



# ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ И РЕАБИЛИТАЦИИ

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ БОС (БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ)-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

УДК 616-036.82/.85

**Шаповаленко Т.В.**, руководитель ЦВМР, главный врач, к.м.н.;

**Сидякина И.В.**, зав. отделения нейрореабилитации ЦВМР, к.м.н.;

**Иванов В.В.**, невролог отделения нейрореабилитации ЦВМР, к.м.н.;

**Лядов К.В.**, директор, чл-корр. РАМН, д.м.н., профессор.

ФГУ «Лечебно-реабилитационный центр Минздравсоцразвития», г. Москва

### Актуальность.

Исторически сложилось так, что ранее целью реабилитации являлось создание устройств, помогающих пациенту, перенесшему инсульт, максимально полно интегрироваться в общество. Создавались специальные кресла и другие средства передвижения, компьютеризированные системы, высокотехнологичные устройства для коммуникации. Традиционными, хорошо зарекомендовавшими себя подходами являлись лечебная гимнастика, массаж, занятия с логопедом. В настоящее время повышается интерес к адаптации новых технологий с целью усиления интенсивности реабилитационных мероприятий и улучшения функционального исхода пациентов после поражения головного мозга различной этиологии. Актуальность внедрения инновационных технологий в программу нейрореабилитации определяется недостаточностью прикладываемых реабилитационных усилий, что не позволяет полностью реализовать реабилитационный потенциал пациента [1]. Повышаются доказательства эффективности пролонгированной терапии (большее количество часов активных реабилитационных мероприятий) в восстановлении гемипареза после инсульта. Принудительно-индуцированная или принудительно-форсированная двигательная терапия (constraint-induced movement therapy) доказала свою эффективность в рандомизированных контролируемых исследованиях [2]. Методика принудительно-индуцированной терапии заключается в стимуляции движений паретичной руки при фиксации противоположной верхней конечности в течение нескольких часов в сутки на протяжении не менее 2 недель. Несмотря на доказанную эффективность, во многих реабилитационных центрах США эту терапию не используют в основном потому, что это требует больших затрат рабочего времени инструктора (до 6 часов в день). Поэтому существует реальная необходимость внедрения новых технологий для увеличения времени реабилитационных мероприятий у пациентов после ОНМК и снижения нагрузки на медицинский персонал. Необходима частичная автоматизация процесса реабилитации для снижения времени работы врача с каждым пациентом. Традиционный реабилитационный подход один на один пациент и врач неприемлем. Предлагаются новые подходы к реабилитации пациентов после инсульта, включающие использование робототехники для выполнения упражнений, технологии биоуправления и виртуальной реальности, устройства для стимуляции мышц, периферических нервов, головного мозга.

### Нейрофизиологические аспекты двигательной реабилитации.

Когда речь касается двигательной реабилитации, необходимо иметь четкие критерии, на основании которых

возможно планировать реабилитационную программу. В современной нейрореабилитации одним из принципов двигательного обучения является многократное повторение движения в процессе тренинга, что увеличивает плотность синапсов в первичной двигательной коре. Эти изменения происходят в случае проведения 400 целенаправленных повторных движений. После 60 подобных движений эти изменения не наступают [3] (цит. по Л.А. Черниковой, 2009). Однако имеет большое значение, какие именно движения совершаются во время тренинга. В экспериментах на крысах показано, что число синапсов в моторной коре увеличивалось только при обучении тонким специализированным движениям, т.е. новой координации, но не при обучении нажатию на рычаг, где движение воспроизводило естественную координацию [4, 5]. При двигательной практике, в отличие от обучения, активность возникает в одном и том же полушарии, независимо от активной конечности, и может поэтому быть скорее связана с активацией памятного следа, чем с выполнением реального движения [6]. По данным других авторов, изменения границ моторного представительства пальцев и кисти наблюдались у человека не только при обучении новым движениям, но и при повторных движениях соответствующего пальца или конечности [7, 8]. Richards и соавт. [9] независимо от характера нарушений или методики лечения, наибольшие успехи отмечали при проведении мероприятий высокой интенсивности и выполнении упражнений с повторяющимися специфическими заданиями, что также было ассоциировано с повышением синаптогенеза после инсульта. Наличие изменений коркового моторного представительства при повторных движениях подтверждено с помощью функционального мозгового картирования. Изменения возникают через 10–40 минут, но могут быстро исчезать после прекращения движений [10]. Реорганизация в моторной коре возникает и при мысленном представлении соответствующих движений. При обучении новым движениям пластические изменения в моторной коре сохраняются в течение месяцев даже при отсутствии повторений выученного движения [11].

Таким образом, несмотря на некоторую противоречивость представленных данных, можно говорить о том, что наиболее длительные и специфические пластические изменения в моторной коре связаны с обучением новым специализированным движениям.

### Классификация технологий двигательной реабилитации.

Одной из наметившихся тенденций нейрореабилитации следует считать широкое внедрение БОС-технологий, которые реализуются не только в приборах, ориенти-

рованных исключительно на БОС-тренинг, но и в современных механокомплексах и робототехнике в качестве дополнительной, но далеко не второстепенной опции. Проведение тренингов с использованием виртуальной реальности с мультимодальной специфической афферентацией (зрительная, слуховая, тактильная, проприоцептивная) позволило максимально приблизить условия игры к ситуациям реальной жизни. В отличие от классической парадигмы биоуправления, заключающейся в мониторинговании одного или нескольких биологических показателей, которыми пациент может управлять, реализуя принцип обратной связи, использование виртуальной реальности в процессе тренинга способно воспроизводить повседневные действия, что повышает ценность данной технологии в отношении социально-бытовой адаптации. Следует понимать, что задачей реабилитации является не просто научить пациента стоять на стабилметрической платформе максимально устойчиво или добиться включения в акт ходьбы той или иной конкретной мышцы, используя возможности биоуправления. Главное – это успешная интеграция пациента в социум, повышение уровня социальной независимости, восстановление двигательной функции. Для решения этой задачи потенциально больший потенциал у технологий виртуальной реальности.

Если рассматривать биологическую обратную связь более широко, то можно объединить все методики реабилитации, в которых пациент получает информацию об изменениях какого-либо биологического параметра и способен влиять на результат проводимого тренинга, в одну большую группу. В таком случае все высокотехнологичные методики нейрореабилитации могут быть разделены на две категории:

1) с активным участием пациента в процессе тренинга, основанные на принципе биоуправления: механотерапевтические комплексы и робототехника с БОС; миографический БОС-тренинг; стабилотренинг с БОС; технологии виртуальной реальности.

2) стимуляционные методики без использования обратной связи (транскраниальная магнитная стимуляция, транскраниальная электростимуляция, динамическая программируемая электромиостимуляция).

Отдельно следует упомянуть другие методы, где, несмотря на активное участие пациента в тренинге, биологической обратной связи в классическом понимании не происходит. К таким технологиям относится динамическая проприокоррекция с использованием различных костюмов («Гравистат», «Регент»).

#### **Механотерапевтические комплексы и робототехника с БОС для восстановления функции верхней конечности.**

Современные технологии фокусируются на терапевтических воздействиях, улучшающих двигательный контроль и потенциально влияющие на нейропластичность. Использование робототехники улучшает моторное восстановление, так как реализуется выполнение повторных двигательных паттернов, позволяющее тренировать двигательные навыки. С помощью роботов становится возможным постепенно контролируемо увеличивать сложность выполняемых заданий. Для верхней конечности используются следующие устройства: InMotion2, ReoGo, «Armeo» и внешний силовой брейс, контролирующий поверхностную ЭМГ активность.

Поражение верхней конечности – частое осложнение инсульта, более чем 80% пациентов, перенесших ОНМК, имеют грубый парез верхней конечности, который приводит к развитию хронических осложнений и нарушению двигательной функции кисти [12]. Существует соотношение интенсивности и эффективности между количеством получаемой пациентом терапии и улучшением двигательных показателей [13–16]. Количество терапии, которое получает пациент при проведении занятий с инструктором, часто лимитировано финансовыми соображениями. Пациенты могут выполнять упражнения без помощи инструктора, однако самостоятельные занятия пациентов крайне затруднительны при наличии грубого пареза руки. Это приводит к низкому комплаенсу па-

циентов и неэффективности самостоятельных занятий дома [17, 18].

Многие исследователи предлагали использовать роботизированные устройства для верхней конечности в отсутствие постоянного контроля инструктора [19, 20]. Систематические обзоры, посвященные робототерапии, подтверждают более высокую эффективность роботов в отношении повышения силы в проксимальных отделах руки и могут добиваться улучшения восстановления двигательных функций в большей мере, чем традиционная терапия [21, 22]. Однако вследствие высокой стоимости роботов и из соображений техники безопасности, учитывая полную автоматизацию процесса реабилитации, их применение может быть лимитировано. Кроме того, помогая пациенту совершать движения с использованием механического привода, можно фактически снижать прилагаемые усилия и внимание, особенно если робот совершает движение без участия пациента. Это снижает активность нейропластических процессов [23].

В противоположность роботам для верхней конечности, пассивные (нероботизированные) ортезы для руки потенциально меньше стоят, более безопасны и подходят для полуавтономного тренинга. Такие устройства, как мобильная поддержка руки и ортез для предплечья, использовались в течение многих лет. Некоторые устройства было трудно отрегулировать для обеспечения поддержки и различных уровней сложности. Они также обеспечивали низкий уровень обратной связи в отношении восстановления двигательной функции. В добавление к вышесказанному остается неясным, в какой мере двигательная практика с поддержкой руки может улучшать двигательные возможности. Для обеспечения полуавтономной терапии верхней конечности была предпринята попытка объединить вышеописанные подходы (традиционная терапия, активная механотерапия, использование ортезов) в одном устройстве, названном компьютеризированная экзоскелетная терапевтическая Система Wilmington. Модифицированная версия этого устройства «Armeo», выпускается фирмой Hocoma [24].

Это пассивный (нероботизированный) ортез для руки, который осуществляет поддержку конечности против действия силы гравитации, способный оценивать объем движений суставов руки, фиксировать захват кисти и обеспечивать интерактивную связь в виде компьютерной игры. Это позволяет пациенту с умеренным или выраженным парезом достичь большего объема движений, в дальнейшем осуществляемых без дополнительной поддержки. «Armeo» дает возможность использовать руку наиболее рациональным образом, даже если пациент способен совершать только движения в одной плоскости. Так как это пассивное устройство, оно более безопасно, чем роботы. Кроме того, тренинг на механокомплексе «Armeo» требует, чтобы пациент самостоятельно инициировал движение. В противоположность традиционным средствам поддержки руки при использовании данного устройства возможно выбирать уровни гравитационной поддержки, быстро регулируемые под различные размеры сегментов конечностей. «Armeo» обеспечивает большое трехмерное рабочее пространство, а имеющиеся электронные сенсоры движения руки и силы захвата кисти, позволяют пациенту взаимодействовать с компьютерными играми и получать количественную обратную связь.

Пилотные исследования эффективности использования этого устройства у пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения проводились в Калифорнийском университете в течение 8 недель тренинга и показали статистически достоверное улучшение функциональных возможностей пациентов с умеренным и глубоким гемипарезом [24]. Исследования, проведенные в ФГУ «ЛРЦ» Минздравсоцразвития РФ в 2009 и 2010 гг., показали статистически достоверное увеличение степени функциональной независимости пациентов в восстановительный период после ОНМК, при сравнении показателей до и после курса реабилитации с использованием механокомплекса «Armeo». В то же время не отмечалось зна-

чимого изменения уровня спастичности (шкала Ашфорт) и степени пареза (Upper Extremity Motion Score) [25].

#### **Миографический БОС-тренинг.**

Мета-анализ эффективности БОС-тренинга в реабилитации пациентов после инсульта показал противоречивые результаты. Schleenbaker, Mainous, 1993 [26], проведя анализ результатов нескольких исследований, пришел к выводу об эффективности ЭМГ-тренинга в отношении пациентов с гемипарезом. В ряде последующих работ не было выявлено каких-либо значимых преимуществ БОС-технологий по сравнению со стандартным курсом лечебной гимнастики [27, 28, 29]. Последнее масштабное исследование [30], включающее 269 пациентов, показало, что вопреки данным небольшого количества отдельных исследований, показывающих эффективность сочетания БОС-тренинга и стандартной лечебной гимнастики в увеличении мышечной силы, функциональных возможностей, качества ходьбы в сравнении с ЛФК, обобщение всех имеющихся на сегодняшний день данных не выявило каких-либо преимуществ данного метода перед другими.

#### **Значение стабилметрического БОС-тренинга в реабилитации пациентов с постуральными расстройствами.**

В реабилитации пациентов с постуральными нарушениями используются как традиционные, так и современные высокотехнологичные методы (системы с неустойчивой опорной поверхностью и биологической обратной связью, электромиографический БОС-тренинг, оптокинетическая зрительная стимуляция, системы видеоанализа). Компьютеризированные системы обеспечивают мониторинг и обратную связь, что способствует улучшению двигательного обучения. Автоматизированные системы позволяют легко изменять окружающую обстановку, обеспечивают безопасность во время тренинга. Ограничением использования инновационных технологий служат их высокая стоимость, высокие требования к размещению и эксплуатации, высококвалифицированный персонал для работы на данных приборах. К стандартным методам реабилитации относят зеркала, тренинг на мягких подушках, наклонных поверхностях, неустойчивых досках цилиндрической формы и в форме полусферы, занятия на фитболах, мини-батуте, с использованием балансирующего шеста. Все эти методы являются доступными в связи с низкой стоимостью, портативностью и простотой в обращении. Они не обеспечивают обратной связи, объективной оценки или графического отображения тренинга, поэтому реабилитолог должен использовать свои навыки и опыт в подборе программы реабилитации в зависимости от возможностей пациента.

БОС-тренинг с использованием стабилметрии широко используется в программе реабилитации пациентов с постуральной неустойчивостью. В процессе занятий пациент с помощью зрительной обратной связи улучшает позный контроль, выполняя задания увеличивающейся степени сложности на устойчивой, а далее на нестабильной платформе. Однако задачи позной регуляции оказываются значительно более широкими, чем одно лишь поддержание неизменного положения тела в пространстве. Они включают и приспособление позы к предстоящему движению, и обеспечение равновесия во время локомоции и других видов движений, и согласование позы и движения. Для того чтобы регулировать или компенсировать положение тела относительно вертикали, нервная система должна иметь внутреннее представление этой вертикали. Оказывается, что представление об этой вертикали, относительно которой осуществляется регуляция ортогоградной позы, строится не только на основании гравитационного вектора.

В целом совокупность результатов, полученных в ходе космических полетов, можно рассматривать в качестве веского аргумента в пользу наличия центральной программы регуляции позы. Обнаруживаемая этой программой гибкость и поразительная способность приспособляться к изменившимся условиям, с которыми она прежде никогда не встречалась, заставляет предположить, что центральная организация регуляции позы базируется на внутренней модели тела, его отражении в центральной

нервной системе, т.е. на том, что известно в клинической и физиологической литературе как «схема тела».

В результате инсульта нарушаются функциональные взаимоотношения между структурами опорно-двигательного аппарата и нервной системой, распадается центральная постуральная модель тела. Так как система постурального контроля выступает в роли базиса, исходной интеграции, на основе которой формируется и реализуется локомоция [31], стабилметрический БОС-тренинг должен рассматриваться как один из этапов реабилитации, подготавливающий постуральную систему к более сложным условиям функционирования.

Для достижения максимально эффективной реабилитации необходимо сконцентрировать внимание на ведущей постуральной проблеме, не оставляя без внимания сопутствующие факторы, негативно влияющие на функцию равновесия. Тренинг на нестабильной платформе действует в большей степени зрительный и вестибулярный анализаторы, поддержание равновесия осуществляется за счет включения стратегии бедер (hip strategy). Повышается сила мышц нижних конечностей, улучшаются моторные навыки пациента. Занятия на тредмиле с закрытыми глазами или с изменением положения головы в большей степени задействуют проприоцептивную и вестибулярную системы, способствуют повышению выносливости, укрепляют мышцы нижних конечностей. Реабилитолог должен дифференцированно подходить к разработке программы реабилитации, чтобы добиться максимально полного восстановления постуральных функций. Для стимуляции одной из сенсорных систем вклад других систем при выполнении тренинга должен быть минимальным. Задание для пациента выбирается таким образом, чтобы равновесие обеспечивалось преимущественно одной афферентной системой (например тренинг с закрытыми глазами или в темной комнате исключает зрительный контроль и максимально повышает вклад в поддержание равновесия проприоцептивной и вестибулярной систем). У пациентов после инсульта с гемипарезом «здоровые» конечности не должны быть задействованы в тренинге для увеличения нагрузки на пораженную сторону. Перераспределение нагрузки может быть реализовано при расположении «здоровой» ноги на неустойчивой поверхности. В этом случае пациент вынужден будет переносить вес тела на пораженную конечность. Для достижения оптимального функционирования все афферентные системы здоровой и пораженной стороны должны работать согласованно, в связи с чем, тренинг, направленный на улучшение функции равновесия, должен включать комплексные и разнообразные задания. Для перенесения достигнутых результатов в условия реальной жизни задания тренингов должны быть достаточно разнообразными для того, чтобы способствовать решению различных двигательных проблем пациента. Например, поддержание равновесия в положении сидя и при переходе в положение стоя или лежа должен осуществляться с использованием устойчивых и нестабильных поверхностей различной высоты и стабильности, с поддержкой за поручни, с опорой на спинку и без дополнительной опоры, для левой и правой сторон дифференцированно. Техника упражнений может совершенствоваться в зависимости от возможностей пациента и включать в тренинг новые ситуации, ранее не входившие в программу реабилитации.

Члены реабилитационной бригады используют специальные упражнения и БОС-технологии для обучения пациента моторным навыкам. Упражнения необходимы для совершенствования двигательных программ, обратная связь – для выявления и коррекции ошибок, возникающих в процессе тренинга. При овладении новыми навыками выполняемые упражнения и обратная связь повышают мотивацию пациента к самостоятельному осуществлению движения. По мере совершенствования двигательных навыков (снижение количества ошибок и неправильных действий) врач должен менять программу реабилитации, сокращая тренинг с использованием обратной связи. Обратная связь крайне необходима при наличии сенсорных расстройств. В начале тренинга она позволяет пациенту

получать информацию об ошибках в достижении цели («вы обучились недостаточно для выполнения этого задания в настоящий момент») или о неправильном выполнении движения («вы недостаточно выпрямили колено в настоящий момент»). На первых этапах обратная связь может также давать информацию о том, как успешно выполнить задание в следующий раз, например «выпрямите ваше колено до того, как перенесете вес на эту ногу». Если обратная связь реализуется при участии реабилитолога, зеркала или изображения на мониторе компьютера, то у пациента нет возможности использовать свои собствен-

ные механизмы детекции и коррекции ошибок, что нежелательно при закреплении двигательного навыка. На одном из этапов реабилитации целесообразно исключить обратную связь и просить пациента самостоятельно описывать свои ошибки, затем давать объективную информацию о выполненном задании. В таком случае пациент может оценить адекватность выработанной программы действий. Когда реабилитолог предлагает пациенту самостоятельно скорректировать ошибки, активируются механизмы внутреннего контроля движений (процессы выбора двигательной программы) [32].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Stein J. Adopting new technologies in stroke rehabilitation: the influence of the US health care system. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2009; 45: 255–8.
- Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E et al. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 month after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. *JAMA* 2006; 296: 2095–104.
- Черникова Л.А. Роботизированные системы в нейрореабилитации. – *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* – Том 3. – № 3. – 2009. – С. 30–35.
- Kleim J.A., Barbay S., Cooper N.R. et al. Motor learning-dependent synaptogenesis is localized to functionally reorganized motor cortex. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2002; 77: 63–77.
- Kleim J.A., Barbay S., Nudo R.J. *J. Neurophysiol.*, 1998, 80, 3321–3325.
- Van Mier H., Tempel L.W., Perlmutter J.S., Raichle M.E., Petersen S.E. *J. Neurophysiol.*, 1998, 80, 2177–2199.
- Classen J., Liepert J., Wise S., Hallet M., Cohen L. *J. Neurophysiol.*, 1998, 79, 1117–1123.
- Liepert J., Terborg C., Weller C. *Exp. Brain Res.*, 1999, 125, 435–439.
- Richards L., Hanson C., Wellborn M., Sethi A. Driving motor recovery after stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2008; 15:397–411.
- Sanes J.N., Donoghue J.P. *Ann. Rev. Neurosci.*, 2000, 23, 393–415.
- Karni A., Meyer G., Jezzard P., Adams M.M., Turner R., Ungerleider L.G. *Nature*, 1995, 377, 155–158.
- Nakayama H., Jorgensen H.S., Raaschou H.O., Olsen T.S. Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75:394–398.
- Feys H.M., De Weerd W.J., Selz B.E., et al. Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: a single-blind, randomized, controlled multicenter trial. *Stroke*. 1998; 29: 785–792.
- Kwakkel G., van Peppen R., Wagenaar R.C., et al. Effects of augmented exercise therapy time after stroke: a meta-analysis. *Stroke*. 2004; 35: 2529–2539.
- Byl N.N., Pitsch E.A., Abrams G.M. Functional outcomes can vary by dose: learning-based sensorimotor training for patients stable poststroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008; 22: 494–504.
- Kwakkel G., Wagenaar R.C., Twisk J.W., Lankhorst G.J., Koetsier J.C. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet.* 1999; 354: 191–196.
- Cox K.L., Burke V., Gorely T.J., Beilin L.J., Puddey I.B., Controlled comparison of retention and adherence in home- vs center-initiated exercise interventions in women ages 40–65 years: the S.W.E.A.T. Study (Sedentary Women Exercise Adherence Trial). *Prev Med.* 2003; 36: 17–29.
- Dobkin B.H. Confounders in rehabilitation trials of task-oriented training: lessons from the designs of the EXCITE and SCILT multicenter trials. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007; 21: 3–13.
- Amirabdollahian F., Loureiro R., Gradwell E., Collin C., Harwin W., Johnson G. Multivariate analysis of the Fugl-Meyer outcome measures assessing the effectiveness of GENTLE/S robot-mediated stroke therapy. *J Neuroeng Rehabil.* 2007; 4:4.
- Colombo R., Pisano F., Micera S., et al. Assessing mechanisms of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008; 22: 50–63.
- Prange G.B., Jannink M.J., Groothuis-Oudshoorn C.G., Hermens H.J., IJzerman M.J. Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *J Rehabil Res Dev.* 2006; 43: 171–184.
- Kwakkel G., Kollen B.J., Krebs H.I. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008; 22: 111–121.
- Wolbrecht E.T., Chan V., Reinkensmeyer D.J., Bobrow J.E. Optimizing compliant, model-based robotic assistance to promote neurorehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2008; 16: 286–297.
- Housman S.J., Scott K.M., Reinkensmeyer D.J. A Randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2009 Jun; 23(5): 505–514.
- Материалы II международного конгресса «Нейрореабилитация 2010», с. 108, 2010.
- Schleenbaker, R.E., Mainous, A.G. Electromyographic biofeedback for neuromuscular reeducation in the hemiplegic stroke patients: A meta-analysis // *Archives of Physical Medical Rehabilitation*, 74(12), 1301–1304, 1993.
- Moreland, J.D., Thomson, M.A. Efficacy of electromyographic biofeedback compared with conventional physical therapy for upper-extremity function in patients following stroke: A research overview meta-analysis // *Physical Therapy*, 74(6), 534–547, 1994.
- Glanz, M., Klawansky, S., Stason, W., Berkey, C., Shan, N., Phan, H., et al. Biofeedback therapy in post-stroke rehabilitation: A meta-analysis of the randomized controlled trials // *Archives of Physical Medical Rehabilitation*, 1995.
- Moreland, J., Thomson, M.A., Fuoco, A.R. Electromyographic biofeedback to improve lower extremity function after stroke: A meta-analysis // *Archives of Physical Medical Rehabilitation*, 79(2), 134–140, 1998.
- Woodford, H., Price, C. EMG biofeedback for the recovery of motor function after stroke // *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2), CD004585, 2006.
- Агаян Г.Ц. Квантовая модель системной организации целенаправленной деятельности человека. – Ереван: Айастан, 1991. – с. 143–178.
- Umphred D. A. *Neurological Rehabilitation Elsevier Science 5<sup>th</sup> edition 2006*, p. 1272.

### РЕЗЮМЕ

В литературном обзоре с научных и практических позиций обосновывается необходимость внедрения инновационных технологий в нейрореабилитацию. Описываются современные методики реабилитации с использованием биологической обратной связи, направленные на восстановление функций верхней конечности, улучшение функции ходьбы и пострурального контроля.

**Ключевые слова:** биологическая обратная связь, нейрореабилитация, инсульт.

### SUMMARY

In this review, we substantiate the necessity of incorporating of novel technologies into neurorehabilitation, from scientific and practical positions. We describe modern rehabilitation methods involving biofeedback, aimed to upper extremity function recovery, gait and postural control improvement.

**Keywords:** biofeedback, neurorehabilitation, stroke.

### Контакты

**Сидякина Ирина Владимировна.** Служебный адрес: 125367, Москва, Ивановское ш., д. 3; e-mail: [sidneuro@mail.ru](mailto:sidneuro@mail.ru). Рабочий телефон: 8(499)190-78-10, факс: 193-76-31; мобильный телефон: 8(903)220-78-66.