

Обзор исследований использования БОС-терапии при реабилитации и восстановительном лечении пациентов неврологического профиля

Е.Ю. Можейко^{1,2}, О.В. Петряева¹

¹ ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации; Россия, г. Красноярск

² ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, г. Красноярск

РЕЗЮМЕ

Цель обзора: сбор информации, анализ и оценка проведенных ранее исследований использования биологической обратной связи (БОС) у пациентов неврологического профиля.

Основные положения. Несмотря на широкое применение в практике и большое количество найденных работ, уровень доказательности у данного метода низкий ввиду малой выборки в исследованиях и сложности описания механизмов БОС. Обзор различных видов биоуправления, его механизмов и направлений развития показывает, что немедикаментозная терапия пациента с использованием только его личных ресурсов (органических, психологических, эмоционально-волевых) может привести к максимальной активизации механизмов нейропластичности, которые, к сожалению, на сегодняшний момент изучены в довольно простом формате. Однако это совершенно не мешает использовать биоуправление для лечения пациентов и/или профилактики различных заболеваний у здорового населения.

Заключение. БОС-терапия зарекомендовала себя как безопасный, относительно эффективный и простой в применении метод лечения. Но организация широкомасштабного двойного слепого рандомизированного исследования — это одно из доминирующих направлений в будущем.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, биоуправление, нейробиоуправление, БОС-терапия.

Вклад авторов: Можейко Е.Ю. — разработка концепции обзора, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации; Петряева О.В. — сбор материала, обработка, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Можейко Е.Ю., Петряева О.В. Обзор исследований использования БОС-терапии при реабилитации и восстановительном лечении пациентов неврологического профиля. Доктор.Ру. 2021; 20(9): 43–47. DOI: 10.31550/1727-2378-2021-20-9-43-47

Review of the Studies in the Use of Biofeedback Therapy in Rehabilitation and Psychiatric of Neurological Patients

Е.Ю. Mozheyko^{1,2}, O.V. Petryaeva¹

¹ Federal Scientific and Clinical Centre of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation; 26 Kolomenskaya Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660037

² Professor V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (a Federal Government-funded Educational Institution of Higher Education), Russian Federation Ministry of Health; 1 Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022

ABSTRACT

Objective of the Review: To collect information, analyse and evaluate previous studies in the use of biofeedback in neurological patients.

Key Points. Despite the wide practical application and a lot of available publications, the level of evidence of this method is low because of a small sample size and the challenges with biofeedback mechanism description. A review of various types of biocontrol, its mechanisms and developments shows that drug-free therapy using only patient's resources (organic, psychological, emotional and volitional) can activate the mechanisms of neuroplasticity, which are poorly studied. Still, it does not prevent from using biocontrol for the therapy of patients and/or prevention of various diseases in healthy population.

Conclusion. Biofeedback therapy has proven to be a safe, relatively efficient and easy-to-use method. However, organisation of a large-scale double blind randomized trial is one of the predominant directions in the future.

Keywords: biofeedback, biocontrol, neurofeedback, biofeedback therapy.

Можейко Елена Юрьевна — д. м. н., профессор ФГБОУ ВО «КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России. 660022, Россия, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 8705-8560. <https://orcid.org/0000-0002-9412-1529>. E-mail: elmozheyko@mail.ru
Петряева Ольга Владимировна (автор для переписки) — врач-невролог, нейропсихолог ФГБУ ФНКЦ ФМБА России. 660037, Россия, г. Красноярск, ул. Коломенская, д. 26. <https://orcid.org/0000-0003-1130-415X>. E-mail: loginovaolga1994@gmail.com



Contributions: Mozheyko, E.Yu. — concept of the review, review of critically important material, approval of the manuscript for publication; Petryaeva, O.V. — material collection, processing, data analysis and interpretation, text of the article.

Conflict of interest: The author declares that she does not have any conflict of interests.

For citation: Mozheyko E.Yu., Petryaeva O.V. Review of the Studies in the Use of Biofeedback Therapy in Rehabilitation and Physiatrics of Neurological Patients. Doctor.Ru. 2021; 20(9): 43–47. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2021-20-9-43-47

В последние годы все больше развиваются методы немедикаментозной помощи пациентам с различными заболеваниями, что дало новый стимул разработке такого направления, как биоуправление. Анализ данных по запросу ключевого слова non-medical treatment в Medline свидетельствует, что с 2000 по 2021 г. количество работ выросло почти в 25 раз: с 6 (2000) до 153 (2019) и 140 (2020). Это можно интерпретировать как наметившуюся тенденцию популяризации безлекарственных технологий и методик, активизирующих внутренние ресурсы организма. К ним относится технология с биологической обратной связью (БОС).

Целью нашего обзора стали анализ и оценка исследований с использованием БОС в неврологической практике. В обзоре проанализированы работы, соответствующие нижеследующим критериям включения/исключения.

Критерии включения:

- исследование выполнено с участием пациентов неврологического профиля со статистически значимой и репрезентативной выборкой;
- в реабилитации или восстановительном лечении использованы методы на основе БОС с доказанным эффектом;
- работы опубликованы за последние 5 лет.

Критерии исключения:

- описание единичных клинических случаев и/или выборка малого количества пациентов;
- методы на основе БОС не использовались или не имеют доказанной эффективности;
- работы старше 5 лет.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

БОС — одно из часто исследуемых и быстро развивающихся направлений в современной медицине. Изначально являясь частью практической психофизиологии, БОС применяется теперь практически во всех областях медицины. Активное изучение метода началось в конце 50-х гг. XX века. Пионерами в разработке методов БОС в нашей стране стали ученые Института экспериментальной медицины Российской академии медицинских наук. По всему миру постоянно проводятся исследования в этом направлении, что говорит о неистощаемой актуальности метода [1].

БОС основывается на различных каналах получения информации о пациенте в режиме реального времени. Изначально БОС формировалась как исследовательское диагностическое направление, но понимание возможностей использования ее в лечении и профилактике различных заболеваний способствовало расширению понятия. БОС разделилась на два основных направления: БОС-тренинг (применяется для повышения адаптивности, стрессоустойчивости через влияние на симпатико-парасимпатическую систему здорового человека для профилактики заболеваний) и БОС-терапию (реабилитация и восстановление организма после разных терапевтических, неврологических, психологических и других заболеваний, а также травм опорно-двигательного аппарата и черепно-мозговых травм) [2]. В нашем обзоре акцент сделан на технологии БОС-терапии.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе отмечается дифференциация понятий «биоуправление» (biofeedback) и «нейробиоуправление» (neurofeedback): первое понятие ответственно за данные с электромиографических датчиков, температурных датчиков, плетизмографию и др., а второе — за различные методики считывания информации непосредственно с головного мозга. В последние годы исследования сосредоточились на применении хорошо изученных методов оценки функционального состояния человека и нейровизуализации для БОС-терапии. Таким образом, мы можем наблюдать множество различных исследований с использованием ЭЭГ, электромиографии, МРТ, ближней инфракрасной спектроскопии, магнитоэнцефалоскопии, плетизмографии и т. д. в различных комбинациях.

Биоуправление основывается на двух механизмах — психологическом и физиологическом. Психологический механизм описан тремя концепциями влияния БОС на организм [3]:

- 1) классическая — отражение функциональных систем организма в режиме реального времени;
- 2) когнитивная — влияние мыслей, образов, представлений, мотиваций на изменение функциональных систем организма;
- 3) концепция инициации говорит о том, что навыки биоуправления заложены в организм изначально и требуется лишь спровоцировать их использование.

Физиологические механизмы БОС изучены в меньшей степени [4] — здесь на первый план выходит разделение биоуправления на прямое (влияние, например, на АД при гипертонической болезни сердца) и косвенное (изменение показателей физиологических систем, косвенно связанных друг с другом, например воздействие диафрагмального дыхания на уровень мышечного напряжения).

Как один из примеров интегративного влияния биоуправления на пациента и комбинированного прямого и косвенного воздействия БОС на организм можно привести работу с достаточным уровнем доказательности с объемом выборки 42 человека в первой группе и 30 в группе контроля [5]. В ней авторы указывают, что на фоне прямого воздействия на координаторную сферу с помощью стабиллоплатформы с БОС корректируются координаторные нарушения, повышаются адаптация пациента к своему состоянию, мотивация к реабилитации, качество жизни, большой более активно включается в реабилитационный процесс.

Все вышеперечисленное уменьшает выраженность тревожно-депрессивного синдрома как реакции на болезнь, а по некоторым позициям БОС даже превосходит медикаментозное лечение (длительность терапии, переносимость, неинвазивность, безопасность) [6]. Поэтому возникает необходимость более тщательно изучить не только механизмы биоуправления, но и причины тех или иных изменений функциональных систем.

Для купирования психоэмоциональных нарушений пациентов обучают навыку релаксационного диафрагмального дыха-

ния. Оно используется довольно широко и эффективно как с вовлечением системы «мозг — компьютер», так и без него.

Исследования, вошедшие в данный обзор, носят описательный характер, и мы можем узнать механизм влияния кардиоваскулярного тренинга на организм через *nervus vagus*, что снижает выраженность депрессии, тревоги, инсомнии и т. д. [7].

Максимально интенсивно в настоящее время развиваются методы биоуправления с попыткой локализации задействованной области мозга. Однако существуют некоторые ограничения в использовании этих методик у пациентов. Так, например, большинство исследований с применением функциональной ближней инфракрасной спектроскопии с энцефалографией выполнены на здоровой выборке как БОС-тренинг (337 здоровых участников против 20 человек с синдромом дефицита внимания и гиперактивности и 20 с инсультом). Описываются положительные результаты в формировании моторных навыков в слепом исследовании, но без уточнения количества участников [8], в двойном слепом исследовании координаторных навыков на группах с реальным воздействием БОС-терапии (10 человек) и плацебо-воздействием (10 человек) [9]; в исследовании телесных ощущений при истинной и ложной БОС также было недостаточное количество участников (36) [10].

Улучшение управляющих функций головного мозга изучалось в двойном слепом исследовании на группах по 10 человек с реальным и плацебо-воздействием [11]. Положительный эффект в виде коррекции речевых нарушений в обзоре [12] имеет достаточный уровень доказательности. Один из самых крупных систематических обзоров, объединяющий 441 человека (337 здоровых и 104 больных), что говорит о не самых высоких выборках, на которых строится доказательность данных методов. Но нельзя отрицать их положительное воздействие [13].

Еще одним важным направлением современной реабилитации становится механо- и робототерапия [14, 15]. Для повышения эффективности и комплаенса пациентов их комбинируют с БОС в игровой форме. Эффективность использования таких роботизированных аппаратов с БОС неоднократно подтверждена в исследованиях по реабилитации голеностопного сустава (квазиэкспериментальное исследование, уровень доказательности IIb) [16] и кисти (обзор литературы по данной теме, где часто можно встретить клинические случаи, исследования с малыми и несопоставимыми выборками и, соответственно, результатами) [17].

Эффективность применения стабиллоплатформы для коррекции координаторных нарушений также подтверждена клинически на достаточном количестве пациентов в исследовании с хорошим дизайном [14, 18, 19].

Работы с использованием только электроэнцефалографических датчиков при различных заболеваниях начали проводить довольно давно, и до сих пор тема моноБОС-терапии остается актуальной. Одно из последних исследований проведено в Японии. В работе Takayuki Kodama и коллег представлен клинический случай положительного влияния ЭЭГ-тренинга на моторную зону неокортекса для повышения двигательной активности парализованных конечностей, снижения нейропатического болевого синдрома, коррекции нарушений образа тела с помощью iNems [20]. Но клинический случай — это уровень доказательности III, что говорит о необходимости повторения данного эксперимента на боль-

шем количестве человек для возможности включения описанного метода в программу реабилитации.

В последние годы с увеличением доступности использования таких методов, как МРТ, стали говорить о необходимости использования точной нейровизуализации в комплексе с БОС [13, 21]. Однако даже на сегодняшний день это довольно затратный метод, и некоторые исследования подтверждают взаимозаменяемость МРТ и ближней инфракрасной спектроскопии [22].

Эффективность биоуправления не ставится под сомнение исследователями. Но если проанализировать дизайн исследований, то в большинстве случаев мы видим малое количество человек в выборке, что на самом деле может быть причиной недостаточного понимания эффекта от БОС-терапии. Именно поэтому технологии БОС упоминаются в клинических рекомендациях по реабилитации, но находятся в графе с функциональной электростимуляцией, физио-, эрго-, механотерапией (класс доказательности 2-3), т. е. с теми методами, которые также не до конца изучены или не описаны в крупных двойных слепых рандомизированных исследованиях¹.

Дизайн изученных нами работ строится на использовании различных методов оценки функциональных систем организма и нейровизуализации, но не на исследовании механизмов их действия. Пластичность мозга в данном аспекте мало изучена, и дальнейшие разработки откроют новые направления для исследований БОС-терапии. По мнению авторов, требуется дальнейшее проведение нейрофизиологических и лабораторных исследований для создания научно обоснованных методических подходов, что позволит добиться ощутимого экономического эффекта от повышения качества реабилитации, уменьшения ее сроков и будет иметь огромную социальную значимость [17].

В 2016 г. введен термин «нейропротезирование» (neuroprosthetics), обозначающий мультидисциплинарную область исследования, включающую нейронауки, компьютерные науки, психологию, биомедицинскую инженерию для замены или восстановления моторных, сенсорных, когнитивных функций, которые могут быть повреждены во время травмы или заболевания, что подразумевает восстановление здоровых функциональных систем посредством использования новых механизмов пластичности мозга, которые, однако, еще необходимо открыть и изучить [2].

При наличии множества показаний и таких положительных аспектов, как неинвазивность, немедикаментозность, эффективность, отсутствие противопоказаний при различных заболеваниях и т. д., можно отметить один из самых важных недостатков этого метода: пациент должен быть в сознании и не иметь когнитивных нарушений глубже умеренных [23]. Это обосновывается тем, что для полноценной эффективности БОС необходимы понимание происходящего на экране монитора и обучаемость пациента. В литературе имеются сведения о применении биоуправления у больных со сниженным сознанием для более быстрой активации психической деятельности и возвращения в полное сознание, но результаты спорны: воздействие аудио- и видеодорожки на пациента уже будет оказывать активизирующее влияние [24]. В данном исследовании участвовали всего 11 человек, поэтому мы не можем полностью опираться на его результаты.

Несмотря на то что когнитивные нарушения являются противопоказанием к БОС-терапии, в литературе описаны

¹ Официальный сайт Союза реабилитологов России. URL: <https://rehabrus.ru> (дата обращения — 15.10.2021).

попытки использования когнитивного тренинга на основе указанной технологии. При этом имеются работы пилотного формата с малой выборкой (20 человек), но положительным результатом использования метода [25], однако обзор 2020 г. в журнале Кембриджского университета дает понять, что из-за методологических и теоретических ограничений понимания влияния биоуправления на реабилитацию когнитивных функций, результаты этих исследований достоверно оценить невозможно [26]. Цель дальнейшего развития данного направления — более глубокое понимание механизмов работы БОС. Возможно формирование алгоритма использования его как технического средства реабилитации наравне с тростями, ходунками и тд. [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор различных видов биоуправления, его механизмов и направлений развития показывает, что немедикаментоз-

ная терапия пациента с использованием только его личных ресурсов (органических, психологических, эмоционально-волевых) может привести к максимальной активизации механизмов нейропластичности, которые, к сожалению, на сегодняшний момент изучены в довольно простом формате, что, несомненно, создает определенные барьеры для дальнейшего развития. Подводя итог, можно сказать, что подавляющее большинство работ не отличается большой выборкой и находится в группе с низким уровнем доказательности. Организация двойного слепого исследования по данной тематике — одно из доминантных направлений в будущем.

Однако это совершенно не мешает использовать биоуправление для лечения пациентов и/или профилактики различных заболеваний у здорового населения. БОС-терапия зарекомендовала себя как безопасный, относительно эффективный и простой в применении метод лечения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Zhuang M., Wu Q., Wan F. et al. State-of-the-art non-invasive brain — computer interface for neural rehabilitation: a review. *J. Neurorestoratorol.* 2020; 8(1): 12–25. DOI: 10.26599/JNR.2020.9040001
- Marzbani H., Marateb H.R., Mansourian M. Neurofeedback: a comprehensive review on system design, methodology and clinical applications. *Basic Clin. Neurosci.* 2016; 7(2): 143–58. DOI: 10.15412/J.BCN.03070208
- Грехов Р.А., Сулейманова Г.П., Харченко С.А. и др. Психологические основы применения лечебного метода биологической обратной связи. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки.* 2015; 3(13): 87–96. [Grekhov R.A., Suleymanova G.P., Kharchenko S.A. et al. Psychophysiological basics of applying the medical method of biofeedback. *Science Journal of Volgograd State University. Series 11: Natural Sciences.* 2015; 3(13): 87–96. (in Russian)]. DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.3.9
- Федотчев А.И., Парин С.Б., Полевая С.А. и др. Технологии «интерфейс мозг — компьютер» и нейробиоуправление: современное состояние, проблемы и возможности клинического применения (обзор). *Современные технологии в медицине.* 2017; 9(1): 175–82. [Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A. et al. Brain — computer interface and neurofeedback technologies: current state, problems and clinical prospects (review). *Modern Technologies in Medicine.* 2017; 9(1): 175–82. (in Russian)]. DOI: 10.17691/stm2017.9.1.22
- Плишкина Е.А., Бейн Б.Н. Особенности динамики депрессивных расстройств у пациентов с ишемическим инсультом при стабилометрическом тренинге. *Вятский медицинский вестник.* 2018; 3(59): 36–40. [Plishkina E.A., Beyn B.N. Dynamics features of depressive disorders in patients with ischemic stroke on stabilometric training. *Medical Newsletter of Vyatka.* 2018; 3(59): 36–40. (in Russian)]
- Русских О.А., Перевошиков П.В., Бронникова В.А. Применение метода биологической обратной связи в психологической реабилитации пациентов после инсульта. *Человек. Искусство. Вселенная.* 2019; 1: 137–45. [Russkikh O.A., Perevoschikov P.V., Bronnikova V.A. Use of biofeedback in psychological rehabilitation of post-stroke patients. *Chelovek. Iskusstvo. Vselennaya.* 2019; 1: 137–45. (in Russian)]
- Kemstach V.V., Korostovtseva L.S., Sakowsky I.V. et al. Cardiorespiratory feedback training as a non-pharmacological intervention and its application in stroke patients. *Integrative Physiology.* 2020; 1(3): 196–201. DOI: 10.33910/2687-1270-2020-1-3-196-201
- Mihara M., Miyai I. Review of functional near-infrared spectroscopy in neurorehabilitation. *Neurophotonic.* 2016; 3(3): 031414. DOI: 10.1117/1.NPh.3.3.031414
- Fujimoto H., Mihara M., Hiroaki N. et al. Neurofeedback-induced facilitation of the supplementary motor area affects postural stability. *Neurophotonic.* 2017; 4(4): 045003. DOI: 10.1117/1.NPh.4.4.045003
- Рассказова Е.И., Мигунова Ю.М., Азиатская Г.А. Чувствительность к обратной связи и соматизация: провокация телесных ощущений при истинной и ложной биологической обратной связи. *Теоретическая и экспериментальная психология.* 2018; 11(1): 18–27. [Rasskazova E.I., Migunova Yu.M., Aziatskaya G.A. Sensitivity to feedback and somatization: provoking bodily sensations with true and false biofeedback. *Theoretical and Experimental Psychology.* 2018; 11(1): 18–27. (in Russian)]
- Hosseini S., Pritchard-Berman M., Sosa N. et al. Task-based neurofeedback training: a novel approach toward training executive functions. *NeuroImage.* 2016; 134: 153–9. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.03.035
- Butler L.K., Kiran S., Tager-Flusberg H. Functional near-infrared spectroscopy in the study of speech and language impairment across the life span: a systematic review. *Am. J. Speech-Language Pathol.* 2020; 29(3): 1674–701. DOI: 10.1044/2020_AJSLP-19-00050
- Kohl S.H., Mehler D., Lührs M. et al. The potential of functional near-infrared spectroscopy-based neurofeedback—a systematic review and recommendations for best practice. *Front. Neurosci.* 2020; 14: 594. DOI: 10.3389/fnins.2020.00594
- Иванова Г.Е., Исакова Е.В., Кривошей И.В. и др. Формирование консенсуса специалистов в применении стабилометрии и биоуправления по опорной реакции. *Вестник восстановительной медицины.* 2019; 1(89): 16–21. [Ivanova G.E., Isakova E.V., Krivoshei I.V. et al. Consensus-building in the application of stabilometry and biofeedback by support reaction. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2019; 1(89): 16–21. (in Russian)]
- Скворцов Д.В., Кауркин С.Н., Ахпашев А.А. и др. Анализ ходьбы и функции коленного сустава до и после резекции мениска. *Травматология и ортопедия России.* 2018; 24(1): 65–73. [Skvortsov D.V., Kaurkin S.N., Akhpahev A.A. et al. Analysis of gait and knee function prior to and after meniscus resection. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018; 24(1): 65–73. (in Russian)]
- Клочков А.С., Зимин А.А., Хижникова А.Е. и др. Влияние роботизированных тренировок на биомеханику голеностопного сустава у пациентов с постинсультным парезом. *Вестник Российского государственного медицинского университета.* 2020; 5: 44–53. [Klochkov A.S., Zimin A.A., Khizhnikova A.E. et al. Effect of robot-assisted gait training on biomechanics of ankle joint in patients with post-stroke hemiparesis. *Bulletin of Russian State Medical University.* 2020; 5: 44–53. (in Russian)]
- Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Бабанов Н.Д. Двигательная реабилитация пациентов с нарушениями моторики верхних конечностей: анализ современного состояния исследований (обзор литературы). *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия.* 2019; 5(1): 163–78. [Chuyan E.N., Birukova E.A., Babanov N.D. Upper limbs disorders patients motor rehabilitation: of the modern studies analysis (review). *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry.* 2019; 5(1): 163–78. (in Russian)]
- Каерова Е.В., Журавская Н.С., Шакирова О.В. и др. Использование стабиллоплатформы для физической реабилитации

- пациентов после инсульта. *Человек. Спорт. Медицина*. 2020; 20(1): 123–7. [Kaerova E.V., Zhuravskaya N.S., Shakirova O.V. et al. The use of force platform for after stroke rehabilitation. *Human. Sport. Medicine*. 2020; 20(1): 123–7. (in Russian)]. DOI: 10.14529/hsm200115
19. Ястребцева И.П., Кривоногов В.А. Стабилометрический тренинг с использованием биологической обратной связи различной модальности: анализ результатов. *Доктор.Ру*. 2018; 1(145): 16–20. [Yastrebtseva I.P., Krivonogov V.A. Stabilometrical training using biofeedback with various modality: analysis of results. *Doctor.Ru*. 2018; 1(145): 16–20. (in Russian)]
 20. Kodama T., Katayama O., Nakano H. et al. Treatment of medial medullary infarction using a novel iNems training: a case report and literature review. *Clin. EEG Neurosci*. 2019; 50(6): 429–35. DOI: 10.1177/1550059419840246
 21. Robineau F., Saj A., Neveu R. et al. Using real-time fMRI neurofeedback to restore right occipital cortex activity in patients with left visuo-spatial neglect: proof-of-principle and preliminary results. *Neuropsychol. Rehabil*. 2019; 29(3): 339–60. DOI: 10.1080/09602011.2017.1301262
 22. Rieke J.D., Matarasso A.K., Minhal Yusufali M. et al. Development of a combined, sequential real-time fMRI and fNIRS neurofeedback system to enhance motor learning after stroke. *J. Neurosci. Meth*. 2020; 341: 108719. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2020.108719
 23. Бушкова Ю.В., Иванова Г.Е., Стаховская Л.В. и др. Технология интерфейса мозг — компьютер как контролируемый идеомоторный тренинг в реабилитации больных после инсульта. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2019; 6: 27–32. [Bushkova Yu.V., Ivanova G.E., Stakhovskaya L.V. et al. Brain-computer-interface technology with multisensory feedback for controlled ideomotor training in the rehabilitation of stroke patients. *Bulletin of Russian State Medical University*. 2019; 6: 27–32. (in Russian)]. DOI: 10.24075/brsmu.2019.078
 24. Шендяпина М.В., Казымаев С.А., Шаповаленко Т.В. и др. Применение метода биологической обратной связи по инфранизким частотам электроэнцефалограммы в комплексной реабилитации пациентов со сниженным уровнем сознания. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2016; 8(4): 10–13. [Shendyapina M.V., Kazymaev S.A., Shapovalenko T.V. et al. Use of an infra-low frequency EEG biological feedback technique in the comprehensive rehabilitation of patients with a decreased level of consciousness. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2016; 8(4): 10–13. (in Russian)]. DOI: 10.14412/2074-2711-2016-4-10-13
 25. Marlats F., Bao G., Chevallier S. et al. SMR/Theta neurofeedback training improves cognitive performance and EEG activity in elderly with mild cognitive impairment: a pilot study. *Front. Aging Neurosci*. 2020; 12: 147. DOI: 10.3389/fnagi.2020.00147
 26. Ali J., Viczko J., Smart C. Efficacy of neurofeedback interventions for cognitive rehabilitation following brain injury: systematic review and recommendations for future research. *J. Int. Neuropsychol. Soc*. 2020; 26(1): 31–46. DOI: 10.1017/S1355617719001061
 27. Бодрова Р.А., Аухадеев Э.И., Ахунова Р.Р. и др. Подходы к выбору технических средств реабилитации с помощью МКФ. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2019; 4: 64–71. [Bodrova R.A., Aukhadeev E.I., Akhunova R.R. et al. Approaches to the technical means of rehabilitation selection using the ICF. *Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation*. 2019; 4: 64–71. (in Russian)]. DOI: 10.36425/2658-6843-2019-4-64-71 

Поступила / Received: 21.06.2021

Принята к публикации / Accepted: 22.10.2021