
**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(ПСИХИЧЕСКОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНАЖЕРА С МНОГОКАНАЛЬНОЙ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ “ИМК-ЭКЗОСКЕЛЕТ”
В КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЕ РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ
ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА**

© 2017 г. Г. Е. Иванова¹, Ю. В. Бушкова¹, А. Ю. Суворов¹, Л. В. Стаховская¹,
И.З. Джалагония², Н. А. Варако³, М. С. Ковязина³, Ф. А. Бушков⁴

¹НИИ цереброваскулярной патологии и инсульта, ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, МЗ РФ, Москва

²Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

⁴Реабилитационный центр для инвалидов “Преодоление”, Москва

e-mail: julijabush777@gmail.com

Поступила в редакцию 28.02.2017 г.

Принята в печать 03.05.2017 г.

Последствия перенесенных нарушений мозгового кровообращения значительно снижают качество жизни пациентов. Одной из задач восстановления бытовой и социальной активности пациентов является восстановление двигательной функции верхней конечности, базовых моторных навыков, таких как достижение объекта, необходимая манипуляция с объектом, координированные движения обеих рук. Применение в восстановительном лечении нейрокомпьютерных технологий выводит реабилитацию на новый высокотехнологичный уровень и позволяет эффективно влиять на степень постинсультных нарушений. В настоящей работе исследовали эффективность тренажера ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью в составе комплексной реабилитации больных после инсульта, а также изучали возможные причины неиспользования верхней конечности при сохраненных двигательных характеристиках. Полученные результаты применения тренажера ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью в комплексной реабилитации больных после инсульта позволяют говорить о положительной динамике восстановления двигательной функции руки, увеличении повседневной активности пациентов. Планируется дальнейшее изучение влияния не инвазивного нейрокомпьютерного интерфейса на восстановление когнитивных функций пациентов, а также детализация нейропсихологического статуса с целью выявления возможно ведущего звена восстановления двигательной функции верхней конечности в процессе реабилитации с помощью вышеописанной технологии.

Ключевые слова: инсульт, интерфейс-мозг-компьютер, когнитивные нарушения, идеомоторная тренировка, неглект.

DOI: 10.7868/S0044467717040086

Наиболее частыми и актуальными последствиями инсульта являются нарушения двигательной функции верхней конечности у 80% больных в остром и у 40% пациентов в позднем восстановительном периоде [Cramer et al., 1997]. Типичными проявлениями повреждения двигательной функции руки являются слабость мышц, изменения мышечного тонуса, гипермобильность суставов, нарушение двигательного контроля [Bleyen Heuft et al., 2014], что отражается на снижении

возможности выполнять повседневные действия по самообслуживанию [Dromerick et al., 2009; Nichols-Larsen et al., 2005; Oujamaa et al., 2009]. Нарушение различных форм чувствительности у пациентов встречается в широком диапазоне от 11 до 85% случаев, и оказывает негативное воздействие на восстановление и поддержание двигательной функции [Hunter, 2002]. Другими проявлениями, затрудняющими проведение реабилитационных мероприятий и влияющими на двигательный

и функциональный исход, являются спастичность [Sackley et al., 2008; Sommerfeld et al., 2004; Welmer et al., 2010] и синдром одностороннего пространственного игнорирования (неглект) [Ringman et al., 2004].

В восстановлении функций мозга после инсульта лежат процессы нейропластичности, включающие реорганизационные и компенсаторные механизмы в разные периоды течения церебрального повреждения. Показано, что хороший функциональный прогноз сопряжен с преобладанием процессов активации функциональных нейрональных сетей в ипсилатеральном очагу поражения полушария головного мозга [Feydy et al., 2003; Rehme et al., 2012; Ween, 2008]. Даже в позднем восстановительном периоде, на фоне скудного прироста двигательных возможностей, была продемонстрирована нейропластичность мозга с возможностью продолжения функционального улучшения [Cramer, 2008; Lohse et al., 2014; Young et al., 2014].

Согласно Столяровой, Ткачевой [1978], а также Carr и Shepherd [1983] основной задачей нейрореабилитации пациента с церебральным повреждением является восстановление его двигательных функций, более сходных с теми, которые он имел до момента возникновения у него неврологических нарушений. Для успешного восстановления движений необходимо активное участие пациента, а также наличие обратной связи, позволяющей пациенту контролировать правильность выполнения двигательной задачи и корректировать собственные усилия [Jorgensen et al., 1995]. Зачастую, особенности локализации очага инсульта, который обуславливает развитие двигательных и когнитивных нарушений различной степени, а также ограниченные возможности воссоздания естественной мультифункциональной реабилитационной среды, значительно ограничивают возможности решения реабилитационных задач.

Наличие синдрома игнорирования (неглекта) у пациентов после инсульта значительно снижает эффективность реабилитации [Камаева и др., 2003; Хомская, 2002; Thieme et al., 2012; Warlow et al., 1997], и является одним из основных признаков неблагоприятного прогноза восстановительного лечения [Denes G. et al., 1982; Kinsella G., Ford B., 1985]. Синдром неглекта практически не оценивается

специалистами и не учитывается в программах мероприятий по медицинской реабилитации. По данным различных авторов, он отмечается у 33–85% больных с правополушарным [Warlow et al., 1997] и у 24% — с левополушарным инсультом [Pia et al., 2004]. Синдром неглекта чаще всего рассматривается в рамках инсульта в бассейне кровоснабжения средней мозговой артерии и является гетерогенным состоянием [Ringman et al., 2004].

Одностороннее пространственное игнорирование (*англ.* Unilateralspatialneglect) — неврологический синдром, при котором больной утрачивает способность отвечать на стимуляцию или воспринимать информацию на стороне, противоположной пораженному полушарию. Этот синдром вызван поражениями головного мозга и связан не с элементарными сенсорными и двигательными расстройствами, а с общими когнитивными изменениями, в первую очередь, со снижением критики к своему состоянию и допускаемым ошибкам: пациент не только не видит/не чувствует и т.д., но и не осознает своего нарушения. Последнее представляет собой сложную проблему презентации болезни в самосознании индивида и требует комплексного междисциплинарного подхода к преодолению анозогнозии [Доброхотова и др., 1996; Николаева, 1987].

При массивных поражениях задних отделов правого полушария мозга (у правой) возникает отчетливая левосторонняя пространственная агнозия, выражающаяся в фиксированном игнорировании левой половины пространства. Так называемая, односторонняя пространственная агнозия (ОПА). В неврологической картине выявляются левосторонние геми-: пареза (парез), анестезия (гипостезия), анопия (полная или частичная), акузия (гипоакузия), а также глазодвигательные нарушения. От правосторонних своих аналогов эти дефекты отличаются тем, что больными не осознаются [Доброхотова и др., 1996]. У таких больных нарушается общее и двигательное поведение и восприятие разнотипной модальности. Также, K. Li, P.A. Malhotra [2015] описывают существование похожих клинических феноменов: 1) двигательный неглект (не использование контралатеральной руки даже при условии сохранности двигательной и чувствительной функций); 2) анозогнозия — неосознавание специфического

дефицита, гемиплегии, неглекта, и других нарушений функций, несмотря на выраженное влияние последствий инсульта на повседневную жизнь [Azouvi et al., 2002; Orfei et al., 2007; Pia et al., 2004; Prigatano, 2010].

Несомненными достоинствами технологии ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью является возможность повышения эффективности реабилитационных мероприятий в восстановлении утраченных в результате инсульта когнитивных функций у больных посредством качественной идеомоторной тренировки, а также реализации мультисенсорной обратной связи. Целью идеомоторной тренировки, контролируемой посредством ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью, является усиление афферентной стимуляции с верхней конечности посредством механической работы экзоскелета, только в ответ на успешное решение пациентом предъявленной ему ментальной задачи. Таким образом, применение в реабилитации больных после инсульта тренажеров с нейрокомпьютерными интерфейсами, способствующих многократному достижению облегчения реализации управляющих функций мозга, сопровождаемых нейромоторным подкреплением позволяет ожидать восстановление утраченных нейрональных связей и нарушенных в результате инсульта функций [Wolpaw et al., 2002; Van Dokkum et al., 2015].

Целью нашего исследования было изучение влияния тренажера ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью в составе комплексной реабилитации больных после инсульта на улучшение/восстановление активности верхней конечности в повседневной деятельности, а также изучение возможных причин неиспользования верхней конечности при сохраненных двигательных характеристиках.

МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 7 мужчин и 3 женщины в возрасте от 18 до 80 лет (66 (62.0;68.0) лет), с перенесенным инсультом давностью от 1 месяца до 2 лет (9 (4.0;19.0) мес.); с постинсультным парезом руки от легкой степени тяжести до пlegии по Британской шкале оценки мышечной силы (Medical Research Council Weakness Scale); с единичным очагом инсультной этиологии, ишемического — 8

(80%) или геморрагического характера — 2 (20%), супратенториальной локализации 10 (10%) (по данным КТ, МРТ). Левосторонняя латерализация очага инсульта наблюдалась в 6 (60%) случаях, правосторонняя — в 4 (40%) случаях. В раннем реабилитационном периоде (1–6 мес.) находилось 3 (30%) пациента, в позднем периоде (7–12 мес.) — 3 (30%) пациента, в резидуальном периоде (более 12 мес.) — 4 (40%) пациента. Часть пациентов, участвовавших в исследовании, были госпитализированы в исследовательский центр ($n=4$), часть получали терапию ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью амбулаторно ($n=6$).

Критерии не включения в исследование: леворукость по данным Эдинбургского опросника мануальной асимметрии, тяжелое нарушение когнитивных функций — менее 22 баллов по Монреальской шкале когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA); сенсорная афазия; грубая моторная афазия; грубое нарушение зрения, не позволяющее выполнять визуально предъявляемые инструкции на экране компьютера; наличие мышечной контрактуры в руке — 4 балла по модифицированной шкале Ашворта (Modified Ashworth Scale, MAS). Все испытуемые подписали информированное согласие.

В исследовании использовался ИМК, основанный на анализе паттернов ЭЭГ и распознавании реакции синхронизации/десинхронизации сенсомоторного (мю-) ритма при воображении движений рук. Сигналы ЭЭГ фильтруются в полосе частот от 5 до 30 Гц. В исследовании применяли классификатор паттернов ЭЭГ, основанный на методе Байеса [Бобров и др., 2012]. В качестве показателей точности классификации используются индекс “каппа Коэна” (при идеальном распознавании $k=1$, при случайном распознавании $k=0$ [Jorgensen et al., 1995] и процент правильных ответов классификатора (более 33% — распознавание выше случайного, так как пациенты выполняют по инструкции ментальные задачи).

Результаты распознавания ментальной задачи предъявлялись пациенту по зрительной и кинестетической обратной связи: в случае успешного распознавания классификатором задачи, соответствующей предъявляемой инструкции, фиксирующая взор метка в середине экрана принимает зеленый цвет, а экзоскелет разгибает

пальцы кисти. При распознавании других задач цвет метки не меняется, а экзоскелет не срабатывает [Мокиенко и др., 2016; Платонов и др., 2012; Фролов и др., 2016]. Другими словами, этот вид терапии можно обозначить как “Управляемая идеомоторная тренировка с использованием принципов многоканальной биологической обратной связи по зрительному, кинестетическому анализаторам и ЭЭГ”.

На кисть паретичной руки фиксируется экзоскелет. Применяемый в настоящем исследовании экзоскелет представляет собой полимерный подвижный каркас для кисти и пальцев руки с роботизированным пневматическим управлением, предназначенный для разгибания пальцев кисти в объеме, не превышающем физиологический [Фролов и др., 2017]. В процессе тренинга человек сидит за столом перед компьютерным монитором, руки лежат на подлокотниках кресла в удобном положении.

В центре темного экрана монитора находится круг, служащий для фиксации взгляда, вокруг него расположены три стрелки для обозначения инструкций изменяющимся цветом.

Пациент выполняет одну из трех инструкций: расслабиться, кинестетически представить медленное разгибание пальцев кисти правой или левой руки. Инструкции на воображение разгибания пальцев правой или левой руки (изменение цвета стрелки справа или слева соответственно) предъявляются в случайном порядке в течение 10 с. Между инструкциями по воображению движения предъявляется инструкция расслабиться (загораются верхняя стрелка) так же в течение 10 секунд. По инструкции “расслабиться” пациент должен спокойно сидеть и смотреть в центр экрана.

Одна процедура содержала до трех вышеописанных сессий, каждая длительностью 10 мин. Между сессиями пациент отдыхал не менее 5 мин. С каждым пациентом занятия на тренажере ИМК-экзоскелет с кинестетической обратной связью проводились в течение 14–18 дней, с возможными промежутками между занятиями до 2 дней.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пациенты ($n=10$), включенные в исследование, прошли курс занятий ИМК-экзоскелет

кисти с кинестетической обратной связью в количестве 9.5 (8;10) процедур.

Все пациенты были обследованы согласно утвержденному протоколу для исследования, который включает в себя следующие клинические шкалы: МОСА, Эдинбургская шкала, опросник тревоги и депрессии, таблицы Шульте, скандинавская шкала оценки мышечной силы, мышечного тонуса, ARAT, FUGL-M, Ranken, Barhtel. Дополнительно к протоколу обследования пациентов мы добавили оценку двигательной функции верхней конечности по тесту Френчай [Wade et al., 1983].

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью критериев Манна–Уитни, Уилкоксона, коэффициента корреляции Спирмена на персональном компьютере с применением пакета прикладных программ Statsoft Statisticav. 6.0. Данные представлены в виде медианы и 25, 75% квартилей. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

По окончании курса реабилитации с включением в программу тренировок по управлению ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью наблюдалось статистически значимое улучшение двигательной функции руки по шкалам ARAT и Fugl–Meyer. Также отмечилось статистически значимое снижение мышечного тонуса по шкале Ashworth. При исследовании мышечной силы, уровня повседневной активности по шкале Бартелл и тяжести инсульта по шкале Ренкин, статистически значимой динамики выявлено не было. Динамика исследуемых показателей отражена в таблицах 1, 2, 3, 4.

Нами было отмечено, что в начале курса терапии ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью, все пациенты, независимо от уровня двигательного дефицита в руке, не использовали возможности верхней конечности в повседневной активности. Например, пациент с мышечной силой в руке равной 3–4 баллам, не помогал себе ею в процессе одевания, принятия пищи и т.д., т.е в повседневной деятельности. Динамику включения верхней конечности в повседневную активность мы отразили с помощью теста для руки Френчай.

Качество управления интерфейсом пациентами, участвующими в исследовании (каппа Коэна и процент распознавания) составило 55.5% (45.0;55.6) ($p > 0.05$).

С целью выявления особенностей влияния процедуры ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью на течение реабилитационного процесса, а также на возможные нарушения кинестетического, динамического праксиса, симптомы одностороннего пространственного игнорирования пациенты проходили комплексное нейропсихологическое обследование с использованием диагностических методик А. Р. Лурии.

При повторном обследовании пациентов, прошедших курс ИМК-экзоскелет наблюдалась положительная динамика, проявляющаяся в более эффективном выполнении заданий, требующих участия обеих рук.

Так при диагностическом нейропсихологическом обследовании пациенты спонтанно не использовали паретичную руку и включали ее в работу сознательно, только лишь при обращении их внимания на это нейропсихологом. При проведении динамического обследования пациенты самостоятельно использовали обе руки при выполнении проб. Также нейропсихологом было отмечено более успешное использование паретичной руки в повседневной жизнедеятельности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные предварительные результаты по исследованию “Экзоскелет кисти, управляемый не инвазивным интерфейсом мозг-компьютер” позволяют говорить о положительной динамике восстановления двигательной функции руки у пациентов после инсульта, как дистального, так и проксимального ее отделов. При этом в основе положительной динамики в восстановлении двигательной функции верхней конечности в результате применения технологии ИМК предположительно лежат механизмы, не связанные с изменением силы мышц руки.

Возможно, одним из объяснений является гипотеза реактуализации схемы тела с последующим облегчением обращения пациента к паретичной стороне. Схема тела—динамическое в реальном времени представление собственного тела, основанное на интеграции мультимодальной сенсорной информации с двигательным контролем движений [Dehaene, Changeux, 2011; Mesulam, 1999].

Так, данные Tatemichi и Desmond [1992], показали, что в 12–56% случаев у пациентов после инсульта возникает когнитивный дефицит, который оказывает непосредственное влияние на процесс и результаты реабилитации. Формирование схемы собственного тела, так же, как и поддержание необходимого уровня внимания, основывается на интеграции мультимодальной сенсорной информации с процессами произвольной регуляции. При этом мозговая интеграция может быть нарушена на любой стадии процесса высшей нервной деятельности—от сбора и первичного анализа сенсорной информации; интеграции поступившей афферентации, до активного осознания собственного тела, обеспечиваемого достаточным уровнем процессов произвольной регуляции [Dehaene, Changeux, 2011; Mesulam, 1999].

Другое объяснение может быть связано с пониманием роли зеркальной нейрональной системы в активизации первичных двигательных зон как в процессе активного выполнения движений кистью, пассивным наблюдением за выполняемым движением, так и с ментальным (кинестетическим) представлением движения. При использовании тренажера ИМК-экзоскелет кисти с кинестетической обратной связью стимулируется активность структур, входящих в функциональную группу зрительной нервной системы, что имеет далеко идущие последствия по реорганизации и активизации всех функций мозга.

В рамках проводимого исследования планируется дальнейший набор пациентов и изучение влияния не инвазивного нейрокомпьютерного интерфейса ИМК-экзоскелет с кинестетической обратной связью на процесс восстановления как двигательной функции верхней конечности, так и изменений в когнитивной сфере пациентов с постинсультными нарушениями. Планируется проведение комплексной нейропсихологической оценки пациентов, участвующих в исследовании, для возможного выявления ведущего звена в восстановлении двигательной функции верхней конечности в процессе реабилитации с помощью вышеописанной технологии.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, грант RFMEF160715X0128.

Таблица 1. Динамика показателей двигательной функции руки по шкале ARAT ($n = 10$).
Dynamics of parameters of the motor function of the arm on the ARAT scale ($n = 10$).

Показатель/ Index	До/ Before	После/ After
Общий балл/ Total score $p = 0.016$ (критерий Уилкоксона/ Wilcoxon test)	14.5 (1.0; 36.0)	19.5 (1.0; 41.0)
Шаровой захват/ Ball grip $p = 0.25$	6.0(0.0;18.0)	9.5 (0.0; 18.0)
Цилиндрический захват/ Cylindrical grip $p = 0.25$	3.0 (0.0; 9.0)	3.0 (0.0; 11.0)
Щипковый захват/ Plucked grip $p = 0.125$	0.0 (0.0; 6.0)	1.0 (0.0; 7.0)
Кисть в целом/ Brush in general (шаровой, цилиндрический, щипковый/ ball, cylindrical, plucked) $p = 0.002$	1.0 (0.0;9.0)	2.5 (0.0;11.0)
Крупные движения руки/ Large hand movements $p = 1.000$	2.0 (1.0; 8.0)	2.5 (1.0; 8.0)
Число случаев улучшения по ARAT на 5 баллов и более, % (n) Number of cases of improvement By ARAT by 5 points or more, % (n)		2.0 (20%)

Таблица 2. Динамика показателей двигательной функции руки по шкале Fugl-Meyer ($n = 10$).
Dynamics of indicators of motor function of the arm on the scale Fugl-Meyer ($n = 10$).

Показатель/ Index	До/ Before	После/ After
Общий балл/ Total score $p < 0.001$ (критерий Уилкоксона/ Wilcoxon test)	70.50 (49.0; 84.0)	79.0 (55.0; 95.0)
Проксимальные отделы руки/ Proximal arm $p = 0.063$	21.0 (9.0; 26.0)	23.0 (11.0; 29.0)
Кисть/ Brush $p = 0.008$	6.0 (2.0; 14.0)	9.5 (2.0; 17.0)
Чувствительность/ Sensitivity $p = 0.250$	9.5 (8.0; 10.0)	10.0 (8.0; 11.0)
Движения/ Movement $p = 0.031$	14.0 (11.0; 16.0)	15.0 (13.0; 17.0)
Боль/ Pain $p = 0.006$	18.0 (13.0; 20.0)	19.0 (17.0; 23.0)

Таблица 3 Динамика показателей мышечной силы, тонуса, тяжести инсульта, и повседневной активности по шкалам.
Dynamics of indicators of muscle strength, tone, severity of stroke, and daily activity on scales.

Тест, баллы/ Test, points	До/ Before	После/ After
Мышечная сила/ Muscle Strength $p = 1.000$ (критерий Уилкоксона/ Wilcoxon test)	2.5 (1.0; 3.0)	2.5 (1.0; 4.0)
Тест Bartell $p = 0.500$	77.5 (60.0; 95.0)	82.5 (60.0; 100.0)
Тест Ashworth $p = 0.016$	2.0 (2.0; 3.0)	1.5 (1.0; 3.0)
Шкала Rankin $p = 1.000$	3.0 (3.0; 3.0)	3.0 (3.0; 3.0)

Таблица 4. Динамика показателей двигательной функции пораженной верхней конечности по шкале Френчай.

Dynamics of indices of the motor function of the affected upper limb according to the Frenchay scale.

Тест, баллы/ test, points	До/ Before	После/ After
Общий балл/Total score $p=.068$	1.6 (0.0; 3.0)	2.0 (0.0; 4.0)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобров П.Д., Коршаков А.В., Роцин В.Ю., Фролов А.А. Байесовский подход к реализации интерфейса мозг-компьютер, основанного на представлении движений. Журн. высш. нервн. деят. 2012. 62(1): 89–99.
- Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н., Зайцев О.С., Гогитидзе Н.В., Ураков С.В. Односторонняя пространственная агнозия. М.: Издательство “Книга, лтд”, 1996. 112 с.
- Камаева О.В., Монро П., Буракова З.Ф. и др. Мультидисциплинарный подход в ведении и ранней реабилитации неврологических больных: Методическое пособие. Часть 6. Эрготерапия. Под ред. А.А. Скоромца. Ст.-Петербург. 2003. 40 с.
- Мокиенко О.А., Люкманов Р.Ф., Черникова Л.А. и др. Интерфейс-мозг-компьютер: первый опыт клинического применения в России. Физиология человека. 2016. 42(1): 31.
- Николаева В.В. Влияние хронической болезни на психику: психологическое исследование. Изд-во Моск. ун-та, 1987.
- Платонов А.К., Фролов А.А., Бирюкова Е.В., Пряничников В.Е., Емельянов С.Н. Методы биомехатроники тренажера руки человека. /Предпринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. 82. 40 с.
- Столярова Л.Г., Ткачева Л.Г. Реабилитация больных с постинсультными двигательными расстройствами. М.: Медицина, 1978. 57.
- Фролов А.А., Мокиенко О.А., Люкманов Р.Х., Черникова Л.А., Котов С.В. и др. Предварительные результаты контролируемого исследования эффективности технологии ИМК-экзоскелет при постинсультном парезе руки. Вестник РГМУ. 2. 2016. стр. 17.
- Фролов А.А., Козловская И.Б., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. Роботизированные устройства в реабилитации после инсульта: физиологические предпосылки и клиническое применение. Журн. высш. нервн. деят. 2017, 67(2).
- Хомская Е.Д. Нейропсихология: Учебник. Издание второе, дополненное. М.: УМК “Психология”, 2002. 416 с.
- Azouvi P., Samuel C., Louis-Dreyfus A., Bernati T., Bartolomeo P., Beis J.M., et al. Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. J NeurolNeurosurg Psychiatry. 2002. 73: 160–166.
- Bleyen Heuft Y., Gordon A.M. Precision grip incongenital and acquired hemiparesis: similarities in impairments and implications for neurorehabilitation. Front. Hum. Neurosci. 2014. 8: 459.
- Carr J.H., Shephard R.B. Motor Relearning Programme for Stroke. Aspen Publishers, 1983. 172.
- Cramer S.C. Brain repair after stroke. N. Engl. J. Med. 362, 2008. 1827–1829.
- Cramer S.C., Nelles G., Benson R.R., Kaplan J.D., Parker R.A., Kwong K.K., et al. A functional mri study of subjects recovered from hemiparetic stroke. Stroke, 1997. 28. 2518–2527.
- Dehaene S., Changeux J.P. Experimental and theoretical approaches to conscious processing. Neuron 70, April 2011. 28. P. 200–227.
- Denes G., Semenza C., Stoppa E., et al. Unilateral spatial neglect and recovery from hemiplegia: a follow up study. Brain 1982. 105: 543–552.
- Dromerick A.W., Lang C.E., Birkenmeier R.L., et al. Very Early Constraint-Induced Movement during Stroke Rehabilitation (VECTORS): a single-center RCT. Neurology. 2009. 73(3): 195–201.
- Feydy A., Carlier R., Roby-Brami A., Bussel B., Cazalis F., Pierot L., et al. Longitudinal study of motor recovery after stroke: recruitment and focusing of brain activation. Stroke 2002. 33: 1610–1617.
- Jorgensen H.S., Nakayama H., Raaschou H.O., Olsen T.S. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 1995. Vol. 76(1). P. 27–32.
- Kinsella G., Ford B. Hemianattention and the recovery patterns of stroke patients. Intern. Rehabil. Med. 1985. 7: 102–106.
- Li K., Malhotra P.A. Spatial neglect. Pract. Neurol., 2015. 15: 333–339.
- Lohse K.R., Lang C.E., Boyd L.A. Is more better. Using meta-data to explore dose response relationship in stroke rehabilitation. Stroke 2014. Jul 45(7): 2053–2058.
- Mesulam M.M. Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 1999. 354: 1325–1346.
- Nichols-Larsen D.S., Clark P.C., Zeringue A., Greenspan A., Blanton S. Factors influencing stroke survivors’ quality of life during subacute recovery. Stroke. 2005 Jul; 36(7): 1480–4. Epub 2005. Jun 9.
- Orfei M.D., Robinson R.G., Prigatano G.P., Starkstein S., Ruesch N., Bria P., et al. Anosognosia for hemiplegia after stroke is a multifaceted phenomenon: a systematic review of the literature. Brain. 2007. 130: 3075–3090.
- Oujamaa L., Relave I., Froger J., Motett D., Pelissier J.-Y. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. Annals of physical and rehabilitation medicine, 2009. 52; 269–293.

- Pia L., Neppi-Modona M., Ricci R., Berti A.* The anatomy of anosognosia for hemiplegia: a meta-analysis. *Cortex*. 2004. 40: 367–377.
- Prigatano G.P.* The Study of Anosognosia. New York, NY: Oxford University Press; 2010. 2.
- Rehme A.K., Eickhoff S.B., Rottschy C., Fink G.R., Grefkes C.* Activation likelihood estimation meta-analysis of motor-related neural activity after stroke. *Neuroimage* 2012. 59: 2771–2782.
- Ringman J.M., Saver J.L., Woolson R.F., Clarke W.R., Adams H.P.* Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*; 2004. 63, 468–474.
- Sackley C., Brittle N., Patel S., Ellins J., Scott M., Wright C., et al.* The prevalence of joint contractures, pressure sores, painful shoulder, other pain, falls, and depression in the year after a severely disabling stroke. *Stroke* 2008. 39, 3329–3334.
- Sommerfeld D.K., Eek E.U., Svensson A.K., Holmqvist L.W., von Arbin M.H.* Spasticity after stroke: its occurrence and association with motor impairments and activity limitations. *Stroke* 2004. 35, 134–139.
- Tatemichi T.K., Desmond D.W., Mayeux R., et al.* Dementia after stroke: baseline frequency, risks, and clinical features in a hospitalized cohort // *Neurology*. 1992. V. 42. P. 1185–1193.
- Thieme H., Mehrholz J., Pohl M., et al.* Mirror therapy for improving motor function after stroke // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2012; CD008449. March 14, 2012.
- Truelsen T., Piechowski-Józwiak B., Bonita R., Mathers C., Bogousslavsky J., Boysen G.* Stroke incidence and prevalence in Europe: a review of available data. *Eur. J. Neurol.*, 2006. 13, 581–598.
- Wade D.T., Langton-Hewer R., Wood V.A., Skilbeck C.E., Ismail H.M.* The hemiplegic arm after stroke: measurement and recovery. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1983. Jun; 46(6): 521–524.
- Warlow C.P., Dennis M.S., van Gijn J., et al.* Stroke. A practical guide to management. London: Blackwell Science 1997. 664.
- Ween J.E.* Functional imaging of stroke recovery: an ecological review from a neural network perspective with an emphasis on motor systems. *J. Neuroimaging*, 2008. 18: 227–236.
- Welmer A.K., Widén Holmqvist L., Sommerfeld D.K.* Location and severity of spasticity in the first 1–2 weeks and at 3 and 18 months after stroke. *Eur. J. Neurol.* 2010; 17, 720–725.
- Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D. J., Pfurtscheller G. and Vaughan T.M.* “Brain-computer interfaces for communication and control,” *Clinical Neurophysiology*, 2002. 113(6): 767–791.
- Van Dokkum L.E.H., Ward T., Laffont I.* Brain computer interfaces for neurorehabilitation—its current status as a rehabilitation strategy post-stroke. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2015. V. 58(1); P. 3–8.
- Hunter J.V.* Magnetic resonance imaging in pediatric stroke. *Top. Magn. Reson. Imaging*. 2002. 13, 23–38.
- Young B.M., Williams J., Prabhakaran V.* BCI-FES: could a new rehabilitation device hold fresh promise for stroke patients. *Expert. Rev. Med. Devices* 2014. 11(6): 537–539.

USING THE SIMULATOR WITH MULTI-CHANNEL BIOFEEDBACK “BCI-EXOSKELETON” IN A COMPREHENSIVE PROGRAM OF REHABILITATION OF PATIENTS AFTER STROKE

G.E. Ivanova¹, Y.V. Bushkova¹, A. Yu. Suvorov¹, L.V. Stahovskaya¹, I.Z. Dzhalaconiya², N.A. Varako³,
M.S. Kovyazina³, F.A. Bushkov⁴

Research Institute of cerebrovascular disease and stroke; Pirogov Russian National Medical University, Moscow, Russia

²Institute of Higher Nervous Activity Neurophysiology, RAS, Moscow, Russia

³Moscow state University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

⁴Rehabilitation Center for Persons with Disabilities “Overcoming”, Moscow, Russia

e-mail: julijabush777@gmail.com

The consequences of the transferred circulatory disturbances significantly reduce the quality of life of patients. One of the tasks of restoring the patient's every day and social activity is to restore the motor function of the upper limb, basic motor skills such as achieving the object, the necessary manipulation with the object, coordinated movements of both hands. Application in the recovery treatment of neurocomputer technologies brings rehabilitation to a new high-tech level and allows to effectively influence the degree of post-stroke violations. Purpose: to assess the effectiveness of the simulator BCI-exoskeleton brush with kinesthetic feedback in the complex rehabilitation of patients after a stroke, as well as to investigate the possible reasons for not using the upper extremity with preserved motor characteristics. The results obtained using the simulator BCI-exoskeleton brush with kinesthetic feedback in the complex rehabilitation of patients after a stroke allow us to speak about the positive dynamics of restoring the motor function of the hand, increasing the daily activity of patients. It is planned to further study the influence of the non-invasive neurocomputer interface on restoring cognitive functions of patients, as well as detailing the neuropsychological status in order to identify the possible leading link in restoring the motor function of the upper limb in the rehabilitation process using the above-described technology.

Keywords: stroke, brain-interface-computer, cognitive impairment, ideomotor training, neglect.