

БОС-тренинг в реабилитации пациентов с неврологическими нарушениями при постковидном синдроме: рандомизированное контролируемое исследование

А.Н. Черкасова¹, Е.С. Иконникова¹, Р.Х. Люкманов¹, О.А. Кириченко¹, О.А. Мокиенко^{1,3}, В.А. Конышев², А.А. Зонов², Н.А. Супонева¹, М.А. Пирадов¹

¹Российский центр неврологии и нейронаук, Москва, Россия;

²Нейроботикс, Зеленоград, Россия;

³Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация

Введение. Распространённость постковидного синдрома (ПКС), среди проявлений которого высока частота встречаемости нарушений эмоциональной сферы, когнитивных функций и проявлений астении, требует разработки методов их преодоления. Одним из таких методов может стать терапия с использованием биологической обратной связи (БОС) по электроэнцефалографии (ЭЭГ), изучение которой в отношении ПКС ограничено единичными работами.

Цель исследования – оценить влияние БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ на восстановление эмоционального состояния, когнитивных функций, снижение проявлений астении у пациентов с ПКС.

Материалы и методы. Пациентов с диагнозом «U09. Состояние после COVID-19» рандомизировали в 2 группы по 10 человек. Участники основной группы проходили 12–15 тренировок БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ с помощью гарнитуры «NeuroPlay-6C» по программе «Нейрокоррекция психоэмоциональных последствий COVID-19». В контрольной группе применяли те же тренировки, но без обратной связи. До и после тренинга оценивали состояние эмоциональной сферы (Опросник Спилбергер-Ханина, Краткий опросник тревоги о здоровье, Шкала депрессии Бека, Шкала психологического стресса), когнитивных функций (Адденбрукская шкала оценки когнитивных функций III, «Таблицы Шульте», тест Струпа, «Башни Лондона», N-back, «10 слов»), параметры астении (Субъективная шкала оценки астении) и качества сна (Индекс тяжести инсомнии).

Результаты. В обеих группах после тренинга произошло значимое снижение личностной тревожности, психологического стресса, депрессии и астении. В основной группе также отмечено снижение тревоги о здоровье и улучшение параметров запоминания информации. При межгрупповом сравнении в основной группе наблюдалась более выраженная динамика снижения проявлений общей астении, увеличения объёма непосредственного воспроизведения слов, удержания вербальной информации в рабочей памяти. Количество пациентов, перешедших на более лёгкий уровень проявления симптомов по отдельным шкалам, в двух группах было сопоставимым.

Заключение. БОС-тренинг по α -ритму ЭЭГ может применяться на амбулаторном этапе реабилитации пациентов с ПКС.

Ключевые слова: постковидный синдром; астения; нарушения эмоциональной сферы; когнитивные нарушения; биологическая обратная связь по электроэнцефалографии

Этическое утверждение. Исследование выполнено неинвазивным методом в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации при добровольном информированном письменном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Российского центра неврологии и нейронаук (протокол № 9-5/22 от 19.10.2022).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешних источников финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Адрес для корреспонденции: 125367, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 80. Российский центр неврологии и нейронаук. E-mail: cherka.sova@mail.ru. Черкасова А.Н.

Для цитирования: Черкасова А.Н., Иконникова Е.С., Люкманов Р.Х., Кириченко О.А., Мокиенко О.А., Конышев В.А., Зонов А.А., Супонева Н.А., Пирадов М.А. БОС-тренинг в реабилитации пациентов с неврологическими нарушениями при постковидном синдроме: рандомизированное контролируемое исследование. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2025;19(3):14–26

DOI: <https://doi.org/10.17816/ACEN.1358>

EDN: <https://elibrary.ru/VXVXFW>

Поступила 07.05.2025 / Принята в печать 21.07.2025 / Опубликовано 30.09.2025

Biofeedback Training in Rehabilitation of Patients with Neurological Disorders in Post-Covid Syndrome: a Randomized Controlled Trial

Anastasiia N. Cherkasova¹, Ekaterina S. Ikonnikova¹, Roman Kh. Lyukmanov¹, Olga A. Kirichenko¹, Olesya A. Mokienko^{1,3}, Vladimir A. Konyshev², Alexandr A. Zonov², Natalia A. Suponeva¹, Mikhail A. Piradov¹

¹Russian Center of Neurology and Neurosciences, Moscow, Russia;

²Neurobotics, Zelenograd, Russia;

³Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. The high prevalence of post-COVID syndrome (PCS), which frequently manifests with emotional disturbances, cognitive impairment, and asthenia, necessitates effective rehabilitation methods. One potential approach is electroencephalography (EEG)-based biofeedback (BFB) therapy, though its use in PCS management has been explored in only a few studies to date.

The study aimed to evaluate the effects of EEG α -rhythm BFB training on emotional state and cognitive function recovery, and reduction of asthenia symptoms in PCS patients.

Materials and methods. Patients diagnosed with U09. Post-COVID-19 condition were randomly assigned to two groups of 10 participants each. The main group underwent 12–15 sessions of EEG α -rhythm BFB training using the NeuroPlay-6C headset with the Neurocorrection of COVID-19 Psychoemotional Consequences protocol, while the control group received identical training without biofeedback. Assessments performed before and after the intervention included: emotional state evaluation (State-Trait Anxiety Inventory [STAI], Short Health Anxiety Inventory [SHA-I], Beck Depression Inventory [BDI], Psychological Stress Measure [PSM-25]), cognitive function assessment (Addenbrooke's Cognitive Examination III [ACE-III], Schulte tables, Stroop test, Tower of London test, N-back test, 10-word memory test), assessment of asthenia (Multidimensional Fatigue Inventory [MFI]), and sleep quality evaluation (Insomnia Severity Index [ISI]).

Results. In both groups, the training resulted in a significant reduction of personal anxiety, psychological stress, depression, and asthenia. The main group additionally demonstrated decreased health-related anxiety and improved information retention parameters. Intergroup comparison revealed more pronounced dynamics in the main group: greater reduction of general fatigue manifestations, increased immediate word recall volume, and improved retention of verbal information in working memory. The proportion of patients transitioning to milder symptom severity levels on individual scales was comparable between both groups.

Conclusion. EEG α -rhythm biofeedback training can be implemented at the outpatient rehabilitation stage for PCS patients.

Keywords: post-COVID syndrome; asthenia; emotional disorders; cognitive impairment; electroencephalographic biofeedback

Ethics approval. The study was conducted non-invasively in accordance with Helsinki Declaration ethical standards, with patients' voluntary informed written consent. The protocol was approved by the Local Ethics Committee of the Russian Center of Neurology and Neurosciences (Protocol No. 9-5/22 dated October 19, 2022).

Source of funding. The study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: 80 Volokolamskoye shosse, Moscow, Russia, 125367. Russian Center of Neurology and Neurosciences. E-mail: cherka.sova@mail.ru. A.N. Cherkasova.

For citation: Cherkasova A.N., Ikonnikova E.S., Lyukmanov R.Kh., Kirichenko O.A., Mokienko O.A., Konyshv V.A., Zonov A.A., Suponeva N.A., Piradov M.A. BFB training in rehabilitation of patients with neurological disorders in post-COVID syndrome: a randomized controlled trial. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2025;19(3):14–26.

DOI: <https://doi.org/10.17816/ACEN.1358>

EDN: <https://elibrary.ru/VXVFW>

Received 07.05.2025 / Accepted 21.07.2025 / Published 30.09.2025

Введение

Коронавирусная инфекция (COVID-19), распространяющаяся в мире с конца 2019 г., повлекла за собой существенные медико-социальные проблемы. Одной из них является наличие у многих пациентов так называемого состояния после COVID-19, или постковидного синдрома (ПКС). Впервые это состояние было представлено Всемирной организацией здравоохранения по методологии Delfi в октябре 2021 г. [1]. По данным крупного метаанализа, распространённость ПКС у пациентов, перенёвших COVID-19, составила 41,79% [2].

Среди симптомов ПКС широко представлены неврологические и психические нарушения. Согласно метаанализам, наиболее часто выявляются симптомы повышенной утомляемости, нарушений сна, тревоги, депрессии, когнитивных нарушений. Показатели их встречаемости варьируют, но являются достаточно высокими [3–5]. Исследуются причины развития этих и других симптомов ПКС, среди которых обсуждаются длительное воспаление, прямое нейротоксическое и нейротропное действие на центральную нервную систему вируса SARS-CoV-2, стрессогенное воздействие пандемии и др. [6, 7].

С учётом масштабов распространения ПКС требуются разработка и оценка эффективности методов лечения и реабилитации пациентов. Ведутся исследования в отношении применения как фармакотерапии, так и нефармакологических методов [8–10]. Одним из таких методов может стать терапия с использованием биологической обратной связи (БОС) по электроэнцефалографии (ЭЭГ) – нейротренинг, нейробиоуправление. Это технология основана на управлении различными параметрами электрической активности головного мозга посредством предоставления обратной связи. Широко представлены исследования по применению БОС-терапии в реабилитации неврологических пациентов с нарушениями когнитивных функций и эмоциональной сферы [11]. Поскольку многие из этих нарушений встречаются в структуре ПКС, можно предполагать эффективность данного метода в отношении его проявлений.

В 2022 г. в России были опубликованы результаты первого контролируемого исследования эффективности БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ у пациентов, перенёвших COVID-19, с нарушениями эмоциональной сферы. Участники основной группы ($n = 24$) проходили 18 занятий тренинга с помощью технологии «Neuro V» («Нейроботикс») со специально подобранными авторскими упражнениями на стимуляцию α -ритма. Участники контрольной группы ($n = 16$) не получали БОС-терапию. До и после воздействия (или при его отсутствии) в обеих группах проводилось психологическое тестирование. В начале исследова-

ния группы не различались по показателям ситуативной и личностной тревожности, депрессии и психологического стресса. Сравнение групп при завершении исследования показало значимые различия по всем указанным переменным в пользу основной группы [12].

Чешские авторы провели пилотное исследование, в котором на группе из 10 пациентов с ПКС показано снижение выраженности тревоги и депрессии, сохранявшееся не менее 1 мес, после 5 сеансов нейробиоуправления по методу Отмера [13]. Имеется работа корейских исследователей, в которой показана эффективность применения нейробиоуправления по α -ритму и сенсомоторному ритму ЭЭГ в составе комплексной программы преодоления постковидных когнитивных и эмоциональных нарушений у старших подростков [14]. Кроме этого, опубликованы описания клинических случаев применения БОС-терапии по ЭЭГ в отношении последствий COVID-19 [15, 16].

Цель работы – оценить влияние БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ на восстановление эмоционального состояния, когнитивных функций, снижение проявлений астении у пациентов с ПКС в рамках слепого рандомизированного контролируемого исследования с активным контролем.

Материалы и методы

Дизайн исследования

Данное слепое рандомизированное контролируемое исследование проводилось на базе Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук в период с июня 2022 г. по июнь 2024 г. в амбулаторном формате. Дизайн исследования представлен на **рис. 1**. Всего в него были включены 20 пациентов, которых рандомизировали в 2 группы методом слепых конвертов. До начала БОС-тренинга всем участникам проводили неврологический осмотр, а также осуществляли качественное нейропсихологическое обследование с применением синдромного анализа по А.Р. Лурия [17] для выявления структуры дефекта высших психических функций при ПКС (эти данные будут представлены отдельно). Перед первым и после последнего сеанса тренинга проводилась количественная оценка эмоционального состояния, когнитивных функций и качества сна. Участники основной группы проходили БОС-тренинг по α -ритму ЭЭГ, в контрольной группе применялись те же тренировки, но без БОС. Для обеспечения ослепления участников исследования использовали следующие меры: все пациенты проходили идентичные процедуры диагностики и тренировок, включая установку гарнитуры для записи ЭЭГ и работу с тем же программным обеспечением. Пациентам заранее не сообщали



Рис. 1. Дизайн исследования.

о принципах работы системы БОС и о том, в какой группе они находятся. Все участники получали одинаковые инструкции и находились в идентичных условиях проведения тренировок, за исключением получения БОС.

Длительность исследования для участников составила 21–27 дней по схеме: неврологический осмотр и нейропсихологическое обследование (1 день), количественная оценка состояния эмоциональной сферы, когнитивных функций и качества сна до тренировок (1 день), 12–15 тренировочных дней по будням с перерывами на выходные дни (кроме этого, допускалось максимум 3 пропуска тренировок за курс, идущих не подряд, с последующей отработкой), количественная оценка состояния эмоциональной сферы, когнитивных функций и качества сна после тренировок (1 день). Все 15 тренировок прошли 18 пациентов, 2 пациента завершили исследование на 14-й и 12-й тренировках соответственно по внешним обстоятельствам, не зависящим от исследования.

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Российского центра неврологии и нейронаук (протокол № 9-5/22 от 19.10.2022). Участие пациентов было полностью добровольным, каждый из них подписывал информированное согласие.

Критерии участия

Набор участников исследования осуществляли с помощью объявлений о его проведении, размещаемых в электронных информационных ресурсах и на стендах Российского центра неврологии и нейронаук, а также в тематических группах пациентов с ПКС в социальных сетях. Для отбора была разработана специальная анкета, ко-

торая содержала вопросы о перенесённом COVID-19 (подтверждение заболевания медицинской документацией, обозначение срока давности, степени тяжести, симптомов, которые беспокоят пациента в настоящее время, наличия хронических заболеваний и принимаемых лекарственных препаратов). Отдельный блок анкеты был посвящён подробному уточнению наличия симптомов тревоги, депрессии, астении, когнитивных нарушений и нарушений сна, которые в наибольшей степени интересовали нас в рамках данного исследования. Анкета, а также госпитальная шкала тревоги и депрессии (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS) [18] отправлялись по запросам в ответ на объявление после телефонного разговора с потенциальными участниками, в ходе которого они более подробно информировались о сроках и формате проведения исследования, задавали интересующие их вопросы. После анализа анкеты и результатов по шкале HADS участники, предварительно подходящие по критериям включения в исследование, приглашались на неврологический осмотр для оценки соответствия их состояния диагнозу «U09. Состояние после COVID-19».

Критерии включения в исследование: диагноз «U09. Состояние после COVID-19»; субклиническое или лёгкое клиническое проявление тревоги и/или депрессии (не более 16 баллов по шкале HADS); согласно анкете, наличие симптомов из группы депрессии и тревоги и/или из группы когнитивных нарушений и/или из группы нарушений сна и астении, которые должны быть ассоциированы с перенесённым COVID-19; возраст участников от 18 лет; добровольное согласие.

Критерии невключения: наличие иных заболеваний, которые могут объяснять симптомы тревоги, депрессии,

когнитивные нарушения, нарушения сна, астению; приём антидепрессантов, противотревожных и других препаратов, которые могут влиять на исследуемые функции, на этапе их подбора или изменения дозировок.

Критерии исключения: отказ пациента от участия, жалобы пациента на усиление симптомов тревоги или депрессии до выраженных клинических проявлений.

За период исследования проанализировано 87 обращений на участие, поступивших по разным указанным каналам. Отказались от участия на этапе детального телефонного информирования об амбулаторном формате, территориальном расположении, длительности проведения исследования 46 пациентов. Отказ после анализа анкеты и шкалы HADS получили 19 пациентов, так как соответствовали тем или иным критериям невключения. Ещё 2 пациента не вошли в исследование после осмотра врачом-неврологом (одному из них была рекомендована консультация врача-психиатра, другой получил отказ в связи с приёмом определённых лекарственных препаратов).

Таким образом, в основную часть исследования было отобрано 20 пациентов с ПКС. Подтверждённый COVID-19 перенесли более 1 раза 5 пациентов, в их случае давность заболевания отсчитывали от того случая, в который появились симптомы ПКС. Согласно анкете, 18 пациентов обозначали наличие симптомов из всех рассматриваемых групп, ещё 2 отмечали симптомы из всех групп, кроме когнитивных нарушений. На момент проведения исследования 2 пациента принимали антидепрессанты, но не находились на этапе подбора или изменения дозировки, остальные пациенты не принимали медикаментозные препараты.

Тренинг с использованием технологии БОС по α -ритму ЭЭГ

Пациенты основной группы проходили 12–15 тренировок по 30–50 мин с использованием технологии БОС по α -ритму ЭЭГ «NeuroPlay-6C» («Нейроботикс») по встроенной программе «Нейрокоррекция психоэмоциональных последствий COVID-19». Гарнитура и программа были предоставлены в безвозмездное пользование. Гарнитура представляет собой беспроводную мобильную 6-канальную систему записи ЭЭГ (каналы Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2) с помощью сухих электродов, которые закреплены на специальной повязке, фиксируемой вокруг головы. Регистрируемые сигналы передаются на основное устройство по Bluetooth. Программное обеспечение посредством анализа спектральных характеристик ЭЭГ предоставляет пациентам БОС об их состоянии.

В процессе тренинга пациенты сидели за столом в удобном кресле перед компьютерным монитором. Каждая тренировка включала теоретический блок с разбором тех упражнений, которые предстоит выполнить, и практический блок с их реализацией. В ходе выполнения заданий пациентам предлагалось следовать голосовым инструкциям, направленным на управление дыханием, мышечное расслабление, ментальные тренировки, практики ме-

дитации. Все занятия тренинга проходили с закрытыми глазами. В процессе выполнения упражнений пациенты получали слуховую обратную связь о своём состоянии. При неуспешном выполнении заданий нарастал шум, который препятствовал восприятию фоновой музыки. Если пациенты возвращались к ожидаемому состоянию, при котором регистрировался α -ритм, шум пропадал. В ходе прохождения тренинга участники основной группы должны были обучаться регуляции своего состояния посредством получения БОС.

Пациенты контрольной группы проходили 12–15 тренировок по 30–50 мин с имитацией БОС по ЭЭГ «Sham-NeuroPlay» по встроенной программе «Нейрокоррекция психоэмоциональных последствий COVID-19». Эта версия программы была специально предоставлена компанией «Нейроботикс» для данного исследования. Как и в основной группе, пациентам надевалась повязка с электродами, они так же проходили все упражнения по регуляции своего состояния с голосовым помощником, встроенным в программу, но не получали в процессе обратной связи.

Инструменты оценки состояния пациентов до и после тренинга

С целью изучения влияния проведённых тренировок на состояние эмоциональной сферы в обеих группах до и после завершения воздействия применяли опросники, которые заполнялись в электронном виде:

- Опросник Спилбергера–Ханина (State-Trait Anxiety Inventory, STAI [19] в адаптации Ю.Л. Ханина [20]), содержащий 2 шкалы: ситуативной (реактивной) тревожности и личностной тревожности (показатели тяжести симптомов по каждой из них: 0–29 баллов – низкий уровень тревожности, 30–45 – умеренный, 46–80 – высокий);
- Краткий опросник тревоги о здоровье (Short Health Anxiety Inventory, SHAI [21] в адаптации Т.А. Желонкиной и соавт. [22]), в котором анализируются общее количество баллов (максимальное возможное значение – 54) и показатели по 3 субшкалам: «Тревога о здоровье», «Страх негативных последствий заболевания», «Бдительность к телесным ощущениям»;
- Шкала депрессии Бека (Beck Depression Inventory, BDI [23] в адаптации Н.В. Тарабриной [24]), в которой оценивается общее количество баллов (показатели тяжести симптомов: 0–9 баллов – отсутствие депрессивных симптомов, 10–15 – лёгкая депрессия, 16–19 – умеренная, 20–29 – выраженная, 30–63 – тяжёлая), а также значения по когнитивно-аффективной субшкале и субшкале соматизации;
- Шкала психологического стресса (Psychological Stress Measure, PSM-25) [25] в адаптации Н.Е. Водопьяновой [26]), в которой оценивается общее количество баллов (показатели тяжести состояния: 0–99 баллов – низкий уровень стресса, 100–155 – средний, более 155 – высокий).

Для исследования влияния тренировок на состояние когнитивных функций обе группы участников прошли количественную нейропсихологическую оценку до и после завершения экспериментального воздействия. Обследование

проводил квалифицированный нейропсихолог, используя методики, направленные как на скрининговую диагностику когнитивной сферы в целом, так и на оценку состояния тех когнитивных функций, которые, согласно данным литературы [10], наиболее подвержены нарушениям при ПКС.

Среди бланковых методик применяли следующие:

- скрининговая Адденбрукская шкала оценки когнитивных функций III (Addenbrooke's cognitive examination III, ACE-III [27], валидированная Н.А. Варако и др. [28]) с оценкой общего количества баллов (максимальное возможное значение – 100) и показателями по 5 доменам: внимание (максимум 18 баллов), память (максимум 26 баллов), скорость вербальных ассоциаций (максимум 14 баллов), речь (максимум 26 баллов), зрительно-пространственные функции (максимум 16 баллов);
- тест на вербальную фонетическую и семантическую беглость (Phonological and semantic verbal fluency test), который проводили в рамках ACE-III, но отдельно оценивали по общему количеству верно названных за минуту слов;
- методика «Таблицы Шульте» [29], после проведения которой рассчитывали параметры эффективности работы (среднее время, затраченное на работу с 5 таблицами), степени вработываемости (время выполнения 1-й таблицы, разделённое на среднее время по всем таблицам) и психической устойчивости (время выполнения 4-й таблицы, разделённое на среднее время по всем таблицам) по А.Ю. Козыревой;
- методика «10 слов» по А.Р. Лурия [17], в ходе проведения которой фиксировали параметры объёма непосредственного и отсроченного воспроизведения слов, а также количество попыток, требующееся для полного заучивания слов.

Тест Струпа [30], при выполнении которого оценивали параметры влияния интерференции в условии чтения слов и в условии называния цветов, рассчитываемые программой автоматически, проводили с помощью аппаратно-программного комплекса Schuhfried (<https://www.schuhfried.com/en/>).

Остальные компьютеризированные нейропсихологические методики проводили с помощью программного обеспечения Psychology Experiment Building Language Battery [31]:

- тест «Башни Лондона» [32], в котором оценивали общее количество ходов, потребовавшихся для решения всех субтестов на планирование, и общее время, затраченное на прохождение всего теста;
- тест N-back [33] в условии одновременного удержания в рабочей памяти двух рядов стимулов (буквенных и пространственных) с задачей на сравнение тестовых стимулов, появляющихся в данный момент на экране, со стимулами, предъявляемыми на n шагов назад ($n = 1, 2, 3$). Для оценки рассматривали серии с $n = 2$ и 3 , в каждой из которых регистрировали количество верных ответов и ложных тревог на буквенные и пространственные стимулы. После проведения теста в каждой серии ($n = 2$ и 3) для каждого типа стимулов рассчитывали d' prime sensitivity index (d') [34] по формуле:

$$d' = Z(\text{частота верных ответов}) - Z(\text{частота ложных тревог}),$$

где частота верных ответов = количество верных ответов пациента / максимально возможное количество верных ответов; частота ложных тревог = количество ложных тревог пациента / количество стимулов, на которые не нужно было реагировать; указанные частоты стандартизировали с помощью Z-преобразования.

Помимо указанных методик, направленных на эмоциональную и когнитивную сферы, у пациентов оценивали субъективное качество сна с помощью Индекса тяжести инсомнии (Insomnia Severity Index, ISI [35] в адаптации Е.И. Рассказовой и соавт. [36]), в котором фиксировалось общее количество баллов (показатели тяжести симптомов: 0–7 баллов – норма, 8–14 баллов – лёгкие нарушения сна, 15–21 балл – умеренные, 22–28 баллов – выраженные). Также диагностировали проявления астении с помощью Субъективной шкалы оценки астении (Multidimensional Fatigue Inventory, MFI-20 [37], переведённая в России) с регистрацией общего количества баллов (максимальное возможное значение – 100) и показателей по 5 субшкалам: «Общая астения», «Пониженная активность», «Снижение мотивации», «Физическая астения», «Психическая астения».

Статистическая обработка данных

В связи с небольшим объёмом выборок и ненормальностью распределения данных по ряду переменных (в соответствии с критерием Колмогорова–Смирнова) для статистического анализа использовали непараметрические методы. Различия между группами по возрасту и всем рассматриваемым переменным до тренировок оценивали с помощью U-критерия Манна–Уитни для 2 независимых выборок. Для сравнения групп по номинативной переменной пола участников применяли точный тест Фишера. Эффект тренировок в каждой группе по отдельности оценивали с помощью критерия Вилкоксона (W) для 2 связанных выборок (сравнение показателей до и после тренировок). Для статистического сравнения протоколов воздействия в каждой группе были рассчитаны дельты изменений между показателями до и после тренинга по всем обозначенным переменным. Их сравнение осуществляли с помощью U-критерия Манна–Уитни для 2 независимых выборок. Анализировали также количество пациентов, перешедших на более лёгкий уровень проявлений тревоги, депрессии, психологического стресса и нарушений сна в каждой группе (по Опроснику Спилбергера–Ханина, Шкале депрессии Бека, Шкале психологического стресса, Индексу тяжести инсомнии). Межгрупповое сравнение доли таких пациентов осуществляли с помощью точного теста Фишера. Уровень статистической значимости принят равным 0,05. Расчёты осуществляли в программе «IBM SPSS Statistics v. 23». Данные представленные в виде медианы [25-го; 75-го квартилей].

Результаты

Сравнение групп пациентов в начале исследования

Демографические и основные исходные данные пациентов основной и контрольной групп приведены в табл. 1.

Таблица 1. Демографические и основные исходные данные пациентов двух групп

Характеристика	Основная группа (<i>n</i> = 10)	Контрольная группа (<i>n</i> = 10)	Значение U-критерия Манна-Уитни	<i>p</i>
Пол	4 мужчин, 6 женщин	1 мужчина, 9 женщин		0,303
Возраст, лет	41 [32; 50]	31 [24; 40]	30	0,143
Давность перенесённого заболевания COVID-19, мес	23 [15; 26]	16 [9; 18]	26	0,075
HADS — оценка тревоги	8 [5; 11]	8 [6; 10]	32	0,190
HADS — оценка депрессии	9 [8; 10]	7 [5; 11]	45	0,739

Группы не различались по полу, возрасту, давности перенесённого заболевания COVID-19, а также по показателям скрининговой оценки тревоги и депрессии по шкале HADS, которая применялась на этапе отбора участников.

Участники обеих групп прошли количественную оценку состояния эмоциональной сферы, когнитивных функций и нарушений сна до тренинга. При сравнении всех рассматриваемых переменных значимые различия между группами были выявлены по шкале психологического стресса. Показатели стресса в контрольной группе оказались выше, чем в основной. При этом медианное значение в обеих группах соответствовало среднему уровню стресса. Также различия отмечались по одному параметру выполнения теста Струпа (влияния интерференции в условии чтения слов). Все остальные показатели до исследования не имели значимых различий (табл. 2).

По шкалам, позволяющим оценить степень тяжести нарушений эмоциональной сферы и сна, уровни тяжести в обеих группах были сопоставимы (при сравнении того, в какой интервал баллов по каждой из шкал попадало медианное значение):

- показатели ситуативной и личностной тревожности находились на высоком уровне;
- показатели депрессии соответствовали слабой степени выраженности;
- показатели стресса имели средний уровень;
- показатели качества сна указывали на лёгкие нарушения.

При скрининговой оценке когнитивных функций по шкале ACE-III явных когнитивных нарушений, которые могли бы вызывать подозрение на деменцию (88 баллов и ниже при чувствительности 1,00), в обеих группах не выявлено (табл. 2).

Оценка внутригрупповой динамики состояния участников исследования

1. Внутригрупповая динамика состояния эмоциональной сферы

При сравнении показателей до и после прохождения тренинга как в основной, так и в контрольной группе произошло значимое улучшение по ряду параметров (здесь и далее на рисунках представлены результаты по основным показателям шкал и опросников, данные по субшкалам отражены в тексте):

- снижение личностной тревожности (рис. 2, А);
- снижение психологического стресса (рис. 2, В);
- снижение общих показателей депрессии по шкале Бека (рис. 2, С), а также баллов по когнитивно-аффективной субшкале (в основной группе $W = -2,814$; $p = 0,005$; в контрольной — $W = -2,537$; $p = 0,012$) и субшкале соматизации (в основной группе $W = -1,998$; $p = 0,046$; в контрольной — $W = -2,537$; $p = 0,012$);
- снижение показателей по субшкале бдительности к проявлениям болезни опросника SHAI (в основной группе $W = -2,558$; $p = 0,011$; в контрольной — $W = -2,701$; $p = 0,007$).

Кроме того, в основной группе были снижены общие показатели тревоги о здоровье по опроснику SHAI, чего не отмечалось в контрольной группе (рис. 2, D). По остальным оцениваемым переменным динамики не было.

2. Внутригрупповая динамика состояния когнитивных функций

При сравнении показателей до и после тренинга в основной группе отмечено улучшение выполнения методики «10 слов» по А.Р. Лурия: увеличился объём непосредственного воспроизведения слов ($W = -2,356$; $p = 0,018$), снизилось количество попыток, требующихся для запоминания всех 10 слов ($W = -2,565$; $p = 0,010$). Для иллюстрации данных изменений приведём в пример динамику кривой заучивания 10 слов пациентки № 7 основной группы (рис. 3). Иных значимых изменений в отношении параметров когнитивной сферы не выявлено.

В контрольной группе изменения в когнитивной сфере имели разнонаправленный характер: после тренинга улучшилось общее время выполнения теста «Башни Лондона» ($W = -2,497$; $p = 0,013$), но ухудшился показатель эффективности удержания буквенных стимулов в рабочей памяти (тест N-back, $n = 3$, буквенные стимулы, $d' - W = -2,293$; $p = 0,022$). Иной значимой динамики не наблюдалось.

3. Внутригрупповая динамика качества сна и проявлений астении

При сравнении показателей до и после тренинга как в основной, так и в контрольной группе произошло значимое снижение проявлений астении как по суммарному баллу Субъективной шкалы оценки астении (рис. 4), так и по отдельным субшкалам:

Таблица 2. Сравнение двух групп пациентов по всем оцениваемым параметрам до начала воздействия

Показатель	Основная группа (n = 10)	Контрольная группа (n = 10)	Значение U-критерия Манна-Уитни	p
Показатели эмоциональной сферы				
STAI, ситуативная тревожность	49,5 [37,3; 55,0]	49,5 [37,0; 54,3]	50	1,000
STAI, личностная тревожность	56 [42,8; 60,8]	50,5 [43,7; 63,5]	48,5	0,912
SHAI, общий балл	13 [10; 17]	13 [8,8; 21,0]	48,5	0,912
SHAI, тревога о здоровье	4,5 [3,0; 7,3]	5,5 [2,0; 9,3]	46	0,796
SHAI, страх негативных последствий заболевания	5 [3,8; 6,3]	3,5 [3,0; 5,3]	35	0,280
SHAI, бдительность к телесным ощущениям	3,5 [1,8; 6,0]	4,5 [2,8; 6,5]	39	0,436
BDI, общий балл	11,5 [8,0; 14,7]	15,5 [9,8; 17,8]	35,5	0,280
BDI, когнитивно-аффективная субшкала	6 [5,0; 8,3]	8 [6,0; 11,3]	32,5	0,190
BDI, субшкала соматизации	5 [3; 7]	5,5 [3,8; 7,5]	44	0,684
PSM-25	102 [87; 115]	115 [99; 120]	18	0,015
Показатели когнитивной сферы				
ACE-III, общий балл	98 [95,5; 99,3]	98 [95,5; 98,3]	41	0,529
ACE-III, внимание	18 [18; 18]	18 [17; 18]	39,5	0,436
ACE-III, память	25,5 [25; 26]	25 [25; 25]	31,5	0,165
ACE-III, скорость вербальных ассоциаций	13 [11,8; 14,0]	13 [12,8; 13,3]	45,5	0,739
ACE-III, речь	26 [25; 26]	26 [25,8; 26,0]	46,5	0,796
ACE-III, зрительно-пространственные функции	16 [15; 16]	16 [15,5; 16,0]	47	0,853
Вербальная фонетическая беглость	17,5 [14; 19]	18 [17; 21,5]	40	0,481
Вербальная семантическая беглость	22,5 [18,5; 25,3]	22,5 [16,5; 26,0]	50	1,000
Таблицы Шульте, эффективность	32,3 [26,1; 41,4]	28,7 [27,1; 39,4]	44	0,684
Таблицы Шульте, встраиваемость	0,96 [0,92; 1,01]	0,99 [0,91; 1,05]	41,5	0,529
Таблицы Шульте, психическая устойчивость	0,99 [0,95; 1,08]	1,06 [0,97; 1,13]	37	0,353
Тест «10 слов», объём непосредственного воспроизведения	6 [5,8; 7,0]	8 [6; 8]	25,5	0,063
Тест «10 слов», объём отсроченного воспроизведения	9 [7,8; 10,0]	9 [7,8; 10,0]	34	0,247
Тест «10 слов», количество попыток до заучивания	3,5 [3,0; 5,3]	2,5 [2,0; 4,2]	49	0,971
Тест Струпа, интерференция в условии чтения слов	0,2 [0,17; 0,22]	0,11 [0,09; 0,15]	22	0,035
Тест Струпа, интерференция в условии называния цветов	0,1 [0,08; 0,17]	0,08 [0,05; 0,10]	28	0,105
«Башни Лондона», общее количество ходов	150 [136; 162]	158 [151; 166]	34	0,247
«Башни Лондона», время выполнения	392 [361; 533]	344 [297; 623]	34	0,247
N-back, n = 2, буквенные стимулы, d'	1,2 [0,60; 2,05]	1,47 [0,68; 2,13]	46,5	0,796
N-back, n = 2, пространственные стимулы, d'	1,8 [0,80; 2,28]	1,63 [0,64; 2,13]	46	0,796
N-back, n = 3, буквенные стимулы, d'	1,07 [0,48; 1,15]	1,11 [0,72; 1,86]	40	0,481
N-back, n = 3, пространственные стимулы, d'	0,84 [0,16; 1,17]	0,93 [0,64; 1,12]	47	0,853
Показатели качества сна и оценки астении				
ISI	9 [2,8; 17,0]	12,5 [6,0; 17,3]	40,5	0,481
MFI-20, общий балл	65 [49,5; 70,5]	68,5 [55,0; 76,5]	34	0,247
MFI-20, общая астения	16 [14,8; 16,3]	14,5 [13,8; 17,0]	41,5	0,529
MFI-20, пониженная активность	13,5 [9,8; 16,3]	13,5 [8,7; 17,3]	49	0,971
MFI-20, снижение мотивации	9 [6; 12]	11,5 [9; 15]	26	0,075
MFI-20, физическая астения	11,5 [9,0; 14,3]	13 [11,8; 14,5]	40,5	0,481
MFI-20, психическая астения	12 [7,5; 17,3]	13 [11,8; 14,5]	44,5	0,684

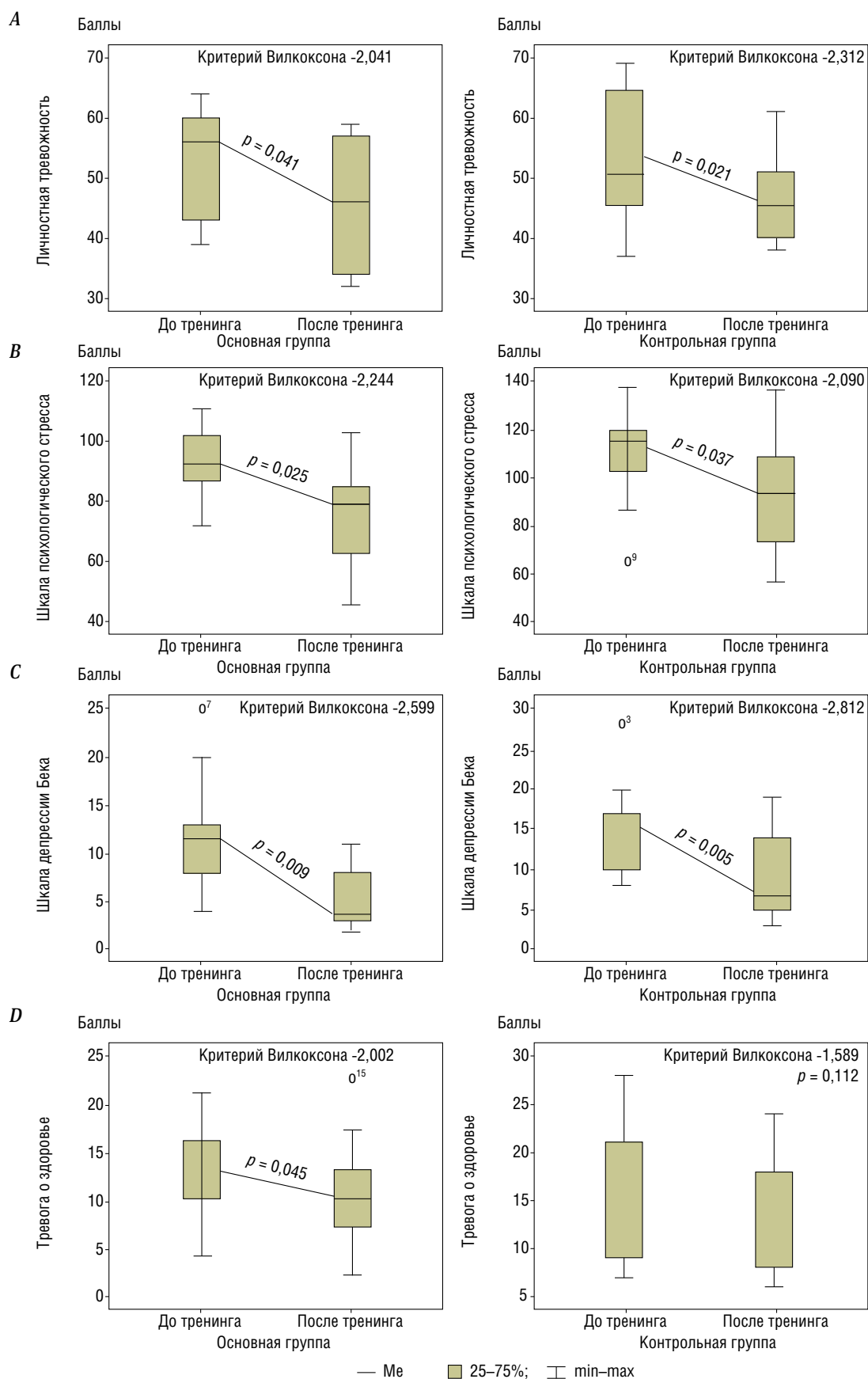


Рис. 2. Внутригрупповая динамика показателей по шкале личностной тревожности Опросника Спилбергера-Ханина (А), Шкале психологического стресса (В), Шкале депрессии Бека (С), Краткому опроснику тревоги о здоровье (D).

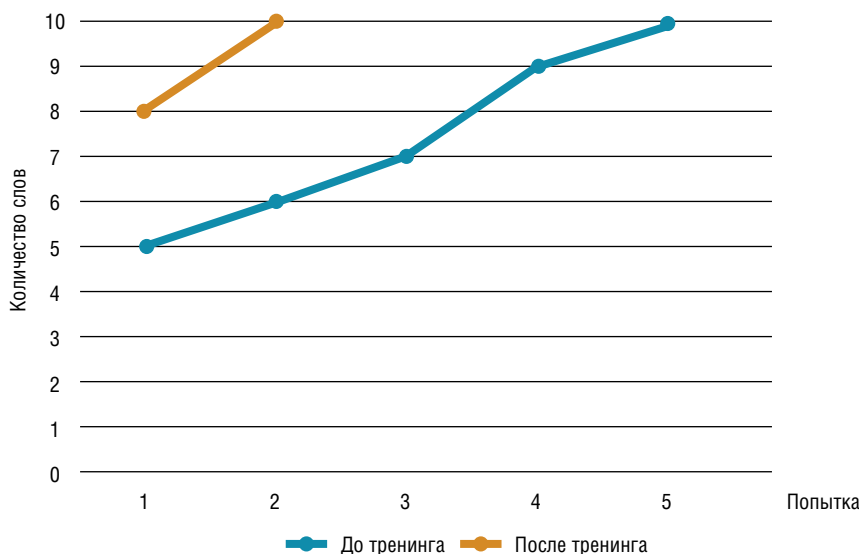


Рис. 3. Кривые заучивания 10 слов до и после тренинга пациентки № 7 основной группы.

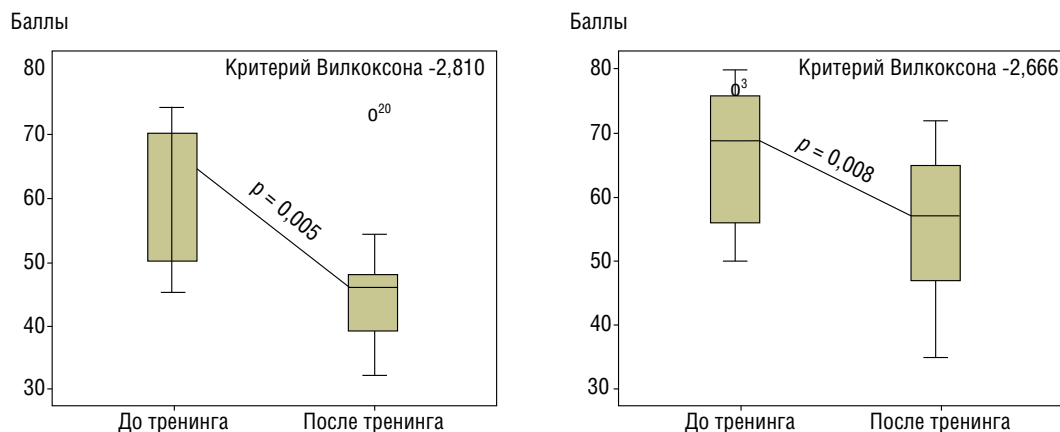


Рис. 4. Внутригрупповая динамика общих показателей Субъективной шкалы оценки астении в обеих группах.

- общей астении (в основной группе $W = -2,670$; $p = 0,008$; в контрольной группе $W = -2,025$; $p = 0,043$);
- пониженной активности (в основной группе $W = -2,677$; $p = 0,007$; в контрольной группе $W = -2,388$; $p = 0,017$);
- физической астении (в основной группе $W = -2,113$; $p = 0,035$; в контрольной группе $W = -2,120$; $p = 0,034$);
- психической астении (в основной группе $W = -2,257$; $p = 0,024$; в контрольной группе $W = -2,094$; $p = 0,036$).

В контрольной группе имелось также улучшение по субшкале снижения мотивации ($W = -2,002$; $p = 0,045$).

Значимых улучшений качества сна в обеих группах продемонстрировано не было.

Межгрупповое сравнение эффективности воздействия

При сравнении дельт изменений (степени улучшения по всем обозначенным переменным) статистически значимые различия между группами наблюдали по двум

параметрам когнитивной сферы. В основной группе по сравнению с контрольной было показано более выраженное улучшение показателей непосредственного воспроизведения в методике «10 слов» по А.Р. Лурия ($U = 25,5$; $p = 0,036$), а также больший показатель эффективности удержания буквенных стимулов в рабочей памяти (тест N-back; $n = 3$; буквенные стимулы, $d' - U = 23,5$; $p = 0,034$). Различия между группами также наблюдали по субшкале общей астении Субъективной шкалы оценки астении. В основной группе имелось более существенное изменение, чем в контрольной ($U = 19,5$; $p = 0,019$). Динамика по всем остальным измеряемым параметрам была сопоставима в обеих группах.

Для статистического сравнения двух видов воздействия было проанализировано количество пациентов, перешедших на более лёгкий уровень проявлений тревоги, депрессии, психологического стресса и нарушений сна в обеих группах. Доля таких пациентов по каждой из шкал в основной и контрольной группах оказалась сопоставимой (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение доли пациентов, достигших перехода ряда симптомов на более лёгкий уровень

Доля пациентов	Основная группа (n = 10)	Контрольная группа (n = 10)	p
Достигли улучшения по STAI, шкала ситуативной тревожности, n (%)	5 (50)	6 (60)	1,000
Достигли улучшения по STAI, шкала личностной тревожности, n (%)	2 (20)	1 (10)	1,000
Достигли улучшения по BDI, n (%)	6 (60)	5 (50)	1,000
Достигли улучшения по Шкале психологического стресса, n (%)	2 (20)	4 (40)	0,628
Достигли улучшения по ISI, n (%)	4 (40)	3 (30)	1,000

Обсуждение

В данном слепом рандомизированном контролируемом исследовании при применении и БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ, и различных психологических практик без обратной связи установлена положительная динамика в виде снижения личностной тревожности, психологического стресса, проявлений депрессии и астении. В случае использования БОС-терапии также выявлено снижение тревоги о здоровье и улучшение параметров запоминания информации по методике «10 слов». Психологические практики без обратной связи оказали разнонаправленный эффект на отдельные параметры когнитивной сферы.

При сравнении протоколов воздействия применение БОС-терапии оказало больший эффект на снижение общей астении, увеличение объёма непосредственного воспроизведения слов при их заучивании, удержание вербальной информации в рабочей памяти. Однако в отношении количества пациентов, перешедших на более лёгкий уровень проявления симптоматики по опросникам состояния эмоциональной сферы и качества сна, протоколы были сопоставимы.

Полученные результаты в отношении БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ соотносятся с представленными в литературе данными об эффективном применении БОС-терапии при тревожных расстройствах [38], депрессии [39], стрессе [40], астении [41] вне ПКС. Кроме того, имеются сведения о влиянии БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ на состояние рабочей и эпизодической памяти у здоровых людей [42]. Улучшения по параметрам когнитивной сферы в нашем исследовании могут являться как непосредственным результатом влияния БОС-терапии на рассматриваемые функции, так и следствием снижения астении (более выраженного в основной группе), которое могло способствовать улучшению нейродинамических параметров психической деятельности и, соответственно, привести к увеличению объёма непосредственного воспроизведения и снижению количества попыток, требующихся для запоминания в методике «10 слов».

Результаты, полученные при применении различных психологических практик, указывают на то, что упражнения по управлению дыханием, мышечному расслаблению, ментальные тренировки, практики медитации оказывают самостоятельный положительный эффект на ряд параметров эмоциональной сферы и проявлений астении,

независимо от наличия обратной связи. Исходя из этого, данные, полученные при применении БОС-терапии, могут быть частично объяснены неспецифическим воздействием применяемых упражнений, а не наличием обратной связи как таковой.

К ограничениям настоящей работы относятся небольшие выборки участников (их объём может объяснять различие между группами по некоторым психологическим параметрам до воздействия), отсутствие предварительного расчёта статистической мощности и размера требуемой выборки и анализа нейрофизиологических изменений параметров ЭЭГ до и после тренинга. В данной работе контрольная группа не получала никакой обратной связи, что могло вызывать у участников подозрение в отношении осуществляемого воздействия с учётом того, что каждый сеанс они проводили в надетой гарнитуре и получали идентичные с основной группой инструкции.

В будущих работах для изучения специфического вклада обратной связи возможно применение в контрольной группе ложной обратной связи. Кроме того, возможно дополнительное включение группы с отсутствием воздействия для контроля плацебо-эффекта от участия в исследовании. Для полноценного исследования эффективности БОС-терапии стоит осуществлять оценку состояния пациентов через определённые интервалы (месяц/полгода/год) после воздействия.

Насколько нам известно, проведённое исследование является первым в мире сравнением эффективности БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ и психологических практик без обратной связи в отношении симптомов ПКС.

Заключение

При сопоставимой эффективности БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ и психологических практик без обратной связи по ряду параметров эмоциональной сферы БОС-терапия имеет преимущества в снижении общей астении, увеличении объёма непосредственного воспроизведения слов при их заучивании, удержании вербальной информации в рабочей памяти. Полученные результаты могут указывать на возможность применения БОС-тренинга по α -ритму ЭЭГ для коррекции эмоционального состояния, когнитивных функций и проявлений астении на амбулаторном этапе реабилитации пациентов с ПКС, в том числе в домашних условиях.

Список источников | References

1. Soriano JB, Murthy S, Marshall JC, et al. A clinical case definition of post-COVID-19 condition by a Delphi consensus. *Lancet Infect Dis*. 2022;22(4):e102–e107. doi: 10.1016/S1473-3099(21)00703-9
2. Sk Abd Razak R, Ismail A, Abdul Aziz AF, et al. Post-COVID syndrome prevalence: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*. 2024;24(1):1785. doi: 10.1186/s12889-024-19264-5
3. Anaya J-M, Rojas M, Salinas ML, et al. Post-COVID syndrome. A case series and comprehensive review. *Autoimmunity Reviews*. 2021;20(11):102947. doi: 10.1016/j.autrev.2021.102947
4. Zawilska JB, Kuczyńska K. Psychiatric and neurological complications of long COVID. *J. Psychiatr Res*. 2022;156:349–360. doi: 10.1016/j.jpsychires.2022.10.045
5. Premraj L, Kannapadi NV, Briggs J, et al. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: a meta-analysis. *J Neurol Sci*. 2022;434:120162. doi: 10.1016/j.jns.2022.120162
6. Maltezou HC, Pavli A, Tsakris A. Post-COVID syndrome: an insight on its pathogenesis. *Vaccines*. 2021;9(5):497. doi: 10.3390/vaccines9050497
7. Медведев В.Э., Фролова В.И., Гушанская Е.В. и др. Астенические расстройства в рамках постковидного синдрома. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021;121(4):152–158. Medvedev VE, Frolova VI, Gushanskaya EV, et al. Astenic disorders within the framework of post-covid syndrome. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2021;121(4):152–158. doi: 10.17116/jnevro2021121041152
8. Banerjee I, Robinson J, Sathian B. Treatment of long COVID or Post COVID syndrome: a pharmacological approach. *Nepal J Epidemiol*. 2022;12(3):1220–1223. doi: 10.3126/nje.v12i3.48532
9. Sakai T, Hoshino C, Hirao M, et al. Rehabilitation of patients with post-COVID-19 syndrome: a narrative review. *Prog Rehabil Med*. 2023;8:20230017. doi: 10.2490/prm.20230017
10. Möller M, Borg K, Janson C, et al. Cognitive dysfunction in post-COVID-19 condition: mechanisms, management, and rehabilitation. *J Intern Med*. 2023;294(5):539–681. doi: 10.1111/joim.13720
11. Трофимова А.К., Каютина Д.В., Исайчев С.А. и др. Технологии биоуправления в системе клинко-психологической диагностики и нейрореабилитации. *Вопросы психологии*. 2018;2:111–121. Trofimova AK, Kayutina DV, Isaichev SA, et al. Biofeedback technologies in the system of clinical-psychological diagnostics and neuro-rehabilitation. *Voprosy Psikhologii*. 2018;2:111–121.
12. Зонов А.А., Насырова Е.Г., Леонтьев Е.А. Изменения психофизиологических показателей после тренинга с использованием нейро-биоуправления у лиц, перенесших COVID-19. *Acta Medica Eurasica*. 2022;2:1–8. Zonov AA, Nasyrova EG, Leontiev EA. Changes in psycho-physiological indicators after training with the use of neuro-biofeedback in people who had COVID-19. *Acta Medica Eurasica*. 2022;2:1–8. doi: 10.47026/2413-4864-2022-2-1-8
13. Orendáčová M, Kvašňák E., Vránová J. Effect of neurofeedback therapy on neurological post-COVID-19 complications (a pilot study). *PLoS One*. 2022;17(7):e0271350. doi: 10.1371/journal.pone.0271350
14. Cho Y, Park W. The effects of integrated neurofeedback and salutogenesis nursing intervention to relieve post-COVID-19 symptoms in late adolescents. *Journal of Korean Academy of Psychiatric and Mental Health Nursing*. 2023;32(4):402–420. doi: 10.12934/jkpmhn.2023.32.4.402
15. Masuko T, Sasai-Masuko H. Efficacy of original neurofeedback treatment method for brain fog from COVID-19: a case report. *Cureus*. 2024;16(3):e56519. doi: 10.7759/cureus.56519
16. Łuckoś M, Cielebał K, Kamiński P. EEG neurofeedback in the treatment of cognitive dysfunctions after the infection of SARS-COV-2 and long COVID-19. *Acta Neuropsychologica*. 2021;19(3):361–372. doi: 10.5604/01.3001.0015.2464
17. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. М.; 1962. Luriya AR. Higher cortical functions in man and their disturbances in local brain lesions. Moscow; 1962. (In Russ.)
18. Zigmond AS, Snaith RP The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983;67(6):361–370. doi: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x
19. Spielberger CD. Test Anxiety Inventory: preliminary professional manual. Menlo Park; 1980.
20. Ханин Ю.Л. Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилберга. Л.; 1976. Hanin YL. A Quick guide to the Spielberger's test anxiety inventory. Leningrad; 1976. (In Russ.)
21. Salkovskis PM, Rimes KA, Warwick HMC, Clark DM. The health anxiety inventory: development and validation of scales for the measurement of health anxiety and hypochondriasis. *Psychol Med*. 2002;32(5):843–853. doi: 10.1017/S0033291702005822
22. Желонкина Т.А., Ениколопов С.Н., Ермушева А.А. Адаптация русскоязычной версии методики P. Salkovskis «Краткий опросник тревоги о здоровье» (Short Health Anxiety Inventory). *Теоретическая и экспериментальная психология*. 2014;7(1):30–37. Zhelonkina TA, Yenikolopov SN, Ermusheva AA. Adaptation of the Russian version of "Short health anxiety inventory" developed by P. Salkovskis. *Theoretical and Experimental Psychology*. 2014;7(1):30–37.
23. Beck AT, Ward CH, Mendelson M, et al. An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry*. 1961;4(6):561–571. doi: 10.1001/archpsyc.1961.01710120031004
24. Тарабрина Н.В. Практикум по психологии посттравматического стресса. СПб.; 2001. Tarabrina NV. Workshop on the psychology of post-traumatic stress. St. Petersburg; 2001. (In Russ.)
25. Lemyre L, Tessier R, Fillion L. La Mesure du stress psychologique: manuel d'utilisation. Québec; 1990.
26. Водопьянова Н. Е. Психодиагностика стресса. СПб.; 2009. Vodopyanova NE. Psychodiagnostics of stress. St. Petersburg; 2009. (In Russ.)
27. Noone P. Addenbrooke's Cognitive Examination-III. *Occup Med*. 2015;65(5):418–420. doi: 10.1093/occmed/kqv041
28. Варако Н.А., Архипова Д.В., Юсупова Д.Г. и др. Валидация русскоязычной версии Адденбрукской шкалы оценки когнитивных функций III (Addenbrooke's Cognitive Examination III – ACE-III). *Вопросы психологии*. 2024;70(1):96–103. Varako NA, Arkhipova DV, Yusupova DG, et al. Validation of the Russian-language version of Addenbrooke's Cognitive Examination III – ACE-III. *Voprosy Psikhologii*. 2024;70(1):96–103.
29. Рубинштейн С.Я. Экспериментальные методики патопсихологии. М.; 1999. Rubinstein SYa. Experimental methods of pathopsychology. Moscow; 1999. (In Russ.)
30. Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol*. 1935;18(6):643–662. doi: 10.1037/h0054651
31. Mueller ST, Piper BJ. The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL test battery. *J Neurosci Methods*. 2014;222:250–259. doi: 10.1016/j.jneumeth.2013.10.024
32. Shallice T. Specific impairments of planning. *Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 1982;298(1089):199–209. doi: 10.1098/rstb.1982.0082
33. Kirchner WK. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *J Exp Psychol*. 1958;55(4):352–358. doi: 10.1037/h0043688
34. Haatveit BC, Sundet K, Hugdahl K, et al. The validity of d prime as a working memory index: results from the "Bergen n-back task". *J Clin Exp Neuropsychol*. 2010;32(8):871–880. doi: 10.1080/13803391003596421
35. Bastien CH, Vallières A, Morin CM. Validation of the Insomnia Severity Index as an outcome measure for insomnia research. *Sleep Med*. 2001;2(4):297–307. doi: 10.1016/S1389-9457(00)00065-4
36. Рассказова Е.И., Тхостов А.Ш. Клиническая психология сна и его нарушений. М.; 2012. Rasskazova EI, Tkhostov ASH. Clinical psychology of sleep and its disorders. Moscow; 2012. (In Russ.)
37. Smets EM, Garssen B, Bonke B, De Haes JC. The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *J Psychosom Res*. 1995;39(3):315–325. doi: 10.1016/0022-3999(94)00125-0
38. Russo CM, Balkin RS, Lenz AS. A meta-analysis of neurofeedback for treating anxiety-spectrum disorders. *Journal of Counseling & Development*. 2022;100(3):236–251. doi: 10.1002/jcad.12424

39. Fernández-Alvarez J, Grassi M, Colombo D, et al. Efficacy of bio- and neurofeedback for depression: a meta-analysis. *Psychol. Med.* 2022;52(2):201–216. doi: 10.1017/S0033291721004396
40. Min B, Park H, Kim JI, et al. The effectiveness of a neurofeedback-assisted mindfulness training program using a mobile app on stress reduction in employees: randomized controlled trial. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2023;11:e42851. doi: 10.2196/42851
41. Luctkar-Flude M, Groll D. A systematic review of the safety and effect of neurofeedback on fatigue and cognition. *Integr Cancer Ther.* 2015;14(4):318–340. doi: 10.1177/1534735415572886
42. Yeh WH, Hsueh JJ, Shaw FZ. Neurofeedback of Alpha activity on memory in healthy participants: a systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2021;14:562360. doi: 10.3389/fnhum.2020.562360

Информация об авторах

Черкасова Анастасия Николаевна — м. н. с. группы нейроинтерфейсов Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7831-5833>

Иконникова Екатерина Сергеевна — м. н. с. группы нейроинтерфейсов Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6836-4386>

Люкманов Роман Харисович — канд. мед. наук, с. н. с., рук. группы нейроинтерфейсов Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>

Кириченко Ольга Андреевна — м. н. с., зав. отделением медицинской реабилитации и физиотерапии Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7119-9841>

Мокиенко Олеся Александровна — канд. мед. наук, н. с. группы нейроинтерфейсов Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия; с. н. с. Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-7826-5135>

Коньшев Владимир Анатольевич — генеральный директор ООО «Нейроботикс», Зеленоград, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0004-0576-2626>

Зонов Александр Александрович — продакт-менеджер, нейрофизиолог ООО «Нейроботикс», Зеленоград, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3751-2766>

Супонева Наталья Александровна — д-р мед. наук, член-корреспондент РАН, директор Института нейрореабилитации и восстановительных технологий Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

Пирадов Михаил Александрович — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, директор Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>

Вклад авторов: Черкасова А.Н. — создание концепции исследования, курирование данных, анализ данных, проведение исследования, разработка методологии, подготовка текста статьи; Иконникова Е.С., Кириченко О.А. — курирование данных, проведение исследования; Люкманов Р.Х. — создание концепции исследования, разработка методологии, руководство научно-исследовательской работой; Мокиенко О.А. — разработка методологии; Коньшев В.А., Зонов А.А. — создание концепции исследования, программное обеспечение; Супонева Н.А. — создание концепции исследования, руководство научно-исследовательской работой; Пирадов М.А. — руководство научно-исследовательской работой.

Information about the authors

Anastasiia N. Cherkasova — junior researcher, Brain-computer interface group, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7831-5833>

Ekaterina S. Ikonnikova — junior researcher, Brain-computer interface group, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-6836-4386>

Roman Kh. Lyukmanov — Cand. Sci. (Med.), senior researcher, Head, Brain-computer interface group, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>

Olga A. Kirichenko — junior researcher, Head, Department of medical rehabilitation and physiotherapy, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7119-9841>

Olesya A. Mokienko — Cand. Sci. (Med.), researcher, Brain-computer interface group, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia; senior researcher, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7826-5135>

Vladimir A. Konyshov — Chief Executive Officer, Neurobotics LLC, Zelenograd, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0004-0576-2626>

Alexandr A. Zonov — product manager, neurophysiologist, Neurobotics LLC, Zelenograd, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3751-2766>

Natalia A. Suponeva — Dr. Sci. (Med.), Corresponding member of RAS, Director, Institute of Neurorehabilitation and Recovery Technologies, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

Mikhail A. Piradov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Full member of RAS, Director, Russian Center of Neurology and Neuroscience, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>

Authors' contribution: Cherkasova A.N. — conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, original draft preparation; Ikonnikova E.S., Kirichenko O.A. — data curation, investigation; Lyukmanov R.Kh. — conceptualization, methodology, project administration; Mokienko O.A. — methodology; Konyshov V.A., Zonov A.A. — conceptualization, software; Suponeva N.A. — conceptualization, project administration; Piradov M.A. — project administration.