулированных клеточных культур не отличалось от предполетных значений. Напротив, у 5 из обследованных космонавтов наблюдался обратный эффект - повышение продукции этого регуляторного белка иммунокомпетентными клетками не только на 1-е, но и на 7-е сутки реабилитационного периода (на 16–217 % и 63–142 % от предполетного уровня соответственно). Обращает на себя внимание тот факт, что в раннем послеполетном периоде направленность изменений концентрации RANKL в 48-часовых культурах МНК в отсутствие стимуляции, была в целом аналогична направленности изменений OPG: уровень продукции RANKL составлял 25–568 % и 30–385 % от фоновых значений соответственно на 1-е и 7-е сутки после приземления. Только у 3 из обследованных космонавтов изменения способности МНК периферической крови синтезировать OPG и RANKL в нестимулированных культурах клеток имели разнонаправленный характер: у 2 из обследованных – снижение продукции OPG и повышение продукции RANKL, а у одного - напротив, повышение продукции OPG и снижение продукции RANKL. Складывается впечатление, что комплексное воздействие факторов космического полета может приводить к повышению способности иммунокомпетентных клеток продуцировать факторы контроля остеогенеза. Учитывая тот факт, что процесс ремоделирования костной ткани во многом определяется балансом между продукцией OPG и RANKL, представлялось целесообразным также оценить соотношение содержания OPG и RANKL в культурах нестимулированных иммунокомпетентных клеток. Анализ полученных результатов показал, что у некоторых из обследованных космонавтов в раннем послеполетном периоде наблюдались изменения, ассоциированные с повышением способности поддерживать формирование и активацию остеокластов, - снижение соотношения OPG/RANKL.

В настоящее время считается, что RANKL вступает во взаимодействие с тропным к нему рецептором RANK на мембране клетки – предшественницы остеокласта, приводя к внутриклеточным каскадным геномным трансформациям. RANK воздействует на ядерный фактор NF- κ B через сопряженный с рецептором протеин TRAF 6. Проведенный нами на 1-е сутки после возвращения на Землю анализ экспрессии генов в мононуклеарных клетках периферической крови только у одного из космонавтов выявил повышение экспрессии гена, кодирующего белок TRAF6. В то же время у всех обследованных членов экипажей длительных миссий были отмечены разнонаправленные изменения генов, относящихся к группе компонентов NF- κ B-сигнального пути (CSF2, IFNA1, IFNB1, IL1A, IL1B, IL2, IL6, IL10, MAP3K1, NFKB2, NFKBIA, NFKBIL1, NFRKB, REL, TNF, MAP2K3, MAP3K1). Кроме того, у них наблюдались разнонаправленные изменения экспрессии от 7 до 18 генов, кодирующих костные морфогенетические белки – BMP1, BMP2, BMP3, BMP4, BMP5, BMP6, BMP7, BMP8B, GDF10, GDF11, GDF2, GDF3, GDF5, GDF9, INHA, INHBA, NODAL, TGFA, TGFB1, TGFB2, TGFB3.

Таким образом, результаты проведенного исследования могут рассматриваться как один из аргументов в подтверждение роли иммунной системы в достижении баланса между процессами резорбции и формирования костной ткани при длительном пребывании человека в условиях микрогравитации и указывают на необходимость продолжения изучения иммунных регуляторных механизмов костного ремоделирования при воздействии на организм человека факторов космического полета.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ: «Поддержка ведущих научных школ НШ-7479.2016.4»

ВОПРОСЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ

Рюмин О.О.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

ISSUES OF PSYCHOLOGICAL SUPPORT OF HUMAN INTERPLANETARY MISSIONS

Ryumin O.O.

Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow region

В настоящий момент все большую актуальность приобретают проблемы поддержания благоприятного психического состояния человека, в условиях межпланетного полета, а также непосредственно жизни в обитаемых базах на других планетах. При исследовании вопроса психологического обеспечения межпланетных экспедиций следует учитывать: неразрывную связь психического здоровья космонавтов с работоспособностью и эффективностью деятельности; зависимость позитивного функционирования в полете от полноты и адекватности мероприятий психологического обеспечения деятельности экипажа на всех его этапах (отбор, подготовка, полет и послеполетная реабилитация). Необходимо также отметить в настоящее время полное отсутствие достоверных данных о состоянии психики человека в межпланетных полетах и опыта психологического их обеспечения. Проводимые до сего времени исследования фактически сводятся к изучению влияния на организм космонавта невесомости и поведенческим проявлениям в процессе орбитального полета различной продолжительности. Особо следует учитывать несовпадение психологической модели орбитального и межпланетного полетов. Ключевым значением при этом, на наш взгляд, является не длительность полета, а его направленность. Сильнейшим стрессором для психики в данном случае будет потеря психологического «якоря», непосредственного визуального контакта с Землей.

Среди особенностей межпланетного полета, формирующих риски его осуществления ведущее для психики космонавта, занимают: замкнутое пространство; состояние психической неопределенности на протяжении всей экспедиции; постоянная опасность для жизни (радиация, метеориты, возможность опасного контакта с новыми формами жизни), способная приводить к развитию различных фобий; автономность функционирования и принятия решений; монотонность/отсутствие работы; ограниченный круг общения; невозможность экстренной эвакуации при аварии корабля; совместимость членов космических экипажей и др.

В межпланетном полете существенное отличие от орбитального приобретают мероприятия по диагностике психического состояния космонавтов, их психологической поддержке и сохранению необходимых профессиональных навыков. При появлении начальных симптомов психического срыва в околоземных полетах имеется возможность вернуть космонавта на Землю. В межпланетном полете психически неуравновешенный человек должен рассматриваться как серьезная угроза безопасности и выполнению программы полета. Это может потребовать комплектования экипажа врачом, соответствующего профиля, его подготовки и технического оснащения.

В процессе подобных экспедиций частично может быть рекомендована принципиальная схема существующего для экипажей МКС комплекса психологической поддержки. Одновременно, он потребует модернизации и использования современных инновационных технологий.

Учитывая особенности и длительность межпланетных экспедиций, следует ожидать реальное угасание профессиональных операторских функций и навыков у космонавтов. В связи с этим, одной из основных задач психологического обеспечения таких экспедиций является поддержание необходимого профессионального уровня космонавтов на всем их протяжении.

Выполнение космонавтом профессиональных задач в экстремальных условиях межпланетного полета сопряжено с перенесением чрезвычайных стрессовых нагрузок. Высока вероятность возникновения дезадаптационных расстройств, что впоследствии может оказать существенное негативное влияние на его здоровье и профессиональное долголетие. Особую актуальность ввиду этого приобретает психологическая реабилитация космонавтов, направленная на скорейшее восстановление оптимального психического состояния и профессиональной работоспособности членов космического экипажа, а также их реадaptацию к условиям обычной жизни и социальным связям.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛОКОМОЦИЙ В АКТИВНОМ И ПАССИВНОМ РЕЖИМАХ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Савинкина А.О.^{1,3}, Фомина Е.В.^{1,2}, Лысова Н.Ю.¹, Брыков В.И.¹, Томиловская Е.С.¹, Рукавишников И.В.¹, Козловская И.Б.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Московский педагогический государственный университет

³ Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, Москва

THE CHARACTERISTICS OF GROUND REACTION FORCES DURING LOCOMOTION IN ACTIVE

AND PASSIVE MODES IN MICROGRAVITY CONDITION**Savinkina A.O.^{1,3}, Fomina E.V.^{1,2}, Lysova N.Y.¹, Brykov V.I.¹, Tomilovskaya E.S.¹,
Rukavishnikov I.V.¹, Kozlovskaya I.B.¹**¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow² Moscow State Pedagogical University, Moscow³ Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow

Длительное пребывание человека в условиях микрогравитации приводит к значительным структурным и функциональным изменениям в гравитационно-зависимых системах, обуславливающих необходимость использования профилактических мероприятий для успешного функционирования организма космонавта после возвращения на Землю или посадки на других планетах [Fitts R.H. et al., 2010; DeWitt J.K. et al., 2014]. Поиск оптимальных методов построения тренировочного процесса космонавтов в настоящее время строится на основе концепции о ведущей роли опорной афферентации в развитии гипогравитационных изменений в двигательной системе [Kozlovskaya I.B. et al., 1986; Григорьев А.И. и др., 2004]. Согласно этим представлениям, достаточная афферентация с рецепторов опоры обеспечивает организм информацией о величине гравитации, что приводит к снижению негативного влияния невесомости на организм космонавта. В частности, опорная афферентация важна для сохранения постуральной мускулатуры и обеспечения моторного контроля [Edgerton V.R. et al., 2000; Belavy D.L. et al., 2007].

Мы предполагаем, что интенсивность афферентного притока во время длительного космического полета сопряжена с величиной опорных реакций при выполнении локомоторных тренировок. В данной работе проводился анализ величин и распределения опорных реакций при выполнении локомоций на бегущей дорожке БД-2 в условиях МКС. В исследовании участвовало 16 космонавтов. Регистрация распределения давления по стопе проводилась с помощью специальных тензостелек «Диаслед» в рамках космического эксперимента «Мотокард» при выполнении локомоций на БД-2 в режиме медленного, среднего и быстрого бега и ходьбы как в активном, так и пассивном режимах. Вертикальная составляющая опорных реакций измерялась с использованием бегущей дорожки БД-2, оснащенной 8 тензодатчиками регистрации давления, и при выполнении эксперимента «Мотокард», и во время штатных локомоторных тренировок в течение всего космического полета. Статистическая обработка величины опорных реакций проводилась методом анализа ковариаций ANCOVA в программе SPSS 21.0. Анализировалась зависимость вертикальной составляющей величины максимальных опорных реакций от следующих факторов: режим работы бегущей дорожки (активный и пассивный), вид локомоций (ходьба и бег), индивидуальная стратегия локомоций космонавта и ковариатов: скорости локомоций и величины осевой нагрузки.

Показано, что величина вертикальной составляющей максимальных опорных реакций зависит от величины осевой нагрузки ($p \leq 0,001$), скорости локомоций ($p \leq 0,001$), вида локомоций ($p \leq 0,001$), индивидуальной стратегии локомоций ($p \leq 0,001$) и режима работы бегущей дорожки ($p \leq 0,01$). Величина вертикальной составляющей максимальных опорных реакций возрастала с увеличением величины осевой нагрузки ($p \leq 0,001$) и с возрастанием скорости локомоций ($p \leq 0,001$). Величина опорных реакций в среднем была выше в пассивном режиме по сравнению с активным ($p \leq 0,001$), а также была выше при беге, чем при ходьбе ($p \leq 0,001$), при этом величина опорных реакций различалась более чем на 17 % от величины осевой нагрузки у разных космонавтов ($p \leq 0,001$). Значимым оказалось также влияние взаимодействия факторов: режим и индивидуальная стратегия локомоций ($p \leq 0,001$), вид и индивидуальная стратегия локомоций ($p \leq 0,001$), режим, вид и индивидуальная стратегия локомоций ($p \leq 0,001$). У разных космонавтов направление изменения величины опорных реакций при переходе от активного режима работы бегущей дорожки к пассивному различалось: у одних опорные реакции были выше в пассивном режиме, у других – в активном ($p \leq 0,001$). Степень повышения величины опорных реакций при переходе от ходьбы к бегу варьировалась у разных космонавтов ($p \leq 0,001$). По-разному также изменялась величина опорных реакций в зависимости от сочетания факторов «режим» и «вид локомоций» ($p \leq 0,001$).

Выявлена уникальность и стабильность профиля опорных реакций космонавтов при выполнении локомоций в условиях микрогравитации. Переход от активного режима работы бегущей дорожки к пассивному был связан у разных космонавтов как со значительным изменением профиля опорных реакций, так и с отсутствием каких-либо изменений. В частности, в активном режиме у нескольких космонавтов наблюдалось два пика опорных реакций – первый был меньшей амплитуды, чем второй. А в пассивном режиме у этих же испытуемых наблюдалась плавная кривая профиля опорных реакций с одним четко выраженным пиком. Данные о распределении давления по стопе, зарегистрированные тензостельками, показали, что изменение количества пиков при активном и пассивном режиме работы БД-2 связано с изменением стратегии выполнения локомоций. При двух пиках каждый шаг начинался с контакта пятки и полотно бегущей дорожки, а при одном пике космонавт выполнял локомоции, начиная с передней части стопы, что согласуется с анализом профилей изменения вертикальной составляющей опорных реакций, выполненным ранее.

Таким образом, было показано, что величина вертикальной составляющей опорных реакций и распределение давления по стопе зависят от режима движения полотна бегущей дорожки и имеют значительные индивидуальные различия, что необходимо учитывать при планировании профилактических мероприятий в ходе длительных космических

полетов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-25-00167.

ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА «СУХОЙ» ИММЕРСИИ В ПРАКТИКУ КОМПЛЕКСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ ДЦП

Саенко И.В., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF DRY IMMERSION IN THE PRACTICE OF COMPLEX REHABILITATION OF CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY

Saenko I.V., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Научный интерес к погружению человека в водную среду возник с развитием космонавтики. Как оказалось, невесомость – причина многих физиологических изменений, затрагивающих опорно-двигательный аппарат, сердечно-сосудистую, нервную и другие системы организма. Для обеспечения безопасности космических полетов было необходимо выявить механизмы этих изменений, понять, как организм адаптируется к невесомости, а главное, разработать технологии по борьбе с пагубными последствиями невесомости. Метод «сухого» погружения был впервые предложен в начале 1970-х годов. Он был описан Е.Б. Шульженко и О.С. Виль-Вильямс [Шульженко 1975; Шульженко и Виль-Вильямс, 1975], советскими специалистами в области космической биологии и медицины, работающими в Институте авиационной и космической медицины (ныне ГНЦ РФ Институте медико-биологических Проблемы РАН, Москва). В дополнение к гипокинетическим эффектам (снижению двигательной активности), к изменению гемодинамики, в условиях «сухой» иммерсии воспроизводятся и другие важные аспекты космического полета: снижение весовых нагрузок, уменьшение активности проприоцептивного входа, устранение опоры. Использование этой модели микрогравитации позволило в пестрой картине «синдрома микрогравитации» выделить реакции, нарушающие гомеостаз и способствующие его сохранению, корректно описать направленность и динамику развития адаптационных изменений, а также определить наиболее эффективные подходы неблагоприятных влияний факторов невесомости на организм человека [Козловская И.Б., 2008, Томиловская Е.С., 2013].

Опыт 40-летнего использования данного метода позволил начать работу по активному внедрению метода «сухой» иммерсии в клиническую практику. Проведенные исследования в МНПЦ реабилитации инвалидов вследствие детского церебрального паралича по изучению эффектов метода «сухой» иммерсии в комплексной реабилитации двигательных нарушений у детей со спастическими формами церебрального паралича (42 пациента) показали, что данный метод является базовым компонентом для комплексной реабилитации больных с ДЦП. Технология «сухой» иммерсии способствует нормализации мышечного тонуса и активности вегетативной и соматической нервной системы. В результате курса реабилитации, проводимого в течение 2–3 недель, спастические проявления были уменьшены у 90% больных. Одновременно увеличивался объем пассивных движений, нарастал регресс патологических поз. Это в значительной степени облегчало проведение дальнейших реабилитационных процедур, направленных на формирования навыков ходьбы и выполнение различных упражнений. У детей, передвигавшихся самостоятельно, отмечалось изменение патологического стереотипа ходьбы: повышалась средняя скорость передвижения, увеличивалась длины шага, нарастал темп ходьбы.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОСМОНАВТОВ ПО СОСТОЯНИЮ ВЕН НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ВО ВРЕМЯ 6-МЕСЯЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Сальников А.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ORTHOSTATIC TOLERANCE FORECAST OF COSMONAUTS BASED ON STATE OF LOWER LIMBS VEINS DURING 6-MONTH SPACE FLIGHTS

Salnikov A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Известно, что генез ортостатической неустойчивости в невесомости является многофакторным, включающим перераспределение крови, гиповолемию и изменение регуляции сосудистого тонуса артерий и вен нижних конечностей.

Для космической медицины особую значимость имеет возможность заблаговременно предвидеть и прогнозировать изменения ортостатической устойчивости (ОУ) космонавтов в условиях длительного пребывания в невесомости. Ранее, еще на ОС МИР, А.Р.Котовской и Г.А.Фоминой были получены обнадеживающие результаты о возможной связи

снижения ОУ космонавтов в ходе космического полета (КП) с изменениями вен нижних конечностей при обследовании только 13 космонавтов. Поэтому исследования были продолжены на РС МКС.

Цель работы. Определение возможности индивидуального прогнозирования ортостатической устойчивости космонавтов по состоянию вен нижних конечностей во время 6-месячных КП.

Задачи: установить направленность и степень изменений емкости, растяжимости и скорости наполнения вен нижних конечностей космонавтов при окклюзионной пробе в период пребывания в невесомости; сопоставить данные исследований вен нижних конечностей в ходе КП с оценкой ОУ по переносимости пробы с ОДНТ; определить возможность прогнозировать ОУ космонавтов в КП по состоянию вен нижних конечностей.

Методика. Исследования были выполнены методом аэроплетизмографии голени при создании окклюзии венозному оттоку величиной 30, 40, 50 и 20 мм рт.ст. с последующим его увеличением до 60 мм рт.ст. По изменениям объема голени в ходе окклюзионного теста оценивались емкость, растяжимость и скорость наполнения вен нижних конечностей. Во время КП исследования выполнялись за несколько дней до пробы с воздействием ОДНТ, что обеспечивало непредвзятую оценку состояния вен и позволяло проверить возможность прогноза ОУ космонавтов по данным исследования вен нижних конечностей. Плетизмографические исследования выполнены у 33 космонавтов: до КП за -60 и -30 сут, во время КП на 2-м и 5-м месяце, а также после КП в 0 и +8 сутки. Всего выполнено 199 обследований: до КП – 91, во время КП – 76 и после КП – 32.

Результаты исследований. При анализе и оценке индивидуальных данных о состоянии вен нижних конечностей, полученных по результатам исследования с окклюзионной плетизмографией в различные сроки 6-месячных КП, установлено, что в условиях невесомости изменения емкости и растяжимости вен голени были однонаправленными у всех космонавтов, т.е. оба показателя во время полета увеличивались, но в различной степени. При этом изменения скорости наполнения вен были разнонаправленными. В подавляющем большинстве случаев (27 человек из 33) скорость наполнения вен в невесомости снижалась, и это являлось благоприятным признаком применительно к ортостатической устойчивости. Эти изменения расценивались как типичные. У меньшего числа космонавтов (6 из 33 человек) она увеличивалась. И эти изменения расценивались как нетипичные и неблагоприятные.

Именно направленность изменений скорости наполнения вен в условиях невесомости легла в основу деления всех обследованных нами космонавтов на две условные группы.

В 1-й группе космонавтов (27 человек) с повышением венозной емкости не более чем на 50 % и увеличением растяжимости вен менее чем на 30 % от фонового уровня, а также значительным снижением скорости наполнения вен, прогнозировалось незначительное снижение ортостатической устойчивости (переносимости пробы с ОДНТ) по сравнению с предполетной. Результаты реальных проб с воздействием ОДНТ показали, что у 22 из 27 человек 1-й группы (81,5 %) прогноз подтвердился, т.е. у этих 22 космонавтов переносимость пробы с ОДНТ была оценена удовлетворительной, а у некоторых из них – даже хорошей. В 5 случаях ОУ снизилась больше, чем ожидалось по данным исследования вен.

Во 2-й группе космонавтов (6 человек), с увеличением емкости вен более чем на 50 %, и растяжимости более чем на 30 % от предполетных значений, в сочетании с увеличением скорости их наполнения прогнозировалось существенное снижение ортостатической устойчивости (переносимости пробы с воздействием ОДНТ) во время полета.

В данной группе космонавтов у 5 из 6 человек во время полета переносимость пробы с ОДНТ была оценена плохой. У одного из 6 космонавтов переносимость пробы с ОДНТ во время КП была лучше, чем прогнозировалось по данным исследования вен. Иными словами, и в этой группе космонавтов прогноз подтвердился в 83,3 % случаев.

Таким образом, прогноз переносимости пробы с ОДНТ по данным исследования вен подтвердился у 27 из 33 человек, т.е. в 81,8 % случаев.

Таким образом, установлено, что степень изменений емкости, растяжимости вен и скорости их наполнения при окклюзионной пробе, а также динамика изменений в период пребывания в невесомости позволяют прогнозировать индивидуальную ортостатическую устойчивость (ОУ) космонавтов в ходе 6-месячных КП.

Установлено, что наиболее значимым для прогноза ОУ во время полета является изменение скорости наполнения вен: снижение этого показателя является благоприятным признаком, повышение – неблагоприятным. Одновременное увеличение емкости, растяжимости и скорости наполнения вен ног может указывать на существенное снижение ОУ человека.

Особого внимания заслуживают случаи, когда прогноз ОУ по состоянию вен космонавтов не подтвердился. Так, в 4 случаях при весьма умеренных изменениях со стороны вен ОУ была оценена хуже прогнозируемой, или в 1 случае при значительных изменениях вен ОУ была лучше прогнозируемой. Очевидно, что среди причин, которые могут влиять на ОУ в невесомости, в упомянутых случаях ведущую роль играли не только изменения состояния вен, но и другие значимые для ОУ изменения, например, степень гиповолемии организма или изменения регуляции сосудистого тонуса.

Постепенное восстановление состояния вен нижних конечностей, а также ОУ космонавтов в послеполетном периоде до исходного (предполетного) уровня свидетельствует об адаптивном характере возникающих в невесомости изменений.

ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Сальников Н.А.¹, Бобе Л.С.¹, Кочетков А.А.¹, Синяк Ю.Е.²

¹ Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения, г. Москва

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ASPECTS OF HYGIENE WATER RECOVERY ABOARD THE SPACE STATION

Salnikov N.A.¹, Bobe L.S.¹, Kochetkov A.A.¹, Sinyak Yu.E.²

¹ Research and design institute of chemical engineering, Moscow

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

За время развития пилотируемой космонавтики были достигнуты значительные успехи в обеспечении медико-биологической безопасности пребывания экипажа на борту космического аппарата. Современные регенерационные системы жизнеобеспечения (СЖО) обеспечивают безопасную среду обитания на борту космической станции. На орбитальной космической станции «Мир» был реализован практически полный цикл СЖО. Впервые был проведен эксперимент по осуществлению водных процедур на борту космического летательного аппарата.

В настоящее время на МКС не проводятся полноценные водные процедуры. Санитарно-гигиенические процедуры осуществляются посредством использования увлажненных и сухих текстильных материалов (салфеток и полотенец). При этом доказано, что введение водных процедур на борту существенно улучшит санитарно-гигиенические условия пребывания экипажа на станции и существенно сократит затраты массы на доставку текстильных материалов.

Введение на борту санитарно-гигиенических процедур сопряжено с рядом трудностей:

1. Необходимо оборудование для осуществления водных процедур в условиях микрогравитации.
2. Необходимо осуществить правильный выбор моющего средства.
3. Необходима система регенерации воды.

Разработка оборудования для осуществления водных процедур является отдельной задачей, обеспечивающей саму возможность осуществления данного вида санитарно-гигиенических процедур в условиях микрогравитации. Выбор моющего средства ограничивается особенностями метода регенерации воды, спецификой функционирования СЖО станции, соображениями безопасности. Система регенерации воды должна удовлетворять следующим требованиям: высокая степень извлечения воды, продолжительный ресурс работы, возможность периодического функционирования без потери заданных характеристик (в том числе, возможность продолжительных перерывов в работе), обеспечение экипажа очищенной водой, удовлетворяющей требованиям безопасности.

На станции «Мир» была испытана система регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ), основанная на фильтровании с последующей сорбционной очисткой [Samsonov, Abramov, Protasov], выбранный способ очистки налагал существенные ограничения на применяемое моющее средство – оно должно диссоциировать на ионы, иначе осуществление очистки невозможно. В связи с этим на станции «Мир» применяли катамин АБ с окисью амина, которое диссоциирует на ионы и может быть уловлено сорбционным фильтром. Обеззараживание воды на входе проводилось при помощи бактериального фильтра, а консервирование очищенной воды осуществлялось ионным серебром.

Рядом исследователей [Шумилина, 1999; Стариков, 2009] проводились работы по исследованию очистки санитарно-гигиенической воды. Была предложена двухконтурная схема очистки воды, предусматривающая 1-й ступенью ультрафильтрацию, а 2-й ступенью – обратный осмос. Такая схема является весьма громоздкой. С увеличением количества ступеней возрастает ресурс фильтров, но падает коэффициент извлечения воды – крайне важная характеристика системы в условиях космического полета. Наличие двух циркуляционных контуров также осложняет процесс подавления микрофлоры в «грязной полости» обратноосмотического контура.

Современные технологии по изготовлению высокоселективных полупроницаемых мембран предоставляют возможность применения мембранной очистки воды на борту космической станции. В настоящее время Научно-исследовательским и конструкторским институтом химического машиностроения совместно с Институтом медико-биологических проблем РАН ведется разработка новой системы регенерации санитарно-гигиенической воды (СРВ-СГ-М), основанной на мембранной очистке методом низконапорного обратного осмоса. Данный способ очистки позволяет проводить регенерацию воды, загрязненной практически любым моющим средством. Принцип работы системы значительно отличается от системы, проходившей испытания на станции «Мир». В системе СРВ-СГ-М организован циркуляционный контур постоянного объема, в котором производится концентрирование загрязнений от 5-8 г/л до 250 г/л, и реализован принцип тангенциальной фильтрации. Испытания низконапорных обратноосмотических модулей российского и зарубежного производства показали эффективность их применения для очистки санитарно-гигиенической воды. Селективность мембран по моющему средству превысила 99 %. Эксперименты показали, что принципиально возможным является достижение степени извлечения чистой воды 0,98. За цикл концентрирования от начальной до предельно допустимой концентрации (250 г/л) в системе СРВ-СГ-М производится очистка 1200 л воды. Замена фильтрующих элементов осуществляется после очистки 2400 л воды.

Пористая поверхность мембраны подвержена зарастанию биопленкой, что влечет за собой падение производительности мембраны и может привести к ее деструкции. Микроорганизмы могут разлагать вещества, содержащиеся в моющем средстве и загрязнениях, что может ухудшить органолептические свойства очищенной воды. Для подавления активности микроорганизмов в «грязной» полости системы предполагается использовать антибактериальное моющее средство общего применения. Допускается принудительная консервация загрязненной воды.

Очищенную воду предполагается консервировать ионным серебром и отправлять на хранение. Непосредственно перед выдачей в отсек водных процедур вода будет проходить дезодорирование и финишное обеззараживание ультрафиолетом.

Предлагаемая одноконтурная схема очистки санитарно-гигиенической воды позволяет достичь наибольший коэффициент извлечения чистой воды, снизить установочную массу системы и облегчить техническую возможность подавления микрофлоры в «грязной» полости системы.

В докладе представлены особенности регенерации санитарно-гигиенической воды при использовании мембранных методов очистки, приведена принципиальная схема разрабатываемой системы СРВ-СГ-М и представлены ее характеристики, обсуждены показатели качества воды, полученной на экспериментальной установке низконапорного обратного осмоса, и перспективы введения системы СРВ-СГ на борт МКС.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РС МКС

Самарин Г.И., Комиссарова Д.В., Сахарова А.Б., Белаковский М.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INNOVATIVE BIOMEDICAL DEVELOPMENTS BASED ON THE RESEARCHES ON RS ISS

Samarin G.I., Komissarova D.V., Sakharova A.B., Belakovskiy M.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В течение первых десятилетий развития как науки основной целью космической медицины было, прежде всего, совершенствование медицинского обеспечения здоровья и работоспособности космонавтов в полете и их реабилитация после возвращения на Землю. Однако по мере накопления и анализа данных стало формироваться новое восприятие космической медицины – как инструмента для изучения фундаментальных биологических процессов и модификации биологических систем. Исследуя управление функциями организма человека в экстремальных условиях среды и при этом сохранение максимальной его работоспособности и оптимального состояния здоровья, космическая медицина позволила сформировать и новые подходы в современной медицине. Процессы, проходящие в организме человека в период адаптации, аналогичны и на Земле, и в космосе, поэтому подход к оценке адаптационных возможностей человека, разработанный на основе данных, полученных в космосе, может успешно применяться и в земном здравоохранении. С пониманием этого применение знаний, полученных в космической медицине, вышло за рамки исключительно полетной деятельности и теперь успешно применяется в клинической медицине, например, в профилактической и экологической медицине, телемедицине и др. На борту РС МКС проводится большое количество фундаментальных экспериментов, позволяющих получить новые научные результаты о влиянии факторов космического полета (КП) на организм человека, а также углубить имеющиеся сведения об адаптации к экстремальным факторам, к которым безусловно относятся и факторы КП.

К настоящему времени сформировалось несколько направлений исследований, проводимых на РС МКС.

Одним из наиболее важных направлений является изучение регуляции кардиореспираторной системы в условиях невесомости. В рамках данного направления специалистами Института был проведен и проводится ряд экспериментов, позволяющих всесторонне оценить изменения кардиореспираторной системы в полете.

В эксперименте «Пuls» под руководством д.м.н. Р.М.Баевского изучались особенности физиологических механизмов влияния длительной микрогравитации на регуляцию и биомеханику дыхания для совершенствования системы медицинского контроля состояния здоровья космонавтов. В результате были получены уникальные научные данные, на основе которых удалось выявить взаимосвязь развития патологических изменений в организме космонавта как ответ на перенапряжение регуляторных механизмов и истощение функциональных резервов. Кроме того, были выделены четыре типа вегетативной регуляции во время КП, различающихся по вегетативному балансу и уровню сердечно-сосудистого гомеостаза.

На основе данных, полученных в эксперименте «Пuls», можно спрогнозировать характер адаптационных реакций космонавтов в полете. Также данные о состоянии вегетативной регуляции могут помочь в осуществлении медицинского контроля, поскольку нарушения вариабельности сердечного ритма опережают по времени метаболические и структурные нарушения.

Еще одним важным способом контроля состояния здоровья человека является исследование динамики сердечного ритма, частоты дыхания и двигательной активности человека во время сна. Поскольку сон является восстановительным

процессом, в ходе которого происходит восстановление растроченных в течение дня резервов организма, физиологические данные, зарегистрированные во время сна, позволяют судить о функциональных резервах организма. Кроме того, изучение качества сна важно для оценки психоэмоционального статуса человека.

Прибор «Сонокард», используемый членами экипажа МКС, представляет собой небольшое устройство размером с пачку сигарет, применяется для восприятия микроколебаний грудной стенки, связанной с работой сердца, а также других колебаний, обусловленных двигательной активностью человека. Для снятия показаний не требуется присоединения электродов или датчиков. «Сонокард» кладется в нагрудный карман футболки перед сном, а после пробуждения присоединяется к компьютеру и позволяет сохранить записанную в течение ночи информацию. Обследуемому также предлагается заполнить небольшую анкету: ответы на 5–6 стандартных вопросов, оцениваемых в условных баллах.

Для отделения посторонних колебаний используется специальная программа "Автокорр", которая обеспечивает цифровую фильтрацию сигналов.

Вся процедура сохранения данных занимает не более 15–20 мин.

Кроме перечисленных экспериментов, на борту РС МКС также успешно проведены (и проводятся) и другие эксперименты по изучению ССС, например, Космокард, Кардиовектор и др. Часть разработок в области исследования сердечно-сосудистой и регуляторной систем человека в полете защищена патентами. Например, «Система бесконтактной регистрации частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и двигательной активности космонавтов для круглосуточного съема сигналов» [Баевский Р.М., Фунтова И.И., Прилуцкий Д.А., Стругов О.М., Седлецкий В.М., Черникова А.Г.], патент № 73772 от 16.08.07; «Способ оценки риска развития донозологических, преморбидных и патологических состояний в длительном КП» [Баевский Р.М., Черникова А.Г.], патент № 2448644 от 15.09.10 и др.

Как известно, проблема микробной контаминации поверхностей интерьера и оборудования РС МКС, а также конструкционных материалов, является одной из наиболее актуальных в последнее время. В условиях непрерывной работы экипажей МКС, сменяющих друг друга, наблюдается резкое усиление интенсивности микробного загрязнения среды, что представляет угрозу для экологической безопасности на станции. Специалистами ИМБП РАН проведен ряд исследований по совершенствованию микробиологического мониторинга состояния среды на станции.

Целью эксперимента «Электронный нос», проводимого под руководством д.б.н. Н.Д.Новиковой и который в настоящее время осуществляется на РС МКС, является исследование развития бактериальной и грибной микрофлоры на поверхностях материалов в условиях КП в течение одной длительной экспедиции (6 мес). Для эксперимента совместно с немецкими коллегами был разработан уникальный прибор – портативная газовая сенсорная система Э-НОС. В ходе эксперимента проводятся сеансы связи для проверки работоспособности прибора, измерения (1-й сеанс – через 2 мес после начала эксперимента, 2-й – через 4 мес, 3-й – за 1–3 сут до посадки), а также сеанс связи, проводимый перед посадкой для инструктирования по подготовке к возвращению на Землю укладок прибора. Благодаря прибору будет отработан новый экспресс-метод исследования микробной контаминации поверхностей материалов в условиях длительного КП, также будут получены данные по микробной контаминации материалов.

Помимо изучения микробной обсемененности поверхностей и атмосферы станции учеными ИМБП РАН проводится также спектр исследований по исследованию микробиологического статуса человека в полете. Данный эксперимент проводится под руководством д.м.н. Л.Н.Мухамедиевой и имеет целью изучение возможности внедрения в практику медицинского обеспечения КП исследований микробиологического статуса человека методом хроматомасс-спектрометрии. Среди задач эксперимента – формирование микробиологического «паспорта» каждого космонавта, а также определение максимально полного спектра микроорганизмов с использованием молекулярных жирокислотных маркеров.

Специалисты микробиологической лаборатории Института также являются авторами нескольких патентов, например «Устройство и способ для отбора и сохранения биопроб в экстремальных условиях обитания» [Мухамедиева Л.Н., Пахомов А.И., Пахомова А.А., Пахомова И.П.], патент № 2537174 от 23.07.13; «Держатель фильтра устройства для отбора и сохранения биопроб в экстремальных условиях обитания» [Мухамедиева Л.Н., Пахомов А.И., Пахомова А.А., Пахомова И.П.], патент № 136887 от 23.07.13.

Целый ряд разработок, выполненных специалистами ИМБП РАН, касается профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на скелетно-мышечную систему человека. Так, например «Устройство для имитации ходьбы с системой обратной связи (варианты)» предназначено для моделирования опорных реакций и с использованием принципа пневмомеханического давления на соответствующие опорные зоны стоп с помощью специальных пневмокамер в режимах имитации реальной ходьбы с регистрацией ответных реакций человека – ЧСС, АД, частоты дыхательных движений, температуры тела и влажности кожи. Авторами прибора являются А.И.Григорьев, И.Б.Козловская, И.В.Саенко, О.И.Орлов. Авторское право на устройство защищено патентом № 2506069 от 05.03.12. Устройство, воздействуя на космонавта или пациента, страдающего от гиподинамии, путем стимуляции опорных зон стоп способствует профилактике двигательных нарушений.

Еще одно устройство – «Мобильное устройство для исследования сократительной активности мышц космонавтов» [Григорьев А.И., Козловская И.Б., Коряк Ю.А., Грачев В.А.], патент № 131586 от 28.02.13 – может быть использовано для исследования активности и сократительной способности мышц человека в условиях КП. Благодаря съему электромиосигналов сразу по 4 каналам проводится диагностика состояния мышц космонавтов, что позволяет легко

подобрать требуемую методику тренировки.

Также специалисты института проводят исследования изменений метаболизма человека в невесомости. Так эксперимент «Диурез» (руководитель д.м.н. Ларина И.М.) имел своей целью получение новых данных о состоянии водно-солевого обмена и гормональной регуляции волеми в условиях невесомости и в реадaptационном периоде после КП. Благодаря исследования было доказано снижение концентрации в крови пролактина, что указывало на повышение дофаминергической активности ЦНС, а также повышение концентрации калия как следствие гипотрофии антигравитационной мускулатуры.

Кроме перечисленных исследований, также уделяется внимание и исследованиям на клеточном уровне (эксперименты «Иммуно» (руководитель: к.м.н. И.А.Ничипорук), «Межклеточное взаимодействие» (руководитель д.м.н. проф. В.К.Ильин) и др.)

Перечисленные выше исследования являются лишь небольшой частью всех экспериментов, осуществляемых специалистами ИМБП РАН на РС МКС. Институт также осуществляет активную патентную политику для защиты прав интеллектуально собственности. Так, за последние 3 года Институтом получено 45 патентов. Разработки Института за последние 3 года были представлены на 27 выставках в России, и за рубежом. Институт был отмечен 12 золотыми, 15 серебряными, 5 бронзовыми медалями и 48 дипломами.

ПОДГОТОВКА И РЕАЛИЗАЦИЯ РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ НА МКС

Самарин Г.И., Нечаев А.П., Тихонравова Н.М., Каминская Е.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF THE ISS RUSSIAN SCIENTIFIC PROGRAM

Samarin G.I., Nechaev A.P., Tikhonravova N.M., Kaminskaya E.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Основной задачей пилотируемых полетов на МКС является реализация фундаментальных и прикладных научных исследований по различным направлениям науки. Исследования в области космической биологии, физиологии и медицины направлены на решение вопросов совершенствования медицинского обеспечения космических полетов, выяснения механизмов адаптации к факторам космического полета и решения фундаментальных проблем наук о жизни.

За 15-летний период развертывания и эксплуатации МКС на Российском сегменте завершено 27 медико-биологических экспериментов, выполняется – 31, планируются – 8.

Особенностью реализации медико-биологических экспериментов является осуществление биоэтической экспертизы заявленных экспериментов и утверждение их Многосторонним экспертным Советом по исследованиям на человеке (Human research multilateral review board - HRMRB). Одним из основных документов по этому направлению деятельности является «Информированное согласие» обследуемого на участие в исследовании, в соответствии с которым космонавт вправе отказаться от участия в нем на любом этапе его реализации..

Большое значение имеет международное сотрудничество в области космической биологии и медицины, являясь примером взаимовыгодного и плодотворного сотрудничества специалистов стран-партнеров в решении актуальных проблем научно-технического прогресса.

На многократных встречах в рамках российско-американской рабочей группы по космической биомедицине, обсуждались вопросы реализации российских и американских национальных программ в период годового полета на МКС (с 27 марта 2015 г. по 2 марта 2016 г.) с участием космонавта Роскосмоса Михаила Борисовича Корниенко и астронавта НАСА Скотта Келли с целью максимально возможного использования ресурсов всех партнеров по МКС для изучения медицинских рисков, разработки новых методов и средств коррекции здоровья экипажей при освоении дальнего космоса.

Впервые до, во время и после 340 суточного космического полета реализованы в полном объеме не только национальные программы медико-биологические исследования, но и совместные и перекрестные американские и российские эксперименты с использованием технических ресурсов американского и российского сегментов. Приобретен важный опыт кооперации научных российских и американских организаций при реализации столь обширного проекта.

С участием российских специалистов была реализована программа российских научных медико-физиологических исследований на этапе МКС-45/46 участника космического полета Республика Казахстан А.А. Аимбетова в период его 9-суточного космического полета.

СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ С АКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ВНЕШНИХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.

Саримов Р.М.¹, Бинги В.Н.¹, Гурфинкель Ю.И.²

¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

² Научный клинический центр ОАО «РЖД», Москва

MAGNETIC EXPOSURE SYSTEMS WITH THE ACTIVE COMPENSATION OF EXTERNAL LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS.

Sarimov R.M.¹, Binhi V.N.¹, Gurfinkel Yu.I.²

¹ Prokhorov General Physics Institute, RAS

² Research Clinical Center of JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

Несколько лет назад в НКЦ ОАО «РЖД» были созданы системы магнитной экспозиции «Арфа» и «Фарадей».

Система «Арфа» создавалась для исследования кратковременных (~1–2 часа) воздействий на человека в положении сидя магнитных полей, а также гипомангнитных условий. В установке в объеме 1,2х1,2х1,8 м вдоль одной оси производится экспозиция постоянными и переменными (до 1 кГц) магнитными полями с индукцией от 0 до 100 мкТл. Система расположена на подвижном боксе для доступа в зону экспозиции и оптимального расположения внутри помещения. По периметру установки для защиты от статических электрических полей прикреплен экранирующий провод.

Система «Фарадей» размером 2,4х2,4х2,4 м занимает комнату. Блок управления находится в соседнем помещении. Установка предназначена для длительной экспозиции (сутки и более) человека в положении лежа по трем осям постоянными и переменными магнитными полями с индукцией ± 3 мкТл от индукции геомагнитного поля. Данная система экспозиции создавалась для исследования влияний геомагнитных флуктуаций («магнитных бурь») на человека.

Главной отличительной особенностью данных установок является активная компенсация внешних низкочастотных электромагнитных полей, что позволяет нивелировать эффекты трендов геомагнитного поля, а также существенно снизить городской 50-Гц электромагнитный шум. Это особенность важна, поскольку эффекты в магнитобиологических экспериментах часто зависят от соотношения интенсивностей переменных и постоянных магнитных полей.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ТЕЛА И КОСТНОГО СТАТУСА УЧАСТНИК ЭКСПЕРИМЕНТА «ЛУНА 2015»

Сервули Е.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

STUDY OF PARTICIPANTS'S BODY COMPOSITION AND BONE STATUS IN EXPERIMENT «LUNA 2015»

Servuly E.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Пребывание в помещении ограниченного объема может привести к изменениям в костной системе, в значительной мере совпадающими с таковыми в условиях космического полета (Oganov V.S. et al., 2014). Ранее проведенные исследования показали, что длительное пребывание в гермообъеме приводит к развитию остеопении малой выраженности, но с высокой начальной скоростью развития (Oganov V.S. et al., 2001). Задачей исследования было определить костный статус участников эксперимента и исследовать возможные изменения показателей состава тела.

Материал и методы. Обследование (до и после эксперимента) выполнено на рентгеновском дихроматическом денситометре Lunar Prodigy Advance по стандартной методике. Измеряли минеральную плотность кости (МПК, г/см²) и содержание костных минералов (СКМ, г) в поясничных позвонках L1–L4, и в проксимальном эпифизе (Total) и шейке бедренной кости (Neck). Суммарная лучевая нагрузка – до 0,03 мЗв. Точность измерения 1 %. Оценку костного статуса проводили по T и Z-критериям. T-критерий - сравнение с «пиковой» костной массой, и Z-критерий - сравнение со средневозрастными значениями костной массы, выраженные в ед. SD. Согласно регламенту ВОЗ, значения этих показателей > -1 считаются нормой, от -1 до -2,5 остеопенией, а < -2,5 остеопорозом. Поскольку основой метода является вычисление по разнице поглощения «мягкого» и «жесткого» рентгеновского излучения 3 составляющих тела: минеральной (костной) массы, жировой массы и «тощей» массы (вс), что не относится к первым двум, т.е. мышцы, жидкие среды), денситометры также применяют для исследования состава тела. Точность измерения СКМ при этом 1,5–2 %. Показатели состава тела представлены селективно по отделам тела: голова, правая и левая рука, туловище, таз, правая и левая нога.

Результаты и обсуждение. Поскольку изменения показателей минеральной плотности в стандартных участках за короткие сроки не были достоверными, оценку костного статуса проводили по результатам первого обследования. Установлено, что минеральная плотность в поясничных позвонках L1–L4 и в проксимальном эпифизе и шейке бедренной кости у всех участниц эксперимента соответствует норме. У участницы L4 минеральная плотность поясничных позвонков L1–L4 была выше средневозрастной на 29 %. Второе обследование показало хорошую воспроизводимость (1,6 %) комплекса оператор – прибор.

За время эксперимента не выявлено достоверных изменений минеральной плотности в стандартных участках

(поясничных позвонках L1–L4 и в проксимальном эпифизе и шейке бедренной кости), а также содержания костного минерала селективно по отделам тела. Следует отметить, что снижение содержания костного минерала в организме отмечено у всех участниц эксперимента, но корреляций с другими показателями не выявлено. Изменения количества жира за время эксперимента были разнонаправленными: % жира уменьшился у 3, не изменился у 1 и увеличился у 2 участниц.

Если отсутствие костной динамики в стандартных участках и изменения, касающиеся мягких тканей, были вполне ожидаемыми, то однонаправленное, хотя и не достоверное, снижение содержания костного минерала в организме оказалось неожиданным, учитывая продолжительность эксперимента. Сообщения о потерях костных минералов при коротких полетах в 60-х годах XX века [Mack P., LaChance., Vose G., 1967] с современных позиций представляются метрологически недостаточно обоснованными. Примерно такие же, относительно малые, но объяснимые, изменения отмечаются у космонавтов за 6 месяцев полета [Oganov V.S. et al., 2014]. В настоящее время не проводят исследований костной динамики за столь короткий отрезок времени ни у космонавтов, ни в клинике. Полученные данные могут оказаться полезными, поскольку в настоящее время у клиницистов растет интерес к раннему обнаружению костной динамики для оценки эффективности лечения остеопороза.

ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ. ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ

Серов М.В.

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

ERGONOMIC PROJECTING OF PERSPECTIVE MANNED SPACE COMPLEXES. TASKS AND MAIN ASPECTS

Serov M.V.

RSC "Energia"

Особенностью пилотируемых комплексов, как сложных технических систем, является наличие человека в контуре управления и наличие систем обеспечивающих жизнь и безопасность самого человека. Очевидное утверждение. Банальность. Однако подход к реализации этой основной особенности пилотируемого комплекса может быть совершенно разным. Человек может быть придатком машины, может быть центром машинерии, а может быть в плодотворном симбиозе с машиной для решения основной задачи комплекса. В космических комплексах все усложняется многократно, что связано с факторами космического полета и особенностями среды обитания человека на борту космической техники.

Существенной, если не одной из основных задач при создании пилотируемого космического комплекса является эргономическое обеспечение – комплекс мероприятий направленный на повышение эффективности работы человека-оператора за счет анализа и решения задач инженерной психологии, построения среды обитания, конструкции и компоновки космической техники, медико-биологического обеспечения, технической эстетики и многого другого.

Иногда у молодых специалистов и ученых может сложиться впечатление, что до сих пор этому вопросу в космической технике или отдельным его аспектам уделялось мало внимания. Действительно, прошло уже 55 лет от первого полета в космос, а экипажи космических кораблей и станций до сих пор работают довольно в суровых условиях. Вопросы эргономики зачастую слабо или совсем не проработаны. По нашему мнению, проблема как раз в том, что мы уже довольно длительное время занимаемся практической космонавтикой, по сути, наладили конвейер, но при этом мало решаем или совсем не решаем абсолютно новых задач. Не ставим себе новых целей, не создаем новую технику.

Ведь именно на заре практической космонавтики, когда создавались первые космические корабли, станции, готовились межпланетные экспедиции, вопросу эргономического обеспечения, во всех его аспектах, уделялось первостепенное значение. Даже технической эстетике. Эргономическое проектирование, как начало процесса эргономического обеспечения, задавало тон в самых различных аспектах космических полетов – от написания бортовой документации и создания тренажеров до разработки систем жизнеобеспечения для длительных космических полетов и компоновочных решений космических аппаратов.

Заданный в то время импульс позволил нам успешно продвигаться вплоть до сегодняшнего дня. Однако законы вселенной универсальны не только для физических тел, ныне этот импульс угасает, а точнее переходит в свое новое потенциальное состояние.

Жизнеспособность любой отрасли, пилотируемая космонавтика не исключение, заключается в необходимости непрерывного развития. В настоящее время появляется уникальная возможность для продолжения роста и перевода сохраненной потенциальной энергии в энергию поступательного развития.

В России де-факто начата Лунная программа, де-юре определяются и утверждаются её основные аспекты. Гонки никакой нет, но есть обозримая, понятная, измеримая цель – высадка на Луну и закладка будущей российской исследовательской базы.

Несколько слов о том, почему Луна ставится как цель в государственной космической программе. Экспертное научное сообщество может и должно ставить, конечно же, более отдаленные, «загоризонтные», цели – исследование Марса, системы Юпитера, межзвездные перелеты. В рамках исследовательских, поисковых проектов такие цели должны ставиться уже сейчас, в этом нет никаких сомнений. Однако с точки зрения государственной машины, цели распределения средств бюджета должны быть более понятны.

В этой связи следует внимательнее приглядеться к «географии» Солнечной системы. Точно также как и для организации и снабжения постоянно действующей Антарктической станции для начала необходимо приплыть в Кейптаун, точно так же, что бы организовать форпост на Луне необходимо для начала прийти в точку Лагранжа. А для того, что бы двигаться к Марсу, необходимо заложить форпост на Луне и организовать лунную инфраструктуру.

Без всяких сомнений полет на Марс сам по себе плохо или совсем не связан с необходимостью постоянного присутствия на Луне. Сумма технологий позволяет создавать сложные технические комплексы небольшими коллективами энтузиастов. Думаю, полет на Марс в формате точечного рекорда будет осуществлен уже на наших глазах и у первого человека на Марсе, возможно, не будет государственной принадлежности.

Подчеркну, когда мы говорим о Луне, мы говорим о сфере государственных интересов и вопросов национальной безопасности (в широком смысле этого слова). Луна, как «седьмой» континент очень скоро, вслед за Антарктидой и околоземной орбитой, станет объектом геополитической конкуренции. Вопрос не стоит, будет эта конкуренция или нет, вопрос стоит, будем мы в ней участвовать или нет.

Лунная программа – сложный комплекс мероприятий и технических средств, связанных по времени и по задачам. В каждой составной части лунного экспедиционного комплекса, где присутствует и работает человек-оператор мы **ВЫНУЖДЕНЫ** решать задачи эргономического обеспечения, и **ОБЯЗАНЫ** заниматься эргономическим проектированием, что бы решить **ОСНОВНУЮ** задачу эргономического обеспечения – **ЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**.

Во главу угла при эргономическом проектировании нами ставится натурный эксперимент. Десятки раз мы сами себе доказывали, что гипотезы и умозрительные выводы не всегда верны. Только полномасштабное макетирование приборов, составных частей, объектов, только полномасштабное моделирование деятельности экипажа поможет сделать взвешенный и окончательный вывод.

Этот процесс итерационный и многофакторный, большое значение имеет использование в этом процессе экспертов, особенно с практическим опытом космических полетов. Подчеркну, однако, эксперты в этом случае должны глубоко погрузиться в проблему, быть частью коллектива разработчиков. Участие на периодической основе не позволяет использовать эксперта, как эксперта именно в данной проблеме, важен всеобъемлющий личный опыт, специфические знания, профессиональный бэкграунд.

Ещё большее значение имеет создание экспериментальных установок и стендов, адекватно моделирующих различные аспекты функционирования составных частей перспективных пилотируемых космических комплексов. Необходимы не только установки моделирующие функционирование бортовых систем и алгоритмов их работы. Нужны стенды и установки моделирования среды и факторов будущих космических миссий.

Что еще более важно необходимо комплексирование работ, экспериментов, исследований. Использование единых требований и конструктивных решений. Натурный эксперимент без учета особенностей перспективной космической техники так же лишь частично отвечает на поставленные вопросы. Однако без этапа предварительных модельных экспериментов, ещё на этапе проектирования миссий, технический комплекс не может быть создан с полным соответствием задачам эргономического обеспечения. Понимая это, мы в различной кооперации проводим или готовимся проводить, часто в инициативном порядке, ряд исследований экспериментального характера, имитирующих различные аспекты деятельности экипажа в перспективных миссиях. Результаты этих экспериментов отражаются в проектной и конструкторской документации, 3D-моделях, макетных и экспериментальных образцах.

Очень важным и насущным является вопрос использования Российского сегмента МКС как летающей лаборатории в интересах перспективных программ. Нужны не только результаты экспериментов, проводимых на борту МКС в настоящее время, нужны законченные целевые программы, возможно в кратковременных полетах. Основные параметры и задачи подобных программ нами так же определяются в настоящее время. Заметим, что практика проведения таких экспериментальных работ имеет ещё и неожиданный мультипликативный эффект.

При грамотном освещении, работы приобретают общественную значимость, оказывают влияние на политические решения, возникают новые виды и направления кооперационных связей. Но главное для такой сравнительной молодой отрасли, как пилотируемая космонавтика, это мотивация коллективов и отдельных людей к движению вперед, к научной работе, к непосредственному участию в, поистине, исторических процессах.

ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ФУНКЦИИ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА И ПСИХИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПЕРАТОРА

Смолевский А.Е., Манько О.М., Бубеев Ю.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

EFFECT OF LED LIGHTING ON THE FUNCTION OF THE VISUAL ANALYZER AND MENTAL PERFORMANCE OF THE OPERATOR

Smoleevsky A.E., Manko O.M., Bubeev Y.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Большое влияние на работоспособность, психоэмоциональное состояние и зрительную функцию человека оказывает светотехническая обстановка. Это особенно важно для специалистов, постоянно выполняющих свои профессиональные обязанности в условиях искусственного освещения, в том числе на МКС. Поэтому в целях сохранения здоровья, высокой работоспособности и профессионального долголетия космонавта, необходимо обеспечить ему безопасную и комфортную световую среду. Наиболее перспективными источниками света для применения в космонавтике могут стать светодиоды, благодаря их многочисленным техническим достоинствам. Однако их гигиенические недостатки (спектральный состав и высокая точечная яркость) вызывают у специалистов беспокойство в плане возможной фотобиологической опасности [Зуева М.В., Иванина Т.А., 1980, Dorfman A.L. et al., 2009, Huang Y.Y. et al., 2009, Аладов А.В., Закгейм А.Л., 2012, Корсакова Е.А., 2012].

Избыточное излучение в синей области спектра – недостаток светодиодов, требующий оценки с точки зрения гигиены зрения, так как действующие стандарты (ГОСТ Р 50804-95 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03) регламентируют уровни освещенности, но не предусматривают гигиеническую оценку спектрального состава искусственного освещения.

С целью изучения данной проблемы в ГНЦ РФ-ИМБП РАН впервые было проведено комплексное исследование психофизиологических эффектов двух систем светодиодного освещения, предназначенных для эксплуатации на РС МКС и оценено влияния статического (постоянного) и динамического светодиодного освещения на психическую работоспособность и функциональное состояние зрительного анализатора человека-оператора. Основная гипотеза была сформулирована следующим образом: «Непродолжительное (до 12 сут) пребывание в условиях светодиодного освещения не оказывает значимого негативного влияния на психическую работоспособность оператора и психофизиологическое состояние зрительного анализатора».

Исследование проводилось в гермокамере на выборке из 10 здоровых добровольцев-мужчин (26–43 года). Было проведено 4 эксперимента продолжительностью 11–12 сут. Изучалось влияние разных режимов светодиодного освещения на психическую работоспособность и психоэмоциональное состояние человека-оператора в условиях ограниченного объема. Психическая работоспособность оценивалась методиками «Корректирующая проба» и «Адаптивная модель операторской деятельности» (АМОД); психоэмоциональное состояние – методикой «Профиль настроения». Оценка психофизиологической активности зрительного анализатора в условиях динамического светодиодного освещения была выполнена с помощью МРТ сетчатки, мультифокальной ЭРГ, периметрии и КЧСМ.

В результате было установлено, что точность выполнения тестовых заданий в условиях постоянного и динамического светодиодного освещения значимо не изменилась по отношению к фону и сохранялась на высоком уровне в течение всего исследования. Продуктивность выполнения тестовых заданий в условиях постоянного светодиодного освещения значимо ($p \leq 0,05$, парный критерий Т Вилкоксона) возросла уже на 3-и сутки. Увеличение продуктивности в условиях динамического освещения носило менее выраженный характер, и было статистически значимым ($p \leq 0,0$, парный критерий Т Вилкоксона) только на 9-е сутки изоляции.

Комплексное офтальмологическое обследование в данном эксперименте не выявило значимого негативного влияния искусственного динамического светодиодного освещения на орган зрения при краткосрочном (до 11 сут) воздействии, однако наблюдалось снижение ряда физиологических характеристик функциональной активности зрительного анализатора. Регистрируемое в эксперименте снижение запаса относительной аккомодации, сужение периферических полей зрения на зеленый и синий цвета могут быть обусловлены развитием астенопии (зрительного утомления) в условиях замкнутого пространства. В электрофизиологических исследованиях обнаружено изменение морфологии зрительных вызванных корковых потенциалов на реверсивный паттерн, которое выражалось в раздвоении пика P100.

Выводы. Установлено, что рассмотренные типы светодиодного освещения (при непрерывном воздействии до 12 сут) не оказали значимого негативного влияния на функциональное состояние зрительного анализатора и психическую работоспособность.

Отмечено статистически значимое ($p \leq 0,01$, парный критерий Т Вилкоксона) повышение продуктивности выполнения тестовой деятельности (на 6,5–12 %).

Продуктивность деятельности возросла в условиях постоянного светодиодного освещения в большей степени, чем при динамическом. Это может быть обусловлено небольшой продолжительностью исследования. Можно предположить, что позитивный эффект динамического освещения реализуется на большом временном интервале.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТРАБОТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЛЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ И НАЗЕМНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ

ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Солдатов П.Э., Тюрин-Кузьмин А.Ю., Смирнов И.А., Крыченков Д.А., Смоленская Т.С., Гурьева Т.С., Медникова Е.И.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE FEATURES OF CONDUCTING AND AUTOMATION OF SCIENTIFIC EQUIPMENT TESTING FOR ONBOARD EXPERIMENTS WITH BIOLOGICAL OBJECTS AND ONEARTH CONTROL EXPERIMENTS

Soldatov P.E., Tyurin-Kuzmin A.Yu., Smirnov I.A., Krychenkov D.A., Smolenskaya T.S., Guryeva T.S., Mednikova E.I.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Проанализирован опыт проведения наземных отработочных испытаний научной аппаратуры (НА) и 3 наземных контрольных экспериментов к полетам автоматических космических орбитальных аппаратов (КА) ФОТОН-М №№ 3 и 4 и БИОН-М № 1.

В летной научной аппаратуре живые объекты, прежде всего речь идет о мелких лабораторных животных, изначально находятся в необычных, непривычных и некомфортных для себя условиях. Это связано с неизбежными ограничениями, связанными с условиями космического полета.

Ограничения и допуски по жизненно важным параметрам среды обитания определяются на двух этапах. Самые жесткие требования предъявляются Изготовителем космического аппарата. Изначально допускаются весьма широкие границы колебаний жизненно важных для биообъектов параметров среды обитания, таких как температура, содержание кислорода и диоксида углерода, общее барометрическое давление газовой среды. Их амплитуда сильно отличается от природных, привычных для организма, значений.

Кроме того, ставятся жесткие требования по минимизации массо-габаритных характеристик НА, а ее энергообеспечение сводится к минимуму.

На следующем этапе ограничения и допущения определяются Разработчиком научной аппаратуры. В частности, с одной стороны, существует требование минимизации массо-габаритных характеристик НА. С другой стороны, количество животных должно обеспечить статистическую обработку получаемых данных. В результате размер клетки для животных в НА практически всегда находится на нижней границе своего возможного значения.

Успешное функционирование НА, т.е. поддержание жизнедеятельности животных в условиях невесомости возможно только с помощью ряда механических агрегатов. Особо необходимо отметить, что при обеспечении функции обновления (регенерации) газовой среды в клетках с животными и для удаления отходов жизнедеятельности из клеток приходится создавать высокоскоростные потоки газовой среды. Кроме того, при работе агрегатов НА неизбежно создается повышенный уровень шума.

В невесомости кормление животных и их обеспечение необходимым количеством воды также представляет большую техническую проблему, которая в каждом случае решается по-своему. В каждом случае разрабатывается уникальный и весьма специфический, так или иначе отличный от физиологического, режим кормления и водообеспечения.

Из характерных для летных экспериментов показателей среды обитания можно выделить следующие: скученность животных; большая скорость вентиляции газовой среды в клетке; высокое содержание вредных примесей (в первую очередь аммиака); температурно-влажностный режим, резко отличающийся от привычного для животных; специфический режим питания.

Перечисленные обстоятельства определяют особенности и задачи отработки НА и проведения наземных, контрольных к летным, экспериментов. Исходной предпосылкой является то, что на этапе отработки уже известен вид подопытных животных, длительность летного эксперимента, разработан состав корма и определен способ его подачи (доступность для животных), определен способ обеспечения водой. За необходимое условие принимается то, что среда обитания не должна оказывать негативного, повреждающего воздействия на организм, а неизбежные ответные реакции организма могут быть выявлены и оценены (измерены).

Важно подчеркнуть, что полученные в отработочных экспериментах данные необходимы Разработчику НА для внесения необходимых изменений в конструкцию летной аппаратуры. Также важна обратная связь Разработчика НА с научным подразделением, чтобы учесть влияние на животных конструктивных особенностей аппаратуры.

Показано, что разделить комплекс факторов, определяющих условия обитания животных в разрабатываемой летной НА, и особенности физиологии и поведения животных на составные части и оценивать их отдельно невозможно. При этом для каждой научной аппаратуры набор факторов уникален, и оценить его воздействие на животных можно только в комплексном эксперименте, причем равном или близком по продолжительности к планируемому времени летного эксперимента и при тесном взаимодействии с Разработчиком НА.

Таким образом, необходимыми условиями отработочных испытаний являются:

- максимально возможное приближение условий испытаний к ожидаемым в разрабатываемой НА, включая: форму, объем и материал клетки для животных, температурно-влажностный режим и скорость вентиляции камеры, количество

животных в клетке, тип корма и способ его подачи (доступность), способ обеспечения водой, продолжительность пребывания животных в НА;

- тесное рабочее взаимодействие с Разработчиком научной аппаратуры при понимании того, что Разработчик не обладает всеми необходимыми знаниями о физиологии и поведении животных, а постановщик экспериментов не представляет всех технических аспектов разработки.

Главной особенностью отработочных испытаний является то, что условия обитания являются одновременно и моделируемыми и разрабатываемыми. При этом одной из основных задач экспериментатора становится классификация факторов. Если фактор неустраним, то необходимо, по согласованию с Разработчиком, определить его допустимые значения, по возможности оценить (измерить) воздействие на организм и искать способы нивелирования его возможного отрицательного влияния.

Одной из главных задач является экспериментальное выявление ведущего фактора, определяющего состояние животных в первую очередь. Опыт показывает, что им может стать самый неожиданный из всех и связан он, как правило, с поведенческими реакциями животных. При этом недооценка его может привести к отказу НА и гибели животных в полете.

В итоге отработочные испытания НА являются поиском и разработкой оптимальных, но не идеальных (желаемых для экспериментатора), условий обитания.

Немаловажной задачей является также отработка взаимодействия между постановщиком эксперимента, смежными лабораториями и организациями и Разработчиком НА, который впоследствии будет обеспечивать функционирование наземных образцов НА в контрольном эксперименте и отслеживать работу НА на борту КА, а также планирование взаимодействия с техническими службами общего обеспечения.

При проведении наземных контрольных экспериментов на первое место выходят проблемы их технической реализации. В настоящее время провести его в «идеальных» условиях, то есть на полных аналогах летной научной аппаратуры и в наземном аналоге космического аппарата, невозможно. Для моделирования полетных условий вынужденно используются доступные серийно производимые изделия, имеющиеся в распоряжении готовые составные части и агрегаты.

При комплектации испытательного стенда необходимо выделение основных моделируемых факторов. Опыт показывает, что таковыми являются температура и газовый состав по O₂ и CO₂. В качестве научной аппаратуры используются, как правило, опытные образцы НА для КДИ (конструкторско-доводочных испытаний) или действующие макеты НА.

Общими проблемами являются организационные вопросы обеспечения наблюдения за аппаратурой и регистрации параметров среды обитания. Так, для обслуживания длительного круглосуточного эксперимента без автоматизации необходима бригада из 5 человек при соответствующем документальном оформлении дежурств. Регистрация показаний аналитической аппаратуры в этом случае производится не чаще 1 раза в час. Затем эти данные должны быть перенесены в ПК для обработки. Регулирование температуры и газового состава среды также производится вручную или в полуавтоматическом режиме, что трудоемко, требует повышенного внимания, особенно в ночное время, и, зачастую, приводит к задержкам, сбоям и ошибкам.

Нами создана полностью автоматизированная система слежения за основными параметрами среды обитания и управления работой испытательного стенда. Она создана на базе серийно выпускаемых датчиков среды, сигналы с которых через АЦП вводятся в ПК, обрабатываются, визуализируются и запоминаются в программной среде пакета LabView. В этой же среде формируется циклограмма подачи управляющих сигналов, которые выводятся на исполнительные механизмы через TTL выходы АЦП. Система позволяет вести эксперимент в полностью автоматическом режиме и требует для обслуживания 1–2 человек. Контроль осуществляется по необходимости, но не реже 1 раза в 7 сут. Корректировка циклограмм управления осуществляется по необходимости.

Продемонстрирована необходимость организации круглосуточной видеорегистрации как состояния и поведения животных, так и показаний некоторых приборов, сигналы с которых невозможно завести в ПК. В некоторых случаях считывание данных по записям регистратора становится единственно возможным способом. Видеорегистрация организована с использованием серийно выпускаемых изделий.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ УГЛЕРОДА С ЭНЕРГИЕЙ 450 МЭВ/Н У МЫШЕЙ IN VIVO

*Сорокина С.С.¹, Заичкина С.И.¹, Розанова О.М.¹, Романченко С.П.¹, Смирнова Е.Н.¹,
Дюкина А.Р.¹, Сирота Н.П.¹, Вахрушева О.А.¹, Шемяков А.Е.¹, Пикалов В.А.²*

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики, Пущино

² Институт физики высоких энергий НИЦ "Курчатовский институт", Протвино

GENETIC CONSEQUENCES OF ACCELERATED 12C IONS WITH AN ENERGY OF 450 MEV/N IN MICE IN VIVO

Sorokina S.S.¹, Zaichkina S.I.¹, Rozanova O.M.¹, Romanchenko S.P.¹, Smirnova H.N.¹, Dyukina A.R.¹, Sirota N.P.¹, Vakhrusheva O.A.¹, Shemyakov A.E.¹, Pikalov V.A.²

¹ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the RAS, Pushchino

² Institute of High Energy Physics of National Research Centre "Kurchatov Institute", Protvino

В последние десятилетия выдвинут ряд важных практических задач, решение которых требует детального изучения механизмов биологического действия тяжёлых ионов высоких энергий на организм. Одна из них связана с развитием космической радиобиологии, так как в ближайшее время планируются полёты на Луну и Марс, во время которых экипажи будут подвергаться воздействию галактического излучения, в спектре которого преобладают протоны и ионы высоких энергий - углерода и железа. Использование низких доз ионов углерода, которые сопоставимы с прогнозируемыми дозами во время полётов, позволит оценить вклад генетического риска в общий спектр неблагоприятных факторов полёта, а также в решение вопросов, связанных с нормированием лучевых нагрузок на персонал, работающий на различных предприятиях со смешанными полями излучений, и на их потомство. Исследований по моделированию действия ускоренных тяжёлых частиц на животных недостаточно в связи с ограниченностью источников облучения ускоренными частицами и сложностью проведения таких экспериментов.

Известно, что для индукции биологических повреждений плотноионизирующее излучение (протоны, ускоренные ионы углерода) более эффективно, чем редкоионизирующие излучения (рентгеновское или гамма-излучение), так как они обладают высокими значениями относительной биологической эффективности (ОБЭ) поражения клеток, уменьшенным кислородным эффектом и зависимостью от клеточного цикла. Это связано с особым способом передачи энергии ускоренных частиц биологическим тканям в пике Брэгга, который заключается в максимальном выделении энергии в конце пробега при остановке частицы. На сегодняшний день фундаментальных исследований биологического действия малых и средних доз ускоренных ионов *in vivo* очень мало.

Ранее нами было исследовано влияние на мышей импульсного облучения ускоренными ионами углерода с энергией 200 МэВ/нуклон и ЛПЭ 16,2 кэВ/мкм до пика Брэгга на установке "Нуклотрон" (ОИЯИ, г. Дубна) в диапазоне доз 0,1 – 1,5 Гр с помощью микроядерного теста. Было обнаружено, что в области доз от 0 до 0,5 Гр величина ОБЭ данного вида излучения равнялась 1, а с ростом дозы до 1,5 Гр ОБЭ достигала значения 1,4. В этой же работе была показана возможность индукции адаптивного ответа при облучении мышей ускоренными ионами углерода в дозе 0,1 Гр (Балакин В.Е., Заичкина и др., 2011). Аналогичные результаты по определению ОБЭ в зависимости от дозы были получены нами при облучении протонами в пике Брэгга в дозах 0,01 – 2 Гр (200 МэВ) лимфоцитов пуповинной крови с помощью метода индуцированных γ Н2АХ ДНК-репарационных фокусов, где было показано, что среднее значение ОБЭ протонов при дозах облучения $\geq 0,2$ Гр было около 1 (Sorokina S. et al., 2013).

Целью настоящей работы является определение относительной биологической эффективности ускоренных ионов углерода с энергией 450 МэВ/нуклон до-, в пике и после пика Брэгга в зависимости от ЛПЭ и величины дозы в диапазоне от 0,1 до 1,5 Гр, а также исследование молекулярно-генетических повреждений при облучении животных *in vivo*.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Отработать способы позиционирования животных для облучения ускоренными ионами углерода с энергией 450 МэВ/нуклон до-, в пике и после пика Брэгга, методы вывода пучка ядер углерода требуемых параметров и методики инструментального сопровождения облучения (ТЛД дозиметрия, ионизационные камеры, нейтронный монитор).

2. Изучить зависимость количества цитогенетических повреждений в клетках костного мозга, клеточности лимфоидных органов (тимус и селезёнка), повреждений ДНК в цельной крови и костном мозге, редокс-состояния в цельной крови, возможность индукции адаптивного ответа в клетках костного мозга и лимфоидных органов, а также экспрессию ряда генов в клетках костного мозга при облучении ускоренными ионами углерода с энергией 450 МэВ/нуклон до-, в пике и после пика Брэгга и рентгеновским излучением у мышей *in vivo*.

3. Определить ОБЭ исследуемого излучения по всем используемым критериям.

Исследования проводили на мышах *in vivo* в помещении временного радиобиологического стенда ускорительного комплекса У-70 (г. Протвино). Облучение двухмесячных самцов линии SHK осуществляли на новом терапевтическом пучке ускоренных ионов углерода с энергией 450 МэВ/нуклон до-, после и в пике Брэгга на ускорителе У-70 в ИФВЭ, (ФГБУ ГНЦ "Курчатовский институт", г. Протвино) в режиме медленного вывода 1 раз в 8 сек, длительность выпуска – 0,6 сек. Облучение рентгеновскими лучами осуществлялось на установке РУТ при напряжении 200 кВ и средней мощности дозы 1 Гр/мин (г. Пушино). Облучение вели с сопровождением каждой экспозиции дозиметрической пленкой «ЕВТ 3» (Gafchromic® film). На каждую экспериментальную точку использовали не менее 6 мышей. Животных выводили из эксперимента методом декапитации через 28 ч после воздействия. Критерием цитогенетических повреждений служил процент полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в костном мозге. Для выявления адаптивного ответа животные были облучены адаптирующей дозой 0,1 Гр ускоренных ионов углерода и не ранее чем через 5 часов выявляющей дозой 1,5 Гр рентгеновского излучения по разработанной ранее схеме. Относительные массы тимуса и селезёнки были рассчитаны по отношению среднего абсолютного веса органа к среднему весу животного в группе. Уровень повреждений ДНК в лейкоцитах периферической крови оценивали с помощью «комета»-теста по количеству

ДНК в хвосте кометы (%TDNA) и доли клеток с неповреждённой ДНК (% клеток, не имеющих хвоста «комет»). Уровень продукции АФК измеряли в цельной крови методом люминол-зависимой зимозаниндуцированной хемилюминесценции с помощью 12-канального прибора CHEMILUM-12 (Россия). Ответ хемилюминесценции в крови определяется, в основном, реакцией фагоцитирующих клеток, продуцирующих АФК. Индекс активации рассчитывается как отношение индуцированной светоплощади к спонтанной и отражает резерв иммунной системы организма. Для оценки статистической достоверности различий между группами использовали t-критерий Стьюдента. В предлагаемой работе для исследования генетических эффектов пучка ионов углерода выбран ряд высокочувствительных современных методов определения повреждений на молекулярном, клеточном и организменном уровнях в наиболее чувствительных к радиации органах и тканях.

В результате проведённого исследования при облучении мышей ускоренными ионами углерода с энергией 450 МэВ/н до-, в пике и после пика Брэгга и рентгеновским излучением в диапазоне доз от 0,1 до 1,5 Гр с помощью микроядерного теста были получены нелинейные дозовые зависимости выхода полихроматофильных эритроцитов с микроядрами, наблюдалась индукция адаптивного ответа и варибельность значения ОБЭ от 1,24 до 2,78, которое зависело от дозы; относительная масса тимуса и селезёнки была значительно снижена при более низких дозах по сравнению с мышами, облучёнными рентгеновским излучением; присутствие повреждений в ДНК лейкоцитов выявлялось через 24 ч после облучения при дозах от 0,3 Гр до 1,5 Гр в отличие от рентгеновского излучения; индекс активации хемилюминесценции снижался с увеличением дозы облучения ионами углерода, что свидетельствует об истощении резерва защитных систем организма.

Таким образом, изучение механизмов генетического действия тяжёлых заряженных частиц актуально и позволит решить принципиально новые задачи, связанные с проблемами космической радиобиологии. Полученные данные могут послужить основой для разработки рекомендаций нормирования радиационных нагрузок при длительных космических полётах, а также поиска средств защиты от функциональных нарушений, обусловленных воздействием космического излучения – протонов высоких энергий и тяжёлых ионов.

ВЛИЯНИЕ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТНЫХ ДВИЖЕНИЙ РУК

Соснина И.С., Носикова И.Н., Зеленский К.А., Помелов Р.С., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE EFFECTS OF «DRY» IMMERSION ON CHARACTERISTICS OF ACCURACY HAND MOVEMENTS

Sosnina I.S., Nosikova I.N., Zelenskiy K.A., Pomelov R.S., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Исследования, выполненные в условиях моделируемой микрогравитации, показали, что причиной целого ряда двигательных нарушений, наблюдаемых после космических полетов, может быть устранение или уменьшение опорных нагрузок [Григорьев А.И. и соавт., 2004; Kozlovskaya et al., 2007]. Так, пребывание в условиях устранения опоры в течение нескольких суток сопровождается резким снижением тонуса мышц-экстензоров голени, снижением мышечной силы и выносливости, повышением чувствительности в системе спинальных рефлексов [Kozlovskaya et al., 2006, 2007]. В то же время вопрос о роли опорной афферентации в системе управления сложнокоординированными движениями остается мало изученным.

Целью данной работы явилось изучение влияния безопорности на характеристики точностных произвольных, пространственно ориентированных движений руки. В исследовании принимало участие 11 испытуемых – добровольцев в возрасте $24,1 \pm 3,45$ лет, безопорность воспроизводили методом «сухой» иммерсии [Шульженко Е.Б., Виль-Вильямс И.Ф., 1975], длительность которой составляла 6 ч. Исследования проводили до начала СИ, после 4 ч иммерсионного воздействия, и через 2 ч после его завершения. В задачу испытуемого входило воспроизведение эталонных линий (длиной 20 см) горизонтальными или вертикальными движениями руки в различных комбинациях условий: с открытыми или закрытыми глазами, а также при наклоне головы к плечу ведущей руки. В ходе выполнения задачи регистрировали амплитудные и кинематические параметры движений руки с использованием системы магнитных датчиков фирмы Ascension Technology Corp, США. Анализировали угол отклонения прямой, полученной при экстраполяции траекторий движения руки испытуемого, от эталона – линии горизонта и вертикальной линии.

Анализ данных в задаче воспроизведения горизонтальных линий при прямом положении головы без зрительной обратной связи не выявил значимых отличий во всех сессиях эксперимента ($3,0 \pm 0,66^\circ$ в ходе СИ против $2,49 \pm 0,085^\circ$ в фоновых исследованиях). При воспроизведении горизонтальной линии с наклоном головы к плечу ведущей руки в отсутствие зрительной обратной связи как в фоновых исследованиях, так и после завершения иммерсии, было выявлено достоверное увеличение значения угла отклонения от эталона.

В задаче на воспроизведение вертикальных линий без наклона головы отмечалось увеличение угла отклонения выполняемого движения от эталонного как с открытыми глазами, так и с закрытыми. Однако достоверным это изменение было только при отсутствии зрительной обратной связи в ходе СИ ($7,56 \pm 1,309^\circ$ против $3,77 \pm 0,65^\circ$ в фоновых

исследованиях). После завершения воздействия значения угла отклонения приближались к фоновым.

При воспроизведении вертикальной линии с наклоном головы к плечу ведущей руки было обнаружено достоверное снижение точности воспроизводимого движения при закрытых глазах в ходе иммерсии, а также восстановление этого параметра на следующий день после завершения воздействия. При выполнении задачи с открытыми глазами прослеживалась аналогичная динамика, однако достоверных изменений зарегистрировано не было.

Таким образом, проведенные исследования показали, что опорная афферентация в совокупности с афферентацией зрительной, вестибулярной и проприоцептивной принимает участие в определении координат собственного тела и движений его сегментов. При этом роль вестибулярной и проприоцептивной афферентации существенно возрастает в отсуствии информации от зрительного и опорного входа.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №14-25-00167).

АДАПТИВНО-КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ ЭКИПАЖЕЙ ДЛЯ ПОЛЕТОВ В ДАЛЬНИЙ КОСМОС

Сохин И.Г.

Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

ADAPTIVE-COMPETENCE APPROACH TO CREW TRAINING FOR DEEP SPACE FLIGHTS

Sokhin I.G.

Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Star City, Moscow Region

Возможные ошибки экипажей являются существенным фактором снижения надежности и безопасности космических полетов. Известно, что 70-80 % происшествий и аварий в космонавтике и авиации связаны с ошибками человека. Деятельность экипажей межпланетных миссий в сравнении с экипажами низкоорбитальных околоземных кораблей и станций будет характеризоваться, прежде всего, возрастанием автономности в условиях длительных полетов. При этом существенно возрастут риски, связанные с ошибками экипажей. Чтобы обеспечить необходимый уровень надежности и безопасности межпланетных полетов, потребуется изменение существующей парадигмы подготовки экипажей.

В принятой в настоящее время доктрине управления полетами низкоорбитальных околоземных кораблей и станций устранение или снижение отрицательных последствий ошибочных действий космонавтов обеспечивается постоянным контролем и поддержкой деятельности экипажей в масштабе реального времени со стороны наземного персонала управления. При наличии постоянной связи с пилотируемым космическим аппаратом Центр управления полетами обладает более полной информацией о состоянии бортовых систем и реализации программы полета и всегда может предоставить экипажу необходимые указания, инструкции или любую другую полезную информацию. Поэтому приоритет планирования и реализации программы полета, а также выхода из нештатных ситуаций принадлежит именно ему. Существующая методология подготовки экипажей адаптирована к принятой доктрине управления полетами, в которой автономная деятельность экипажа минимальна и недостатки его подготовки должны быть компенсированы поддержкой Центра управления полетами.

При межпланетных пилотируемых космических полетах за пределами орбиты Земли, в том числе, полетов к Луне, к Марсу и астероидам, возможна существенная временная задержка прохождения радиосигнала с борта пилотируемого космического аппарата и обратно (до 22 мин), а также возможность потери связи с экипажем на более длительный период времени вследствие отказов каналов связи. В этих условиях выполнение программы полета, а также обеспечение безопасности в случае возникновения нештатных ситуаций, должно быть возложено на экипаж в автономном режиме, в условиях ограниченной оперативной поддержки Земли. При этом существенно возрастают риски ошибочных действий экипажа, которые могут влиять на безопасность экипажа, функционирование космических аппаратов, выполнение программы полета в целом. Для обеспечения надежной и безопасной деятельности экипажей в условиях повышенной автономности необходимо смена существующей парадигмы их подготовки. Существующая методология подготовки, ориентированная на формирование у астронавтов навыков выполнения полетных процедур в результате их многократного повторения, должна быть дополнена новыми аспектами подготовки, ориентированными на формирование специальных компетенций, инвариантных к полетным операциям и обеспечивающих экипажу способность действовать в необычных условиях. Новая парадигма подготовки должна быть ориентирована на вероятностные методы количественной оценки компетенций экипажей. Только в этом случае можно будет с определенной степенью достоверности управлять полетными рисками, связанными с подготовкой экипажей.

Традиционно управление тренажерной подготовкой экипажей пилотируемых космических аппаратов ориентировано на многократное выполнение полетных задач (операций и нештатных ситуаций). В ходе тренировок на тренажерах экипажам предъявляются тренировочные задания из существующего перечня задач предстоящей программы полета и оцениваются результаты их выполнения. Состояние подготовленности экипажа рассматривается как интегральная

оценка качества выполнения всех предъявленных на тренировках задач. Типовая программа тренажерной подготовки, составленная на основании статистического обобщения опыта подготовки предшествующих экипажей, предусматривает заданную последовательность отработки штатных и резервных полетных операций программы полета и необходимое количество их повторений для обеспечения требуемого качества подготовленности некоторого усредненного экипажа. Однако при ограничениях на количество тренировок программы подготовки экипажа выборка нештатных ситуаций, которые предъявляются экипажу на тренировках, может оказаться недостаточно репрезентативной для статистической оценки состояния его подготовленности. В результате не представляется возможным прогнозировать способность экипажей надежно и безошибочно действовать в разнообразных нештатных ситуациях космического полета. Возникает методологическая проблема дальнейшего развития тренажерной подготовки экипажей в части эффективного управления состояниями их подготовленности, построенного на принципиально иных концептуальных основаниях.

В качестве концептуальной основы развития методов управления тренажерной подготовкой экипажей предлагается использовать адаптивно-компетентностный подход (Сохин И.Г., 2007). Данный подход и связанные с ним модели и средства основаны на переходе от традиционного подхода к управлению состояниями подготовленности экипажей по схеме «задача-результат» к адаптивному управлению абстрактными переменными состояний его компетентности по схеме «вход-состояние компетентности-выход».

В соответствии с концепцией адаптивно-компетентностного подхода управление подготовкой заключается в приведении текущего состояния компетентности экипажа в область целевых состояний по адаптивной траектории, учитывающей индивидуальные возможности экипажа к обучению и ограничения ресурсов подготовки. Поиск и реализация такой траектории представляет задачу адаптивно-оптимального управления.

Под *компетентностью* здесь понимается состояние подготовленности экипажа, характеризующее его проявленную способность выполнять деятельность с требуемым качеством в конкретных условиях (Сохин И.Г., 2010). Структуру компетентности составляют отдельные операторские функции космонавтов. Применительно к деятельности в нештатных ситуациях компетентность космонавта складывается из совокупности его компетенций: обнаружение, идентификация, планирование и реализация действий по выходу из нештатной ситуации.

В такой интерпретации понятие профессиональная компетентность, оказываясь связанным с условиями и результатами деятельности, является одной из ключевых категорий в системе отношений абстрактных переменных "вход U "-" компетентность X "-" выход Y ". Использование современного математического аппарата теории сложных систем и теории информации позволяет формализовать такие понятия как информационная сложность деятельности («вход»), результаты деятельности («выход»), компетентность космонавтов и количественно измерять их. Переменная U , характеризующая сложность деятельности, может быть представлена вектором соответствующих лингвистических переменных. Переменная Y , характеризующая пространство «выходов», может быть представлена вектором возможных исходов ошибок экипажа, критичных своими последствиями. Состояние компетентности экипажа представляет собой случайный вектор, в котором переменные представляют отдельные компетенции (операторские функции). При этом каждая компетенция является двумерной случайной величиной, поскольку является функцией элементарного события – реализации элемента тренировочного задания, имеющего сложность U и исход Y . Качество компетенции экипажа может интерпретироваться как статистическая вероятность (относительная частота) благоприятного исхода операторской функции. В результате в ходе тренировок экипажей на тренажерах могут быть получены эмпирические функции распределения двумерной случайной величины (Сохин И.Г., 2010).

Путем композиции компетенций экипажа, которые задействованы в структуре его деятельности, могут быть аналитически вычислены прогнозные оценки вероятности совершения им ошибок при различных условиях деятельности (Сохин И.Г., 2012). Таким образом, на основе использования данного подхода появляется возможность получения статистических оценок вероятности ошибочной деятельности экипажа, которые могут быть применены в математических моделях управления рисками подготовки космонавтов.

Адаптивно-компетентностный подход может рассматриваться как основа новой перспективной методологии подготовки экипажей для обеспечения полетов в дальний космос. Управление состояниями компетентности экипажей в ходе их наземной и бортовой подготовки, основанное на количественных вероятностных оценках, позволит обеспечить контролируемый уровень возможных ошибок экипажей при различных показателях сложности их автономной деятельности. Опираясь на математические модели прогноза вероятности совершения экипажем ошибок в тех или иных ситуациях, основанные на результатах их подготовки, можно будет эффективно управлять рисками, связанными с подготовкой экипажей.

КОНЦЕПТ «ЩЕТКА-ТУБУС-ДОЗАТОР» - ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

Спирин А.Е.¹, Крылов А.И.², Спирин Е.А.²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

² Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Московская обл.

THE CONCEPT OF «BRUSH-TUBE-DISPENSER» IS AN INNOVATIVE SOLUTION TO CREATE THE UNIVERSAL SPACE INSTRUMENTATION

Spirin A.E.¹, Krylov A.I.², Spirin E.A.²

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow

² Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Star City, Moscow Region

Гравитация Земли и миллионы лет эволюции природы совершенствовали Человека и окружающее его пространство, делая новое обыденным. Если в Земных условиях и для здорового организма окружающая реальность с многообразием уже изученных явлений и предметов становится обыденным, то в околоземном космическом пространстве и в перспективе при полетах в глубокий космос повседневный Земной быт может трансформироваться в непреодолимые барьеры. Это свойственно экстремальным профессиям (военные, летчики, стюарды, мореплаватели, подводники, проводники и машинисты-железнодорожники и др.) и людям с ограниченными возможностями.

В космической физиологии актуальны исследования адаптивных приспособительных реакций космонавтов как во время космического полёта, так и после их приземления, поскольку затрагивают все функциональные системы организма. Сегодня космическая наука овладела знаниями о состоянии различных физиологических систем организма как в околоземном космическом полёте, так и по его завершению. Известно, что в первые часы после приземления у космонавтов существенно нарушаются сенсомоторные и сердечно-сосудистые функции, ортостатическая устойчивость и координации точностных движений, полное восстановление которых длится неделями. При этом динамика восстановления адаптивных приспособительных реакций при перемене гравитационной среды при полётах в глубокий космос и высадке на космических объектах не известна. Поэтому насколько эффективно будут восстанавливаться функциональные свойства и рабочие возможности космонавта, настолько успешно будут решаться задачи в космических миссиях.

Динамичной адаптации организма в экстремальных условиях способствует развитие соответствующих космических технологий и интуитивно-понятных устройств, минимизирующих пространственно-временные и функциональные связи космонавта с объектами окружающего пространства. Это относится как к специализированному космическому и Земному инструментарию, так и к обыденным бытовым предметам и устройствам, в том числе и к средствам личной гигиены. Следовательно, при планировании перспективных космических полётов за пределы околоземного пространства инструментарий или его новые аналоги и перспективные уникальные разработки должны обладать, по меньшей мере, максимальной функциональностью и эргономичностью. Например, с целью возможного эффективного использования такого инструментария пальцами кисти одной руки при высвобождении второй руки, или при нарушении координации точностных движений обеих рук, или пареза конечностей. Данные требования особо актуальны для людей с ограниченными возможностями и инвалидов по зрению. С этой целью в работе исследована дистальная часть верхней конечности (сенсомоторика кисти руки) с возможностью создания комбинированного устройства с разнородными функциями. Кисти и пальцы – главные инструменты для познания и взаимодействия с окружающим миром, обладают высокой моторикой и информационно-тактильной чувствительностью. Известно, что на кончиках пальцев человека сосредоточено до 135 механорецепторов, причем, порог чувствительности по усилию (на указательном пальце) достигает $\sim 0,2$ г/мм². Плотность рецепторов в других частях руки на порядки ниже. Чувство движения кисти связано с восприятием направления и скорости относительного перемещения суставов. При этом чувство силы ощущается как степень мышечного усилия, необходимого для выполнения движения и поддержания позы. Благодаря этому, человек может определять разницу веса предметов.

При переходе из невесомости в гравитацию у космонавтов нарушаются тактильные функции кистей рук, снижается их сенсомоторика, нарушается геометрическое распознавание внешней среды при контактном взаимодействии, особенно при выполнении операций обеими руками. Например, при выполнении элементарных повседневных процедур, таких как гигиена полости рта зубной щеткой (ЗЩ) как минимум половина всех последовательных взаимосвязанных стадий требует задействование пальцев кистей обеих рук: снятие (откручивание) защитного колпачка тубуса с композитной суспензией (пастой); нанесение определённого (на глаз) количества пасты на щетину ЗЩ; закрытие (закрутка) защитного колпачка тубуса; и т.д. При этом если все действия отслеживаются умозрительно, то нанесение дозированного количества пасты на щетину требует зрительного контроля – визуализации наносимой суспензии.

В работе приведён обзор основных тенденций в развитии индивидуальных средств гигиены полости рта – ЗЩ известных ведущих фирм-изготовителей средств ухода за полостью рта таких как Колгейт-палмолив компани (US), Проктер энд гэмбл компани (US), Браун ГМБХ (DE) и др. Которые привели к созданию многочисленных многофункциональных устройств ухода за полостью рта, содержащих микроконтроллеры, микропроцессоры, дисплеи, и тому подобное, например, устройства: с ёмкостями для аппликационного вещества для ЗЩ (Патент RU 2401627, 14.12.2006); с системой реакции и доставки (Патент RU 2462166, 06.05.2008); со сменными головками и дисплеем режимов (Патент RU 2421116, 19.08.2008); с системой воздушной очистки (Патент RU 2435548, 22.10.2008) и так далее. Однако техническая

сложность, высокая стоимость и привязанность к элементам питания или электрической сети, делают их неконкурентоспособными с обычными ручными ЗЩ, которые были и остаются популярными и массовыми в применении. Создание новых эластомеров, развитие технологий комбинирования разнородных материалов и учет эргономики повысили комфортность и удобство пользования обычных ручных ЗЩ, например, выпускаемых компанией Браун ГМБХ (DE). Осознательная дифференциация разнородных мягких участков внутри области захвата позволяет пользователю правильно располагать большой и/или указательный пальцы на рукоятке, что приводит к большей маневренности ЗЩ при её использовании (Патент RU 2539155, 21.11.2011). При этом актуальным является комбинация ЗЩ и тубуса с композитной суспензией «два в одном» (Патенты RU 2108052, 26.11.1992 и RU 2255708, 24.09.2003); или концепт «три в одном» Twist&Brush – зубная щетка - дозатор со встроенным в рукоятку прозрачным тубус-шприцем с зубной пастой, от испанских дизайнеров Awamura-ganjavian (<http://gizmod.ru/2011/03/24/twistbrush-zubnaya-shhetka-s-otsekom-dlya-pasty>).

По материалам данных исследований, а также модельных экспериментов и эргономических исследований, проведенных на нескольких десятках объектов – ЗЩ, тубусов с чистящими суспензиями разных консистенций; а также с привлечением классического социометрического опросника (анкетирования людей экстремальных профессий и людей с ограниченными возможностями), проанализирован социометрический статус (популярность) каждого изделия.

Для людей с ограниченными возможностями и/или условия труда и жизни которых затрудняют или исключают одновременное использование обеих кистей рук, или деятельность которых локализована в замкнутом пространстве (космонавты, подводники и т.д.), или с дисфункцией органов зрения разработан ряд физических макетов средств личной гигиены, интегрирующих в себе три и более функционала – «три в одном» - «Щетка-тубус-дозатор». Особенность такого устройства состоит в комбинации ЗЩ, тубуса с композитной суспензией и специальной рукоятки, создающей избыточное давление в тубусе в виде дозированной порции. При каждом однократном воздействии на рукоятку на щетину выдавливается строго дозированная порция композитной суспензии. Наличие дополнительного слоя щетины позволяет варьировать жесткостью и плотностью щетины в процессе выполнения гигиенических процедур. Устройство может работать в двух режимах: в нормальном или инверсном. При этом, как при хранении, так и при любом режиме работы в процессе выполнения гигиенических процедур доступ извне загрязнений и воздуха в полость тубуса предотвращен.

Полученные технические результаты, а именно: управляемое открытие-закрытие полостей, предотвращающее доступ извне загрязнений и воздуха и дозированная подача и равномерное распределение композитной суспензии по щетине достигаются созданием определённого избыточного давления во внутренней полости головки со щетиной за счёт однократного воздействия на рукоятку. При этом повышение информационно-тактильной чувствительности достигается осознательной дифференциацией разнородных участков внутри области захвата с правильным расположением пальцев на рукоятке. Более того, манипулирование рукояткой позволяет изменять плотность и жесткость щетины чистящей головки.

Предлагаемое устройство «Щетка-тубус-дозатор» существенно (относительно аналогов) упрощает конструкторско-технологическое и практическое решение при создании многообразного устройства совмещающего в себе принцип «три в одном». Позволяет просто и эффективно решить задачу повышения гигиенических качеств зубных щеток - дозаторов, комбинированных с тубусами, содержащих композитные суспензии, а также решить задачу эргономики, с осознательной дифференциацией разнородных участков внутри области захвата с правильным расположением пальцев кисти руки на рукоятке.

Устройство может быть использовано, также, например, при чистке иллюминаторов пилотируемых космических аппаратов или в быту как универсальное чистящее средство, содержащее чистящие и моющие вещества в виде жидких композитных суспензий, для ухода за обувью, автомобилем, и так далее.

Интуитивно-понятный принцип действия устройства минимизирует выполнение пространственно-временных операций. Предлагаемая функциональность и эргономичность такого устройства может быть положена в основу создания серии простого и удобного инструментария, используемого в любых условиях и главное, с использованием только пальцев кисти одной руки и без визуального контроля (с закрытыми глазами), что также безальтернативно для людей с ограниченными возможностями или с дисфункцией органов зрения.

ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА И ЭНЕРГОТРАТЫ У КОСМОНАВТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ДНЕВНЫЕ И НОЧНЫЕ ЧАСЫ

Степанова С.И.¹, Катунцев В.П.², Осипов Ю.Ю.¹, Галичий В.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НИИ космической медицины ФНКЦ ФМБА России, Москва

BODY TEMPERATURE AND ENERGY EXPENDITURE BY COSMONAUTS DURING EXTRAVEHICULAR ACTIVITY BY DAY AND NIGHT

Stepanova S.I.¹, Katuntsev V.P.², Osipov Yu.Yu.¹, Galichiy V.A.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow² Research Institute for Space Medicine FRCC FMBA of Russia, Moscow

В соответствии с естественным суточным ритмом, регистрируемым в условиях обычного жизненного распорядка (сон ночью, бодрствование днем), все температурные показатели, — будь то максимальные, минимальные или любые другие, — изменяются однонаправленно: ночью снижаются, днем повышаются. Во многом это связано с уменьшением метаболической и мышечной теплопродукции в ночные часы и активацией этих процессов в дневное время.

В исследовании приняли участие 10 космонавтов, каждый из которых с борта орбитальной станции «Мир» выполнял дневные и ночные сеансы ВКД (в общей сложности 24 сеанса). Дневные сеансы осуществлялись в интервале с 8 ч 24 мин до 18 ч 56 мин, ночные – в интервале с 23 ч 04 мин до 7 ч 00 мин. В процессе ВКД регистрировали температуру тела при помощи заушного датчика (ТТз) в °С и энерготраты (ЭТ) в ккал/мин. ЭТ определяли по разности концентрации CO₂ на входе/выходе поглотительного патрона, которая в сочетании со скоростью вентиляции была основой для расчета ЭТ в реальном масштабе времени. В процессе анализа материала из множества значений, зарегистрированных в каждом сеансе ВКД, использовали индивидуальные минимумы и максимумы ТТз и ЭТ.

В соответствии с результатами анализа в среднем по группе максимальные значения ТТз ночью (37,02 °С) были выше, чем днем (36,63 °С) при $p < 0,05$. В то же время среднегрупповые минимумы ТТз ночью (35,80 °С) и днем (35,71 °С) практически не различались. Следовательно, естественный суточный ход ТТз в условиях ВКД оказался нарушенным, поскольку ночная работа неизбежно сопровождалась нарушением привычного ритма сна-бодрствования.

Сравнивая дневные и ночные значения ЭТ — как максимальные (в среднем по группе соответственно 6,4 ккал/мин и 5,8 ккал/мин), так и минимальные (2,0 ккал/мин и 2,3 ккал/мин), — нетрудно убедиться в том, что уровень физической активности космонавтов при выполнении дневных и ночных сеансов ВКД был примерно одинаковым. Но отсюда вовсе не вытекает, что реакции организма на эти нагрузки днем и ночью также должны были быть одинаковыми. Напротив, множество исследований указывает на то, что физиологические эффекты одного и того же воздействия, в зависимости от того, когда оно применяется, — днем или ночью, — могут быть совершенно различными, иногда прямо противоположными. Потому что дневной и ночной организм — это две разные физиолого-биохимические системы.

Сказанное нашло подтверждение в наших исследованиях. По данным корреляционного анализа, ЭТ оказывали влияние на ТТз таким образом, что, чем выше были индивидуальные значения ЭТ, т.е. чем больше была физическая нагрузка, тем глубже падали индивидуальные значения ТТз за счет вызванного нагрузкой повышения теплоотдачи. Но это наблюдалось только днем и только на уровне минимальных значений ЭТ и ТТз (взаимосвязь обоих показателей характеризовалась величиной коэффициента корреляции $r = -0,814$ при $p < 0,01$). Ночью ничего подобного не отмечалось, в это время не было установлено никакой связи между минимумами ЭТ и ТТз ($r = -0,194$). Следовательно, участие физической нагрузки в обеспечении теплоотдачи при выполнении ВКД наблюдалось только в дневное время.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что ночной организм, не привыкший к физическим нагрузкам, не готов защищаться от избыточной теплопродукции так же успешно, как днем. Поэтому в условиях ночной ВКД максимумы ТТз оказались выше, чем днем, а реакция на повышение теплопродукции в виде усиления теплоотдачи не проявилась.

РЕЖИМ ТРУДА И ОТДЫХА РОССИЙСКОГО УЧАСТНИКА ГОДОВОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Степанова С.И., Карпова О.И., Нестеров В.Ф., Галичий В.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

WORK-REST SCHEDULE OF RUSSIAN 1-YEAR SPACEFLIGHT PARTICIPANT

Stepanova S.I., Karpova O.I., Nesterov V.F., Galichiy V.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Работоспособность и здоровье участников длительного космического полета (КП) во многом зависят от того, насколько рационально организован их режим труда и отдыха (РТО). Согласно требованиям полетной документации, разработанной применительно к Международной космической станции (МКС), продолжительность работы с системами и полезной нагрузкой должна составлять не более 6,5 ч в рабочий день и не более 1 ч в выходной день, а длительность периода сна, как правило, не может быть меньше 8,5 ч. Что касается сна, дело здесь не только в длительности, но и в стабильности его положения на суточной шкале. Согласно штатному распорядку период сна должен располагаться в пределах 21 ч 30 мин – 6 ч по Гринвичу.

Годовой полет продолжался 340 сут. Все это время его российский участник выполнял функции бортинженера-2 (БИ-2).

Судя по данным полетного мониторинга РТО и, по словам самого БИ-2, рабочая нагрузка распределялась в ходе полета неравномерно («то густо, то пусто»). Наибольшей она была в период с середины июня до конца августа 2015 г.

и на заключительном этапе полета с середины декабря 2015 г. до конца февраля 2016 г. Оба периода (в сумме они составили примерно половину общей длительности полета) были отмечены сверхнормативными работами, объем которых в среднем за неделю варьировал в пределах от 42 мин до 2 ч 13 мин (от 6 мин до 19 мин в сутки). Данные показатели были заметно ниже среднего уровня сверхнормативной загрузки членов экипажей МКС 26/27 – 39/40 (3 ч 36 мин в неделю, или 31 мин в сутки), не говоря уже о том, что в части этих полетов средненедельный показатель, характеризующий объем сверхнормативной работы, превышал 5–6 ч и даже 7 ч, что намного больше, чем наблюдалось у БИ-2 в годовом полете.

В остальном рабочая нагрузка БИ-2 была ниже нормативного предела, благодаря чему образовался суммарный резерв рабочего времени, который поглотил всю сверхнормативную работу и перевел ее в нормативную зону. В результате в среднем за весь годовой полет сверхнормативная нагрузка БИ-2 оказалась равной нулю.

Рассматривая особенности распорядка сна в годовом полете, необходимо отметить, что приведенная здесь информация, касающаяся сна, относится ко всей российской части экипажа в целом. Потому что, за редкими исключениями, мы могли оценивать только плановые показатели, а планирование сна осуществлялось применительно ко всей группе российских участников полета. Выделить из этой информации персональные данные БИ-2 невозможно.

Согласно результатам анализа, 92 % плановых периодов сна полностью соответствовали штатным требованиям. В 8 % случаев сон планировался с отклонениями от штатного распорядка, что было связано с необходимостью частичного или полного переноса рабочего периода на ночное время. Причинами плановых отклонений были следующие события:

- прием транспортных пилотируемых кораблей (ТПК) с прибытием на станцию 43-й, 44-й и 45-й экспедиций (3 эпизода).
- завершение 42-й, 43-й, 44-й и 45-й экспедиций (отстыковка от станции и посадка ТПК) (4 эпизода).
- прием транспортных грузовых кораблей (ТГК) (2 эпизода).
- внекорабельная деятельность (ВКД) (2 эпизода).
- Перестыковка ТПК с одного модуля на другой (1 эпизод).
- ТВ-сеанс с премьер-министром РФ (1 эпизод).

Помимо плановых отклонений, в ходе годового полета состоялись еще 2 непредвиденных ночных побудки по поводу нештатных ситуаций. Итого, в ходе годового полета мы насчитали 15 эпизодов, каждый из которых был отмечен отклонениями периода сна от штатного графика, причем общее количество отклонений было не 15, а 26, так как один эпизод мог нести в себе два нештатных периода сна (например, укороченный дневной сон перед ночной ВКД и удлиненный — после нее). (Для сравнения отметим, что в ходе предшествующих экспедиций МКС 37/38, 38/39, 39/40 и первых 3 недель полета МКС 40/41, совокупной продолжительностью 340 сут, мы нашли 24 эпизода, отмеченных отклонениями от штатного распорядка сна).

Известно, что после бессонной ночи приходит дневная сонливость, которая сопровождается ухудшением самочувствия и снижением умственной и физической работоспособности. Учитывая это, после ночной работы членам экипажа предоставляли время, которое они могли использовать для того чтобы выспаться и восстановить силы. Этот плановый период нередко включал весь последующий день и всю последующую ночь. Его продолжительность достигала 16–30 ч. Наряду с этим накануне предстоящей ночной работы планировался дневной сон, сокращенный до 4–5 ч. В результате длительность планового периода сна, отмеченного отклонениями от штатного распорядка, составила в среднем 12 ч 05 мин.

Как отметил российский участник годовой экспедиции, нарушения штатного распорядка сна создавали некоторое напряжение. Но после таких нарушений экипажу давали возможность отдохнуть, поэтому «в целом все было в пределах нормы... Продолжительность сна в среднем была 7 ч, в дни отдыха немного побольше... В том, что касается здоровья, — заключил он, — в сравнении с прежним полетом (длительностью 176 сут. – Авт.) я прилетел в лучшем состоянии. Несмотря на все трудности, я чувствую себя совершенно нормально».

Выводы.

1. РТО российского участника годового полета предусматривал сверхнормативные работы и отклонения от штатного распорядка сна.

2. С помощью сравнительного анализа РТО российских членов экипажей МКС 26/27–39/40, с одной стороны, и российского космонавта – участника годовой экспедиции на МКС, с другой стороны, получены свидетельства того, что РТО в годовом полете, по крайней мере, в смысле рабочих нагрузок, был не хуже, чем в предыдущих полетах.

ИНС ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СПОРАДИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В КОСМОСЕ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

Супов Д.К.

Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова, Москва

ANN TO RECOGNISE SPORADIC CHANGES OF RADIATION SITUATION IN SPACE AT LOW-ORBIT

Supov D.K.

Fedorov Institute of Applied Geophysics

К числу важных факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье космонавта, относятся ионизирующие излучения космического пространства, которые включают и заряженные частицы радиационных поясов Земли. Мониторинг радиационной обстановки в космосе подразумевает, в том числе, и регистрацию резких пространственно-временных изменений потоков заряженных частиц радиационных поясов. Особенно сложны такие изменения на малых высотах (~1000 км), для которых характерны большие градиенты потоков частиц, вызванные влиянием атмосферы и неоднородностей пространственной структуры геомагнитного поля.

Анализ данных спутниковых наблюдений частиц радиационных поясов на малых высотах показывает наличие большого числа событий высыпаний энергичных электронов из внешнего радиационного пояса. С этими событиями связаны спорадические повышения радиационной опасности на низких орбитах.

Задачи поиска высыпаний энергичных электронов связаны с обработкой больших объемов спутниковых данных о радиационной обстановке. Такие задачи эффективно решаются с помощью математических алгоритмов искусственного интеллекта.

Для осуществления автоматического поиска высыпаний высокоэнергетических электронов создана многослойная искусственная нейронная сеть. Подобрана структура сети с обратным распространением ошибки, образованная каскадами слоев, где выход одного слоя является входом другого. Сеть распознает высыпания с высоким (до 94 %) процентом верных результатов. Это позволяет значительно сократить время и увеличить точность поиска.

Таким образом, использование искусственной нейронной сети позволяет уточнять диагноз радиационной обстановки на заданной низкой орбите.

ГЕНДЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЭГ-ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБРОВОЛЬЦЕВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРА ИЗОЛЯЦИИ

Счастливецва Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

GENDER ANALYSIS OF THE VOLUNTEER'S EEG INDICATORS UNDER ISOLATION FACTOR EFFECT

Schastlivtseva D.V., Kotrovskaya T.I., Bubeev Yu.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Биопотенциалы коры головного мозга человека – один из существенных элементов, определяющих индивидуальный психофизиологический портрет человека. В ряде исследований было показано, что характеристики биопотенциалов весьма разнообразны и индивидуально устойчивы, а это дает возможность предположить существование определенной зависимости между основными свойствами высшей нервной деятельности и биоэлектрической активностью мозга. Показатели биоэлектрической активности мозга, психических процессов и уровней функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) обладают большой вариативностью, в частности, в силу возрастных и гендерных особенностей обследуемых, которые необходимо учитывать при оценке формирующего влияния воздействующего фактора.

Из литературных данных [Бельских И.А. и др., 2011] известно, что при анализе общемозговых индикаторов фоновых ЭЭГ (выборка в 589 человек), индивидуальный уровень активации ЦНС женщин выше по сравнению с мужчинами.

ГНЦ РФ – ИМБП РАН на протяжении полувека проводит сложные гермокамерные исследования с участием здоровых добровольцев при действии факторов различной природы, в частности, освещения, создаваемого светильниками с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками. Этот эксперимент осуществлялся при 10-дневной изоляции мужского экипажа на базе Глубоководного водолазного комплексе (ГВК-250). В 2015 году проводили апробацию полных аналогов оборудования, которое будет использоваться на борту РС МКС, во время 9-дневной изоляции женского экипажа на базе Научного экспериментального комплекса (НЭК),

Целью данной работы являлось сопоставление ЭЭГ-паттернов мужского и женского экипажей, как до начала экспериментов, так и после действия фактора изоляции.

Для выявления нейрофизиологических показателей регистрировали биопотенциалы коры головного мозга человека методом электроэнцефалографии (ЭЭГ). Запись ЭЭГ осуществлялась монополярно от 19 стандартных отведений по международной системе 10–20 %. Полученные данные обрабатывались, как качественно (визуальная оценка ЭЭГ-паттерна), так и количественно. Полученные ЭЭГ-файлы обрабатывали методом спектрально-корреляционного анализа на основе быстрого преобразования Фурье, рассчитывая относительные значения мощности (ОЗМ) спектра основных ЭЭГ-диапазонов для каждого отведения, а также суммарно для всех отведений. Также использовали метод нелинейной динамики для расчета глобальной корреляционной размерности D2 ЭЭГ. После все данные подвергались

вторичной обработке программой STATISTICA.

Во время изоляции как мужского, так и женского экипажей, соблюдались нормальные условия среды обитания по температуре, влажности и газовому составу атмосферы в ГВК-250 и НЭКе.

Поскольку выборки малы (в мужском экипаже было 10 человек, а в женском – 6), то для корректности статистического сравнения выборки выравнивались следующим образом. Для шести ЭЭГ-паттернов женского экипажа подбирали сходные по качественным и количественным показателям ЭЭГ-паттерны мужского экипажа. Таким образом, в обеих группах у 4 человек (в каждом экипаже) ЭЭГ-паттерн был организованным во времени и пространстве, у 1 гиперсинхронным, а у 1 десинхронным низкоамплитудным (плоским). В мужском экипаже из анализа исключили 3 повтора ЭЭГ-паттерна, организованного во времени и пространстве, и один повтор десинхронного низкоамплитудного.

Были получены следующие результаты. По ОЗМ основных ЭЭГ-диапазонов суммарно для всех отведений, по альфа-индексу, по средней амплитуде альфа-активности никаких статистически достоверных отличий как в фоне, так и после действия фактора изоляции между двумя экипажами обнаружено не было. Следует отметить, что как в мужском, так и в женском экипаже статистически достоверных различий в исследуемых показателях после изоляции по сравнению с фоном также обнаружено не было. Вероятнее всего, это обусловлено малыми выборками, состав которых был не однороден по типу ЭЭГ-паттерна. Известно, что различные виды ЭЭГ-паттерна соответствуют различным, индивидуально обусловленным, нейрофизиологическим реакциям на один и тот же действующий фактор.

Однако было обнаружено, что две выборки статистически достоверно различались до начала эксперимента по тета/бета индексу (отношение ОЗМ тета-активности к ОЗМ бета-активности). Тета-бета индекс, используется в литературе в качестве оценки нарушений процессов саморегуляции ассоциативной коры головного мозга, и является чувствительным показателем работы системы селекции действий. Известно, что при синдроме нарушения внимания может наблюдаться снижение уровня активации лобной коры в сочетании с дисфункцией неспецифических структур ствола и среднего мозга. Регуляция функционирования коры опосредована таламусом, который также модулирует вход в сенсомоторную зону. ЭЭГ-следствием подобных нарушений оказывается большая выраженность тета-активности и снижение бета-активности, причем высокая мощность колебаний тета-диапазона спектра ассоциируется с отвлекаемостью, в то время как повышение уровня бета-активности связывается с концентрацией внимания и эффективной когнитивной деятельностью. В фоне в мужском экипаже тета/бета индекс был выше, чем в женском. По окончании изоляции таких различий не выявлено.

ПРОГРАММА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИССЛЕДОВАНИЙ ВО ВРЕМЯ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «БИОН-М» № 2

Сычев В.Н.¹, Абрашкин В.И.², Андреев-Андриевский А.А.¹, Буравкова Л.Б.¹, Виноградова О.Л.¹, Ёлкин К.С.³, Ильин В.К.¹, Ильин Е.А.¹, Левинских М.А.¹, Раков Д.В.¹, Шуршаков В.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара

³ Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, г. Королёв

PROGRAM OF FUNDAMENTAL AND APPLIED EXPERIMENTS AND INVESTIGATIONS DURING FLIGHT TESTS OF "BION-M2" SPACE VEHICLE

Sychev V.N.¹, Abrashkin V.I.², Andreev-Andrievsky A.A.¹, Buravkova L.B.¹, Vinogradova O.L.¹, Elkin K.S.³, Ilyin E.A.¹, Ilyin V.K.¹, Levinskikh M.A.¹, Rakov D.V.¹, Shurshakov V.A.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² AO "RSC "Progress", Samara

³ Central Research Institute of Machine Building, Korolev

Основной целью биологических исследований на борту космических аппаратов (КА) является получение новых знаний о пределах выживания биологической материи, ее изменчивости при действии космических факторов, определение основных рисков при длительном пребывании биологических организмов, в том числе человека, за пределами Земли и ее магнитосферы. В результате такого рода исследований должна быть разработана система защитных мер как технического, так и медико-биологического характера, позволяющая обеспечить нормальное и длительное функционирование различных организмов в условиях космоса.

Для реализации данной программы исследований в Федеральной космической программе на 2016–2025 гг. запланировано до 2021 г. произвести подготовку и запуск КА «БИОН-М» № 2.

Целью научной программы в проекте «БИОН-М» № 2 является комплексное исследование комбинированного биологического действия невесомости и высокого уровня космической радиации на организм на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Для достижения заявленной цели планируется поднять орбиту полета КА

«БИОН-М» № 2 до 1000 км.

В 2015 г. Советом РАН по космосу был утвержден состав Межведомственной комиссии по отбору экспериментов и исследований в проекте «БИОН-М» № 2 (МВК), в состав которого вошли специалисты ГНЦ РФ-ИМБП РАН, АО «РКЦ «Прогресс», ФГУП «ЦНИИмаш». На рассмотрение МВК поступило 34 Технических задания на космические эксперименты и исследования, поступившие от 23 научных организаций России. В результате было отобрано 27 космических экспериментов для реализации в полете биологического спутника. Во время полета КА «БИОН-М» № 2 будут проводиться эксперименты и исследования по следующим направлениям: эксперименты на животных; эксперименты с культурами клеток животных; эксперименты с растениями, культурами растительных клеток, семенами и водорослями; эксперименты с микроорганизмами; экзобиологические эксперименты; технологические эксперименты; радиобиологические эксперименты и радиационные исследования; исследования и эксперименты по космическому материаловедению; физические и технические эксперименты; образовательные эксперименты.

В настоящее время начата работа по разработке второго раздела Научной программы исследований в проекте «БИОН-М» № 2 – Программа послеполетных исследований биологического материала, полученного после 30-суточного полета биоспутника. Более подробная информация о проекте «Бион-М» № 2 представлена в сети Интернет на сайте <http://biosputnik.imbp.ru/>.

АЛГОРИТМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ АЭРОБНОГО И АНАЭРОБНОГО ПОРОГОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАГРУЗОЧНЫХ ТЕСТОВ

Тимме Е.А.^{2,3}, Голов А.В.¹, Козлов А.В.^{2,4}

¹ Московский физико-технический институт, Москва

² Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд, Москомспорта, Москва

³ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

⁴ Российский государственный университет физической культуры, Москва

АЛГОРИТМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ АЭРОБНОГО И АНАЭРОБНОГО ПОРОГОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАГРУЗОЧНЫХ ТЕСТОВ

Тимме Е.А.^{2,3}, Голов А.В.¹, Козлов А.В.^{2,4}

¹ Moscow Institute of Physics and Technology, Москва

² Sports Center of innovative technologies and the training of national teams, Moskomспорта, Moscow

³ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

⁴ Russian State University of Physical Culture, Moscow

Нагрузочные физиологические тесты являются универсальным средством определения индивидуальных параметров работоспособности человека, характеризующих режимы энергообеспечения мышечной деятельности. Поэтому применение таких тестов имеет широкое распространение в спортивной, авиационно-космической медицине.

Эти тесты различаются по своему целевому назначению, применяемым эргометрам и используемым протоколам тестирования [1]. Основной целью тестирования является определение физической работоспособности и оценка ее важнейших параметров: аэробного порога (АЭП) и порога анаэробного обмена (ПАНО) [2]. На результаты тестирования могут влиять физиологическое и психологическое состояние человека, предшествующие физические нагрузки, время и состав принимаемой пищи в день теста, характер предварительной разминки [4].

Основной проблемой в определении АЭП и ПАНО является идентификация значений точек перегибов кусочно-линейных кривых физиологических параметров, которые вследствие наличия шума в данных, не могут быть определены с высокой точностью.

Как правило, обработка данных проводится квалифицированными экспертами в программе MSExcel графическим методом, с построением в ручном режиме регрессионных прямых, и нахождением с их помощью, точек (участков) возрастающего отклонения от линейности графиков физиологических параметров [6]. Для определения АЭП и ПАНО, помимо ручного режима, применяется специализированное программное обеспечение (ПО), обычно поставляемое в комплекте к газоанализаторам. При сглаживании и фильтрации в таких программах происходит потеря определенной части информации, что может приводить к недостоверному определению порогов. Значения ПАНО, полученные по разным методам, зависят от выбора алгоритма сглаживания и могут сильно отличаться друг от друга. Также, как и ПАНО, физиологов интересует значение АЭП, однако возможности ПО не позволяют его оценить. Эти практические сложности ставят задачу создания математически корректных алгоритмов выделения наиболее правдоподобных значений АЭП и ПАНО из зашумленных данных по нескольким физиологическим параметрам и предоставление их эксперту для принятия окончательного решения.

Разработан алгоритм обработки, анализа и интерпретации результатов физиологических тестов с возрастающей нагрузкой. Данный алгоритм отличается от имеющихся применением робастных регрессионных методов, отсутствием

необходимости предварительного субъективного сглаживания данных пользователем, расчетом доверительных интервалов методом бутстреппинга, который позволяет определять значения аэробного и анаэробного порога сразу по нескольким физиологическим критериям.

Алгоритм был реализован в виде программного модуля на вход которого поступает файл с данными тестирования, а на выходе рассчитываются значения АЭП и ПАНО, определенные по нескольким физиологическим критериям, а также их интегральная оценка. Помимо алгоритма, в модуле реализован удобный функционал для определения порогов в ручном режиме экспертами-физиологами. Алгоритм может использоваться для получения первоначальных значений порогов, которые затем, при необходимости, они могут быть скорректированы на основе данных по лактату. Значения АЭП и ПАНО, определенные программным методом близки к оценкам полученным экспертами-физиологами.

Разработанный программный модуль был апробирован на данных нагрузочного тестирования спортсменов и получил высокую оценку экспертов-физиологов, снизив время, затрачиваемое на определение значений порогов, повысив при этом точность и надежность этой оценки. Модуль внедрен в рабочие процессы научно-методического обеспечения спортсменов в Центре спортивных технологий Москомспорта.

ПОГЛОТИТЕЛИ УГАРНОГО ГАЗА – КОМНАТНЫЕ РАСТЕНИЯ

Тирранен Л.С.^{1,2}, Трифонов С.В.², Шабанова О.В.³

¹ Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск

² Институт биофизики КНЦ СО РАН, г. Красноярск

³ СКТБ «Наука» Красноярский научный центр СО РАН

ABSORBENTS OF CARBON MONOXIDE – HOUSEPLANTS

Tirranen L.S.^{1,2}, Trifonov S.V.², Shabanova O.V.³

¹ Krasnoyarsk Scientific Centre SB RAS, Krasnoyarsk

² Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk

³ SDTB «Nauka» Krasnoyarsk Scientific Centre SB RAS, Krasnoyarsk

В ранее проведенных экспериментах с замкнутой экологической системой (ЗЭС), включающей человека и высшие растения, установлено, что из комплекса факторов, отрицательно действовавших на биосинтез выращиваемых культур высших растений, наибольшее влияние оказывал газовый состав атмосферы системы [Gitelson et al., 2003]. Анализ газообразных примесей в воздухе бытового отсека ЗЭС выявил наличие токсических примесей в атмосфере исследуемых объектов. В частности, был обнаружен угарный газ (СО) в атмосферном воздухе системы.

Проблема очистки воздуха от вредных веществ занимает одно из ведущих мест в мире, а использование высокоэффективных систем очистки воздуха от вредных газообразных примесей не всегда решает всю проблему очистки воздуха. Наиболее сложно обстоит дело с угарным газом.

Цель работы – оценка способностей растений хлорофитума (*Chlorophytum sp.*) к очистке воздуха исследуемых объектов от угарного газа в наземных экспериментах.

Могут ли комнатные растения, растущие в герметично замкнутом объеме, очищать воздух от газообразных примесей, в частности от угарного газа?

Объектом исследования служили взрослые вечнозеленые растения хлорофитума (*Chlorophytum sp.*), росшие в наземных условиях.

Методика исследований. Взрослые, цветущие растения хлорофитума росли в герметично замкнутых стеклянных сосудах объемом 13 и 18 л, куда ежедневно подавался углекислый газ.

Угарный газ подавался по схеме эксперимента.

Измерение содержания в воздухе оксида углерода проводили с помощью газоанализатора «Полар». Диапазон измерений по монооксиду углерода 0–5000 мг/м³. Принцип измерений электрохимический.

Проведено 3 эксперимента. Исследовано 26 случаев:

Во 1-м опыте выявлена способность растений хлорофитума поглощать угарный газ.

Во 2-м опыте найдена зависимость очистки воздуха от объема исследуемого воздуха.

Во 3-м опыте обнаружена прямая корреляция между массой фотосинтезирующего растения и способностью к поглощению растением угарного газа.

Полагаем, что растения хлорофитума можно рекомендовать для очистки воздуха обитаемых отсеков космических и подводных станций от угарного газа.

СОЗДАНИЕ КРУГОВОРОТНЫХ ПРОЦЕССОВ В БУДУЩИХ БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Трифонов С.В., Тихомирова Н.А., Величко В.В.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

DEVELOPMENT OF MATTER TURNOVER PROCESSES IN FUTURE BIOLOGICAL-TECHNICAL LIFE SUPPORT SYSTEMS

Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Trifonov S.V., Tikhomirova N.A., Velichko V.V.

Institute of Biophysics SB RAS

Осуществление полетов человека в средний и дальний космос невозможно без создания высокозамкнутых биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО). Создание таких систем – сложная и трудоемкая проблема, требующая усилий специалистов разных профилей. Решение такой проблемы невозможно осуществить в сжатые сроки. Облик такой системы, ее конструктивные характеристики во многом будут зависеть от развития пилотируемых полетов в космос и тех требований и опыта, которые будут формироваться в процессе их осуществления. Однако уже сейчас есть ряд требований к будущим планетарным БТСЖО, работа над которыми крайне актуальна. К ним относится формирование круговоротных процессов высокой степени замкнутости, обеспечивающих воспроизводство в БТСЖО газовой среды, воды и пищи для человека. Только наличие такого круговорота сможет гарантировать длительное автономное пребывание человека вне Биосферы Земли. Развитие таких исследований может параллельно развиваться по 2 направлениям: 1) создание наземных комплексов, в которых с участием человека имитируется создание космических БТСЖО с заданными параметрами круговоротных процессов; 2) создание экспериментальных моделей космических БТСЖО с расчетной долей присутствия человека. Разумеется, что первое направление гораздо предпочтительнее, однако его финансовое обеспечение, а также требования к его конструкции и другим характеристикам в связи с присутствием человека неизмеримо выше, чем для модельной БТСЖО. Ввиду этих причин работы по развитию таких исследований нередко тормозятся. В такой ситуации представляется более эффективным создание на первом этапе экспериментальных моделей космических БТСЖО с расчетной долей присутствия человека, первичная проверка и доработка в такой системе технологических процессов, обеспечивающих заданную замкнутость круговоротных процессов. Успешное решение этих вопросов позволит в дальнейшем более эффективно и с меньшими затратами приступить к созданию полномасштабных БТСЖО с человеком.

Настоящий доклад посвящен вопросам формирования круговоротных процессов в создаваемой в настоящее время в ИБФ СО РАН экспериментальной модели БТСЖО с расчетной долей присутствия человека. В основе создания круговоротного процесса в такой системе лежит фототрофное звено высших растений, обеспечивающих для человека растительную диету европейского типа. Ряд процессов вовлечения в круговорот отходов жизнедеятельности человека осуществляется с помощью физико-химических методов, разработанных в ИБФ СО РАН и имеющих высокую энергоэкономичность, экологичность начальных и конечных продуктов технологического процесса, пониженную металлоемкость применяемого оборудования в сравнении с традиционно используемыми установками. Как известно, в БТСЖО может быть достаточно легко организован газообмен по CO_2 и O_2 между высшими растениями и человеком. Массообмен по воде в таких системах также не представляет трудностей. Проблема круговорота значительно осложняется, когда в этот процесс вовлекаются твердые и жидкие органические отходы жизнедеятельности человека. Требования высокой замкнутости круговоротных процессов диктуют необходимость отказа от взятия в запас и последующего использования химических удобрений для выращивания растений фототрофного звена в БТСЖО. В этом случае основными источниками таких удобрений могут быть минеральные элементы, извлекаемые из несъедобной биомассы растений, пищевых отходов, а также жидких и плотных экзометаболитов человека. Поэтому важнейшими технологиями, обеспечивающими поддержание круговоротного процесса в БТСЖО, являются технологии биологического и физико-химического окисления органических отходов. Апробация таких технологий в режиме длительного (несколько месяцев) круговоротного процесса, организованного в созданной экспериментальной модели БТСЖО, была выполнена в ИБФ СО РАН. Разработка и апробация технологий минерализации несъедобной растительной биомассы проводилась при использовании почвоподобного субстрата (ППС), а плотных и жидких экзометаболитов – при использовании комбинации физико-химических методов минерализации отходов и биологических методов вовлечения продуктов минерализации в массообменные процессы. Хотя эти проблемы в принципиальном плане удалось решить, однако их решение потребовало преодолеть ряд трудностей. Из макроэлементов в разной степени доступности для растений в ППС находятся N, K, Ca, P, S и Mg. Доступность S составляет менее 50 %. Очень низка степень минерализации N, который входит, вероятно, в состав различных органических соединений гумуса. Есть проблемы с доступностью Fe. Поэтому основными факторами, лимитирующими продукционный процесс растений на ППС, является наличие в субстрате доступных форм эссенциальных элементов. В связи с этим большинство видов растений фототрофного звена при биологическом окислении в ППС соломы существенно теряют в продуктивности. Наиболее неприхотливой культурой, дающей приемлемые значения продуктивности при росте на ППС, в который добавлена солома, является чуфа. Остальные используемые при выращивании на ППС культуры – овощные культуры, которые получают минеральные элементы при биологическом окислении в ППС растительных отходов овощных растений и

соломы пшеницы, испытывают проблемы с минеральным питанием, что приводит к некоторому снижению продуктивности. Для включения в массообмен жидких продуктов минерализации плотных и жидких экзометаболитов человека, в состав которых входит NaCl, для выращивания пшеницы использовали нейтральный субстрат, который снабжался минеральными элементами, извлеченными физико-химическим методом из экзометаболитов человека. Процесс минерализации экзометаболитов человека для последующего получения удобрений для выращивания пшеницы проходил в несколько стадий, так как требовал балансировки по соотношению элементов, необходимых для питания растений. Здесь основными задачами являлось снижение высокого фона азота с сохранением на необходимом уровне остальных минеральных элементов и поддержание содержания NaCl в в поливном растворе на приемлемом для растений уровне с возвратом человеку избыточного для растений количества NaCl за счет выращивания съедобного овощного растения *Salicornia europaea*. Для включения в массообменные процессы газообразных продуктов минерализации экзометаболитов человека были проведены тестовые эксперименты, показавшие отсутствие в газовой среде продуктов, способных привести к угнетению процессов роста и развития растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-14-00599) в ИБФ СО РАН.

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ «ШТОРКИ ЗАЩИТНОЙ» В КАЮТЕ СЛУЖЕБНОГО МОДУЛЯ МКС

**Толочек Р.В.¹, Шуршаков В.А.¹, Ярманова Е.Н.¹, Карцев И.С.¹, Николаев И.В.²,
Китamura Х.³, Кавасима Х.³, Учихори Ю.³, Амброзова И.⁴, Хирн А.⁵, Смит М.⁶,**

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ОАО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П.Королева", Королев, Московская обл.

³ Национальный Институт Квантовых и Радиологических Наук и Технологий, Чикаго, Япония

⁴ Институт Ядерной Физики, ЧАН, Прага, Чехия

⁵ Центр Энергетических Исследований, ВАН, Будапешт, Венгрия

⁶ «Баббл Текнолоджи», Чолк Ривер, Канада

RADIATION PROTECTION PROPERTIES OF ADDITIONAL SHIELDING «PROTECTIVE CURTAIN» INSTALLED IN CREW CABIN OF RUSSIAN SEGMENT OF ISS

**Толочек Р.В.¹, Шуршаков В.А.¹, Ярманова Е.Н.¹, Карцев И.С.¹, Карцев И.С.², Kitamura H.³,
Kawashima H.³, Uchihori Yu.³, Ambrozova I.⁴, Hirn A.⁵, Smith M.⁶,**

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² RSC-Energia, Korolev, Moscow Region

³ National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Chiba, Japan

⁴ Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of Czech Republic, Prague, Czech republic

⁵ Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

⁶ Bubble Technology Industries, Chalk River, Canada

Согласно данным мониторинга радиационной обстановки на борту международной космической станции (МКС) каюта экипажа служебного модуля является одним из слабо защищенных от космической радиации мест по сравнению с соседними отсеками станции. Для увеличения характеристик защищенности внутри каюты была разработана и доставлена в 2010 г. на борт МКС специальная шторка, состоящая из водосодержащих материалов. Шторка содержит 4 слоя гигиенических полотенец и салфеток и создает дополнительную толщину, равную приблизительно 6 г/см² в воде. Шторка была размещена вдоль внешней стенки каюты экипажа, толщина которой составляет всего 1.5 г/см² в воде.

В качестве основного средства измерения характеристик радиационных полей и защитного эффекта использовались термолюминесцентные детекторы (ТЛД) и твердотельные трековые детекторы (ТТД), измеряющие поглощенную и эквивалентную дозы. Дополнительно исследования проводились с помощью штатного прибора для мониторинга радиации «Пилле-МКС», и научной аппаратуры «Баббл-дозиметр». 6 сборок детекторов ТЛД и ТТД были размещены на внутренней поверхности шторки, другие аналогичные 6 сборок были размещены либо на обратной (внешней) поверхности шторки, либо параллельно им на стене каюты экипажа. В ходе эксперимента было проведено 6 сессий измерений ТЛД и ТТД в период с 2010 по 2015 г. Защитный эффект шторки, измеренный сборками детекторов ТЛД и ТТД составляет от 11 до 48 % для поглощенной дозы и от 5 до 47 % для эквивалентной дозы.

В период с 2010 по 2011 г. было осуществлено 16 сеансов измерений с помощью «Пилле-МКС», принцип действия которого основан на явлении термолюминесценции. Датчики «Пилле-МКС» размещались в тех же точках, что и сборки с детекторами ТЛД и ТТД. Согласно этим измерениям, ослабление поглощенной дозы в среднем равно 24 ± 7 %.

Дополнительно было проведено 32 сеанса измерений научной аппаратурой «Баббл-дозиметр» с 2010 по 2012 г. «Баббл-дозиметр» представляет собой пузырьковые детекторы, измеряющие энергетический спектр и дозу нейтронного излучения. Детекторы размещались аналогично «Пилле-МКС», в среднем ослабление мощности дозы нейтронов

составляет 30 ± 17 %.

Показано, что дополнительная защита, при условии правильного расположения в отсеке, является эффективной для снижения дозы радиации.

ДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПИЛОТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ПОЛЕВОЙ ТЕСТ»

Томиловская Е.С.¹, Рукавишников И.В.¹, Кофман И.С.², Черизано Д.М.⁴, Китов В.В.¹, Лысова Н.Ю.¹, Брыков В.И.¹, Гришин А.П.³, Фомина Е.В.¹, Решке М.Ф.⁴, Козловская И.Б.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Научный центр Уайли, Хьюстон, США;

³ НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина;

⁴ Лаборатория нейронауки, Космических центр им. Джонсона НАСА, США

DYNAMICS OF RECOVERY OF FUNCTIONAL CAPABILITY AFTER LONG-TERM SPACE FLIGHTS. RESULTS OF PILOT EXPERIMENT "FIELD TEST"

Tomilovskaya E.S.¹, Rukavishnikov I.V.¹, Kofman I.S.², Cherisano D.M.⁴, Kitov V.V.¹, Lysova N.Yu.¹, Brykov V.I.¹, Grishin A.P.³, Fomina E.V.¹, Reschke M.F.⁴, Kozlovskaya I.B.¹

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Wyle Science, Technology and Engineering Group, Houston, USA

³ GCTC by Yu.A. Gagarin, Star City, Russia

⁴ Neuroscience Laboratories, NASA Johnson Space Center, USA

Длительное пребывание в невесомости закономерно сопровождается каскадом изменений в деятельности ряда основных физиологических систем организма. Эти изменения затрагивают сенсомоторную, скелетно-мышечную, сердечно-сосудистую и другие системы. Не вызывает сомнений, что указанные изменения снижают работоспособность космонавтов, существенно ограничивая их возможности к самостоятельному передвижению и выполнению операторских задач в первые часы и дни после возвращения в гравитационную среду, и могут явиться причиной значительного ухудшения их деятельности во время и после посадки на космические объекты, в том числе и невыполнения задач миссии. На сегодняшний день накоплены знания о состоянии различных физиологических систем организма после завершения космического полета. Однако данных о состоянии и уровне работоспособности непосредственно после прибытия на Землю, а также о временной динамике восстановления рабочих возможностей космонавтов, необходимых для обеспечения безопасности и планирования их работ на космических объектах, в настоящее время не имеется. В связи со сказанным с 2013 г. с участием членов экипажа МКС (российских космонавтов и американских астронавтов) проводятся российско-американские эксперименты, целью которых является выявление в ранние сроки после приземления нарушений сенсомоторных и сердечно-сосудистой функций с использованием батареи коротких, высокоинформативных и простых в исполнении тестов, а также определение динамики восстановления исследуемых функций, определение связанных с этим рисков и функциональных возможностей космонавтов/астронавтов и оптимизация реабилитационного процесса.

Предполетное исследование проводили дважды до, несколько раз в день приземления (по возможности) – непосредственно на месте посадки, на промежуточных аэродромах, а также трижды в течение 2 последующих недель.

Результаты проведенных экспериментов с участием 18 российских и американских членов экипажей выявили у всех участников существенное снижение функциональной работоспособности, ортостатической устойчивости, координации точностных движений и ограничение степеней свободы сегментов тела при тестировании в день завершения длительного космического полета.

В течение последующих двух недель наблюдалось постепенное восстановление регистрируемых изменений, однако точность выполнения усложненных локомоторных задач оставалась низкой даже на 12-е сутки после посадки.

Работа поддержана грантом РФФИ №14-25-00167.

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ В ОБЫЧНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ ГИПОТЕРМИИ

Трошина М.В., Цублова Е.Г., Петухова Н.Ф., Иванова Т.Г., Скачилова С.Я.

ФГБОУ ВО «Брянский инженерно-технологический университет»; ФБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск; АО «Всероссийский научный центр по безопасности биологически активных веществ», МО, Старая Купавна

THE IMPACT OF NEW COMPOUNDS ON PHYSICAL EFFICIENCY IN NORMAL CONDITIONS AND UNDER CONDITIONS OF HYPOTHERMIA

Troshina M.V., Tsublova E.G., Petuhova N.F., Ivanova T.G., Skachilova S.Ya.

FSBEI HE "Bryansk State Technological University of Engineering"; FSBEI HPE "Bryansk State University n.b. acad. I.G. Petrovsky", Bryansk; OJSC "All-Russian Scientific Centre of Safety of Biologically Active Substances", MD, Staraya Kupavna

Цель исследования: изучение влияния производных гетероароматических соединений и органических кислот на физическую работоспособность животных по тесту плавания в бассейне в обычных условиях и при гипотермии.

Материалы и методы. Опыты проведены на белых нелинейных мышах-самцах массой 20–24 г. Для исследования были выбраны 5 соединений с общим шифром ЛХТ. Вещества вводили животным однократно внутривентриально в изотоническом растворе натрия хлорида с добавлением твина-60 за 1 ч до проведения эксперимента. Соединения ЛХТ-1-13, ЛХТ-4-97 и ЛХТ-10-12 использовали в дозах, в которых они при однократном введении увеличивали физическую работоспособность животных по тесту бега в тредбане в обычных условиях, а ЛХТ-3-13 и ЛХТ-4-13 – в дозах 1, 5 и 10 мг/кг.

В качестве препаратов сравнения были выбраны метапрот и актопротектор с психо- и иммуностимулирующим действием ладастен, которые вводили однократно тем же путем и в те же сроки в дозах 10, 25 и 50 мг/кг.

Физическую работоспособность животных в обычных условиях по тесту плавания в бассейне оценивали по методике Рыловой М.Н. (1964): мыши плавали в воде с температурой +28 °С, к корню хвоста прикрепляли груз, составляющий 7 % массы животного. Физическую работоспособность в условиях иммерсионного охлаждения оценивали на модели плавания в бассейне при температуре воды +6 °С; утяжеление не применяли. Во всех случаях регистрировали продолжительность плавания мышей в минутах.

Результаты. Было установлено, что среди новых соединений есть вещества, повышающие физическую работоспособность животных как в обычных условиях, так и при гипотермии.

Так, по тесту плавания в бассейне в обычных условиях физическую работоспособность мышей значимо ($p < 0,05$) повышали вещества с шифрами ЛХТ-4-13, ЛХТ-10-12 и ЛХТ-1-13. При этом ЛХТ-10-12 был эффективен только в одной дозе – 0,5 мг/кг, значимо ($p < 0,01$) увеличивая продолжительность плавания на 90 % по сравнению с контролем. ЛХТ-1-13 в дозах 1 и 5 мг/кг значимо ($p < 0,05$) увеличивал данный показатель на 34 % и 48 %, а ЛХТ-4-13 в дозах 5 и 10 мг/кг – на 22 % ($p < 0,05$) и 98 % ($p < 0,001$) соответственно.

Следует отметить, что ЛХТ-4-97 и ЛХТ-3-13 в дозе 1 мг/кг, на модели плавания в бассейне значимо ($p < 0,05$) снижал работоспособность животных на 36 % и 24 % соответственно. В остальных испытанных дозах эти вещества существенного влияния на продолжительность плавания в указанных условиях опыта не оказывали.

Среди препаратов сравнения в указанных условиях опыта был эффективен только метапрот в дозе 50 мг/кг: на его фоне продолжительность плавания мышей достоверно ($p < 0,05$) увеличивалась на 24 %.

При этом по выраженности действия ЛХТ-4-13 в дозе 5 мг/кг не уступал эффективному препарату сравнения метапроту (50 мг/кг), а в дозе (10 мг/кг) значимо ($p < 0,001$) превосходил его в 1,6 раза. ЛХТ-10-12 (0,5 мг/кг) значимо ($p < 0,001$) превосходил метапрот в указанной дозе в 1,5 раза. ЛХТ-1-13 в дозе 5 мг/кг значимо ($p < 0,05$) превосходил метапрот в 1,2 раза, а в дозе 1 мг/кг не уступал ему.

В условиях иммерсионного охлаждения 3 из 4 исследованных новых соединений повышали физическую работоспособность животных. Так, ЛХТ-10-12 в дозе 0,5 мг/кг достоверно ($p < 0,05$) повышал время плавания мышей на 16 %. ЛХТ-1-13 в дозах 1 и 5 мг/кг увеличивал данный показатель на 16 % и 31 % ($p < 0,05$) соответственно, а ЛХТ-4-97 в дозе 10 мг/кг – на 25 % ($p < 0,05$).

В условиях гипотермии среди препаратов сравнения эффективным оказался только ладастен: в дозах 25 и 50 мг/кг продолжительность плавания животных увеличивалась на 38 % и 22 % ($p < 0,05$) соответственно в сравнении с контролем.

Следует подчеркнуть, что по выраженности действия ЛХТ-10-12 (0,5 мг/кг) и ЛХТ-1-13 (1 мг/кг) не уступали эффективному препарату сравнения ладастену в дозе 50 мг/кг, а ЛХТ-4-97 (10 мг/кг) и ЛХТ-1-13 (5 мг/кг) – ему в дозе 25 мг/кг.

Таким образом, можно заключить, что из испытанных 5 новых производных гетероароматических соединений и органических кислот 3 вещества – ЛХТ-4-13, ЛХТ-10-12 и ЛХТ-1-13 – способны повышать физическую работоспособность животных по тесту плавания в бассейне в обычных условиях, превосходя по выраженности действия препарат сравнения метапрот. В условиях гипотермии 3 из 4 исследованных новых соединений – ЛХТ-10-12, ЛХТ-1-13 и ЛХТ-4-97 – повышали физическую работоспособность мышей по тесту плавания в бассейне, не уступая по выраженности действия препарату сравнения ладастену. При этом ЛХТ-1-13 и ЛХТ-10-12 способны повышать физическую работоспособность животных как в обычных условиях, так и при гипотермии в отличие от других исследованных новых соединений, а также препаратов сравнения метапрота и ладастена. Кроме того, указанные новые вещества являются эффективными в значительно меньших дозах, чем препараты сравнения. Это дает основание для более детального изучения актопротекторных свойств данных соединений на других экспериментальных моделях, а также исследования механизма

их актопротекторного действия с перспективой внедрения в практику военной медицины в качестве лекарственных средств, повышающих физическую работоспособность человека в обычных и экстремальных условиях.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Труханов К.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ELECTROMAGNETIC SAFETY OF SPACE FLIGHTS

Trukhanov K.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Воздействие на человека электромагнитных полей космического пространства (ЭМП КП) и ЭМП собственно корабля (станции) длительное время представлялось второстепенным или даже третьестепенным по сравнению с воздействием других факторов полета.

Сейчас положение изменилось. Проблема электромагнитной безопасности человека в космосе начинает рассматриваться в одном ряду с другими важнейшими проблемами медицинского обеспечения пилотируемой космонавтики.

Ее можно разделить на следующие 3:

1-я – полеты человека в окололунном пространстве и в дальнем космосе, а также его пребывание на поверхности небесных тел, не имеющих заметного магнитного поля (Луна, Марс);

2-я – полеты в околоземном пространстве, сопровождающиеся вариациями уровня геомагнитного поля (ГМП) на борту из-за изменения геомагнитных координат при движении пилотируемого объекта по орбите, а также из-за возмущений в магнитосфере Земли;

3-я – воздействие на человека ЭМП систем и аппаратуры пилотируемых космических объектов, а также систем и оборудования будущих баз на поверхности небесных тел.

Рассмотрим их последовательно.

1-я проблема. При планетных экспедициях и при пребывании на Луне и Марсе человек и биологические элементы систем жизнеобеспечения (БСЖО) окажутся в магнитных полях, которые на три–пять порядков ниже привычного ГМП. В ГМП, ослабленном всего в 5–10 раз, страдают многие системы человека, особенно нервная [Походзей Л.В., 1999, 2012]. В России впервые в мировой практике приняты ограничения на предельные величины ослабления ГМП (СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09).

Исследования на живых системах также свидетельствуют, как правило, о нежелательных последствиях воздействия на них сильно ослабленного ГМП (или, другими словами, «жестких» гипомагнитных условий (ГМУ)). Особенно это сказывается на стадиях развития биологических объектов, что необходимо учитывать при создании БСЖО для дальних кораблей и для баз на небесных телах, не имеющих заметного магнитного поля.

Не исключено, что воздействие ГМУ происходит на всех уровнях живых систем [Труханов К.А., 2013] даже при относительно непродолжительной его длительности. В некоторых случаях при моделировании совместного воздействия на живые системы ГМУ и других факторов космического полета проявился их синергизм.

Данные об эффектах воздействия на человека непрерывного и длительного (десяtkи дней, месяцы и более) пребывания в «жестких» ГМУ отсутствуют. Даже существенное сокращение сроков межпланетных полетов за счет создания принципиально новых энергодвигательных систем не снимет вопроса о воздействии на космонавта ГМУ космоса [Труханов К.А., 2013].

Одно из возможных решений заключается в создании в обитаемом объеме, а также в БСЖО искусственного аналога ГМП. Предпочтительно использование для этого электромагнитных соленоидальных систем, которые, как показывает анализ, будут обладать небольшой массой и невысоким энергопотреблением [Луганский Л.Б., 2008]. С их помощью в обитаемом объеме можно также создавать колебания, которые будут имитировать некоторые пульсации ГМП, которые, как считают, существенны для жизнедеятельности.

В скафандрах для работы на поверхности Луны и Марса предложена индивидуальная система аналога ГМП типа «кирасы» с наголовником. Получен патент [Лебедев В.М., Спасский А.В., Труханов К.А., 2016]. В некоторых случаях возможна замена коллективной защиты космонавтов от ГМУ на индивидуальные системы (например, на окололунной пилотируемой станции).

Требуется проведение углубленных медико-биологических и инженерных исследований для выбора оптимальных параметров и режимов работы аналогов ГМП и их апробация с моделированием ГМУ космоса. Следует подчеркнуть, что проблема биологического действия гипомагнитных условий имеет не только практическую, но и фундаментальную научную значимость. Она затрагивает такие вопросы, как воздействие на биосферу Земли инверсий геомагнитного поля (инверсии не было уже 740 тыс. лет, хотя по палеомагнитным данным их период составлял 200–300 тысяч лет), наличие жизни на небесных телах, не имеющих магнитного поля, проблему панспермии, поднятую еще Сванте

Аррениусом.

2-я проблема – воздействие на космонавтов вариаций уровня ГМП на борту при околоземном полете. Они значительны и, например, для углов наклона орбиты порядка 50° достигают уровня десятков мкТл, что на порядок и более превосходит даже такие магнитные бури, которые случаются один раз в несколько лет. Воздействие этих вариаций и возмущений магнитосферы на систему вегетативной регуляции кровообращения космонавтов на орбитальном комплексе «МИР» показано в работе [Baevsky R.M., 1998].

Наиболее простой и эффективный способ компенсации этих вариаций состоит в следующем [Труханов К.А., 2007]. В обитаемом цилиндрическом объеме устанавливается соленоидальная магнитная система, схожая с системой для межпланетного корабля. Создается магнитное поле вдоль оси, величиной которого управляет трехкомпонентный магнитометр, находящийся в этом объеме. Суммарный вектор ГМП и магнитной системы поддерживается на уровне, несколько превышающем максимальный уровень ГМП на орбите. В результате при движении по орбите он не меняется по величине и лишь несколько меняется по направлению. Средняя мощность, требуемая для поддержания постоянного уровня поля на борту, как легко показать, составляет около половины мощности, требуемой на магнитном экваторе. В некоторых случаях можно заменить коллективную систему компенсации вариаций ГМП на околоземной орбите индивидуальными системами аналога ГМП.

3-я проблема – обеспечение безопасности человека в околоземных и дальних полетах при круглосуточном воздействии ЭМП, создаваемых системами и аппаратурой космических кораблей и будущих баз на Луне и Марсе.

В космическом полете вследствие невесомости происходит перераспределение жидких сред в организме (прилив крови к голове и т.п.), что должно изменять величины и распределение поглощенной в органах и тканях энергии ЭМП по сравнению с земными условиями. Меняется характер теплоотдачи тела в окружающую среду из-за отсутствия естественной конвекции. Необходимые расчетные модели до сих пор не разработаны. Вследствие роста количества источников ЭМП спектр будет приобретать характер, близкий к квазинепрерывному, что потребует новых подходов к определению дозовой нагрузки на человека [Труханов К.А., 2013].

Обитаемые объемы кораблей и станций останутся сравнительно небольшими. ЭМП находящихся в них источников в большинстве случаев будут соответствовать ближней зоне, где электромагнитная волна еще не успевает сформироваться, что также необходимо учитывать при разработке аппаратуры для мониторинга. Вторичные источники ЭМП, которые возникают в электропроводящих элементах космического объекта (корпус и т.п.), будут увеличивать дозовую нагрузку на экипаж. Возможно, что перед проводящими поверхностями целесообразно располагать слой материала, поглощающего ЭМП радиочастотного диапазона.

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ЭМПОЛ» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В СЛУЖЕБНОМ МОДУЛЕ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

Труханов К.А., Бондаренко В.Г., Карцев И.С., Мавлютов А.А., Маркина И.С., Шуршаков В.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

SPACE EXPERIMENT «EMPOL» FOR RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC CONDITIONS IN THE SERVICE MODULE OF THE RUSSIAN SEGMENT OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Trukhanov K.A., Bondarenko V.G., Kartsev I.S., Mavlioutov A.A., Markina I.S., Shurshakov V.A.

State Scientific Center of Russian Federation-Institute of biomedical problems of RAS, Moscow

О необходимости измерения уровней электромагнитных полей (ЭМП) на РС МКС с их последующем мониторингом в целях обеспечения электромагнитной безопасности космонавтов шла речь уже давно. Однако вследствие ряда причин разработка аппаратуры откладывалась. Некоторые предварительные оценки, разумеется, можно сделать в результате проведения измерений в наземных стендах и на основе протоколов испытаний аппаратуры на электромагнитную совместимость (ЭМС). Однако необходимо исследование ЭМП непосредственно на борту. ЭМП на МКС генерирует не только оборудование и аппаратура, специально созданная для этих целей. Заметный фон ЭМП может быть обусловлен работой неспециализированных его источников (так сказать, «пассивных»).

Космонавты в отношении воздействия на них ЭМП находятся в таком же положении, что и население в отношении воздействия ЭМП радиочастот, т.е. круглосуточно и без выходных дней подвергаясь облучению. Поэтому при определении предельно допустимых уровней (ПДУ) для них исходили из ПДУ, принятых для населения. Конечно, среди космонавтов нет таких особо уязвимых категорий населения, как, например, пожилые люди и дети. Однако космонавты подвергаются воздействию многих других неблагоприятных факторов полета и космического пространства.

Источники электромагнитного поля на МКС разнообразны. Можно ожидать, что спектр ЭМП на станции имеет широкополосный характер. Уровень ЭМП должен возрасти после включения в будущем в состав станции новой аппаратуры и новых модулей. Возникновение вторичных источников ЭМП в результате отражения (в особенности, ЭМП высоких частот) различными поверхностями станции (электропроводящий корпус МКС, корпуса бортового оборудования

и т.п.), повышает уровень ЭМП. Металлические элементы переходников МКС на высокой частоте могут играть роль волноводов, что будет приводить к «просачиванию» ЭМП из других сегментов станции в Российский сегмент (РС) МКС и возникновению трудно прогнозируемого фона «чужих» полей. Знание характеристик ЭМП в МКС важно не только для оценки безопасности экипажа, но и для учета условий, в которых проводятся медицинские и биологические исследования.

При постановке космического эксперимента по измерению спектров ЭМП и разработке аппаратуры исходили из следующих методических основ измерения ЭМП. Поставлены две связанные друг с другом цели:

– получение данных об амплитудно-частотных параметрах ЭМП, учитывая возможный широкополосный характер электромагнитной обстановки на РС МКС;

– оценка уровней воздействия ЭМП на космонавтов и их соответствия нормативам ПДУ.

Квази-непрерывный широкополосный фон ЭМП предлагается рассматривать как множество виртуальных источников излучения. При определении электромагнитной нагрузки на космонавта необходимо просуммировать (проинтегрировать) по всему диапазону частот с весом каждой линии, соответствующей ее величине в спектре, деленной на величину ПДУ для данной частоты в выбранных рекомендациях. Величина интеграла и явится электромагнитной нагрузкой для космонавта, усредненной по спектру на РС МКС. В предлагаемом космическом эксперименте (КЭ) впервые планируется измерение амплитудно-частотных характеристик ЭМП на борту в широком диапазоне частот. Для определения электромагнитной нагрузки от ЭМП впервые будет применен принцип интегрирования вкладов в нее линий широкополосного спектра с учетом зависимости ПДУ от частоты. На этой основе будет оценена интегральная дозовая нагрузка на космонавтов от бортовых источников ЭМП.

На первом этапе КЭ «Эмпол» будет использоваться комплект, предназначенный для исследования электромагнитной обстановки в диапазоне частот от 3 кГц до 100 МГц. На втором этапе должна использоваться аппаратура, предназначенная для исследования электромагнитной обстановки в диапазоне частот от 100 МГц до 10 ГГц. Научная аппаратура (НА) устанавливается в Российском сегменте МКС с целью получения экспериментальных данных об электромагнитной обстановке в СМ РС МКС.

Научная аппаратура построена в портативном эргономическом корпусе из легких алюминиевых сплавов в виде моноблока. Такая компоновка позволяет отказаться от внешних кабелей, меньше масса, габариты и энергопотребление НА.

Принцип работы НА основан на прямой регистрации переменного сигнала, поступающего с магнитных антенн, быстрым аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). Магнитные антенны выполнены печатным монтажом и представляют собой спирали из трех витков диаметром 10–12 мм на печатных платах. Такие антенные платы располагаются на трех ортогональных плоскостях куба. Сигнал с каждой антенны усиливается предварительным усилителем и подается на входы аналогового коммутатора. Частота работы АЦП более чем в два раза превышает максимальную частоту рабочего диапазона измерений – 100 МГц. Сигнал в цифровом виде записывается в динамическую память в режиме прямого доступа. Центральный процессор переключает в циклическом порядке выходы магнитных антенн на вход АЦП с помощью многоканального цифрового ключа. Одновременно происходит считывание этих данных и Фурье-анализ с получением спектрального распределения модуля вектора напряженности магнитного поля. Спектр сохраняется в съемной памяти (микро-SD). Объем одной загрузки не превышает 10 кБ. При частоте записи, например, 1 раз в с, объем данных в SD-карте не превысит 36 МБ за один час работы. Данные из памяти могут быть переданы в ПК по USB-кабелю или считаны с помощью кард-ридера.

В процессе работы аппаратуры на цветном графическом индикаторе отображается Фурье-спектр, текущее время, остаточный заряд аккумуляторов, а также динамическая шкала суммарной интенсивности поля в нескольких частотных диапазонах с цветовым сопоставлением (сравнением) со средним значением ПДУ для каждого частотного диапазона. Также рассчитывается интегральное значение интенсивности поля с учетом «веса» сигнала для всех частот рабочего диапазона измерений.

Информация, собираемая во время эксперимента, записывается во внутреннюю память прибора. Память имеет двухуровневую структуру: оперативную и долговременную. Информация в долговременной памяти хранится в виде файлов. Для передачи на Землю информация из прибора переписывается на внешний USB флэш-драйв.

О ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАБОЧЕГО ТЕЛА ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Труханов К.А., Гришин В.К., Кузнецов А.А., Стопани К.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ON USING THE PLASMA ENGINE PROPELLANT FOR RADIATION SHIELDING

Trukhanov K.A., Grishin V.K., Kuznetsov A.A., Stopani K.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Радиационная опасность является одним из основных факторов риска в пилотируемой космонавтике за пределами магнитных поясов Земли. Значительная величина потоков частиц галактических (ГКЛ) и солнечных (СКЛ) космических лучей в сочетании с большой длительностью перелета обуславливают повышенную радиационную нагрузку на людей и оборудование по сравнению с полетами внутри магнитосферы.

В качестве мер защиты от ионизирующего излучения рассматриваются как традиционные варианты пассивной защиты, так и различные подходы к реализации активной защиты на основе искусственно создаваемых пространственных конфигураций магнитных и электрических полей. Так, в качестве слоя вещества пассивной защиты в некоторых проектах корабля пилотируемой марсианской экспедиции может быть использован запас сжиженного газа плазменных двигателей. В настоящей работе с помощью моделирования Монте-Карло решалась задача оценки доз в стандартном фантоме за разными вариантами пассивной защиты. Для моделирования транспорта частиц использовался пакет GEANT4. Проведенный расчет поглощенных и эквивалентных доз, получаемых фантомом за 1 год от модельного спектра ГКЛ в зависимости от типа и толщины комбинированных защит показывает существенный вклад вторичных частиц в суммарную дозу. Так, среднегодовая поглощенная доза 0,15 Гр и соответствующая 1,4 Зв эквивалентная доза при добавлении дополнительного слоя пассивной защиты из сжиженного аргона толщиной 100 г/см² увеличиваются до 0,23 Гр и 1,8 Зв соответственно, т. е. увеличение толщины защитного слоя приводит не к снижению, а к повышению дозы. Анализ результатов расчета показывает, что основной вклад в увеличение дозы дают вторичные ядра-фрагменты и нейтроны, образующиеся при взаимодействии быстрых частиц ГКЛ с веществом защиты. При этом расчет показывает, что выбор более тяжелого элемента в качестве вещества пассивной защиты приводит к еще большему увеличению дозы. Так, при использовании ксенона вместо аргона указанная эквивалентная доза вырастает до 2 Зв. Спектр ГКЛ отличается высокой энергией входящих в его состав частиц и, следовательно, большим выходом генерации вторичного излучения, и, например, в случае протонов при толщине защиты 100 г/см² вклад вторичных частиц в суммарную дозу является преобладающим уже начиная с энергии около 700 МэВ.

Также в работе рассмотрены дозы в аналогичной модели от солнечного излучения в результате солнечной вспышки. При меньших энергиях солнечных частиц существенную роль играют вторичные нейтроны, поэтому рассматривалась защита с высоким содержанием бора. Сравнение показывает, что в случае солнечного излучения увеличение толщины защиты также приводит к увеличению относительного вклада вторичных частиц, однако увеличения абсолютной величины дозы не происходит. При увеличении толщины слоя бора от 0 до 400 мм эквивалентная доза от нейтронов за вспышку уменьшается примерно на порядок с 0,07 до 0,008 Зв.

ГИПОМАГНИТНЫЕ УСЛОВИЯ ДАЛЬНОГО КОСМОСА И ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ И МАРСУ

Труханов К.А.¹, Лебедев В.М.², Луганский Л.Б.³, Спасский А.В.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,

³ Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва

HYPOMAGNETIC CONDITIONS OF DEEP SPACE AND MANNED MISSIONS TO THE MOON AND MARS

Trukhanov K.A.¹, Lebedev V.M.², Lugansky L.B.³, Spassky A.V.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² M.V.Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU), Moscow

³ P.L.Kapitza Institute for Physical Problems RAS

При планетных экспедициях и при пребывании на Луне и Марсе человек и биологические элементы систем жизнеобеспечения (БСЖО) окажутся в магнитных полях, которые на три–пять порядков ниже геомагнитного (ГМП). В литературе показано, что в ослабленном ГМП особенно страдает нервная система человека. Наблюдается дисбаланс основных нервных процессов в виде преобладания торможения, удлинения времени реакции в режиме аналогового слежения и т.п. [Походзей Л.В., 1999, 2012]. Гипомагнитные условия (ГМУ) нежелательно действуют также на сердечно-сосудистую, костно-мышечную, иммунную системы, систему крови и другие [Походзей Л.В., 1999, 2012, Никитина В.Н., 2007, Гурфинкель Ю.И., 2015] и сказываются на когнитивных функциях человека [Саримов Р.М., 2008].

В России впервые в мировой практике приняты ограничения на предельные величины ослабления ГМП (СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09): в жилых и общественных зданиях – не более 1,5 раз; на рабочем месте при ослаблении ГМП не более 2 раз разрешена работа полную смену; при ослаблении ГМП от 2 до 4 раз разрешена работа не более двух часов.

Исследования на живых системах также свидетельствуют, как правило, о нежелательных эффектах воздействия ГМУ, особенно, на стадиях развития. Так, 5-дневная экспозиция личинок японского тритона в сниженном на 4 порядка ГМП приводила в дальнейшем к неправильному формированию позвоночника, глаз и другим отличиям вплоть до

появления двухголовых особей [Asashyma M., 1991]. Наблюдались парезы ног и крыльев у 20–40 % цыплят, вылупившихся в ГМП, ослабленном более чем в 500 раз [Казначеев В.П., 1985]. Останавливалось развитие двухклеточных зародышей мыши в поле, ослабленном в 250 раз [Осипенко М.А., 2008].

Исследования воздействия ГМП, ослабленного в 80-100 раз, на развитие эмбрионов японского перепела, выполненные ИМБП РАН совместно с НИИЯФ МГУ, показали, что при этом страдает сердечно-сосудистая система и некоторые другие системы [Труханов К.А., 2012].

При создании систем жизнеобеспечения с биологическими элементами для дальних пилотируемых космических кораблей и для баз на небесных телах, не имеющих магнитного поля, это необходимо принимать во внимание.

В ГМУ меняется поведение самцов крыс: резко повышается их агрессивность, возникают проблемы с памятью, изменяются биоритмы и т.п. [Кривова Н.А., 2008, 2010, 2012].

Не исключено, что воздействие ГМУ происходит на всех уровнях живых систем.

В некоторых случаях при моделировании совместного воздействия на живые системы ГМУ и других факторов космического полета проявился их синергизм. Так, при одновременном воздействии ГМУ и моделируемой невесомости ускоряется потеря минеральных веществ из костной ткани [Bin Jia, 2015].

При проращивании в ГМУ семян салата, предварительно облученных ядрами с высокими величинами линейной передачи энергии, в клетках обнаруживается достоверно больше хромосомных aberrаций по сравнению с семенами, прораставшими в ГМП [Платова Н.Г., 2015, 2016].

При одновременном воздействии на эмбрионы японского перепела ГМУ и переменного магнитного поля 50 Гц с величиной порядка остаточного ГМП, выявились более существенные nežелательные эффекты по сравнению с воздействием только ГМУ [Гурьева Т.С., 2016].

Уровень ГМУ в межпланетном пространстве непостоянен, зависит от процессов на Солнце и может заметно меняться. Между тем, биологическому действию ГМУ, возможно, свойственна полиэкстремальная зависимость от величины ослабления ГМП. По-видимому, этим можно объяснить результаты Д. Байшера [Beisher D.E., 1967], не обнаружившего в исследованиях перед лунными миссиями «Аполлон» заметных изменений в состоянии организма добровольцев, на которых в течение 10 сут действовало ослабленное на 3 порядка ГМП.

Проблема длительного пребывания космонавтов в ГМУ и воздействия ГМУ на БСЖО оказывается весьма значимой. Даже возможное существенное сокращение сроков межпланетных полетов за счет создания принципиально новых энергодвигательных систем не снимет проблемы воздействия ГМУ космоса на экипаж и БСЖО пилотируемого корабля и баз на Луне и на Марсе [Труханов К.А., 2013].

Одно из возможных решений этой проблемы заключается в создании в обитаемом объеме, а также в БСЖО искусственного аналога ГМП. Для этой цели предпочтительно использовать электромагнитные системы. Они будут обладать небольшой массой и невысоким энергопотреблением по сравнению с таковыми у дальних кораблей и оборудования баз. Кроме того, электромагнитные системы просты в регулировке, что упрощает выбор их режима.

С их помощью в обитаемом объеме можно создавать колебания, имитирующие, например, регулярные пульсации и шумановские резонансы, присутствующие в ГМП. Можно также создавать колебания, соответствующие тем частотам, которые при заданном уровне аналога ГМП будут «успокаивающими» для космонавтов [Кривова Н.А., 2010].

В качестве коллективной защиты от ГМУ в докладе рассматривается аналог ГМП в цилиндрической кабине корабля [Луганский Л.Б., 2008]. Полная длина кабины – 32 м, диаметр – 4 м. Количество витков («обручей» с током) – 10, ширина каждого – 1 м. Масса витков из алюминия – 100 кг. Энергопотребление – 70 Вт.

Как показали проведенные нами проработки, в скафандрах для работы на поверхности Луны и других небесных тел возможно создание индивидуальной системы аналога ГМП [Труханов К.А., 2013]. Созданы действующие макеты таких электромагнитных систем (удлинненный жилет – «кираса» и шапочка-наголовник). Напряжение питания – около 0,2 В, энергопотребление – около 0,4 Вт, масса – около 0,3 кг, магнитное поле – около 50 мкТл (поле в московском регионе). Получен патент России [Лебедев В.М., Спасский А.В., Труханов К.А., 2016]. В некоторых случаях возможно использование индивидуальных систем аналога ГМП вместо коллективной защиты космонавтов от ГМУ (например, на окололунной пилотируемой станции).

Потребуется проведение углубленных медико-биологических и инженерных исследований для выбора оптимальных параметров и режимов работы аналогов ГМП и их апробация с моделированием ГМУ космоса.

ПРОБЛЕМА "ВСПЫШЕК В ГЛАЗАХ" В ДАЛЬНИХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТАХ

Труханов К.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PROBLEM OF "FLASHES IN THE EYES" IN THE LONG PILOTTED FLIGHTS

Trukhanov K. A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

О наблюдении «вспышек в глазах» в затемненном корабле впервые сообщил Базз Олдрин – второй человек, ступивший на поверхность Луны. Возможность зрительных ощущений в космическом полете при прохождении через сетчатку глаза заряженных частиц с высокими ЛПЭ предсказал профессор К. Тобайес – известный специалист в области космической биологии и медицины, длительное время возглавлявший медицинскую службу НАСА.

Сообщение Б. Олдрина вызвало сенсацию («астронавты видят космические лучи!»). В США были проведены специальные исследования феномена «вспышек в глазах» при дальнейших полетах по программы «Аполлон», а также на ускорителях. Об ощущении вспышек в орбитальном полете впервые стало известно от космонавта Н.Н. Рукавишников. Вспышки при полетах на самолетах на больших высотах впервые описаны в работе Ю.А. Акатова и др. Большой итальянско – советский эксперимент по исследованию зрительных ощущений в космосе был выполнен на орбитальном комплексе «Мир» космонавтом С.В. Авдеевым. С советской стороны в подготовке эксперимента принимали участие специалисты ИМБП РАН и МИФИ

На циклотроне НИИЯФ МГУ был впервые получен электрический ответ (электроретинограмма) сетчатки (лягушка) на облучение частицами с высокими ЛПЭ. В экспериментах принимали участие сотрудники МГУ, ИМБП РАН, а также лаборатории ИБХФ РАН под руководством академика М.А. Островского.

В литературе внимание, в основном, уделялось возникновению радиационной катаракты в полете. Однако если его длительность не чрезмерно велика, то процесс образования катаракты не успеет зайти далеко.

Возникновение зрительных ощущений (они кратковременны) сразу же связали в литературе с воздействием тяжелых ионов на фоторецепторы сетчатки. Свой вклад вносит излучение Вавилова-Черенкова (ИВЧ) в средах глаза. Однако такие зрительные образы, как полосы и некоторые другие по многим причинам сложно связать с возбуждением фоторецепторов.

Вспышки в глазах» зачастую вызывают беспокойство и раздражение, препятствуют отдыху и отходу ко сну, мешают различать информацию на экранах мониторов при выполнении ответственных работ (например, при маневрировании). В воздействии заряженных частиц с высокой плотностью ионизации на сетчатку и на изделия микроэлектронной техники, как известно, имеются аналогии.

Нам удалось предложить гипотетический механизм, который объясняет и возникновение полосок, и практически все их особенности. Он сводится к тому, что зрительное ощущение полосок обусловлено воздействием частиц с высокими величинами ЛПЭ на нервные волокна сетчатки, т.е. на аксоны ганглиозных клеток, образующие на выходе из глаза зрительный нерв.

Из-за протяженности нервного волокна в сетчатке (в среднем около 104 мкм) его поперечное сечение для частиц космических лучей более чем на два порядка превосходит поперечное сечение отдельного взятого фоторецептора. Каждая ганглиозная клетка передает через аксон обобщенную информацию от сотен и более фоторецепторов-палочек. Повреждение нервного волокна эквивалентно их повреждению. Аксоны ганглиозных клеток в сетчатке, как показал еще Рамон-и-Кахаль, образуют слоистую структуру. Она растет по мере приближения к диску зрительного нерва, однако слой остается тонким (.десятки микрон). При прохождении через сетчатку тяжелых ионов лежащие друг под другом аксоны ганглиозных клеток могут быть заблокированы (или же, наоборот, возбуждены). Это может происходить, например, вследствие высокой плотности ионизации в треке, возникновения акустической ударной волны, радиационного ожога и т. д. и будет восприниматься как ответ фоторецепторов-палочек на подсветку глаза полоской света.

Идея о возможности возбуждения заряженными частицами нервных клеток в сетчатке не нова и, как отмечалось, высказана еще К. Тобайесом. Однако во всех дальнейших работах не рассматривалось, к каким эффектам в зрительном ощущении может приводить возбуждение или блокировка слоя аксонов.

Предлагаемая гипотеза позволяет объяснить все особенности зрительного ощущения полосок.

Нами были разработаны математические модели, отражающие в первом приближении строение глаза и позволяющие рассчитать соответствующие картины полосок в духе античных авторов, полагавших, что лучи исходят из глаза в направлении воспринимаемого объекта.

Так, не удивляет большой процент полосок среди всех «вспышек в глазах». Где бы ни прошел тяжелый ион в сетчатке, он может вызвать появление полоски. Ее длина зависит от числа нервных волокон, на пути частицы. Небольшие разрывы полосок («пунктир») могут быть вызваны тем, что вследствие разброса в величине энергии, выделенной частицей в том или ином аксоне, не все они будут возбуждены (или заблокированы). Двойные полоски, обусловлены пересечением сетчатки частицей дважды – при входе и на выходе.

Поскольку толщина слоя аксонов очень мала, тяжелый ион затрагивает аксоны ганглиозных клеток, координаты рецептивных полей которых слабо зависят от угла его входа. Поэтому наблюдаемое направление полосок перпендикулярно личной вертикали наблюдателя или близко к нему независимо от его положения в пространстве, что и имеет место. Эта особенность почему - то не привлекала внимания и, тем более, никак не объяснялась. Постоянство яркости полосок по длине, несмотря на заметные изменения удельной ионизации вдоль трека, тоже легко объясняется. Различие в яркости полосок, создаваемых, например, ядрами гелия и ядрами азота, видимо, обусловлено тем, что ядро с более высокой плотностью ионизации возбуждает (или блокирует) не только тот аксон, через который

проходит, но и аксоны, расположенные рядом.

Предложенный механизм объясняет также кажущееся парадоксальным быстрое движение (или «распространение») полосок, причем главным образом от периферии к центру. Это явление не нашло никакого объяснения в литературе.

Свидетельствуют в пользу предложенного механизма также результаты описанных в литературе экспериментов, в которых ионы азота и углерода направляли в глаз наблюдателя под углом к зрительной оси, минуя хрусталик. Ионы попадали в область, в которой накладываются друг на друга нервные волокна, идущие из различных меридиональных участков сетчатки, поскольку они должны огибать область наилучшего зрения (макулу) сетчатки. При блокировании (или возбуждении) этих слоев нервных волокон зрительный образ должен иметь дугообразную форму, что и наблюдалось, причем ощущалось вращение полоски вокруг кажущегося центра. Объясняется различие в зрительных ощущениях, которые вызываются тяжелыми ионами по сравнению со зрительными ощущениями, вызываемыми ядрами отдачи при облучении быстрыми нейтронами ввиду различия в угловом распределении частиц.

Можно добавить в качестве дополнительного аргумента в пользу предложенного механизма сходство так называемых скотом (т.е. выпадений участков зрительного поля при поражении вследствие тех или иных причин отдельных пучков нервных волокон в сетчатке) с зрительными ощущениями от заряженных частиц с высокими значениями ЛПЭ. Прямые полоски имеют сходство с клиновидными скотомами (Иенсена), образующимися при повреждении небольшого числа волокон, а саблевидная или аркообразная скотома (Бьеррума) схожа с полоской в форме дуги.

Предлагаемый механизм, не будучи связан с фотобиологическими процессами, не требует полной темновой адаптации. Однако из-за особенностей регуляторных процессов зрительного восприятия необходимо все же пребывание в темноте в течение некоторого времени. Случаи наблюдения вспышек в космосе при крайне незначительном времени темновой адаптации отмечались. В наземных экспериментах длительная адаптация считалась обязательной. Наблюдений при малом ее времени, кроме одного, нет.

Нами совместно с А.Б. Присёлковой, В.М. Лебедевым и А.В. Спасским моделировался процесс образования автоволн под воздействием пучка ионов из циклотрона НИИЯФ МГУ в возбудимой среде – известной реакции Белоусова – Жаботинского (БЖ), моделирующей многие свойства живого. Впервые было показано, что однократное воздействие коллимированного пучка вызывает повторяющиеся автоволны в среде БЖ.

Следует сказать, что отнюдь не все астронавты и космонавты ощущали «вспышки в глазах» в космическом полете. Во время лунной миссии на «Аполлоне-16» один из астронавтов вообще их не ощутил. Сообщив об этом, он добровольно отметил, что у него плохое ночное зрение. По-видимому, необходимы исследования связи ночного зрения и отсутствия зрительной реакции на плотно-ионизирующие частицы.

Даже если выяснится, что при плохом ночном зрении вспышки не наблюдаются, допустимо ли отбирать экипаж межпланетного корабля по этому критерию? Хрусталику наносится повреждение в любом случае. Возможна ли регенерация дефектных клеток и аксонов теми или иными методами? В последнее время появились сообщения о подобных исследованиях.

При лунных миссиях, т.е. полетах вне геомагнитного поля, частота «вспышек в глазах» составляла от 0,5 до 2-х за минуту.

При полете к Марсу и обратно длительностью 1,5 года через каждое нервное волокно сетчатки пройдут сотни частиц из группы легких и средних ядер ГКЛ и не менее одного-двух десятков частиц из группы тяжелых и сверхтяжелых ядер. Соответственно, нервные волокна могут пострадать. Конечно, заряженные частицы будут пронизывать их не на одном и том же участке, однако повторные воздействия, пусть и на такую распределенную структуру, как аксон, могут вызвать, в конечном счете, ее повреждение.

Радиорезистентность нервных волокон считается высокой. Однако воздействие тяжелых ионов на нервные волокна сетчатки все же может оказаться значимым. И сетчатка может оказаться одной из критических структур в дальнем пилотируемом полете, учитывая исключительную важность зрительного аппарата при его выполнении.

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ МЕХАНИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО

Тыганов С.А., Петрова И.О., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

AN INFLUENCE OF GRAVITATIONAL UNLOADING ON REALIZATION OF A MECHANICAL SIGNAL IN MAMMALIAN POSTURAL MUSCLE

Tyganov S.A., Petrova I.O., Mirzoev T.M., Shenkman B.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Актуальной проблемой космической физиологии и медицины является разработка эффективных профилактических мер, которые позволят снизить негативные воздействия микрогравитации (вызывающей атонию и атрофию скелетных

мышц) на мышечную систему космонавта. Из литературных данных известно, что в условиях реальной или моделируемой невесомости потеря мышечной жесткости наблюдается уже в первые дни воздействия [Козловская и соавт., 1987; Григорьев и соавт., 2004]. Данный феномен получил название «гипогравитационная атония».

Одним из наиболее широко признанных механизмов, контролирующих мышечную массу, является механическое напряжение. Подтверждение этому дают многочисленные исследования *in vivo*, которые показали, что хроническое действие механической нагрузки на скелетные мышцы приводит к увеличению их массы, в то время как хроническая механическая разгрузка ведет к снижению массы мышц [Goldberg et al., 1975]. При этом основную роль в механической регуляции мышечной массы играют изменения в синтезе белка. Поэтому, чтобы понять, как механическое напряжение регулирует мышечную массу, очень важно определить, каким образом скелетные мышцы воспринимают механические стимулы и преобразуют их в биохимические события, регулирующие скорость синтеза белка [Hornberger, 2011].

Исследования последних лет показали важность изучения механотрансдукции, т.е. преобразования внешнего механического сигнала в биохимический ответ в виде внутриклеточных сигнальных каскадов [Hornberger, 2011, Mammoto et al., 2012]. При этом предполагается, что механосенсорные элементы не функционируют независимо, а интегрированы с цитоскелетом, а также связаны с работой сократительных элементов мышечного волокна [Frey et al., 2009].

Предполагается, что изменение мышечного тонуса, выражаемое в изменении параметров жесткости, может повлиять на реализацию механического сигнала в мышечном волокне. Таким образом, фундаментальная задача настоящей работы состоит в изучении механизмов реализации анаболического ответа на механический сигнал в скелетной мышце млекопитающих в условиях гравитационной разгрузки.

Моделирование гравитационной (функциональной) разгрузки мышц задних конечностей осуществлялось стандартным методом антиортостатического вывешивания грызунов [Новиков, Ильин, 1981; Morey-Holton, 2002] в течение 1, 3 и 7 сут. В исследовании использовали 32 половозрелых самца крыс Wistar массой 180–220 г, которые были случайным образом разделены на 4 группы (в каждой группе по 8 животных): «Контроль», «1-НС» (вывешивание в течение 1 сут), «3-НС» (вывешивание в течение 3 сут) «7-НС» (вывешивание в течение 7 сут). Животные группы «Контроль» содержались в виварных условиях, получая стандартный корм и воду *ad libitum*. Нами было показано значительное снижение тонуса (пассивной жесткости) постуральной камбаловидной мышцы в этой модели. После окончания вывешивания изолированные камбаловидные мышцы крыс были подвергнуты серии эксцентрических сокращений *ex vivo*. Затем были произведены биохимические исследования камбаловидной мышцы. Было исследовано влияние эксцентрической нагрузки на фосфорилирование белков p70^{sk}, GSK3 β , 4E-BP1, p90, а также с помощью метода SUnSET был оценен уровень синтеза белка.

Программа эксперимента и все манипуляции, выполняемые с животными, были одобрены комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Нами было обнаружено, что эксцентрическая нагрузка вызывает значительное увеличение фосфорилирования киназы p70^{sk}, а также снижение фосфорилирования белка 4E-BP1 как в контроле, так и в случае антиортостатического вывешивания, однако в случае вывешивания изменения были слабее. Таким образом, эксцентрическая нагрузка вызывает ответ сигнального пути Akt-mTOR, непосредственно регулирующего синтез белка. Однако этот ответ значительно менее выражен в случае гравитационной разгрузки, что может свидетельствовать о необходимости сохранения мышечного тонуса для эффективного воздействия внешнего механического сигнала на сигнальные каскады мышечного волокна. Исследование поддержано грантом РФФИ 16-34-60055.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИССЛЕДОВАНИИ КОСМОСА

Тюрин-Кузьмин А.Ю., Смирнов И.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PROSPECTS FOR THE USE OF MICROBIAL FUEL CELLS IN SPACE EXPLORATION

Tyurin-Kuzmin A.Yu., Smirnov I.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В связи с ограничением запасов топливных природных ископаемых, их не возобновляемостью и высокой экологической нагрузкой на окружающую среду при использовании угля, нефти и газа, в науке ведется поиск путей получения экологически чистой энергии из возобновляемых источников органического сырья. Существуют традиционные способы превращения органических веществ в энергию – это сжигание, метаногенез (микробная трансформация биомассы в моторное топливо), сингаз (нагрев биомассы с малым количеством кислорода). Все эти методы имеют определенные недостатки – низкий КПД, загрязнение окружающей среды, высокая стоимость с небольшим выходом искомого продукта.

Несколько лет назад появилась принципиально новая технология генерирования электрического тока бактериями в устройствах, получивших название «микробные топливные элементы» (МТЭЛы). Исследования возможностей и

создание МТЭЛов в последние годы приобрели широкий размах. Причины повышенного интереса к этой тематике связаны, с одной стороны, с поиском новых источников энергии из возобновляемого сырья и охраной окружающей среды и, с другой стороны, с важным открытием в микробиологии, а именно, обнаружением бактерий, которые способны полностью окислять органические соединения и при этом с большой эффективностью вырабатывать электрический ток. Микроорганизмы, способные образовывать и передавать электроны, получили название «электрогенов».

Процесс получения электроэнергии при помощи микроорганизмов имеет отчетливо выраженные гравитационные составляющие. К ним относятся седиментационный потенциал (эффект Дорна) и тепловая конвекция. Поэтому проведение экспериментов в условиях длительного космического полета позволяет более полно раскрыть механизмы процессов переноса электронов и получения электричества в микробных топливных элементах.

Достоинством МТЭЛ является возможность обеспечения большой длительности (более года) его автономного функционирования.

До сих пор относительно хорошо освоенным может считаться слой космического пространства, расположенный вблизи земной поверхности, под магнитосферой Земли. При большем удалении от Земли начинают действовать факторы, невоспроизводимые в земных лабораториях, такие как пониженный гравитационный потенциал, снижение и искажение характерных для Земли электрических и магнитных полей и др. В этих условиях техника продолжает функционировать, хотя и не всегда предусмотренным образом. Как поведут себя при таких воздействиях живые организмы пока совершенно не известно. На изучение этих вопросов отчасти и направлена программа «Бион». Однако более дальние полеты сопряжены с увеличением их длительности, а возрастающая длительность полетов умножает трудности создания систем автономного жизнеобеспечения живых организмов, находящихся в активной фазе жизнедеятельности, вплоть до того, что воздействие самой системы жизнеобеспечения может перекрыть воздействие космических факторов. Эта проблема, конечно, будет решаться, но на первых этапах при выполнении дальних полетов в космос может оказаться полезным применение МТЭЛ как простейшей модели живого организма (биоценоза), за жизнедеятельностью которого можно наблюдать элементарными методами, оценивая характеристики протекающего между электродами МТЭЛ тока. Из внешних условий для работы МТЭЛ требуется лишь поддержание его температуры в диапазоне 10–40 оС. Во всем остальном МТЭЛ может быть самодостаточен для работы (в земных условиях, как показано в нашей лаборатории) в течение нескольких лет и более. Если брать микробиологический консорциум иловой массы сточных вод, то, по-видимому, субстратом питания в нем служат имеющиеся в воде вещества гумуса и продукты разложения самих микроорганизмов. Запас кислорода обеспечивается включением в состав МТЭЛ воздушной камеры. При этих условиях сам блок МТЭЛ может быть сделан полностью герметичным и не зависимым (кроме температуры) от условий среды, т.е. быть включенным в состав космических аппаратов со значительно сниженными требованиями по его обеспечению. Первые опыты (в орбитальном полете космического аппарата «Фотон-М» № 4) показали работоспособность МТЭЛ в условиях невесомости в течение 45 дней.

При развитии этого направления можно увеличить количество получаемой информации, встраивая дополнительные датчики в камеры МТЭЛ, сопоставляя активность МТЭЛ разных конструкций и составов, организуя отбор проб с последующим анализом таксономического и генетического разнообразия и т.д. Разумеется, МТЭЛ не может заменить работы с высокоорганизованными животными, но в качестве первого этапа исследования влияния на биологические объекты еще не изученных факторов космической среды его применение представляется вполне оправданным.

АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ СИНАПТОФИЗИНА И PSD95 В МОТОНЕЙРОНАХ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА МЫШЕЙ ПОСЛЕ 30-СУТОЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ БИОН-М1 И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ 7-СУТОЧНОЙ ПОСЛЕПОЛЕТНОЙ РЕАДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ ГРАВИТАЦИИ НА ЗЕМЛЕ

Тяпкина О.В.^{1,2,3}, Резвяков П.Н.¹, Нуруллин Л.Ф.^{1,2,3}, Никольский Е.Е.^{1,2,3}, Исламов Р.Р.¹

¹ Казанский медицинский университет

² Институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН

³ Казанский федеральный университет

ANALYSIS OF SYNAPTOPHYSIN AND PSD95 EXPRESSION AT MOTONEURONS OF MICE CERVICAL SPINAL CORD AFTER 30-DAY SPACE FLIGHT ON BIOSATELLITE BION-M1 AND FOLLOWING 7-DAY READAPTATION AFTER FLIGHT TO EARTH GRAVITY CONDITIONS

Tyapkina O.V.^{1,2,3}, Rezvyakov P.N.¹, Nurullin L.F.^{1,2,3}, Nikolsky E.E.^{1,2,3}, Islamov R.R.¹

¹ Kazansky Medical University

² Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics

³ Kazan Federal University

Одной из важнейших проблем космической биологии и медицины является выяснение механизмов развития гипогравитационного двигательного синдрома (ГДС), а также механизмов реадaptации организма к условиям гравитации

Земли после космического полета (КП). В рамках решения этой проблемы ранее нами было показано, что у мышей линии c57black/6, находившихся 30 сут в КП на биоспутнике БИОН-М1 в мотонейронах поясничного утолщения спинного мозга существенно уменьшается уровень экспрессии белков, принимающих участие в обеспечении синаптической передачи, и являющихся маркерами функциональной активности нервных клеток – синаптофизина и белка постсинаптической плотности PSD95. У животных после 7-суточного периода реадaptации к условиям земной гравитации в мотонейронах поясничного отдела спинного мозга экспрессия синаптофизина продолжала снижаться. В то же время для белка PSD95 была выявлена тенденция к восстановлению уровня экспрессии, не достигавшего за 7 дней уровня, установленного для контрольных мышей.

В данной работе было выполнено иммуногистохимическое исследование мотонейронов шейного отдела спинного мозга мышей после 30-суточного КП и после 7-суточного периода реадaptации к условиям земной гравитации, которое обнаружило так же, как и в мотонейронах поясничного отдела спинного мозга, уменьшение уровня экспрессии этих белков: синаптофизина на 65 %, PSD95 на 35 %, относительно значений, зарегистрированных у контрольных животных. У мышей после недельного периода послеполетной реадaptации в мотонейронах шейного отдела спинного мозга уровень экспрессии как синаптофизина, так и PSD95 существенно возрастал (на 40 % и 134 % соответственно) относительно уровня, выявленного у контрольных мышей.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что в мотонейронах как шейного, так и поясничного отделов спинного мозга мышей, находившихся в условиях 30-суточного орбитального полета уменьшается уровень экспрессии белков синаптической передачи – синаптофизина и PSD95. Это может привести к развитию нарушений в работе синаптического аппарата нервных клеток, как шейного, так и поясничного отделов спинного мозга животных, находящихся в условиях КП. В то же время, изменение уровня экспрессии синаптофизина и PSD95 в мотонейронах шейного и поясничного отделов спинного мозга показало разнонаправленный характер в ходе 7-суточной реадaptации к условиям земной гравитации. Так, в мотонейронах поясничного отдела спинного мозга уровень экспрессии этих белков не восстанавливается до контрольных значений, а в мотонейронах шейного отдела напротив, не только достигает уровня, присущего контрольным животным, но и существенно превышает его, что можно рассматривать, как повышение функциональной активности мотонейронов шейного отдела в период реадaptации.

Исследование поддержано грантами: Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования для разработки биомедицинских технологий», субсидией, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК

Ударцева О.О., Ездакова М.И., Андреева Е.Р., Буравкова Л.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

ROLE OF REACTIVE OXYGEN SPECIES IN REALIZATION OF MSC POTENTIAL

Udartseva O.O., Ezdakova M.I., Andreeva E.R., Buravkova L.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Благодаря высокой пластичности мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки (МСК), которые присутствуют практически во всех тканях организма, представляют интерес для регенеративной медицины и тканевой инженерии. Основную функцию МСК связывают с поддержанием и репарацией тканей. Кроме того, относительно недавно был открыт противовоспалительный эффект МСК, и была описана их способность модулировать иммунный ответ. Очаги воспаления/поражения тканей характеризуются острой гипоксией и повышенным уровнем активных форм кислорода (АФК), которые в последние десятилетия привлекают пристальное внимание исследователей. Они представляют собой химически активные молекулы и радикалы, образующиеся в результате неполного окисления молекулярного кислорода. Согласно классическим представлениям, АФК являются токсичным агентом, принимающим участие в различных физиологических и патологических реакциях организма. Однако в последние годы было показано, что АФК в низких концентрациях могут регулировать передачу внутриклеточного сигнала, выступая в роли вторичного посредника. В частности, на МСК было показано, что высокие концентрации АФК индуцируют старение, вызывают повреждение ДНК и запускают апоптотический сигнальный каскад. Однако имеющиеся данные по влиянию АФК на функциональную активность МСК немногочисленны, противоречивы и преимущественно посвящены дифференцировочным потенциалам этих клеток. В настоящей работе было изучено влияние низких доз АФК на функциональные свойства мезенхимальных стромальных клеток (МСК), культивируемых в стандартных (20 % O₂) и гипоксических (1 % O₂) условиях.

МСК выделяли из стромально-васкулярной фракции жировой ткани человека и культивировали по стандартному протоколу в среде с содержанием кислорода 20 % (МСК-20) и 1 % (МСК-1). Индукцию внутриклеточных АФК

осуществляли с помощью фотодинамического воздействия (ФДВ). Для этого МСК инкубировали с Фотосенсом® (ФС®) в конечной концентрации 10 мкг/мл в течение 24 ч, далее производили смену среды и с помощью лазерной установки АЗОР-ФДВ облучали клетки дозами 0,25–0,5 Дж/см² ($\lambda = 675$ нм). Внутриклеточные АФК детектировали с помощью CM-H₂DCFDA и MitoSOX Red, функциональную активность митохондрий и ЭПР – Mitotracker Red 580 и ER-tracker Green соответственно. Способность клеток к миграции оценивали в модели экспериментальной раны в монослое. Экспрессию CXCR4, ICAM-1, HSCAM и Thy-1 определяли методом проточной цитофлуориметрии, секрецию IL-6, IL-8 и VEGF – методом иммуно-ферментного анализа. Ангиогенную активность МСК определяли в модели *in ovo* с использованием хориоаллантоисной оболочки эмбриона перепела.

Было показано, что клетки, культивируемые в условиях гипоксии, характеризовались повышенным уровнем АФК. ФДВ дозой 0,25 Дж/см² не вызывало существенного увеличения количества внутриклеточных АФК и практически не влияло на жизнеспособность МСК. Однако увеличение дозы облучения до 0,5 Дж/см² приводило к 3-кратному увеличению уровня O₂⁻ в МСК-1 и 10-кратному – в МСК-20. Активность митохондрий снижалась в 1,3–1,5 раза через 30 мин и восстанавливалась через 24 ч после воздействия вне зависимости от условий культивирования. Низкоинтенсивное ФДВ приводило к перестройке актинового цитоскелета, изменению формы клеток и существенному снижению их миграционной активности. Этот эффект был менее выражен у МСК-1, поскольку культивирование клеток в условиях гипоксии само по себе приводило к существенному снижению скорости ненаправленной миграции. В то же время было показано, что облучение клеток, накопивших ФС®, низкими дозами приводит к существенному увеличению секреции IL-8 и VEGF α , но не TGF β . При этом эффект был более выражен в МСК-20. Низкоинтенсивное ФДВ увеличивало экспрессию ICAM-1 в МСК-20, но не в МСК-1. Изменения экспрессии CXCR4, HSCAM, Thy-1 и интегринов после ФДВ выявлено не было. В модели *in ovo* было показано, что ФДВ низкими дозами стимулирует ангиогенную активность МСК, что выражалось в увеличении количества основных сосудов, но не ветвей.

Таким образом, внутриклеточные АФК в нетоксических концентрациях способны существенно модифицировать функциональную активность МСК. При этом чувствительность клеток, культивируемых в стандартных условиях (20 %), к этому воздействию существенно выше по сравнению с МСК, культивируемыми в условиях острой гипоксии.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 16-04-01377 «А»).

ИЗМЕНЕНИЯ ГЕННОЙ ЭКСПРЕССИИ, СОДЕРЖАНИЯ И УРОВНЯ ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ ТИТИНА В УСЛОВИЯХ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ

Уланова А.Д.¹, Вихлянцев И.М.¹, Салмов Н.Н.¹, Грицына Ю.В.¹, Шенкман Б.С.², Подлубная З.А.¹

¹ ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино

² Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CHANGES IN GENE EXPRESSION, CONTENT AND PHOSPHORYLATION LEVEL OF TITIN UNDER MICROGRAVITY CONDITIONS

Ulanova A.¹, Vikhlyantsev I.¹, Salmov N.¹, Gritsyna Yu.¹, Shenkman B.², Podlubnaya Z.¹

¹ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, Pushchino

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Исследованы изменения экспрессии гена, содержания и уровня фосфорилирования гигантского саркомерного белка титина в сердечной и скелетных (*m. gastrocnemius*, *m. tibialis anterior*, *m. psoas*) мышцах мышей после 30-суточного космического полета на биоспутнике «БИОН-М1» и в *m. soleus* крыс после 7-суточного моделирования гравитационной разгрузки. Обнаружено, что атрофические изменения в разгруженной *m. soleus* крыс сопровождались снижением (на 23 %, $p \leq 0,01$) содержания интактного титина-1 (T1), увеличением (на 66 %, $p \leq 0,01$) содержания протеолитического T2-фрагмента и повышением степени фосфорилирования T1 и T2 на 5,5 % и 23 % ($p \leq 0,01$) соответственно. При этом обнаружено снижение (на 10 %) экспрессии гена этого белка. В *m. gastrocnemius* мышцей, атрофированной в условиях космического полета, также наблюдалось увеличение уровня фосфорилирования T1 (на 30 %, $p \leq 0,01$) и T2 (в 3,3 раза, $p \leq 0,01$), что сопровождалось уменьшением (на 15 %, $p \leq 0,01$) содержания T1 и увеличением (на ~30 %, $p \leq 0,01$) содержания протеолитического T2-фрагмента. Сделано предположение, что увеличение степени фосфорилирования титина приводит к повышению его протеолитической деградации.

Не обнаружено достоверных изменений содержания титина и уровня его фосфорилирования в сердечной и скелетных (*m. tibialis anterior*, *m. psoas*) мышцах мышей после 30-суточного космического полета. Однако во всех исследуемых поперечно-полосатых мышцах мышей группы «Полет» зарегистрировано увеличение (в 1,7–2,8 раза, $p \leq 0,01$) экспрессии гена титина. Эти изменения, по всей вероятности, являются ответом на стрессовые условия, возникшие во время спуска и приземления космического аппарата, а также в остром периоде реадaptации к земной гравитации (в течение 12 ч от посадки до взятия биоматериала).

Выражаем благодарность сотрудникам ГНЦ РФ – ИМБП РАН (Москва) и ОАО «РКЦ Прогресс» за подготовку и

проведение всех экспериментов по проекту «БИОН-М1».

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-04-00112, 14-04-92116 и 14-04-32240.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БЕСКОНТАКТНОГО
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО АКТОГРАФИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Усов В.М.¹, Кирой В.Н.², Кривец Д.В.², Владимирский Б.М.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НИИ нейрокибернетики им. А.Б.Когана Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

**APPLIED MEDICAL AND BIOLOGICAL PROBLEM-ORIENTED ADVANCED SOFTWARE AND HARDWARE
COMPLEX FOR ACTIGRAPHIC CONTACTLESS MONITORING OF HUMAN STATE**

Усов В.М.¹, Кирой В.Н.², Кривец Д.В.², Владимирский Б.М.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² A.B.Kogan Research Institute for Neurocybernetics Southern Federal University, Rostov-on-Don

Двигательная активность, регистрируемая в виде актограмм, является естественным индикатором, с помощью которого можно получать важную информацию о функциональном состоянии здоровых и больных людей.

В настоящее время известно около 20 патологий – от синдрома дефицита внимания у детей, до болезни Альцгеймера – у пожилых, при диагностике которых успешно используются актографические данные, полученные во время сна пациентов. Перспективным представляется также регистрация и анализ актограмм при оценке последствий длительных стрессовых состояний, сопровождающихся нарушениями сна.

Известно, что в последние годы в клиниках всё чаще практикуется введение пациентов в состояние искусственной комы для предотвращения шокового состояния при тяжелых травмах. Для людей, находящихся в таком состоянии мониторинг дыхания, пульса, а также двигательной активности особенно важен.

Нами разрабатывается универсальный аппаратно-программный комплекс (АПК), позволяющий бесконтактно регистрировать динамику перемещений центра тяжести человека (актограмму), в частности, во время сна, а также выделять дыхательную и баллистокордиографические компоненты.

Одним из основных элементов этого ПАК являются четыре оригинальных датчика силы, позволяющие проводить регистрацию дыхания, пульса и двигательной активности и обеспечивающие уникальную допустимую нагрузочную способность: более 500 кг при разрешающей способности 10 грамм на каждом датчике. Еще один интегральный датчик несколько иной конструкции используется для компенсации сторонних возмущающих воздействий. Малая высота расположения силоводящей поверхности позволяет существенно упростить установку датчиков под ножки медицинской кровати практически не изменяя её высоту. По сравнению с зарубежными аналогами датчики обладают более высокой разрешающей способностью и большим диапазоном допустимой нагрузки. Кроме того, они нечувствительны к точке приложения силы.

В корпусе этих датчиков встроены электронные узлы, обеспечивающие съем аналогового сигнала, его усиление, аналого-цифровое преобразование и передачу на модуль связи с компьютером, который, в свою очередь, обеспечивает согласование между узлами системы. При необходимости этот же компьютер может управлять подачей различных стимулов.

В составе ПАК предусмотрена видеочамера и отдельный компьютер, предназначенный для оцифровки видеозаписей. Предусмотрена также возможность передачи информации по Интернет в режиме реального времени. Для централизованного хранения полученной информации используется сервер, который получает данные от других машин комплекса по локальной сети. Вся получаемая информация представляется в формате совместимом с большинством аналитических пакетов (Matlab, MathCAD, STATISTICA и др.).

Проведенные испытания в реальных условиях с участием людей подтвердили возможность регистрации дыхания, пульса и двигательной активности, однако, мягкость покрытия кровати отрицательно влияет на качество сигнала, прежде всего при оценке пульса. Есть необходимость в разработке алгоритмов и программ по обработке сигнала с целью фильтрации и наглядного представления результатов обработки для пользователя. Испытание прототипа ПАК, для контроля состояния беременных женщин, находящихся в стационаре на сохранении показало перспективность его использования и для таких случаев.

Весь набор программ ПАК работает под управлением операционной системы Windows, модули программного обеспечения, предназначенные для анализа регистрируемых сигналов, могут достаточно легко модифицироваться в зависимости от контингента обследуемых и цели мониторинга. Имеющееся программное обеспечение планируется дополнить программным модулем, сигнализирующим о выходе регистрируемых параметров за допустимые пределы. Разрабатываемый комплекс может иметь широкие области применения. Приведенные примеры показывают

возможность использования комплекса в различных и далеких друг от друга сферах. Модификация под каждую новую область потребует в большинстве случаев только разработку специального программного обеспечения и, возможно, изготовление несложной вспомогательной оснастки.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗИСТИВНЫХ И ЦИКЛИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ В ПОДДЕРЖАНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Уськов К.В.¹, Фомина Е.В.^{1, 2}

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Московский педагогический государственный университет

THE EFFECTIVENESS OF RESISTIVE AND CYCLIC MEANS COUNTERMEASURE IN MAINTAINING THE PHYSICAL PERFORMANCE OF HUMAN IN CONDITIONS OF PROLONGED ISOLATION

Uskov K.V.¹, Fomina E.V.^{1, 2}

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Moscow State Pedagogical University, Moscow

Образ жизни в последнее столетие современного человека претерпел изменения. Условия работы способствовали все большему распространению сидячего образа жизни. Недавние исследования показали, что примерно 50–60 % времени в день люди тратят на деятельность, условия которой предполагают оседлость. В связи с этим произошло значительное увеличение хронических заболеваний, сердечно-сосудистых, диабета II-типа, заболеваний опорно-двигательного аппарата, легочных болезней, некоторых видов рака (например, рака толстой кишки) и неврологических расстройств. С другой стороны, регулярные занятия физическими упражнениями, в настоящее время специалисты признают неотъемлемой частью здорового активного образа жизни современного человека. Доказано, что регулярные занятия физическими упражнениями имеют ряд положительных влияний на физическое и психическое здоровье – оказывают профилактическое влияние на сердечно-сосудистую систему человека, улучшают липидный профиль за счет снижения в плазме концентрации триглицеридов и липидов низкой плотности – повышения липопротеидов высокой плотности, физическая нагрузка может противодействовать развитию когнитивных нарушений.

Разработан ряд рекомендаций по двигательной активности взрослого человека. Рекомендации Американского Колледжа Спорта и Медицины включают в себя выполнение аэробных упражнений умеренной интенсивности не менее 5 раз в неделю, с общим временем, затраченным на данный вид тренировок, 150 мин в неделю или не менее 20 мин три раза в неделю интенсивной физической нагрузки. Кроме этого, для соблюдения активного здорового образа жизни необходимо выполнять резистивные упражнения не менее двух раз в неделю с количеством упражнений от 8 до 10, с количеством повторений в одном подходе – от 8 до 12.

Сниженный уровень двигательной активности сопровождается деятельностью специалистов управления воздушным движением, моряков надводных кораблей дальнего плавания, экипажи атомных подводных лодок. А также сниженный уровень двигательной активности является одним из негативных факторов космического полета. Таким образом, профилактика неблагоприятных эффектов сниженного уровня двигательной активности является актуальной проблемой современности. Разработка средств и методов профилактики негативного влияния сниженного уровня двигательной активности имеет большое социальное значение.

В нашем эксперименте приняли участие 6 здоровых мужчин, до эксперимента ведущих активный образ жизни. Добровольцы находились в условиях длительной изоляции 520 сут. Моделировался полет на Красную планету туда и обратно в условиях Земли. Работа проходила в рамках проекта Марс-500. В течение моделируемого полета испытуемые выполняли два вида физических тренировок: циклические и резистивные. Резистивные тренировки проводились с использованием мультифункционального российско-австрийского силового тренажера MDS (Multifunctional Dynamometer for Application in Space), эспандеров и вибрационной платформы Galileo 2000. Циклические упражнения выполнялись на бегущей дорожке Cybex 750T в активном режиме работы полотна и на бегущей дорожке «БД-1» в пассивном режимах работы полотна и на велотренажере Kettler RX7. Подробно методики тренировок были описаны нами ранее [Уськов К.В. с соавт., 2016].

Для оценки эффективности каждого тренировочного средства члены экипажа были поделены на 3 группы по 2 человека в каждой. Дизайн эксперимента предполагал выполнение тренировок каждой группой на каждом тренировочном средстве в течение 2 мес. Кроме этого, в эксперименте были предусмотрены 3 периода по 1 мес отсутствия физических тренировок.

Оценка уровня физической работоспособности проводилась каждый месяц с помощью силового тренажера MDS, на пассивной бегущей дорожке со ступенчато возрастающей нагрузкой (MO-3) и на велоэргометре (PWC-170). Анализировались данные тестов после первого и второго месяца тренировок на каждом тренировочном средстве.

Ранее нами уже были представлены результаты оценки уровня физической работоспособности участников проекта

Марс-500. Было выявлено, что в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой на пассивной бегущей дорожке значимого снижения показателя ниже фонового не наблюдалось, а наоборот, после отдельных периодов эксперимента, показатель возрастал в сравнении с фоном ($p < 0.05$) [Фомина Е.В., Уськов К.В., 2016]. Сравнительный анализ эффективности различных средств применявшихся для выполнения циклических тренировок выявил, что наиболее эффективными можно считать тренировки на бегущей дорожке с пассивным движением полотна, далее по уровню снижения эффективности следует дорожка с активным движением полотна, т.е. с движением полотна с помощью мотора и наименее эффективными оказались тренировки на велоэргометре, где значимое увеличение показателя уровня физической работоспособности в тесте PWC-170 по сравнению с фоном выявлено только после второго месяца тренировок ($p < 0.05$). В свою очередь тренировки на бегущей дорожке с пассивным движением полотна и на бегущей дорожке с активным движением полотна дали значимое увеличение уровня физической работоспособности как после первого, так и после второго месяца тренировок. Данный показатель вырос в тренировках на пассивной бегущей дорожке как в тесте PWC-170 так и в тесте MO-3 ($p < 0.05$) и превышал фоновые значения. Прирост уровня работоспособности в результате тренировок на бегущей дорожке с активным движением полотна был зарегистрирован только в тесте MO-3 в сравнении с фоном, в тесте PWC-170 для этого тренажера значимых изменений не обнаружено ($p < 0.05$).

Сравнительный анализ эффективности резистивных средств тренировок показал, что наиболее эффективным оказался тренажер MDS, который позволил обеспечить прирост максимальной произвольной силы мышц нижних конечностей. Это является чрезвычайно важным, так как тренажер предполагается к использованию в условиях микрогравитации, где мышцы нижних конечностей относятся к числу наиболее подверженных негативному влиянию условий невесомости. Увеличение силы мышц ног зарегистрировано после тренировок на тренажере MDS в тесте Leg con. I. (0.4 м/с) выполненном на силовом тренажере как после первого, так и после второго месяца тренировок в сравнении с фоном ($p < 0.05$). На виброплатформе зарегистрирован прирост максимальной произвольной силы в тесте Bench P. con. (0.4 м/с), т.е. он оказался наиболее эффективным в отношении мышц рук ($p < 0.05$). Наименее эффективными из средств резистивных тренировок оказались упражнения с экспандерами – они позволили обеспечить прирост мышечной силы рук только после второго месяца тренировок ($p < 0.05$). Возможно, использование тренажера MDS оказалось наиболее эффективным, так как это средство обеспечивало регистрацию и запись показателей каждой тренировки, что позволило наиболее эффективно планировать тренировочный процесс.

Таким образом, можно выстроить средства, использованные для физических тренировок в проекте Марс-500, по мере убывания эффективности в следующем порядке: для циклических упражнений эффективность снижается от бегущей дорожки с пассивным движением полотна к бегущей дорожке с активным движением полотна и наименее эффективными в сохранении уровня физической работоспособности явились тренировки на велоэргометре. В резистивных средствах наиболее эффективным оказался тренажер MDS, а виброплатформа была менее эффективна и нагрузка, создаваемая с помощью экспандеров, по нашему мнению, была недостаточной для поддержания должного уровня физической работоспособности.

Работа выполнена за счет базового финансирования РАН.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИПОГРАВИТАЦИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПЛОЩАДЬ БЕЛОГО И СЕРОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ СПИННОГО МОЗГА У МЫШЕЙ ЛИНИИ c57BLACK/6

Федянин А.О., Тяпкина О.В., Еремеев А.А., Лавров И.А.

Казанский федеральный университет

HYPOGRAVITY MODELING AND ITS INFLUENCE ON THE SQUARE OF WHITE AND GRAY SUBSTANCE IN THE LUMBAR SPINAL CORD ON MICE LINE c57BLACK/6

Fedyanin A.O., Tyapkina O.V., Ereemeev A.A., Lavrov I.A.

Kazan federal university, Kazan

Последствия гипогравитации, составляющие основу гипогравитационного двигательного синдрома в локомоторном аппарате, хорошо исследованы в скелетных мышцах. Это мышечная атрофия, уменьшение силы сокращения волокон, снижение выносливости к нагрузке и устойчивости к утомлению. В настоящее время существует мало информации о состоянии ЦНС при развитии гипогравитационного двигательного синдрома, в частности на уровне спинного мозга. У мышей линии c57BLACK/6 подопытной группы моделировали последствия гипогравитации методом антиортостатического вывешивания задних конечностей в течение 30 сут по модели Morey-Holton&Globus, мышей контрольной группы содержали в стандартных условиях вивария. Полученные срезы окрашивали метиленовым синим по общепринятому протоколу и монтировали на предметных стеклах, высушивали, заключали в канадский бальзам. В группе подопытных животных наблюдалось достоверное уменьшение средних значений общей площади поперечных срезов поясничного отдела, которое составило $2,31 \pm 0,06 \text{ мм}^2$ ($p < 0,05$, $n = 6$). Анализ площадей, занимаемых серым и белым веществами показал уменьшение их средних значений до $1,21 \pm 0,05 \text{ мм}^2$ и $1,10 \pm 0,04 \text{ мм}^2$ соответственно ($n = 6$, $p < 0,05$). В

группе контрольных мышей средние значения общей площади поперечного среза поясничного отдела спинного мозга составили $2,78 \pm 0,02$ мм². Средние значения площади, занимаемой серым веществом, – составили $1,52 \pm 0,02$ мм², а белым $-1,26 \pm 0,02$ мм² ($n = 6$). В ходе экспериментов нами было установлено, что под влиянием антиортостатической разгрузки задних конечностей мышей линии c57black/6, общая площадь поперечного сечения в поясничном утолщении спинного мозга уменьшилась на 17 % ($p \leq 0,05$). Площадь, занимаемая серым веществом уменьшилась на 20 % ($p \leq 0,05$), а белым веществом на 12 % ($p \leq 0,05$). Таким образом мы можем сделать вывод, что антиортостатическое вывешивание задних конечностей приводит к уменьшению объема поясничного утолщения у мышей линии c57BLACK/6, а так же, что редукция поясничного утолщения спинного мозга обусловлена уменьшением объемов, занимаемых белым и серым веществами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект №15-15-20036).

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА НА ПОВЕРХНОСТИ ДРУГОГО НЕБЕСНОГО ТЕЛА В ПОЛУЖЕСТКИХ СКАФАНДРАХ ОАО «НПП «ЗВЕЗДА»: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

Филипенков С.Н., Пятница А.С., Щавелев Г.В., Шувалов В.В., Элбакян А.Ц.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва
ОАО «НПП «Звезда», пос. Томилино, Моск. обл.

PSYCHO-PHYSIOLOGICAL RESEARCHES OF HUMAN WORKING CAPACITY DURING SIMULATION OF EXTRA VEHICULAR ACTIVITY ON THE AETHER CELESTIAL BODY SURFACE

IN THE SEMIRIGID SPACESUITS DEVELOPED AT JSC RD&PE ZVEZDA: PAST AND NOWDAY

Filipenkov S.N., Pjatinitscha A.S., Tschavelev G.V., Shuvalov V.V., Elbakjan A.Ts.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow
JSC 'RD&PE ZVEZDA', Tomilino estate, Moscow Region

Пилотируемая экспедиция с высадкой на Луну станет реальной перспективой отечественной космонавтики после 2030-х годов при условии, что будут отработаны медико-биологические и психофизиологические аспекты вопросы безопасности экипажа при выполнении операций в полужестком скафандре космонавта (ПСК).

В докладе рассматривается ретроспектива работ по моделированию десантирования с использованием ПСК и дана оценка энергетической стоимости основных рабочих операций. Первыми шагами в данном направлении были имитации высадки на Луну и Марс в наземных условиях на стенде ЛИИ с вывешиванием человека в СК до 1/6 и 3/8 их суммарного веса [Хромушкин А.И., Бойко А.И., 1960–1964]. На стендах вывешивания «Звезды» аналогичные исследования при изучении условий работы испытателей-добровольцев в ПСК «Кречет» при выполнении ими рабочих операций на специально оборудованном стенде «лунодроме» и в вакуумной термобарокамере ТБК-30 с определением жизненно-важных вегетативных показателей путем измерения частоты пульса и дыхания (ЧП/ЧД), температуры тела (ТТ), энергозатрат (ЭТ) проводились с 1964 г.

В те же годы, при полетах по параболе на летающей лаборатории ЛИИ, созданной на базе самолета ТУ-104А, летчики (Анохин С.Н., Султан Амет-Хан, Васин В.П., Захаров Г.Н., Хапов В.Ф.) и проектанты ОКБ-1 (инженеры-испытатели В.В.Аксенов, О.С.Цыганков) при участии сотрудников завода «Звезда» (врачи Кавкаев В.Ф., Панфилов В.Е., Сокол Е.А.), а также технических и медицинских специалистов ЛИИ (Миронов А.Д., Березкин Е.Т., Клочков А.М. и др., 1965–1968) моделировали внекорабельную деятельность (ВКД) в условиях невесомости и при ускорениях, характерных для лунного тяготения. В салоне самолета располагался макет лунного корабля, имитировался лунный рельеф (реголит с камнями размером 5–10 см) и формировались наклонные поверхности кратера.

На макете в полете с гипогравитацией (0,16 g в течение 18–25 с за один сеанс, до 10–20 сеансов за полет) отработывались элементы луноходов и операторская деятельность в ПСК. С участием специалистов-исследователей «Звезды» (Кавкаев В.Ф., Невский А.С., Стулов, Элбакян А.Ц. и др.) и ОКБ-1 (Аксенов В.В., Цыганков О.С.) были испытаны макеты ПСК, работавшего от Г.А. бортовой вентиляционной системы под избыточным давлением 0,27–0,40 кг/см². По массе и габаритам ПСК полностью соответствовал характеристикам программы «Луна-3». В полетах удалось отработать сложные и «нештатные» операции по выходу из кабины взлётно-посадочного корабля, а также действия по высадке на лунную поверхность в аварийных ситуациях.

Позднее, в 1974–1994 годах психофизиологические исследования с определением работоспособности операторов были продолжены в испытаниях ПСК типа «Орлан» под избыточным давлением 0,27–0,40 кг/см² в термобарокамере (ТБК-30 и ТБК-50) при вывешивании до остаточного веса изделия в 20–30 кг, который испытателю приходилось носить в течение 3–8,5 часов пребывания в вакууме.

Всего при исследовании ЭТ было выполнено с участием 9 испытателей 42 эксперимента при имитации ВКД 2,5–5 ч в ТБК-30 в СК «Орлан», 42 эксперимента с участием 12 испытателей при имитации 3,5–5 ч ВКД в ТБК-30 в СК «Орлан-Д», 158 экспериментов с участием 67 испытателей при имитации 5–7,5-ч ВКД в ТБК-50 в СК «Орлан-ДМ»,

202 эксперимента с участием 42 испытуемых по 5–8,5-часовой имитации ВКД в ТБК-50 в СК «Орлан-ДМА».

Анализ испытаний по перемещению на горизонтальной поверхности с восхождением на ступеньку высотой 17–23 см с частотой 5–30 мин⁻¹ в течение 3,5–8,5 ч при средних ЭТ 200–400 ккал/ч и двух 10–15-минутных пиковых нагрузках 8–12 ккал/мин показал, что циклограмма ВКД вызывает физическое, эмоциональное и терморегуляторное напряжение, а также сильное мышечное утомление, значимо усиливающиеся при длительности работы более 5 ч (Барер А.С., Головкин Л.Г., Филипенков С.Н. и др., 1979; Барер А.С., Филипенков С.Н., 1987; Барер А.С., Филипенков С.Н., Головкин Л.Г. и др., 1990).

По изменениям ЧСС от 50 до 192 уд/мин, ЧД от 8 до 42 л/мин и ТТ от 34,1 до 38,2 °С в зависимости от ЭТ в пределах 1–14 ккал/мин установлено, что при пребывании в позе сидя в «Орлан» ЭТ = 2 ккал/мин и увеличивались до 3 ккал/мин в отдыхе стоя. При ходьбе по горизонтальной песчаной поверхности со скоростью 2–3 км/ч ЭТ = 4–6 ккал/мин. При отборе проб инструментами ЭТ увеличивались до 7–8 ккал/мин. ЭТ достигали максимума 10–11 ккал/мин при операциях вставания с колен или из положения лежа с опорой на инструмент. Максимальные ЭТ достигали 12–14 ккал/мин при выполнении наиболее трудоемких рабочих операций (геологических исследований с разрушением породы, отборе проб грунта в капсулы, подъеме вверх по пересеченной поверхности со сложным рельефом).

Аналогичные исследования были также проведены в процессе создания экспериментального ПСК «Орлан-Э» (масса 32 кг, вентиляционная система, избыточное давление 0,2 кг/см²). В отработке ходьбы в СК «Орлан-Э» и операций с инструментами участвовало 11 кандидатов в эксперимент «Марс-500», 5 испытуемых НПП «Звезда» и 1 космонавт РКК «Энергия».

С добровольцами проверялись навыки входа/выхода из СК с помощью второго оператора и самостоятельно, под избыточным давлением 0,2 кг/см² определялась скорость перемещения и устойчивость ходьбы с фиксацией страховочных карабинов, выбиралась оптимальная по устойчивости и нагрузке на тело поза отдыха в положении стоя/сидя, оценивались возможность вставания на колени, вставание из положения лежа с использованием подручных инструментов или при поддержке второго оператора, отработывалось пешее перемещение, а также операции по разрушению конгломератов реголита альпенштоком, взятию проб грунта или песка с помощью совка и захвата, упаковки их в контейнер.

В итоге получены сравнительные данные регистрации ЭКГ и ЧСС с помощью штатной системы СК «Бета-08» при ЭТ от 1,5 до 11 ккал/мин. ЧСС испытуемого варьировала от 48 до 78 уд/мин в покое и возрастала от 84 до 145 уд/мин в зависимости от величины механической нагрузки (50–150 Вт). При этом все ручные операции выполнялись без затруднений. По данным изменения ЧСС в зависимости от ЭТ можно заключить, что при пребывании в «Орлан-Э» в позе сидя ЭТ достигали 2 ккал/мин, увеличивались до 3 ккал/мин в отдыхе стоя. При ходьбе по горизонтальной песчаной поверхности со скоростью 2–3 км/ч ЭТ составляли 4–6 ккал/мин, а при отборе проб инструментами ЭТ увеличивались до 7–8 ккал/мин. ЭТ достигали максимума 10–11 ккал/мин при операциях вставания с колен или вставания из положения лежа с опорой на инструмент с поддержкой вторым оператором.

Полунатурные исследования, показали, что применение избыточного давления 0,2 кг/см² в СК «Орлан-Э» при пешем перемещении и вставании после падения соответствует тяжелой физической работе, а ручные операции соответствуют работе легкой и средней тяжести, поэтому имитация ВКД на базе ГНЦ РФ-ИМБП РАН была ограничена по длительности 2 ч.

Таким образом, исследования на летающей лаборатории и на наземных стендах, показали, что при избыточном давлении в ПСК типа «Орлан» в 0,2 кг/см² (применяемом в эксперименте «Марс-500»), а также при более высоком «режиме пониженного давления» 0,27 кг/см² и «штатном режиме» рабочего давления 0,4 кг/см² (применяемом при испытаниях в ТБК) ЭТ могут повыситься настолько, что вызовут утомление после 2–5 ч работы и затруднят выполнение 8,5–10-часовых циклограмм ВКД, для которых должен быть разработан специальный режим труда и отдыха и внедрена механизация операций.

ИЗМЕНЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В НЕВЕСОМОСТИ

Фомина Г.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CHANGES IN HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM UNDER WEIGHTLESSNESS

Fomina G.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Влияние невесомости на сердечно-сосудистую систему человека до сих пор остается одной из наиболее важных проблем космической медицины. Принципиально новый этап изучения сердечно-сосудистой системы в условиях невесомости начался с созданием специальной бортовой аппаратуры для исследований сердечно-сосудистой системы с помощью современных количественных методов исследования (ультразвуковые методы, плетизмография). В данном

докладе обобщены оригинальные материалы, полученные с помощью современных методов в ходе космических полетов разной длительности на орбитальных станциях САЛЮТ-7, МИР и МКС.

Программа исследований сердечно-сосудистой системы включала исследования сократительной и насосной функции сердца; исследования артериальной и венозной гемодинамики в различных регионах тела человека: в области головы и шеи (в том числе церебральной), в абдоминальном регионе и в области нижних конечностей. Исследования выполнялись до, во время и после космических полетов (КП) различной длительности, от 8 до 438 сут, в состоянии покоя и при функциональном воздействии отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ). В исследованиях участвовало 28 космонавтов, выполнивших полеты различной длительности на ОС МИР. Всего выполнено 140 исследований в состоянии покоя (из них 59 – в КП) и 124 исследования при воздействии ОДНТ (из них 55 – в КП). Состояние вен нижних конечностей дополнительно изучалось с помощью окклюзионной плетизмографии голени. Проведено 93 исследования у 10 космонавтов ОС МИР (из них 48 – в КП), и около 200 исследований у 33 космонавтов РС МКС (более 70 – в КП).

Результаты.

Сердце. В условиях невесомости уменьшается наполнение левого желудочка сердца, что характерно для гиповолемии. На этом фоне изменения ударного выброса были пропорциональны наполнению левого желудочка сердца, т.е. основной показатель сократительной способности миокарда, фракция выброса, оставался в пределах фоновых значений. Ультразвуковые исследования в полетах разной длительности, проводившиеся нами на протяжении почти 20 лет, не выявили ни одного случая снижения насосной функции сердца.

Артерии. Исследования в состоянии покоя артериального кровотока в различных регионах тела: в области головы и шеи, в абдоминальной области и на уровне нижних конечностей, выполненные ультразвуковыми методами, выявили существенные изменения периферической артериальной гемодинамики в невесомости, имевшие яркие особенности в областях, расположенных выше и ниже уровня сердца.

Выше уровня сердца наблюдалось повышение сопротивления кровотоку по общей и внутренней сонным артериям, благодаря чему внутримозговой кровоток длительное время, в течение 3–4 мес КП, сохранялся практически на предполетном уровне. Иными словами, при перераспределении жидких сред организма в верхнюю половину тела происходили изменения тонуса магистральных артерий, направленные на защиту головного мозга от переполнения кровью. Только с 5–6 месяца КП у большинства обследованных нами космонавтов появлялась тенденция к повышению сопротивления и снижению объемного кровотока средней мозговой артерии.

В абдоминальном регионе отмечено достоверное и прогрессирующее при длительном пребывании в невесомости снижение резистентности артерий, отходящих от брюшной части аорты: почечной, брыжеечной артерий и чревного ствола, характерное для гиповолемии. Такое изменение сосудистого тонуса не только обеспечивало кровоснабжение почек и органов брюшной полости, но и явилось причиной повышенного кровенаполнения паренхиматозных органов (почек, печени, селезенки, поджелудочной железы).

Особенно выраженным в невесомости было снижение резистентности магистральных артерий нижних конечностей человека в состоянии покоя. Эти сосуды исходно обладают высоким сопротивлением и играют очень важную роль в поддержании ортостатической устойчивости (ОУ) человека в условиях земной гравитации. Оказалось, что в невесомости высокий тонус этих сосудов постепенно утрачивается, как невостребованный. Эти изменения могли быть очень значимы для развития расстройств ОУ. Поэтому необходимо было изучить в невесомости артериальную гемодинамику не только в покое, но и при пробе с воздействием ОДНТ.

Непрерывная регистрация в течение пробы с ОДНТ кровотока в средней мозговой, бедренной артериях и аорте позволила оценить изменения кровотока на уровне головного мозга и нижних конечностей. Установлено, что физиологическая реакция артериальной гемодинамики человека на ортостатическое воздействие на Земле состоит в повышении сопротивления бедренных артерий, что ограничивает перемещение крови в сосуды нижних конечностей и предотвращает уменьшение кровоснабжения головного мозга. Одновременно снижается сопротивление кровотоку во внутримозговых сосудах. Противоположно направленные изменения тонуса бедренных и мозговых артерий обеспечивают сохранение кровоснабжения головного мозга.

В условиях длительного пребывания в невесомости были получены данные о нарастающем ухудшении способности бедренных артерий к вазоконстрикции при воздействии ОДНТ. Снижение вазоконстрикторной реакции бедренных артерий во время длительных КП выявлялось раньше, чем изменения мозгового кровотока. В начальном периоде (первые два месяца КП) регуляция сосудистого тонуса на уровне мозговых сосудов позволяла сохранять перераспределение кровотока в пользу головного мозга. Далее в течение КП способность бедренных артерий отвечать на воздействие ОДНТ повышением сопротивления продолжала ухудшаться, и к этому присоединялось снижение эффективности перераспределения кровотока во время пробы. Это приводило к более выраженному, чем на Земле до полета, снижению мозгового кровотока во время воздействия ОДНТ, т.е. к увеличению дефицита мозгового кровотока. Наиболее значимыми результатами этих исследований было выявление связи между величиной дефицита мозгового кровотока при воздействии ОДНТ и переносимостью этой пробы, а также зависимости изменений реакции на ОДНТ во время полета от исходного уровня ортостатической устойчивости человека.

Впервые определены количественные критерии оценки изменений мозгового кровотока при воздействии ОДНТ и связь этих изменений с переносимостью данного теста во время КП.

Вены. Исследования вен в реальных космических полетах, выполненные с помощью современной аппаратуры (эхо- и доплерография, плетизмография) позволили установить, что изменения венозной гемодинамики в условиях невесомости возникают раньше и выражены сильнее, чем изменения в артериальной системе.

Выявлено значительное расширение яремных вен с первых дней пребывания в невесомости. По мере увеличения длительности пребывания в невесомости наблюдалась тенденция к дальнейшему расширению яремных вен по сравнению с фоном до полета. Затруднение оттока крови по яремным венам по-видимому и обусловило появление в длительных КП признаков венозного застоя в области головы и шеи. В условиях невесомости наблюдалось расширение не только яремных вен, но и крупных вен *абдоминального региона*, входящих в портальную систему, а также расширение и ретроградная пульсация кровотока в печеночных венах, что свидетельствовало о затруднении венозного возврата не только по верхней полой, но и по нижней полой венам. Таким образом, замедление венозного кровотока является одной из причин наблюдающегося в условиях невесомости венозного застоя не только в области головы и шеи, но и в абдоминальной области.

Изучение *вен нижних конечностей* в условиях реальной невесомости имело особую важность, т.к. приблизило нас к ответу на вопрос о причинах снижения ОУ во время и после полета.

Установлено, что в условиях невесомости у всех космонавтов происходит увеличение емкости и растяжимости вен голени. В отношении скорости наполнения вен при окклюзионном тесте были выявлены заметные и, как оказалось, очень важные индивидуальные различия: типичным для большинства космонавтов было снижение скорости наполнения вен, но в отдельных случаях наблюдалось повышение этого показателя. Увеличение емкости и растяжимости вен может оказывать прямое влияние на снижение ОУ. В этой ситуации очень важным и значительным фактором становится скорость наполнения вен. Снижение скорости наполнения вен является положительным фактом, т.к. это в какой-то мере компенсирует увеличение емкости и растяжимости вен. Но, если скорость наполнения вен увеличивается, то одновременное включение трех факторов: увеличения емкости, растяжимости и скорости наполнения вен ног неминуемо приведет к значительному снижению ортостатической устойчивости космонавтов.

Изучение изменений сердечно-сосудистой системы человека современными методами в условиях реальных космических полетов позволило получить новую полезную информацию для понимания механизмов адаптации этой важнейшей системы организма к условиям невесомости.

ГОДИЧНАЯ МИССИЯ НА МКС КАК ЕЩЕ ОДНО ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ДОСТАТОЧНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ ГИПОГРАВИТАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ

Фомина Е.В.¹, Лысова Н.Ю.¹, Кукоба Т.Б.¹, Гришин А.П.², Корниенко М.Б.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Научно-исследовательский испытательский центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок

ONE-YEAR MISSION TO THE ISS AS ANOTHER CONFIRMATION OF ENOUGH EFFICIENCY COUNTERMEASURE OF NEGATIVE EFFECTS OF WEIGHTLESSNESS

Fomina E.V.¹, Lysova N.Y.¹, Kukoba T.B.¹, Grishin A.P.², Kornienko M.B.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Gagarin Research and Test Cosmonaut Training Center, Starsity

Вопрос о безопасной длительности космических полетов интересовал российских ученых с первых шагов человека в космос. Нарастившая длительность от 108 мин до нескольких часов и суток и отработывая режимы профилактики в космических полетах различной длительности, российская космонавтика вышла на рекордную продолжительность орбитального полета человека 438 сут. Анализ полученных в этих полетах данных показал что, состояние и работоспособность не имеют зависимости от длительности полета, а определяются в основном уровнем профилактических мероприятий [Козловская и др., 1990, Grigoriev et al., 1993.]. Так, в исследованиях скоростно-силовых свойств мышц у участников экспедиций на станции «Мир», было показано, что наименьшие изменения силовых характеристик и даже некоторое их превышение в скоростных режимах наблюдались у участников самых длинных (окологодичных) миссий, а наибольшие - у космонавта, находившегося в невесомости вдвое короче (160 сут) [Козловская и др., 1990].

В ходе годичной миссии российский космонавт выполнял тренировки на бегущей дорожке в полном объеме, по четырехдневному микроциклу: три дня по протоколам, рекомендованным бортовой документацией, четвертый день по личному протоколу, с соблюдением принципа интервальности. Микроцикл локомоторных тренировок, рекомендованный российской системой профилактики, построен следующим образом: первый день направлен на сохранение физического качества быстрота, второй - отличается большой долей перемещения полотна в пассивном режиме, то есть с помощью силы ног, что способствует сохранению силовых характеристик мышц и третий - направлен на сохранение

выносливости. Стоит отметить, что объем локомоторных тренировок в среднем был несколько увеличен, за счет увеличения объема быстрого бега в активном режиме работы полотна бегущей дорожки, при этом локомоторный объем пассивного режима был несколько снижен и составлял в среднем 21 %, при рекомендованных 30 %. Величина осевой нагрузки во время выполнения локомоторных тренировок, соответствовала рекомендациям российской системы профилактики.

Резистивные тренировки выполнялись на тренажере ARED, принадлежащем американским партнерам по МКС и включали упражнения, направленные на сохранение всех групп мышц, преимущественно мышц ног и спины. В периоды, предшествовавшие внекорабельной деятельности, особое внимание обращалось на упражнения, развивающие силу мышц рук. Отличительной особенностью резистивных тренировок космонавта, выполнявшего полет длительностью 340 сут, явилось значительное увеличение числа повторений в упражнении «Подъем на носки». Первоначально это вызвало некоторую обеспокоенность специалистов, но после согласования отклонений от рекомендованной системы в ходе приватной беседы по средствам профилактики космонавт продолжил тренироваться таким образом в течение всей миссии.

Сравнительный анализ результатов тестов на оценку сохранности скоростно-силовых характеристик мышц и системы моторного контроля «Локомоции», «Перешагивание», «Изокинез» не обнаружил существенных различий в уровне физической работоспособности космонавта, выполнявшего годовую миссию, по сравнению с группой космонавтов совершавших полеты длительностью от 141 до 181 сут.

Полученные в настоящее время данные годового полета полностью подтверждают справедливость заключений о том, что глубина изменений в мышечной системе после длительных полетов не определяется длительностью пребывания в невесомости, а зависит от полноты профилактических мероприятий, выполняемых в ходе полета.

Работа поддержана грантом РФ №14-25-00167.

ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ И СОКРАТИТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ СЕРДЦА В ГОДОВОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Фунтова И.И., Баевский Р.М., Лучицкая Е.С., Черникова А.Г.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

AUTONOMIC REGULATION OF BLOOD CIRCULATION AND HEART CONTRACTILE FUNCTION IN THE ANNUAL SPACE FLIGHT

Funtova I.I., Baevsky R.M., Luchitskaya E.S., Chernikova A.G.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Введение. Полеты к другим планетам, в первую очередь к Марсу, являются одной из целей дальнейшего развития космонавтики. При этом космическая медицина призвана обеспечить хорошее здоровье и высокую работоспособность членов экипажа в течение нескольких лет. Поэтому годовые пилотируемые космические полеты (КП) являются важным этапом подготовки к будущим межпланетным полетам.

Закончившийся в марте 2016 г. годовой полет российского космонавта Михаила Корниенко явился рекордным по длительности пребывания на борту Международной космической станции. Абсолютным же рекордсменом по длительности пребывания на орбите является врач-космонавт Валерий Поляков, который совершил 437-суточный полет на ОС «Мир» в 1994–95 гг. В обоих этих полетах изучались вегетативная регуляция кровообращения и сократительная функция сердца. Целесообразно сравнить результаты исследований в этих полетах и оценить, что нового дал годовой полет М. Корниенко.

Методы исследований. В обоих длительных полетах применялись аналогичные методики: 1) анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) для исследования вегетативной регуляции кровообращения; 2) баллистокардиография – для оценки сократительной функции сердца. Однако, за 20 лет, прошедших между двумя полетами, указанные методы исследования были существенно усовершенствованы и коренным образом изменились. Традиционные методы анализа ВСР, включающие временной и частотный анализ временных рядов кардиоинтервалов были дополнены принципиально новым вероятностным подходом, который на основе математических моделей функционального состояния реализует методологию донозологической диагностики [Баевский Р.М., 1979, 2008] с количественной оценкой степени напряжения регуляторных систем (СН) и их функционального резерва (ФР). Вероятностный анализ СН и ФР позволяет оценить адаптационные риски, т.е. вероятность развития донозологических и преморбидных состояний в условиях длительного КП [Черникова А.Г., 2002, 2010].

Баллистокардиография получила дальнейшее развитие в методе регистрации пульсовых колебаний тела одновременно по 6 осям (пространственная баллистокардиография) – 3 линейным осям и 3 осям вращения. Это позволило практически реализовать теоретическую возможность изучения полной энергии движений тела в пространстве, вызванных выбросом крови из сердца в аорту и легочные сосуды.

Результаты исследований. Прежде всего, следует отметить, что традиционный анализ ВСР показал почти полное совпадение закономерностей динамики активности основных звеньев вегетативной регуляции в рассматриваемых годовых полетах. В обоих полетах к 250-м суткам отмечался отчетливый рост активности вазомоторного центра, что объяснялось активацией эрготропных механизмов регуляции и повышением интенсивности энергетических и метаболических процессов в органах и тканях. Вероятностный анализ ВСР в полете М.Корниенко показал, что в этот период растет СН, снижается ФР и увеличивается адаптационный риск (вероятность донозологического состояния достигает 0,719, а вероятность физиологической нормы падает до 0,261). Установленное у М.Корниенко на 163-и сутки полета увеличение адаптационного риска с ростом вероятности донозологического состояния до 0,649, коррелирует с увеличением мощности спектра очень низкочастотных колебаний (VLF) на 189-е сутки полета у В.Полякова. А у М.Корниенко аналогичные изменения VLF наблюдались на 185-е сутки полета.

В конце годового полета М.Корниенко на 320-е сутки его функциональное состояние было в рамках физиологической нормы с вероятностью 0,909 с минимальным адаптационным риском. В этот же период полета (на 315-е сутки) у В.Полякова отмечалось увеличение суммарной мощности спектра, что трактовалось как компенсаторное усиление активности всего регуляторного механизма.

Результаты пространственной баллистокардиографии в годовом полете М.Корниенко подтвердили ранее сделанные выводы о более экономичной работе сердца в условиях невесомости. При этом сила сердечных сокращений (ССС) практически не изменяется, а энергетические затраты (ЭСС) существенно снижаются. Так, до полета СССР была равна 4,5 Ньютона, а среднеполетное ее значение составило 4,1 Ньютона. Соответственно значения ЭСС равны 3,0 Джоуля и 1,3 Джоуля. Максимальные значения СССР и ЭСС были отмечены на 163 сутки полета (6,6 Н и 2,7 Дж). Эти изменения подтверждают активацию энергетических процессов (увеличение мощности VLF-компонента спектра ВСР), по-видимому, обусловленную увеличением адаптационного риска. На 214–250-е сутки полета отмечалась активация эрготропных механизмов регуляции (рост вазомоторных волн). При этом данные пространственной баллистокардиографии показали рост кпд сердечного насоса (соответственно 3,376 Н и 0,84 Дж на 214-е сутки и 4,381 Н и 1,265 Дж на 250-е сутки КП).

Заключение. Годовой полет М.Корниенко на МКС подтвердил основной вывод, сделанный после рекордного полета В.Полякова о том, что резервы здоровья человека вполне достаточны для сверхдлительных КП, в том числе к Марсу. Полученные научные материалы дают основания рекомендовать современные методы исследования вегетативной регуляции и сократительной способности сердца в качестве ведущих методических подходов в системе оценки функционального состояния членов экипажей будущих межпланетных полетов.

ПРОБЛЕМЫ КЛИНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В МЕДИЦИНСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Хабриев Р.У., Безмельницына Л.Ю., Исаева А.В., Мешков Д.О., Черкасов С.Н., Берсенева Е.А.

Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко, г. Москва

PROBLEMS OF CLINICAL AND ECONOMIC ANALYSIS IN MEDICAL SUPPORT SPACE FLIGHT

Khabriev R.U., Bezmelnitsyna L.Y., Isaeva A.V., Meshkov D.O., Cherkasov S.N., Berseneva E.A.

N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow

Развитие современных технологий приводит к освоению космоса и реализации космических научно-хозяйственных программ, включающих два направления: исследования (фундаментальная наука) и производительное использование космоса.

Общее количество специалистов, побывавшее в космосе, по данным на февраль 2016 года, составило 547 человек и, безусловно, будет увеличиваться. При этом, несмотря на строгий отбор и постоянное медицинское сопровождение пилотируемых космических полетов, часть из них пришлось завершить досрочно именно по медицинским показателям. При этом завершалась работа всего экипажа.

Минимальная стоимость доставки одного килограмма груза на орбиту в настоящее время составляет около 24 тысяч USD, при использовании космического корабля «Прогресс» (2,5 тонн груза при стоимости запуска

60 млн. USD). Использование других, помимо корпорации «РОСКОСМОС», поставщиков «космических» услуг и других носителей обойдется значительно дороже. При этом стоимость самих космических программ может достигать миллиардов долларов, а возможность экстренного спуска экипажа с орбиты может быть затруднена или такая возможность будет отсутствовать, например, при реализации «лунной» или «марсианской» программ.

Данная ситуация приводит к появлению особых требований к медицинским технологиям, используемым как при отборе и подготовке к космическому полету, так и во время самого полета. Очевидно, что в первом случае основное внимание должно уделяться совершенствованию методов диагностики, в то время как методы лечения и профилактики не требуют сильного расхождения с общепринятой практикой. Во втором случае крайне важное значение приобретает возможность оказания своевременной и адекватной помощи непосредственно на борту космической станции,

в условиях ограниченных ресурсов.

Во второй половине XX века в большинстве стран мира в практику организации и управления здравоохранением внедрен подход к рациональному использованию медицинских технологий, называемый «Оценка технологий здравоохранения» (далее – ОТЗ), который является основой для повышения эффективности и доступности медицинской помощи населению при ограниченных ресурсах. ОТЗ вносит вклад в совершенствование политики здравоохранения, обеспечивая руководителей здравоохранения научными данными, влияющими на принятие решения в отношении рационального использования технологий.

В основе ОТЗ лежит клинико-экономический анализ, позволяющий оценить экономическую эффективность применяемой технологии, приведя к единому знаменателю такие показатели, как безопасность, клиническая эффективность (в клинических исследованиях и в реальной клинической практике) и затраты. Последние, в свою очередь делятся на прямые (связанные с лечением заболевания), косвенные (экономические потери, к которым приводит заболевание) и неизмеримые (в данном случае – потеря престижа в результате срыва космической программы).

Прямые медицинские затраты на лечение в реальной клинической практике заболеваний могут существенно различаться, что связано со стоимостью самих лекарственных препаратов, особенностями их применения и, что немаловажно, готовностью общества платить за лечение именно этих заболеваний. В условиях космического полета значительные затраты могут быть связаны со стоимостью доставки как самих средств для медицинского применения, так и стоимостью полезного груза, место которого занимают эти препараты. Косвенные затраты, в этом случае включают риски, связанные с возможным срывом и стоимостью космических программ. Неизмеримые затраты (потеря престижа), при определенных условиях также могут становятся измеримыми, например, при отказе коммерческих партнеров от дальнейшего сотрудничества. Очевидно, что напрямую просчитать эти затраты невозможно, ответ может быть получен только при оценке рисков развития неблагоприятной ситуации и ее последствий путем математического моделирования. Таким образом, основой для принятия решения об использовании медицинской технологии (диагностической, профилактической, лечебной) в практике медицинского обеспечения полетов может быть только вероятностное описание событий, полученное в результате математического моделирования с учетом возможности развития описанных событий.

При выборе технологий для медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов необходимо также учитывать вероятность развития тех или иных состояний, связанных с особенностями изменения реактивности организма человека в условиях космического полета в целом, индивидуальными особенностями конкретного члена экипажа и его нормой реакции.

Исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что изменение реактивности организма человека в условиях космического полета затрагивает практически все системы и органы. При этом не значимые, или относительно легко устранимые в условиях Земли изменения, начинали вносить существенный вклад в формирование общего здоровья членов экипажей космических аппаратов, например сенсбилизация к бактериальными химическим аллергенам, присутствующим в условиях герметично изолированных помещений, включая орбитальную станцию. У космонавтов выявленавзаимосвязь между числом экспедиций на орбитальную станцию и общей длительностью пребывания в условиях космического полета со степенью выраженности сенсбилизации к химическим и бактериальным аллергенам, а также возможности переключения реакций иммунитета с иммунного ответа на ответ аллергический в результате нарушения функций фагоцитирующих клеток. Одним из следствий развития такого каскада событий является повышение негативной роли аллергических реакций при развитии заболеваний человека, не связанных с иммунитетом напрямую. С практической точки зрения это приведет к тому, что инфекции будут протекать тяжелее и их лечение стандартными препаратами, высокоэффективными в условиях наземной клинической практики, будет затруднено. Соответственно, клинико-экономическая оценка медицинских технологий также должна учитывать специфику изменения реактивности организма человека в условиях космического полета и возможность развития, а соответственно, необходимость профилактики и лечения таких специфических состояний.

В ряде исследований показано, что реакция системы иммунитета на воздействие бактериальных антигенов, генетически предопределена. Она может выражаться в развитии четко детерминированной и развивающейся во времени реакции, требующей комплексного подхода для ее прекращения или, наоборот, такая реакция прекратится в течение короткого времени после завершения контакта с антигеном, что также необходимо учитывать при выборе стратегии, способов и мер профилактики и лечения в условиях космического полета. Роль наследственных факторов в формировании реакции организма человека позволяет разработать новые подходы как к критериям отбора кандидатов в экипажи космических аппаратов, так и экономически обоснованному выбору медицинских технологий (включая лекарственные средства) для оказания медицинской помощи на борту этих аппаратов.

Таким образом, использование клинико-экономического анализа как элемента оценки технологий здравоохранения, имеет определенные перспективы для экспертизы эффективности использования медицинских технологий в целях медицинского обеспечения космических полетов. При этом необходимо учитывать специфику космической индустрии, связанную с особенностями формирования прямых, косвенных и неизмеримых затрат, а также особенности реактивности организма человека в условиях воздействия факторов космического полета.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕМОДИНАМИКИ ЛИЦ ОПАСНЫХ ПРОФЕССИЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ГЕРМОКАМЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Хайруллина Р.Р.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

INVESTIGATION OF HEMODYNAMIC PARAMETERS IN PERSONS OF DANGEROUS PROFESSIONS IN EXPERIMENT WITH CHAMBER ISOLATION

Khayrullina R.R.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Работа под водой является одной из наиболее сложных сфер деятельности человека и требования к здоровью этой категории специалистов являются самыми строгими. Сердечно-сосудистая система реагирует на стрессовую ситуацию одной из первых. Во многом именно поэтому система кровообращения стала традиционным объектом экспериментальных исследований в области физиологии труда лиц опасных профессий. При оценке функционального состояния организма человека наибольшее значение имеют изменения диастолического, систолического, пульсового и среднего динамического давлений.

Для определения степени влияния профессиональных факторов было проведено обследование 22 операторов подводных технических систем, средний возраст которых равен $38 \pm 6,9$ лет, рост $180 \pm 6,0$ см, масса тела $89 \pm 15,4$ кг. Успешность психофизиологической адаптации операторов оценивали по показателям системы кровообращения. На фоновом этапе (фон) параметры центральной гемодинамики регистрировали дважды. За фоновое значение принималась средняя величина. На основном (экспериментальном) этапе измерения были сгруппированы в 3 массива, интервалы между которыми составляли в среднем 9 дней. Первая группа измерений началась на 1-е сутки изоляции. На завершающем этапе (последствие) параметры центральной гемодинамики регистрировали дважды в первый же день после выхода из изоляции и рассчитывали среднее значение. Показатели центральной гемодинамики измерялись на локтевой артерии методом объемной компрессионной осциллометрии при помощи устройства «Анализатор параметров кровообращения осциллометрический» (АПКО). Данный программно-аппаратный комплекс обеспечивает регистрацию и автоматический анализ следующих показателей артериального давления: систолического (САД); диастолического (ДАД); бокового (БАД); среднего гемодинамического (АДср); пульсового (АДпульс); ударного (АДуд), а также частоты сердечных сокращений (ЧСС); минутного объема кровообращения (МОК); сердечного индекса (СИ); ударного объема сердца (УОС); общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС); удельного периферического сопротивления (УПС). Обследования проводились с учетом требований принципов биомедицинской этики. Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием программы SPSS. Полученные данные анализировали с помощью t-критерия Стьюдента (для выборок, подчиняющихся закону нормального распределения) или T-критерия Уилкоксона (для выборок, не подчиняющихся закону нормального распределения). Различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

Обсуждение результатов исследования. У 36 % обследованных было выявлено стойкое повышение значений САД. Уже на 1-е сутки изоляции были выявлены статистически значимые изменения артериального давления по сравнению с фоновыми значениями: от $132 \pm 8,9$ мм рт.ст. до $139 \pm 11,4$ мм рт.ст. ($p \leq 0,05$). Вероятно, основным стресс-фактором прессорной реакции послужило вхождение в условия изоляции.

Среднее гемодинамическое артериальное давление – величина достаточно постоянная, поскольку является одним из наиболее жестко гомеостатируемых параметров гемодинамики. Оно в большей степени, чем систолическое давление, зависит от сопротивления сосудов. При гипертонзиях различного происхождения АДср всегда выше 90 мм рт.ст. На протяжении всего обследования у большинства операторов (90 %) значения АДср превышали верхние границы нормы. В частности, максимальные значения АДср (до 117 мм рт.ст.) были выявлены у лиц с стойким повышенным САД (до 164 мм рт.ст.). Это может свидетельствовать об изменениях прекапиллярного русла и риске возникновения артериальной гипертонии. По изучаемому параметру АДср были выявлены статистически значимые изменения: фон и 1-е сутки изоляции; фон и 9-е сутки изоляции, а также фон ($p \leq 0,05$).

У 18 % исследуемых было выявлено стойкое повышенное значение ДАД. Причем, чем выше было ДАД, тем больше была частота пульса: $103 \pm 6,1$ мм рт.ст. и $87 \pm 7,2$ уд/мин соответственно. У 9 % исследуемых ДАД повысился в период изоляции, что также сопровождалось повышенным ЧСС. У остальных же значения диастолического давления в среднем составили $77 \pm 6,1$ мм рт.ст., частота пульса $70 \pm 9,8$ уд/мин. По изучаемому параметру статистически значимых изменений выявлено не было.

По величине АДпульс судят о состоянии сократительной способности миокарда. По мнению Г.Ф.Ланга и В.А.Вальдмана увеличение АДпульс в большинстве случаев рассматривается как признак неблагоприятный. Стойкое повышение значений АДпульс было выявлено у половины обследуемых. Причем у 32 % большое АДпульс зависело от

прироста систолического давления за счет прироста гемодинамического удара, а также низкой величины периферического сопротивления сосудов. Это могло быть обусловлено увеличением ригидности артериальных стенок. Однако по сравнению с первым днем изоляции на 9-е сутки наблюдалось понижение систолического и пульсового артериального давления от $139 \pm 11,4$ мм рт.ст. до $133 \pm 10,0$ мм рт.ст. и от $57 \pm 12,3$ мм рт.ст. до $50 \pm 13,6$ мм рт.ст. соответственно. Выявленная тенденция к снижению САД и АДпульс на 9-е сутки изоляции свидетельствует об изменении вагосимпатического баланса в сторону усиления влияния парасимпатического звена с сопутствующим снижением тонуса артериальных сосудов и некоторым повышением их эластичности, что согласуется с результатами ряда отечественных и зарубежных исследований. По изучаемому параметру статистически значимых изменений не было выявлено.

При сокращении сердца распространяющаяся вдоль артерии волна деформации и утолщения ее стенок получила название пульсовой волны. Известно, что скорость пульсовой волны зависит от упругости артериальной стенки. Артериальная ригидность, вызванная потерей эластичности, способствует увеличению СПВ.

Под ударным давлением понимают прирост давления крови, протекающей в сосуде в момент быстрого закрытия его просвета. На величину гемодинамического удара влияют различные факторы: скорость движения крови, величина массы крови, функциональное состояние крупных артериальных сосудов, а также степень проходимости артериол. Прирост ударного артериального давления будет тем больше, чем больше модуль упругости стенок и тем выше скорость распространения пульсовой волны.

Повышение АДуд свидетельствует о серьезном нарушении в сосудистом русле. У лиц со стойким повышением значений АДуд (27 %) наблюдались высокие значения СПВ. У остальных обследуемых изменения значений СПВ носили разнонаправленный характер. После завершения эксперимента значения АДуд восстановились до значений, зарегистрированных до начала эксперимента и находились в пределах нормы. Статистически значимые различия АДуд были выявлены между первым днем изоляции и первым днем после ее завершения ($p \leq 0,05$).

Повышение диастолического (минимального) давления более неблагоприятный признак, чем повышение систолического (максимального) артериального давления. Величина минимального давления определяется степенью проходимости или величиной оттока через систему прекапилляров. Чем больше сопротивление стенок в мелких артериях, выше частота сердечных сокращений и ниже эластическое сопротивление стенок крупных артерий, тем выше показатель диастолического давления.

При рассмотрении динамики ЧСС подробнее было отмечено, что максимальное увеличение ЧСС достигало $83 \pm 9,6$ уд/мин на 9-е сутки изоляции. Статистически значимые различия ЧСС были выявлены между фоном и 9-и сутками изоляции, фоном и 18 сут изоляции, фоном и последствием ($p \leq 0,05$).

Исходя из данных литературы, можно прийти к заключению, что основной причиной повышения давления в артериальной системе может быть понижение проходимости прекапилляров – состояние артериол и прекапилляров. Однако повышение кровяного давления при гипертонии зависит не только от изменения проходимости капиллярного русла, но и от минутного объема крови.

За счет уменьшения УОС и увеличения ЧСС минутный объем кровообращения оставался практически неизменным (без статистически значимых различий). Максимальное уменьшение УОС по сравнению с фоновыми значениями наблюдалось на 9-е и 18-е сутки эксперимента ($p \leq 0,05$).

Показатель УПС используют для составления представления об индивидуально должной величине периферического сопротивления. Причиной повышения АД является несоответствие между объемом крови, поступающей в артериальное русло и его емкостью. Критерием несоответствия является разница между величинами УПС фактическим и должным, которая не должна превышать $\pm 10\%$.

Лиц со значениями УПСф $< 10\%$ не было выявлено. В тех случаях, когда разница между величинами УПСф и УПСр не превышала $\pm 10\%$, САД и ДАД находились в пределах нормы. У лиц с высокими значениями УПСф значения ДАД находятся у нижней границы нормы. Таким образом, можно предположить, что высокие значения ДАД связаны с повышенным тонусом сосудов. Это указывает на нарастающий спазм периферических сосудов, а реакция кровообращения в целом носит явно гипертензивный характер. Это свидетельствует о выраженном истощении резервных возможностей механизмов регуляции и снижении функциональной надежности.

Исследование параметров системной гемодинамики у операторов подводных технических систем показало, что уже на первые сутки изоляции статистически значимо повышается САД. Это свидетельствует о том, что основной стресс-фактор – входение в изоляцию. Установлено, что повышенные значения АДср всегда сопровождалось высокими значениями САД. Это может свидетельствовать об изменениях прекапиллярного русла и риске возникновения артериальной гипертонии. Выявленный гипертензивный характер реакции системной гемодинамики в процессе изоляции может свидетельствовать о выраженном истощении резервных возможностей механизмов регуляции и снижении функциональной надежности системы кровообращения операторов подводных технических систем.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ И ГРИБНОЙ МИКРОФЛОРЫ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНОЙ ГАЗОВОЙ СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ Э-НОС

Харин С.А.¹, Новикова Н.Д.¹, Смирнов Ю.И.¹, Феттер В.², Ленич Й.³

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Аэрбас ДС, Имменштаад, Германия

³ Германский центр авиации и космонавтики, Бонн, Германия

STUDY OF BACTERIA AND FUNGI GROWTH ON DIFFERENT MATERIALS USED AT ISS WITH E-NOSE EQUIPMENT DURING THE SPACE FLIGHT

Kharin S.A.¹, Novikova N.D.¹, Smirnov Y.I.¹, Fetter V.², Lenic J.³

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Airbus DS, Immenstaad, Germany

³ Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt (DLR), Bonn, Germany

В настоящее время для оценки санитарно-микробиологического состояния среды обитания человека, в частности, поверхностей интерьера и оборудования, в процессе орбитальных космических полетов используется «Укладка с пробирками для взятия микробиологических проб». Отобранные пробы доставляются на Землю только транспортными кораблями «Союз», что происходит достаточно редко и не позволяет проводить оперативный анализ в случае необходимости.

В то же время в условиях длительного космического полета, включая будущие межпланетные экспедиции, важно осуществлять оперативный микробиологический контроль поверхностей интерьера и оборудования. Для таких целей была разработана научная аппаратура Э-НОС, которая на основе детекции летучих продуктов метаболизма микроорганизмов позволяет определять количественный уровень некоторых видов бактерий и плесневых грибов на поверхностях конструкционных материалов, не отправляя пробы на Землю. С использованием прибора Э-НОС в период экспедиции МКС-34/35 на борту РС МКС был проведен космический эксперимент «ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС».

В ходе эксперимента прибором Э-НОС осуществлялось исследование микробной контаминации образцов материалов и 3 поверхностей интерьера РС МКС через 2 и 4 мес с момента доставки, а также в последние дни работы экспедиции. После чего карта памяти с результатами эксперимента и планшет с образцами материалов возвращались на Землю.

В результате проведения микробиологических исследований возвращенных образцов и обработки экспериментального материала была отработана методика исследования микробной контаминации поверхностей материалов в условиях длительного космического полета. Было показано, что научная аппаратура Э-НОС позволяет проводить измерение микробной загрязненности на борту станции. Прибор достоверно показал наличие или отсутствие микрофлоры на образцах материалов, используемых в космической технике, и на поверхностях интерьера МКС, а в случае присутствия на них видов микроорганизмов, входящих в его базу данных, правильно определил их таксономическую принадлежность. Результаты измерений прибором Э-НОС во многом совпали с данными микробиологического мониторинга внутренних поверхностей РС МКС, полученными в тот же период в рамках проведения штатного медицинского контроля.

Кроме того, по итогам космического эксперимента «ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС» была оценена возможность дальнейшего использования портативной газовой сенсорной системы Э-НОС в качестве бортового варианта «микробиологической лаборатории». Для полноценного экспресс-мониторинга микробной загрязненности внутренних поверхностей МКС, позволяющего оперативно передавать данные измерения на Землю и оценивать уровни микробной контаминации в труднодоступных зонах станции, была проведена незначительная модификация прибора Э-НОС и поставлен новый космический эксперимент – «ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС-2». Данный эксперимент рассчитан на 2 года, в течение которых каждые 2 мес космонавт с помощью прибора Э-НОС будет оценивать микробную загрязненность различных внутренних поверхностей РС МКС и после каждого сеанса передавать данные на Землю. Аппаратура для нового эксперимента уже находится на борту МКС, и первые полученные результаты свидетельствуют об успешном решении поставленных задач.

ДИНАМИКА ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА ГОЛОСА ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ИЗОЛЯЦИИ

Худякова Е.П., Карпова О.И., Баранова М.В., Смолеевский А.Е.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

HUMAN VOICE PITCH DYNAMICS IN ISOLATION

Khudyakova E.P., Karpova O.I., Baranova M.V., Smoleevskiy A.E.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Спектральные характеристики голоса человека являются критериями его психического и эмоционального состояния, уровня напряженности и утомления. В процессе речевой деятельности частота основного тона непрерывно

меняется в соответствии с расстановкой ударений при произнесении звуков и слов, а также при проявлении эмоций.

Жизнь человека в изоляции сопряжена с ежедневным пребыванием в стрессовых условиях (информационная депривация, вынужденный ежедневный контакт с другими членами группы), способных периодически вызывать состояния напряженности и затем - утомления. Наземные специалисты, психологи и психоневрологи, используя методы дистанционного наблюдения, экспертных оценок и беседы, в наземных экспериментах и в космическом полете фиксируют изменения эмоционального реагирования, настроения и общего эмоционального фона, которые являются маркерами нормального психического состояния. Частотный анализ речевой деятельности человека способен дополнить результаты экспертных оценок и выявить новые особенности эмоциональной активности человека в любых экспериментальных условиях, в том числе, в условиях изоляции, моделирующих космический полет. «Поскольку частотно-амплитудные характеристики речи...отражают психические состояния человека, эти признаки используют в диагностических целях» [Зараковский Г.М., Павлов В.В., 1987].

Анализ речевого сигнала основан на синтезе 2 методов: инструментального и экспертного. Инструментальный метод дает количественную оценку психофизиологического состояния, а метод экспертного контроля позволяет получить дополнительную информацию о нервно-психическом статусе по данным семантических и психолингвистических характеристик речи [М.В. Фролов, В.Л.Таубкин, 1975; А.В.Никонов, 1985; Н.Vaic, 1981; Б.Йоханнес, Х.Хайне,1989]. Разработка инструментальных методов, направленных на поиск количественных показателей оценки эмоциональной сферы, представляется для нас важной целью в свете дальнейшего решения практических задач, связанных с оперативной психофизиологической диагностикой эмоциональной сферы и прогнозированием динамики психического состояния в космическом полете.

В эксперименте с изоляцией, проведенном на базе ИМБП в барокамере ГВК-250, получены аудиозаписи речевой деятельности 9 здоровых мужчин-добровольцев в возрасте от 25 до 43 лет. Для анализа была выбрана частота основного тона (ЧОТ) голоса. Все остальные частоты акустического спектра в настоящей работе не рассматривались.

Анализ индивидуальных показателей ЧОТ голоса (в Гц) испытуемых позволил обнаружить совпадения в основных чертах ЧОТ у 4 человек из 9. На начальном, адаптационном, этапе (первые 3 дня) и на конечном, заключительном, этапе (последние 3 дня) у этих 4 испытуемых наблюдались относительно высокие значения ЧОТ, а в промежутке между этими 2 этапами (5 дней) показатели ЧОТ снижались. У одного испытуемого картина была противоположной: в начале и в конце эксперимента показатели были сравнительно низкими, повышение ЧОТ голоса наблюдалось только в середине эксперимента. У 3 испытуемых отмечалось постоянное возрастание ЧОТ от начала к концу эксперимента, а у одного, напротив, постоянное снижение ЧОТ от начала к концу изоляции.

Полученные результаты свидетельствуют, во-первых, об индивидуальном разнообразии динамики показателей ЧОТ в ходе 11-суточной изоляции, и, во-вторых, о преобладании двух динамических профилей, отмеченных нарастанием ЧОТ от середины к концу эксперимента. Не исключено, что такая реакция указывает на эмоциональный подъем, сопровождающий близкое окончание эксперимента, предвкушение встречи с членами семьи и друзьями.

В дальнейшем для более уверенной интерпретации результатов регистрации ЧОТ целесообразно использовать эту методику в комплексе с другими методическими подходами, такими как оценка темперамента, типа нервной системы, типа вегетативного реагирования на стресс, личностных особенностей человека и т.п.

СОПРЯЖЕННОСТЬ ДИНАМИКИ СВОЙСТВ ВОДЫ С ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА И ВАРИАЦИЯМИ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ АГЕНТОВ – ОСНОВА ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ УСЛОВИЙ ПОЛЕТА ПОСРЕДСТВОМ СЕНСОРНЫХ СВОЙСТВ ВОДЫ

Цетлин В.В.¹, Белишева Н.К.², Муравьев В.С.², Мартынова А.А.², Пряничников С.В.², Михайлов Р.Е.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² Кольский научный центр РАН, Апатиты

ASSOCIATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF WATER WITH HUMAN PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE AND VARIATIONS OF COSMOPHYSICAL AGENTS - BASIS FOR DETECTION OF FLIGHT ENVIRONMENT BY SENSORY PROPERTIES OF WATER

Tsetlin V.V.¹, Belisheva N.K.², Muraviev V.S.², Martynova A.A.², Pryanichnikov S.V.², Mikhaylov R.E.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Kola Science Centre RAS, Apatity

Изучение интегральных эффектов воздействия среды в обитаемых космических аппаратах на организм человека требует специальных датчиков. Кроме того, показание датчика должно соотноситься с определенным психофизиологическим состоянием организма человека. Нами предлагается метод интегральной оценки качества среды обитания

в космическом корабле на основе показателей свойств воды, отражающих интегральное воздействие физико-химических факторов на ячейку с водой. Метод детектирования качества среды обитания основан на методе электрохимической амперометрии в электрохимической ячейке, заполненной водой высокой степени чистоты. Ежедневные измерения электрического тока и окислительного потенциала воды (ОПВ) показали, что электрические токи, окислительно-восстановительный потенциал и pH в электрохимической ячейке, заполненной водой, постоянно меняются с разной периодичностью. Обнаруженные периоды совпадали с периодами вириальных колебаний оболочек Земли, с колебаниями атмосферы, с периодами земных суток и солнечных дней, а также с сезонными колебаниями. Различные нарушения в сферах Земли нашли свое отражение в колебаниях ОПВ до 10 % и более.

Предварительные эксперименты (проведенные в Апатитах) показали, что часовые значения токов в камере с водой, измеренные по 2 различным каналам записи, значимо коррелируют со скоростью счета наземного нейтронного монитора, скорректированного на атмосферном давлении. Это означает, что свойства воды отражают эффект плотности потока первичных космических лучей (КЛ), которые проникают в атмосферу на широте исследований (станция нейтронного монитора в Полярном геофизическом институте в Апатитах). Коэффициенты корреляции между скоростью счета нейтронов, скорректированной на атмосферное давление, и электрического тока в воде для двух каналов записи ОПВ составили $r = 0,63$ и $r = 0,46$, $p < 0,05$ соответственно. Коэффициенты корреляции ОПВ с атмосферным давлением в двух каналах записи, составили $r = 0,67$ и $r = 0,58$, $p < 0,05$ соответственно. Значимые корреляции были обнаружены между значениями токов в воде и локальными вариациями геомагнитного поля (ГМП).

Выявлены значимые коэффициенты корреляции для двух каналов записи с элементами магнитного поля Земли (X, Y, Z) с некорректированным и скорректированным счетом нейтронного монитора (ноябрь 2013) с полным спектром частот variability сердечного ритма (BCP), а также со сверхнизкочастотной составляющей BCP (VLF). Было показано, что отношение низкочастотных (НЧ) к высокочастотной (ВЧ) компоненты (LF/HF) спектральных составляющих BCP у здоровых лиц достоверно коррелирует со значениями Z-компоненты ГМП и со значениями токов в камере с водой. Эти данные свидетельствуют, что возрастание ОПВ сопряжено со снижением функциональных возможностей организма.

Сопоставление записи ОПВ на 4 каналах в Москве и данных по динамике психофизиологического состояния школьников из Заполярья, отдыхающих на базе отдыха КНЦ РАН в Воронежской области с 13 июля по 1 августа 2013 г. (18 человек, сняты 222 кардиоритмограммы), показало, что между ОПВ и психофизиологическим состоянием школьников существуют значимые корреляции, проявляющиеся при записях на 4 каналах. Выявлена корреляция между ОПВ и среднесуточными значениями по выборке уровнями адаптации; показателем центральной регуляции; психоэмоциональным состоянием; индексом напряжения процессов регуляции сердечного ритма; средним RR-интервалом. Коэффициенты корреляции этих показателей с ОПВ составляют: $r = -0,50$, $r = -0,56$, $r = -0,54$, $r = 0,45$, $r = -0,50$, $p < 0,05$ соответственно для 2 каналов записи. Выявлена обратная корреляция между квадратичным отклонением полного спектра мощности сердечного ритма и ОПВ для всех четырех каналов ($p < 0,05$). Наряду с достоверными корреляциями ($p < 0,05$) ОПВ с психофизиологическими показателями, выявлены значимые связи ОМП с космическими лучами: $r = -0,47$, $p < 0,05$ на двух каналах с некорректированным на давление нейтронным счетом и скорректированным - на 3 каналах: $r = -0,53$, $r = -0,71$, $r = -0,68$, $p < 0,05$. Обнаружена связь с напряженностью межпланетного магнитного поля (ММП) на 3 каналах записи ($r = 0,72$, $r = 0,53$, $r = 0,63$, $p < 0,05$), а также вариабельностью вектора B_z ($\sigma-B_z$) на 4 каналах записи ($r = 0,67$, $r = 0,55$, $r = 0,57$, $r = 0,47$, $p < 0,05$). Кроме того, выявлены значимые корреляции с числами Вольфа на 2 каналах ($r = -0,54$, $r = -0,56$, $p < 0,05$), AE-индексом ($r = 0,45$, $r = 0,64$, $p < 0,05$), радиоизлучением Солнца (F10,7 index), $r = 0,59$, $r = 0,54$, $p < 0,05$. При этом оказалось, что уровень адаптации, так же как и ОПВ, значимо коррелирует с ММП и $\sigma-B_z$. Выявлено, что такой показатель BCP, как LF (низкочастотная составляющая BCP, отражающая вклад симпатической нервной системы в регуляцию сердечного ритма) значимо коррелирует только с ОПВ. Полученные данные свидетельствуют о том, что при возрастании возмущенности ММП, возрастает ОПВ и снижаются адаптивные возможности организма.

Наши исследования показывают, что свойства воды постоянно меняются с различной периодичностью. Динамика свойств воды совпадает с вариациями геомагнитного поля (ГМП), с плотностью первичных космических лучей (КЛ) на широте исследований, с периодами вириальных колебаний оболочек Земли, с земными и солнечными сутками, а также с сезонными колебаниями. Кроме того, была найдена связь между свойствами воды и экстремальными солнечными и геофизическими событиями, такими как солнечные затмения: в Москве (29 марта 2006 г.), в Москве, Апатитах и Нарьян-Маре (20 марта 2015 г.). Выявлена также связь между ОПВ, солнечным затмением и психофизиологическим состоянием испытуемых. Тестирование ВПП у испытуемых, проведенное накануне (19 марта 2015 г.) и в период солнечного затмения (20 марта 2015 г.) показало, что: 1 – свойства воды отражают геофизические процессы, сопровождающие солнечное затмение; 2 – психофизиологическое состояние испытуемых изменяется в период солнечного затмения и отражается в изменениях свойств воды за этот период исследований. Было показано, что максимальной фазе солнечного затмения в г. Апатиты (87 % затмения солнечного диска), что соответствовало 13:18 по местному времени, при высоте Солнца над горизонтом 21° - местный полдень, предшествует резкое падение ОПВ и резкое снижение частоты сердечных сокращений у испытуемого № 3. Коэффициент корреляции между частотой сердечных сокращений и ОПВ составил $r = 0,60$, $p < 0,05$.

Временное соответствие между среднесуточными значениями психофизиологических показателей состояния организма испытуемых лиц и среднесуточными значениями окислительного потенциала воды было показано за период с 12 мая по 10 июня 2015 г. Оказалось, что при возрастании окислительного потенциала воды у 2 испытуемых (из 3) возрастает частота сердечных сокращений, а у 3-го испытуемого, за этот же период времени, при одновременном тестировании с предыдущими 2 испытуемыми, при возрастании окислительного потенциала воды снижается чувство ситуативной и личностной тревожности. При этом следует отметить, что первые два испытуемых относились к симпатотоникам, а третий испытуемый – к ваготоникам. То есть, характер связи между психофизиологическим состоянием испытуемых и свойствами воды зависит от вклада симпатического или парасимпатического звена автономной нервной системы в регуляции сердечного ритма. Коэффициенты корреляции между частотой сердечных сокращений (Пuls, уд/мин) у испытуемых № 1 и № 2 с окислительным потенциалом воды составили $r = 0.67$ и $r = 0.59$, $p < 0,05$ соответственно. В то же время, коэффициенты корреляции показателей адаптации с окислительным потенциалом воды составили у испытуемого № 1 и № 2 $r = -0,51$ и $r = -0.26$, $p < 0,05$ соответственно, что свидетельствует о неблагоприятном эффекте для данных испытуемых, воздействия внешних агентов, проявляющихся в возрастании ОПВ.

За этот же период времени, было выявлено временное соответствие между среднесуточными значениями психоэмоционального состояния у испытуемого № 3 и среднесуточными значениями ОПВ. В частности, было показано, что возрастание ОПВ сопряжено со снижением ситуативной и личностной тревожностью по Спилбергеру-Ханину; (коэффициенты корреляции с ОПВ составили $r = -0,78$ и $r = -0,71$ соответственно, при $p < 0,05$).

Исследования, проведенные в научном отделе медико-биологических проблем Кольского научного центра РАН (г. Апатиты Мурманской обл.) выявили, что свойства воды отражают индивидуальные показатели variability сердечного ритма (BCP), а также психоэмоциональное состояние человека [Мицуков, Муравьев, Белишева, 2016]. Впервые было показано, что свойства воды отражают психофизиологическое состояние организма человека, что проявляется в синхронных колебаниях свойств воды и в динамике функционального состояния биологических систем.

Проведенные исследования показали, что вода представляет собой универсальный датчик (сенсор), соответствующий необходимым условиям: 1. Он имеет универсальную чувствительность к эффектам космофизических и геофизических агентов независимо от широты, долготы и высоты в месте регистрации. 2. Он имеет чувствительность к влиянию глобальных, локальных и интегральных воздействий различного характера. 3. Колебания в его свойствах отражены в синхронных колебаний функционального состояния биологических систем. Синхронность между реакцией биологических систем и изменений в свойствах воды под воздействием одних и тех же физических агентов показывает возможность использования водного гальванического элемента в качестве датчика для обнаружения воздействия на окружающую среду космического полета на биологические системы. В силу найденных фундаментальных свойств воды, мы предлагаем внедрить метод детектирования свойств воды в электрохимической ячейке для интегральной оценки качества среды обитания, а также для оценки условий космического полета внутри космического корабля.

ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ЭНЕРГИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ НИЗКИХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ И ГИПОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Цетлин В.В., Мойса С.С., Неведова Е.Л.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

CHANGE IN WATER OXIDIZING PROPERTIES AND ENERGY OF GERMINATION OF HIGHER PLANTS SEEDS UNDER THE EFFECT OF IONIZING RADIATION LOW DOSES AND HYPOMAGNETIC FIELD

Tsetlin V.V., Moisa S.S., Nefedova E.L.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Изучали влияние пониженного в 40 раз (~1 мкТл) геомагнитного поля и его сочетанного действия с малыми дозами α - и γ -излучения (мощность поглощенной дозы соответствовала радиационной обстановке в космических аппаратах) на физиологические характеристики семян высших растений и окислительно-восстановительные свойства воды. Установлено снижение всхожести и замедления развития проростков семян как при прямом, так и при опосредованном через воду действии пониженного геомагнитного поля. При опосредованном действии через воду малые дозы γ -излучения снижали, а α -излучения усиливали отрицательное действие гипомангнитного поля на ростовые характеристики семян, т.е. ионизирующее облучение было доминирующим фактором в их сочетанном действии. Выявлено увеличение величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) воды под влиянием низкоинтенсивного α -облучения (^{239}Pu), γ -облучения (^{137}Cs) и по мере ослабления индукции магнитного поля. Увеличение величины ОВП воды свидетельствует о закономерном «снижении внутренней энергии молекул воды» и возрастании ее окислительных свойств, которое, на наш взгляд, явилось причиной замедления прорастания семян. По-видимому, в условиях пониженного геомагнитного поля в молекулах воды снижается энергия возбуждения электронов в связи с отсутствием накачки энергии от геомагнитного поля. Гипомангнитные условия изменяли окислительно-восстановительные свойства воды: величина ОВП воды возрастала, а pH падала, т.е. увеличивались окислительные свойства. При сочетанном действии гипомангнитного поля и радиационного облучения в малых дозах вода меняет свои окислительно-восстановительные

свойства в зависимости от вида и поглощенной дозы источника радиации. Вода, подвергнутая облучению α -частицами в гипомагнитных условиях, еще больше (на 7 %) усиливала свои окислительные свойства по сравнению с контрольной водой в гипомагнитной камере, гипомагнитные условия влияли на воду, подвергнутую γ -облучению, повышая ее восстановительные свойства, что отразилось на ростовых характеристиках семян высших растений. На наш взгляд, именно вода является главным звеном в действии пониженного геомагнитного поля и ионизирующего облучения на биообъекты, которое опосредуется за счет изменения свойств и структурного состояния воды. Именно в этом, как представляется, заключена возможность управления «степени неблагоприятности» среды обитания в отсеках космического объекта.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТА ИНИЦИАЦИИ ТРАНСКРИПЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА В ТКАНЯХ DANIO RERIO.

Черкасов А.В.¹, Аршавский К.В.¹, Девятяров Р.М.¹, Сычев В.Н.², Левинских М.А.², Гусев О.А.^{1,3,4}

¹ Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский федеральный университет, Казань

² Москва Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

³ Отдел геномных технологий, Центр естественнонаучных технологий, РИКЕН, Иокогама

⁴ Инновационная программа превентивной медицины и диагностики, Центр естественнонаучных технологий, РИКЕН, Иокогама

CHANGING OF TRANSCRIPTION INITIATION FORM IN DANIO RERIO TISSUES UNDER THE FACTORS OF LONG-TERM SPACE FLIGHT

Cherkasov A.V.¹, Arshavsky K.V.¹, Sychev V.N.², Levinskikh M.A.², Gusev O.A.^{1,3,4}

¹ Institute of Fundamental Biology and Medicine, Kazan Federal University, Kazan, Russia;

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

³ Division of Genomic Technologies, CLST, RIKEN, Yokohama, Japan;

⁴ Preventive Medicine & Diagnosis Innovation Program, CLST, RIKEN, Yokohama, Japan

Оценка влияния факторов долговременного космического полета на живые организмы остается одной из актуальных проблем космической биологии, исследование такого воздействия на молекулярном уровне может быть использовано для предсказания и предупреждения негативных эффектов пребывания в космосе у человека. Среди модельных организмов, используемых для изучения подобных эффектов, отдельно стоит выделить животных, обитающих в водной среде, в связи с их меньшей чувствительностью к изменению гравитации — основного фактора продолжительных космических полетов. Ряд экспериментов, проведенных на моделях водных позвоночных животных, как в условиях симулированной микрогравитации, так и пребывания на борту Международной Космической Станции (МКС), показал существенные изменения экспрессии различных групп генов. В связи с этим целью данного исследования стало изучение влияния космического полета на активность сайтов инициации транскрипции (промоторных областей генов) в масштабе всего генома в различных тканях Данио *D. rerio* с использованием метода кэп-анализа экспрессии генов (CAGE).

Материал и методы. Две группы по 18 особей *D. rerio* были использованы в качестве контрольной и экспериментальной и содержались в аквариумах с идентичными параметрами. Рыбы экспериментальной группы были запущены на МКС на космическом корабле «Союз». Непосредственно после прибытия часть особей была зафиксирована с использованием РНК-стабилизирующего реагента. Прочие рыбы из группы космического эксперимента были перемещены в аквариум Aquatic Habitat Aquariums для дальнейшего развития. Следующая часть особей была отобрана для фиксации по истечении 36 дней обитания в аквариуме. Остальная часть экспериментальных животных в живом состоянии была возвращена на Землю и зафиксирована через два дня и через 33 дня после возвращения. Животные контрольной группы, содержащиеся в земных условиях, были зафиксированы в тех же временных интервалах, что и особи экспериментальной группы. В дальнейшем, полученные образцы тканей были секвенированы с использованием протокола CAGE, позволяющего обогатить 5' концевую фракцию мРНК, соответствующую точкам инициации транскрипции. Последующий анализ данных включал картирование единичных прочтений, выделение кластеров прочтений соответствующих активным промоторным областям и ассоциацию выявленных промоторов с генами.

Результаты и обсуждение. Анализ транскрипционного ответа на воздействие факторов долговременного космического полета на уровне активности промоторов позволил выявить группы генов значимо изменяющих экспрессию, по сравнению с земными условиями. Более 600 таких генов активируется в начальной стадии космического полета в ответ стресс при изменении ключевых физических параметров среды обитания, однако в дальнейшем происходит снижение числа дифференциально экспрессируемых генов до 154 на 36-е сутки полета за счет адаптационных процессов. Помимо этого, показан ряд изменений на уровне архитектуры промоторных областей генов под воздействием

факторов космического полета. Среди генов, изменяющих активность в космосе, отмечены гены, кодирующие транскрипционные факторы Fos, FosB и Jdp2, что может свидетельствовать о наличии особой системы регуляции транскрипции, чувствительной к условиям космического полета. Проведенный анализ представленности категорий Генной Онтологии (GO) для генов изменяющих экспрессию в условиях космоса показал, что наиболее представленными являются категории связанные с циркадным ритмом, что подтверждает влияние микрогравитации на регуляцию ритмических процессов у животных. Суммарно, проведенные исследования позволяют выявить воздействие факторов длительного пребывания в космосе на организм *D. rerio* на молекулярно-генетическом уровне.

«Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров»

ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ И СУММАРНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ РИСК ДЛЯ КОСМОНАВТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЁТАХ НА МКС

Шафиркин А.В.¹, Бенгин В.В.¹, Бондаренко В.А.¹, Митрикас В.Г.¹, Панасюк М.И.², Цетлин В.В.¹, Шуршаков В.А.¹

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

DOSES AND TOTAL RADIATION RISK FOR COSMONAUTS AFTER LONG-TIME FLIGHTS ON ISS

Shafirkin A.V.¹, Benghin V.V.¹, Bondarenko V.A.¹, Mitrikas V.G.¹, Panasyuk M.I.², Tsetlin V.V.¹, Shurshakov V.A.¹

¹ State Scientific Center of Russian Federation – Institute of Biomedical Problems Russian Academia of Sciences, Moscow

² Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics MSU, Moscow

Исследование закономерностей формирования поглощенных доз в различных органах тела человека в условиях длительных космических полетов представляет одну из задач, решение которой необходимо для повышения точности оценки радиационной опасности и радиационного риска для космонавтов. Поэтому для ее решения, несмотря на большое количество дозиметрической аппаратуры на борту орбитальных станций, применяют также наиболее совершенные расчетные методики определения поглощенных и эквивалентных доз.

Более точные расчетные методики используют современные представления о моделях источников космических излучений, учитывают закономерности прохождения излучений через защитные материалы космических аппаратов и орбитальных космических станций и вклад вторичных излучений: нейтронов и ядер, получающихся в результате взаимодействия первичных потоков галактических космических лучей с веществом защиты. При этом учитывается реальное распределение защищенности рабочих мест конструкциями и оборудованием на российском сегменте международной космической станции (РС МКС). Проводится с использованием шарового, антропоморфного и геометрического фантомов модели тела человека расчетное определение функций экранированности (ФЭ) разных органов с учетом экранирования их как веществом защиты, так и телом космонавта. ФЭ представляют собой плотности распределения вероятности по толщине защиты. Эти ФЭ непосредственно используются для расчетов поглощенных доз в различных органах и тканях.

Поскольку эти величины доз существенно различаются при нахождении космонавтов в различных отсеках МКС, учитывалась реальная циклограмма работ на станции в течение суток. Кроме того были рассмотрены 4 варианта пространственной ориентации фантома относительно оси станции: взгляд в сторону ПХО (вперед), назад, в сторону правого и левого борта. Затем эти данные усреднялись. Как видно из изложенного, расчетное определение поглощенных доз в органах и тканях представляет собой достаточно сложную задачу и она к настоящему времени успешно решена. В работах (Бондаренко В.А., 2007; Бондаренко В.А., Митрикас В.Г., 2008; Митрикас В.Г., 2011, 2014, 2015) представлены расчетные оценки поглощенных доз в различных критических органах космонавтов: коже (КЖ), хрусталике (ХГ), кроветворной системе (КТС), а также величины среднетканевых поглощенных доз при осуществлении различных экспедиций на МКС (дозы на эти органы лимитируются нормативными документами в России и других странах). В этих же работах проводились также расчетные оценки локальных поглощенных доз в тех местах, где размещались приборы оперативного дозиметрического контроля и проводились фантомные измерения для сравнения результатов расчетов и реальных измерений поглощенных доз.

На основе представленных в литературе нормативных зависимостей коэффициентов качества космических излучений от линейной передачи энергии (МКРЗ Публикация 26; ГОСТ 25645 218-90 по проблеме «Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете» (БРЭКАКП)) представлены также расчетные величины эффективных доз и эквивалентных доз в указанных критических органах. Значения среднетканевых эквивалентных доз являются очень важными, поскольку они определяют суммарный в течение всей жизни дополнительный радиационный

риск смертности из-за возможности развития в отдаленном периоде рака, болезней системы кровообращения и ряда других болезней в результате склеротических изменений в органах и тканях. Ранее нами оценены возможные дозы за год применительно к орбитальным полетам на станции «МИР» и возможные неблагоприятные отдаленные последствия (Шафиркин А.В. и др., 1999, 2000; Петров В.М. и др., 2001). В частности суммарный радиационный риск в течение жизни оценивается равным 0,01 % на 1 мЗв среднетканевой дозы. В этих работах для полетов на станции «МИР» в период максимума и минимума солнечной активности (СА) оцениваемый уровень среднетканевой дозы при длительности полета 1 год составил бы 160 и 193 мЗв, а суммарный радиационный риск 1,6 и 1,93 % соответственно. При этом, при годовом полете в период минимума СА дополнительный риск развития опухолей для космонавтов в возрасте 30, 40 и 50 лет может составить 1,03; 0,67 и 0,52 % соответственно, сокращение средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ) может быть в пределах 0,61– 0,51 года.

Как показано в работах (Шафиркин А.В. и др., 1999, 2002; Петров В.М. и др., 2001) при рассмотрении радиационной обстановки на станции «МИР», показания камеры (D2) радиометра Р-16 с достаточно хорошей точностью соответствовали значениям локальных поглощенных доз с учетом реальной циклограммы нахождения космонавтов в различных отсеках станции. Используя расчетные материалы, данные индивидуальных сборок ИД-3М, характеризующих дозу на кожу (КЖ), и данные фантомных измерений с помощью стандартизованного шарового фантома, удалось оценить дозы на ХГ, (КТС) и получить значения переходных коэффициентов от показаний камеры D2 к среднетканевой поглощенной дозе. Эти коэффициенты составили для периода минимума СА 0,35, а для максимума СА 0,7, учитывая более высокий вклад ГКЛ и более жесткий спектр излучения в максимуме СА. Используя расчетные значения коэффициентов качества для ГКЛ и протонов радиационного пояса Земли (РПЗ), а также оцениваемый 20 % дополнительный вклад вторичных нейтронов в эквивалентную дозу, были получены значения суммарных за экспедицию среднетканевых эквивалентных доз и величины суммарного радиационного риска.

Оперативный контроль радиационного воздействия на космонавтов на международной космической станции (МКС) осуществлялся с помощью целого набора активных и пассивных дозиметров. Изначально в служебном модуле МКС (СМ МКС) над панелью потолка № 327 был установлен радиометр Р-16, имевший как и на станции «МИР» два независимых канала регистрации камера (D1) с защитным экраном толщиной 3 г/см² и не экранированный канал (D2). Начиная со 2 августа 2001 года, на Землю стала поступать информация о динамике дозовых полей в СМ МКС, измеряемой четырьмя полупроводниковыми дозиметрами ДБ-8, установленными в различных точках станции (Бенгин В.В. и др. 2013, 2015). Кроме того для оперативного контроля были использованы приборы: тканеэквивалентный пропорциональный счетчик ТЭПС, Пилле и Люлин.

В целях установления величин среднетканевых эквивалентных доз для членов экипажей при полетах на РС МКС очень полезным оказалось наличие экспериментальных данных измерения поглощенных доз ионизационными камерами D2 радиометра Р-16, установленных на ОС «Мир» и МКС, в условиях совместных полетов в 2000 г. на близких по высоте орбитах. Среднесуточные значения поглощенных доз на РС МКС в течение сентября-октября 2000 г оказались в 1,33 раза меньшими, чем показания камеры D-2 радиометра Р-16 на станции «Мир», что частично могло быть связано с большей насыщенностью оборудованием на МКС и большей защищенностью отсеков. Измерения, проведенные на МКС в последующих 2-11 экспедициях с помощью ионизационной камеры D-2 радиометра Р-16, датчиков приборов ДБ-8, «Пиле», расположенных в различных отсеках станции, подтвердили на основе построения функции экранированности различных отсеков станции, что в связи с добавлением оборудования, защищенность РС МКС увеличилась (Цетлин В.В. и др., 2005, 2006).

Следует подчеркнуть, что среднее значение поглощенных доз наименее защищенного полупроводникового дозиметра ДБ8-1 и наиболее защищенного ДБ8-4 с точностью до 1-2 % совпадает со средним значением по всем 4-м дозиметрам ДБ-8 практически для всех экспедиций и также совпадает с данными, получаемыми с камеры D2 прибора Р-16 за 1-7 экспедиции на МКС. При заметном снижении показаний прибора Р-16, начиная с 8 экспедиции, и заменой ее показаний данными прибора Пилле, тем не менее, средние значения показаний приборов ДБ-8 всегда оказывались более высокими и именно они были взяты за основу для оценок величин среднетканевых доз за экспедиции. Следует также принять во внимание, что если расчетные величины среднетканевых эквивалентных доз на станции «МИР» превышали экспериментально полученные значения эффективных доз на 10 % (Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г., 2009), то с учетом более жесткого спектра излучений на МКС различие между расчетными значениями эффективной и среднетканевой дозы, а также эквивалентной дозой на КТС составили лишь единицы % (Митрикас В.Г., 2008, 2015).

Как показал анализ данных интегральных термолюминесцентных дозиметров (индивидуальных сборок ИД-3М), их значения, характеризующие дозу на кожу (КЖ), составляли в среднем 0,8 от средних значений дозиметров ДБ-8. Расчетные значения доз на КТС, с учетом циклограммы размещения космонавтов на борту МКС, были меньше расчетных значений доз на кожу в 1,4 раза (0,71 от дозы на кожу и 0,57 от средней дозы дозиметров ДБ-8). Доза на кроветворную систему оценивалась как 0,7 по отношению к показаниям камеры (D2) радиометра Р-16. Для получения максимальных оценок среднетканевых поглощенных доз на КТС (и равных им значений среднетканевых доз) мы приняли, что они составляют 70 % от средних значений дозиметров ДБ-8. В работе будут представлены значения среднетканевых эквивалентных доз для всех экспедиций МКС с использованием представленных в литературе значений

коэффициентов качества (Бондаренко В.А., Митрикас В.Г., 2008; Митрикас В.Г., 2015), и данных о дополнительном 30 % вкладе нейтронов в эквивалентную дозу (Shurshakov V.A. и др., 2014; Хулапко С.В. и др., 2016). Как показали расчеты, суммарные значения среднетканевых доз за экспедиции не превысили 154 мЗв, а суммарный радиационный риск 1,5 %. Кроме того, в работе будут приведены суммарные значения среднетканевых доз в предположении проведения полетов продолжительностью до года и оценены максимальные значения суммарного радиационного риска для годовых полетов, которые будут сравнены с дозами и рисками после завершения полетов на станции «МИР».

ЭФФЕКТЫ КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ДОЗЫ, МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА В ПОЛЕТЕ, А ТАКЖЕ СУММАРНОГО В ТЕЧЕНИЕ ВСЕЙ ЖИЗНИ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ КОСМОНАВТОВ – СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ДЛЯ РОССИИ ПОДХОДЫ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ И УСТАНОВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ДОЗ В ПРОЦЕССЕ ПОЛЕТОВ, А ТАКЖЕ ЗА КАРЬЕРУ

Шафиркин А.В., Шуршаков В.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE COSMIC RAYS EFFECTS ON BASIS OF GENERALIZED DOSE, METHODS OF DETERMINATION RISK IN FLIGHT AND LIFETIME TOTAL RADIATION RISK OF COSMONAUTS – SPECIFIC FOR RUSSIA APPROACHES TO RADIATION STANDARDIZATION AND ESTABLISH IN FLIGHT AND FOR CAREER DOSES LIMITS

Shafirkin A.V., Shurshakov V.A.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Для понимания характера изменения подходов к нормированию и основных критериев для обоснования пределов доз для космонавтов при осуществлении космических полетов (КП) разного класса и продолжительности важно рассмотреть последовательное их совершенствование в ретроспективе в нормативных документах СССР (России) и США. Обеспечение радиационной безопасности в период 1960–1964 гг. осуществлялось сотрудниками Института биофизики Минздрава СССР и ГНИИИ авиакосмической медицины МО СССР, а в последующие годы эту задачу решали в большей мере в Институте медико-биологических проблем Минздрава СССР. В последующие годы разработка нормативов по радиационной безопасности проводилась в указанных 3 институтах применительно к более опасным радиационным условиям межпланетных полетов. Аналогичные разработки проводились в те же годы и в США. Вопросам опасности пилотируемых полетов в космос и решению вопросов нормирования был посвящен ряд докладов сотрудников Института биофизики Минздрава СССР, ИМБП и ГНИИИ авиационной и космической медицины МО СССР на международных конференциях в Афинах, Париже и Варшаве в 1964–1965 гг. Первая редакция Норм 1965 г. была предназначена для кратковременных орбитальных полетов, а также для полетов вне магнитосферы на трассе Земля–Луна–Земля с общей продолжительностью до 30 сут.

Величины допустимых доз были основаны на анализе большого объема радиобиологических данных по острому облучению крупных млекопитающих в различных дозах, данных по аварийному облучению людей. При их разработке был обобщен также большой клинический материал, касающийся осложнений при лучевой терапии в нашей стране и за рубежом. При нормировании радиационного воздействия применительно к кратковременным полетам основная задача сводилась к ограничению уровня острого облучения за счет протонов солнечных космических лучей (СКЛ) с целью недопущения сколько-нибудь значимого снижения работоспособности космонавтов за счет развития первичной лучевой реакции (ПЛР) средней степени тяжести и достаточно выраженных цитопенических реакций в системе кроветворения. В качестве допустимой дозы для кратковременных полетов в России была рекомендована доза 15 сЗв, в основном обусловленная протонами СКЛ при развитии мощных солнечных протонных событий (СПС). При этой дозе отсутствуют какие-либо соматические эффекты, а могут отмечаться лишь минимальные кратковременные сдвиги в системе кроветворения. Ввиду стохастического характера воздействия протонов солнечных вспышек и жестких ограничений по толщине и массе защиты космического аппарата, вводилось также понятие дозы оправданного риска (ДОР). В качестве ДОР рекомендовали дозу 50 сЗв на костный мозг (на глубине 5 см ткани), при которой лишь в единичных случаях могут иметь место легкие проявления первичной лучевой реакции и слабые изменения в системе кроветворения. Было рекомендовано использовать также понятие «критическая доза», равная 125 сЗв, которая устанавливалась как критерий для решения вопроса о возможности дальнейшего продолжения полета в условиях ухудшенной радиационной ситуации (Григорьев Ю.Г. и др., 1965; Григорьев Ю.Г., 1975). В США первые нормативы использовали близкие к российским регламенты доз. В частности, для программы «Аполлон» была утверждена допустимая (планируемая) доза 25 сЗв на глубине 5 см (точка, соответствующая средней глубине для кроветворной ткани) и максимальная оперативная доза 50 сЗв на глубине 5 см.

Пределы доз для астронавтов мало изменялись за период с 1970 г. (Radiation Protection Guides and Constraints for Space Mission, 1970) по настоящее время. Это связано с постоянством критерия недопущения снижения работоспособности во время полета, развития ПЛР средней степени тяжести и глубоких изменений гемопоэза. Для полетов до

30 сут величина дозы на костный мозг составляла 25 сЗв, а для полетов до года снижалась с 75 до 50 сЗв. Годовой предел дозы на хрусталик был увеличен с 112 до 200 сЗв, а предел дозы на кожу с 225 до 300 сЗв.

Во временных нормах радиационной безопасности КП, утвержденных в СССР в 1975 г. (ВНРБ-75), как и в нормативах США (Radiation Protection Guides and Constraints for Space Mission, 1970) предельно допустимая доза (ПДД) за всю карьеру космонавтов и астронавтов была установлена равной 4 Зв. Этот предел основан на допущении, что суммарная дополнительная величина смертности от рака в течение жизни за счет всех видов радиационного воздействия не должна была превышать 3 %. В последующих нормативах США, включая современные, использовался тот же критерий радиационной опасности применительно к оценкам риска отдаленных неблагоприятных последствий. Учитывались новые данные о более высоких значениях риска канцерогенеза на 1 Зв и пределы доз устанавливались различными в зависимости от пола и возраста космонавтов. Так для астронавтов 55 лет в качестве предельной дозы за карьеру принимали достаточно высокое значение 2,9 Зв.

В отличие от подходов нормирования в США в СССР (в России) был разработан специальный дозиметрический функционал «обобщенная доза» и алгоритм для приведения сложного характера радиационных воздействий космических излучений к условиям стандартных радиационных воздействий на Земле (ГОСТ 25645.201-83). Этот алгоритм учитывал сложный состав и биологическую эффективность космических излучений, учитывал мощность дозы и характер распределения дозы во времени, пространственную неравномерность поглощенных доз по телу, а также действии комплекса факторов КП. В последующем расчеты проводились отдельно применительно к определению риска ближайших неблагоприятных эффектов во время длительных полетов, а также к установлению риска отдаленных неблагоприятных последствий для здоровья космонавтов.

В СССР была разработана и применена к вопросам обеспечения радиационной безопасности КП модель формирования поражения организма при протяженных воздействиях радиации, учитывающая восстановительные процессы на клеточном, тканевом и организменном уровнях (модель эффективной остаточной дозы), которая позволила более точно описать значительное число экспериментальных радиобиологических данных по сравнению с моделью (Н.А. Blair, 1962, 1964). Была разработана также модель равноценной дозы ГОСТ 25645. 219-90, учитывающая влияние пространственной неравномерности поглощенной дозы по телу биологического объекта на радиационный ответ организма. Эта модель позволяет точнее описывать опасность для организма космонавтов в случае развития мощных СПС. Эта модель представлена в ГОСТ 25645. 219-90. Это позволило более точно оценивать опасность воздействия на космонавтов СКЛ и протонов радиационных поясов Земли (РПЗ). Кроме того, на основе большого массива экспериментальных данных на животных была разработана модель радиационной скорости смертности млекопитающих, описывающая характер изменения зависимости коэффициентов смертности от возраста после острых облучений, а также в процессе хронического радиационного воздействия, позволяющая впервые в мире оценивать суммарный радиационный риск в течение всей жизни космонавтов после завершения длительных орбитальных и межпланетных КП.

В рамках тем по обоснованию норм радиационной безопасности длительных КП под общим названием «Разработка государственного стандарта по нормам радиационной безопасности космических полетов», которые осуществлялись по заданию Федерального Управления Медбиозэкстрем в период 1994–2000 гг., сотрудниками ГНЦ РФ-ИМБП совместно с ГНЦ РФ-ИБФ Минздравсоцразвития России, НИИЦ РБКО при ФУ Медбиозэкстрем и ГНИИИ авиационной и космической медицины МО России в 1999 г. был разработан новый вариант ГОСТ-а, вместо ГОСТ 25645.215-85. На основе этих материалов был в 2004 г. представлен санитарно-гигиенический документ Методические указания «Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах» (МУ 2.6.1. 44-03-2004). Этот документ был утвержден ФУ «Медбиозэкстрем» и Роскосмосом. В нем не столько акцентировали внимание на ограничении возможного радиационного риска в полете, который являлся определяющим в прежнем нормативном документе ГОСТ 25645.215-85, сколько на 10 % ограничении значений суммарного радиационного риска в течение всей жизни космонавтов и возможного сокращения средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ), которые рассматривались ведущими критериями для ограничения доз [Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г., 2009]. Предел среднетканевой дозы за карьеру космонавтов был снижен в 4 раза до 1 Зв и показано, что он является независимым от возраста и пола.

На современном этапе развития космонавтики, в связи с существенным увеличением длительности полетов и сложности выполняемых полетных программ, обоснован новый нормативный документ. В представляемой в 2016 г. последней редакции этого документа Методические указания МУ 2.6.1. 44-03-2016 «Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах на высотах до 500 км.» (ОКОКП-2016), учитывая длительности орбитальных полетов до года, возможное развитие астенизации организма космонавтов в условиях комплексного воздействия стрессовых факторов полета, предел дозы за год для кроветворной системы был снижен с 50 до 30 сЗв, предел дозы от СКЛ от одного СПС ограничен уровнем 10 сЗв, предел дозы за месяц снижен до 15 сЗв. Пределы доз за год на хрусталик и кожу космонавтов в МУ 2.6.1. 44-03-2016 также снижены в 1,5 раза и приведены в соответствие с уровнями для планируемого повышенного облучения в соответствии с НРБ-99/2009. Доза на хрусталик за год снижена со 100 до 60 сЗв, а на кожу с 300 до 200 сЗв. Пределы доз на хрусталик и кожу за карьеру космонавтов не изменены и составили 2 и 6 Зв соответственно. В работе сопоставляются пределы доз для космонавтов России и астронавтов США, Европейского союза, Канады и Японии.

МЕТОДОЛОГИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «КОНТЕНТ»

Швед Д.М., Юсупова А.К.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

METHODOLOGY AND PRELIMINARY RESULTS OF SPACE EXPERIMENT "CONTENT"

Shved D.M., Yusupova A.K.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Решение проблемы оптимизации коммуникации «экипаж–ЦУП» подразумевает необходимость изучения взаимосвязей между особенностями коммуникации и характеристиками внутри- и межгруппового взаимодействия. Кроме того, используемые в настоящее время методы психоневрологического анализа радиопереговоров «экипаж–ЦУП» нуждаются в автоматизации и объективизации (повышении оперативности, минимизации влияния личности эксперта). Целью эксперимента «Контент» является апробация нового метода оперативной оценки психофизиологического состояния космонавта, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж–ЦУП) взаимодействия на основе количественного анализа деятельности космонавтов по коммуникации с операторами ЦУП и специалистами. Для выполнения эксперимента используются две методики: контент-анализ радиопереговоров «экипаж–ЦУП» по ряду верифицированных психологически релевантных категорий и опросник «Социальная карта» (Sociomapping), посвященный субъективной оценке межгрупповой коммуникации и заполняемый космонавтами в ходе полета. Используется переработанная и дополненная в соответствии с особенностями реального космического полета методика контент-анализа, ранее апробированная в модельных экспериментах (SFINCSS'99 и MARS-500). Для выявления дополнительных параметров коммуникации с целью углубленного мониторинга индивидуального психоэмоционального статуса космонавтов, в рамках КЭ «Контент» применяется подсчет в речи членов экипажа содержательных признаков использования стратегий совладания со стрессом (копинг-стратегий) по [Р.Лазарусу и С.Фолкману (1984)]. В ходе эксперимента также изучаются стилевые особенности коммуникации членов экипажа РС МКС, отражающие их личностные характеристики, подход к взаимодействию с наземными коммуникантами и выполнению профессиональной деятельности, стратегии разрешения проблемных ситуаций. Также методология анализа коммуникации «экипаж–Земля» дополнена оценкой ролевой структуры межгрупповых взаимодействий.

Полученные в ходе экспедиций МКС-43–46 количественные и качественные данные подтвердили высокую значимость и актуальность изучения коммуникации между членами экипажа и ЦУП, контент-анализ которой позволяет неинвазивно (не оказывая влияния на деятельность экипажа) и с минимальной субъективностью оценить как психоэмоциональное состояние космонавтов, так и особенности внутри- и межгруппового взаимодействия, а также индивидуальных стилей и поведенческих стратегий. Был выявлен ряд закономерностей в речевом поведении членов экипажа, проявляющихся практически в каждой экспедиции. Принятие роли лидера (командира станции, старшего по сегменту) существенно влияло на коммуникативное поведение космонавтов, приводя к росту инициативы, активизации использования копинг-стратегий, выражений поддержки (одобрения, подбадривания, юмористические высказывания), а также пожеланий, иногда переходящих в завышенные требования. Проявляя инициативу, космонавты иногда шли на конфронтацию с наземными коммуникантами (в частности, специалистами), стремясь обеспечить полное понимание задач выполняемой деятельности и ее выполнение с учетом известных им условий. Вместе с тем, космонавты активно поддерживали тех коммуникантов, которые принимали сторону экипажа, выражая доверие к его компетенции и проявляемым им инициативам. На характеристики коммуникации космонавтов опосредованно (через изменения в психоэмоциональной сфере) оказывали влияние значимые события, происходившие в ходе полета (смена экспедиций и изменения численности экипажа, внекорабельная деятельность, нештатные ситуации и т.д.).

Оптимальный стиль общения операторов ЦУП и специалистов Земли с экипажем, согласно нашим наблюдениям, включает: личную адресность сообщений, демонстрацию заинтересованности в качестве выполнения методик и операций и в возникающих проблемах, выражение готовности оказать возможную помощь и поддержку, выражение доверия членам экипажа (их компетенции), а также принятие ответственности, включая признание ошибок Земли в составлении радиограмм, инструкций и рекомендаций, предложенных к исполнению экипажу. Такой стиль коммуникации позволяет избежать межгрупповой напряженности и потенциальных конфликтных ситуаций, а также поддержать позитивную мотивацию экипажа на выполнение программы научных экспериментов.

ИЗУЧЕНИЕ СТРАТЕГИЙ СТРЕСС-КОПИНГА КОСМОНАВТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОБЩЕНИЯ С ЦУП В ДОЛГОВЕРМЕННОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Швед Д.М., Юсупова А.К., Суполкина Н.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

STUDY OF COSMONAUT STRESS-COPING STRATEGIES IN CREW-MCC COMMUNICATION DURING PROLONGED SPACE FLIGHT

Shved D.M., Yusupova A.K., Supolkina N.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

В ситуации длительного космического полета на космонавта действует целый комплекс стресс-факторов, обусловленных как особенностями соматического состояния организма человека в ситуации микрогравитации, так и спецификой функционирования психической деятельности в условиях жизни на орбите. Длительное пребывание человека на борту космической станции выдвигает «чрезмерные или превышающие ресурсы человека требования», в ответ на влияние которых формируются адаптационные поведенческие стратегии (копинг-стратегии)—«действия в когнитивной и поведенческой областях, направленные на преодоление стрессогенной ситуации (Suedfeld P., 2009, 2014). Одной из задач психоневрологического контроля за состоянием здоровья человека на орбите является обеспечение безопасности полета посредством профилактики возникновения проблем с соматическим и физическим самочувствием космонавта. Своевременная диагностика стресса у участников полета позволит снизить, а в определенных ситуациях нивелировать негативное воздействие факторов космического полета.

В рамках ресурсного подхода к анализу стратегий преодоления стрессогенных ситуаций R. Lazarus, S. Folkman (1984) рассматривают широкий спектр используемых в ходе копинга ресурсов – как средовых (доступность инструментальной, моральной и эмоциональной помощи со стороны социальной среды), так и индивидуально-психологических (мотивация, навыки и способности индивида, состояние его здоровья). На основании степени эффективности решения проблемной ситуации выделяют позитивные и негативные способы совладания со стрессом. Независимо от вида факт применения человеком в той или иной ситуации копинга является косвенным признаком наличия у него стресса. Психологически проявления копинга обнаруживаются в речевом поведении, в общении космонавтов между собой и с Центром управления полетами (ЦУП).

Общение в контуре Борт-Земля является надежным источником получения психоневрологической информации о космонавтах. Экспертная оценка радиопереговоров является штатной процедурой медицинского контроля. Традиционно оценка психологического состояния космонавта проводится качественно, по определенным параметрам. Слабой стороной данного подхода является зависимость результатов от субъективного мнения и личного опыта экспертов. В качестве альтернативного подхода для повышения объективности данных сотрудники ИМБП разрабатывают модификации метода контент-анализа для получения психологической информации об участниках космического полета. Суть метода: сведение массива объема общения к определенному набору категорий на основе общих правил кодирования. Этапы контент анализа подразумевают качественную, а затем количественную обработку экспериментального материала, определенные этапы анализа материала могут быть автоматизированы.

Основным источником информации в случае исследования посредством контент-анализа совладания со стрессом является выделение копинг-стратегий при обсуждении проблемных ситуаций в ходе общения экипажа с ЦУП, которые периодически возникают в процессе длительного космического полета. Ситуации, в которых от космонавтов требуются дополнительные усилия, например, необходимость выполнения незапланированных работ, также актуализируют волевые и физические усилия, копинга, то есть так же являются предметом исследования. (Гущин и соавт., в печати). В результате мы получаем индивидуальную картину формирования копинг-стратегий космонавта на протяжении всего полета, по наличию которых можно сделать вывод о возникновении стресса на том или ином этапе нахождения на орбите.

Исследование стратегий стресс-копинга космонавтов на основе анализа общения с ЦУП в долговременном космическом полете имеет важное практическое значение, а именно позволит разработать систему практических рекомендаций для психоневрологов по мониторингу копинг-стратегий экипажа в его переговорах с ЦУП и систему рекомендаций по повышению эффективности информационного обмена между экипажами и Землей.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРИРОДЕ ГИПОГРАВИТАЦИОННОЙ АТОНИИ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ И ЕЕ СИГНАЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЯХ

Шенкман Б.С.¹, Петрова И.О.¹, Тыганов С.А.¹, Мирзоев Т.М.¹, Вихлянцев И.М.²

¹ Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

² ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино

NEW DATA ON THE NATURE OF HYPOGRAVITY-INDUCED ATONIA OF POSTURAL MUSCLE AND RELATED MECHANOTRANSDUCTION EVENTS

Shenkman B.S.¹, Petrova I.O.¹, Tyganov S.A.¹, Mirzoev T.M.¹, Vikhlyantsev I.M.²

¹ State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

² Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, RAS, Pushchino

В условиях реальной и моделируемой невесомости наряду с другими изменениями в постуральных мышцах наблюдается снижение жесткости мышцы как в условиях покоя, так и при ее сокращении (гипогравитационная атония). При устранении опорной афферентации наблюдается отключение двигательных единиц медленного типа, что приводит к изменению рефлекторной жесткости постуральной *m. soleus in vivo* [Киренская и др. 1986]. При этом снижаются значения как пассивной, так и активной жесткости изолированных мышц и мышечных волокон [Capon, Goubel, 1995, MacDonald, Fitts, 1995, Tournel et al., 2002]. Ранее было установлено, что пассивная и активная жесткость мышцы в определенной степени зависит от поведения актомиозиновых связей. Литературные источники также придают большое значение пассивным упругим элементам мышцы, т.е. гигантским цитоскелетным белкам (титин, небулин, обскурин, миозин и др.), которые не только принимают участие в регуляции актомиозинового взаимодействия, но и сами оказывают активное сопротивление нагрузке, увеличивая жесткостные показатели мышцы [Vikhlyantsev, Podlubnaya, 2012 и др.]. К настоящему времени в ряде лабораторий получены данные о снижении пассивной и активной продольной и поперечной жесткости мышечных волокон в условиях моделируемой гравитационной разгрузки [Macdonald, Fitts, 1995, Tournel et al., 2002, Ogneva, 2010, Ogneva, Shenkman, 2011]. Однако до сих пор неясно, какова природа атонии при разных сроках экспозиции животных в условиях разгрузки, какие цитоскелетные или иные факторы определяют выраженность атонических изменений.

Целью исследований наших исследований было выявление природы и механизмов изменений собственной (intrinsic) (в отличие от рефлекторной) жесткости мышцы и мышечных волокон в условиях гравитационной разгрузки. При этом, предполагалось

- выявить вклад редукции числа поперечных мостиков в процесс снижения жесткости изолированной камбаловидной мышцы и ее волокон на разных сроках гравитационной разгрузки;
- оценить роль кальпаин-зависимого распада цитоскелетных белков (титина, небулина, телетонина, MyBPC, обскурина) в процессе снижения жесткости изолированной камбаловидной мышцы и ее волокон на разных сроках гравитационной разгрузки.

В наших экспериментах было показано, что уже после 3 сут моделируемой гравитационной разгрузки (модель антиортостатического вывешивания по Ильину и Новикову в модификации Morey-Holton) пассивная жесткость камбаловидной мышцы (*m. soleus*), т.е. ее сопротивление при растяжении, достоверно снижалось на 15 %. В то же время, снижение пассивной жесткости дополнительно обработанной *in vitro* ингибитором актомиозинового взаимодействия блеббистатина составило 22 %. Это может свидетельствовать об относительно небольшом вкладе редукции актомиозиновых связей в процесс снижения пассивной жесткости при гравитационной разгрузке.

В то же время введение специфического ингибитора кальпаина в течение 3 сут разгрузки привел к отсутствию сколько-нибудь существенного снижения пассивной жесткости изолированной мышцы, что со всей очевидностью свидетельствует о важной роли кальпаин-зависимого протеолиза в снижении пассивной жесткости мышцы в условиях гравитационной разгрузки. Полученные результаты позволяют предположить, что снижение жесткости постуральной мышцы при гравитационной разгрузке может быть обусловлено частичной деградацией некоторых цитоскелетных белков, природу которых еще предстоит установить.

Известно, что компоненты цитоскелета мышечного волокна активно участвуют в процессах механотрансдукции, т.е. трансформации механической альтерации клеточных структур во внутриклеточный сигнал химической природы.

Данные об интенсивной деградации цитоскелетных белков при гравитационной разгрузке позволили высказать предположение о том, что трансформация стандартного механического сигнала в сигнал анаболических путей, контролируемых белковым синтезом, будет изменен в этих условиях. И действительно, После 1, 3 и 7 сут антиортостатического вывешивания увеличение фосфорилирования рибосомальной киназы p70S6K в ответ на стандартную серию эксцентрических сокращений изолированной *m. soleus* демонстрировало глубокую редукцию.

Таким образом, можно сказать, что эксперименты *ex vivo* с камбаловидной мышцей, взятой у животных экспонированных в условиях гравитационной разгрузки, позволили выявить значимый вклад кальпаин-зависимого распада белков в процессе развития гипогравитационной атонии и впервые обнаружить нарушения процессов механотрансдукции в скелетной мышце в условиях моделируемой микрогравитации.

Исследования поддержаны грантами РФФИ 16-34-60055 и 16-04-00529.

МЕХАНИЗМЫ СПИНАЛЬНОГО И КОРТИКАЛЬНОГО МОТОРНОГО КОНТРОЛЯ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Шигуева Т.А., Китов В.В., Брыков В.И., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE MECHANISMS OF SPINAL AND CORTICAL MOTOR CONTROL AFTER LONG TERM SPACE FLIGHTS

Shigueva T.A., Kitov V.V., Brykov V.I., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Исследования, проведенные в предшествующие годы, показали, что обусловленный невесомостью двигательный синдром характеризуется наличием изменений во всех звеньях двигательной системы. Механизмы этих нарушений до настоящего времени остаются предметом исследования. Цель настоящей работы составляет исследование влияний длительного пребывания в невесомости на механизмы спинального и кортикального управления движением.

Исследование выполнено с участием 30 космонавтов, членов экипажей длительных экспедиций на МКС. В качестве модели для исследования супраспинальных механизмов управления использовали тест на выполнение программных точностных движений, в котором определялись точностные и электромиографические (ЭМГ) характеристики односуставных изометрических движений плантарной флексии. Двигательной задачей в тесте служило различие мышечных усилий при выполнении последовательно нарастающих усилий от минимального до максимального с минимальным различием в интенсивности соседних движений. Анализировали величину средней амплитуды прироста усилия, являющейся аналогом дифференциального сенсорного порога, и количество ошибочных движений. Состояние спинальных механизмов определяли по характеристикам кривой вовлечения сухожильного рефлекса *m. soleus*. При обработке результатов определяли порог рефлекторного ответа *m. soleus* и его максимальную амплитуду. Обследования космонавтов проводили до полета и на 3-и, 7- и 10-е сутки после его завершения. Статистическая обработка проведена с использованием непараметрического критерия Вилкоксона.

Результаты эксперимента показали, что длительное пребывание в КП, не нарушая способности выполнения движений и их структуры, существенно снижает их точность и изменяет электромиографическую стоимость их выполнения. Количество ошибочных движений возрастало после полета. Дифференциальный порог усилия у всех космонавтов снижался, либо оставался неизменным; величина максимального развиваемого усилия у большинства космонавтов снижалась.

Анализ данных выявил 2 группы космонавтов, различающихся по динамике изменений ЭМГ-стоимости развиваемых усилий: в группе 1 этот показатель после полета возрастал, возвращаясь к исходному уровню на 10-е сутки после посадки; в группе 2, напротив, ЭМГ-стоимость усилий после полета снижалась, оставаясь сниженной во все последующие дни тестирования.

По результатам анализа характеристик кривой вовлечения сухожильного (Т-) рефлекса *m. soleus* космонавты разделились на 2 группы, отличающиеся направленностью изменений амплитуды. В группе А максимальная амплитуда рефлекторного ответа значительно возросла. Повышенные значения этого параметра в этой группе и на 10-е сутки после посадки. Иная картина изменений наблюдалась у космонавтов группы Б. Средняя величина ответов на максимальный стимул на 3-и сутки после полета в этой группе была снижена, оставаясь сниженной и на 10-е сутки после полета. Величина порога рефлекса растяжения *m. soleus* до и после длительных космических полетов также изменялась неоднозначно в 2 группах космонавтов. В группе А наблюдалось снижение порогов Т-рефлекса, в группе Б – напротив, увеличение порогов сухожильного рефлекса, которое сохранялось в ходе послеполетной реабилитации у всех, кроме одного космонавта, значения порогов у которого были высоки и до полета.

Снижение порогов и возрастание амплитуд рефлекторных ответов в группе А указывает на возрастание возбудимости в системе рефлекса растяжения в условиях невесомости. Эти данные совпадают с таковыми и ряда других авторов [Козловская И.Б., 1981; Baker Y., 1977; и др.]. Выявленное у части космонавтов снижение максимальных амплитуд рефлекса и повышение их порогов может быть обусловлено при этом резким снижением тонуса мышц-экстензоров, препятствующим осуществлению достаточного растяжения сухожилия при нанесении раздражения [Гевлич Г.И., 1983], а также снижением величины мембранного потенциала мышечных волокон, обнаруженным в работах Магазаника Л.Т. (1973), Кривого И.И. и др. (2007), Никольского Е.Е. и др. (2008).

Работа поддержана грантом РФ №14-25-00167.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ И НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ В НАЗЕМНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Штемберг А.С.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

THE PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF THE NEUROBIOLOGICAL EFFECTS OF INTERPLANETARY SPACEFLIGHTS RADIATION AND NONRADIATION FACTORS COMBINED IMPACT INVESTIGATION IN GROUND MODEL EXPERIMENTS

Shtemberg A.S.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Исследование эффектов воздействия космической радиации на функции центральной нервной системы (ЦНС) приобретают особенную актуальность в последнее время в связи с планированием и подготовкой дальних длительных космических экспедиций (в частности, Марсианской миссии). В таких экспедициях, связанных с выходом корабля за пределы магнитосферы Земли, одним из основных лимитирующих возможность их осуществления факторов становится радиационный, который, в сочетании с другими факторами космического полета (ФКП), может привести к нарушениям функций ЦНС, лежащих в основе операторской деятельности космонавтов. А это, в свою очередь, представляет реальную опасность для выполнения ими полетного задания и самой их жизни. При этом следует подчеркнуть, что, в отличие от отдаленных стохастических последствий воздействия радиации (канцерогенез, катарактогенез, цитогенетические нарушения, сокращение продолжительности жизни и др.), эргономический риск, обусловленный возможными нарушениями операторской деятельности космонавтов, связан с угрозой их жизни непосредственно в процессе полета.

Таким образом, первой особенностью межпланетных КП, отличающей их от орбитальных, является повышенный риск функциональных нарушений в ЦНС, обусловленных воздействием космической радиации. При этом основную опасность представляют галактические космические лучи (ГКЛ) - протоны высоких энергий и тяжелые ионы, обладающие энергиями в широком диапазоне, вплоть до сверхвысоких энергий порядка 1020 МэВ. Защититься от таких высокоэнергетических излучений в условиях космического корабля чрезвычайно сложно. Вторая особенность – значительная длительность и автономность полета, вследствие чего в случае возникновения нештатных ситуаций космонавты могут рассчитывать исключительно на свои силы. Это создает высокий уровень психологической напряженности, что, в сочетании с комбинированным воздействием факторов полета (ионизирующие излучения, микрогравитация, измененная среда обитания, вибрация, гипертермия, гипомагнитная среда и др.) определяет чрезвычайно высокий риск астенизации ЦНС, чреватой серьезными нарушениями работоспособности. Следовательно, можно говорить о смене парадигмы исследований, посвященных оценке радиационного риска в межпланетных полетах, принципиально отличающейся от принятой для полетов орбитальных. Если для последней ключевой являлась оценка отдаленных стохастических последствий, то для первых это оценка риска функциональных нарушений в ЦНС и, соответственно, операторской деятельности космонавтов. При этом чрезвычайно важно исследовать воздействие не только ионизирующих излучений, но всего спектра нерадиационных ФКП, которое может оказать существенное модифицирующее влияние на нейрорадиационные эффекты,

Проблема комбинированного действия факторов космического полета (ФКП) на организм является одной из ключевых в космической биологии и медицине. Чрезвычайная актуальность этой проблемы очевидна, поскольку в реальности всегда имеет место сочетание воздействующих на организм факторов. Так, во время вхождения космического корабля в плотные слои атмосферы космонавт подвергается одновременному воздействию перегрузки, вибрации, шума, повышенной температуры, измененной газовой среды, эмоционального стресса, причем все это происходит на фоне предварительного пребывания в условиях ограниченного пространства, сниженной двигательной активности и невесомости.

Чрезвычайно актуальна, сложна и пока еще далека от решения проблема комбинированных воздействий различных физических факторов на высшую нервную деятельность (ВНД) организма и обеспечивающие ее нейрохимические механизмы. По-видимому, можно выделить 3 основные временные градации таких воздействий: кратковременные, когда в организме не успевают срабатывать физиологические механизмы компенсации; длительные, при которых наступает период компенсации и хронические, действующие на организм постоянно.

В наиболее обстоятельных обзорах содержатся лишь отдельные сведения о нейрохимических, нейрофизиологических и поведенческих эффектах комбинированного действия ФКП. Так, по результатам исследования ВНД крыс после полетов на ИСЗ «Космос-690» и «Космос-605», подопытные животные совершали больше ошибок в лабиринте и затрачивали больше времени на его прохождение; реактивность их была снижена.

Из весьма немногочисленных экспериментальных данных о комбинированном действии различных ФКП на ВНД животных также видна сложность их оценки, далеко не всегда сводящаяся к аддитивному или синергическому эффекту. Так, при комбинированном воздействии облучения в дозе 0,5 Гр и вибрации на условнорефлекторную деятельность крыс изолированное действие вибрации приводило к более выраженному изменению латентного периода условного рефлекса (УР), чем в сочетании с облучением.

В серии наших исследований различных форм и режимов двигательной депривации 30-суточное антиортостатическое вывешивание (АнОВ) крыс вызывало существенные нарушения ВНД, а гамма-облучение в нелетальной дозе усугубляло эти процессы, приводя к срыву компенсаторных процессов в высших отделах ЦНС. Различные режимы ограничения динамических и кинетических нагрузок вызывали существенные нарушения ВНД экспериментальных животных, которые приводили к замедлению формирования у них базового ситуационного условного рефлекса и выработки дифференцировочного торможения. Гамма-облучение в дозе 3 Гр усугубляло эти явления, что существенно проявлялось в модификации нарушений, вызванных АнОВ. Гипокинезия на разных стадиях адаптации к ней вызывала различные нарушения ВНД подопытных животных, наиболее выраженные в стадии тревоги общего адаптационного

синдрома. Модифицирующее действие гамма-облучения на ВНД животных на разных стадиях их адаптации к гипокинезии заметно проявлялось только при облучении в стадии тревоги общего адаптационного синдрома. При оценке модифицирующего влияния облучения на эффект гипокинезии в исследованном диапазоне доз (3–8,5 Гр) лишь наиболее высокая дозовая нагрузка (8,5 Гр) оказывала заметное модифицирующее влияние на эффект 30-суточной гипокинезии.

Как правило, эффекты комбинированного действия облучения и нерадиационных ФКП на функции ЦНС оценивались при их последовательном применении, в то время как в реальности имеет место одновременное их воздействие. В эксперименте с применением синхронного комбинированного воздействия длительного фракционированного гамма-облучения в суммарной дозе 3 Гр и АНОВ у крыс достаточно быстро восстанавливалась двигательная и ориентировочно-исследовательская активность при тестировании их в «открытом поле». Исследование динамики дискриминантного обучения крыс экспериментальных групп не выявило существенных различий с контролем. Тем не менее, крысы, подвергнутые облучению и вывешиванию, демонстрировали наиболее резкие колебания некоторых показателей высшей нервной деятельности и замедление формирования базовых условнорефлекторных реакций. Незначительное влияние данных воздействий на когнитивную деятельность животных соответствовало слабо выраженным изменениям концентрации моноаминов и их метаболитов в структурах мозга, отвечающих за когнитивные и эмоционально-мотивационные функции. Наиболее значимые изменения нейрохимических показателей были зарегистрированы в серотонинергической системе животных, подвергнутых антиортостатическому вывешиванию, что свидетельствует об изменениях их эмоционально-мотивационных состояний. В аналогичном эксперименте, в котором к перечисленным воздействиям было добавлено облучение головы крыс протонами с энергией 170 МэВ, исследование условного рефлекса пассивного избегания показало, что время избегания темного замкнутого пространства у крыс, подвергнутых АНОВ и АНОВ + облучение через 24 ч тестирования резко снижалось, в то время как в контроле и у облученных животных сохранение рефлекса оставалось на высоком уровне. Таким образом, АНОВ вызывает нарушение долговременной памяти; гамма-облучение и облучение протонами не модифицирует этот эффект, а облучение без вывешивания не вызывает таких нарушений. При комбинированном воздействии АНОВ + γ -облучение + протоны исследование концентрации моноаминов и их метаболитов в ключевых структурах мозга выявило изменения как в гиппокампе и префронтальной коре, так и в прилежащем ядре, являющемся основной интегрирующей структурой мезолимбической ДА системы, которая индуцирует мотивированное поведение. В эксперименте с применением тех же воздействий, но при 14-суточном АНОВ, при исследовании пространственной ориентации, обучения и воспроизведения пространственной памяти крыс в водном лабиринте Морриса достоверных различий не получено, хотя была отмечена тенденция к некоторому замедлению обучения у облученных крыс. Как и в предыдущих экспериментах, наиболее выраженное угнетение двигательной активности происходило у крыс, подвергнутых АНОВ. В то же время исследование в приподнятом крестообразном лабиринте выявило снижение тревожности у крыс всех экспериментальных групп, что подтверждалось данными поведения в «открытом поле». По-видимому, в данном случае комбинированное воздействие АНОВ+облучение приходилось на стадию резистентности общего адаптационного синдрома, что обусловило принципиально иные нейробиологические эффекты, нежели воздействие тех же факторов, приходящееся на начало стадии истощения (в месячных экспериментах).

В нейрохимических исследованиях принципиально новым результатом явилась высокая чувствительность не только гиппокампа и префронтальной коры, но и Nucleus accumbens - основной интегрирующей структуры мезолимбической ДА системы, которая через ГАМК-ергические терминалы запускает таламакортикальные сети и индуцирует целенаправленное мотивированное и эмоционально подкрепленное поведение, что обосновывает результаты поведенческих исследований. Наиболее выраженные изменения вызывала АНОВ, радиационные факторы усугубляли наблюдавшиеся эффекты. По-видимому, основной мишенью для ионизирующих излучений является гиппокамп как основная зона нейрогенеза; поэтому наибольшие изменения наблюдаются в гиппокамп-зависимых формах поведения – пространственной ориентации и памяти. В то же время существует гипотеза о существовании локальных зон нейрогенеза также в префронтальной коре, а возможно, и во всех ключевых структурах мозга, что косвенно подтверждают наши данные.

Таким образом, можно наметить следующую проблематику экспериментальных исследований нейробиологических эффектов воздействия космической радиации и нерадиационных ФКП применительно к дальним длительным КП.

1. Изучение эффектов длительного хронического действия ионизирующих излучений, моделирующего временные условия КП. Такие модельные исследования возможны с использованием гамма-установок в режимах хронического, квазихронического или, возможно, фракционированного длительного облучения.

2. Исследование специфики нарушений, вызываемых воздействием тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) и протонов высоких энергий, моделирующим эффекты ГКЛ, в экспериментах на ускорителях заряженных частиц.

3. Изучение комбинированных эффектов воздействия различных факторов, моделирующих нерадиационные ФКП: перегрузок, измененной газовой среды, гипертермии, эффектов невесомости (антиортостатическая гиподинамия, гипокинезия, иммерсия) и др. и радиационных факторов и оценка их взаимного модифицирующего влияния.

4. Разработка и использование в экспериментах на животных методик, моделирующих базовые элементы операторской деятельности, характерные для летчиков-космонавтов.

5. Исследование механизмов, лежащих в основе нарушений ВВД, на всех уровнях функциональных реакций ЦНС: молекулярном (нейрохимическом), функциональном (нейрофизиологическом) и интегративном (поведение животных).

6. Исследование нейробиологических эффектов воздействия на животных реальных ФКП в экспериментах на автоматических космических аппаратах на удлиненной эллиптической орбите с выходом за пределы магнитосферы Земли.

7. Разработка подходов к экстраполяции экспериментальных данных, полученных на животных, на человека.

По-видимому, наиболее адекватным подходом к моделированию воздействия космической радиации на ЦНС в наземных экспериментах является комбинирование длительного гамма-облучения экспериментальных животных и сеансов облучения высокоэнергетическими протонами и ТЗЧ в сочетании с воздействиями, воспроизводящими эффекты нерадиационных ФКП, в первую очередь микрогравитации (модели антиортостатической гипокинезии и гиподинамии, иммерсии).

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Шумилина И.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

SOME QUESTIONS ABOUT DEVELOPMENT OF THE SANITARY AND HYGIENE SUPPLY SYSTEM FOR LONG-TIME SPACE FLIGHTS

Shumilina I.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

На современном этапе до сих пор остаются нерешенными вопросы, связанные с оснащением космических кораблей и орбитальных станций оборудованием для выполнения космонавтами водных процедур, а также проведением гигиенической обработки (очистки, стирки и сушки) белья, одежды и гигиенических средств из текстильных материалов, входящих в систему жизнеобеспечения экипажей.

В настоящее время, несмотря на длительность полетов на Международной космической станции (МКС) все санитарно-гигиенические средства (салфетки и полотенца для личной гигиены и т.д.) доставляются грузовыми кораблями с Земли, составляя огромные грузопотоки.

После кратковременного использования в условиях космического полета гигиенические средства и одежда, по существу являясь изделиями одноразового назначения, удаляются в сборники отходов, где происходит их накопление в значительных количествах по массе и объему, а также по возможному отрицательному воздействию на микроклимат среды обитания космического объекта.

Неудачные попытки полетов как российских, так и американских транспортных кораблей, доставляющих грузы к МКС, создавали нештатные ситуации по обеспечению экипажей МКС, а так же вызывали затруднения по дальнейшему грузопотоку к станции. Поэтому в случаях невозможности запланированного пополнения запасов санитарно-гигиенических средств (СЛГ), вопрос о соблюдении нормативов расходования средств на борту, а также проведении самой экспедиции в штатном режиме может оказаться проблематичным.

В эксперименте с 500-суточной изоляцией для моделирования пилотируемого полета на Марс в наземном экспериментальном комплексе исследовали эффективность современных перспективных средств и способов санитарно-гигиенического обеспечения испытуемых-добровольцев. Санитарно-гигиеническое обеспечение жизнедеятельности людей в эксперименте включало в себя комплекс мероприятий, направленных на удовлетворение требований личной гигиены, включая проведение душевых процедур, пользование умывальником и поддержание оптимальных бытовых условий, в том числе санитарно-гигиенического и противоэпидемиологического режима.

В эксперименте «Марс-500» по моделированию полета на Марс осуществляется изучение потребления белья и одежды в условиях 520-суточной изоляции (шифр исследования Нг 4.4.). Экспериментальные данные за июнь 2010 года – ноябрь 2011 года охватывают весь срок 520-суточной изоляции.

Заполненные операторами анкеты регулярно передавались из наземного экспериментального комплекса (НЭК). Получено свыше 150 заполненных анкет-опросников, которые позволят оценить весовые характеристики запасов одежды, белья, СЛГ, необходимые для осуществления полета на Марс, будут способствовать созданию оптимальных санитарно-гигиенических условий герметично-замкнутых объектов, в том числе пилотируемых летательных аппаратов, позволяющих сохранить здоровье и работоспособность членов экипажей и осуществлять длительные перспективные полеты. Анкеты-опросники позволили оценить весовые характеристики запасов одежды, белья, СЛГ. Таким образом, в процессе эксперимента по проекту «Марс-500» проводился мониторинг применения СЛГ, белья и одежды с учетом существующих в настоящее время норм их расходования в условиях космического полета на МКС.

Основные результаты показали эффективность системы санитарно-гигиенического обеспечения и ее функциональную значимость, хотя имеется ряд существенных недостатков, связанных с отсутствием в объекте системы

водообеспечения регенерационного типа, блока для стирки и сушки одежды и белья, что исключает возможность учета расходуемой воды и СЛГ как во время эксперимента, так и при подготовке к реальному полету на Марс.

Для поддержания гигиенического комфорта во время 500-суточного эксперимента экипажу из 6 человек понадобилось более 2000 кг нательного и постельного белья и полотенец, СЛГ, предметов туалета, а также средств для поддержания чистоты в объекте. Количества подсчитаны на основании существующих норм использования одежды, белья и средств личной гигиены.

В итоге, при увеличении численности экипажа и длительности полета, ограничениях по дополнительной доставке одежды грузовыми кораблями, объемы и вес сменной одежды достигают огромных величин. Большое внимание при создании «космической одежды» надо уделять подбору материалов. Проведенные исследования свидетельствуют, что для условий невесомости требуется специальная разработка оборудования для принятия душа и проведения санитарно-гигиенических процедур, а так же разработка стиральной и стирально-сушильной техники с учетом современных научно технических достижений и создание современной системы регенерации санитарно-гигиенической воды. В дальнейшем необходимо изучением совместимости созданного оборудования для водных процедур, стирки и сушки с системами жизнеобеспечения, в частности с современной системой регенерации воды.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОСМОНАВТОВ СРЕДСТВАМИ ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Шумилина Г.А., Шумилина И.В.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

PERSONAL HYGIENE SUPPLY OF COSMONAUTS AND FUTURE PROSPECTS OF RESEARCHES

Shumilina G.A., Shumilina I.V.

State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

Санитарно-гигиеническое обеспечение на борту космических объектов включает комплекс мероприятий, направленных на удовлетворение требований личной гигиены членов экипажа и поддержание оптимальных бытовых условий. Это санитарные и гигиенические режимы, принятые для членов экипажа, основанные на опыте предыдущих программ пилотируемых полетов.

Главной целью мероприятий личной гигиены членов экипажа является поддержание чистоты тела, волос, кожи, зубов и полости рта. В то же время назначение средств личной гигиены, используемых космонавтами в условиях космического полета (КП), это не только систематическое очищение кожи, волос и слизистых с целью удаления эндогенных и экзогенных загрязняющих веществ, но и нормализация функционального состояния кожи и слизистых.

За период, предшествующий совместным полетам на орбитальной станции «Мир» и МКС, российскими и американскими специалистами, независимо друг от друга, был накоплен большой опыт в вопросах санитарно-гигиенического обеспечения космонавтов и астронавтов как в краткосрочных, так и длительных полетах, хотя цели и задачи были идентичными, подходы и способы их решения которых различались в силу отличия государственных стандартов (ГОСТ) и особенностей программ пилотируемых КП.

В результате совместной работы по анализу российского и американского опыта, полученного в наземных исследованиях и КП, был выбран новый консолидированный подход к обеспечению надежного и комфортного санитарно-гигиенического режима для членов экипажей Международной космической станции (МКС). Совместно с американскими специалистами была разработана концепция организации мероприятий интегрированного обеспечения экипажей МКС средствами гигиены и одежды по единым правилам и требованиям.

В настоящее время обеспечение экипажей МКС проводится по согласованным с американской стороной документам, определяющим состав поставляемых каждой стороной средств, квоту поставки российских и американских изделий, которая составляет 50 %, размещение и хранение запасов гигиенических средств одежды на станции в случае задержки полетов кораблей дооснащения, а также утилизацию используемых материалов и изделий.

В период наземной подготовки каждый член экипажа МКС имеет возможность ознакомиться с ассортиментом российского и американского белья, одежды и гигиенических средств и провести их выборку в соответствии со своими вкусами и потребностями. Выборка проводится в России в ФБГУ НИИ им. Ю.А.Гагарина в Звездном городке и в США в НАСА. Космонавты заполняют анкеты с перечнем гигиенических средств и одежды, которые они предпочитают использовать во время полета, на основании чего осуществляется обеспечение каждого экипажа.

Необходимость создания членам экипажей возможности проведения полноценных гигиенических процедур с использованием современных, индивидуально подобранных для каждого члена экипажа санитарно-гигиенических средств, не вызывает сомнения

Основные результаты мониторинга применения средств гигиены и одежды во время полетов на МКС свыше 40 экспедиций показали, что выбранная концепция обеспечения экипажей, хотя и является функционально значимой на

данном этапе, имеет ряд особенностей и недостатков, которые могут оказывать влияние на функциональное состояние кожи во время полета.

Отсутствие изучения совместимости одновременно используемых во время полета гигиенических средств, нарушение режимов и инструкций по их применению, может оказывать отрицательное воздействие на состояние здоровья космонавтов.

Возможность проведения на борту полного объема мероприятий личной гигиены с использованием системы водоснабжения, особенно после выполнения физических нагрузок, остается серьезной проблемой, которая не позволяет, в случае необходимости, использовать индивидуальные средства гигиены, требующие применения большого количества воды для их удаления после использования.

Для поддержания гигиенического комфорта, особенно в условиях длительных полетов, требуется обработка белья, одежды, полотенец, поэтому кроме принятия водных процедур, к другим задачам ближайшего времени относится развитие систем, предусматривающих использование воды для туалетов, мытья волос, обработки локальных участков тела, а так же для стирки и сушки белья.

В свете планируемых межпланетных полетов существующая на МКС система санитарно-гигиенического обеспечения должна совершенствоваться с использованием развивающихся технических и технологических технологий, соответствуя требованиям нового этапа космических исследований.

СТАБИЛЬНО-ИЗОТОПНАЯ (^{13}C) ДИАГНОСТИКА В РОССИИ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Эльман А.Р., Афонин Б.В.

Компания «Ростхим», г. Москва; ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва

STABLE ISOTOPE (^{13}C) DIAGNOSTICS IN RUSSIA: RESULTS AND PROSPECTS

Elman A.R., Afonin B.V.

Rostkhim, Ltd., Moscow; SSC RF – Institute of Biomedical Problems RAS, Moscow

^{13}C изотопные дыхательные тесты признаны одними из наиболее мощных, универсальных и безопасных методов диагностики самых разных заболеваний. Эти методы основаны на измерении превышения доли $^{13}\text{CO}_2$ в выдохе пациента после приема препарата, содержащего стабильный изотоп ^{13}C . Так уреазный дыхательный тест (УДТ) с использованием ^{13}C мочевины является «Золотым стандартом» диагностики *Helicobacter Pylori* (*Hp*). Только в США ежегодно проводится 5-7 млн. медицинских ^{13}C -тестов на сумму около \$800 млн. В России пока отсутствует промышленное производство высокообогащенных (99 %) ^{13}C меченых соединений, а также приборов для стабильно-изотопной диагностики (СИД), отсутствуют и утвержденные диагностические методики. Однако за последние 10 лет в этой области достигнут существенный прогресс: разработаны методы синтеза 30 ^{13}C продуктов, в основном – медицинского назначения, разработаны отечественные ИК-анализаторы для ^{13}C дыхательных тестов, отработаны методы дыхательной диагностики различных заболеваний, зарегистрирован первый в России тест-набор для УДТ на базе отечественной ^{13}C мочевины 99 % обогащения (компания «Изокарб», г. Москва).

ГНЦ РФ – ИМПБ РАН одним из первых начал работы по изучению методов СИД и их использованию для тестирования здоровья космических экипажей, изучения функциональной активности различных органов человека в условиях космического полета. Эти работы, начатые при выполнении программы «Союз-Аполлон», получили дальнейшее развитие в период с 2007 по 2012 г., когда при содействии Правительства Москвы был выполнен первый этап межотраслевых НИР по созданию отечественной ^{13}C диагностики с участием ведущих медицинских организаций. В итоге появился целый ряд уникальных дыхательных тестов, имеющих большое значение как для народного здравоохранения (в т.ч. при диспансеризации населения), так и для изучения работы отдельных органов и ферментных систем живых организмов в экстремальных условиях, в т.ч. – в невесомости.

Ярким примером является уреазный дыхательный тест с определением степени инфицированности желудка этим микроорганизмом. На базе общепринятого порога обсемененности в 4 ‰ (избыточное содержание изотопа ^{13}C в выдохе) у некоторых инфицированных значения достигали 80 ‰, что позволило выделить 4 степени значений УДТ в соответствии с гистологической степенью бактериальной обсемененности *Hp*. Эта модификация теста в настоящее время используется при предполетной подготовке экипажей МКС.

При изучении функции печени с помощью ^{13}C -метацетинового дыхательного теста выявлено снижение ее детоксикационной активности и метаболической емкости гепатоцитов в условиях «сухой» иммерсии, что связано с замедлением кровотока и полнокроем в венозной системе брюшной полости (Афонин Б.В., 2014). Эта новая методика позволила изучить метаболическую емкость и детоксикационную активность печени в антиортостатическом положении -15° , моделирующем гемодинамическую перестройку в условиях космического полета. Разработаны специальные математические модели (Невмержицкий В.И., 2009) количественной оценки функции печени по результатам ^{13}C -метацетинового теста в норме и при различных патологиях (включая НАЖБ).

Показана возможность точного неинвазивного определения кислотности в желудке с использованием ^{13}C бикарбоната натрия, а также определения общего энергетического обмена, необходимого для контроля диет питания, в том числе при ожирении.

Тесты с ^{13}C -каприловой кислотой и ее солью (^{13}C -октаноатом натрия) позволили изучить динамику эвакуации твердой пищи из желудка, в том числе, в экспериментах, моделирующих невесомость и проводившихся по программе «Марс-500» (Афонин Б.В., 2013). Возможность изучения функции желудка по выведению жидкой пищи показало использование ^{13}C -ацетата натрия.

Эти и другие диагностические методы были разработаны преимущественно с использованием новых отечественных ^{13}C -препаратов, получаемых компанией «Ростхим» и ее партнерами на базе российского ^{13}C -изотопного сырья – диоксида ^{13}C -углерода (99 % обогащения), выпускаемого предприятиями госкорпорации «Росатом».

В последнее десятилетие за рубежом активно развиваются работы по диагностике заболеваний методами магнитного резонанса на ядрах ^{13}C (^{13}C ЯМР), в том числе, с гиперполяризацией (ГП), повышающей чувствительность в 10000-100000 раз (^{13}C МРТ). Метод предоставляет новые широкие возможности по визуализации опухолей, сосудов, тканей и даже метаболических процессов, без использования радиоактивных препаратов, рентгеновских и других излучений с помощью ^{13}C биомаркеров, уже синтезированных в «Ростхим».

В докладе представлены последние достижения и перспективы разработки методов СИД – как дыхательных, так и ^{13}C -магнитно-резонансных – для широкого внедрения в практику отечественного здравоохранения, а также в качестве мощного инструмента для изучения функционального состояния органов и тканей, процессов метаболизма и энергетического обмена в живых организмах.

NASA HRP PLANS FOR COLLABORATION AT THE IBMP GROUND-BASED EXPERIMENTAL FACILITY (NEK)

Cromwell Ronita L.

Baylor College of Medicine Houston, TX USA

NASA and IBMP are planning research collaborations using the IBMP Ground-based Experimental Facility (NEK). The NEK offers unique capabilities to study the effects of isolation on behavioral health and performance as it relates to spaceflight. The NEK is comprised of multiple interconnected modules that range in size from 50-250m³. Modules can be included or excluded in a given mission allowing for flexibility of platform design. The NEK complex includes a Mission Control Center for communications and monitoring of crew members. In an effort to begin these collaborations, a 2-week mission is planned for 2017. In this mission, scientific studies will be conducted to assess facility capabilities in preparation for longer duration missions. A second follow-on 2-week mission may be planned for early in 2018. In future years, long duration missions of 4, 8 and 12 months are being considered. Missions will include scenarios that simulate for example, transit to and from asteroids, the moon, or other interplanetary travel. Mission operations will be structured to include stressors such as, high workloads, communication delays, and sleep deprivation. Studies completed at the NEK will support International Space Station expeditions, and future exploration missions. Topics studied will include communication, crew autonomy, cultural diversity, human factors, and medical capabilities.

JAXA'S CONFINEMENT STUDY PLANNING

Katsuhiko Ogata

Japan Aerospace Exploration Agency, Tokio

We are discussing our exploration scenario in Japan in accordance with MEXT right now.

There are unmanned exploration programs such as Hayabusa-2, which has already been started, and SLIM, a lunar landing technology development program.

JAXA also has an idea to take a full-scale utilization of Mars with NASA and other agencies into consideration through manned scientific exploration of the Moon over a prolonged period and availability exploration of Mars. However, all of these have not been decided yet.

Mars is a great distance away from Earth, and communication delay for about 20 minutes interferes real-time communication. This becomes a friction factor with support team members on the ground in itself, and counseling under stressful conditions is tremendously difficult for astronauts. It is considered that it would be crucial for the exploration to enable to grasp the mental condition of each astronaut and to take necessary measures including rest and taking medicine by themselves or by on-site astronauts mutually.

JAXA started an experiment under enclosed environment to establish stress marker index for understanding of such stress condition last year. The duration of the experiment is for a short term, only 2 weeks. However, a number of markers are currently studied and analyzed together with the results measured in similar experiments and JAXA's own data. We are aiming

at development of autonomous counseling device and relaxation programs for the future.

TRANSLATIONAL CELLULAR RESEARCH ON THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Love J., Cooley V.

NASA Johnson Space Center, Houston, Texas, USA

The emerging field of Translational Research aims to coalesce interdisciplinary findings from basic science for biomedical applications. Because of challenges and limitations associated with spaceflight research using human subjects, translational studies can be designed to address aspects of space-related human health risks and help develop countermeasures to prevent or mitigate them, with therapeutic benefits for analogous conditions experienced on Earth. Translational research with cells and model organisms is being conducted onboard the International Space Station (ISS) in connection with various human systems impacted by spaceflight, such as the cardiovascular, musculoskeletal, and immune systems. Examples of recent cell-based translational investigations on the ISS include the following. The JAXA investigation Cell Mechanosensing seeks to identify gravity sensors in skeletal muscle cells to develop muscle atrophy countermeasures by analyzing tension fluctuations in the plasma membrane, which changes the expression of key proteins and genes. Earth applications of this study include therapeutic approaches for some forms of muscular dystrophy, which appear to parallel aspects of muscle wasting in space. Spheroids is an ESA investigation examining the system of endothelial cells lining the inner surface of all blood vessels in terms of vessel formation, cellular proliferation, and programmed cell death, because injury to the endothelium has been implicated as underpinning various cardiovascular and musculoskeletal problems arising during spaceflight. Since endothelial cells are involved in the functional integrity of the vascular wall, this research has applications to Earth diseases such as atherosclerosis, diabetes, and hypertension. The goal of the T-Cell Activation in Aging NASA investigation is to understand human immune system depression in microgravity by identifying gene expression patterns of candidate molecular regulators, which will provide further insight into factors that may play a critical role in immune function loss during aging. In addition, Omics investigations with cells have synergistic applications ranging from the evaluation of pharmacological countermeasures to drug discovery. Thus, cell-based translational research onboard the ISS is bidirectionally bridging cutting-edge cellular and molecular approaches with space bioastronautics and human health methodologies on Earth

PREPARATION OF SPACE EXPERIMENTS USING BIG DATA ANALYTICS FOR CONTINUOUS ASSESSMENT OF ASTRONAUT HEALTH RISK

MacGregor C.¹, Baevsky R.², Chernikova A.², Rusanov V.²

¹ University Ontario Institute of Technology, Oshawa, Canada

² Institute of Biomedical problems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The development of space technology is aimed at the creation of new missile systems capable of transporting humankind to other planets, and in distant future - to the stars. Experience of manned space flight ISS is actively accumulating, while encouraging and strengthening international scientific and technical collaborations. An important step towards advancements in space medicine would be the creation of a new joint Russian-Canadian-American space experiment. This experiment will be based on the former Russian "Cosmocard" experiment that was started on the ISS as of September 2014. The aim of the new experiment study is to upgrade/develop a software systems onboard of the spaceship, which would be computer-based and would enable onboard real-time health assessment of astronauts. Furthermore, probabilistic algorithms, developed by Institute of biomedical Problems (IBMP), for identification of the functional state of the organism and for disease risk assessment, along with "Artemis" platform that is used for big data analysis, developed by Health Informatics faculty of University Ontario Institute of Technology (UOIT), will be employed in this study.

New systems will be initially tested in model experiments of prolonged isolation, hypoxia and hypokinesia conditions, with the aid of on-board "Cosmocard" equipment. The study of the effects of the above mentioned conditions would also extend to different groups of people, such as those working under conditions of stress, athletes and elderly. As a result, data collection methods will be improved to allow for long-term, wireless data collection and transfer from the astronaut to the onboard computer.

A distinctive feature of the new system for data collection, analysis and assessment of medical-physiological information concerning health status of astronauts partaking in long-term spaceflight is that the focus is placed on the health status, rather than signs of disease, as can be seen in other systems of health control. Health is seen as the body's ability to adapt to changing environmental conditions and is measured as the probability of deviation from the physiological norm. The reduction in risk of adaptive capacity of the organism means the increased adaptation risk. Big data analysis of information obtained through contactless, long-term, multivariable collection of vital health characteristics will allow for real-time assessment of adaptive risk, suggestive of disease risk, as well as in the future, will enable individual-based preventative health recommendations.

Therefore, the planned Russian-Canadian space experiment will serve as the beginning of a large scientific program aimed at the creation of new health monitoring systems for spaceship crew members. Such systems are already in high demand for first flights to Mars and other planets. Testing of these systems would not only significantly enhance the working ability of astronauts, but will also improve living conditions aboard the spaceship.

RESULTS FROM A JOINT NASA AND RUSSIAN FIELD TEST OF SENSORIMOTOR AND CARDIOVASCULAR FUNCTION FOLLOWING LONG DURATION SPACEFLIGHT

Millard F. Reschke¹, Kozlovskaya I.B.², Kofman I.S.³, Tomilovskaya E.S.², Cerisano J.M.³, Stenger M.B.³, Laurie S.³, Rukavishnikov I.V.², Fomina E.V.², Lee S.M.C.³, Wood S.J.⁴, Mulavara A.P.³, Feiveson A.H.¹, Fisher E.A.³, Rosenberg M.J.¹, Kitov V.², Lysova N.², Bloomberg J.J.¹

¹ Neuroscience Laboratories, NASA Johnson Space Center, 2101 NASA Parkway, Houston, TX 77058, (millard.f.reschke@nasa.gov)

² State Research Center of the Russian Federation – Institute of biomedical problems RAS, Moscow

³ KBRwyle, 2400 NASA Parkway, Houston, TX 77058

⁴ Azusa Pacific University, 901 E. Alost Ave., Azusa, CA 91702

The full impact of sensorimotor and cardiovascular decrements associated with long-duration spaceflight on landing day is currently being investigated. Both the Russian and U.S. space programs have implemented crew testing at the Soyuz landing site with additional follow-up measurements within 24 hours. The current research complement includes: (1) sit-to-stand tests, (2) a recovery from fall test where the crewmember begins in the prone position and then stands for 3.5 minutes while cardiovascular and postural ataxia data are acquired, and (3) a tandem heel-to-toe walk. (4) obstacle avoidance, (5) muscle compliance, (6) postural adjustments to perturbations (pushes) and (7) center of mass measurements made with insoles inserted into the subjects' shoes. Video, heart rate, blood pressure, body and limb position, and severity of postflight motion sickness were collected during each test session. Data from 22 subjects have been obtained. The increased level of functional deficits, not attributable to strength, observed in crewmembers has been substantially greater than previously observed when compared with measurements obtained after 24 hours. Full recovery requires 6 to 30 days. Measurable performance parameters such as those associated with functional behaviors are required to provide an evidence base for characterizing programmatic risks for undertaking exploration missions where crewmembers will be unassisted after landing.

MYOTENDINOUS AND NEUROMUSCULAR ADAPTATION TO LONG-TERM SPACEFLIGHT: RESULTS FROM THE SARCOLAB PILOT STUDY

Rittweger J.¹, Marco Narici M.², Albracht K.³, Bottinelli R.⁴, Brocca L., Capri M.⁵, Morisani C.⁵, Flück M.⁶, Franceschi C.⁵, Moriggi M.^{7,8}, Gelfi C.⁹, Cerretelli P.^{7,8}

¹ Institute of Aerospace Medicine, German Aerospace Center (DLR), Cologne, Germany

² School of Graduate Entry Medicine and Health, University of Nottingham, United Kingdom

³ Institute of Biomechanics and Orthopaedics, German Sport University, Cologne, Germany

⁴ Institute of Human Physiology, University of Pavia, Italy

⁵ Department of Experimental, Diagnostic and Specialty Medicine, University of Bologna, Italy

⁶ Department of Orthopaedics, University of Zürich, Switzerland

⁷ CNR-Institute of Bioimaging and Molecular Physiology, Cefalu-Segrate, Italy

⁸ Italian Federation of Sport Medicine, CONI, Rome, Italy.

⁹ Department of Biomedical Sciences for Health, University of Milan, Italy

Background

Exposure to actual and simulated microgravity leads to muscle wasting, with a disproportionate loss of muscle function and motor control leading to a reduction in muscle force per unit of cross-sectional area (F/CSA) [Berg, Larsson et al., 1997; Narici, Kayser et al., 2003; de Boer, Maganaris et al., 2007; de Boer, Seynnes et al., 2008; Pisot, Narici et al., 2008]. Recent evidence shows that this phenomenon may not only be related to muscle atrophy and alterations in muscle architecture [de Boer, Seynnes et al. 2008] and in neural drive [Edgerton, McCall et al., 2001] but also to tendinous and extracellular matrix changes [Seynnes, de Boer et al., 2007; Seynnes, Maganaris et al., 2008], affecting the mechanical output of the muscle and its ability to transduce mechanical signals into chemical processes driving protein synthesis and catabolism. Disuse-induced alterations in muscle structure and function have also been related to altered expression of structural, contractile, cytosolic, plasma, transport and metabolic proteins [Gelfi, Vigano et al., 2006, Brocca et al., 2015].

Results from both bed rest [de Boer, Seynnes et al., 2008] and lower limb unloading in humans [de Boer, Maganaris et al., 2007], show that muscle atrophy is associated with a decrease in pennation angle. This rapid remodelling of skeletal muscle

with unloading seems mediated by alterations in costameric proteins involved in mechanotransduction and the anchoring of sarcomeres to extracellular matrix receptors within the sarcolemma, such as focal adhesion kinase (FAK) [de Boer, Selby et al. 2007, Peter, Cheng et al., 2011]. Both FAK activity and content were found to be depressed by 30% and 20% respectively, after 14 days of unloading. Since FAK is an upstream modulator of the PI(3)K/Akt/mTOR signalling pathway, it seems likely that the mechanisms of these structural alterations involve changes in these mechanosensitive proteins. Notably, mechanotransduction does not only involve costameric proteins but also acts through a network of connective tissue known as the extracellular matrix (ECM). Given the importance of the extracellular matrix (ECM) in force transmission, it cannot be excluded that qualitative and quantitative changes in the ECM may also contribute to the disproportionate force loss induced by chronic unloading. Moreover, muscle atrophy and skeletal muscle remodelling can only explain a portion of the observed force loss since F/CSA is observed to decline both in vitro and in vivo. In vitro, this phenomenon seems due to a decrease in myosin concentration, whereas in vivo, reduced neural drive and a decrease in excitation-contraction coupling may also play a role.

Therefore, the Sarcolab Project was designed to elucidate the various constituents of muscle weakness in space to cast light on the mechanisms of this marked loss of intrinsic muscle strength (F/CSA). We hypothesised that microgravity exposure would lead to a reduction of its plantar flexor muscle's force production capability as well as alterations in its control. Moreover, besides these two major causes of muscle dysfunctions tendon alterations will also contribute to the degradation of muscle function after spaceflight [Reeves et al. 2009].

Method

Here, we report the results from a first pilot study that involved two astronauts. For crew member A and B, respectively, baseline data were collected 79 and 76 days before launch, mission durations were 193 and 185 days. With a custom made plantar flexor dynamometer, the angle torque-relationship, the rate of torque development, activation capacity and fatigue in isometric contraction were assessed pre-flight, and on days R+2/5 and R+15. On the same days, muscle architecture and Achilles tendon mechanical properties were assessed by B-mode ultrasound. Calf muscle volumes were assessed pre-flight, and on days R+2/5 and R+15. Finally, venous blood draws and a soleus muscle tissue sample were obtained pre-flight and on days R+1 and R+16/15. Countermeasure exercise performance data for usage of the advanced resistive exercise device (aRED) and for the T2 Colbert treadmill were obtained by data sharing with NASA.

From the muscle tissue sample, the following analytical variables were obtained: muscle fibre cross-sectional area (CSA), myosin heavy chain (MHC) isoform distribution, expression of focal adhesion kinase (FAK), muscle proteomic analysis, analysis of intracellular signalling pathways, single fibre specific tension, unloaded shortening velocity, and in-vitro motility assay. Different blood circulating markers were investigated including circulating microRNAs.

Results

Single fibre analysis could not be performed due to problems with sample shipment in crew-member B. Otherwise, all procedures and measurements, including harvesting of the muscle biopsy, were performed as foreseen and without complication.

With regards to in-flight countermeasure exercises, both crew members ran for similar amounts of time (approximately 30 minutes per run) on T2 at comparable speed (13 km/hour) and thus covered similar distances (approximately 6 km per run). However, whilst crew member A ran with a load of approximately 50 % of the body weight (BW), crew member B ran with 100 % of BW. Also for heel raise exercises on aRED, loading forces were approximately twice as large for crew member B as compared to A.

Post-flight, isometric plantar flexor strength was changed in crew members A/B, respectively, by -31/-3 %. With regards to muscle volumes, reductions in crew members A/B, respectively amounted to -21/-9 % for the soleus muscle, to -18/-12 % for the medial gastrocnemius muscle's volume, and to -22/-16 % for the lateral gastrocnemius muscle. Soleus muscle pennation angle was changed by -22 %/+4 %, and fascicle length by -8 %/+1 %. No substantial changes were observed in MHC isoform distribution. In crew member A, single fibre specific tension decreased by 23%, but no decrements were observed in the unloaded shortening velocity or in the filaments' sliding velocity. Moreover, the expression of MurF-1 and Atrogin-1, two major atrogenes, and P62 and Belcin-1, two markers of autophagy increased in crew member A. Finally, FAK content was reduced in both crew members by -60/ -44 %. However, FAK activity was maintained in crew member B (+11 %) but not crew member A (-92%). Furthermore, proteomic analyses indicate a statistically significant change in 150 and 140 proteoform species in crew members A and B, respectively. Identified proteins were grouped as structural and contractile, metabolic, stress response and others. Results indicate a differential behavior between the two subjects, particularly in structural/contractile and stress response proteins, indicating that further investigation is required to clarify the different outcome to flight exposure. With regards to blood circulating miRs the most interesting changes were observed in inflamma-miRs and myo-miRs being their expression different after landing and recovery time between the two astronauts.

Discussion

The two astronauts tested in this Sarcolab pilot study were comparable in terms of in-flight exercise training volume, but crew member B trained with loads that were substantially greater than those of crew member A, and which in fact were more or less equivalent to those used in Earth-bound training. These differences between the two crew members were paralleled by greater decrements in muscle strength, muscle volume, pennation angle and fascicle length in crew member A compared to B. It therefore seems that training loads, rather than training volume, can explain the difference in phenotypic changes

between the two astronauts. This interpretation is strongly supported by the muscle biopsy results. It is known from many ground-based observations, that FAK activity can be regarded as a skeletal muscle bio-marker accurately reflecting the time-under-tension history [Rahnert & Burkholder, 2013], which is intimately involved in the hypertrophic response. By contrast FAK content is indicative of load bearing fibre recruitment [Flück, Ziemiecki et al 2002]. Moreover, the muscle biopsy data suggest that, at the level of the acto-myosin interaction, a decline in specific tension is a greater concern than velocity of contraction, which confirms the contribution of the reduction in specific tension to the loss of whole muscle F/CSA.

In conclusion, the Sarcolab pilot study has demonstrated 1) that loading force is an important element in exercise countermeasure training, and 2) that information obtained from muscle biopsy samples allows extremely useful insights into the problem of skeletal muscle deconditioning in Space.

RESULTS OF THE EU FP7 SPACE RADIATION SUPERCONDUCTING SHIELDING (SR2S) COOPERATIVE PROJECT FOR PROTECTION FROM IONIZING RADIATION IN MANNED LONG DURATION SPACE FLIGHTS

Spillantini P.

on behalf of SR2S collaboration Agenzia Spaziale Italiana, via del Politecnico snc, Roma, Italy

The reduction of the radiation dose released to the crew in long duration manned flights is a technological challenge. Passive shielding's can protect from Solar Cosmic Ray events but are insufficient to reduce the dose deposited by the steady flux of the energetic Galactic Cosmic Rays below the nowadays recommended limits. Active shielding's are needed, and magnetic systems have been often considered, the most promising constituted by superconducting toroidal coils. In the EU FP7 SR2S study the dose reduction obtained by several toroidal configurations of different volumes and masses are evaluated by Montecarlo simulations based on Geant4 and Fluka codes. Realistic models of the toroidal coils and of the supporting mechanical structures are used. In a realistic situation, the secondary particles produced by the interaction of cosmic rays with the active shielding materials are the major source of the crew radiation dose. A large part are fast neutrons, that, not deflected by the magnetic field, reach the habitat and drastically reduce the effectiveness of the active shield. The dose reduction to the crew is limited to not more than a factor two also at the highest intensities of the considered magnetic fields

Various kind of 'not fully confined' magnetic field configurations resulted promising and worthy to be systematically explored in the future. An optimization process could likely make more effective the magnetic shield solution versus the one based on passive materials, increasing the gap in effectiveness among the two for a given weight.

The SR2S project increased the TRL of some of the related key technologies related to the use of magnetic systems in space, such a new, very light and stable superconducting cable and an innovative very efficient cooling scheme.

