

НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПО РИТМАМ ГОЛОВНОГО МОЗГА (НАРРАТИВНЫЙ ОБЗОР)

С.М. Абуталимова¹, Ю.В. Корягина¹, О.Н. Акимкина¹, В.С. Нопина^{2,3}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России», г. Москва, Россия

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

Аннотация. Введение. В настоящее время методы биоуправления, основанные на принципах биологической обратной связи, активно применяются в сфере реабилитационной медицины, а также в практике психокоррекции и личностного развития. Цель исследования – провести обзор научных работ, посвященных нейробиоуправлению как технологии оптимизации состояния организма человека по ритмам головного мозга. **Методы.** Проведен анализ научных работ российских и зарубежных ученых за последние ~5 лет, поиск осуществлялся в базах данных PubMed, Scopus, eLibrary и Google scholar. **Результаты.** Анализ исследований позволил выделить два основных направления применения нейробиоуправления: изучение возможности управления мозгом человека, изучение возможностей нейробиоуправления. **Заключение.** Технология нейробиоуправления эффективно применяется для оценки, контроля и коррекции работы центральной нервной системы как у здоровых людей, так и у лиц с соматическими и нервно-психическими заболеваниями.

Ключевые слова: нейробиоуправление, биологическая обратная связь, ритмы головного мозга, функциональное состояние.

NEUROFEEDBACK AS A TECHNOLOGY FOR OPTIMIZING THE FUNCTIONAL STATE OF A HUMAN'S BODY ACCORDING TO THE BRAIN WAVES (NARRATIVE REVIEW)

S.M. Abutalimova¹, Yu.V. Koryagina¹, O.N. Akimkina¹, V.S. Nopina^{2,3}

¹North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

²State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Abstract. Introduction. Currently, methods of biocontrol based on biofeedback principles are actively applied in the field of rehabilitation medicine, as well as in the practice of psychological correction and personal development. The aim of the study – to conduct a review of scientific works dedicated to neurofeedback as a technology for optimizing the state of a human's body according to the brain waves. **Methods.** We have conducted an analysis of domestic and foreign scientific works for the last ~5 years; the search was carried out in the PubMed, Scopus, eLibrary and Google scholar databases. **Results.** The analysis has shown two main directions of neurofeedback application studies: studies on a possibility to control a human's brain and studies on neurobiofeedback's capabilities. **Conclusion.** The neurofeedback technology is efficiently applied for assessment, control and correction of the central nervous system's work both in healthy individuals and in individuals with somatic and mental illnesses.

Keywords: neurofeedback, biofeedback, brain waves, functional state.

Введение. Исследования последних лет показали, что некоторые функции организма (ритм сердца, мозга), признаваемые ранее автономными и не поддающимися самоконтролю, могут регулироваться человеком [1, 2] и определяются как биоуправление. Согласно

определению, технология биоуправления представляет собой комплекс идей и методов, базирующихся на принципах биологической обратной связи (БОС), направленных на развитие и совершенствование механизмов саморегуляции физиологических функций при различных патологических состояниях и в целях личностного развития [3]. Методы функционального биоуправления, базирующиеся на принципах БОС, в настоящее время активно используются как в реабилитационной медицине [4-7], так и в различных психокоррекционных и личностно-развивающих практиках [8]. Следовательно, представляет интерес анализ научных работ, посвященных развитию направлений применения нейробиоуправления.

Целью работы явился нарративный обзор научных работ, посвященных изучению нейробиоуправления как технологии оптимизации функционального состояния организма человека по ритмам головного мозга.

Методы и организация исследования. В статье приведены материалы нарративного обзора научных работ российских и зарубежных ученых, посвященных изучению различных направлений применения нейробиоуправления для оптимизации функционального состояния и здоровья человека. Поиск осуществлялся в электронных базах данных PubMed, Scopus, eLibrary, Google scholar. При анализе предпочтительно рассматривались исследования за последние ~5 лет, языковой барьер не выставляли.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ научно-исследовательских работ, касающихся применения нейробиоуправления, позволил определить два направления проводимых исследований: первое – возможность управлять мозгу человека современными технологичными устройствами посредством биоэлектрической активации в обход прямого действия на нервно-мышечный аппарат. Данная система в научных источниках часто носит название «интерфейс “мозг – компьютер” (ИМК)» [9-11]. Второе посвящено изучению возможностей нейробиоуправления – произвольной перестройки паттернов мозговой активности под действием сигнала, отражаемого при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ), на уровне формирования условных рефлексов [12, 13]. Главными отличиями системы ИМК являются

автоматическая обработка и управление центральной нервной системы (ЦНС) внешними устройствами, тогда как система нейробиоуправления способствует обучению человека осознанному управлению автоматизированных функций [14].

Одним из первых исследователей второй половины XX века, изучающим эффекты применения систем нейробиоуправления, стал J. Kamiya. Он провел ряд работ, которые показали, что человек способен управлять спектральной активностью сигнала ЭЭГ [15]. В дальнейшем проведенные японскими учеными эксперименты позволили заключить, что эффективность действия биологической обратной связи на биоэлектрическую активность мозга обусловлена структурными механизмами преобразования нейронной сети [16, 17]. Однако существует и другая точка зрения, согласно которой в основе эффективности механизмов биоуправления лежит функциональная настройка переменных спектрального поля биоэлектрической активности головного мозга. Ряд работ показал, что применение БОС-технологий настраивает мозговые колебания на гомеостатическую заданную точку, которая обеспечивает оптимальный баланс между гибкостью и стабильностью нейронной сети [18].

Учитывая, что в качестве сигнала БОС используются ритмы ЭЭГ, тренировки нейробиоуправления изначально осуществлялись в основном для альфа-ритма [19]. Затем начались активные разработки протоколов сеансов нейробиоуправления с регуляцией ритмической активности в бета-диапазоне [20, 21]. При этом, необходимо помнить, что альфа-ритм, характеризующийся частотной активностью 8-13 Гц, преобладает у человека в состоянии бодрствования, но при закрытых глазах в расслабленном состоянии. В этот момент, как правило, амплитуда альфа-волн равна частоте (синхронизированная альфа-активность). Активная умственная деятельность, а также другие сенсорные раздражители приводят к затуханию альфа-ритма (блокада альфа-ритма) [22, 23]. При открытии глаз активируется бета-ритм, связанный с высшими когнитивными процессами и концентрацией внимания. Он характеризуется низкой амплитудой и высокой частотой (13-30 Гц) [24, 25]. Волны свыше 30 Гц (гамма-волны) также появляются при обучении и

высокой сосредоточенности человека на чем-либо [25]. Остальные ритмы (дельта, тета, мю-ритм) появляются преимущественно во время сна и изначально не использовались в качестве сигналов обратной связи при проведении нейробиоуправления [26, 27].

Множество исследований показало перспективность проведения нейротренингов по тета-ритму, также были разработаны протоколы комбинированной тренировки альфа- и тета-ритмов [28]. Так, применение нейробиоуправления у пациентов с асимметрией альфа- и тета-ритмов способствовало функциональной перестройке связей в нейронной сети. Отмечается, что полученные результаты и разработанный протокол нейробиоуправления может внедряться в лечение пациентов с аффективными расстройствами [29].

Многие авторы отмечают перспективность применения методики нейробиоуправления в клинической практике [30]. Так, на базе Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского проведено исследование, посвященное изучению влияния сеансов нейробиоуправления у пациентов с диагнозом «острое нарушение мозгового кровообращения». Авторы отмечают статистически значимое повышение спектральной мощности в диапазонах альфа-, бета- и тета-волн, а также предполагают, что подобные изменения способствуют улучшению когнитивных функций и эмоционального состояния пациентов [31].

Анализ данных применения нейробиоуправления у пациентов с аддикцией показал, что изначально были разработаны протоколы с альфа-тренингом, затем протокол модернизировали до альфа-, тета-тренингов. Позже протокол был изменен, и тренинг осуществлялся более эффективно в бета-частотном диапазоне (сенсомоторный ритм) [32].

Исследователи из Казахского национального университета Аль-Фараби отмечают, что похожие протоколы нейротренингов используются и в терапии ожирения. Наиболее популярным вариантом является применение биологической обратной связи с целью снижения и нивелирования тета-ритма и качественного повышения бета-ритма. Также активно используется протокол подавления тета-ритма и усиления высокочастотного альфа-ритма. Авторы в своей работе указывают на перспективность применения

нейробиоуправления в терапии ожирения из-за ряда преимуществ, таких как неинвазивность, минимальное количество противопоказаний, отсутствие побочных эффектов. Кроме того, пациентам легче контролировать эмоциональное состояние и пищевое поведение за счет сознательного управления собственной мозговой активностью. Среди недостатков использования нейробиоуправления отмечается отсутствие стандартизированных общепринятых протоколов применения биологической обратной связи по ЭЭГ-ритмам [33].

В настоящее время опубликовано достаточно большое количество работ, посвященных применению технологий биологической обратной связи для регуляции ритмической активности головного мозга у пациентов с посттравматическим стрессовым расстройством [34]. Иностранные авторы часто сравнивают нейробиоуправление с высокотехнологичным режимом тренировки мозга, позволяя ему осваивать и практиковать новые модели поведения, которые обеспечивают эмоциональную регуляцию, психическую стабильность, гибкость и жизнестойкость. Оно использует принципы оперантного кондиционирования для запуска нейропластичности, способствующей процессам регенерации [35]. Это особенно важно и имеет большое значение при лечении посттравматических стрессовых расстройств, которые возникают в результате давней травмы, характеризующейся нарушением структуры мозговых волн. Исследования показали, что изменение структуры мозга с помощью нейротренинга может положительно повлиять на эти глубоко укоренившиеся состояния [36]. Это приводит к восстановлению мозговой активности и регуляции деятельности мозга, которая ранее была нарушена.

Более ранняя работа М. Гареп с соавторами также показала перспективность применения технологий нейробиоуправления у пациентов с посттравматическим стрессовым расстройством. Испытуемые проходили 40 сеансов обучения нейробиоуправлению два раза в неделю с датчиками, наложенными на зоны Т4-Р4, либо Т3-Т4. Авторы обнаружили, что применение технологий БОС значительно уменьшило симптомы посттравматического стрессового расстройства (средние баллы по шкале травм Дэвидсона составили 69,14 на исходном уровне и 49,26 при завершении) [37].

В настоящее время российскими учеными разработан протокол применения технологий нейротренинга для лиц, пострадавших в СВО и имеющих диагноз «посттравматическое стрессовое расстройство». Авторы отмечают снижение признаков дезадаптации за счет увеличения спектральной мощности ЭЭГ в альфа-2-диапазоне [38].

Необходимо отметить эффективность применения нейробиоуправления в детской клинической практике. Помимо улучшения когнитивных функций, применение нейротренингов продемонстрировало положительные результаты при лечении психических расстройств, таких как синдром дефицита внимания с гиперактивностью у детей младшего школьного возраста. Авторы отмечают, что в подавляющем большинстве случаев применение биологической обратной связи более эффективно, чем использование традиционной медикаментозной терапии. Получены положительные результаты в виде повышения академической успеваемости у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности после проведения курса нейротренингов [39].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боков, Г.Е. Интерфейсы «мозг-компьютер» и «мозг-мозг» в структуре конвергирующих технологий (на основе экспериментальных данных НИТЦ нейротехнологий ЮФУ) / Г.Е. Боков, Е.В. Чапны, П.Д. Шапошников // *Философия науки и техники / Philosophy of Science and Technology*. – 2024. – Т. 29. – № 1. – С. 34-47. DOI: 10.21146/2413-9084-2024-29-1-34-47.
2. Федорова, Т.Ю. Биологическая обратная связь в спорте / Т.Ю. Федорова, Г.Ю. Сафронов // *Совершенствование профессиональной и физической подготовки курсантов, слушателей образовательных организаций и сотрудников силовых ведомств: Сборник статей XXIII Всероссийской научно-практической конференции*. – 2021. – С. 358-362.
3. Биоуправление в клинической практике / М.Б. Штарк, С.С. Павленко, А.Б. Скок, О.С. Шубина // *Неврологический журнал*. – 2000. – № 4. – С. 52-56.
4. Циркин, Г.М. Пример применения мультипараметрического биоуправления у пациента с последствиями тяжелой черепно-мозговой травмы / Г.М. Циркин, Е.В. Нечаев, Е.Н. Нечаева // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2010. – Т. 9. – № 2. – С. 155-157.
5. Минко, Э.А. БОС-тренинг по variability ритма сердца в кардиореабилитации после аортокоронарного шунтирования / Э.А. Минко // *Психология. Психофизиология*. – 2022. – Т. 15. – № 2. – С. 133-141.
6. Pruneti, C. A narrative review of heart rate variability as a good index of psychophysical health in athletes and in biofeedback training / C. Pruneti, S. Ferrari, S. Guidotti // *Journal of Clinical Sport Psychology*. – 2023. – Vol. 18. – No. 4. – P. 422-449.
7. Regulating emotion following severe traumatic brain injury: A randomized controlled trial of heart-rate variability biofeedback training / T.A. Wearne, J.A. Logan, E.M. Trimmer [et al.] // *Brain Injury*. – 2021. – Vol. 35. – No. 11. – P. 1390-1401.
8. Киворкова, А.Ю. Коррекция психической дезадаптации семейного окружения представителей опасных профессий / А.Ю. Киворкова, А.Г. Соловьев // *Неврологический вестник*. – 2021. – Т. 53. – № 1. – С. 84-87.
9. Интерфейс мозг-компьютер, основанный на спектроскопии в ближней инфракрасной области, в двигательной реабилитации после инсульта: описание серии случаев / Р.Х. Люкманов, М.Р. Исаев, О.А. Мокиенко // *Annals of clinical and experimental neurology*. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 82-88.

10. Карандеев, Д.Ю. Сферы применения современных интерфейсов «мозг-компьютер» / Д.Ю. Карандеев, И.Ю. Карандеева // Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2022. – С. 49-50.
11. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер / С.А. Филист, Е.В. Петрунина, А.А. Трифонов, А.В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1. – С. 67-79.
12. Ильина, Л.О. Применение метода биологической обратной связи в когнитивной реабилитации и психоэмоциональной коррекции / Л.О. Ильина // Гуманитарные науки. – 2024. – № 1(65). – С. 128-132.
13. Можейко, Е.Ю. Обзор исследований использования БОС-терапии при реабилитации и восстановительном лечении пациентов неврологического профиля / Е.Ю. Можейко, О.В. Петряева // Доктор.Ру. – 2021. – Т. 20. – № 9. – С. 43-47.
14. Технологии «Интерфейс мозг-компьютер» и нейробиоуправление: современное состояние, проблемы и возможности клинического применения (обзор) / А.И. Федотчев, С.Б. Парин, С.А. Полевая, С.Д. Великова // Современные технологии в медицине. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 175-184.
15. Kamiya, J. Autogenic-feedback training: a countermeasure for orthostatic intolerance / J. Kamiya, T.G. Pickering // Proceedings of the First Joint NASA Cardiopulmonary Workshop. – National Aeronautics and Space Administration, 1991. – Vol. 10068. – P. 145.
16. Shimoda, Sh. Brain activities for Open Intelligence: Application of Brain Science for Behavior Adaptation / Sh. Shimoda // Journal of the Robotics Society of Japan. – 2023. – Vol. 41. – No. 7. – P. 591-597.
17. History and recent advances of the Japanese society of biofeedback research / L.O. Oikawa, A. Hirota, H. Uratani, M. Sakakibara // Applied Psychophysiology and Biofeedback. – 2021. – Vol. 46. – No. 4. – P. 309-318.
18. Self-support biofeedback training for recovery from motor impairment after stroke / K. Ozaki, M. Itkonen, H. Yamasaki [et al.] // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 72138-72157. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2987095.
19. The Effect of Cognitive Training with Neurofeedback on Cognitive Function in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis / Y. Matsuzaki, R. Nouchi, K. Sakaki [et al.] // Healthcare (Switzerland). – 2023. – Vol. 11. – No. 6. DOI: 10.3390/HEALTHCARE11060843/S1.
20. Лунина, Н.В. Динамика психофизиологических показателей спортсменов при бос-тренинге по бета-ритму головного мозга / Н.В. Лунина, С.В. Нопин // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23. – № S2. – С. 7-12.
21. Thompson, M. Neurofeedback with biofeedback for stress management / M. Thompson, L. Thompson // Principles and practice of stress management. – 2021. – P. 214-263.
22. Возрастные особенности динамики альфа-ритма: краткий обзор / И.С. Поликанова, И.Н. Михеев, С.В. Леонов, О.В. Мартынова // Клиническая и специальная психология. – 2024. – Т. 13. – № 4. – С. 29-50.
23. Козлова, Л.И. Альфа-ритм на языке нейрокогнитивных сетей / Л.И. Козлова // Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И.П. Павлова. – 2023. – С. 376.
24. Куликов, В.Ю. Особенности бета-ритма при закрытых и открытых глазах у умеренно и высокотревожных лиц / В.Ю. Куликов, Л.К. Антропова // Сибирский медицинский вестник. – 2021. – № 3. – С. 37-43.
25. Каркищенко, Н.Н. Системные нормированные гамма-осцилляции структур головного мозга: фармакологический анализ нейрохимических и метаболических процессов / Н.Н. Каркищенко, Ю.В. Фокин, С.Ю. Харитонов // Биомедицина. – 2024. – Т. 20. – № 2. – С. 66-94.
26. Локализация источников десинхронизации мю-ритма ЭЭГ при тактильном воображении / Л.В. Яковлев, Н.В. Сыров, А.А. Мирошников [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2024. – Т. 79. – № 2S. – С. 105-112.
27. Каратыгин, Н.А. Тета-ритм, внимание и метод транскраниальной стимуляции / Н.А. Каратыгин, И.И. Коробейникова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2021. – Т. 24. – № 2. – С. 5-12.
28. EEG biofeedback decreases theta and beta power while increasing alpha power in insomniacs: An open-label study / H. Wang, Y. Hou, S. Zhan [et al.] // Brain Sciences. – 2023. – Vol. 13. – No. 11. – P. 1542.
29. Изменения активности головного мозга здоровых женщин в контексте саморегуляции медленной ЭЭГ-активности префронтальной коры / М.Е. Мельников, Д.Д. Безматерных, А.А. Савелов [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2022. – Т. 174. – № 7. – С. 11-16.
30. Водолажский, Г.И. Междисциплинарный подход к инструментальной психокоррекции / Г.И. Водолажский, А.И. Шарова, Л.Е. Жилина // Психологическое здоровье личности: теория и практика: сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Ставрополь. – 2022. – С. 65-67.
31. Мухина, Е.А. Развитие инструментальных методов для диагностики и оптимизации

адаптационного потенциала у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) / Е.А. Мухина, С.А. Полевая // Будущее клинической психологии – 2021: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь. – 2021. – С. 30-35.

32. Пархомчук, Д.С. Модуляция мозга при аддикции: зарубежный опыт и возможные перспективы / Д.С. Пархомчук, А.А. Востриков, Т.В. Кривобоков // Вестник скорой помощи. – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 49-59.

33. Зияшева, А.М. Оценка потенциала нейробиоуправления для терапии ожирения по данным литературы / А.М. Зияшева, Г.К. Датхабаева // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. – 2022. – Т. 107. – № 3. – С. 185-196.

34. The psychophysiological technology with biofeedback in complex rehabilitation of post-stroke patients: a randomized controlled study / E.V. Kostenko, A.V. Kotelnikova, L.V. Petrova [et al.] // Bulletin of Rehabilitation Medicine. – 2025. – Vol. 24. – No. 1. – P. 55-66.

35. Lorient, C. Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity / C. Lorient, C. Ziane, S.B. Hamed // Revue Neurologique. – 2021. – Vol. 177. – No. 9. – P. 1133-1144.

36. Neurofeedback for post-traumatic stress disorder: systematic review and meta-analysis of clinical and neurophysiological outcomes / M. Askovic, N. Soh, J. Elhindi, A.W. Harris // European Journal of Psychotraumatology. – 2023. – Vol. 14. – No. 2. – P. 2257435.

37. Gapen, M. Neurofeedback in the Treatment of Early Life Stress: a «Nudge» for the Nervous System? / M. Gapen, T. Guy // Current Treatment Options in Psychiatry. – 2021. – Vol. 8. – No. 3. – P. 77-94.

38. Разработка тренинга саморегуляции с помощью технологии биоуправления для лиц, пострадавших в СВО / Э.П. Плотникова, Т.П. Тананакина, И.В. Ларькова [и др.] // Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И.П. Павлова. – 2023. – С. 313.

39. Джафарова, О.А. Нейробиоуправление в коррекции синдрома дефицита внимания и гиперактивности школьников / О.А. Джафарова, Е.Н. Даниленко // Открытое образование. – 2016. – Т. 20. – № 2. – С. 93-96.

40. Динамика психофизиологического состояния космонавтов в период послеполетной медицинской реабилитации на санаторно-курортном этапе / Ю.В. Корягина, Н.В. Ефименко, С.М. Абуталимова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 3. – С. 189-196.

REFERENCES

1. Bokov G.E., Chapny H.V., Shaposhnikov P.D. Brain-Computer Interfaces (BCI) and Brain-to-Brain Interface (BBI) in the structure of NBIC-technologies

(based on experimental data from the Research Center of Neurotechnologies, South Federal University). *Philosophy of Science and Technology*, 2024, vol. 29, no. 1, pp. 34-47. (in Russ.)

2. Fyodorova T.Yu., Safronov G.Yu. Biofeedback in sports. Improving the Professional and Physical Training of Cadets, Students of Educational Institutions and Employees of Law Enforcement Agencies: collection of articles from the XXIII All-Russian Scientific and Practical Conference. 2021. pp. 358-362. (in Russ.)

3. Stark M.B., Pavlenko S.S., Skok A.B., Shubina O.S. Biofeedback in clinical practice. *Nevrologicheskij zhurnal*, 2000, no. 4, pp. 52-56. (in Russ.)

4. Tsirkin G.M., Nechayev Ye.V., Nechayeva E.N. The use of multiparameter biofeedback to a patient with consequences of craniocerebral injury. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2010, vol. 9, no. 2, pp. 155-157. (in Russ.)

5. Minko E.A. Heart rate variability biofeedback training in rehabilitation after coronary artery bypass grafting. *Psychology. Psychophysiology*, 2022, vol. 15, no. 2, pp. 133-141. (in Russ.)

6. Pruneti C., Ferrari S., Guidotti S. A narrative review of heart rate variability as a good index of psychophysical health in athletes and in biofeedback training. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 422-449.

7. Wearne T.A., Logan J.A., Trimmer E.M., Wilson E., Filipcikova M., Kornfeld E., Rushby J.A., McDonald S. Regulating emotion following severe traumatic brain injury: A randomized controlled trial of heart-rate variability biofeedback training. *Brain Injury*, 2021, vol. 35, no. 11, pp. 1390-1401.

8. Kivorkova A.Y., Soloviev A.G. Mental disadaptation correction of the family members of dangerous professions workers. *Neurology Bulletin*, 2021, vol. 53, no. 1, pp. 84-87. (in Russ.)

9. Lyukmanov R.Kh., Isaev M.R., Mokienko O.A., Bobrov P.D., Ikonnikova E.S., Cherkasova A.N., Suponeva N.A. Brain-computer interface using functional near-infrared spectroscopy for post-stroke motor rehabilitation: case series. *Annals of clinical and experimental neurology*, 2023, vol. 17, no. 4, pp. 82-88. (in Russ.)

10. Karandeev D.Yu., Karandeeva I.Yu. Promising areas of application of modern neural interfaces. Engineering Technologies: Traditions, Innovations, Vectors of Development: materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. 2022. pp. 49-50. (in Russ.)

11. Filist S.A., Petrunina E.V., Trifonov A.A., Serebrovckij A.V. Code images of electroencephalogram signals for controlling robotic devices via the brain-computer interface. *Modeling, Optimization and Information Technology*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 67-79. (in Russ.)

12. Il'ina L.O. Using biofeedback in cognitive rehabilitation and psychoemotional correction. *The Humanities*, 2024, no. 1(65), pp. 128-132. (in Russ.)
13. Mozheyko E.Yu., Petryaeva O.V. Review of the Studies in the Use of Biofeedback Therapy in Rehabilitation and Physiatics of Neurological Patients. *Doctor.Ru*, 2021, vol. 20, no. 9, pp. 43-47. (in Russ.)
14. Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Velikova S.D. Brain-computer interface and neurofeedback technologies: current state, problems and clinical prospects (review). *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 175-184. (in Russ.)
15. Kamiya J., Pickering T.G. Autogenic-feedback training: a countermeasure for orthostatic intolerance. Proceedings of the First Joint NASA Cardiopulmonary Workshop. – National Aeronautics and Space Administration, 1991, vol. 10068, p. 145.
16. Shimoda Sh. Brain activities for Open Intelligence: Application of Brain Science for Behavior Adaptation. *Journal of the Robotics Society of Japan*, 2023, vol. 41, no. 7, pp. 591-597.
17. Oikawa L.O., Hirota A., Uratani H., Sakakibara M. History and recent advances of the Japanese society of biofeedback research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 2021, vol. 46, no. 4, pp. 309-318.
18. Ozaki K., Itkonen M., Yamasaki H. et al. Self-support biofeedback training for recovery from motor impairment after stroke. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 72138-72157. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2987095.
19. Matsuzaki Y., Nouchi R., Sakaki K., Dinat J., Kawashima R. The Effect of Cognitive Training with Neurofeedback on Cognitive Function in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Switzerland)*, 2023, vol. 11, no. 6. DOI: 10.3390/HEALTHCARE11060843/S1.
20. Lunina N.V., Nopin S.V. Psychophysiological changes in athletes during beta-wave biofeedback training. *Human. Sport. Medicine*, 2023, vol. 23, no. S2, pp. 7-12. (in Russ.)
21. Thompson M., Thompson L. Neurofeedback with biofeedback for stress management. Principles and practice of stress management, 2021, pp. 214-263.
22. Polikanova I.S., Mikheev I.N., Leonov S.V., Martynova O.V. Age-Related Features of Alpha Rhythm Dynamics: A Brief Review. *Clinical Psychology and Special Education*, 2024, vol. 13, no. 4, pp. 29-50. (in Russ.)
23. Kozlova L.I. Alpha wave in the language of neurocognitive networks. Collection of abstracts of the XXIV Congress of the I.P. Pavlov Physiological Society. 2023, p. 376. (in Russ.)
24. Kulikov V.Yu., Antropova L.K. Features of beta rhythm with closed and open eyes in people with moderate and high anxiety. *Sibirskij Medicinskij Vestnik*, 2021, no. 3, pp. 37-43. (in Russ.)
25. Karkischenko N.N., Fokin Yu.V., Kharitonov S.Yu. System Normalized Gamma Oscillations of Brain Structures: Pharmacological Analysis of Neurochemical and Metabolic Processes. *Journal Biomed*, 2024, vol. 20, no. 2, pp. 66-94. (in Russ.)
26. Yakovlev L.V., Syrov N.V., Miroshnikov A.A., Morozova M.V., Berkmush-Antipova A.M., Petrova D.A., Kaplan A.Y. Source localization of mu-rhythm event related desynchronization in EEG during tactile imagery. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya*, 2024, vol. 79, no. 2S, pp. 105-112. (in Russ.)
27. Karatygin N.A., Korobeinikova I.I. Theta rhythm, attention and transcranial stimulation method. *Biomedicine Radioengineering*, 2021, vol. 24, no. 2, pp. 5-12. (in Russ.)
28. Wang H., Hou Y., Zhan S. et al. EEG biofeedback decreases theta and beta power while increasing alpha power in insomniacs: An open-label study. *Brain Sciences*, 2023, vol. 13, no. 11, p. 1542.
29. Melnikov M.Y., Bezmaternykh D.D., Savelov A.A., Petrovskiy E.D., Kochetova A.V. Changes in Brain Activity in Healthy Women during Self-Regulation of Slow EEG Activity in the Prefrontal Cortex. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2022, vol. 174, no. 7, pp. 11-16. (in Russ.)
30. Vodolazhskij G.I., Sharova A.I., Zhilina L.E. Interdisciplinary approach to instrumental psycho-correction. Psychological Health of the Individual: Theory and Practice: collection of scientific papers based on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference. Stavropol, 2022, pp. 65-67. (in Russ.)
31. Mukhina E.A., Polevaya S.A. Development of instrumental methods for the diagnosis and optimization of adaptive potential in patients with acute cerebrovascular accident. Future of Clinical Psychology – 2021: materials of the XV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Perm, 2021, pp. 30-35. (in Russ.)
32. Parhomchuk D.S., Vostrikov A.A., Krivobokov T.V. Brain modulation in addiction: foreign experience and possible perspectives. *Bulletin of Ambulance*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 49-59. (in Russ.)
33. Ziyasheva A.M., Datkhbayeva G.K. Evaluation of the potential of Neurofeedback for the obesity treatment according to the literature data. *Bulletin of the Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography*, 2022, vol. 107, no. 3, pp. 185-196. (in Russ.)
34. Kostenko E.V., Kotelnikova A.V., Petrova L.V., Pogonchenkova I.V., Filippov M.S. The psychophysiological technology with biofeedback in complex rehabilitation of post-stroke patients: a randomized controlled study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2025, vol. 24, no. 1, pp. 55-66.
35. Loriette C., Ziane C., Hamed S.B. Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity. *Revue Neurologique*, 2021, vol. 177, no. 9, pp. 1133-1144.
36. Askovic M., Soh N., Elhindi J., Harris A.W. Neurofeedback for post-traumatic stress disorder:

systematic review and meta-analysis of clinical and neurophysiological outcomes. *European Journal of Psychotraumatology*, 2023, vol. 14, no. 2, pp. 2257435.

37. Gapen M., Guy T. Neurofeedback in the Treatment of Early Life Stress: a «Nudge» for the Nervous System? *Current Treatment Options in Psychiatry*, 2021, vol. 8, no. 3, pp. 77-94.

38. Plotnikova E.P., Tananakina T.P., Larkova I.V. et al. Development of self-regulation training using biofeedback for those who suffered from the Special Military Operation. Collection of abstracts of the

XXIV Congress of the I.P. Pavlov Physiological Society, 2023, pp. 313-313. (in Russ.)

39. Dzhabfarova O.A., Danilenko E.N. Neuromyopathies in the correction of attention deficit disorder and hyperactivity in schoolchildren. *Open Education*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 93-96. (in Russ.)

40. Koryagina Yu.V., Efimenko N.V., Abutalimova S.M. et al. Psychophysiological state dynamics of astronauts during post-flight medical rehabilitation at the sanatorium-resort stage. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 189-196. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сабина Маликовна Абуталимова – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmmba.ru.

Оксана Николаевна Акимкина – научный сотрудник центра медико-биологических технологий, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: o.akimkina@skfmmba.ru.

Вероника Сергеевна Нопина – лаборант Лаборатории спортивной нутрициологии, Центр спортивной медицины и реабилитации, ГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; студент, ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, e-mail: vernopina@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Sabina M. Abutalimova – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Candidate Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: nauka@skfmmba.ru.

Oksana N. Akimkina – Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: o.akimkina@skfmmba.ru.

Veronika S. Nopina – Laboratory Assistant of the Sports Nutritiology Laboratory, Center of Sports Medicine and Rehabilitation, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency; Student, N.V. Sklifosovskij Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: vernopina@yandex.ru.

Для цитирования: Нейробиоуправление как технология, оптимизации функционального состояния организма человека по ритмам головного мозга (нарративный обзор) / С.М. Абуталимова, Ю.В. Корягина, О.Н. Акимкина, В.С. Нопина // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4. – № 4(16). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_5

For citation: Abutalimova S.M., Koryagina Yu.V., Akimkina O.N., Nopina V.S. Neurofeedback as a technology for optimizing the functional state of a human's body according to the brain waves (narrative review). *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2025, vol. 4, no. 4(16). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_5