

УДК 616-025

DOI 10.17802/2306-1278-2023-12-4S-53-64

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРАПИИ ИНСУЛЬТА (ФМРТ – ЭЭГ-ИССЛЕДОВАНИЕ)

К.Г. Мажирина¹, Н.А. Хрущева¹, А.А. Савелов³, А.В. Шурунова², К.В. Калгин¹, М.Б. Штарк¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины», ул. Тимакова, 2, Новосибирск, Российская Федерация, 630060; ² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ул. Пирогова, 2, Новосибирск, Российская Федерация, 630090; ³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Институтская, 3А, Новосибирск, Российская Федерация, 630090

Основные положения

- Интерактивная терапия (стимуляция) мозга обладает значительным потенциалом, в частности в случае включения не только медицинских, но и нейрофизиологических и психологических модальностей. Только при комплексном подходе возможны наиболее полная реадaptация к измененным условиям существования и снижение процента инвалидизации постинсультных больных.

Цель

Статья посвящена психологическому сопровождению нейрореабилитации пациентов с острыми нарушениями мозгового кровообращения. Интерактивная терапия (стимуляция) мозга – новое поколение нейробиоуправления, характеризующееся радикальной сменой мишеней когнитивного (приспособительного, волевого) влияния. Ими становятся конкретные церебральные структуры и нейросети, реконструкция которых приводит к восстановлению физиологических функций и поведенческим (психологическим) метаморфозам.

Материалы и методы

В исследование приняли участие 18 пациентов с диагнозом «ишемический инсульт с гемипарезом не более 2 баллов в кисти» (ранний восстановительный период). Все больные получали восстановительное лечение в клинике Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины. Программа реабилитации пациентов из основной группы (n = 11) дополнена курсом интерактивной стимуляции мозга в МР-томографе. Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) в контуре биоуправления использует в качестве обратной связи естественный внутрисосудистый трассер-зависящий от уровня оксигенации крови сигнал (blood oxygenation level dependent, BOLD). Таким образом, субъект включается в контур «интерактивного мозга», обучаясь модулировать и модифицировать свои церебральные сети, создавая новые или «пробуждая» предсуществующие с целью усовершенствовать (или реформировать) свои ментальные, сенсорные и/или двигательные функции. Испытуемый, погруженный на довольно продолжительное время в томограф с целью обучения новым репаративным навыкам, остро нуждается в постоянной (устойчивой) психологической поддержке на всех этапах нейрореабилитационной программы.

Результаты

Курс интерактивной терапии способствовал кардинальному улучшению моторных функций, уверенности в движениях, увеличению работоспособности. Также установлено, что результатом перенесенного инсульта является глубокая трансформация внутриличностных отношений больных. Потенциал реабилитационных мероприятий значительно увеличивается в случае включения не только медицинских, но и нейрофизиологических и психологических модальностей. Динамика обучения в терминах фМРТ-картирования должна быть успешно синхронизирована с кинетикой психологических метрик и шкал успеха, влияние которых, как правило, остается за рамками клинических исследований.

Заключение

Работа выполнена в русле поиска самореферентного психологического сопровождения, оптимизирующего восстановительный процесс, изучения временного и пространственного соответствия интерактивной динамики фМРТ и конкретной клинической симптоматики.

Ключевые слова

Интерактивная стимуляция (терапия) мозга • Нейрореабилитация • Нейро-биоуправление • Инсульт • Психодиагностика • Когнитивно-поведенческий подход

Поступила в редакцию: 10.08.2023; поступила после доработки: 25.09.2023; принята к печати: 15.10.2023

TOWARDS PSYCHOLOGICAL SUPPORT IN INTERACTIVE STROKE REHABILITATION THERAPY (EEG-FMRI STUDY)

K.G. Mazhirina¹, N.A. Khrushcheva¹, A.A. Savelov³, A.V. Shurunova², K.V. Kalgin¹, M.B. Stark¹

¹ Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center of Fundamental and Translation Medicine”, 2, Timakova St, Novosibirsk, Russian Federation, 630060; ² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk State University”, 2, Pirogova St, Novosibirsk, Russian Federation, 630090; ³ Federal State Budgetary Institution of Science “International Tomography Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3A, Institutskaya St, Novosibirsk, Russian Federation, 630090

Highlights

- Interactive therapy (stimulation) of the brain has a significant potential, especially if it includes not only medical, but neurophysiological and psychological modalities. An integrated approach is required to provide complete readaptation to new life conditions and to decrease the percentage of disabilities in post-stroke patients.

Aim

The article is devoted to the psychological support in neurorehabilitation of patients with acute disorders of cerebral circulation. Interactive therapy (stimulation) of the brain is a new generation of neurofeedback characterized by a radical change in the “targets” of cognitive (adaptive, volitional) influence. These targets are specific cerebral structures and neural networks, the reconstruction of which leads to the restoration of physiological functions and behavioral (psychological) metamorphoses.

Methods

The study involved 18 patients diagnosed with ischemic stroke with hemiparesis of 2 points in the hand (early recovery period). All patients received rehabilitation treatment at the clinic of the Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine. The rehabilitation program for patients from the main group (n = 11) was supplemented with a course of interactive brain stimulation in an MRI scanner. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) in the biofeedback contour uses a natural intravascular tracer, a blood oxygen level dependent (BOLD) signal, as feedback. Thus, the subject included into an “interactive brain” circuit is learning to modulate and modify his cerebral networks creating the new ones, or “awakening” pre-existing ones in order to improve (or reform) his mental, sensory and/or motor functions. The subject being placed in a tomograph for a long time to learn new reparative skills is in a significant need of constant (sustainable) psychological support at all stages of the neurorehabilitation.

Results

A course of interactive therapy contributed to a radical improvement in motor functions, confidence in movements, and an increase in working capacity. The analysis of fMRI data over time showed that activation of the accessory motor cortex and cerebellum on the ipsilateral side at the beginning is replaced by bilateral expansion of activity zones in the cerebellum and premotor cortex by the end of the course of interactive therapy. It also was established that the result of a stroke is a deep transformation of the intrapersonal relationships of patients. At the same time, rehabilitation has significant potential, especially if it includes not only medical, but also neurophysiological and psychological modalities. The dynamics of learning in terms of fMRI mapping should be successfully synchronized with the kinetics of psychological metrics and success scales, the influence of which, as a rule, remains beyond the scope of clinical studies.

Conclusion

Conclusion. This study was carried out in line with the search for a self-referential psychological accompaniment that optimizes the recovery, the study of temporal and spatial correspondence between the interactive dynamics of fMRI and specific clinical symptoms.

Keywords

Interactive stimulation (therapy) of the brain • Neurorehabilitation • Neurofeedback • Stroke • Psychodiagnostics • Cognitive-behavioral approach

Received: 10.08.2023; received in revised form: 25.09.2023; accepted: 15.10.2023

Список сокращений

фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография ЭЭГ – электроэнцефалография

Введение

Актуальность работы определяется широкой распространенностью цереброваскулярной патологии, а также ростом числа инвалидизирующих последствий инсульта в России и мире. Цереброваскулярная патология приводит к изменению физического, социального и психологического состояния пациента, снижению качества жизни, неблагоприятному реабилитационному прогнозу [1, 2]. Примерно 40% инсультов влекут нарушения высших психических функций (в том числе речи), которые, как правило, сочетаются с дезорганизацией движений, что в большинстве случаев приводит к инвалидизации [3–5]. Расстройства в эмоционально-волевой сфере у таких пациентов выражаются в обостренной возбудимости, тревоге, раздражительности, вспыльчивости, бессоннице. В личностном плане значительно меняются самооценка, характер и стратегии поведения, психологические установки, отношения с окружающими – снижается интенсивность социальных контактов. Неопределенность и неясность будущего являются одной из ключевых характеристик переживаний человека, узнавшего о постигшем его недуге. Присоединяется общий для всех постинсультных пациентов симптом – психической астенизации, выражающейся в повышенной утомляемости, истощаемости, дневной сонливости, ослаблении внимания и памяти. Иногда развиваются подавленность, безразличие, реакции страха повторения приступа. Все вышеперечисленное выступает в роли самостоятельных психогенных факторов. Таким образом, медико-психологический аспект проблемы сопровождения цереброваскулярных заболеваний состоит в том, что последствия перенесенного инсульта существенно меняют внутриличностные отношения больных, необходима реадaptация к измененным условиям существования, сопровождающимся ограничением физиологических функций.

Наиболее отчетливая положительная динамика когнитивных и эмоционально-волевых функций, как и восстановление нарушенных функций мозга, наблюдаются в первые 3–6 мес., что следует учитывать при разработке стратегий реабилитации для

повышения скорости выздоровления и качества жизни выживших после инсульта [5, 6]. Согласно современным исследованиям, реконструкция и компенсация функций поврежденных структур центральной нервной системы после инсульта служат результатом процесса нейрональной пластичности, связанного с реорганизацией функциональных нейронных сетей головного мозга [3, 7]. Проектирование и конструирование нейронных сетей являются трендом современных нейронаук и формулируют ряд требований к технологиям, способным развивать их совершенно новые парадигмы. Главными инструментами исследовательского анализа выступает триада, появившаяся в экспериментальной практике сравнительно недавно [8, 9]: адаптивная обратная связь (biofeedback technology), в контур которой встроено синергичное, управляемое волевым (когнитивным) способом сцепление функциональной магнитно-резонансной томографии и электроэнцефалограммы (фМРТ – ЭЭГ) в режиме онлайн. Стимуляция активности и пластичности моторных областей коры мозга сегодня рассматривается в качестве важной составляющей нейрореабилитации пациентов, перенесших инсульт. Такую возможность предоставляет в частности интерактивная терапия (стимуляция) мозга (тренинг саморегуляции церебральных структур на основе нейробиоуправления) – неинвазивная технология, адресованная к собственным ресурсам участника. Суть ее состоит в том, что определенный вид активности мозга оценивается в численных показателях, которые демонстрируются пациенту в реальном времени в виде живых картинок или простых фигур, называемых метафорами. Каждый реципиент, помещенный в томограф, использует различные ментальные стратегии, концентрируя внимание, вызывая у себя воспоминания различного регистра и воображаемые образы, подавляя при этом либо, наоборот, стимулируя эмоции самого разнообразного свойства, чтобы изменить значения сигнала в нужном направлении. Именно в режиме интерактивной терапии пациент прикладывает усилия к изменению работы мозга и получает обратную связь, сигнализирующую об успешности своих попыток.

Было показано, что нейробиоуправление посредством фМРТ может быть эффективно для снижения моторного и когнитивного дефицита у пациентов с инсультом [10–12]. Тем не менее ограниченное количество клинических исследований не позволяет сделать уверенные выводы об эффективности этой технологии.

Необходимо отметить, что клинико-психологический эффект интерактивной терапии мозга заключается в принципиальном изменении взаимоотношений пациента и врача. Участник получает возможность видеть активность собственных церебральных структур на мониторе, находясь в томографе, волевым усилием управляет их состоянием и естественным образом становится активным субъектом восстановительного процесса, соучастником своей реституции. Это чувство усиленного контроля дает возможность получить дополнительные точки опоры внутри себя, повысить мотивацию к процессу реабилитации, смещая локус каузальности в сторону самодетерминации и повышая собственную компетентность и настойчивость в формировании навыков волевого управления физиологическими функциями и реабилитационным процессом. Однако исследования, включающие психологические аспекты нейробиоуправления, единичны. В имеющейся литературе можно выделить несколько основных категорий психологических феноменов, коррелирующих с результатами обучения, организованного с помощью указанных технологий. Первое – это переменные внимания, имеющие, несомненно, важное значение в процессе обучения саморегуляции; второе – мотивационные факторы и фон настроения, являющиеся умеренными предикторами успеха; и, наконец, третье – личностные факторы, демонстрирующие смешанные результаты [13]. Основываясь на этих данных можно отметить, что для оценки эффекта тренинга необходима систематическая психодиагностическая работа. Такой подход позволит определить четкие пороги оценки эффекта интерактивной терапии. Кроме того, необходимы качественные данные, чтобы понять, как психологические переменные влияют на участников на протяжении всего обучения. Это поможет разобраться в тонкостях психологических эффектов с течением времени, а также разработать меры вмешательства в интересах лиц, не отвечающих на лечение, тем самым повышая эффективность терапии.

Цель предлагаемого исследования состоит в анализе клинико-психологической и нейрофизиологической динамики при восстановительной терапии методом фМРТ – ЭЭГ и поиске психологических переменных, связанных с результатами обучения посредством технологии интерактивной терапии (стимуляции) мозга.

Материалы и методы

В ходе настоящего исследования пациенты, перенесшие инсульт, практиковались модулировать активность собственного мозга в реальном времени средствами фМРТ – ЭЭГ-картирования в контуре адаптивной обратной связи и выбирать наиболее эффективные когнитивные стратегии, которые помогали им поддерживать паттерны активации мозга, связанные с восстановлением движений. В текущем протоколе реабилитации инсульта мишенью биоуправления выбраны дополнительная моторная область и проекция руки в премоторной коре на стороне поражения.

В исследование включено 18 пациентов-правшей среднего возраста $57,8 \pm 8,7$ года (14 мужчин), с гемипарезом не более 2 баллов в кисти вследствие ишемического инсульта давностью не менее 3 нед. и не более 6 мес. (ранний восстановительный период) с оценкой когнитивного статуса по Монреальской шкале (MoCA) не ниже 26 баллов. Все пациенты получали восстановительное лечение в клинике Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины. Программа реабилитации пациентов из основной группы ($n = 11$) дополнена курсом интерактивной стимуляции мозга в МР-томографе. Специфичность эффекта тренинга оценивалась путем установления связей между изменениями целевого нейрофизиологического показателя и клинико-психологических параметров. Исследование одобрено комиссией внутреннего экспертного контроля ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины».

фМРТ-исследования реализованы в Международном томографическом центре СО РАН на 3Т МР-томографе Philips Ingenia (Philips, Нидерланды). Референсное анатомическое изображение получено методом T1 TFE с размером воксела $1 \times 1 \times 1$ мм³. Основные T2* взвешенные изображения получены методом EPI FFE, TR/TE = 2 500/35 мс, размер воксела $2,5 \times 2,5 \times 5$ мм³. Сессии фМРТ-нейробиоуправления сопровождалась параллельной записью ЭЭГ с помощью 128-канального энцефалографа Brain Products BrainAmp (Brain Products GmbH, Германия). Использовано программное обеспечение OpenNFT (<http://opennft.org>) для точной локализации региона интереса во вторичной моторной коре (преимущественно в сером веществе, поскольку гемодинамический ответ в белом веществе остается спорным вопросом) пораженного инсультом полушария, сохранения его координат от сессии к сессии, извлечения усредненного уровня сигнала из региона интереса с поправкой на глобальные тренды и движения головы и предъявления визуальной обратной связи на основе этих данных. Обратная связь предъявляется в виде результирующей шкалы прироста BOLD-сигнала и

подавления активности μ -диапазона (8–13 Гц) и β -диапазона (18–26 Гц) зон интереса.

Суммарно сессия интерактивной терапии мозга занимала порядка 35 мин. В начале первой сессии выявлялся регион интереса, далее – собственно нейробиоуправление: 16 циклов «работа – отдых», «работа – воображение движения с опорой на визуальную обратную связь» (рис. 1). В конце – трансферная сессия для проверки генерализации навыка.

Предварительная офлайн-обработка результатов и получение фМРТ-изображений реализованы с помощью программного комплекса Matlab и SPM12 (<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/>). В него входит согласование взаимного расположения кадров (устранение артефактов, связанных с движением), нормализация изображений к MNI-пространству («стандартный мозг»), сглаживание функцией Гаусса с изотропным ядром. Индивидуальные данные проанализированы методом общей линейной модели с использованием одностороннего t-критерия. На основе индивидуальных карт активации сконструированы групповые карты в предположении модели случайных эффектов ($p < 0,05$ с FDR- или FWE-поправкой) (аналогично другим нашим работам) [14].

Клиническое исследование проведено в начале и конце тренинга. Сила мышц оценена по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council (MRC), где 0 баллов – нет дви-

жений, 5 баллов – нормальная сила), а также с помощью кистевого динамометра (для мужчин норма более 45 кг, для женщин – более 31 кг). Также применены шкала Фугл-Майера для моторики руки (FM-UE) [15], тест Вох-n-Blocks, шкала инвалидизации Рэнкина и краткий опросник кинестетического и зрительного воображения (KVIQ-10) [16].

Математическая обработка клинических дан-

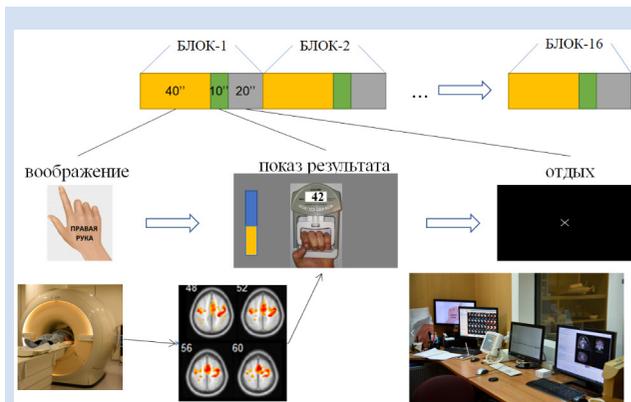


Рисунок 1. Дизайн эксперимента. Одна сессия с обратной связью состояла из 16 блоков. Каждый блок включал 40 секунд воображения, 10 секунд демонстрации обратной связи и 20 секунд отдыха. Правый нижний угол – рабочее место оператора: мониторинг сигнала обратной связи (рука), динамики BOLD-сигнала, ЭКГ, дыхания, мощности ритмов ЭЭГ

Figure 1. Study design. One session with feedback consisted of 16 blocks. Each block included 40 seconds of imagining, 10 seconds of feedback, and 20 seconds of resting. Right lower row - operator's workplace: monitoring the feedback signal (hand), dynamics of BOLD signal, ECG, respiration, EEG rhythms power

Таблица 1. Динамика клинических данных больных основной группы ($n = 11$) к концу курса

Table 1. Changes in clinical data of patients of the main group ($n = 11$) by the end of the course

Параметр / Indicator	Тест 1 / Test 1	Тест 2 / Test 2	p^1
Шкала Рэнкина / Rankin scale, баллы / points	3 [3; 3]	2 [2; 2]	0,017
Шкала NIHSS / NIHSS, баллы / points	4 [3,0; 5,0]	3,0 [1,0; 3,0]	0,005
FM-UE, баллы / points*	47,5 [41,0; 53,5]	52,5 [45,3; 60,5]	0,005
CES-D, баллы / points	9,0 [5,8; 13,0]	5,0 [4,0; 7,5]	0,016
MRC _{прокс} , баллы / points *	4,0 [3,0; 4,0]	4,0 [4,0; 4,8]	0,028
MRC _{дист} , баллы / points *	3,0 [3,0; 3,0]	4,0 [3,3; 4,0]	0,011
Динамометрия / КА / Dynamometry, кг/kg *	21,0 [14,4; 23,9]	27,6 [21,5; 28,8]	0,007
КА _{дин} / КА _{дин}	1,8 [1,5; 2,4]	1,5 [1,1; 1,8]	0,044
BBT, шт/мин* / Вох-n-Blocks, pieces/minute*	37,5 [21,3; 46,3]	49,5 [42,5; 55,5]	0,005
КА _{ввт} / КА _{ввт}	1,4 [1,1; 1,8]	1,4 [1,3; 1,5]	0,386
KVIQ vis, баллы / points	9,5 [8,0; 18,8]	20,0 [15,5; 22,8]	0,008
KVIQ kin, баллы / points	9,0 [5,0; 13,8]	20,0 [14,5; 25,0]	0,008

Примечание: для численных значений приведена медиана, в квадратных скобках указаны 25-й и 75-й перцентили; * значения для слабой руки; 1 – по W-критерию Уилкоксона; КА_{ввт} – коэффициент асимметрии BBT; КА_{дин} – коэффициент асимметрии динамометрии; BBT – тест Вох-n-Blocks; CES-D – шкала Центра эпидемиологических исследований депрессии; FM-UE – шкала Фугл-Майера для руки; KVIQ – опросник кинестетического (kin) и зрительного (vis) воображения; MRC_{дист} – сила в кисти по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council); MRC_{прокс} – сила дельтовидной мышцы по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council); NIHSS – шкала тяжести инсульта Национального института здоровья.

Note: * – for numerical values the median is given, the 25th and 75th percentiles are indicated in square brackets; * – values for a weak hand; 1 – according to the Wilcoxon W-test; CES-D - Center for epidemiologic Studies Depression Scale; FM-UE - Fugle-Meyer hand scale; КА_{дин} – coefficient of asymmetry of dynamometry; КА_{ввт} – asymmetry coefficient in Box-n-Blocks test; KVIQ - kinesthetic (kin) and visual (vis) imagination questionnaire; MRC_{prox} – deltoid muscle strength according to the Scale of the Medical Research Council (Medical Research Council); MRC_{dist} – strength in the hand according to the Scale of the Medical Research Council (Medical Research Council); NIHSS - National Institutes of Health Stroke Severity Scale; BBT – “Box-n-Blocks” test.

ных проведена в программах Microsoft Excel (Microsoft, США) и Statistica 12.0 (StatSoft, Inc., США) с применением методов описательной статистики. Для характеристики групп вычислены медиана (Me), 25-й и 75-й перцентили, средние величины (M), стандартное отклонение (σ) и средняя ошибка M (mm); сравнение групп осуществлено с помощью U-критерия Манна – Уитни или критерия χ^2 (хи-квадрат) Пирсона. Для оценки динамики признаков внутри группы применен W-критерий Уилкоксона. Различия между группами признавали значимыми при $p < 0,05$.

Психометрические методы включали оценку текущего психоэмоционального статуса, степени развития осознанной саморегуляции и ее индивидуальных профилей, стратегий когнитивной регуляции эмоций, толерантность к неопределенности и жизнестойкости: Методика оценки толерантности к неопределенности (MAT-50), Опросник когнитивной регуляции эмоций (CERQ), Тест жизнестойкости (HS), Методика ССПМ В.И. Моросановой.

Результаты

Курс сессий фМРТ – ЭЭГ-нейробиоуправления способствовал значительному увеличению подвижности парализованных конечностей у части пациентов, улучшению чувства равновесия и координации движений без зрительного контроля; кардинальное улучшение моторных функций привело к уверенности в движениях, увеличило их работоспособность (табл. 1).

К концу реабилитационного курса в основной группе достигнуто улучшение по всем оцениваемым клиническим параметрам кроме коэффициента асимметрии по данным теста Вох-п-Blocks (табл. 2).

Изменения моторной сети в процессе интерактивной стимуляции мозга и динамики лечения продемонстрируем с помощью следующего клинического примера.

Пациент, 54 года, с неравномерным (0–1 балл в плече и предплечье; 2 балла в кисти; 4 балла в ноге) левосторонним гемипарезом вследствие ишемического инсульта в правой гемисфере мозга

Таблица 2. Динамика клинических и психологических показателей в курсе интерактивной терапии мозга
Table 2. Changes in clinical and psychological characteristics in the course of interactive brain therapy

Показатель / Indicator	До/После / Before/After	
Шкала Рэнкина, баллы / Rankin scale, points	3	1
MRC – левое плечо/предплечье, баллы / left shoulder/forearm, points	0	2
MRC – левая кисть, баллы / left hand, points	2	4 (+100%)
FM-UE, левая рука, баллы / left hand, points	14	35 (+150%)
CES-D, баллы / points	10	4 (–60%)
KVIQ-10 – зрительное, баллы / visual, points	5	15
KVIQ-10 – кинестетическое, баллы / kinesthetic, points	5	15
Вох-and-Block (левая рука), шт. в мин / (left hand), pieces per min	13	30 (+130%)
Динамометрия (левая кисть), кг / Dynamometry (left hand), kg	24,2	25,6
Толерантность к неопределенности, баллы / Uncertainty Tolerance (MAT-50), points	248	260
Когнитивная регуляция эмоций (ведущие стратегии) / Cognitive regulation of emotions (leading strategies)	«руминация» / “rumination”	«принятие», «перспектива» / “acceptance”, “perspective”
Жизнестойкость (HS), шкала «Вовлеченность», баллы / Hardiness (HS) scale “Involvement”, points	15	23
Жизнестойкость (HS), шкала «Контроль», баллы / Hardiness (HS) scale “Control”, points	8	11
Жизнестойкость (HS), шкала «Принятие риска», баллы / Hardiness (HS) scale “Risk Acceptance”, points	8	9
ССПМ В.И. Моросановой, шкала «Планирование», баллы / Questionnaire “Style of self-regulation of behavior” scale “Planning”, points	3	3
ССПМ В.И. Моросановой, шкала «Моделирование», баллы / Questionnaire “Style of self-regulation of behavior” scale “Modeling”, points	3	3
ССПМ В.И. Моросановой, шкала «Гибкость», баллы / Questionnaire “Style of self-regulation of behavior” scale “Flexibility”, points	4	4

Примечание: ССПМ – шкала «Стиль саморегуляции поведения» (0–9 баллов); CES-D – шкала для выявления депрессии и определения степени ее выраженности; FM-UE – шкала Фул-Майера для руки (норма 66 баллов); KVIQ-10 – краткий опросник кинестетического/зрительного воображения (от 0 до 25 баллов); MRC – шкала оценки силы мышц Комитета медицинских исследований (0 баллов – плегия, 5 баллов – норма).

Note: CES-D – Center for Epidemiologic Studies Depression Scale – a scale for detecting depression and determining the degree of its severity; FM-UE – Fugle-Meyer Assessment of hand function (norm 66 points); KVIQ-10 – short kinesthetic/visual imagination questionnaire (0 to 25 points); MRC – Medical Research Council muscle strength rating scale (0 points – plegia, 5 points – normal); SSPM – scale “Style of self-regulation of behavior” (0–9 points).

давностью 5 нед. (FM-UE для левой руки 14 баллов при норме 66). Анализ данных фМРТ в начале тренинга показал, что при реальном движении слабой рукой у пациента активируются дополнительная моторная кора и мозжечок на ипсилатеральной стороне. К концу курса интерактивной терапии зона активации в мозжечке расширилась, кроме того, появилась активность премоторной коры билатерально (рис. 2).

При раздельном анализе регионов интереса во всех сессиях отмечена значительная активация правой премоторной (+1,29%), дополнительной (+1,3%) и первичной моторной (+1,3%) коры при моторном воображении в сравнении с другими условиями. В основном воображение движения также активировало, хотя и слабее, контралатеральные области: премоторную кору (+0,66%), дополнительную моторную область (+0,73%), первичную моторную кору (+0,47%), а также VI зону мозжечка слева (+0,86%) и справа (+0,49%). Эти результаты вполне ожидаемы: по сути полученный паттерн воспроизводит моторную систему, что валидизирует «тренинг» как способ ее активации.

К концу курса наблюдалось клиническое улучшение в виде увеличения силы и ловкости руки, уменьшения степени инвалидизации и психологических нарушений (табл. 2).

Моторный статус пациента описывается линейно-положительной динамикой, которая включает в себя снижение степени инвалидизации по шкале Рэнкина от 3 до 1 балла в конце цикла работы за счет увеличения силы и объема движения в паретичной руке (MRC проксимально от 0 до 2 баллов, дистально от 2 до 4 баллов). Моторный прогресс, также фиксируемый шкалами FM-UE, Вох-n-Blocks и динамометрией, отражается в улучшении координирования, темпа, амплитуды и ловкости движений паретичной руки. Ориентируясь на результат опроса, также следует учитывать локализацию сформированного очага в области правой

лобной доли, который может быть сопряжен с отрицательным влиянием на когнитивные способности пациента в реабилитационный период в связи с возможной утратой контроля за произвольными действиями, организацией планирования действий и иными нарушениями, свойственными для данной области, что согласуется со снижением баллов по шкалам «Планирование», «Моделирование», «Гибкость» теста ССПМ В.И. Моросановой.

Кроме того, следует отметить положительную тенденцию по опроснику кинестетического и зрительного воображения KVIQ-10 (от 5 до 15 баллов по двум шкалам), который используется в протоколе с целью формирования у пациента корректной и эффективной ментальной стратегии воображения движения путем ежедневных самостоятельных тренировок с субъективной оценкой по 5-балльной шкале. Предполагается, что этот вид тренировок даже вне томографа способствует фокусированию на зрительных и кинестетических ощущениях своего тела, концентрации внимания, следовательно, более осознанной работе в томографе, что и демонстрируется при проведении фМРТ усилением BOLD-сигнала в исследуемых целевых областях.

При оценке исходного психо-эмоционального статуса пациентов обращает на себя внимание тот факт, что двигательные расстройства, возникающие после инсульта, нередко сопровождаются депрессивными и невротическими реакциями на болезнь [1, 17], что в значительной мере затрудняет формирование позитивной установки на лечение (средний балл по шкале CES-D находится в диапазоне 20–23, что соответствует легкой и средней депрессии). Однако в ходе интерактивной терапии мозга происходит переход от пассивной интроспекции и сосредоточенности пациентов на собственном состоянии к активному поиску психологических возможностей реадaptации к болезни. После курса нейрореабилитации у представленного пациента выявлена положительная динамика показате-

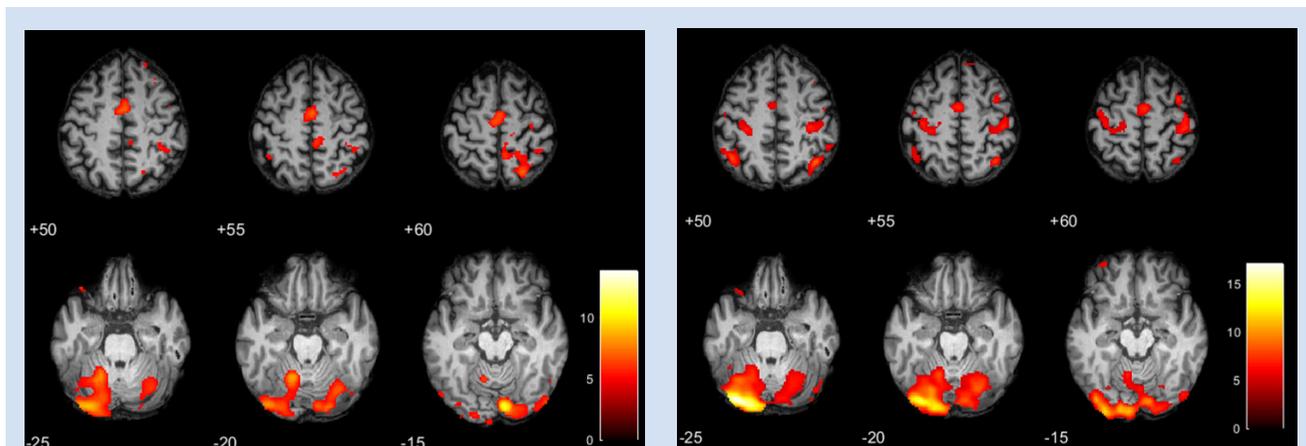


Рисунок 2. Динамика зон активации мозга в курсе интерактивной терапии (стимуляции): слева – движение левой рукой, тест 1; справа – движение левой рукой, окончание курса

Figure 2. Changes in brain activation zones in the course of interactive therapy (stimulation): on the left – movement of the left hand, test 1, on the right – movement of the left hand, the end of the course

ля (от 10 баллов на старте к 4 баллам после сессий) в пределах нормы, соответствующая шкале от 0 до 17 баллов.

При оценке психологического статуса у пациента выявлен интернальный уровень субъективного контроля, что свидетельствует о предрасположенности и готовности больного ответственно относиться к экспериментальным сессиям и быть активным участником реабилитационного процесса. Вопрос нахождения личностных ресурсов преодоления субъектом стрессовой и критической ситуации болезни и ее последствий тесно связан с конструктом совладающего поведения и стратегиями когнитивной регуляции эмоций.

В рамках изучения факторов, способствующих успешному совладанию со стрессорами и снижению психоэмоционального напряжения, интересны результаты, полученные для теста «Жизнестойкости» С. Мадди (Hardiness Survey, адаптация Д.А. Леонтьева, Е.И. Рассказовой) [17]. Результаты методики позволяют оценить способность и готовность человека активно и гибко действовать в ситуации стресса и трудностей или его уязвимость к переживаниям стресса и депрессивный настрой. Важно, что жизнестойкость влияет не только на оценку ситуации, но и активность человека в преодолении этой ситуации (выбор копинг-стратегий). Шкала «Вовлеченность» определяется как «убежденность в том, что погруженность в происходящее дает максимальный шанс найти нечто стоящее и интересное для личности». Человек с развитым компонентом вовлеченности замотивирован на текущую деятельность. В противоположность этому отсутствие подобной убежденности порождает чувство отвергнутости, ощущение себя «вне» жизни [17, 18]. На начальном этапе болезни баллы по шкале снижены (средний балл 15), однако по окончании курса терапии повышаются до средней границы (23 балла), что указывает на изменение атрибуции в сторону самоэффективности и повышение мотивации к восстановительным мероприятиям. Вовлеченность также предсказывает общее благополучие (удовлетворенность жизнью в целом, осмысленность жизни), поэтому, с одной стороны, снижение баллов объяснимо, с другой – отражает позитивную тенденцию показателя. Вторая шкала данной методики «Контроль» определяет самонаправленность поведения и убежденность в том, что прилагаемые усилия позволяют повлиять на результат текущей ситуации. Противоположность этому – ощущение собственной беспомощности. Человек с сильно развитым компонентом контроля ощущает, что сам выбирает и несет ответственность за собственную деятельность [17]. При анализе результатов по данной шкале наблюдаются схожие, однако менее выраженные тенденции: 8 баллов на первом тестировании сменяются 11 баллами к концу курса ин-

рактивной терапии, не добирая 1 балла до нижней границы нормативного показателя (12 баллов). Не найдено значимых изменений показателя «принятие риска». Объяснение этого результата, на наш взгляд, кроется в самой сути шкалы, которая трактуется как убежденность человека в том, что все то, что с ним случается, способствует его развитию за счет знаний, извлекаемых из опыта – неважно, позитивного или негативного [17–20]. В данном случае пациент зависит от ситуативных переживаний, ему приходится преодолевать постоянную базовую тревогу, актуализирующуюся в ситуации неопределенности и болезни.

Уровень толерантности к неопределенности выступает залогом адекватного эмоционального восприятия действительности. Снижение этого показателя является одной из причин ухудшения аккомодации к быстро меняющимся условиям и нарушения нервно-психического равновесия. Динамика показателей шкалы МАТ-50 отражается в диапазоне низких и средних значений (средний балл 254), что выражается в неуверенности, ригидности, сложности адаптации к новым условиям или задачам. Кроме того, толерантность к неопределенности связана с различным отношением людей к своему физическому недугу [20, 21]. Болезнь субъективно воспринимается по-разному. Снижение показателя приводит к навязчивым мыслям о болезни, повышению тревожности и невротоподобным состояниям.

Основные стратегии когнитивной регуляции эмоций пациента в курсе интерактивной терапии переходят от руминации к принятию того, что случилось и рассмотрению в перспективе. Руминация – это когнитивно-эмоциональный процесс, который связан с тенденцией снова и снова обдумывать негативный опыт или вспоминать прошлые события, вызывающие негативные эмоции [18]. Однако в курсе тренинга пациент активизирует более эффективные стратегии эмоциональной саморегуляции, например переоценку (способность посмотреть на событие снова, но уже с другой точки зрения) и рассмотрение в перспективе (снижение исключительной значимости события за счет его сравнения с другими ситуациями – «я думаю, все могло быть гораздо хуже»).

Обсуждение

Необходимо отметить, что помимо самого факта заболевания с психологической точки зрения отдельного пристального внимания заслуживает ситуация тренинга, предполагающая длительное пребывание пациента в кольцевом магните томографа. Так, у субъекта возникают специфические психические состояния и особенности поведения, носящие естественный, а не лабораторный характер. Как известно, именно в ситуациях подобного типа

происходит наиболее яркая и отчетливая манифестация присущих субъекту психических свойств, в том числе на неосознаваемом уровне.

Среди личностных свойств, которые могут выступать как предикторы эффективности проводимых мероприятий, следует, на наш взгляд, выделить толерантность к неопределенности. Участвуя в качестве исследуемого лица в «трубе», человек попадает в ситуацию неопределенности: он, как правило, не знает методологию проведения исследования, принципы работы томографа как технического средства, не знает, удастся ли ему достичь своей задачи – успешно пройти тренинг, не имеет четкой стратегии достижения результата. Его состояние и поведение во многом будут зависеть от его возможностей справиться с неопределенностью ситуации, т. е. от его толерантности к неопределенности. Напомним, что это интегральная личностная характеристика, означающая стремление к изменениям, новизне и оригинальности, готовность идти непроторенными путями и предпочитать более сложные задачи, иметь возможность самостоятельности и выхода за рамки принятых ограничений [20, 21]. Наше предположение о значимости этого показателя для эффективных проколов при интерактивной терапии (стимуляции) мозга еще предстоит доказать путем расширения выборки, однако уже сейчас можно отметить тенденцию повышения уровня толерантности к неопределенности.

Результаты работы подтверждают тезис о том, что поиск личностных ресурсов для преодоления пациентом ситуации болезни и ее последствий тесно связан с конструктом совладающего поведения и стратегиями когнитивной регуляции эмоций. До курса нейробиоуправления, на начальном этапе заболевания, у большинства пациентов преобладают дисфункциональные стратегии совладания, связанные с руминацией и самообвинением, однако в курсе тренинга они сменяются проблемно- и эмоционально-ориентированными копинг-стратегиями.

В эмоционально-волевой сфере достоверно различаются показатели депрессии и осознаваемой тревоги, мотивации на выздоровление, имеющие тенденцию повышения. Представленные данные актуализируют необходимость применения психодиагностических мероприятий. Наиболее перспективным представляется определение ресурсных и дефицитных психологических характеристик пациентов и сопоставление их с динамикой нейрофизиологических показателей.

Информация об авторах

Мажирина Ксения Геннадьевна, кандидат психологических наук старший научный сотрудник лаборатории компьютерных систем биоуправления научно-исследовательского института молекулярной биологии и биофизики федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр

Заключение

Несмотря на активное внедрение технологии интерактивной терапии мозга в практику восстановительной терапии инсульта разработка естественнонаучных принципов только начинается. Актуальным вопросом, связанным с оценкой эффективности таких технологий, является взаимосвязь индивидуально-психологических особенностей обследуемых с динамикой приобретения навыка саморегуляции в курсе интерактивной терапии (стимуляции) мозга. При этом работ, посвященных исследованиям в данной области, направленных на изучение эффективности обучения в зависимости от наличия тех или иных индивидуально-психологических особенностей, практически нет [3].

Установлено, что результатом инсульта является глубокая трансформация внутриличностных отношений больных. Около 40% пациентов обнаруживают изменение аккомодации и психоэмоционального состояния, повышение уровня тревожности [1–3]. Сопутствующая неврологическая симптоматика существенно влияет как на прогноз успешности интервенционных мероприятий, так и на качество жизни пациентов в целом. В то же время реабилитация обладает значительным потенциалом, особенно в случае включения не только медицинских, но и нейрофизиологических и психологических модальностей [1].

В целях повышения эффективности нейрореабилитационных мероприятий необходим учет не только физиологических функциональных резервов, но также и психологических ресурсных возможностей пациента, особенностей когнитивной и эмоционально-волевой сфер, благодаря которым возможны наиболее полная реадaptация в новой ситуации и снижение процента инвалидизации постинсультных больных.

Конфликт интересов

К.Г. Мажирина заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.А. Хрущева заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.А. Савелов заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Шурунова заявляет об отсутствии конфликта интересов. К.В. Калгин заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.Б. Штарк заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-015-00385.

Author Information Form

Mazhirina Ksenia G., PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Computer Systems of Bio-Management, Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center of Fundamental and Translation Medicine”, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1716-738X

фундаментальной и трансляционной медицины», Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1716-738X

Хрущева Надежда Алексеевна, кандидат медицинских наук старший научный сотрудник лаборатории клинической и экспериментальной неврологии, врач-невролог, заведующая неврологическим отделением клиники федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины», Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-4657-2947

Савелов Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник лаборатории «МРТ-технологии», руководитель группы магнитно-резонансной биофизики федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-5332-2607

Шурунова Анастасия Владимировна, врач-ординатор второго года обучения по направлению «неврология» центра постдипломного образования института медицины и психологии В. Зельмана федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0006-4866-6372

Калгин Константин Викторович, кандидат физико-математических наук ординатор второго года обучения по направлению «терапия» федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины», Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1873-4454

Штарк Марк Борисович, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ председатель Президиума федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины», Новосибирск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-2326-4709

Khrushcheva Nadezhda A., PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Clinical and Experimental Neurology, Neurologist, Head of the Neurological Clinical Department, Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center of Fundamental and Translation Medicine”, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-4657-2947

Savelov Andrey A., PhD, Senior Researcher at the Laboratory of “MRI Technology”, Head of MR Biophysics Group, Federal State Budgetary Institution of Science “International Tomography Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-5332-2607

Shurunova Anastasia V., Resident (specialty Neurology), Zelman Institute of Medicine and Psychology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0006-4866-6372

Kalgin Konstantin V., PhD, Resident (specialty General Practice), Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center of Fundamental and Translation Medicine”, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1873-4454

Shtark Mark B., Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Chairman of the Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center of Fundamental and Translation Medicine”, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-2326-4709

Вклад авторов в статью

MKS – вклад в дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

HNA – вклад в концепцию исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

SAA – вклад в дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ShAV – анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

KKV – анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ShMB – вклад в дизайн исследования, интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

MKS – contribution to the design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

HNA – contribution to the concept of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

SAA – contribution to the design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ShAV – data analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

KKV – data analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ShMB – contribution to the design of the study, data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назметдинова Д.Г., Обуховская В.Б. Особенности когнитивной и эмоционально-волевой сфер пациентов с постинсультными неврологическими нарушениями на разных этапах восстановительного лечения. *Психолог*. 2020; 1:9 - 15. doi: 10.25136/2409-8701.2020.1.31680
2. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*. 2021;20(10):795-820. doi: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0
3. Целиковский С.Б., Иванов Р.С. Толерантность к неопределённости как предиктор психофизиологического реагирования субъекта при исследовании на полиграфе // *Евразийский союз ученых*. 2015;16(7-6):62-66
4. Виленский Б.С., Тупицын Ю.С. Аффективно-эмоциональные нарушения, осложняющие инсульт. *Неврологический журнал*. 2003. 8(2): 23-26.
5. Гусев Е.И., Скворцова В.И., Стаховская Л.В. Проблема инсульта в Российской Федерации: время активных совместных действий. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2007. 107(8):4-10.
6. Wang T., Mantini D., Gillebert C.R. The potential of real-time fMRI neurofeedback for stroke rehabilitation: A systematic review. *Cortex*. 2018;107:148-165. doi: 10.1016/j.cortex.2017.09.006.
7. Hordacre B., Austin D., Brown K.E., Graetz L., Pareés I., De Trane S., Vallence A.M., Koblar S., Kleinig T., McDonnell M.N., Greenwood R., Ridding M.C., Rothwell J.C. Evidence for a Window of Enhanced Plasticity in the Human Motor Cortex Following Ischemic Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2021;35(4):307-320. doi: 10.1177/1545968321992330.
8. Bayona N.A., Bitensky J., Salter K., Teasell The role of task-specific training in rehabilitation therapies. *Top Stroke Rehabil*. 2005;12(3):58-65. doi: 10.1310/BQM5-6YGB-MVJ5-WVCR.
9. Khruscheva N.A. Mel'nikov, M.Y., Bezmaternykh D.D., Savelov A.A., Kalgin K.V., Petrovsky Y.D., Shtark M.B., Sokhadze, E. M. Interactive brain stimulation neurotherapy based on BOLD signal in stroke rehabilitation. *NeuroRegulation*. 2022; 9(3): 147-147. doi:10.15540/nr.9.3.147.
10. Liew S.-L., Rana M., Cornelsen S., Fortunato de Barros Filho M., Birbaumer N., Sitaram R., Cohen L.G., Soekadar S.R. Improving Motor Corticothalamic Communication After Stroke Using Real-Time fMRI Connectivity-Based Neurofeedback. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(7):671-5. doi: 10.1177/1545968315619699.
11. Mihara M., Hattori N., Hatakenaka M., Yagura H., Kawano T., Hino T., Miyai I. Near-infrared spectroscopy-mediated neurofeedback enhances efficacy of motor imagery-based training in poststroke victims: a pilot study. *Stroke*. 2013;44(4):1091-8. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.674507.
12. Sitaram R., Veit R., Stevens B., Caria A., Gerloff C., Birbaumer N., Hummel F. Acquired control of ventral premotor cortex activity by feedback training: an exploratory real-time fMRI and TMS study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2012;26(3):256-65. doi: 10.1177/1545968311418345..
13. Kadosh K. C., Staunton G. A systematic review of the psychological factors that influence neurofeedback learning outcomes. *Neuroimage*. 2019;185:545-555. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.10.021.
14. Мельников М.Е., Петровский Е.Д., Безматерных Д.Д., Козлова Л.И., Штарк М.Б., Савелов А.А., Шубина О.С., Натарова К.А. ФМРТ-ответ теменных областей мозга на предъявление грустных фотопортретов при легкой депрессии. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2018;165(6):698-702. . doi:10.1007/s10517-018-4040-y
15. Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Stegling S. The post-stroke hemiplegic patient. A method for evolution of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975;7:13-31
16. Malouin F., Richards C.L., Jackson P.L., Lafleur M.F., Durand A., Doyon J. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *J Neurol Phys Ther*. 2007;31(1):20-9. doi: 10.1097/01.npt.0000260567.24122.64.
17. Новикова Н.В. Личностные характеристики, способствующие конструктивному переживанию экстремальной ситуации. *Гуманитарный Вестник (Горловка)*. 2021;14:72-79.
18. Леонтьев Д.А., Рассказова Е.И. Тест жизнестойкости. Методическое руководство по новой методике психологической диагностики личности с широкой областью применения. М.: Смысл; 2006.
19. Sukhodolsky D.G., Golub A., Cromwell, E. N. Development and validation of the Anger Rumination Scale. *Personality and Individual Differences*. 2001;31(5):689-700. doi:10.1016/S0191-8869(00)00171-9.
20. Корнилова Т.В. Новый опросник толерантности к неопределённости // *Психологический журнал*. 2010; 31(1):74-86.
21. Злобина М. В., Первушина О. Н. Интолерантность к неопределённости и депрессия. *Reflexio*. 2017;10(2):126–141. doi:10.25205/2658-4506-2017-10-2-126-141

REFERENCES

1. Nazmetdinova D.G., Obukhovskaya V.B. Features of the cognitive and emotional-volitional spheres of patients with post-stroke neurological disorders at different stages of rehabilitation treatment. *Psychologist*. 2020;1: 9 - 15. doi: 10.25136/2409-8701.2020.1.31680 (In Russian)
2. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*. 2021;20(10):795-820. doi: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0
3. Tselikovskiy S.B., Ivanov R.S. Uncertainty tolerance as a predictor of the subject's psychophysiological response during polygraph examination. *Eurasian Union of Scientists*. 2015;16(7-6):62-66 (In Russian)
4. Vilensky B.S., Tupitsyn Yu.S. Affective-emotional disorders complicating stroke. *Neurological journal*. 2003; 8(2): 23-26. (In Russian)
5. Gusev E.I., Skvortsova V.I., Stakhovskaya L.V. The problem of stroke in the Russian Federation: the time of active joint actions. *Journal of Neurology and Psychiatry*. S.S. Korsakov. 2007; 107(8): 4-10. (In Russian)
6. Wang T., Mantini D., Gillebert C.R. The potential of real-time fMRI neurofeedback for stroke rehabilitation: A systematic review. *Cortex*. 2018;107:148-165. doi: 10.1016/j.cortex.2017.09.006.
7. Hordacre B., Austin D., Brown K.E., Graetz L., Pareés I., De Trane S., Vallence A.M., Koblar S., Kleinig T., McDonnell M.N., Greenwood R., Ridding M.C., Rothwell J.C. Evidence for a Window of Enhanced Plasticity in the Human Motor Cortex Following Ischemic Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2021;35(4):307-320. doi: 10.1177/1545968321992330.
8. Bayona N.A., Bitensky J., Salter K., Teasell The role of task-specific training in rehabilitation therapies. *Top Stroke Rehabil*. 2005;12(3):58-65. doi: 10.1310/BQM5-6YGB-MVJ5-WVCR.
9. Khruscheva N.A. Mel'nikov, M.Y., Bezmaternykh D.D., Savelov A.A., Kalgin K.V., Petrovsky Y.D., Shtark M.B., Sokhadze, E. M. Interactive brain stimulation neurotherapy

based on BOLD signal in stroke rehabilitation. *NeuroRegulation*. 2022; 9(3): 147-147. doi:10.15540/nr.9.3.147.

10. Liew S.-L., Rana M., Cornelsen S., Fortunato de Barros Filho M., Birbaumer N., Sitaram R., Cohen L.G., Soekadar S.R. Improving Motor Corticothalamic Communication After Stroke Using Real-Time fMRI Connectivity-Based Neurofeedback. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(7):671-5. doi: 10.1177/1545968315619699.

11. Mihara M., Hattori N., Hatakenaka M., Yagura H., Kawano T., Hino T., Miyai I. Near-infrared spectroscopy-mediated neurofeedback enhances efficacy of motor imagery-based training in poststroke victims: a pilot study. *Stroke*. 2013;44(4):1091-8. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.674507.

12. Sitaram R., Veit R., Stevens B., Caria A., Gerloff C., Birbaumer N., Hummel F. Acquired control of ventral premotor cortex activity by feedback training: an exploratory real-time fMRI and TMS study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2012;26(3):256-65. doi: 10.1177/1545968311418345.

13. Kadosh K. C., Staunton G. A systematic review of the psychological factors that influence neurofeedback learning outcomes. *Neuroimage*. 2019;185:545-555. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.10.021.

14. Melnikov M.E., Petrovsky E.D., Bezmaternykh D.D., Kozlova L.I., Shtark M.B., Savelov A.A., Shubina O.S., Natarova K.A. fMRI-response of the parietal areas of the brain to the presentation of sad photographs in mild depression. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2018;165(6):698-702. doi:10.1007/s10517-018-4040-y (In Russian)

15. Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. A method for evolution of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975;7:13-31

16. Malouin F., Richards C.L., Jackson P.L., Lafleur M.F., Durand A., Doyon J. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *J Neurol Phys Ther*. 2007;31(1):20-9. doi: 10.1097/01.npt.0000260567.24122.64.

17. Novikova N.V. Personal characteristics that contribute to the constructive experience of an extreme situation. *Humanitarian Bulletin (Gorlovka)*. 2021;14: 72-79 (In Russian)

18. Leontiev D.A., Rasskazova E.I. Vitality test. Methodological guide to a new method of psychological diagnosis of personality with a wide range of applications. Moscow: Meaning; 2006. (In Russian)

19. Sukhodolsky D.G., Golub A., Cromwell, E. N. Development and validation of the Anger Rumination Scale. *Personality and Individual Differences*. 2001;31(5):689-700. doi:10.1016/S0191-8869(00)00171-9.

20. Kornilova T.V. A new questionnaire of tolerance for uncertainty. *Psychological journal*. 2010; 31(1):74-86.

21. Zlobina M. V., Pervushina O. N. Uncertainty intolerance and depression. *Reflexio*. 2017; 10(2):126-141. doi:10.25205/2658-4506-2017-10-2-126-141 (In Russian)

Для цитирования: Мажирина К.Г., Хрущева Н.А., Савелов А.А., Шурунова А.В., Калгин К.В., Штark М.Б. Психологическое сопровождение интерактивной восстановительной терапии инсульта (фМРТ – ЭЭГ-исследование). *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2023;12(4S): 53-64. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4S-53-64

To cite: Mazhirina K.G., Khrushcheva N.A., Savelov A.A., Shurunova A.V., Kalgin K.V., Stark M.B. Towards psychological support in interactive stroke rehabilitation therapy (EEG-fMRI study). *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023;12(4S): 53-64. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4S-53-64
