

Российская академия наук  
ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



## Управление движением Motor Control 2020

Материалы VIII Российской с международным участием  
конференции по управлению движением  
(Петрозаводск, 20—22 апреля 2020 г.)

Под редакцией  
профессора *О. Л. Виноградовой*  
профессора *Б. С. Шенкмана*  
кандидата биологических наук *Е. С. Томиловской*  
профессора *А. Ю. Мейгала*



ИЗДАТЕЛЬСТВО ПЕТРОЗАВОДСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY  
PRESS

2020

УДК 6.61  
ББК 5.58  
У66

У66      **Управление движением. Motor Control 2020** : материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением (Петрозаводск, 20—22 апреля 2020 г.) / под ред. О. Л. Виноградовой, Б. С. Шенкмана, Е. С. Томиловской, А. Ю. Мейгала ; Российская академия наук, ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования Петрозавод. гос. ун-т. — Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2020. — 89, [3] с.

ISBN 978-5-8021-3702-4

В сборник включены материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением, которая прошла в г. Петрозаводске 20—22 апреля 2020 г. В сборнике представлены современные научные направления ведущих специалистов России в области движения человека по функционированию двигательной системы человека. Особое внимание на конференции было уделено гравитационной физиологии. Это направление долгое время и успешно развивается научной школой члена-корр. РАН Инесы Бенедиктовны Козловской, памяти которой и посвящена эта конференция. В материалах сборника отражены работы по сенсорному обеспечению движения в специальных условиях (холод, согревание, микрогравитация, спорт, клиника), представлены биомеханические модели движения человека, нейрофизиологические аспекты организации движения на спинальном и супраспинальном уровне, при острых и хронических заболеваниях нервной системы. Также представлены работы по новым методам исследования движения, реабилитации и двигательному обучению. Материалы предназначены для студентов и преподавателей университетов, медицинских учебных заведений, специалистов в области движения, невропатологов.

УДК 6.61  
ББК 5.58

ISBN 978-5-8021-3702-4

© ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, 2020  
© Петрозаводский государственный университет, 2020

*Конференция посвящена памяти члена-корреспондента РАН  
Инесы Бенедиктовны Козловской*



**Член-корреспондент РАН  
Инеса Бенедиктовна Козловская  
(1927—2020)**

**Памяти товарища**  
**Инеса Бенедиктовна Козловская**  
**(02.06.1927—19.02.2020)**

После тяжелой болезни от нас ушла Инеса Бенедиктовна Козловская, блестящий ученый, яркий незаурядный человек, учитель для нескольких поколений ученых. Инеса Бенедиктовна Козловская была выдающимся специалистом в области гравитационной физиологии, долгие годы руководила отделом сенсомоторной физиологии и профилактики Института медико-биологических проблем РАН. Она была удостоена званий члена-корреспондента РАН, заслуженного деятеля науки РФ.

С раннего детства Инеса Бенедиктовна проявляла активную жизненную позицию, незаурядные качества лидера и способности к науке. Ее научная карьера начиналась в стенах 1-го Московского медицинского института. Окончив аспирантуру на кафедре физиологии, в 1954 г. она успешно защитила кандидатскую диссертацию и начала педагогическую деятельность. В 1960 г. перешла работать в Институт высшей нервной деятельности. И. Б. Козловскую увлекла перспективная и быстро развивающаяся область физиологии — физиология движений. Изучение инструментальных рефлексов животных и роли соматической афферентации в их выработке и осуществлении позволило ей значительно расширить наши представления о механизмах афферентного контроля движений. В 1966—1971 гг., находясь в зарубежной командировке, она занималась исследованиями в Рокфеллеровском университете в лаборатории профессора Н. Миллера и в Нью-Йоркском медицинском колледже под руководством профессора В. Брукса. Проведенные на высочайшем методическом уровне эксперименты по изучению роли зубчатых и промежуточных ядер мозжечка обезьян в организации точностных движений привели Инесу Бенедиктовну к широким обобщениям, касающимся нейрофизиологических механизмов мозжечкового контроля произвольных движений. К этому времени ей удалось сформулировать новую концепцию афферентного контроля произвольных движений. После возвращения в г. Москву в 1971 г. она перешла в Институт проблем передачи информации, в 1976 г. защитила докторскую диссертацию и стала признанным экспертом в области физиологии мозжечка. В исследованиях на клиническом материале И. Б. Козловской были установлены функциональные различия в дея-

тельности двух основных систем мозжечка (латеральной и промежуточной) в управлении произвольными движениями у человека.

В 1977 г. академик О. Г. Газенко пригласил Инесу Бенедиктовну в Институт медико-биологических проблем. В совершенно новой для себя области исследований она быстро выдвинулась в ряды мировых лидеров. Она возглавила приматологическую часть программы «БИОН» и ряд крупных нейрофизиологических проектов. Она стала лидером в области разработки методов профилактики двигательных нарушений, вызванных действием невесомости. Работы Инесы Бенедиктовны и руководимого ею в течение более 40 лет научного коллектива внесли весомый вклад в развитие знаний о роли и механизмах участия основных информационных систем (опорной, вестибулярной, проприоцептивной и др.) в организации различных двигательных актов у человека и животных в естественных условиях; в изучение гравитационных механизмов регуляции сенсорных систем и двигательного аппарата. Инеса Бенедиктовна внесла огромный вклад в обоснование и внедрение в практику пилотируемых космических полетов средств и методов управления физиологическим состоянием человека, что способствовало осуществлению приоритетных по длительности орбитальных полетов российских космонавтов. Инесе Бенедиктовне принадлежит честь открытия новой главы фундаментальной физиологии сенсорных систем: теории опорной афферентации, нового гравитационно-зависимого вида сенсорных систем, определяющего характер позно-тонической активности организма, влияющего на все механизмы двигательного управления.

И. Б. Козловская возглавляла программу международных нейрофизиологических исследований, выполняемую в полетах российских биоспутников и орбитальных станций «Салют-6», «Салют-7» и «Мир» совместно со специалистами Кубы, Индии, Болгарии, Австрии, Франции, Германии, Канады, Японии и США. За результаты исследований в полетах космических аппаратов «Бион» (1973—1993) и их использования в теории и практике космической медицины она была удостоена премии Правительства Российской Федерации и Государственной премии РФ в области науки и техники за цикл исследований особенностей управления движением в условиях микрогравитации, позволивших разработать информационное обеспечение качества визуальной стабилизации космических объектов. И. Б. Козловская — лауреат премии Первого канала «Призвание» за создание нового направления в медицине, премии им. Л. А. Орбели РАН, а также ряда международных премий, в том

числе премии имени Нело Пейса Международного общества гравитационной физиологии, премии в области наук о жизни Международной академии астронавтики, американской премии выдающимся исследователям биоастронавтики им. Л. Янга за важный вклад в исследования нейро-мышечного контроля и здоровья космонавтов и премии им. Дж. Саттона «За научные достижения, продвинувшие область космической медицины». И. Б. Козловская была членом редакционных советов и редакционных коллегий журналов «Сенсорные системы», «Физиология человека», «Авиакосмическая и экологическая медицина», «Vestibular Research» и «Journal of Gravitational Physiology». В течение ряда лет она возглавляла проблемную комиссию по нейрофизиологии научного совета РАН по физиологическим наукам, являясь также вице-президентом секции космической и подводной неврологии Международной неврологической ассоциации и членом президиума международного общества по гравитационной физиологии.

Удивительное обаяние этого яркого человека одухотворяло многих ученых, работавших под ее руководством, вместе с ней дискутировавших и общавшихся с ней. Школа И. Б. Козловской — это не только сплоченный коллектив (или даже несколько коллективов) единомышленников в Институте медико-биологических проблем. Это сообщество высокопрофессиональных, творческих, талантливых людей, работающих в разных странах, городах и различных областях физиологии, медицины, информатики и даже прикладной математики, зараженных энтузиазмом и удивительным научным гением Инесы Бенедиктовны. Именно эти люди и будут дальше развивать ее идеи на благо науки и человечества.

Светлая ей память!

*Б. С. Шенкман, О. Л. Виноградова, Е. С. Томиловская,  
члены программного комитета*

Эта конференция, безусловно, запомнится всем нам. Обстоятельства помешали провести ее так, как она обычно проходила и как ее проводила Инеса Бенедиктовна, с вниманием к каждому докладу, каждому участнику. Но тем яснее в этой тишине и невозможности собраться ощущается присутствие Инесы Бенедиктовны и наше желание оставаться вместе. На самом деле, Инеса Бенедиктовна вновь объединила нас — всех, кто так или иначе занимается в России физиологией движения. Органи-

зую эту конференцию, мы испытали невероятный подъем от общения с коллегами, которые откликнулись тезисами, советами, выражением поддержки организаторам и твердым пожеланием, чтобы сборник, несмотря ни на что, появился и был издан, а конференция считалась состоявшейся. Этот сборник — наша благодарность Инесе Бенедиктовне за то, что она объединила нас в одну большую научную школу. Сборник содержит 57 тезисов, представленных 116 авторами из 28 учебных и научных учреждений.

*От имени локального комитета  
А. Ю. Мейгал*

# **Часть 1**

## **Фундаментальные механизмы движения:**

**Локомоция  
Равновесие  
Поза**



# ОПОРНО-ТОНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И. Б. КОЗЛОВСКОЙ И ГРАВИТАЦИОННО-ЗАВИСИМЫЙ КЛЕТЧНЫЙ ГОМЕОСТАЗ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ

*Б. С. Шенкман, Е. С. Томиловская*

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Согласно теории И. Б. Козловской, в условиях земной гравитации двигательная система млекопитающих испытывает действие ряда биомеханических факторов. Это, прежде всего, аксиальная нагрузка и сила реакции опоры, направленная на поверхность тела, контактирующую с субстратом. Сопоставление данных, полученных в экспериментах с антиортостатической гипокинезией и «сухой» иммерсией, позволило предложить гипотезу о ведущей роли опорной афферентации в поддержании активности медленных тонических мотонейронов. И. Б. Козловская и ее ученики предположили, что в условиях безопорности опорно-зависимая импульсация резко уменьшается и снижает генерацию деполаризационной волны медленных спинальных мотонейронов, которые прекращают тоническую импульсацию. При этом происходит «отключение» тонической активности медленных мышечных волокон, что влечет за собой потерю их жесткости, укорочение мышечных волокон, снижение интенсивности синтеза белка и интенсификацию его распада. Проверка этой гипотезы стала возможной при внедрении в экспериментальную практику новой методологии механической стимуляции опорных зон стопы на фоне гравитационной разгрузки. Оказалось, что (1) применение опорной стимуляции стимулирует активацию медленных двигательных единиц камбаловидной мышцы человека и крысы даже в условиях безопорности (Shigueva et al., 2015; Mirzoev et al., 2020), (2) опорная стимуляция предотвращает снижение рефлекторной и собственной жесткости постуральной мышцы, деструкцию цитоскелета (Miller et al., 2004; Grigoriev et al., 2004; Ogneva et al., 2011; Tyganov et al., 2020; Shenkman et al., 2004), (3) опорная стимуляция уже на ранних стадиях разгрузки предотвращает подавление активности анаболических сигнальных механизмов и активацию катаболических путей, а также трансформацию части медленных волокон в быстрые в постуральной мышце (Sharlo et al., 2019; Tyganov et al., 2019, 2020). Таким образом, лабораториям, работавшим под научным руководством И. Б. Козловской, удалось полностью подтвердить гипотезу о роли опорной афферента-

ции в поддержании структурно-функционального гомеостаза постральной мышцы (Шенкман, Григорьев, Козловская, 2017).

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ ИМБП РАН (тема 65.3) и грантов РФФИ № 17-29-01059 и РФФИ № 19-15-00435.

## **ОПОРНАЯ АФФЕРЕНТАЦИЯ В СИСТЕМЕ РЕГУЛЯЦИИ ПОЗЫ И ЛОКОМОЦИЙ**

*Е. С. Томиловская, И. Б. Козловская*

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Механизмы участия опорной афферентации в контроле позы и локомоций, остававшиеся до недавнего времени неизвестными, составили в последние годы предмет интенсивных исследований. Это стало возможным в связи с развитием космических полетов, открывших возможности воспроизведения условий безопорности в модельных экспериментах — антиортостатической гипокинезии и иммерсии. Результаты нейрофизиологических экспериментов в условиях безопорности показали, что снижение или устранение опорных нагрузок сопровождается глубокими, быстро развивающимися нарушениями в деятельности позно-тонической системы, включающими развитие атонии постральных мышц, изменений порядка рекрутирования мотонейронов, иннервирующих мышцы голени, спинальной гиперрефлексии и др. (Kozlovskaya et al., 1987). Было показано также, что предъявление в этих условиях искусственной опорной стимуляции в режиме естественных локомоций существенно уменьшает или полностью предотвращает развитие указанных изменений. Результаты исследований легли в основу новых представлений о триггерной роли опорной афферентации в деятельности позно-тонической системы и ее участии в формировании и контроле позных синергий (Григорьев и соавт., 2004).

Согласно этим представлениям, ведущим афферентным входом в контроле локомоторной активности является мышечная рецепция. Однако в экспериментах последних лет получены данные, свидетельствующие об участии афферентации опоры также в определении когнитивных стратегий и моторных программ локомоторных движений (Черникова и соавт., 2013) и, соответственно, в процессах их инициации (Герасименко и соавт., 2012). Основу этих процессов составляет, по-

видимому, кортикальный локомоторный рефлекс, рецептивным полем которого являются опорные зоны стоп, а центральным управляющим звеном — заднетеменные области коры головного мозга.

Работа поддержана Российской академией наук (тема 63.1).

## **СЕНСОРНО-МОТОРНАЯ НЕЙРОМОДУЛЯЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И НОВЫЕ СТРАТЕГИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ**

*Ю. П. Герасименко<sup>1</sup>, И. Б. Козловская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

В основе регуляции позы и локомоции лежит концепция о том, что мозг генерирует команды на выполнение той или иной моторной задачи, а паттерны активации мускулатуры верхних и нижних конечностей, а также мышц туловища контролируются спинальными нейронными сетями. Это делается автоматически в реальном времени на основе информации от проприо- и кожных рецепторов. Во время локомоции спинальные сети непрерывно интерпретируют афферентные входы и контролируют активацию двигательных пулов, обеспечивая согласованное, соответствующее ситуации выполнение локомоторной активности. Эти нейронные сети также передают сенсорную информацию, связанную с движением к ростральным спинальным сегментам, стволовым и корковым сетям с тем, чтобы обеспечивать реализацию движения в реальном времени.

Мы показали, что механическая стимуляция стопы, воспроизводящая естественные паттерны давления на плантарную поверхность стоп ног при ходьбе, и мультисегментарная неинвазивная электрическая стимуляция спинного мозга оказывают синергичное влияние на спинальные нейронные сети и эффективно регулируют локомоторную функцию у здоровых индивидуумов и у спинальных пациентов. Кроме того, мы показали, что при воображении и представлении движений такая сенсорно-моторная нейромодуляция значительно эффективнее регулирует локомоторную функцию. На основании этих данных разработана новая стратегия двигательной нейрореабилитации, включающая стимуляционное воздействие (выше уровня поражения) на нейронные

сети, регулирующие движения верхних конечностей, на нейронные сети (ниже уровня поражения), контролирующие движения нижних конечностей и механическую активацию рецепторов стопы в режиме шага. Такое комплексное стимуляционное воздействие будет осуществляться при воображении и представлении движений. Это позволит воздействовать на кортикальные и спинальные нейронные сети и обеспечивать кортико-спинальное взаимодействие; восстановление проприоспинальных нисходящих систем и эффективную регуляцию функционального состояния спинальной локомоторной нейронной сети. Есть все основания полагать, что такая стратегия будет способствовать реактивации неповрежденных нисходящих систем и восстановлению произвольного контроля двигательной активности у пациентов после паралича.

## **РОЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕНСОРНОГО КОНФЛИКТА**

*Ю. С. Левик, Б. Н. Сметанин, Г. В. Кожина, А. К. Попов*

Институт передачи информации им. А. А. Харкевича РАН,  
г. Москва, Россия

Исследовали, как изменение размеров объекта в поле зрения влияет на устойчивость стояния у здоровых людей в условиях виртуальной зрительной среды. Испытуемые стояли перед экраном (silver screen, 2 × 1.5 м) в стереочках и маске, ограничивающей поле зрения площадью экрана. На экран проецировалось трехмерное изображение темно-серого шара. Использовали четыре шара с диаметрами 8.75, 17.5, 35 и 70 см, покрывавшими поля зрения в 4.5, 9, 18 и 36 градусов соответственно. В контроле шар был неподвижен, а в тестовых условиях смещения шара в переднезаднем и боковом направлениях были синфазно или противофазно связаны с колебаниями центра тяжести (ЦТ) тела. Амплитуда колебаний шара в 2 раза превышала амплитуду колебаний ЦТ. Испытуемые выполняли 36 проб по 40 с каждая. Все пробы разбивались на 4 блока, каждый из них включал три контрольные пробы с неподвижным шаром и шесть проб, в которых движение шара было противофазно либо синфазно привязано к колебаниям ЦТ тела. Пробы производились с интервалом в 1 мин. В каждом блоке проб шар имел один

и тот же размер. После каждого блока испытуемый отдыхал сидя в течение 4—5 мин. Блоки проб с шарами разной величины чередовались в случайном порядке. Оценивали амплитудно-частотные характеристики двух элементарных переменных, вычислявшихся из траекторий центра давления стоп (ЦД) в переднезаднем и боковом направлениях: траектории проекции ЦТ тела на опору (переменная ЦТ) и разности между траекториями ЦД и ЦТ (переменная ЦД-ЦТ). В тестовых условиях смещения шара дестабилизировали вертикальную позу. С увеличением размеров шара дестабилизация усиливалась. Ухудшение качества стояния происходило за счет изменений как амплитудных, так и частотных характеристик переменных ЦТ и ЦД-ЦТ. Увеличение размеров неподвижного шара в контроле вызывало противоположный эффект: колебания тела уменьшались. Изменения в устойчивости при увеличении размеров шара могут быть связаны с особенностями использования зрительной информации, поступающей из центрального и периферического полей зрения. Возможно, периферическое зрение играет более важную роль в построении зрительной вертикали, а центральное поле зрения — в поддержании равновесия относительно этой вертикали.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 18-015-00222.

## **ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ СТОПЫ ОДНОЙ ИЛИ ОБЕИХ НОГ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ПОЗУ ЧЕЛОВЕКА**

*О. В. Казенников, Т. Б. Киреева, В. Ю. Шлыков*

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН,  
г. Москва, Россия

Во время стояния человека система позного контроля управляет положением проекции общего центра тяжести тела, удерживая его внутри опорного контура. Размер опорного контура определяется расстоянием между стопами, взаимным расположением стоп и их ориентацией. Поддержание вертикальной позы было исследовано у стоящего человека с разной ориентацией стопы одной или обеих ног. В экспериментах принимали участие 8 практически здоровых испытуемых. Регистрировали положение общего центра давления (ОЦД), а также ЦД левой и правой ног. В первой серии эксперимента регистрацию стабилотраграмм производили при стоянии со стопами, расположенными параллельно друг другу, и с разворотом стоп обеих ног на 22.5 и 45 градусов. Во вто-

рой серии эксперимента стопа одной ноги испытуемого была направлена в сагиттальном направлении, а стопа другой была повернута на 0, 30 и 60 градусов.

Симметричный поворот обеих стоп у стоящего человека приводил к увеличению движения общего центра давления и центров давления каждой ноги. Вероятно, что при симметричном положении стоп поддержание вертикального положения тела осуществлялось одновременным управлением положением центра давления каждой ноги. При повороте стопы только одной ноги увеличение движения ЦД наблюдалось у ноги, сохранявшей ориентацию стопы в сагиттальном направлении. У ноги с повернутой стопой движение ЦД не изменялось. Таким образом, поворот стопы одной ноги изменял вовлечение ноги в поддержание вертикального положения. Равновесие поддерживалось, в основном, управлением положением ЦД ноги с ориентацией стопы в сагиттальном направлении. Ориентация стопы влияла не только на амплитуду движения ЦД ноги, но и на направление движения ЦД относительно ориентации стопы. При стопе, ориентированной в сагиттальном направлении, направление преимущественного движения ЦД было повернуто наружу. При стопе, повернутой наружу, направление движения ЦД было повернуто внутрь. Такое изменение направления движения ЦД наблюдалось как при одновременном повороте обеих стоп, так и при повороте стопы только одной ноги. Можно предположить, что при стоянии система поддержания равновесия управляет положением ЦД каждой ноги и учитывает скручивающее напряжение в ноге, возникающее при повороте стопы.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ № 18-015-00266.

## **НЕЙРОПЛАСТИЧЕСКИЕ СЕНСОМОТОРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОМ ПОРАЖЕНИИ ВЗРОСЛОГО СПИННОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА**

*Е. Ю. Шапкова*

Центр патологии позвоночника ФГБУ СПб НИИФ Минздрава России,  
г. Санкт-Петербург, Россия; Лаборатория нейропротезов,  
Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Случаи восстановления соматической чувствительности и контроля мышц при хронической травме спинного мозга указывают на наличие

нейропластического потенциала, который можно мобилизовать интенсивными реабилитационными воздействиями. Цель исследования — оценить наличие/частоту позитивных сдвигов в сенсорных и моторных характеристиках пациентов с двигательными полными парезами при повторных курсах реабилитации.

Наблюдения проведены у 35 пациентов (♂16, ♀19, возраст 18—55 лет) с последствиями травмы грудного и поясничного отделов спинного мозга (давность 0,5—32 года), с тяжестью поражения AIS A (20) и B (15) в ходе трех последовательных курсов комплексной реабилитации (два курса по 22 дня и курс 14 дней, с перерывами 1 мес.). Каждый курс включал ходьбу в экзоскелете (40 мин/день), тренировку вертикальной позы с электростимуляцией мышц, пневмостимуляцию опорных зон стопы, общий и лимфодренажный массаж, занятия лечебной гимнастикой (суммарно 3—4 ч/день); третий курс дополнительно включал чрескожную электростимуляцию спинного мозга в стационарном режиме и при ходьбе. Динамику показателей тактильной ( $AIS_{LT}$ ) и болевой ( $AIS_{PP}$ ) чувствительности и контроля/силы мышц ног ( $AIS_{MOTOR}$ ) оценивали перед началом и по окончании каждого курса. Инструментально оценивали возбудимость мотонейронов поясничного утолщения.

Динамика в неврологических показателях выявлялась на первом, втором или третьем курсе, позитивные сдвиги с сопоставимой частотой происходили в ходе курса и между курсами и носили накопительный характер. В отдельных случаях после перерыва в тренировках наблюдали возврат к исходным показателям, случаев ухудшения не выявлено. За период наблюдения прирост  $AIS_{LT}$  выявлен у 25 пациентов (71 %) в среднем на 6,2 балла,  $AIS_{PP}$  — у 21 пациента (60 %) на 5,7 балла,  $AIS_{MOTOR}$  — у 12 пациентов (34 %) на 3,5 балла. В курсе с электростимуляцией спинного мозга прогресс в контроле/силе мышц был более выражен, чем при более продолжительных курсах ходьбы без электро-стимуляционных воздействий.

Прогресс в чувствительности и контроле мышц, достигнутый у пациентов с полными моторными парезами при интенсивных тренировках в экзоскелете, расценен как результат сенсомоторных перестроек, подтверждающий возможность мобилизовать нейропластический потенциал взрослого хронически пораженного спинного мозга.

## ЭФФЕКТЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ЧРЕСКОЖНОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА В РЕГУЛЯЦИИ ЛОКОМОЦИИ ЧЕЛОВЕКА

*И. Н. Богачева, Н. А. Щербакова, А. А. Савохин, А. А. Гришин,  
Т. Р. Мошонкина, Ю. П. Герасименко*

Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Непрерывная чрескожная электрическая стимуляция (ЧССМ) способна инициировать шагательные движения у здоровых людей и пациентов с двигательной патологией. В настоящей работе ЧССМ наносилась в зоне вхождения дорсальных корешков в спинной мозг для активации флексорных и экстензорных моторных пулов нижних конечностей в определенные фазы шагательного цикла во время ходьбы по беговой дорожке (h/p/cosmos gaitway®, Германия) со скоростью 1,5—1,7 км/ч. Стимуляция моторных пулов мышц-разгибателей (L1—L2) осуществлялась во время фазы опоры, а моторных пулов мышц-сгибателей (T11—T12) — в фазе переноса ноги. Стимуляция правой ноги обеспечивалась электродами, расположенными с правой стороны (1 см латерально от средней линии спинного мозга), а левой ноги соответственно — электродами, расположенными слева от средней линии. Для ЧССМ применяли пятиканальный электростимулятор «Биостим-5» (ООО «Косима»). Прямоугольные импульсы длительностью 1 мс модулировались частотой 5 кГц; частота стимуляции была 15 Гц для экстензорных и 30 Гц для флексорных пулов, интенсивность стимуляции 15—90 мА. Для регистрации кинематических характеристик движений ног при ходьбе использовали систему 3D-видеоанализа (Qualisys, Швеция).

Установлено, что стимуляция T11 в фазе переноса вызывала изменение траектории движения за счет увеличения высоты подъема ипсилатеральной ноги у всех испытуемых в среднем на 30 %, а стимуляция T11+L1 — в среднем на 42,5 %, что коррелировало с увеличением амплитуды движения в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах на 4—22 %. При этом наблюдались индивидуальные различия в изменении суставных углов у разных испытуемых, а также длины траектории движения и длины шага. В большинстве случаев в контралатеральной ноге наблюдались схожие, но менее выраженные изменения. Влияние стимуляции в фазе опоры на кинематические параметры шага было минимальным как в ипси- так и в контралатеральной ноге. Полученные дан-



ные показывают, что при использовании стратегии ЧССМ с пространственно-временным воздействием на флексорные и экстензорные пулы и учетом фаз шагательного цикла возможно управлять кинематическими параметрами шага у здоровых людей, что может быть основой для разработки новой технологии нейрореабилитации при двигательной патологии.

## **ПРОБЛЕМА КОАКТИВАЦИИ МЫШЦ ПРИ МОДУЛЯЦИИ ХОДЬБЫ МЕТОДОМ НЕИНВАЗИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА**

*Т. Р. Мошонкина<sup>1</sup>, Н. Д. Шандыбина<sup>1</sup>, С. А. Моисеев<sup>2</sup>,  
А. А. Гришин<sup>1</sup>, Ю. П. Герасименко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Великолукская государственная академия физической культуры  
и спорта, г. Великие Луки, Россия

Коактивация мышц — это синхронная активность мышц-антагонистов, участвующих в перемещении в одном и том же суставе. Феномен коактивации обсуждается с точки зрения координации и механики движений и участия различных отделов мозга в организации движений. Многочисленные исследования продемонстрировали, что у пациентов с двигательными нарушениями после реабилитационных мероприятий наблюдается уменьшение значений коэффициента коактивации мышц, обеспечивающих движения, на которые были направлены реабилитационные процедуры. У детей с ДЦП после механотерапии с применением чрескожной электрической стимуляции (ЧЭС) спинного мозга появляются новые двигательные навыки, увеличивается объем движений в суставах ног и уменьшается коактивация мышц бедра и голени (Solopova et al., 2017).

В процессе разработки «нейропротеза» — устройства и технологии для облегчения ходьбы пациентов, перенесших инсульт, — проведены исследования с участием здоровых добровольцев в качестве испытуемых. «Нейропротез» обеспечивает адресную активацию моторных пулов мышц-сгибателей во время фазы переноса и моторных пулов мышц-разгибателей во время фазы опоры с помощью ЧЭС корешков спинного мозга. В исследовании испытуемые (n = 6) ходили по беговой дорожке.

ЧЭС проводили на уровне позвонков T11—12 (дорсальные корешки мышц-сгибателей) и L1—2 (дорсальные корешки мышц-разгибателей) в зависимости от фаз шага. Регистрировали ЭМГ мышц ног. Кинематику движений регистрировали с помощью видеофиксации. Коэффициент коактивации определяли для пар сгибатель-разгибатель бедра и голени в фазах опоры и переноса. Кинематика движений соответствовала ожиданиям — достоверно увеличивался подъем ноги во время ЧЭС сгибателей и увеличивалась длительность фазы опоры при ЧЭС разгибателей. При этом получено достоверное увеличение коэффициента коактивации как в фазе опоры при ЧЭС корешков разгибателей, так и в фазе переноса при ЧЭС корешков сгибателей.

Финансовая поддержка: НИР с ООО «Косима» № 2/2019 от 01.12.2019 в рамках проекта НТИ «Разработка нейростимуляционного устройства для регуляции двигательных функций у больных с последствиями острого нарушения мозгового кровообращения» и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.42.

## **ПЕРИФЕРИЧЕСКИЕ И ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ВЛИЯНИЯ НА СКОРОСТЬ ДВИГАТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ В СУСТАВАХ РУКИ У ЗДОРОВЫХ ИСПЫТУЕМЫХ**

*В. А. Селионов, И. А. Солопова*

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН,  
г. Москва, Россия

Движения человека контролируются интеграцией моторной команды и сенсорного входа, а мышечная вибрация модулирует сенсорный вход от мышцы. Поствибрационные двигательные эффекты во многом схожи с произвольными мышечными реакциями, возникающими после сильного изометрического сокращения, известными как «эффект Конштамма». Целью настоящего исследования была оценка влияния локальной вибрации, приложенной к мышцам плеча или предплечья, а также центральных влияний (эффект Конштамма) на время реакции (ВР) сгибания в локтевом и лучезапястном суставах в ответ на предъявление стимулов на экране монитора. К мышцам прикладывалась вибрация с частотой 20 и 60 Гц с длительностью 10, 60 и 90 с. Также в начале, середине и конце эксперимента проводили контрольную пробу. Испытуемые выполняли сгибание в суставах значительно быстрее в конце экспе-

римента, чем в его начале. Реакция системы на вибрацию была неоднозначна и сочетала в себе явления возбуждения и торможения: примерно в половине случаев ВР статистически значимо укорачивалось, и в половине случаев — удлинялось. Не наблюдалось различий во влиянии вибрации на ВР в двух суставах руки. Следует подчеркнуть, что наибольшее влияние на ВР оказывала вибрация с частотой 20 Гц длительностью 60 с. После произвольного изометрического сокращения мышц среднее значение ВР значимо ( $P < 0.01$ ) укорачивалось в среднем от 0.398 до 0.368 с у большинства испытуемых. Центральные влияния оказывали большее воздействие на возбудимость нейронных сетей спинного мозга, чем вибростимуляция мышц. Можно полагать, что эффекты ЛВ могут быть объяснены пластичностью как в спинном мозге, так и на кортикальном уровне, что отражается в изменении возбудимости и расширении двигательных представлений в первичной моторной коре и изменении в паттернах сенсомоторного взаимодействия.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖСУСТАВНЫХ И МЕЖКОНЕЧНОСТНЫХ СВЯЗЕЙ У МЛАДЕНЦЕВ ПЕРВОГО ПОЛУГОДИЯ ЖИЗНИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СПОНТАННОЙ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

*И. А. Солопова<sup>1</sup>, И. Ю. Долинская<sup>1,2</sup>, В. А. Селионов<sup>1</sup>, Е. С. Кешияян<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации РАН, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (ГУ), г. Долгопрудный, Россия;

<sup>3</sup> РНИМУ им. Н. И. Пирогова Минздрава России, г. Москва, Россия

В данной работе на основе изменений паттернов мышечной активности у 55 доношенных детей в возрасте от 0 до 6 мес. исследовали формирование межконечностных взаимодействий, исходя из анализа спонтанных движений. Связи между активностью мышц конечностей одного пояса (нога-нога, рука-рука), а также между мышцами конечностей верхнего и нижнего пояса (рука-нога ипсилатерально и контралатерально) в процессе двигательного развития оценивали по коэффициенту корреляции между разрядами этих мышц, посчитанному для каждого возрастного периода, продолжительностью 1 мес. При спонтанных движениях было обнаружено постепенное увеличение контралатеральных и ипсилатеральных связей между мышцами сгибателями и разгибателями пред-

плеча, и мышцами бедра и голени ипсилатеральной и контралатеральной стороны, достигая значимого увеличения к возрасту 3—4 мес. В дальнейшем в возрасте от 4 до 6 мес. значимых изменений в корреляции между мышцами верхних и нижних конечностей не происходило. Сходные изменения наблюдались и в корреляции гомонимных мышц бедра и голени, в то время как для мышц рук значимых изменений не наблюдалось. Полученные результаты отражают формирование межмышечной координации в течение первого полугодия жизни и предполагают усиление межконечностных связей к моменту перехода от спонтанной к произвольной двигательной активности.

Работа поддержана РФФИ, грант № 18-015-00187.

## **ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ДО И ВО ВРЕМЯ ПРОСЛУШИВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ЗВУКОВЫХ ОБРАЗОВ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ПОЛЕЗАВИСИМОСТИ**

*Е. В. Боброва<sup>1</sup>, А. П. Гвоздева<sup>2</sup>, О. П. Тимофеева<sup>2</sup>, И. Г. Андреева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова  
РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

При организации двигательного поведения существенным является взаимодействие информационных потоков от разных сенсорных модальностей. В середине прошлого века было показано, что вес входа от той или иной сенсорной системы является индивидуальной характеристикой (Whitkin, 1949): возможно предпочтительное использование информации от зрительной системы или от проприоцептивной и вестибулярной — полнезависимость (ПН) или полезависимость (ПЗ) соответственно. Более поздние исследования показали, что этот фактор влияет на стратегию поддержания позы (Isableu et al., 1997, 2007): при ПН сегменты тела при поддержании равновесия двигаются независимо друг от друга, и условия зрения мало влияют на позу, при ПЗ в отсутствии зрения или зрительного стимула увеличивается роль тазобедренных суставов и остальные сегменты тела колеблются «в блоке» с тазом. Более того, для ПН-субъектов характерны более самостоятельное принятие решений и независимость от контекста, в том числе и социального, чем

для ПЗ-субъектов (Witkin, Goodenough, 1981). Целью работы было изучение роли полезависимости в индивидуальной стратегии поддержания равновесия до и во время прослушивания приближающихся, удаляющихся и неподвижных звуковых образов. Регистрировали колебания ЦД тела в течение 40 с до стимуляции и 40 с во время стимуляции. ПН и ПЗ определяли по тесту вложенных включенных фигур Готтшальда. Оказалось, что у ПН колебания тела существенно больше, чем у ПЗ, не только во время прослушивания, но и в период до начала прослушивания. У ПН увеличение колебаний при стимуляции сильнее, чем у ПЗ. При стимуляции прослушивания приближающихся звуковых образов (биологически более значимых) наблюдали смещение ЦД назад (от стимула). Причем в ожидании прослушивания приближающихся звуковых образов ЦД смещался сильнее у ПН, чем у ПЗ, а во время их прослушивания стимуляции — сильнее у ПЗ, чем у ПН. Таким образом, стратегия поддержания вертикальной позы до и во время слуховой информации о движении прослушивания движущихся звуковых образов является индивидуально-специфичной и связана с характеристикой полезависимости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» [тема 63.4 (0113-2019-0006)] и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.42, поддержана средствами государственного бюджета по госзаданию на 2013—2020 гг. (темы № АААА-А18-118013090245-6 и № 0134-2014-0003).

## МОЗГ-КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ВОООБРАЖЕНИИ ДВИЖЕНИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*Е. В. Боброва<sup>1</sup>, В. В. Решетникова<sup>1</sup>, П. Д. Бобров<sup>2,3</sup>, А. А. Фролов<sup>2,3</sup>,  
Я. А. Керечанин<sup>2,3</sup>, А. А. Гришин<sup>1</sup>, Ю. П. Герасименко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский национальный исследовательский  
медицинский университет им. Н. И. Пирогова,  
Институт трансляционной медицины,  
г. Москва, Россия

Реабилитация двигательных функций с помощью систем «интерфейс мозг — компьютер» (ИМК) активно используется, в основном, для восстановления движений верхних конечностей. Существенно меньше исследований и практического применения в клинике ИМК для реабилитации движений ног, что отчасти связано с методическими сложностями. Нами проведен анализ литературы по проблеме, выявивший существование различных модификаций ИМК, большинство из которых направлено на восстановление локомоции, ряд — на восстановление движений в голеностопном суставе. Для восстановления локомоции достаточно часто используется управление ИМК воображением ходьбы, которое приводит к перемещениям аватара в виртуальном пространстве. В ряде работ воображение движений сопровождается функциональной электрической стимуляцией, активирующей мышцы, обеспечивающие осуществление воображаемого движения, либо запуском движений механических устройств (ортезов, экзоскелета). Результаты проведенных нами предварительных экспериментов по управлению ИМК при кинестетическом воображении движений верхних и нижних конечностей показали, что распознавание состояний мозга при воображении движений нижних конечностей дает возможность управления ИМК не с меньшей точностью, чем при распознавании движений верхних конечностей. Проводятся эксперименты по использованию механического тренажера, запускающего движения в тазобедренных, коленных и/или голеностопных суставах от сигнала ИМК в случае успешного кинестетического воображения движения соответствующих суставов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» [тема 63.4 (0113-2019-0006)] и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.42. Участие П. Д. Боброва, А. А. Фролова и Я. А. Керечанина поддержано финансированием Минобрнауки России, проект RFMEFI60519X0184.

## **ЗАВИСИМОСТЬ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ МОЗГА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИМК И ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ОТ ИХ ГОТОВНОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ СЛОЖНЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

*В. В. Решетникова<sup>1</sup>, Е. В. Боброва<sup>1</sup>, Е. А. Вершинина<sup>1</sup>,  
А. А. Гришин<sup>1</sup>, А. А. Фролов<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Институт трансляционной медицины, г. Москва, Россия

Анализовали точность классификации сигналов мозга при воображении движений правой и левой рук при управлении системой «интерфейс мозг — компьютер» (ИМК). Все испытуемые проходили расширенное тестирование личностных характеристик (тесты Кеттелла, Айзенка, Спилбергера — Ханина). В исследовании принимало участие 46 человек, разделенных на две группы. В первой группе предполагалось длительное двухнедельное тестирование со специально разработанным тренингом, направленным на увеличение способности кинестетического воображения движений (26 человек). Для анализа в данной работе использованы результаты первого дня, когда проводились два сеанса управления ИМК, между которыми проводили тренинг. Во второй группе были испытуемые, которые работали только в течение одного дня с интервалом 1 ч без тренинга между двумя сеансами управления ИМК (20 человек). Испытуемые обеих групп были осведомлены о длительности тестирования и сами выбирали, в какой группе участвовать. Сравнение точности классификации сигналов мозга при воображении

движений в первый день работы выявило значимое ( $p = 0,026$ ) увеличение точности классификации ко второму сеансу в группе с тренингом, но не в группе без тренинга. В группе с тренингом точность классификации в первом сеансе была значимо положительно связана с такими личностными характеристиками, как чувствительность, мечтательность, радикализм, независимость, дипломатичность, самоутверждение (по тесту Кеттелла), и с уровнем личностной тревожности (по тесту Спилбергера — Ханина), а отрицательно связана с высокой нормативностью (следование правилам). В группе без тренинга точность классификации в первом сеансе значимо положительно коррелировала лишь с экстраверсией (по тестам Кеттелла и Айзенка). Итак, личностные характеристики в этих группах отличались, и эти отличия были связаны, по-видимому, с тем, что участники группы с тренингом знали, что их ожидает напряженная и длительная работа, и готовы были в ней участвовать. Таким образом, характер изменений точности классификации при повторном управлении ИМК зависит от личностных характеристик и от готовности пользователей приложить усилия к процессу тренировки в управлении ИМК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» [тема 63.4 (0113-2019-0006)] и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.42. Участие А. А. Фролова поддержано финансированием Минобрнауки России, проект RFMEFI60519X0184.

## **ВЛИЯНИЕ 21-СУТОЧНОЙ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗНЫХ КОРРЕКЦИОННЫХ ОТВЕТОВ**

*Н. М. А. Абу Шели, Н. В. Шишкин, В. В. Китов, Л. Е. Амирова,  
Е. С. Томиловская, И. Б. Козловская*

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Исследовали характеристики позных коррекционных ответов испытуемых до и после 21-суточного воздействия «сухой» иммерсии. Параметры перемещения центра давления в ответ на постуральные возмущения использовали для оценки состояния системы поддержания вертикальной стойки.



Для воспроизведения опорной разгрузки использовали модель «сухой» иммерсии (СИ) (Шульженко, Виль-Вильямс, 1976). Тело испытуемого в этих условиях подвергается равномерному воздействию выталкивающей силы, что воспринимается центральной нервной системой как отсутствие опоры. Длительность пребывания в СИ составила 21 сутки. Сбор данных проводили с помощью стабилметрической платформы «Стабилан-02», регистрирующей перемещение центра давления (ЦД). Постуральные возмущения производили толчками в грудь с помощью динамометра. Во время теста испытуемые стояли на платформе со скрещенными на груди руками, босиком и с закрытыми глазами. Время между двумя последовательными толчками составляло 8—12 с. В течение каждого сеанса эксперимента осуществлялось 20—30 толчков. Оценивали следующие показатели: амплитуду первичного отклонения — расстояния, пройденного ЦД от момента толчка до момента максимального отклонения назад; время первичного отклонения; величину перерегулировки — отношения избыточного отклонения вперед в процессе коррекции позы к максимальному отклонению назад вследствие толчка; время от момента толчка до момента максимального отклонения вперед; время восстановления — от момента толчка до момента стабилизации. Показатели нормировали по силе постурального возмущения.

Первичное отклонение ЦД в течение исследования не изменялось либо изменения были незначительными. При этом регистрировалось увеличение времени восстановления и величины перерегулировки после завершения СИ, особенно выраженные на вторые сутки периода восстановления (фон =  $0,35 \pm 0,04$  с,  $R_0 = 0,39 \pm 0,04$  с,  $R_2 = 0,40 \pm 0,14$  с и фон =  $0,97 \pm 0,78$ ,  $R_0 = 1,33 \pm 1,42$ ,  $R_2 = 1,64 \pm 0,84$  соответственно), затем к четвертым суткам время восстановления и величина перерегулировки вернулись к исходным значениям ( $R_4 = 0,35 \pm 0,09$  с и  $R_4 = 1,0 \pm 1,18$ ). Таким образом, проведенное исследование выявило изменения характеристик поздних коррекционных ответов после пребывания в условиях 21-суточной опорной разгрузки, нивелирующиеся к четвертым суткам после завершения воздействия.

Исследования поддержаны проектом Российского научного фонда № 19-15-00435.

## КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ПРАВОЙ РУКИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЕЮ СМЫЧКА ПОДОБНО ИГРЕ НА ВИОЛОНЧЕЛИ

*В. Л. Талис, О. В. Казенников*

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН,  
г. Москва, Россия

Во время игры на струнном инструменте движение правой руки смычком должно идти с конкретной скоростью и амплитудой, одновременно сохраняя определенное взаимоположение смычка и инструмента. С помощью системы видеорегистрации анализировали изменение положения маркеров, установленных на антропометрических точках плеча, локтя, лучезапястного сустава, основания и конца указательного пальца правой руки испытуемого, а также маркеров, установленных на смычке и палке, поперек которой двигался смычок. Испытуемый следовал инструкции перемещать смычок вдоль линии его исходного положения подобно тому, как перемещается смычок при игре на виолончели. Испытуемый выполнял задание стоя со смычком в правой руке и палкой, которая упиралась в его левое плечо, подобно виолончели или контрабасу. Движение смычком выполнялось в трех условиях: 1) при опоре смычком на палку, 2) при опоре смычком на левую руку, лежащую на палке, и 3) без опоры, т. е., когда смычок удерживался правой рукой и больше ни на что не опирался. Такие три условия, в которых испытуемым выполнялась задача перемещать смычок вдоль линии его исходного положения, были выбраны потому, что в первом случае контакт смычка с жесткой палкой предположительно давал испытуемому дополнительную информацию о положении смычка в пространстве, во втором случае эта информация об абсолютном положении смычка дополнялась проприоцептивной афферентацией от левой руки, а в третьем — информация о положении смычка была доступна только от афферентов правой руки, удерживающей смычок. Движения во всех трех условиях выполнялись как с большой, так и с малой амплитудой. Предварительные данные показали наименьшую вариативность движения точки правого локтя во всех задачах и наибольшую вариативность движения конца смычка при движении его без опоры. Полученные данные имеют большое значение для педагогической практики обучения детей игре на струнных инструментах и позволяют сделать фундаментальные

выводы о вовлечении звеньев руки при изменении двигательной бимануальной задачи.

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОГРАВИТАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ**

*Т. А. Шигуева, В. В. Китов, Н. В. Шишкин,  
Е. С. Томиловская, И. Б. Козловская*

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Цель настоящей работы составило исследование влияния длительных космических полетов и условий, моделирующих их физиологические эффекты, на характеристики точностных произвольных движений.

Исследования выполнены с участием 30 космонавтов, членов экипажей длительных экспедиций (146—182 суток) на МКС и 12 испытателей-добровольцев, подвергавшихся пятисуточному воздействию «сухой» иммерсии. В качестве модели для исследования использовали задачу градации усилий при выполнении односуставных изометрических движений плантарной флексии, двигательной задачей являлось различение величин мышечных усилий при выполнении последовательно нарастающих усилий от минимального до максимального с минимальным различием в интенсивности соседних движений. Анализировали первоначальное минимальное усилие, которое рассматривали как абсолютный порог системы точного контроля, и среднее различие между соседними усилиями — рассматриваемое как дифференциальный порог. В каждой серии определяли число выполняемых градаций, в том числе ошибочных движений, в которых последующее усилие не превосходило по амплитуде предыдущее.

Результаты проведенного исследования выявили после длительных космических полетов существенное снижение точностных возможностей выполнения двигательной задачи. Число выполняемых движений снижалось в среднем на  $16,1 \pm 7,8$  %, при этом число ошибочных движений возрастало в 2 раза, а вариативность всех исследуемых параметров существенно превосходила фоновые значения, свидетельствуя о снижении точности системы управления произвольными движениями.

В условиях наземного моделирования безопорности испытуемые правильно выполняли двигательную задачу. Количественный анализ, однако, выявил при этом снижение точностных возможностей систем

управления движениями ног, что проявлялось в уменьшении общего числа различаемых усилий и повышении дифференциального порога. Тенденция к уменьшению абсолютного порога усилий была зарегистрирована на 5-й день СИ. Вместе с тем число ошибочных движений в ходе иммерсионного воздействия в дальнейшем постепенно уменьшалось.

Исследование с участием космонавтов поддержано Российской академией наук (тема 63.1). Исследование в условиях «сухой» иммерсии выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-315-00287 мол\_а.

## **ПОСТАКТИВАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ДЕЛЬТОВИДНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ КРАТКОСРОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ**

*А. Ю. Мейгал, Д. В. Гурьева, Л. И. Герасимова-Мейгал*

Петрозаводский государственный университет,  
г. Петрозаводск, Россия

Постактивационный эффект (ПАЭ), известный как «Kohnstammeffekt» («Katatonusversuch») по имени его первооткрывателя О. Конштамма, а также как «aftercontraction effect», представляет собой непроизвольное длительное сокращение мышцы после ее произвольного изометрического сокращения. Несмотря на внешнюю простоту вызывания этого феномена, к ПАЭ имеется постоянный научный интерес. Возможно, в ПАЭ проявляют себя базовые, эволюционно древние, механизмы движения и позы человека, автоматизмы и даже идеомоторные аспекты движения, и при ПАЭ, возможно, не формируется эфферентная копия «моторной команды» (Parkinson et al., 2009; De Navas et al., 2017). По сути, ПАЭ представляет собой мышечный тонус, который, как известно, снижается в условиях реальной или моделированной невесомости (Козловская, 1985). Поэтому научная гипотеза заключается в том, что состояние моделированной невесомости, вызванное «сухой» иммерсией (СИ), может повлиять на ПАЭ в виде снижения его интенсивности.

Для проверки этой гипотезы сравнили ПАЭ до и после условий невесомости по характеристикам поверхностной электромиограммы (ЭМГ) у 12 испытуемых (19—20 лет, 6 мужчин, 6 женщин). Оценивали длительность, амплитуду и частоту ЭМГ при ПАЭ испытуемого в условиях СИ (МЕДСИМ, ИМБП, Москва, Россия) на 45 мин. ПАЭ вызывали по

классической методике Конштамма. Изометрического сокращения дельтовидных мышц добивались при помощи удержания рук (60 с), чтобы они не отводились от туловища при сокращении. У 5 испытуемых ПАЭ был представлен в виде длительного отведения рук (до 5 мин) с нечетким окончанием на ЭМГ, у 5 испытуемых — в виде короткого (< 60 с) отведения с резким окончанием, в 2 случаях — в виде нескольких (2—20) коротких периодов отведения-приведения рук. Во время ПАЭ средняя частота ЭМГ (MNF) была статистически значимо больше по сравнению с ЭМГ произвольной активности на 10—18 Гц ( $p < 0,05$ ). После сеанса СИ амплитуда и средняя частота (MNF, Гц) ЭМГ дельтовидных мышц не изменились ни при ПАЭ, ни при произвольной активности ( $p > 0,05$ ), хотя наблюдалась слабая тенденция к росту MNF после СИ. Единственным значимым действием СИ оказалось увеличение длительности ПАЭ примерно в 2 раза (с 66 до 138 с,  $p = 0,036$ ).

Таким образом, гипотеза об ослаблении ПАЭ после сеанса СИ оказалась не верна. Вероятными причинами этого противоречия являются: 1) необходимость удержания равновесия после длительного лежания в условиях СИ и снижения мышечного тонуса нижних конечностей, 2) ортостатическая реакция, 3) функциональная специфичность дельтовидных мышц (эти мышцы являются разгибательными). Для решения этого вопроса предстоит оценить ПАЭ в сгибательной мускулатуре, меньше вовлеченной в антигравитационную активность, а также сопоставить полученные данные с результатами стабилотрии и ортостатической реакции до и после СИ.

Исследование поддержано госзаданием Минобрнауки РФ «Ведущие ученые» (17.7302.2017/ВУ, 2017—2019).

## **ПАТТЕРНЫ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПРИ СЛОЖНОКООРДИНАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

*С. А. Моисеев*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
г. Великие Луки, Россия

Вопрос организации обширных мышечных синергий и особенностей их функционирования в различные периоды движения остается актуальным на сегодняшний день. Поиск новых способов определения таких

функциональных образований также остается открытым. В этой связи у 12 самбистов изучали особенности пространственно-временной организации мышечных синергий с применением методов выявления главных компонент, оценки автокорреляционных и кросскорреляционных функций электромиограмм скелетных мышц при выполнении броска «захватом ног» в разных его периодах.

Установлено, что вариативность ЭМГ-активности скелетных мышц, задействованных в реализации движения, в различных периодах его выполнения связана с их целевой значимостью. Завершающий период движения характеризовался меньшей вариативностью электроактивности, чем начальный. Выявлены изменения электроактивности обширных синергий в зависимости от величины проявляемых мышечных усилий, характерных для разных периодов выполняемого движения. Синергетические взаимоотношения скелетных мышц демонстрируют пластичность их пространственной и временной организации. Установлены обширные взаимосвязи паттернов ЭМГ-активности ряда скелетных мышц, что определяет их пространственную организацию. Характерные черты синергетического взаимодействия отдельных мышц сохраняются при наличии запаздывания или опережения их активности во времени относительно друг друга, что свидетельствует о наличии четкой временной организации активности синергий. Большое количество активных мышечных синергий в начальном периоде броска «захватом ног», вероятно, обусловлено необходимостью совершать быстрые и точные движения, направленные на преодоление сопротивления противника, что обеспечивает надежное управление двигательной функцией.

При изучении синергетического взаимодействия скелетных мышц, задействованных в реализации сложного по координации двигательного действия, целесообразно использовать комплекс методик, включающий метод главных компонент, анализ авто и кросскорреляционных функций. Такой подход позволяет установить не только пространственную, но и временную организацию обширных мышечных синергий.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ В КОРРЕКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

*Н. В. Шишкин, Л. Е. Амирова, И. Ю. Ермаков, Е. С. Томиловская*

Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Целью данного исследования являлось изучение влияния вестибулярной билатеральной стохастической стимуляции на характеристики позной устойчивости у человека при ее детренированности вследствие пребывания в условиях пятисуточной опорной разгрузки («сухой» иммерсии, СИ).

Вертикальную устойчивость у 10 испытуемых-добровольцев оценивали трижды до и через 20—30 мин после завершения пятисуточной СИ. Для регистрации поструральных характеристик использовали методы стабиллографии и акселерометрии. Стимуляцию осуществляли с помощью аппарата «Опора». Интенсивность стимуляции выбиралась случайным образом в промежутке от 0,1 до 0,5 мА с шагом 0,1 мА, частота изменялась по случайному алгоритму в диапазоне от 2 до 30 Гц. На поверхности стабиллоплатформы была установлена полиуретановая подушка толщиной 20 см для ослабления опорных реакций.

При обработке данных анализировали среднюю скорость перемещения центра давления и разброс его колебаний во фронтальной плоскости с помощью акселерометров и датчиков угловой скорости, закрепленных на голове, груди, пояснице и коленях, оценивались их скорости и ускорения.

При обработке данных у шести испытуемых до СИ было выявлено положительное действие стимуляции на вертикальную стойку, при этом оптимальные амплитуды были индивидуальными и их стабилизирующее действие сохранялось после СИ. В среднем до иммерсионного воздействия уменьшение амплитуды и скорости колебаний при применении стимуляции составляло  $4,0 \pm 3,7$  %, непосредственно после СИ —  $8,1 \pm 6,2$  %. При этом, если во внимание брать только те эффективные амплитуды стимуляции, чувствительность к которым возрастала после СИ, то до воздействия уменьшение значений поструральных характеристик составляло  $2,5 \pm 3,8$  %, а после —  $11,3 \pm 5,8$  %

Данные результаты позволяют говорить о выраженном положительном влиянии вестибулярной стохастической стимуляции на вертикаль-

ную устойчивость человека непосредственно после окончания моделируемого гипогравитационного воздействия.

Работа поддержана Российской академией наук (тема 63.1)

## **РЕШЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ДВИЖЕНИЙ**

*Р. М. Гимазов*

Сургутский государственный педагогический университет,  
г. Сургут, Россия

Ключевыми элементами в двигательной функции человека, которые определяют научную перспективность и практическую целесообразность их изучения для процесса построения и совершенствования произвольных движений человека, являются решения двигательных задач.

При принятии положения о последовательности решений двигательных задач в нервной системе при построении движений концепция построения движений Н. А. Бернштейна (1947) раскрывает содержание одного из компонентов образуемой функциональной системы — исполнение реализации принятого решения (Анохин, 1975). Функциональная система может осуществляться в определенных двигательных способностях — в организменных условиях, которые включают компоненты той или иной анатомической принадлежности, предназначение которых — способствовать реализации механизмов нервно-мышечной системы, физических и психических процессов для получения результата. Реализация механизмов и процессов управляется соответствующим уровнем нервной системы и определяет подготовленность человека к построению движений при формировании двигательного действия. Системоорганизующим фактором функциональной системы является результат, определяющий образование кооперативных отношений между компонентами системы, взаимодействующих друг с другом для решения двигательной задачи. Целесообразно в дидактических и диагностических целях в практической деятельности специалистам, прямо или косвенно связанным с обучением, совершенствованием или восстановлением движений человека, руководствоваться контролем и оценкой не только самих двигательных способностей или отдельных механизмов и сторон подготовленности к построению движения, а образуемых свойств функциональной системы — результатов решения двигательных задач



на каждом неврологическом уровне построения движения. Результатами решений двигательных задач на субкортикальных уровнях нервной системы являются мышечный тонус, осанка, моторная память, кинестетическая чувствительность, мышечная синергия, нервное напряжение. Результатами решений двигательных задач на кортикальных уровнях нервной системы при построении движений являются целесообразность, исполнительская точность, моторная стабильность, временная точность, моторная устойчивость, индивидуальность.

## **КОНЦЕПЦИЯ О ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РЕШЕНИЙ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ**

*Р. М. Гимазов*

Сургутский государственный педагогический университет,  
г. Сургут, Россия

Процесс построения движений в двигательном действии предусматривает последовательность решений двигательных задач на уровнях нервной системы, где каждому неврологическому уровню подвластны свои специфические двигательные задачи. При построении движений на субкортикальных уровнях нервной системы решаются двигательные задачи: приспособительно (учет длины мышечных волокон для обеспечения необходимого напряжения/релаксации в скелетных мышцах из-за постоянно меняющихся положений пассивной части опорно-двигательного аппарата в пространстве; учет механизмов временной аккумуляции механической энергии движений в многозвенной шарнирно-стержневой системе; воспроизводство и узнавание решения двигательной задачи, сходной по смыслу с целью в формируемом двигательном действии); экономно (учет силовых затрат для «включения и выключения» скелетных мышц к решающему временному моменту движения); согласованно (учет всех напряжений и релаксаций скелетных мышц, исходя из масс-инерционных характеристик звеньев тела и тела в целом); быстро (учет быстроты принятия решения нервной системой для скелетных мышц о силе напряжения или релаксации, количестве вовлекаемых в работу мышц, фиксации суставных углов, учете сил инерции и т. д.). При построении движений на кортикальных уровнях нервной системы решаются двигательные задачи: адекватно (учет соответствия образа цели действия составу двигательного действия); точно (учет со-

ответствия пространственно-временных и динамических характеристик системы телодвижений и движений запланированной цели двигательного действия); стабильно (учет достижения цели двигательного действия с необходимыми биомеханическими характеристиками в повторных и запланированных двигательных ситуациях); изворотливо (учет точного воспроизводства цели двигательного действия в течение актуального для двигательной ситуации отрезка времени); инициативно (учет точного воспроизводства цели двигательного действия в двигательных ситуациях под влиянием сбивающих внешних факторов и неблагоприятных условий); гармонично (учет согласования всех решений двигательных задач в возникающих двигательных ситуациях для достижения цели формируемого двигательного действия).

## **ПРИЗНАКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА В ДИНАМИКЕ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

*Н. Д. Бабанов, О. В. Кубряк*

НИИ нормальной физиологии им. П. К. Анохина, г. Москва, Россия

В отличие от обычно рассматриваемых сегодня концепций мышечных адаптаций, где в качестве ключевых механических стимулов рассматриваются перенапряжение, недостаточное растяжение, перегрузка и недогрузка мышц, а также могут учитываться изоформы цепи миозина, характеристики саркомера и т. д., значимую, но малоакцентируемую сегодня в изучении адаптации мышц к той или иной деятельности роль, на наш взгляд, играют перераспределения активностей. Например, количественные изменения соотношений активностей мышц сгибателей и разгибателей конечности — «тонкие настройки». Такие перераспределения, полагаем, связаны преимущественно с изменением «управляющего сигнала» — т. е. быстрой системной адаптацией к выполняемой человеком деятельности. Идея оценки изменения конфигурации с помощью графа была реализована в совместном с кафедрой физиологии человека и животных и биофизики КФУ им. В. И. Вернадского (зав. кафедрой Е. Н. Чуян) эксперименте. В наблюдении, представлявшем собой курс из пятидневной серии повторяющихся кратких двигательных задач, участвовали 20 здоровых юношей-добровольцев. Анализ индивидуальных и групповых параметров продемонстрировал,

что распределения показателей активности мышц-разгибателей на обеих руках были динамичны. При этом для мышц-сгибателей наблюдались большие значения максимальных амплитуд ЭМГ и более выраженный сдвиг (к снижению показателей от фона в направлении последующих целевых сеансов) при нелинейном характере изменений. Планируется продолжить разработку предлагаемого подхода в новой серии наблюдений. Значимость темы связывается, например, с потенциальной пользой для объективной оценки реабилитационного потенциала при нарушениях функции конечности, для построения и обоснования системы контроля эффективности восстановительного лечения и др.

### **ДВИГАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ У БОЛЬНЫХ ПАРКИНСОНИЗМОМ В ТЕЧЕНИЕ КУРСА «СУХОЙ» ИММЕРСИИ И ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ИММЕРСИИ**

*А. Ю. Мейгал<sup>1</sup>, Л. И. Герасимова-Мейгал<sup>1</sup>, И. В. Саенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Петрозаводский государственный университет,  
г. Петрозаводск, Россия;

<sup>2</sup> Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

Моделированная микрогравитация, индуцированная состоянием «сухой» иммерсии (СИ), вызывает быстрое и сильное снижение мышечного тонуса (МТ), сопоставимое с эффектом реальной невесомости (Козловская, 2007). На основе этих данных нами было показано, что СИ способна снижать не только нормальный, но и патологически усиленный МТ у больных паркинсонизмом (БП), который проявляет себя в виде пластического гипертонуса (ригидности) мышц. Так, по клиническим данным (шкала UPDRS-III), ригидность уменьшалась в среднем на 15 % после курса СИ (Meigal et al., 2018). Также было показано, что на 30—40 % снижается выраженность депрессии (Meigal et al., 2019) и вегетативных симптомов (Мейгал и соавт., 2017). После однократной СИ, по предварительным данным, снижение ригидности достигало 30—40 % (Мейгал и соавт., 2019). Заметное влияние СИ оказывала и на наличие тремора. Так, после однократной СИ регулярность электромиограммы, оцениваемая нелинейными параметрами, снижалась на 15—20 % (Miroshnichenko et al., 2018). Вместе с тем после курса СИ, по предварительным данным, такой же эффект не наблюдался. Характе-

ристики вертикальной стойки больных БП, оцененные при помощи стабиллометрии (ST150, «Мера», РФ), показали полное отсутствие эффекта на них курса СИ, а однократная СИ приводила к заметному уменьшению длины пути, скорости и площади перемещения центра давления при закрытых глазах как у больных БП, так и у молодых испытуемых (Мейгал и соавт., 2019). Применение теста TUG (Timed Up and Go) с использованием системы видеозахвата (Видеоанализ 3D, «Биософт», Москва, РФ) показало отсутствие эффекта на скорость вставания со стула после курса СИ у больных БП (Мейгал и соавт., 2019). Полученные данные свидетельствуют о том, что снижение клинической выраженности МТ (ригидности), наблюдаемое при действии СИ, не реализуется в улучшение параметров движения или стояния. Этот результат сопоставим с тем, что, по данным шкалы UPDRS-II (повседневная активность), СИ также не оказывает эффекта на движения больного БП. Для решения данного противоречия в настоящее время проводится исследование характеристик шагания при помощи носимых инерционных датчиков, встроенных в мобильное устройство (IMU — inertial measurement unit) смартфона. Чувствительность данного метода к характеристикам шагания была показана ранее (Reginya et al., 2019).

Исследование времени реакции (RT, reaction time) в нескольких психофизиологических тестах показало, что RT в реакциях с наибольшей когнитивной нагрузкой (реакция выбора) в наибольшей степени уменьшаются после курса СИ (на 25 %), тогда как простая зрительно-моторная реакция и теппинг-тест практически не модулируются курсом СИ (Мейгал и соавт., 2019). Полученные результаты позволяют предположить, что местом действия СИ в организме человека являются преимущественно когнитивные и аффективные, а не двигательные механизмы. Вместе с тем остается открытым вопрос о механизме снижения МТ (ригидности) у больных БП после СИ.

Исследование поддержано госзаказанием Минобрнауки РФ «Ведущие ученые» (17.7302.2017/ВУ, 2017—2019).

## **ВЛИЯНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА НА ПОСТУРАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕЛОВЕКА**

*Л. М. Бикчентаева, А. А. Ребик, А. Д. Милицкова,  
Э. Р. Мухаметова, Т. В. Балтина, Г. Г. Яфарова*

Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
НИЛ «Двигательная нейрореабилитация», г. Казань, Россия

Изучение природы двигательных патологий и разработка систем их профилактики составляют одно из важнейших и актуальнейших направлений физиологии и медицины. Эссенциальный тремор и тремор при болезни Паркинсона может частично или полностью нарушать выполнение обычных двигательных функций: у пациентов возникают затруднения в реализации произвольных движений и поддержании позы. В связи с этим представляется актуальной разработка новых нейромодуляционных технологий для реабилитации таких пациентов. Чрескожная стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ) задних корешков спинного мозга, синхронно воздействуя на афферентные каналы совокупностей миотомов мышц-антагонистов верхних и нижних конечностей, как представляется, может подавлять тремор и восстанавливать постуральную устойчивость у пациентов с центральными двигательными расстройствами.

Целью данного исследования явилось изучение влияния ЧЭССМ шейного отдела спинного мозга на параметры постуральной устойчивости у здоровых испытуемых. В исследовании приняли добровольное информированное участие 11 испытуемых в возрасте 20—27 лет. Стимуляция проводилась на уровне С5—6 позвонков с помощью круглого стимулирующего электрода (катод), индифферентные электроды (анод) располагались симметрично на ключицах. Длительность стимула составляла 1 мс, частота — 5 Гц, сила стимула — 90 % от значений порога возникновения ответов мышц верхних конечностей на ЧЭССМ. До и после ЧЭССМ (3 мин.) регистрировалась стабิโลграмма в стандартной европейской стойке.

После ЧЭССМ у испытуемых наблюдали улучшение постуральной устойчивости. Так, интегральный показатель «качество функции равновесия» изменился в среднем с  $89,4 \pm 2,3$  % до  $91,2 \pm 1,7$  % ( $p < 0,05$ ). После ЧЭССМ регистрировалось достоверное уменьшение общей линейной скорости смещения центра давления в среднем на 9 %. При этом

необходимо отметить, что линейная скорость смещения по фронтальной плоскости после ЧЭССМ уменьшалась более значительно (в среднем на 13 %,  $p < 0,05$ ), чем аналогичный показатель по сагиттальной плоскости (изменение в среднем на 5 %).

Таким образом, ЧЭССМ шейного отдела спинного мозга приводит к улучшению стабилومترических показателей и может оказаться перспективным методом для реабилитации пациентов с различными двигательными расстройствами.

### **СОСТОЯНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ КРЫСЫ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ, КОМБИНИРУЕМОЙ СО СТИМУЛЯЦИЕЙ СПИННОГО МОЗГА И АКТИВАЦИЕЙ КОЖНЫХ АФФЕРЕНТОВ**

*А. О. Федянин, Т. Н. Зайцева, А. И. Литфуллин, М. Э. Балтин,  
Н. Ф. Ахметов, Т. В. Балтина, А. А. Еремеев*

Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Институт фундаментальной медицины и биологии, г. Казань, Россия

Исследовали влияние гипогравитации и гипогравитации, комбинируемой с ежедневной стимуляцией спинного мозга и активацией опорных рецепторов на функциональное состояние двигательного центра камбаловидной мышцы (КМ) крысы. Эксперименты проводили с соблюдением всех биоэтических норм на лабораторных крысах массой 190—210 г. В зависимости от экспериментальных условий животные были разделены на следующие группы: АОВ — животные, вывешенные в антиортостатическом положении ( $n = 5$ ); АОВ + ЭС — животные, вывешенные в антиортостатическом положении с ежедневной электро-стимуляцией спинного мозга ( $n = 4$ ); АОВ + МС — животные, вывешенные в антиортостатическом положении с ежедневной магнитной стимуляцией спинного мозга ( $n = 5$ ); АОВ + ОП — животные, вывешенные в антиортостатическом положении с ежедневной активацией опорных рецепторов ( $n = 5$ ). Электростимуляцию осуществляли через электроды, предварительно имплантированные к эпидуральной оболочке (сегмент L1); магнитную стимуляцию проводили восьмиобразным индуктором (уровень позвонков T13—L3); для активации рецепторов опоры животных высаживали в клетке с горизонтальной опорной поверхностью 15 см × 15 см. Через 7 сут. воздействия экспериментальных условий при

раздражении седалищного нерва регистрировали рефлекторный (Н) ответ КМ. Определяли порог возникновения, максимальную амплитуду, латентность и длительность вызванных потенциалов. Вычисляли отношение максимальных амплитуд рефлекторного и моторного ответов —  $[(H_{max}/M_{max}) * 100 \ %]$ . В качестве контрольных использовали данные, полученные при исследовании интактных животных ( $n = 5$ ).

Результаты экспериментов свидетельствуют об увеличении рефлекторной возбудимости двигательного центра КМ в группе АОВ, о расширении пула мотонейронов, реагирующих на афферентную стимуляцию в группах АОВ и АОВ + МС, об увеличении скорости распространения возбуждения по рефлекторной дуге в группах АОВ + ЭС и АОВ + МС. Ежедневная активация опорных рецепторов при моделируемой гравитационной разгрузке предотвращает изменение состояния двигательного центра КМ: в группе АОВ + ОП параметры Н-ответа соответствовали значениям, регистрируемым в контроле.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-01067.

## **ИНЕРЦИОННОСТЬ СПИНАЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ ЛОКОМОЦИЮ В РАЗНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ**

*Н. С. Меркульева<sup>1, 2, 3</sup>, В. А. Ляховецкий<sup>1, 2</sup>,  
О. В. Горский<sup>1, 2, 3</sup>, П. Е. Мусиенко<sup>1, 2, 3</sup>*

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Локомоция — результат сложных взаимодействий между нейронными сетями спинного и головного мозга. Модель спинального животного убедительно доказала, что активность только спинальных сетей достаточна для поддержания шагательных движений, вызванных внешней стимуляцией (электрической или болевой). Было замечено, что прекращение действия триггерного стимула для вызова ходьбы вперед (наиболее изученной формы локомоции) не вызывает одномоментного прекращения движений конечностей (Мусиенко и др. 2005, 2009). Дан-

ная локомоторная активность (пост-эффeкт) на сегодняшний день мало изучена, при этом очевидно, что степень ее выраженности может означать силу вовлечения в активность спинальных локомоторных нейронов (их инерционность). В настоящей работе мы сравнили степень выраженности пост-эффeкта при двух формах локомоции: ходьбе вперед (ХВ) и ходьбе назад (ХН), поскольку ранее выявили серию принципиальных отличий в организации сетей, обеспечивающих эти формы локомоции (Musienko et al., 2012; Merkulyeva et al., 2018).

В исследовании использовано 13 взрослых кошек обоего пола, децеребрированных на преколиккулярном-постмамиллярном уровне; ХВ и ХН вызывали эпидуральной электрической стимуляцией (ЭС) дорзальной поверхности спинного мозга в области сегментов L6—L7 (параметры стимуляции: 5 Гц; 0,5 мс; 80—200 мкА). Направление ходьбы определялось направлением движения лент тредбана. Пост-эффeкт оценивали по двум критериям: длительности интервала (ДИ) между прекращением ЭС и прекращением локомоторных движений и числу пост-шагов (ПШ). Данные представлены как среднее  $\pm$ SD. Для ХВ разброс пост-эффeкта значителен: ДИ варьирует от 0,5 с до 29 с (в среднем  $9 \pm 10$  с), ПШ — от 1 до 78 (в среднем  $6,9 \pm 6,6$ ). Для ХН ситуация иная: в большинстве случаев, при равной длительности ЭС, ХН завершалась раньше, чем прекращалась ЭС; если же ХН продолжалась после прекращения ЭС, то ДИ не превышала 3 с. ПШ при ХН в большинстве случаев отсутствуют; если же они есть, то не превышают 3 с (в среднем  $0,7 \pm 1,0$  с). Полученные данные указывают на различную инерционность спинальных нейронных сетей, контролирующих локомоцию в разных направлениях.

Работа выполнена в рамках проекта Санкт-Петербургского государственного университета № 51134206 (проведение экспериментов), при поддержке гранта РФФИ № 19-015-00409 (анализ данных).



## ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ОПОРНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ В ИНТЕГРАТИВНОМ КОНТРОЛЕ ПОЗЫ И ЛОКОМОЦИИ

А. Попов<sup>1</sup>, В. А. Ляховецкий<sup>1,3</sup>, Е. Баженова<sup>1,2</sup>, О. В. Горский<sup>1,2,3</sup>,  
Д. Калинина<sup>2</sup>, Н. С. Меркульева<sup>1,2,3</sup>, П. Е. Мусиенко<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт физиологии им И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия

Нейрональный контроль локомоции и позы тесно связаны и в значительной степени зависят от сенсорной афферентации задних конечностей. Известно, что после состояния безопорности при hindlimb unloading обнаруживаются изменения кинематики задних конечностей, увеличение фазы опоры, а также параметров ЭМГ мышц голени. Однако неясно, как связаны локомоторные изменения с постуральным контролем после вывешивания. Таким образом, целью нашей работы было оценить активность мышц туловища, связанную с ними постуральную устойчивость и активность мышц задней конечности после семидневного вывешивания по методу Morey — Holton. У шести крыс Wistar регистрировалась активность паравертебральных мышц (Vert) и мышц задней конечности, *m. semitendinosus* (ST), *m. tibialis anterior* (TA), *m. soleus* (SOL), при локомоции на тредбане, а также кинематика максимального отклонения таза в цикле шага. Показано, что недельное пребывание в условиях вывешивания значительно увеличивает латеральное отклонение таза в локомоторном цикле и повышает активность паравертебральных мышц. Выявлена тенденция к увеличению длительности локомоторных пачек в экстензоре SOL. Обнаружено значимое увеличение средней амплитуды локомоторных пачек во флексоре (TA) и флексорной активности двусуставной мышцы ST с одновременным снижением длительности их пачек. Реципрокные отношения между активностью флексоров, вычисленные по задержке между началом их активности, не изменялись. Полученные результаты свидетельствуют о нарушении функции поддержки веса тела и баланса после вывешивания, что влияет на основные характеристики локомоторного цикла. Создание дополнительной нагрузки на опорную конечность из-за нарушения постуральной устойчивости может являться причиной увеличения длительности SOL и, соответственно, удлинения фазы опоры. Схожее изменение флексорной активности как единого компонента локомоции может быть ре-

зультатом адаптивных изменений супраспинального контроля в виде попытки смены локомоторной стратегии при движении на тредбане в сторону рыси и галопа. Обсуждаются компенсаторные механизмы дефицита опорной афферентации после вывешивания и возможная их рассинхронизация.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 17-29-01034\_офи м.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОТОРНОГО ПОВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНОГО И ИЗМЕНЕННОГО ДОФАМИНЕРГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА МОДЕЛИ DAT-КО КРЫС**

*Д. Калинина<sup>1</sup>, А. Горяинова<sup>1</sup>, Ю. Сысоев<sup>1</sup>, Е. Баженова<sup>1,2</sup>,  
А. Попов<sup>2</sup>, Р. Гайнетдинов<sup>1</sup>, П. Е. Мусиенко<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт физиологии им И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия

Нигростриарный дофаминовый путь является главным элементом экстрапирамидной системы, которая отвечает за бессознательный контроль тонуса мышц, позы тела, мимику, пластичность при разных формах локомоторного поведения. Нарушения в этой системе ведут к развитию таких сенсомоторных заболеваний, как синдром Паркинсона, мышечная ригидность и тремор, гипо- и гиперкинезы. Для понимания механизмов формирования дофамин-ассоциированных заболеваний и поиска терапевтических средств крайне важны создание и валидизация животных моделей. Крысы с нокаутом (КО) по дофаминовому транспортеру (DAT) представляют собой хорошую модель для исследования дофамин-ассоциированных заболеваний. В данной работе выполнялись нейрофизиологические исследования на трансгенных животных (DAT-КО) для изучения спинальных и супраспинальных механизмов управления двигательной активностью в условиях различного моноаминергического влияния. Ранее было показано, что отсутствие DAT у DAT-КО животных приводит к увеличению внеклеточной концентрации дофамина в 7 раз, а блокада синтеза дофамина — к его полному отсутствию в нейроне и синаптической щели, что позволяет моделировать тяжелую степень паркинсонизма. Разработан широкий спектр

поведенческих тестов для нокаутных крыс, а также отработаны электрофизиологические методы, обеспечивающие всестороннее изучение сенсомоторных функций. Анализ локомоторного поведения в таких локомоторных тестах, как ходьба по дорожке или по тредбану, перемещение по лесенке (что требует точности и слаженности многих систем), плавание (условия иммерсии и гравитационной разгрузки), выявил особенности локомоторной и поструральной функций в условиях измененного дофаминергического контроля.

Работа проведена в рамках проекта Санкт-Петербургского государственного университета № 51134206 (проведение экспериментов на модели DAT-KO крысы), при поддержке гранта РФФИ № 17-29-01034\_офи м (анализ данных).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ТРЕЙСАМИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ В КОНТРОЛЕ ЛОКОМОЦИИ И ПОЗЫ НА МОДЕЛИ TAAR-KO МЫШЕЙ**

*Д. Калинина<sup>1</sup>, А. Горяинова<sup>1</sup>, Ю. Сысоев<sup>1</sup>, Е. Баженова<sup>1,2</sup>,  
А. Попов<sup>2</sup>, Р. Гайнетдинов<sup>1</sup>, П. Е. Муслиенко<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup>Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Институт физиологии им И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия

Моноамины играют важную роль в регуляции поведения человека и животных, изменяя реактивность нейронных сетей, в частности обеспечивающих движение и поддержание позы. Использование фармакологических препаратов для выявления вектора влияния на ту или иную функцию может быть осложнено ввиду специфичности их действия, тогда как генетически модифицированные организмы имеют большой потенциал для моделирования различных состояний и заболеваний. Следовые амины (trace amines, TA) структурно близки к классическим моноаминам, однако их функции все еще слабо изучены — TAAR-KO мыши с нокаутом гена, кодирующего рецептор к следовым аминам, являются удобной моделью для исследования их влияния на нейрональные сети. Выполнялись нейрофизиологические исследования на TAAR-KO мышах для изучения роли рецепторов к следовым аминам в управлении двигательной активностью. Разработаны тесты и электро-

физиологические подходы для нокаутных мышей, направленные на всестороннее изучение сенсомоторных функций. Получены предварительные данные о мономоаминаргических влияниях, опосредованных рецепторами к следовым аминам, на контроль сенсомоторных функций в условиях гравитационной разгрузки, при выполнении тестов на оценку координации, постуральных и вестибулярных реакций.

Работа проведена в рамках проекта Санкт-Петербургского государственного университета № 51134206 (проведение экспериментов на моделях TAAR-КО мышей), при поддержке гранта РФФИ № 17-29-01034\_офи м (анализ данных).

## **Часть 2**

### **Прикладные вопросы физиологии движения:**

**Микрогравитация**

**Спорт**

**Методы изучения движения**

**Клиника**

**Реабилитация**

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СЕМИДНЕВНОГО ВЫВЕШИВАНИЯ НА ФЛЕКСОРНУЮ И ЭКСТЕНЗОРНУЮ АКТИВНОСТЬ ИКРОНОЖНОЙ МЫШЦЫ КРЫСЫ ПРИ ЛОКОМОЦИИ ПО ТРЕДБАЛУ

А. Попов<sup>1</sup>, В. А. Ляховецкий<sup>1,3</sup>, Е. Баженова<sup>1,2</sup>, О. В. Горский<sup>1,2,3</sup>,  
Д. Калинина<sup>2</sup>, Н. С. Меркульева<sup>1,2,3</sup>, П. Е. Мусиенко<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт физиологии им И. П. Павлова РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия

После состояния вывешивания задних конечностей у крыс обнаруживаются кинематические изменения голеностопного и коленного суставов, увеличение длительности локомоторного цикла и активности *m. soleus* (SOL) — односуставной мышцы экстензора голеностопного сустава. Однако неясно, какие изменения после вывешивания возникают с активностью его синергиста *m. gastrocnemius medialis* (GM). GM, помимо ее основной функции экстензии в голеностопе, является также флексором коленного сустава. Целью настоящей работы было исследование изменений экстензорной и флексорной активности GM и их влияния на кинематику движений задней конечности в условиях вывешивания. Для этого у 6 крыс Wistar до и после семидневного вывешивания по методу Morey — Holton регистрировалась активность GM, SOL и *m. semitendinosus* (ST) при локомоции на тредбане, а также кинематика задней конечности в цикле шага. Обнаружено достоверное увеличение средней флексорной активности GM, ко-активной, как до, так и после вывешивания с флексорной активностью ST. Экстензорная активность GM, ко-активная с SOL не показали достоверных изменений амплитуды, однако, как и SOL, имели тенденцию к увеличению длительности. Были выявлены гиперэкстензия коленных суставов со второй половины фазы опоры, а также тенденция к увеличению угла голеностопного сустава в конце фазы опоры. Однако не обнаружено линейной зависимости как до, так и после вывешивания, между активностью GM и кинематическими изменениями. Полученные результаты свидетельствуют, что состояние сниженной опорной афферентации приводит к увеличению только флексорной активности GM в конце фазы опоры, но не экстен-

зорной активности. Обсуждаются механизмы изменения активности ГМ и кинематики движений после вывешивания.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 17-29-01034\_офи м.

## ПОСТУРАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СПОРТСМЕНОВ: РОЛЬ СПОРТИВНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

*А. М. Андреева<sup>1,2</sup>, А. А. Мельников<sup>2</sup>, Д. В. Скворцов<sup>1</sup>,  
В. А. Драгелите<sup>1</sup>, С. М. Чечельницкая<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Центр спортивных инновационных технологий и сборных команд  
Москомспорта, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> РГУФКСМиТ, г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> ЛРНЦ «Русское поле» НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева,  
г. Москва, Россия

Во многих работах показана повышенная постуральная устойчивость спортсменов отдельных видов спорта. Однако сравнительных анализов с участием спортсменов всех основных направленностей видов спорта выполнено немного. Целью нашей работы было сравнить постуральную устойчивость спортсменов разных видов спорта в вертикальной стойке на двух ногах с открытыми (ГО) и закрытыми (ГЗ) глазами ( $n = 936$ , возраст: 6—47 лет, дев./юн.: 484/452 чел.).

Все спортсмены были разделены на 13 условных групп на основе двигательного-координационного сходства: спортивные игры с мячом руками ( $n = 90$ ), стрельба ( $n = 72$ ), бокс ( $n = 106$ ), теннис ( $n = 57$ ), горные лыжи ( $n = 49$ ), фигурное катание ( $n = 86$ ), футбол ( $n = 70$ ), гребля ( $n = 24$ ), борьба ( $n = 71$ ), конькобежный спорт ( $n = 61$ ), лыжные гонки ( $n = 37$ ), бег ( $n = 45$ ), гимнастика ( $n = 168$ ) и контроль ( $n = 225$ , возраст: 7—30 лет, дев./юн.: 97/128 чел.). Постуральную устойчивость оценивали с помощью скорости колебаний ОЦД ( $V_{\text{оцд}}$ ) в стойке с ГО и ГЗ на стабиллоплатформе (50 Гц) «Стабилан-01-2», длительность записей 60 с.

Согласно Tukey's HSD тесту, порядок увеличения  $V_{\text{оцд-ГО}}$  среди спортсменов относительно группы контроля следующий: стрельба ( $-11,3\%$ ,  $p < .0001$ ) < футбол ( $-0,4\%$ ,  $p < .0001$ ) < бокс ( $-8,7\%$ ,  $p < .0001$ ) < лыжи ( $-7,2\%$ ,  $p < .0001$ ) < гимнастика ( $-7,0\%$ ,  $p < .0001$ ) < бег ( $-6,9\%$ ,  $p < .0001$ ) < борьба ( $-6,3\%$ ,  $p < .0001$ ) < спортивные игры с мячом руками ( $-6,8\%$ ,  $p < .0001$ ) < теннис ( $-5,5\%$ ,  $p = 0,0004$ ) < горные лыжи

(-5,4 %,  $p = 0,002$ ) < гребля (-5,0 %,  $p = 0,194$ ) < конькобежный спорт (-4,7 %,  $p = 0,004$ ) < фигурное катание (-3,6 %,  $p = 0,034$ ).

Порядок увеличения  $V_{\text{оцд-ГЗ}}$  спортсменов относительно контроля по Tukey's HSD тесту: стрельба (-10,7 %,  $p < 0,0001$ ) < футбол (-8,5 %,  $p < 0,0001$ ) < бокс (-7,5 %,  $p < 0,0001$ ) < лыжи (-6,5 %,  $p = 0,045$ ) < борьба (-6,1 %,  $p = 0,003$ ) < гимнастика (-5,8 %,  $p < 0,0001$ ) < бег (-3,7 %,  $p = 0,72$ ) < спортивные игры с мячом руками (-3,5 %,  $p = 0,33$ ) < теннис (-2,8 %,  $p = 0,91$ ) < горные лыжи (-2,5 %,  $p = 0,97$ ) < конькобежный спорт (-2,5 %,  $p = 0,95$ ) < гребля (-2,0 %,  $p = 1,0$ ) < фигурное катание (-1,2 %,  $p = 1,0$ ).

Постуральная устойчивость спортсменов всех подгрупп была выше, чем в контроле, наименьшая  $V_{\text{оцд-ГО}}$  была у спортсменов-стрелков. Спортивная тренировка любой направленности оказывает неспецифическое позитивное влияние на регуляцию позы, однако наиболее выраженное и, вероятно, специфическое, воздействие отмечается при занятиях стрельбой.

## **ВЛИЯНИЕ РИТМИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БЕГОВОГО ШАГА**

*М. Г. Барканов*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
г. Великие Луки, Россия

Цель исследования заключалась в изучении влияния ритмической электрической стимуляции копчикового сплетения на кинематические и электромиографические параметры бегового шага. В экспериментах принимали участие 5 здоровых мужчин в возрасте 17—25 лет. Испытуемые выполняли бег с максимальной скоростью на пассивном тредбане (Cosmos Saturn, Германия), т. е., держась за поручни, проталкивали ленту дорожки усилиями ног. Каждый испытуемый выполнял проталкивание в течение 10 с без электрической стимуляции и проталкивание в течение 10 с, во время которых наносилась непрерывная электрическая стимуляция копчикового сплетения. Между попытками был интервал отдыха, достаточный для полного восстановления. Во время бега регистрировались кинематические параметры и электромиографиче-



ские параметры мышц нижних конечностей (*m. vastus lateralis*, *m. biceps femoris*, *m. gastrocnemius*, *m. tibialis anterior*). Стимуляционный активный электрод располагался в накожной проекции копчикового сплетения (Co1—Co4). Индифферентные электроды располагались симметрично на гребнях подвздошных костей.

Выявлено, что 10-секундная ритмическая электрическая стимуляция копчикового сплетения во время бега привела к увеличению дистанции, пройденной конечной антропометрической точкой по оси X во время периода переноса, на 4,02 %. В естественных условиях бега повышение дистанции антропометрической точки вызвало бы увеличение времени периода переноса, но зарегистрировано, что продолжительность переноса под воздействием электростимуляции и без нее оставалась практически неизменной.

В проведенных исследованиях использование непрерывной электрической стимуляции копчикового сплетения на фоне выполнения произвольных локомоторных движений сопровождалось повышением активности скелетных мышц, отвечающих за сгибание в коленном и голеностопном суставах. Под воздействием электрической стимуляции копчикового сплетения средняя амплитуда биопотенциалов *m. biceps femoris* повысилась во время периодов опоры и переноса на 16,83 % и 18,13 % соответственно. Значительное повышение средней амплитуды биопотенциалов (9,06 %) наблюдалось и у *m. gastrocnemius* в периоде опоры.

Электрическая стимуляция копчикового сплетения может быть использована для изменения координационной структуры бегового шага.

## **ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ГРЕБЦОВ НА КАНОЭ, ПРЕДПОЧИТАЮЩИХ ЛЕВОСТОРОННЮЮ СТОЙКУ**

*Е. М. Бердичевская, Л. В. Черенкова*

Кубанский государственный университет физической культуры,  
спорта и туризма, г. Краснодар, Россия

Спортивные физиологи, биомеханики, специалисты по теории и методике физической культуры и спорта все чаще обращают внимание на механизмы и проявления формирования отдельных поз. Вертикальная поза — базовый стержень, на который опираются все технические действия в любом виде спорта. Поэтому целью исследования явился

анализ особенностей внутри- и межполушарной когерентности (ВП и МП КОГ) ЭЭГ при удержании простой произвольной вертикальной позы высококвалифицированными каноистами, предпочитающими левостороннюю стойку. В исследовании участвовали 16 каноистов (МСМК, МС и КМС; в возрасте от 17 до 23 лет) и 17 нетренированных сверстников с «преимущественно левым» индивидуальным профилем асимметрии (по схеме «рука — нога — глаз — ухо»). Регистрацию ЭЭГ осуществляли телеметрически с помощью компьютерного портативного АПК ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (ООО НПКФ «Медиком МТД»). Тест Ромберга с открытыми глазами реализовали с помощью двухплатформенного компьютерного стабиланализатора «Стабилан-01» (StabMed; ОКБ «Ритм»). Для статистической обработки использовали пакет «Statistica-7.0». У каноистов (по сравнению с нетренированными сверстниками) выявлен достоверно низкий уровень ВП КОГ в правом полушарии: в лобных, центральных, теменных и затылочных областях для большинства диапазонов частот. Эта закономерность распространяется на короткие и, особенно, длинные симметричные, а также «перекрестные» межполушарные связи, особенно те, которые «выходят» на правую лобную область, и в тета- и альфа-диапазонах ритмов ЭЭГ. Анализ МП КОГ также свидетельствует об экономизации в большинстве церебральных регионов, особенно в префронтальных и фронтальных областях, в затылочных отведениях в дельта1-, альфа- и бета2-диапазонах. Напротив, в центрально-теменно-затылочных отведениях левой гемисферы формируется «треугольник» связей, где ВП КОГ у гребцов выше, чем у нетренированных сверстников. Таким образом, у спортсменов экономизация ВП КОГ затрагивает оба полушария, в первую очередь правое, а увеличение ВП КОГ — только локальные области левой гемисферы. Возможно, это формирует наиболее «благоприятный фон» для осуществления ювелирной постуральной регуляции каноистов при поддержании равновесия в сложнейшей «основной стойке» в реальных соревновательных условиях.

## ИЗМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИЛОВОЙ ТРЕНИРОВКИ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

А. А. Мельников<sup>1</sup>, П. А. Смирнова<sup>2</sup>, Р. Ю. Николаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия;

<sup>3</sup> Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Устойчивость вертикальной позы, как правило, положительно связана с силой отдельных постуральных мышц: разгибателей ног и туловища. Однако развитие силы постуральных мышц не всегда отражается на статической устойчивости позы, по крайней мере, молодых лиц. Целью работы было оценить влиянием силовой тренировки постуральных мышц нижних конечностей на изменение регуляции вертикальной позы у молодых нетренированных девушек. Обследованы здоровые 40 девушек-студенток (17—21 год): 20 девушек — контрольная группа и 20 девушек — группа силовой тренировки (9 недель, 3 раза в неделю по 80 мин.). Постуральную устойчивость определяли в стойке (40 с) на стабиллоплатформе «Neurocor» (Москва) на одной ноге в трех условиях: 1) с открытыми глазами (ОГ), 2) закрытыми глазами (ЗГ) и 3) в стойке на подвижной пресс-папье ( $r = 60$  см,  $h = 10$  см) с ОГ. Динамический баланс определяли как максимальное время (до падения в секундах) стояния на одной ноге на неустойчивой пресс-папье ( $r = 60$  см,  $h = 30$  см). Скорость и амплитуду колебаний углов в голеностопном и коленном суставах синхронно с колебаниями центра давления (ЦД) во время постуральных тестов определяли тремя гониометрическими датчиками («Neurocor»). Силовые способности регистрировали с помощью прыжка в длину, времени бега 12 м (автоматическая регистрация) и силовых тренажеров (сгибание и разгибания ног с субмаксимальным сопротивлением). Компонентный состав тела и нижних конечностей определяли с помощью биоимпедансного анализа (Медасс). Для выявления различий в динамике всех показателей использован Анова для повторных измерений. После силовой тренировки отмечалась более эффективная динамика силовых способностей в экспериментальной группе: бег 12 м ( $p < 0,05$ ), разгибания ( $p < 0,05$ ) и особенно сгибания

( $p < 0,001$ ) ног в тренажере. Также существенно увеличилось время сохранения динамического баланса на пресс-папье до падения ( $p < 0,05$ ). Значительных признаков гипертрофии мышц нижних конечностей по данным биоимпедансного анализа не выявлено. Несмотря на снижение амплитуды и колебаний общего ЦД в статических позах после тренировки, межгрупповых различий в динамике показателей этих колебаний не выявлено. Таким образом, у молодых испытуемых силовая тренировка мышц нижних конечностей практически не влияет на регуляцию статического равновесия, но повышает способность к динамическому равновесию.

## **РОСТРОКАУДАЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ ХОДЬБЫ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА КОШКИ**

*В. А. Ляховецкий<sup>1, 2</sup>, Н. С. Меркульева<sup>1, 2, 3</sup>,  
О. В. Горский<sup>1, 2, 3</sup>, П. Е. Мусиенко<sup>1, 2, 3</sup>*

<sup>1</sup> Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий  
им. А. М. Гранова, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Институт трансляционной биомедицины СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Контроль направления ходьбы — важный аспект управления локомоцией. При эпидуральной стимуляции (ЭС) спинного мозга децеребрированные кошки способны как к ходьбе вперед (ХВ), так и к ходьбе назад (ХН), и к одновременной двунаправленной ходьбе (ОДХ). Координация ходьбы двух лап при этом осуществляется за счет комиссуральных связей (Ляховецкий и др., 2019). Цель настоящей работы — оценка стабильности ОДХ при латеральном смещении точки ЭС (асимметричной ЭС).

Локомоция задних конечностей пяти кошек, децеребрированных на преколликулярном-постмамиллярном уровне, вызывалась ЭС (5 Гц; 0,5 мс; 80...300 мкА) дорсальной поверхности сегментов L5—L7: на уровне срединной линии (симметричная точка) или с латеральным смещением (асимметричная точка). Направление ходьбы менялось за счет изменения направления движения лент тредбана. Рострокаудальная стабильность оценивалась для каждой конечности на основе значений второго пика автокорреляционной функции ее траектории.

Асимметричная ЭС почти не сказывалась на стабильности однонаправленной ХВ, однако значительно влияла на стабильность однонаправленной ХН, приводя к ухудшению ее межконечностной координации, вплоть до полного отсутствия локомоторных движений конечности, контралатеральной по отношению к асимметричной точке ЭС. При ОДХ, в зависимости от того, какая конечность двигалась назад: контр- или ипсилатеральная относительно точки ЭС, наблюдали разные эффекты. В первом случае стабильность движений контралатеральной конечности была крайне низка, а стабильность движений конечности, идущей вперед, менялась незначительно. Во втором случае незначительно менялась стабильность движений обеих конечностей. Таким образом, при асимметричной ЭС ОДХ возможна в случае колокализации точки ЭС и конечности, идущей назад, в пределах одной половины тела, что свидетельствует о низкой стабильности комиссуральных связей при движениях конечности назад.

Работа выполнена в рамках проекта Санкт-Петербургского государственного университета № 51134206 (проведение экспериментов), при поддержке гранта РФФИ № 19-015-00409 (анализ данных).

## **КООРДИНАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ДВОЙНОГО БЕГОВОГО ШАГА ПРИ БЕГЕ С МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ ПО ПРЯМОЙ И ВИРАЖУ У СПРИНТЕРОВ РАЗНОЙ СПОРТИВНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

*И. В. Пискунов, Р. М. Городничев*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
г. Великие Луки, Россия

До сих пор остаются малоизученными механизмы регуляции циклической двигательной активности, осуществляемой с максимальной скоростью и с изменением направления движения. В связи с этим у 16 спринтеров разной спортивной квалификации изучали особенности регуляции произвольных циклических движений с изменением их направления по данным электромиографии и 3D-видеоанализа.

Установлено, что координационная структура фаз бегового шага определялась конкретными характеристиками ЭМГ-активности рабочих мышц. При смене направления бега у спортсменов наблюдалось укорочение длины бегового шага. Низкоквалифицированные спринтеры име-

ли более короткий двойной беговой шаг, в котором период полета был продолжительнее, чем период опоры. У спринтеров высокого уровня длина бегового шага значительно больше, а время опоры короче периода полета. Низкоквалифицированные спортсмены нерационально взаимодействовали с опорой, о чем свидетельствовали более длительная фаза подседания на левой ноге и высокая средняя амплитуда ЭМГ мышц задней поверхности голени. У спортсменов высокого уровня более продолжительный период полета со сравнениу с опорным периодом предопределялся в значительной по величине ЭМГ-активностью мышц передней поверхности бедра в фазе выноса левой ноги в полете. Изменения амплитуды движений в исследуемых суставах при беге по виражу были ниже, чем при беге по прямой. При смене направления движения ЭМГ-активность исследуемых мышц у спринтеров низкой квалификации аналогична ЭМГ-активности мышц при беге по прямой. У спринтеров высокой квалификации, напротив, электрическая активность при беге по виражу существенно больше, чем при беге по прямой, что определяет более высокую скорость преодоления виража и обеспечивает эффективное противодействие центробежной силе.

С ростом технического мастерства происходит совершенствование координационной структуры бегового шага. У спортсменов низкой квалификации результат в беге преимущественно достигается за счет частоты шагов, а у спортсменов высокой квалификации — за счет длины шагов. Амплитуда движений в исследуемых суставах и электромиографическая картина двойного бегового шага у высококвалифицированных спринтеров более рациональны по сравнению с низкоквалифицированными.

## **SPECIFICITY OF LINEAR AND NONLINEAR PROPERTIES OF ELECTROMYOGRAM DURING ECCENTRIC CONTRACTIONS**

*K. V. Sergeeva, R. V. Tambovtseva*

Biochemistry and Bioenergy Department, Russian State University  
of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIFK), Moscow, Russia

Most of the classical studies in muscle physiology are founded on two important experimental approaches: isometric and concentric muscle contractions. Unfortunately, much less is known of both the mechanics and the energetics of activated muscle during eccentric lengthening.

It is known that during eccentric contraction a muscle can produce significantly greater force than a muscle that contracts isometrically or concentrically. The higher force production capacity of eccentric contractions is largely due to the passive forces of the structural protein titin. It is assumed that in addition to structural proteins, greater power output can be provided by selective recruitment of fast-twitch muscle fibers and increased synchronization of motor units. Based on spectral and recurrent quantification analysis (RQA) of surface electromyography (EMG), it was found that the mean frequency (MPF) was higher for eccentric ( $p < 0,01$ ) than concentric contractions during knee extension at 25 %, 50 %, 80 % and 100 % of individual eccentric and concentric maximum voluntary contraction, which indicates greater activity of fast-twitch motor units during eccentric contraction. It was also found that % determinism (% DET), which is a sensitive variable that is able to detect motor unit synchronization, was higher during eccentric contractions at all levels of muscle effort ( $p < 0,01$ ). These results can be used in the selection of strength training methods.

## **MOTOR FUNCTIONS OF E-SPORT ATHLETES UNDER THE INFLUENCE OF HYPOXIC STIMULUS**

*D. I. Sechin, R. V. Tambovtseva*

Russian State University of Physical Education, Sport,  
Youth and Tourism, Moscow, Russia

The importance of stability of motor functions under the influence of exogenous and endogenous factors for e-sportsmen is due to the need to maintain their performance in the process of competitive activity. A number of emerging conditions adversely affect the psychophysiological characteristics of motor functions. An experimental study conducted on 15 active cybersportsmen showed a high level of resistance of motor functions in the studied sample to hypoxic effects (inhaling a gas mixture with a content of 10 % O<sub>2</sub> for 30 minutes). In the process of predominantly mental activity with the periodic need to complete tasks related to maintaining the maximum pace of movements with both arms and legs after hypoxic exposure, athletes showed a result similar to the original. The decrease in the results obtained after hypoxic exposure relative to the baseline is on average: 2,5 % for the leading arm and 4,8 % for the non-leading arm; 5,3 % for the leading leg and 11,3 % for the non-leading leg. The results obtained do not have significant

differences when compared with the original ones. The absence of pronounced quantitative changes and the stability of the asymmetry profile in the athletes under consideration indicates the stability of professionally important indicators of motor functions to the effects of acute hypoxia.

## INVARIANT AND VARIABLE ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF CENTRAL PROGRAMS OF GOAL-DIRECTED MOVEMENTS IN HUMANS

*A. B. Trembach, E. A. Ivashchenko, E. R. Minihanova*

Federal state budgetary educational institution of higher professional education  
«Kuban state University of physical culture, sport and tourism», Krasnodar, Russia

**Objective:** According to the Distributed System Theory, success of goal-directed movement is caused by participation of different components of the cortex central program. The study is aimed to determine the invariant and variable electrophysiological correlates of central programs of successful and unsuccessful goal-directed movements.

**Methods:** EEG was recorded among 30 men on positions Fpl, Fpz, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, Ft7, Fc3, Fez, Fc4, Ft8, T3, C3, Cz, C4, T4, Tp7, Cp3, Cpz, Cp4, Tp8, T5, P3, Pz, P4, T6, Ol, Oz, O2. The motor task was to throw the ball into the basket on warning and starting signal. The grand-average topographic maps of EEG power spectrum during planning and realization phases of movement were compared with upright standing. The authenticity of differences was determined by one-way dispersing analysis ANOVA.

**Results:** Invariant electrophysiological correlates of successful movement had following changes of EEG power spectrum in regard to a quiescent state: it increased at 4—7 Hz (F7, Fc3, C3), 14—24 Hz (T5), 25—35 Hz (P3, O1, Oz, O2), 36—47 Hz (Cp3), and it decreased at 8—10 Hz (Fc4), 11—13 Hz (F3, Ft7, Fc3, T3, C3, Tp7, Cp3, Tp8, T5, O1, Oz). Exclusively at 25—35 Hz EEG power spectrum increased during the planning on points F3, Fc3, Cz, but it decreased during the realization. Invariant electrophysiological correlates of unsuccessful movement were less conveyed, especially at the 11—13 Hz and 25—35 Hz. Variable electrophysiological correlates were mostly detected during the planning phase of successful movement at 14—24 Hz, 25—35 Hz and they were not almost detected in the unsuccessful movement. During realization phase of successful movement, they were found predominantly at 4—7 Hz, and in unsuccessful movement — at 4—7 Hz, 11—13 Hz, 14—24 Hz.



Conclusion: The central program of goal-directed movement has invariant and variable electrophysiological correlates which respectively correspond to its invariant and variation parts.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СТИМУЛЯЦИОННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА СПИННОЙ МОЗГ

*В. В. Маркевич*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
г. Великие Луки, Россия

Цель исследования заключалась в разработке инновационного подхода, позволяющего повысить эффективность физических упражнений посредством электромагнитной стимуляции (ЭМС) спинного мозга. В исследовании приняли участие 18 здоровых мужчин в возрасте 17—25 лет, которые были разделены на две группы: контрольную группу (КГ) и экспериментальную (ЭГ). Испытуемые обеих групп выполняли ежедневную тренировочную программу, направленную на увеличение силы мышц голени (*m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius med.*, *m. soleus*), в течение 10 дней. Участникам ЭГ перед выполнением тренировочных упражнений в область T11—T12 позвонков наносилась ЭМС. Регистрировались показатели М-ответа и Н-рефлекса исследуемых мышц голени, величина вызванного вращательного момента стопы при стимуляции большеберцового нерва, максимальное произвольное сокращение (МПС). Названные показатели регистрировались до начала эксперимента, через 5 и 10 дней после выполнения тренировочной программы.

Выявлено, что десятидневная тренировка привела к более значительному приросту значений МПС и вызванного вращательного момента стопы в ЭГ, чем в КГ. Зарегистрировано увеличение силовых возможностей на 15,91 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с фоновыми величинами. Вызванный вращательный момент стопы в ЭГ достоверно увеличился на 100 %. Через 5 тренировочных дней в ЭГ зарегистрирован рост величины амплитуды Н-рефлекса *m. soleus* на 108,47 %, *m. gastrocnemius med.* на 98,15 %, *m. tibialis anterior* на 129,41 % (во всех случаях  $p < 0,05$ ). После окончания тренировочной программы в ЭГ наблюдалась тенденция к снижению величины амплитуды Н-рефлекса мышц голени до значений, близких к фоновым. В ЭГ после выполнения десятидневной тре-

нировки амплитуда М-ответа *m. gasrtocnemius med.* увеличилась на 102,65 %, *m. soleus* — на 382,89 %, *m. tibialis anterior* — на 1085,71 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с исходными величинами. Увеличение значений МПС и вращательного момента стопы под влиянием ЭМС спинного мозга предопределялось изменениями значений моторных ответов. Электромагнитная стимуляция спинного мозга оказала положительное влияние на силовые показатели мышц голени и может быть использована как дополнительное средство для повышения эффективности физических упражнений.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ, ПРОШЕДШИХ КУРС НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ**

*Л. П. Черапкина*

Сибирский государственный университет физической культуры,  
г. Омск, Россия

Нейробиоуправление позволяет решать проблему формирования состояния оптимального функционирования. Однако недостаточно изученным остается вопрос о возможностях его использования в процессе прогнозирования успешности соревновательной деятельности.

Для изучения данного вопроса с 22 спортсменами высокой квалификации в предсоревновательном периоде с помощью комплекса «Бослаб-альфа» был проведен 15-дневный курс нейробиоуправления, направленный на повышение спектральной мощности ЭЭГ в альфа-диапазоне. Результативность соревновательной деятельности спортсменов считалась успешной, если превышала результат, полученный на предыдущих соревнованиях такого же ранга. До курса нейробиоуправления и после его окончания у спортсменов в стандартных условиях (лежа при закрытых глазах) регистрировалась ЭЭГ с помощью 19-канального электроэнцефалографа «Нейрон-спектр 3», электроды располагались в соответствии с международной схемой «10—20» (монтаж монополярный, референтные электроды — ушные). Анализировался сегмент из 8 перекрывающихся на 50 % эпох, величиной 1024 такта. Изучаемые характеристики биопотенциалов мозга вычислялись для 16 отведений в четырех частотных диапазонах: дельта- (0,4—3,9 Гц), тета- (4,3—7,8 Гц), альфа- (8,2—12,9 Гц), бета- (13,3—19,9 Гц) активности. Для решения поставленной

цели был проведен дискриминантный анализ с пошаговым методом Уилкса. В качестве переменных-предикторов был использован набор признаков биоэлектрической активности головного мозга, отличавший спортсменов от группы «нормы» (Черапкина, Тристан, 2011), а также их дельта.

Анализ полученных результатов показал, что спортивная результативность определяется дискриминантной функцией, объясняющей 100 % дисперсии ( $\chi^2 = 98,424$ ;  $P < 0,001$ ) и включающей посттренировочные величины спектральной мощности в дельта-диапазоне в переднелобной области левого полушария (отведение  $Fp_1$ ), значения когерентности в  $C_3-F_3$ ,  $C_4-T_6$ ,  $Fp_1-Fp_2$ ,  $O_1-P_3$ ,  $O_1-T_5$ , величину интегрального индекса в левом теменном отведении (отведение  $P_3$ ), а также изменения (дельты) мощности в переднелобной (отведение  $Fp_1$ ), передневисочной (отведение  $F_7$ ), задневисочной (отведение  $T_3$ ) областях левого полушария в дельта-диапазоне и когерентности в  $C_3-Fp_1$ ,  $O_2-T_6$ . Точность такого прогнозирования составила 100 %.

## **ВЛИЯНИЕ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ 21 СУТКИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ ГИПОГРАВИТАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ НА СИЛУ И СИЛОВУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ МЫШЦ НОГ ЧЕЛОВЕКА**

*Т. Б. Кукоба<sup>1, 2, 3</sup>, Д. Р. Бабич, Е. В. Фомина<sup>1, 2, 3</sup>*

<sup>1</sup> Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский педагогический университет, г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Подготовка к космическим полетам с этапом лунных баз ставит задачи по изучению необходимости использования средств профилактики гипогравитационных нарушений в относительно коротких космических полетах. Исключить физические тренировки в условиях длительных околоземных орбитальных космических полетов на период, близкий к концепции предстоящих космических миссий с использованием лунной орбитальной станции, невозможно, т. к. существует опасность развития негативных изменений в нервно-мышечной системе в ходе полета, когда необходимо поддерживать уровень физической работоспособности, достаточный для обеспечения возможности возвращения на Землю на любом этапе миссии. В связи с этим модель «сухой» иммер-

сии в условиях Земли дает возможность выявить изменения в нервно-мышечной системе за срок, аналогичный периоду полета на лунную базу.

Цель исследования — определение влияния «сухой» иммерсии длительностью 21 сутки без применения средств профилактики гипогравитационных нарушений на силу и силовую выносливость мышц ног человека. В исследовании приняло участие 8 здоровых мужчин, средний возраст  $45,3 \pm 5,4$  лет. Изокинетическое тестирование (динамометр Multi-Joint System Pro фирмы Biodex), выполненное на первые сутки после иммерсии, указывает на снижение силы мышц голени; наиболее выраженное снижение отмечено при подошвенном сгибании стопы при сокращении мышц в изометрическом режиме и на скорости  $60^\circ/\text{с}$ . Значительное снижение силы при тыльном сгибании стопы зарегистрировано при сокращении мышц на скорости  $30^\circ/\text{с}$  и  $60^\circ/\text{с}$ . Наблюдалось также снижение максимальных моментов сил флексоров ( $P = 0,01$ ) и экстензоров ( $P = 0,02$ ) бедра, более выраженное на угловой скорости  $60^\circ/\text{с}$ , а также снижение силовой выносливости мышц флексоров бедра ( $P = 0,01$ ).

Полученные результаты свидетельствуют о справедливости предположения о необходимости использования средств профилактики гипогравитационных нарушений в отношении нервно-мышечной системы в космических полетах продолжительностью около месяца. Результаты работы важны для подготовки к межпланетным полетам с этапом лунных баз.

Исследования выполнены при поддержке базового финансирования РАН (тема 63.1).

## **ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ НА БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОДЬБЫ В ТЕСТЕ С ПЕРЕСТУПАНИЕМ ЧЕРЕЗ ПРЕПЯТСТВИЕ**

*Н. Ю. Лысова<sup>1</sup>, Е. В. Фомина<sup>1, 2, 3</sup>*

<sup>1</sup> Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский педагогический университет, г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Длительное пребывание в условиях невесомости влечет за собой ряд функциональных перестроек в системе управления движениями. В свя-

зи с решаемыми в настоящее время задачами освоения дальнего космоса особенно актуальными становятся задачи, связанные с пилотируемыми КП. Они предполагают выполнение рабочих операций на поверхности космических объектов, что может быть существенно затруднено ввиду негативных эффектов в мышечной системе и системе управления движением, развивающихся в условиях длительного КП. С учетом рельефного ландшафта выполнение локомоции будет совершаться с дополнительными моторными задачами, такими как наступание на возвышенность, переступание или обход препятствия. В условиях Земли переступание через препятствие представляет наибольший риск и является наиболее частой причиной падения.

Задачей настоящего исследования явилось расширение знаний о гравизависимых перестройках в моторном контроле локомоций после длительного пребывания в условиях КП, в частности, в тесте «Переступание через препятствие». В исследовании приняли участие 10 космонавтов, у семи из которых настоящий полет был вторым, а у трех — первым. Длительность КП в группе составляла  $178 \pm 19$  суток.

Изучение биомеханических характеристик локомоций проводилось в тесте, выполнявшемся за 60—30 сут. до полета и на третьи сутки после приземления. Каждый испытуемый во время ходьбы по жесткой поверхности с произвольной скоростью выполнял переступание через препятствия высотой 5, 10 и 30 см. Регуляция высоты обеспечивалась перемещением поперечной планки по опорным стойкам. Расстояние до препятствия во время выполнения теста было строго задано и составляло 2 м, в каждой попытке испытуемый проходил дистанцию 7—8 м. Для определения биомеханических характеристик локомоций нами были выбраны следующие параметры: амплитуда суставных углов, зазор между ногой и препятствием, время переноса ноги.

Обнаружено, что после длительного пребывания в условиях КП происходит изменение биомеханических характеристик локомоций: увеличивается зазор между ногой и препятствием на высоте 30 см, снижается амплитуда движения суставных углов, что может быть следствием изменения мультисенсорной интеграции после длительного пребывания в условиях невесомости.

Исследования выполнены при поддержке базового финансирования РАН (тема 63.1).

# ВЕГЕТАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЮНЫХ ФУТБОЛИСТОВ

Д. В. Голубев, Ю. А. Щедрина

Национальный государственный университет физической культуры,  
спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта, г. Санкт-Петербург, Россия

Тренировочная и соревновательная двигательная активность — это процесс адаптации, при котором производительность достигается за счет прогрессивного управления физической нагрузкой и функциональным состоянием (Mujika et al., 2004; Manzi, 2010). Ацикличность игровых движений, их высокая изменчивость и динамичность определяются игровым амплуа и выбранной тактической моделью, соответственно среднее время контроля мяча футболистом составляет от 18 до 170 с, все остальное время — движение без мяча (Bradley, Ade, 2018). Двигательная нагрузка сопровождается вегетативными изменениями, следовательно, контроль компонентов вегетативной регуляции позволит не только не допустить срыва адаптации, но эффективно управлять двигательной производительностью, т. е. повышать эффективность тренировочной и соревновательной деятельности. Апробирована технология на основе анализа параметров variability ритма сердца (ДИНАМИКА, Санкт-Петербург) и произведенной футболистом работы на поле посредством GPS с частотой 10 Гц (Catapult, Австралия). Исследование проходило на протяжении игрового сезона с участием спортсменов-футболистов ( $n = 60$ ,  $16,2 \pm 0,3$  лет,  $173,3 \pm 5,6$  см,  $68,9 \pm 4,9$ ). Установлено, что волнообразность напряжения в деятельности систем, обеспечивающих вегетативную регуляцию мышечной работы, не дублирует в полной мере модуляцию параметров двигательной деятельности.

## Список литературы

1. *Mujika, I.* Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes / I. Mujika, S. Padilla, D. Pyne, T. Busso // *Sports Med.* — 2004. — Vol. 34. — P. 891—927.
2. *Bradley, P. S.* Are current physical match performance metrics in elite soccer fit for purpose or is the adoption of an integrated approach needed? / P. S. Bradley, J. D. Ade // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* — 2018. — Vol. 13. — P. 656—664.

# ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ВЫПОЛНЕНИИ ТОЧНОСТНЫХ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ

*А. М. Пухов*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
г. Великие Луки, Россия

В качестве двигательной модели для изучения механизмов управления точностными движениями использовался выстрел из классического лука. Спортсмены сборной команды России по стрельбе из лука на дистанции 70 м выполняли от 30 до 60 выстрелов. Во время выстрелов производилась регистрация электрической активности мышц плечевого пояса и рук: трапециевидная (верхние и нижние пучки), дельтовидная (передняя и задняя части), поверхностный сгибатель и общий разгибатель пальцев. Для анализа выбирался участок электромиограммы (ЭМГ), соответствующий технической фазе выстрела «дотяг». Данная фаза является наиболее важной в выполнении точного выстрела, характеризуется максимальным прицеливанием и преимущественно изометрическим сокращением мышц.

При анализе зарегистрированных электромиограмм установлено, что мышцы, несущие основную нагрузку при выполнении выстрела, в большей степени подвержены изменению электроактивности от выстрела к выстрелу. В частности, дельтовидные мышцы и нижние пучки трапециевидной мышцы участвуют в удержании лука и натяжении тетивы, т. е. выполняют основную работу во время выстрела. Электроактивность этих мышц значительно варьирует от выстрела к выстрелу и может увеличиваться практически в два раза. Напряжение верхних пучков трапециевидной мышцы с правой и левой сторон тела практически не изменяется в процессе многократного выполнения выстрелов.

Во время фазы «дотяг» на ЭМГ мышц наблюдался коррекционный механизм их управления — чередование высокоамплитудных вспышек активности с низкоамплитудными. Снижение амплитуды биопотенциалов мышц при изометрическом напряжении в процессе выстрела сопровождалось уменьшением проявления усилий, что компенсировалось увеличением активности мышц-синергистов. Данные взаимодействия наблюдались между задней частью дельтовидной и нижними пучками трапециевидной; средней частью дельтовидной и верхними пучками трапециевидной мышц.

Таким образом, многократное выполнение точностных спортивных движений сопровождается изменениями внутримышечной и межмышечной координации, а образуемые межмышечные синергии позволяют сохранять биомеханические характеристики движений.

## **ВЛИЯНИЕ КУРСА «СУХОЙ» ИММЕРСИИ НА ВРЕМЯ РЕАКЦИИ В ТЕСТАХ С РАЗЛИЧНОЙ КОГНИТИВНОЙ И МОТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ**

*О. Г. Третьякова, А. Ю. Мейгал, Л. И. Герасимова-Мейгал*

Петрозаводский государственный университет,  
г. Петрозаводск, Россия

В данном исследовании проверена гипотеза о том, что курс «сухой» иммерсии как модель микрогравитации способен повлиять на выполнение моторно-когнитивных тестов разной сложности у больных паркинсонизмом (БП). Гипотеза основана на том, что курс СИ вызывает уменьшение уровня депрессии на 40 % у больных БП, а также снижает мышечную ригидность на 15 % (Meigal et al., 2018). В исследовании приняли участие 11 испытуемых — больных БП (H&Y 1—3, UPDRS-III  $24,6 \pm 8,3$ , 3 женщины, 8 мужчин, 47—69 лет). Курс СИ составил 7 отдельных сессий по 45 мин (5¼ ч) в течение 30 дней. Оценка тестов происходила до курса СИ, сразу после него и после двух недель и двух месяцев после курса. Группа контроля составила 5 больных БП (без СИ, все мужчины). В простой зрительно-моторной реакции (SRT) (НС-Психотест, ООО «Нейрософт», Иваново, Россия) испытуемый максимально быстро нажимал кнопку при предъявлении светового сигнала. При SRT в условиях создания визуальных помех (SRTd) испытуемый выполнял то же задание. В реакции выбора (CRT) испытуемый нажимал на кнопку того же цвета, что и сигнал. Также испытуемые проходили теплинг-тест (FTT, максимальный ритм ударов электронным карандашом по столу) и реакцию на движущийся объект (РДО). По FTT рассчитывали моторное время (MT, время одного удара).

Установлено, что курс СИ практически не повлиял на время реакции, точность РДО и SRT, а также число ударов в FTT. Время реакции в SRTd уменьшилось в среднем на 7 %, а в CRT — на 20 %. Таким образом, по мере усложнения теста (от простой реакции к включению функции внимания в тесте SRTd до функции принятия решения в CRT) про-



исходило усиление влияния СИ. Даже внутри отдельных тестов (SRTd и CRT) наблюдалась статистически значимая зависимость между исходным временем реакции и степенью снижения времени. На точность исполнения тестов СИ не влияла. Наибольшее влияние на время реакции СИ оказала в точке «Две недели после курса СИ». В группе контроля (без курса СИ) изменения времени реакции на протяжении исследования не наблюдалось.

Таким образом, курс СИ действительно повлиял на время реакции, причем наибольшее влияние СИ оказала на наиболее когнитивно нагруженные тесты, тогда как моторные тесты оказались устойчивыми к влиянию СИ. Этот результат предполагает, что место приложения действия СИ находится в областях ЦНС, имеющих отношение к когнитивным функциям, что требует дальнейшей верификации.

## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ОБРАБОТКЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКОМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОАНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ**

*А. В. Шпаков<sup>1</sup>, А. А. Артамонов<sup>1</sup>, Д. О. Орлов<sup>1</sup>,  
А. В. Воронов<sup>2</sup>, А. А. Пучкова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Научно-исследовательский центр космической медицины  
«Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный  
медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России,  
г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Федеральный научный центр физической культуры и спорта,  
г. Москва, Россия

Работа посвящена интерпретации экспериментальных данных, полученных при исследовании функционального состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА) человека с использованием видеонализа движений и анализа поструральной устойчивости. Предложены новые подходы к оценке кинематических характеристик локомоций (ходьба с различным темпом и в условиях различной внешней поддержки веса тела). В частности, в исследованиях, направленных на изучение биомеханических характеристик локомоций с различным уровнем внешней поддержки веса тела, выполнен анализ энергетических затрат в суставах ног, суть которого заключалась в исследовании угловых скоростей в суставах. Для анализа была выбрана кинетическая энергия вращатель-

ного движения, связанная со сгибанием и разгибанием в суставе. Также был выполнен анализ площадей фазовых траекторий. Площадь фазовой траектории — величина, которая помогает описать стратегию движения. В нашем исследовании мы оценивали площади фазовых траекторий для всех суставов и для всех уровней вывешивания.

С целью верификации метода вертикального вывешивания человека как элемента виртуальной реальности при выполнении ходьбы в условиях различной весовой разгрузки ОДА (100 %, 38 % и 16 % веса тела) проведены экспериментальные расчеты угловых скоростей в суставах ног, полученные методом видеоанализа движений. Соотношения угловых скоростей в суставах в условиях гравитационной разгрузки сопоставлены с соотношениями ускорений свободного падения в различных гравитационных условиях (Земля, Марс, Луна). В результате была выявлена незначительная разница в расчетных и теоретических показателях соотношения угловых скоростей в суставах.

В исследованиях постуральной устойчивости проведена экспериментальная проверка математической модели механизма сохранения вертикальной устойчивости. Человеческое тело рассматривали как перевернутый однозвенный физический маятник. С использованием антропометрических данных вычисляли теоретическую частоту колебаний тела, минимально необходимую для поддержания устойчивого равновесия. В результате сравнения с экспериментальными стабилметрическими показателями была выявлена незначительная разница (менее 2 %) между теоретической моделью колебания и экспериментальными показателями.

Таким образом, представленные новые методы оценки результатов оценки состояния ОДА позволяют получить данные, которые могут быть использованы при получении дополнительных биомеханических характеристик локомоций и вертикальной устойчивости человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-315-20010.

## ВЛИЯНИЕ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ НА АВТОНОМНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ У ПАЦИЕНТОВ С ПАРКИНСОНИЗМОМ

*Л. И. Герасимова-Мейгал, Н. В. Сиренева, А. Ю. Мейгал*

Петрозаводский государственный университет,  
г. Петрозаводск, Россия

«Сухая» иммерсия (СИ) является одним из методов симуляции аналоговой микрогравитации, поскольку она схоже имитирует эффекты космического полета, в частности, гипокинезию, безопорность, перераспределение внеклеточной жидкости организма. Применение СИ у лиц пожилого возраста и пациентов с хроническими заболеваниями сопряжено с риском нежелательных последствий в форме ортостатической гипотензии, лабильного артериального давления (АД).

Целью исследования было изучение влияний кратковременных сеансов и курса СИ на гемодинамику и механизмы автономной регуляции у пациентов с паркинсонизмом.

В исследовании участвовало 17 пациентов с паркинсонизмом (10 мужчин, 7 женщин в возрасте 51—66 лет, с тяжестью заболевания 1—3 по шкале H&Y), имеющих устойчивый синусовый ритм. Сеанс СИ проведен с помощью комплекса «МЕДСИМ» (ИМБП, Москва) в течение 45 мин. Курс включал 7 сеансов СИ. Регистрация ЭКГ и анализ ВРС выполнены с помощью прибора «Поли-спектр» (ООО «Нейрософт», Иваново, Россия).

ВРС у пациентов с паркинсонизмом соответствовала недостаточным резервам нейрогенной регуляции системы кровообращения на основании низких значений временных параметров ВРС (SDNN, RMSSD, pNN50, CV) и низких значений общей мощности (TP) и HF- и LF-компонентов спектра. В ходе сеанса СИ наблюдалось незначительное увеличение временных параметров ВРС, общей мощности (TP) и доли низкочастотных компонентов спектра (LF и VLF). Отмечено уменьшение стресс-индекса ( $p < 0,05$ ), уменьшение диастолического АД.

После прохождения курса СИ отмечено некоторое снижение фоновых значений систолического и диастолического АД, меньший прирост показателей АД в ортостатической пробе.

Таким образом, недостаточная реактивность нейрогенного звена регуляции кровообращения у пациентов с паркинсонизмом делает необходимым тщательный отбор кандидатов для проведения сеансов СИ

и контроль показателей гемодинамики для безопасного использования СИ для реабилитации.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МИКРОПОЛЯРИЗАЦИИ В ПОЛИАТЛОНЕ

*В. В. Селиверстова*

Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта, г. Санкт-Петербург, Россия

Остается открытым вопрос применения метода транскраниальной микрополяризации (ТКМП) в практике спорта с целью оптимизации функционального состояния. Контрольной и экспериментальной группе полиатлонистов (12 человек, в возрасте 18—22 лет) предлагалась одинаковая методика развития силовых способностей, с одновременным использованием ТКМП. К левой и правой моторной коре прикладывались электроды (аноды), через которые проходит слабый постоянный ток, а также один электрод (катод) на правое плечо. Контрольной группе предлагался прибор ТКМП — плацебо. Длительность эксперимента — шесть тренировочных занятий, продолжительность по 30 мин. Для определения функционального состояния и резервных возможностей регуляторных систем мы применили уравнения, предложенные Р. М. Баевским с соавт. (2016) для расчета координат фазовой плоскости по результатам вариабельности сердечного ритма. На оси У степень напряжения (СН) регуляторных систем отражает состояние вегетативного баланса. На оси Х — функциональные резервы (ФР) — показатель, который может истощаться при росте симпатической активности. Физиологическая норма характеризуется положительными значениями ФР и отрицательными СН.

В начале эксперимента в покое в обеих группах атлетов (СН —  $3,02 \pm 1,08$ ; ФР  $1,94 \pm 0,37$ ) значения функционального состояния регуляторных механизмов соответствовали физиологической норме. После силовой нагрузки достоверное ( $p < 0,001$ ) увеличение напряжения механизмов регуляции, по данным СН, составило  $0,51 \pm 0,65$  и снижение ФР —  $0,16 \pm 0,75$ . После шести недель тренировок значение функционального состояния в среднем в КГ после нагрузки (СН —  $0,01 \pm 0,91$ ; ФР —  $0,61 \pm 0,91$ ) ухудшилось; преморбидные состояния наблюдали у 50 % спортсменов. В ЭГ через шесть недель тренировок с регулярным

применением ТКМП (СН:  $0,82 \pm 0,39$ ; ФР:  $0,01 \pm 1,21$ ) состояние оценивалось как донозологическое, связанное с напряжением механизмов регуляции, при этом преморбидное состояние после нагрузки наблюдали у 17 % атлетов.

Таким образом, применение ТКМП в тренировочном процессе имеет тенденцию положительного влияния на формирование функциональных резервов и снижение степени напряжения механизмов регуляции.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕНИНГА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ ИНСУЛЬТ**

*А. Д. Айзенштейн<sup>1</sup>, М. А. Шурупова<sup>1,2,3</sup>, М. А. Булатова,  
Б. Б. Поляев<sup>1</sup>, Г. Е. Иванова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Федеральный центр цереброваскулярной патологии и инсульта  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> ЛРНЦ «Русское поле» НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева,  
г. Москва, Россия

У 22 % пациентов, перенесших инсульт, возникают сложности с самостоятельным перемещением без поддержки, у 26 % отмечаются ограничения в повседневном функционировании и самообслуживании. Перспективным методом физической и когнитивной реабилитации является комплекс виртуальной реальности (VR), погружающий пациента в виртуальные миры и естественные среды ходьбы. Приложения VR направлены на оценку и тренировку походки и баланса. Обратная связь (кинестетическая и зрительная) в режиме реального времени в VR позволяет пациенту эффективно взаимодействовать с системой и улучшать двигательные функции и зрительно-моторную координацию.

Целью нашего исследования было изучить влияние VR-тренинга на двигательную активность у пациентов, перенесших инсульт.

Обследовано 20 пациентов (возраст  $53 \pm 11,44$  года, 10 женщин), имевших  $\leq 3$  баллов по шкале Рэнкина. Первичным критерием включения была оценка по Монреальской когнитивной шкале ( $> 25$  баллов). Участники получили 10 сеансов VR-тренинга с использованием системы GRAIL (Motekforce, Нидерланды). Тренировочные приложения были

подобраны на основании терапевтических целей для каждого пациента, в соответствии с их постуральной стабильностью и качеством походки. Диагностика двигательных функций осуществлялась до и после тренинга с помощью клинических шкал: на оценку функции баланса, оценку функции ходьбы и оценку общего состояния. Также в GRAIL использовались 2 диагностических теста: «Тест шестиминутной ходьбы» и «Тест постуральной стабильности» (ТПС). После проведения ВР-тренинга было обнаружено достоверное повышение баллов по шкале баланса Берга ( $p = 0,002$ , критерий Вилкоксона), индексу ходьбы Хаузера ( $p = 0,0313$ ), а по шкале FIM — на уровне тенденции ( $p = 0,0625$ ). Дистанция, пройденная в «Тесте шестиминутной ходьбы», достоверно возросла ( $p = 0,0059$ ). Тест устойчивости стояния, шкала Ривермид, тест «Встань и иди» не демонстрировали достоверной динамики, как и ТПС. При этом пациенты демонстрировали улучшение двигательных показателей в большинстве приложений ВР-тренинга. ВР-тренинг улучшает функции баланса и походки пациентов, перенесших инсульт. Дальнейшее исследование будет направлено на расширение когорты пациентов и оценку не только двигательной, но и динамики когнитивно-аффективных функций в процессе реабилитации.

## **РАЗЛИЧИЯ В БИОМЕХАНИКЕ БЕГА ЭЛИТНЫХ СПРИНТЕРОВ, НЕЭЛИТНЫХ СПРИНТЕРОВ И НЕ БЕГУНОВ**

*С. К. Резванова, А. А. Бобырев, Д. В. Скворцов*

Центр спортивных инновационных технологий и сборных команд  
Москомспорта, г. Москва, Россия

Основная цель нашего исследования состояла в том, чтобы более подробно изучить ключевые предикторы быстрого бега и более детально охарактеризовать биомеханику бега людей, которые не являются высококвалифицированными спринтерами, и тех, кто вообще не занимается быстрым бегом профессионально. Полученные ранее данные свидетельствуют о том, что наиболее важными параметрами, связанными со скоростью, являются время контакта, частота и длина шага. Гипотеза исследования состояла в том, что нормализованная на рост длина шага будет хорошим предиктором быстрого бега.

В исследовании приняли участие 27 субъектов (12 женщин и 15 мужчин), разделенных на 3 группы. Первая группа включала элитных спорт-

сменов, вторая группа — неэлитных спринтеров, в третью группу вошли обычные физически активные люди. Биомеханику бега оценивали с использованием напольной системы фотоэлементов, во время выполнения 30-метровой пробежки. Для каждого субъекта были проанализированы следующие параметры: среднее время контакта, среднее время полета, средняя частота шагов, средняя длина шага, средняя длина шага, нормализованная к росту, индекс средней реактивной силы, средняя скорость, максимальная длина шага, среднее ускорение, фаза полета в процентах и фаза контакта в процентах от расстояния пробегания. Были также рассчитаны номер шага, при котором время полета превысило время контакта, номер шага, при котором длина шага стала превышать рост испытуемого, длина сегмента ускорения быстрого старта и максимальная скорость.

Результаты исследования показывают, что длина шага, нормализованная к росту (показатель, ранее не описанный в исследованиях биомеханики бега), является достаточно надежным показателем (его коэффициент корреляции с максимальной скоростью составляет 0,81), который можно использовать для оценки бега профессиональных бегунов, а также спортсменов в других видах спорта, которые используют бег. Кроме того, следует отметить, что биомеханика спринта не является врожденной для человека, но может быть приобретена только путем обучения и при условии правильного телосложения.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ДВИЖЕНИЯМИ ГЛАЗ И ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПОХОДКИ У ДЕТЕЙ, ПЕРЕНЕСШИХ ЛЕЧЕНИЕ ОПУХОЛИ МОЗЖЕЧКА

*М. А. Шурупова<sup>1,2,3</sup>, А. Д. Айзенштейн<sup>1</sup>, А. А. Шипилов<sup>4</sup>,  
Д. В. Скворцов<sup>3</sup>, В. Н. Касаткин<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Федеральный центр цереброваскулярной патологии и инсульта  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> ЛРНЦ «Русское поле» НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева,  
г. Москва, Россия;

<sup>4</sup> Центр спортивных инновационных технологий и сборных команд  
Москомспорта, г. Москва, Россия

Мозжечок играет важную роль в функционировании систем крупной моторики (например, походки) и мелкой моторики (движений глаз — саккад). Поражения мозжечка приводят к нарушению моторного контроля, атактическому синдрому, гиперметрии саккад (неточным удлиненным саккадам). Тандемная ходьба (пятка в носок) является клиническим тестом диагностики атактического синдрома. Целью исследования являлось сравнение параметров саккад и кинематических параметров тандемной походки у детей, выживших после лечения опухоли мозжечка. Исследование проводилось на 15 пациентах (9—17 лет,  $M = 13,4 \pm 2,5$ ; 7 человек женского пола). Движения глаз представляли собой зрительно-вызванные саккады (в горизонтальном и вертикальном направлениях по квадрату) и регистрировались айтрекером Arrington 60 Hz. Оценивалась амплитуда саккад. Для оценки параметров тандемной походки использовалась оптическая система Optitrack Motion Capture (12 камер Flex 13, 120 Гц). Для построения модели ходьбы использовались 26 маркеров, положение центра масс представлял виртуальный маркер. Для оценки постурального равновесия использовались два стандартизированных теста: поза Ромберга с открытыми глазами методом стабилометрии и тест двигательных навыков (тест Брункса — Озерецкого). По результатам исследования корреляционный анализ между параметрами двух систем показал значимые взаимосвязи между показателями variability походки и долей разных типов саккад у пациентов. Было обнаружено, что у пациентов с высоким процентом гиперметричных саккад наблюдается высокая variability тандемной походки ( $r = 0,551$ ) и удлиненная траектория центра масс



( $r = 0,693$ ). Кроме того, удлиненная траектория окуломоторного сканирования (сумма амплитуд всех саккад) была связана с удлиненной длиной траектории центра масс ( $r = 0,532$ ). Результаты стабиллометрии и теста Брунинкса — Озерецкого также показали достоверную взаимосвязь с параметрами саккад и походки. Таким образом, после сравнения характеристик саккад и тандемной походки была обнаружена значимая закономерность: поражения мозжечка (в результате опухоли) нарушают обе моторные системы: высокая вариабельность тандемной походки связана с большим количеством неточных гиперметричных саккад. Эти результаты могут обеспечить новый подход к диагностике поражения ЦНС.

## **ВЛИЯНИЕ ПЕРЕНЕСЕННОГО ЛЕЧЕНИЯ ОПУХОЛИ МОЗЖЕЧКА НА ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ У ДЕТЕЙ**

*М. А. Шурупова<sup>1,2,3</sup>, В. Н. Касаткин<sup>3</sup>, А. В. Латанов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный центр цереброваскулярной патологии и инсульта  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup>ЛРНЦ «Русское поле» НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева,  
г. Москва, Россия

Опухоли задней черепной ямки (ЗЧЯ), такие как медуллобластома и астроцитома, поражают мозжечок и его проекции к другим мозговым структурам, которые вовлечены в управление движениями глаз. У детей с опухолями ЗЧЯ также наблюдаются серьезные нарушения двигательных и когнитивных функций. Анализ параметров саккад и фиксации взора может быть применим для оценки состояния глазодвигательной системы и связанных с ней функций мозга. 61 пациент, перенесший лечение опухоли мозжечка ( $M = 12,80$ ;  $SD = 2,66$ ), и 50 здоровых детей ( $M = 12,96$ ;  $SD = 2,46$ ) приняли участие в нашем исследовании. Оценивали стабильность удержания взора на статическом стимуле, амплитуду зрительно-вызванных саккад и характеристики зрительного поиска у этих двух групп детей. Движения глаз регистрировали с помощью айтрекера Arrington 60 Гц. Было обнаружено значительное снижение стабильности удержания взора у пациентов, предположительно связанное со слабым торможением интрузивных саккад во время фиксации взора

на стимуле и с наличием контекстно-неуместных отвлекающих саккад на другие раздражители. Далее мы выявили значительное количество неточных гиперметричных саккад у пациентов (20,4 %) в тесте зрительно-вызванных саккад по сравнению со здоровыми детьми (1,4 %). Такие гиперметричные саккады часто дополняются корректирующими малоамплитудными саккадами, в обилии присутствующими у пациентов. Наконец, пациенты продемонстрировали увеличение времени выполнения задания, количества фиксации и длины траектории сканирования в тесте на зрительный поиск. Таким образом, пациенты с поражением мозжечка вследствие лечения опухоли демонстрируют слабый глазодвигательный контроль и зрительную обработку, по-видимому, из-за поражения глазодвигательных центров в области дорзального червя и ядер шатра мозжечка, а также широкого токсического воздействия на мозг после лечения рака. Метод регистрации движений глаз обеспечивает неинвазивную оценку глазодвигательных и связанных когнитивных функций у таких пациентов.

## **УВЕЛИЧЕНИЕ НЕЗАВИСИМОСТИ ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ТЯЖЕЛОЙ СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ ПРИ ХОДЬБЕ В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ**

*Д. В. Емельяников<sup>1</sup>, Ю. Е. Ларионова<sup>1</sup>,  
Е. В. Григорьева<sup>1</sup>, Е. Ю. Шаткова<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>СПбНИИФ Министерства здравоохранения России,  
Центр патологии позвоночника,  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Институт трансляционной биомедицины СПбГУ,  
Лаборатория нейрорепротезов,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Целью реабилитации пациентов с последствиями тяжелой спинномозговой травмы является достижение независимости в повседневной жизни. Независимость при спинальной патологии оценивают с помощью шкалы SCIM III (Spinal Cord Independence Measure), которая характеризует способность пациентов с поражением спинного мозга осуществлять личную гигиену, управлять сфинктерами, передвигаться внутри и вне помещений (макс. 100 баллов).

Наблюдения в ходе реабилитации проведены у 50 пациентов (♂26, ♀24, возраст 18—55 лет) с последствиями травмы спинного мозга грудного (37) и поясничного (13) уровней с тяжестью миелопатии AIS A (36), B (10) и C (4) в период от 0,5 до 33 лет после травмы (в среднем 7 лет). Независимость по SCIM III оценивали до начала и на протяжении трех последовательных курсов реабилитации с применением ходьбы в экзоскелете «ЭкзоАтлет», включавшем также тренировку вертикальной позы с электростимуляцией мышц, пневмостимуляцию опорных зон стопы, общий и лимфодренажный массаж, занятия лечебной гимнастикой, с общей продолжительностью занятий не менее 3—4 ч в день. Третий курс был дополнен электростимуляцией спинного мозга, осуществляемой стационарно и при ходьбе в экзоскелете. Длительность курсов составила 22, 22 и 14 дней с перерывами в 4 недели, общая продолжительность наблюдений — 4,5 мес.

Через месяц по окончании второго курса независимость пациентов увеличилась в среднем по группе на 7 баллов по шкале SCIM (с  $60,9 \pm 12$  до  $67,7 \pm 12,7$ ) при целевом показателе 4 балла; динамика наблюдалась у 46 пациентов: прирост в 1—3 балла — у 14 (28 %), 4—9 баллов — у 20 (40 %), 10 баллов и выше — у 12 (24 %) пациентов. Дополнительный третий курс дал средний прирост SCIM еще на 3 балла. Статистический анализ (ANOVA) показал отсутствие различий между приростом независимости у пациентов с полными (AIS A) и неполными (AIS B и C) парезами и при разной давности травмы (с давностью до 2 лет, от 2 до 5 и свыше 5 лет). Доля пациентов, выявивших прирост независимости по SCIM, была несколько выше на втором курсе (35/50) по отношению к первому (22/50) и третьему (25/43) курсам.

Данные свидетельствуют об эффективности интенсивной реабилитации с применением тренировок ходьбы в экзоскелете для увеличения независимости пациентов с поражением спинного мозга, связи эффекта с полной поразой и сроками после травмы не установлено.

## ДИНАМИКА ЛОКОМОТОРНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАЦИЕНТОВ С ПЛЕГИЯМИ ПРИ ТРЕНИРОВКАХ ХОДЬБЫ В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ

*Ю. Е. Ларионова, Н. А. Курреев, Е. В. Григорьева,  
Д. В. Емельянников, Е. Ю. Шапкова<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> СПбНИИФ Министерства здравоохранения России,  
Центр патологии позвоночника, г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Институт трансляционной биомедицины СПбГУ,  
Лаборатория нейропротезов, г. Санкт-Петербург, Россия

Применение тетрапедальных тестов позволяет оценить прогресс локомоторных возможностей у пациентов с последствиями травмы спинного мозга в период, когда они не могут проявиться в бипедальной ходьбе. Тесты с тетрапедальной ходьбой на 5 м вперед (ТПХВ) и назад (ТПХН) применяли у 48 пациентов с последствиями травмы спинного мозга (AIS A-34, B-9, C-5; возраст 18 лет — 54 года) в ходе одного (2), двух (4) и трех (42) курсов тренировок ходьбы в экзоскелете «ЭкзоАтлет», длительность наблюдений составила до 4,5 мес. Тетрапедальную ходьбу использовали только для тестирования, без специальных тренировок. При тестировании регистрировали время, количество шагов и потребность во внешней помощи, выделяя 6 рангов: «0» — невозможность/пассивное выполнение, «1» — выполнение нескольких шагов (< 4 м) со значительной помощью, «2» — активно-пассивная ходьба с помощью одного или двух человек для вертикальной разгрузки и облегчения движений ног, «3» — ходьба с минимальной внешней помощью, «4» — самостоятельная ходьба, требующая усилий пациента, «5» — ходьба без ограничений, не вызывающая значительного утомления. Для уровней «0—3» использовали количественную и качественную оценку (переход на 1 и более рангов), для «4» и «5» — количественный анализ.

Исходно ТПХВ выполняли 45 пациентов, в том числе 15 человек с помощью («1» — 4, «2» — 4, «3» — 7), 30 самостоятельно (уровень «4» — 19, «5» — 11) и трое человек пассивно (уровень «0» — 3). Тест ТПХН выполняли 46 пациентов, из них с помощью 23 человека («1» — 3, «2» — 5, «3» — 15), 22 человека самостоятельно (уровень «4» — 13, «5» — 9), пассивно трое человек (уровень «0» — 3).

К концу реабилитации значимое улучшение в ТПХВ отмечено у 41/48: среди пациентов 1—3 уровней 11 человек из 15 уменьшили потребность в помощи с переходом на 1-й уровень и более, среди пациентов 4-го и 5-го уровней время выполнения тестов и количество шагов

сократили соответственно 19/19 и 10/11 человек (на 30—50 % от исходного). При ТПХН прогресс отмечен у 33/48 человек, в том числе за счет уменьшения потребности во внешней помощи 13/23 человека (уровни 0—3), сокращения времени и количества шагов у 12/13 и 7/9 человек (уровни 4 и 5).

Установлено, что тренировки ходьбы в экзоскелете улучшают локомоторные возможности значительной части (77 %) пациентов с тяжелыми парезами, эффект проявляется в виде уменьшения потребности во внешней помощи и сокращения времени выполнения тетрапедальной ходьбы в одном или обоих направлениях.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТТЕРНА КООРДИНАЦИИ ОПОРЫ РУК И НОГ ПРИ ПОВТОРНЫХ КУРСАХ ХОДЬБЫ В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ У ПАЦИЕНТОВ С НИЖНИМИ ПАРАПЛЕГИЯМИ**

*Н. А. Курпеев, Д. В. Емельяников, Е. Ю. Шапкова*

СПбНИИФ Министерства здравоохранения России,  
Центр патологии позвоночника, г. Санкт-Петербург, Россия;  
Институт трансляционной биомедицины СПбГУ,  
Лаборатория нейропротезов, г. Санкт-Петербург, Россия

У пациентов с нижними параплегиями при ходьбе в экзоскелете «ЭкзоАтлет» траекторию движений ног задают двигатели тазобедренных и коленных суставов, при этом пациент руками активно опирается о трости. Обучение ходьбе начинают с переноса трости перед переносом одноименной ноги (прямой паттерн), с приобретением опыта координация опоры рук по отношению к опоре ног может измениться. Цель исследования — оценить стабильность координации опоры рук и ног при повторных курсах ходьбы в экзоскелете.

Наблюдения проведены в ходе трех интенсивных курсов тренировок ходьбы в экзоскелете с перерывами в 4 недели (всего 46—48 тренировок по 40 мин/день) в течение 4,5 мес. Анализировали регистрации 48 пациентов с хроническим поражением спинного мозга (AIS A-34, B-10, C-4) грудного и поясничного уровней. В третьем курсе ходьба в экзоскелете сопровождалась электростимуляцией спинного мозга. Паттерн опоры анализировали по видеорегистрациям и бароплантограммам (Диаслед-М) при ходьбе в экзоскелете. Сравнивали регистрации в середине первого и в конце второго и третьего курсов тренировок.

После двух недель тренировок «прямой» паттерн демонстрировали 27 пациентов, «диагональный», с переносом трости перед переносом контралатеральной ноги — 15, у шестерых человек наблюдали паттерн со сдвигом фаз опоры. К окончанию третьего курса «прямой» паттерн выявлен у 22, «диагональный» — у 17, со сдвигом фаз — у 9 пациентов. От «прямого» к «диагональному» паттерну в ходе второго курса перешли 5 человек, к окончанию третьего — еще один. У двоих пациентов наблюдали переход от «прямого» паттерна к «диагональному» и возврат к «прямому». Двое пациентов с исходно «диагональным» паттерном изменили координацию на 2-м и 3-м курсах на «прямой» паттерн и на паттерн со сдвигом фаз. Четверо пациентов, имевших исходно паттерн со сдвигом фаз, сохранили его неизменным, и два человека, сменив паттерн на втором курсе, вернулись к нему на третьем.

Установлено, что при ходьбе в экзоскелете с заданными параметрами движений ног опора руками обладает фазовым разнообразием, сходным с тетрапедальной локомоцией. У  $\frac{3}{4}$  пациентов первично сформированный паттерн в дальнейшем не изменялся (19 прямых, 12 диагональных, 5 со сдвигом фаз), часть пациентов (8 %) изменяли паттерн с возвратом к исходному, другие (15 %) перешли к более естественной для бипедальной ходьбы диагональной координации.

## **ИММУННЫЙ СТАТУС У МОЛОДЕЖИ НА СЕВЕРЕ РФ**

*М. С. Каббани, Е. Ю. Шашкова, Л. С. Щёголева*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Архангельск, Россия;

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н. П. Лаверова РАН,  
г. Архангельск, Россия

Период обучения в университете завершает восходящую ветвь в процессе онтогенеза человека, которая совпадает с заключительным периодом физиологического и социального созревания организма. Все студенты в процессе обучения проходят период адаптации к новым условиям, связанным с изменением характера психологических нагрузок, климатических условий, питания.

Представлен фрагмент проведенного исследования в период 2006—2019 гг. иммунного статуса 322 студентов (232 женщины и 90 мужчин)

архангельских вузов Поморского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Архангельского государственного технического университета, Северного государственного медицинского университета (САФУ), практически здоровых на момент обследования, без хронической патологии в анамнезе.

Частота иммунных дисбалансов у практически здоровых студентов высшей школы в условиях Севера обусловлена высоким содержанием клеток CD22<sup>+</sup>, HLA-DR<sup>+</sup>, CD95<sup>+</sup>; IgM (у 37,56 % обследуемых, в том числе у 53,84 % женщин и 21,28 % мужчин). Выявленные взаимосвязи между содержанием клеток-носителей CD95<sup>+</sup> и HLA-DR<sup>+</sup> ( $r = 0,95$ ) подтверждают регуляцию процессов апоптоза иммунокомпетентных клеток со стороны системы главного комплекса гистосовместимости класса II. Повышенные концентрации РЭА, выявляемые в 4,25 % случаев, в основном у старшекурсников мужского пола, а также повышенные уровни содержания ФНО- $\alpha$ , являющегося воспалительным цитокином широкого спектра действия (в 20,27 % случаев), поддерживают высокую фоновую активность иммунной системы и обеспечивают сокращение резервных возможностей с последующим формированием дефицита и дефектов функционирования у молодых северян репродуктивного возраста в период завершения физиологического созревания организма в условиях возрастающих интеллектуальной и информационных нагрузок мозга. Нарушение компенсаторных механизмов иммунной регуляции сочетается с увеличением супрессии (CD8<sup>+</sup>) в 22,73 % случаев (у женщин) с активностью лимфопролиферативных процессов. Резервные возможности обеспечиваются в большей степени ограничением лимфопролиферации за счет апоптоза ( $r = 0,82$ ;  $p < 0,001$ ).

## СПИСОК ИНСТИТУТОВ-УЧАСТНИКОВ

Государственный научный центр РФ Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП, г. Москва)

Институт физиологии им. И. П. Павлова (ИФ, г. Санкт-Петербург)

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН (ИППИ, г. Москва)

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (ИВНДиНФ, г. Москва)

НИИ нормальной физиологии им. П. К. Анохина (НИИ НФ, г. Москва)

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН (ИЭФиБ, г. Санкт-Петербург)

Научно-исследовательский центр космической медицины ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России (ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна, г. Москва)

Санкт-Петербургский НИИ фтизиатрии Минздрава России, Центр патологии позвоночника (СПбНИИФ, г. Санкт-Петербург)

Институт трансляционной биомедицины Санкт-Петербургского государственного университета, Лаборатория нейропротезов (СПбГУ, г. Санкт-Петербург)

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ, г. Москва)

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России (РНИМУ, г. Москва)

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта (ВЛГАФК, г. Великие Луки)



Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта (НГУ им. П. Ф. Лесгафта, г. Санкт-Петербург)

Московский физико-технический институт (МФТИ, г. Долгопрудный, Московская область)

Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ, г. Петрозаводск)

Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ, г. Казань)

Сургутский государственный педагогический университет (СурГПУ, г. Сургут)

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (РГУФКСМиТ, г. Москва)

Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма (КГУФКСиТ, г. Краснодар)

Центр спортивных инновационных технологий и сборных команд Москомспорта (ГКУ ЦСТиСК Москомспорта, г. Москва)

ЛРНЦ «Русское поле» НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева (НМИЦ ДГОИ, г. Москва)

Сибирский государственный университет физической культуры (СГУФК, г. Омск)

Федеральный научный центр физической культуры и спорта (ФНЦ ВНИИФК, г. Москва)

Российский университет дружбы народов (РУДН, г. Москва)

Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского (ЯГПУ, г. Ярославль)

Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева (РГАТУ, г. Рыбинск)

Федеральный центр цереброваскулярной патологии и инсульта Министерства здравоохранения РФ (г. Москва)

Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. А. М. Гранова (г. Санкт-Петербург)

Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (САФУ, г. Архангельск)

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (ФИЦКИА, г. Архангельск)

## Содержание

Памяти товарища Инеса Бенедиктовна Козловская (02.06.1927—19.02.2020).....	4
---	---

### Часть 1

#### Фундаментальные механизмы движения: локомоция, равновесие, поза

© Шенкман Б. С., Томиловская Е. С. Опорно-тоническая теория И. Б. Козловской и гравитационно-зависимый клеточный гомеостаз постуральной мышцы .....	9
© Томиловская Е. С., Козловская И. Б. Опорная афферентация в системе регуляции позы и локомоций .....	10
© Герасименко Ю. П., Козловская И. Б. Сенсорно-моторная нейро модуляция нейронных сетей и новые стратегии двигательной реабилитации .....	11
© Левик Ю. С., Сметанин Б. Н., Кожина Г. В., Попов А. К. Роль центрального и периферического зрения при обеспечении устойчивости в условиях сенсорного конфликта .....	12
© Казенников О. В., Киреева Т. Б., Шлыков В. Ю. Влияние ориентации стопы одной или обеих ног на вертикальную позу человека.....	13
© Шапкова Е. Ю. Нейропластические сенсомоторные перестройки при хроническом посттравматическом поражении взрослого спинного мозга человека .....	14
© Богачева И. Н., Щербакова Н. А., Савохин А. А., Гришин А. А., Мошонкина Т. Р., Герасименко Ю. П. Эффекты пространственно-временной чрескожной стимуляции спинного мозга в регуляции локомоции человека .....	16

© Мошонкина Т. Р., Шандыбина Н. Д., Моисеев С. А., Гришин А. А., Герасименко Ю. П. Проблема коактивации мышц при модуляции ходьбы методом неинвазивной электрической стимуляции спинного мозга.....	17
© Селионов В. А., Солопова И. А. Периферические и центральные влияния на скорость двигательных реакций в суставах руки у здоровых испытуемых .....	18
© Солопова И. А., Долинская И. Ю., Селионов В. А., Кешишян Е. С. Исследование формирования межсуставных и межконечностных связей у младенцев первого полугодия жизни на основе оценки спонтанной мышечной активности верхних и нижних конечностей ....	19
© Боброва Е. В., Гвоздева А. П., Тимофеева О. П., Андреева И. Г. Индивидуальные особенности постурального контроля до и во время прослушивания движущихся звуковых образов как проявление полезависимости .....	20
© Боброва Е. В., Решетникова В. В., Бобров П. Д., Фролов А. А., Керечанин Я. А., Гришин А. А., Герасименко Ю. П. Мозг-компьютерные интерфейсы, основанные на воображении движений нижних конечностей .....	22
© Решетникова В. В., Боброва Е. В., Вершинина Е. А., Гришин А. А., Фролов А. А. Зависимость точности классификации сигналов мозга при управлении ИМК и личностных характеристик пользователей от их готовности к выполнению сложных длительных заданий .....	23
© Абу Шели Н. М. А., Шишкин Н. В., Китов В. В., Амирова Л. Е., Томиловская Е. С., Козловская И. Б. Влияние 21-суточной опорной разгрузки на характеристики поздних коррекционных ответов .....	24
© Талис В. Л., Казенников О. В. Кинематика движения правой руки при перемещении ею смычка подобно игре на виолончели .....	26

© <i>Шигуева Т. А., Китов В. В., Шишкин Н. В., Томиловская Е. С., Козловская И. Б.</i> Влияние микрогравитации на характеристики точностного управления движениями.....	27
© <i>Мейгал А. Ю., Гурьева Д. В., Герасимова-Мейгал Л. И.</i> Постактивационный эффект в дельтовидных мышцах человека после краткосрочной «сухой» иммерсии.....	28
© <i>Моисеев С. А.</i> Паттерны синергетического взаимодействия скелетных мышц при сложнокоординатной работе .....	29
© <i>Шишкин Н. В., Амирова Л. Е., Ермаков И. Ю., Томиловская Е. С.</i> Эффективность стохастической гальванической вестибулярной стимуляции в коррекции вертикальной устойчивости.....	31
© <i>Гимазов Р. М.</i> Решения двигательных задач в нервной системе при построении движений.....	32
© <i>Гимазов Р. М.</i> Концепция о последовательности решений двигательных задач в нервной системе .....	33
© <i>Бабанов Н. Д., Кубряк О. В.</i> Признаки изменения состояний человека в динамике конфигурации электромиографических параметров.....	34
© <i>Мейгал А. Ю., Герасимова-Мейгал Л. И., Саенко И. В.</i> Двигательная функция у больных паркинсонизмом в течение курса «сухой» иммерсии и при однократной иммерсии .....	35
© <i>Бикчентаева Л. М., Ребик А. А., Милицкова А. Д., Мухаметова Э. Р., Балтина Т. В., Яфарова Г. Г.</i> Влияние чрескожной электрической стимуляции шейного отдела спинного мозга на постуральную устойчивость человека.....	37
© <i>Федянин А. О., Зайцева Т. Н., Литфуллин А. И., Балтин М. Э., Ахметов Н. Ф., Балтина Т. В., Еремеев А. А.</i> Состояние двигательного центра камбаловидной мышцы крысы при гравитационной разгрузке, комбинируемой со стимуляцией спинного мозга и активацией кожных афферентов.....	38

© Меркульева Н. С., Ляховецкий В. А., Горский О. В.,  
Мусяенко П. Е.

Инерционность спинальных нейронных сетей, контролирующих  
локомоцию в разных направлениях ..... 39

© Попов А., Ляховецкий В. А., Баженова Е., Горский О. В.,  
Калинина Д., Меркульева Н. С., Мусяенко П. Е.

Исследование роли опорной афферентации в интегративном  
контроле позы и локомоции ..... 41

© Калинина Д., Горяинова А., Сысоев Ю., Баженова Е., Попов А.,  
Гайнетдинов Р., Мусяенко П. Е.

Исследование механизмов управления локомоторного поведения  
в условиях нормального и измененного дофаминергического  
контроля на модели DAT-КО крыс ..... 42

© Калинина Д., Горяинова А., Сысоев Ю., Баженова Е., Попов А.,  
Гайнетдинов Р., Мусяенко П. Е.

Исследование роли трейсаминовых рецепторов в контроле  
локомоции и позы на модели TAAR-КО мышей ..... 43

## Часть 2

### Прикладные вопросы физиологии движения: микрогравитация, спорт, методы изучения движения, клиника, реабилитация

© Попов А., Ляховецкий В. А., Баженова Е., Горский О. В.,  
Калинина Д., Меркульева Н. С., Мусяенко П. Е.

Влияние условий семидневного вывешивания на флексорную  
и экстензорную активность икроножной мышцы крысы при  
локомоции по тредбану ..... 46

© Андреева А. М., Мельников А. А., Скворцов Д. В.,  
Драугелите В. А., Чечельницкая С. М.

Постуральная устойчивость спортсменов: роль спортивной  
направленности ..... 47

© Барканов М. Г. Влияние ритмической электрической стимуляции спинного мозга на кинематические и электромиографические параметры бегового шага.....	48
© Бердичевская Е. М., Черенкова Л. В. Электрофизиологические корреляты постурального контроля у квалифицированных гребцов на каноэ, предпочитающих левостороннюю стойку.....	49
© Мельников А. А., Смирнова П. А., Николаев Р. Ю. Изменение регуляции вертикальной позы под влиянием силовой тренировки мышц нижних конечностей.....	51
© Ляховецкий В. А., Меркульева Н. С., Горский О. В., Мусиенко П. Е. Рострокаудальная стабильность двунаправленной ходьбы при асимметричной стимуляции спинного мозга кошки.....	52
© Пискунов И. В., Городничев Р. М. Координационная структура двойного бегового шага при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу у спринтеров разной спортивной квалификации.....	53
© Sergeeva K. V., Tambovtseva R. V. Specificity of linear and nonlinear properties of electromyogram during eccentric contractions.....	54
© Sechin D. I., Tambovtseva R. V. Motor functions of e-sport athletes under the influence of hypoxic stimulus.....	55
© Trembach A. B., Ivashchenko E. A., Minihanova E. R. Invariant and variable electrophysiological correlates of central programs of goal-directed movements in humans.....	56
© Маркевич В. В. Повышение эффективности физических упражнений электромагнитными стимуляционными воздействиями на спинной мозг.....	57

© Черепкина Л. П. Прогнозирование успешности соревновательной деятельности у высококвалифицированных спортсменов, прошедших курс нейробиоуправления.....	58
© Кукоба Т. Б., Бабич Д. Р., Фомина Е. В. Влияние «сухой» иммерсии длительностью 21 сутки без применения средств профилактики гипогравитационных нарушений на силу и силовую выносливость мышц ног человека .....	59
© Лысова Н. Ю., Фомина Е. В. Влияние длительного пребывания в условиях невесомости на биомеханические характеристики ходьбы в тесте с переступанием через препятствие .....	60
© Голубев Д. В., Щедрин Ю. А. Вегетативный контроль двигательной производительности юных футболистов.....	62
© Пухов А. М. Особенности управления мышечной активностью при многократном выполнении точностных спортивных движений .....	63
© Третьякова О. Г., Мейгал А. Ю., Герасимова-Мейгал Л. И. Влияние курса «сухой» иммерсии на время реакции в тестах с различной когнитивной и моторной нагрузкой .....	64
© Шпаков А. В., Артамонов А. А., Орлов Д. О., Воронов А. В., Пучкова А. А. Новые подходы в обработке биомеханических характеристик локомоций человека, полученных с использованием видеоанализа движений.....	65
© Герасимова-Мейгал Л. И., Сиренева Н. В., Мейгал А. Ю. Влияние «сухой» иммерсии на автономную регуляцию у пациентов с паркинсонизмом.....	67
© Селиверстова В. В. Применение транскраниальной микрополяризации в полиатлоне.....	68



© Айзеништейн А. Д., Шурупова М. А., Булатова М. А., Поляев Б. Б., Иванова Г. Е.	
Исследование влияния тренинга виртуальной реальности на двигательные функции пациентов, перенесших инсульт.....	69
© Резванова С. К., Бобырев А. А., Скворцов Д. В.	
Различия в биомеханике бега элитных спринтеров, неэлитных спринтеров и не бегунов .....	70
© Шурупова М. А., Айзеништейн А. Д., Шипилов А. А., Скворцов Д. В., Касаткин В. Н.	
Взаимосвязь между движениями глаз и показателями походки у детей, перенесших лечение опухоли мозжечка .....	72
© Шурупова М. А., Касаткин В. Н., Латанов А. В.	
Влияние перенесенного лечения опухоли мозжечка на движения глаз у детей.....	73
© Емельяников Д. В., Ларионова Ю. Е., Григорьева Е. В., Шапкова Е. Ю.	
Увеличение независимости пациентов с последствиями тяжелой спинномозговой травмы при ходьбе в экзоскелете .....	74
© Ларионова Ю. Е., Купреев Н. А., Григорьева Е. В., Емельяников Д. В., Шапкова Е. Ю.	
Динамика локомоторных возможностей пациентов с парезами при тренировках ходьбы в экзоскелете.....	76
© Купреев Н. А., Емельяников Д. В., Шапкова Е. Ю.	
Устойчивость паттерна координации опоры рук и ног при повторных курсах ходьбы в экзоскелете у пациентов с нижними параплегиями .....	77
© Каббани М. С., Шашкова Е. Ю., Щёголева Л. С.	
Иммунный статус у молодежи на Севере РФ.....	78
Список институтов-участников .....	80

Научное издание

# **Управление движением Motor Control 2020**

**Материалы VIII Российской с международным участием  
конференции по управлению движением  
(Петрозаводск, 20—22 апреля 2020 г.)**

Редактор *О. В. Обарчук*  
Компьютерная верстка *Т. Д. Шестаковой*  
Оформление обложки *Е. Ю. Тихоновой*

Подписано в печать 22.06.2020. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. 5,35 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Изд. № 86

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ  
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

ISBN: 978-5-8021-3702-4



9 785802 137024