

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕЙРОРЕАКТИВНОСТЬЮ МОЗГА У  
СПОРТСМЕНОВ-ПАРАЛИМПИЙЦЕВ  
Мышляев С.Ю., Вахитов И.Х.**

Казанский федеральный университет, Казань  
[tggy-mbofk@mail.ru](mailto:tggy-mbofk@mail.ru)

**CONTROL SYSTEM NEYROREAKTIVNOSTYU BRAIN IN PARALYMPIC  
ATHLETES**

**Myshlyayev S.Y., Vakhitov I.Kh.**

Kazan Federal University, Kazan, Russia  
[tggy-mbofk@mail.ru](mailto:tggy-mbofk@mail.ru)

**Ключевые слова:** реабилитация, спортсмены-паралимпийцы, головной мозг, нервная система, физическая культура и спорт.

**Keywords:** rehabilitation, paralympic athletes, brain, nervous system, physical culture and sport.

Паралимпийское движение является сейчас важной составной частью реинтеграции людей с ограниченными возможностями в жизнь современного общества, повышение их социального статуса. Физкультурой и спортом занима-ются не только инвалиды-колясочники с последствиями травм спинного мозга. С 1976 г. к спортсменам со спинными травмами присоединились спортсмены других нозологических групп: инвалиды по зрению и люди, перенесшие ампутацию конечностей. В 1978 г. была создана Международная ассоциация спорта и физической культуры для лиц с церебральным параличом (СП-ИСРА), за ней в 1981 г. последовала Международная федерация спорта слепых (ИБСА), а в 1986 г. – Международная спортивная федерация для лиц с нарушением интеллекта (ИНАС ФИД). В 1982 г. появился Международный Координационный Комитет Всемирной Организации спорта инвалидов.

Достижения спортсменов-паралимпийцев определяются уровнем проведения реабилитационных мероприятий [1–3]. При этом применения только технических средств, позволяющих лицам с ограничением двигательной активности приспособиться к имеющимся условиям жизни, недостаточно. Необходима комплексная медико-педагогическая система реабилитации, которая помогала бы маломобильным пациентам преодолеть путь от кровати до спортивного зала и золотых медалей на соревнованиях [3].

Можно не только поддерживать и развивать сохранные функции организма, но и закладывать их как основу для спортивных достижений, так как все больше данных международных исследований свидетельствуют о способности нервной системы к регенерации и возможности управлять этим процессом. Так, одним из последних научных достижений в изучении мозга

человека является открытие особого свойства мозга – пластичности. Пластичность мозга – это способность мозга изменять свою структуру и функцию под влиянием длительных внешних воздействий или стимулов (зрительных, слуховых, двигательных). Смысл пластичности в том, что функции незрелых или погибших нервных клеток берут на себя оставшиеся в живых соседние клетки, которые увеличиваются в размерах, миелинизируются, формируется новый спраутинг: начинается процесс восстановления в периферической нервной системе, характеризующийся появлением новых отростков от аксонов нервных волокон. При этом восстановление идет по двум направлениям: регенеративному (проращение аксона возможно из его поврежденного конца) и коллатеральному (к клеткам, которые были иннервированы погибшим аксоном, прорастают боковые веточки интактных аксонов). Также формируются новые синаптические связи, компенсирующие утраченные функции (по данным исследователей Калифорнийского Университета, США).

Ответом на многократно повторяющееся, дозированное сверхпороговое раздражение вне зависимости от возраста, является нейритогенез – начало процесса дифференцировки нейронов, обеспечивающих сенсомоторные функции человека. В целях его стимуляции научно-технический отдел реабилитационного центра совместно со специалистами кафедры медико-биологических основ физической культуры Казанского Федерального Университета, приступил к разработке устройств, позволяющих оптимизировать реабилитационный процесс у данной группы инвалидов.

**Цель исследований:** разработать устройство для восстановления функций ЦНС с применением физической нагрузки.

**Методы исследования:** электроэнцефалография, электромиография, электрокардиография.

### **Организация исследований**

В исследовании, проводимом на базе реабилитационного центра (г. Нижний Новгород), принимали участие пациенты со спинальными травмами, детским церебральным параличом, эпилепсией.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Различные устройства для осуществления производственных процессов в живых или неживых объектах, в которых осуществляется регулирование определенных физических величин по заданным законам управления, называются объектами регулирования. Проектирование систем автоматического регулирования начинается с детального изучения свойств и характеристик объектов регулирования. Формальная постановка любой задачи управления начинается с выбора модели управляемой сложной системы и цели управления.

Отличие технических (традиционных) систем от живых (биопсихокommункативных) систем, которым является человек с его нервной системой,

состоит в том, что в них явно отличаются механизм воздействия на вход и выход системы.

В первом случае, т. е. у неживых систем, происходит усовершенствование деталей и конструкций, либо регулировка сигнала на выходе. Ключевым в этом случае является воздействие на структуру. Во втором случае, т. е. у живых систем происходит усовершенствование «памяти» (замена знаний и навыков) или регулировка сигнала на входе. Ключевым в этом случае является воздействие на функцию [4, 5]. Процесс адаптации начинается с изменения реактивности всей нервной системы. Нейрореактивность проявляется в изменении основного ритма мозга или его биоэлектрической активности, которая регистрируется на электроэнцефалограмме или ЭЭГ. При устойчивых электродинамических состояниях нервной системы (т. е. при естественном созревании мозга человека или возрастной гиперплазии нервной ткани) отмечается четкая закономерность: медленные волны сменяются на быстрые. Алгоритм или динамика формирования ритма ЭЭГ (частотно-амплитудная характеристика) у младенца в процессе его взросления такова:

–  $\delta$  (дельта) –  $\theta$  (тета) –  $\alpha$  (альфа) –  $\beta$  (бета).

В книге «Особенности деятельности мозга ребенка» А.Рейпер (1956) приводит многочисленные доказательства отсутствия функционирования у грудного ребенка не только коры, но и ближайших к ней подкорковых образований. Общей тенденцией «созревания и развития» биоэлектрической активности головного мозга является четко очерченный «электродинамический путь» от мед-ленных ритмов к более быстрым. Следует отметить, что регистрируемые ритмы являются результатом возбуждения мозга (возмущения в нервной ткани) и интерференции (накладывания друг на друга) биоэлектрических (электромагнитных) волн различных частот, исходящих из различных отделов (этажей). При этом каждый уровень или мозговой центр, так же как и отдельные нейронные группы (ансамбли), в него входящие, имеют свою частотную характеристику. Волны, исходящие от мозговых центров и отдельных функциональных нейрональных групп интерферируют, определяя общую частотно-амплитудную характеристику ЭЭГ человека.

При неустойчивых электродинамических состояниях нервной системы (т. е. при реабилитации больных с проблемами нервной системы, психики и речи или восстановительной регенерации нервной ткани) также отмечается четкая закономерность: быстрые волны сначала сменяются на медленные, а затем вновь на быстрые. С нейрофизиологической точки зрения в результате системной активации генетического аппарата нейронов или направленной структурной адаптации происходит последовательное раздражение определенных структур мозга или уровней (этажи мозга), а иногда вплоть до выпадения функций. С электрофизиологической точки зрения в ЦНС формируются доминанта с последующей деафферентацией. Чрезмерное напряжение на мембране нейронов того или иного анализатора, которое формируется из-за генерации импульсных токов в периферическом конце анализатора (мышцы, глаза, уши), приводит к активным электрическим процессам, вплоть до фазы рефрактерности, что характеризует синтез

аминокислот в ядре нервной клетки. С клинической точки зрения происходит обострение основного заболевания и иногда даже прибавление новых (скрытых или неразвернутых) симптомов, вплоть до со-стояния, аналогичного острому или подострому энцефалиту (воспаление серого вещества мозга), лейкоэнцефалиту (воспаление белого вещества мозга) с гидроцефалией или кистообразованием, а также миелиту (воспаление белого и серого вещества спинного мозга). При выраженных или стойких неврологических и (или) психиатрических и (или) логопедических дефектах могут возникать признаки локального отека головного или спинного мозга с симптомами, подобными энцефаломиелополиневриту или панэнцефалиту. Чем тяжелее состояние больного, тем более выражена фаза обострения, а значит температурные реакции и признаки иммунодефицита, которые отражают процесс репаративного воспаления в самом мозге.

Алгоритм или динамика ритма ЭЭГ в процессе реабилитации такова:

$$- \beta - \alpha - \theta - \delta - \theta - \alpha - \beta -$$

Иными словами – сначала разрушение или возвращение в исходное состояние, а потом восстановление до возрастной нормы.

Основной особенностью реабилитационной тренировки является создание оптимального уровня напряжения (с учетом клинических особенностей и стадии заболевания). Используемый раздражитель или нагрузки формируют реабилитационный потенциал, способствующий развитию качественно нового уровня организации движения и (или) поведения и (или) речи. Стимуляционно-активирующий фактор (афферентная атака) ведет к глубинной позитивной перестройке организма и формирует новые нейронные конструкции в мозге. Весь характер волнового процесса в цикле реабилитации дает основание для управления регенерацией. Со времен Гиппократов известно, что все болезни проходят через обострение. Если они хронические, то их переводят в острую или активную фазу. Результаты исследований подчеркивают, что патогенное значение стресса (дозированной нагрузки) необоснованно преувеличивается, заслоняя от внимания исследователей его функцию как важного звена адаптации. Обострение в виде выраженных клинических проявлений доказывает, что нарушение ЭДС не может однозначно трактоваться в качестве патогенного начала, и допускает возможность эустресса как сложившегося в процессе эволюции необходимого неспецифического звена более сложного целостного механизма приспособления к окружающей среде, т. е. в его положительном для организма значении.

С позиции нейрокибернетики электрические сигналы, генерируемые с периферического конца двигательного, зрительного и слухового анализатора («входные параметры») афферентным путем поступают в мозг. В процессе многократно повторяющихся дозированных нагрузок у человека с поврежденным (незрелым) мозгом электродинамическая система переходит в неустойчивое состояние. При интенсивной тренировке и тренинге «до отказа патологических функций» на ЭЭГ возникает эффект гиперсинхронизации, вплоть до пароксизмальных реакций. Пластичность лежит в основе временной

и пространственной суммации действия раздражителей на нервную систему. Наглядным примером такого возбуждения и генерации электрического сигнала является так называемый киндлинг-эффект («разжигание», «раскачка» или «разгон»). Этот феномен заключается в том, что многократные дозированные упражнения не вызывают видимой реакции, а с течением времени приводят к повышению возбудимости нервной ткани, гиперсинхронизации биоритмов, а иногда и к судорожной готовности всего мозга. В клинической картине могут возникать симптомы, характеризующие обострение основного заболевания с последующим восстановлением утраченных (несформированных) функций. Время завершения переходного процесса (реадаптация к нагрузкам) определяется снижением значения амплитуды на ЭЭГ («выходные параметры»). Только таким образом у человека может исчезнуть инвалидность и установиться новый (единый) двигательный, эмоциональный, речевой режим деятельности [4–6].

### *Результаты исследования*

От федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ получен патент на полезную модель № 105162 «Устройство для восстановления функций мозга с применением физической нагрузки». Полезная модель относится к области восстановительной медицины, а именно к устройствам, осуществляющим принудительную физическую нагрузку на мышцы и тело человека, и может быть использовано в реабилитационных целях для восстановления нарушений функций мозга (центральной нервной системы). Предлагаемое устройство создает необходимое дозированное растяжение. Основной рефлекс на растяжение вызывает генерацию сигналов (электрических) в скелетных мышцах пациента, что способствует биоэлектрической активности мозга и приводит к восстановлению несформированных или утраченных функций пациента (двигательные дефекты, психические дефекты, речевые дефекты). Технический результат достигается тем, что устройство для восстановления функций мозга с применением физической нагрузки, содержит горизонтальное основание на опоре, элемент охвата пациента, связанный через гибкие тяги, опорные элементы с нагрузочным узлом и фиксирующее приспособление нижних конечностей, на опоре устройства установлена балка для размещения нагрузочного узла, основание снабжено упором для ног, выполненным в виде закругленной доски, элемент охвата пациента выполнен в виде каркасной конструкции из переплетенных ремней, повторяющей верхнюю часть спины и имеет звено для соединения с гибкой тягой, гибкая тяга выполнена в виде тросов, пропущенных через кольца, установленные по бокам основания, тросы соединены в кольце, установленном перед нагрузочным узлом, а фиксирующее приспособление выполнено из двух полотен эластичного материала, которые закреплены в прорезях с одной из боковых сторон основания, а с противоположной стороны основания зафиксированы механизмом натяжения, который выполнен в виде механических рычагов и прикреплен к основанию.

Предлагаемая полезная модель работает следующим образом.

Пациента усаживают на горизонтальное основание и фиксируют ноги при помощи полотен из эластичного материала, меняя положение механизма натяжения рычагом. Далее на плечи и спину пациента одевают ременную конструкцию, плотно охватывающую верхнюю часть спины. Затем с помощью лебедки, соединенной с тросом создают нагрузку на тело пациента и поднимают туловище пациента относительно неподвижных ног в вертикальное положение. Вращая рукоятку лебедки, врач предварительно натягивает всю тросовую систему, фиксируя позу пациента. Далее, врач, увеличивая вращение рукоятки лебедки постепенно нагружает опорно-двигательный аппарат и мышцы пациента статической изометрической нагрузкой. При этом одновременно задают физическую нагрузку на мышцы плече-лопаточного и тазобедренного пояса, а также всего позвоночника. Это повторяют неоднократно и постепенно, а нагрузку осуществляют до упругого барьера, что способствует электроактивации мозга. Отслеживание предела нагрузки осуществляют при помощи датчиков установленных на голове (электроэнцефалография), на грудной клетке (электрокардиография), на конечностях (электронейромиография и тонометрия) и др. Изменение прилагаемой нагрузки осуществляют с помощью нагрузочного блока, управляющего устройства, которое снабжено программой, соответствующей профилю изменения нагрузки и датчиков положения, отражающих состояние пациента под воздействием сокращения и растягивания мышц. Каждому показанию датчика соответствует определенная нагрузка силового блока.

При этом у пациентов с поражением нервной системы используется комплекс специальных методик в виде длительных, онтогенетически ориентированных, многократно повторяющихся и возрастающих дозированных нагрузок: физических – в виде выполнения гимнастического упражнения «сед согнувшись» в статическом изометрическом режиме с отягощением, психических – в виде эмоциональных тренингов, речевых – в виде выполнения логопедических и фоноупражнений [7].

### **Заключение**

В результате использования устройства для восстановления функций мозга с применением физической нагрузки происходит восстановление структурно-функциональной зрелости мозга человека, обусловленное системной активацией электрической активности мозга. При этом повышение амплитуды сигнала ЭЭГ выше порога пароксизмальной активности (выше 120 мкВ) в процессе реабилитации может рассматриваться как структурно-функциональная адаптация мозга человека в условиях патологии. Применение данного устройства позволяет использовать необходимую физическую нагрузку для достижения желаемого результата по восстановлению функций центральной нервной системы, при этом в процессе реабилитации формируется качественно новый (единый) двигательный, поведенческий и речевой стереотип как основа для будущих спортивных достижений.

## Литература

1. Бернштейн, Н.А. О построении движений / Н.А. Берштейн. – М.: Кни-га по требованию, 2012. – 253 с.
2. Евсеев, С.П. Тренажеры в гимнастике / С.П. Евсеев. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 254 с.
3. Загородний, Г.М. Тренажеры для восстановления и тренировки функ-ции равновесия / Г.М. Загородний, Г.В. Попова, О.В. Петрова // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 10.
4. Ильин, Е.П. Психомоторная организация человека / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2003. – 384 с.
5. Горошков, Б.И. Автоматическое управление / Б.И. Горшков. – М.: ИРПО: Академия, 2003. – 304 с.
6. Строганова, Т.А. Электроэнцефалография в неонатологии / Т.А. Стро-ганова, М.Г. Дегтярева, Н.Н. Володин. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. – 280 с.
7. Мышляев, С.Ю. Научное открытие «Явление восстановления струк-турно-функциональной зрелости мозга человека в онтогенезе». – 2007 г. – Ди-плом № 339 выдан Российской Академией Естественных наук. – Регистрацион-ный № 42412.