

А.О. Лебедев, Н.З. Орлова, А.С. Умников, Е.В. Голобородько, С.М. Разинкин, А.А. Киш

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ АМПУТАНТОВ С БОЕВОЙ ТРАВМОЙ

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Киш Анна Андреевна: akish@yandex.ru

Резюме

В настоящем аналитическом обзоре систематизированы современные данные об эффективности применения методов биологической обратной связи (БОС) в комплексной реабилитации ампутантов с боевой травмой, с акцентом на психофизиологическое состояние данной категории пациентов. Актуальность проблемы определяется возрастающим количеством лиц, перенёсших ампутацию конечностей в результате военных конфликтов, и необходимостью научно обоснованных подходов к их медико-психологической реабилитации. Рассматриваются психофизиологические особенности ампутантов с боевой травмой, включая посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР), фантомную боль, депрессию и нарушения автономной нервной системы. Анализируются основные виды БОС (электромиографическая, нейробиоуправление, кардиобиоуправление, терморегуляторная, респираторная) и механизмы их терапевтического действия. Систематизированы результаты клинических исследований и мета-анализов, свидетельствующие об эффективности БОС-тренинга в реабилитации походки, обучении управлению протезами, коррекции фантомной боли и симптомов ПТСР. Особое внимание уделяется мультидисциплинарному подходу и персонализированным протоколам БОС, в том числе с использованием технологий машинного обучения. Обсуждается вклад отечественных исследователей в развитие методологии оценки эффективности реабилитационных технологий.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, биоуправление, реабилитация, ампутация, боевая травма, посттравматическое стрессовое расстройство, фантомная боль, нейробиоуправление, электромиография, психофизиологическое состояние

Для цитирования: Лебедев А.О., Орлова Н.З., Умников А.С., Голобородько Е.В., Разинкин С.М., Киш А.А. Оценка эффективности использования биологической обратной связи при реабилитации ампутантов с боевой травмой // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2026. №2. С. 42–50 DOI: 10.33266/2782-6430-2026-2-42-50

А.О. Lebedev, N.Z. Orlova, A.S. Umnikov, E.V. Goloborodko, S.M. Razinkin, A.A. Kish

Evaluation of the Effectiveness of Biofeedback in the Rehabilitation of Amputees with Combat Trauma

International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Contact person: Kish Anna Andreevna: akish@yandex.ru

Abstract

This analytical review systematizes current evidence on the effectiveness of biofeedback (BF) methods in the comprehensive rehabilitation of combat trauma amputees, with an emphasis on their psychophysiological state. The relevance of the problem is determined by the increasing number of individuals who have undergone limb amputation as a result of military conflicts and the need for evidence-based approaches to their medical and psychological rehabilitation. The psychophysiological characteristics of combat trauma amputees are examined, including post-traumatic stress disorder (PTSD), phantom limb pain, depression, and autonomic nervous system dysfunction. The main types of biofeedback (electromyographic, neurofeedback, heart rate variability biofeedback, thermal, respiratory) and the mechanisms of their therapeutic action are analyzed. The results of clinical studies and meta-analyses demonstrating the effectiveness of biofeedback training in gait rehabilitation, prosthesis control training, correction of phantom limb pain and PTSD symptoms are systematized. Particular attention is paid to the multidisciplinary approach and personalized biofeedback protocols, including those using machine learning technologies. The contribution of Russian researchers to the development of methodology for assessing the effectiveness of rehabilitation technologies is discussed.

Keywords: biofeedback, rehabilitation, amputation, combat trauma, post-traumatic stress disorder, phantom limb pain, neurofeedback, electromyography, psychophysiological state

For citation: Lebedev AO, Orlova NZ, Umnikov AS, Goloborodko EV, Razinkin SM, Kish AA. Evaluation of the Effectiveness of Biofeedback in the Rehabilitation of Amputees with Combat Trauma. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2026.2:42-50. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2026-2-42-50

Введение

Биологическая обратная связь (БОС), или биоуправление, представляет собой группу терапевтических методов, основанных на предоставлении пациенту информации о состоянии его физиологических функций в режиме реального времени с целью обучения произвольной саморегуляции этих функций. Согласно определению Ассоциации прикладной психофизиологии и биологической обратной связи (Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback, AAPB), биологическая обратная связь – это «процесс, который позволяет человеку научиться изменять свою физиологическую активность с целью улучшения здоровья и повышения работоспособности. Точные приборы измеряют физиологическую активность, такую как мозговые волны, функцию сердца, дыхание, мышечную активность и температуру кожи. Эти приборы быстро и точно передают информацию пользователю, который, в свою очередь, учится изменять свою физиологическую активность» [1, 2]. Данное определение подчёркивает ключевые принципы метода: измерение, обратную связь и обучение саморегуляции.

Исторические корни метода БОС восходят к кибернетической теории Норберта Винера (1948), который определил обратную связь как фундаментальный механизм управления в живых и технических системах. Принцип обратной связи – передача информации о результатах работы системы на её вход для коррекции функционирования – лёг в основу современного понимания биоуправления. В 1960–1970-е годы начались систематические исследования произвольного контроля электрической активности мозга (Kamiya J., 1968), мышечного напряжения (Basmajian J.V., 1963) и вегетативных функций. К настоящему времени накоплена обширная доказательная база, подтверждающая эффективность БОС при широком спектре клинических состояний, включая хроническую боль, эпилепсию, синдром дефицита внимания и гиперактивности, тревожные и депрессивные расстройства [2]. Как отмечают Королёв А.Д. и соавт. (2017), технологии биоуправления получили значительное развитие как в клинической, так и в спортивной психологии, демонстрируя высокий потенциал для оптимизации функционального состояния организма [1, 3].

Актуальность применения методов БОС в реабилитации ампутантов с боевой травмой определяется несколькими факторами. Во-первых, современные военные конфликты характеризуются высоким уровнем минно-взрывных ранений, приводящих к травматическим ампутациям конечностей. По данным различных источников, от 50 до 85% ампутантов испытывают фантомную боль в ампутированной конечности, которая существенно снижает качество жизни и затрудняет процесс протезирования и социальной адаптации. Более 30% лиц, перенёсших ампутацию, страдают от депрессивных расстройств различной степени выраженности. Посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) значительно чаще встречается среди ампутантов с боевой травмой по сравнению с лицами,

перенёсшими ампутацию вследствие хронического заболевания (менее 5%) или несчастного случая в мирное время [4, 5].

Во-вторых, реабилитация ампутантов с боевой травмой представляет собой комплексную мультидисциплинарную задачу, требующую одновременного воздействия на физические, психологические и социальные аспекты нарушенного функционирования. Традиционные подходы, ограниченные протезированием и физической терапией, зачастую не обеспечивают достаточной коррекции психофизиологических нарушений, что обосновывает поиск дополнительных терапевтических инструментов. Методы БОС, воздействующие на механизмы нейропластичности и саморегуляции, потенциально способны восполнить этот пробел, обеспечивая целенаправленную коррекцию как сенсомоторных, так и эмоционально-вегетативных нарушений [4, 6].

В-третьих, развитие цифровых технологий и носимых устройств открывает новые возможности для индивидуализации и дистанционного проведения БОС-тренинга, что особенно актуально для категории пациентов с ограниченной мобильностью. Как подчёркивают Голобородько Е.В. и соавт. (2020), систематизация и научная оценка эффективности восстановительных технологий, основанных на различных физических факторах, является необходимым условием их внедрения в клиническую практику [4].

Целью настоящего аналитического обзора является систематизация и критический анализ современных данных об эффективности применения методов биологической обратной связи в реабилитации ампутантов с боевой травмой с акцентом на коррекцию психофизиологического состояния. В обзоре последовательно рассматриваются: психофизиологические особенности ампутантов с боевой травмой; виды и механизмы действия БОС; эффективность БОС в реабилитации походки и протезировании; роль БОС в коррекции ПТСР и фантомной боли; перспективы мультидисциплинарного подхода и персонализированных протоколов.

Психологические реакции на ампутацию

Ампутация конечности является одним из наиболее тяжёлых травматических событий, приводящих к глубоким изменениям в психофизиологическом состоянии пострадавшего. Потеря конечности затрагивает не только физические возможности человека, но и его самоидентификацию, образ тела, социальные роли и профессиональную пригодность. Психологические реакции на ампутацию описываются моделью стадий горевания Э. Кюблер-Росс, включающей отрицание, гнев, торг, депрессию и принятие, хотя современные исследователи подчёркивают нелинейный характер этого процесса и индивидуальную вариабельность прохождения данных стадий. Нарушение схемы тела является одним из центральных переживаний ампутанта, создавая предпосылки для развития тревожно-депрессивных расстройств и социальной дезадаптации [7, 8].

Особенностью психологического состояния ампутантов с боевой травмой является сочетание переживания потери конечности с психотравмой,

связанной непосредственно с боевой ситуацией. Это создаёт комплексную картину психических нарушений, в которой переплетаются элементы острой реакции на стресс, горевания, посттравматических и адаптационных расстройств. Назарян С.Е. и соавт. (2023) подчёркивают, что мишени психологической коррекции в реабилитации должны включать не только симптоматическое воздействие, но и работу с глубинными когнитивными схемами, определяющими отношение пациента к своему состоянию и перспективам восстановления [8]. Применение методов когнитивной психотерапии, как показали исследования Назарян С.Е. и соавт. (2019), позволяет эффективно корректировать дезадаптивные убеждения и когнитивные искажения, формирующиеся в ответ на травматическое событие [9].

Посттравматическое стрессовое расстройство

Посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) является одним из наиболее распространённых психических нарушений среди ампутантов с боевой травмой. Согласно данным исследования AD-VANCE (Armed Services Trauma Rehabilitation Outcome Study), проведённого Minshall С. и соавт. (2022), распространённость ПТСР среди военнослужащих, перенёсших боевую ампутацию, составляет 16,9%, что достоверно превышает показатели в контрольной группе неповреждённых военнослужащих (10,5%) [5]. Данные результаты подтверждают, что боевая ампутация является значимым фактором риска развития ПТСР, хотя разница не столь велика, как при некоторых других категориях боевой травмы, что может объясняться более интенсивной реабилитационной поддержкой ампутантов.

Клиническая картина ПТСР у ампутантов с боевой травмой включает характерные комплекс симптомов: навязчивые воспоминания и флешбэки о травматическом событии, избегание ситуаций и стимулов, ассоциированных с травмой, негативные изменения когниций и настроения, а также гиперактивация – повышенная настороженность, нарушения сна, раздражительность, преувеличенная реакция испуга. Специфической особенностью является то, что ампутационная культя и протез могут выступать в качестве постоянных триггеров, напоминающих о травматическом событии, что затрудняет процесс психологического восстановления и адаптации к протезу.

Хронический болевой синдром и фантомная боль

Хронический болевой синдром является центральной проблемой реабилитации ампутантов.

Фантомная боль – болевые ощущения, локализуемые пациентом в ампутированной конечности, – является наиболее специфическим и одним из наиболее мучительных болевых синдромов у ампутантов. Распространённость фантомной боли составляет от 60 до 80% среди лиц, перенёсших ампутацию, и её механизмы включают как периферические (невромы, эктопическая активность повреждённых нервных волокон), так и центральные компоненты. Ключевую роль в генерации фантомной боли играет кортикальная реорганизация: после ампутации конечности корковое представительство

утраченной части тела «захватывается» смежными зонами коры, и степень этой реорганизации, как показал Ramachandran V.S. (1998) в своих исследованиях, коррелирует с интенсивностью фантомной боли. Этот механизм обосновывает использование методов БОС и зеркальной терапии, направленных на обратную модификацию кортикальных карт [10].

Депрессия, психосоматические нарушения и автономная дисфункция

Распространённость депрессивных расстройств среди ампутантов с боевой травмой превышает 30%, при этом депрессия часто коморбидна с ПТСР и хронической болью, формируя «трилатеральный» синдром, существенно ухудшающий прогноз реабилитации. Социальная изоляция, снижение самооценки, утрата профессиональной идентичности и нарушение межличностных отношений выступают как медиаторы и модераторы депрессивного состояния. Назарян С.Е. и соавт. (2017) подчёркивают значимый вклад социально-психологических факторов в функциональную готовность человека, подчёркивая необходимость комплексного подхода к оценке и коррекции психологического состояния [9].

Психосоматические нарушения и автономная дисфункция являются частыми спутниками ампутации с боевой травмой. Нарушения вегетативной регуляции проявляются в виде гипергидроза культи, вазомоторных расстройств, нарушений терморегуляции, лабильности артериального давления и частоты сердечных сокращений. Брагин М.А. и соавт. (2021) продемонстрировали эффективность аппаратно-программных комплексов в объективной оценке психофизиологического состояния лиц экстремальных профессий, что представляется важным для мониторинга состояния ампутантов в процессе реабилитации [11]. Объективизация вегетативных показателей создаёт предпосылки для целенаправленного применения методов БОС, направленных на нормализацию автономной регуляции.

Таким образом, психофизиологическое состояние ампутантов с боевой травмой характеризуется комплексом взаимосвязанных нарушений – ПТСР, хроническая боль (включая фантомную), депрессия, нарушение схемы тела, вегетативная дисфункция, – требующих мультимодального терапевтического воздействия. Методы биологической обратной связи, обладающие потенциалом одновременного воздействия на несколько патогенетических звеньев, представляются перспективным компонентом комплексной реабилитации данной категории пациентов.

Классификация методов биологической обратной связи

Методы биологической обратной связи классифицируются по физиологическому параметру, используемому в качестве управляемой переменной. В реабилитации ампутантов наибольшее применение нашли следующие виды БОС:

Электромиографическая БОС (ЭМГ-БОС) – метод, основанный на регистрации электрической активности мышц с помощью поверхностных или игольчатых электродов. Пациент получает визуальную, слуховую или тактильную обратную связь о

степени мышечного сокращения, что позволяет обучиться целенаправленному управлению мышечной активностью. В контексте реабилитации ампутантов ЭМГ-БОС используется преимущественно для обучения управлению миоэлектрическими протезами: пациент тренирует генерацию специфических паттернов ЭМГ-активности культи, необходимых для контроля различных функций протеза [12, 13]. Sturma A. и соавт. (2018) продемонстрировали, что структурированный ЭМГ-БОС тренинг значительно повышает точность и скорость управления протезами верхних конечностей, включая многоканальные протезы с несколькими степенями свободы [13].

Нейробиоуправление – метод БОС, основанный на регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) или функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Пациент обучается произвольной модуляции определённых параметров мозговой активности – амплитуды и частоты ритмов ЭЭГ, активности определённых зон коры. В реабилитации ампутантов нейробиоуправление применяется прежде всего для коррекции ПТСР и сопутствующих тревожно-депрессивных расстройств, а также для модификации кортикальной реорганизации, лежащей в основе фантомной боли [10, 14].

Кардиобиоуправление (биоуправление по вариабельности сердечного ритма) – метод, направленный на повышение вариабельности сердечного ритма посредством дыхательных упражнений с обратной связью. Низкая вариабельность сердечного ритма ассоциирована с повышенным уровнем стресса, тревоги и депрессии, а также с ПТСР. Тренировка резонансного дыхания с частотой около 6 вдохов в минуту повышает активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, способствуя нормализации автономной регуляции и снижению симптомов стресса [10, 15].

Терморегуляторная БОС основана на регистрации температуры кожи конечностей (обычно пальцев), которая отражает степень периферической вазодилатации и, соответственно, уровень симпатической активации. Пациент обучается произвольному повышению температуры кожи, что ассоциировано с релаксацией и снижением симпатического тонуса. Данный метод традиционно применяется при мигрени и болезни Рейно, а также показал эффективность при определённых видах фантомной боли [16].

Респираторная БОС – метод, обеспечивающий обратную связь о параметрах дыхания (частоте, глубине, соотношении фаз вдоха и выдоха, уровне СО₂ на выдохе). Используется в сочетании с кардиобиоуправлением для оптимизации паттерна дыхания и нормализации вегетативной регуляции. Как отмечают Tosti B. и соавт. (2024) в своём обзоре, интегрированное использование методов биологической обратной связи демонстрирует синергетический эффект при коррекции патологических состояний и повышении работоспособности [14].

Систематические обзоры и обобщённые данные

Наиболее полная систематизация данных об эффективности БОС в реабилитации походки ампу-

тантов нижних конечностей представлена в систематическом обзоре Escamilla-Nunez R. и соавт. (2020), включившем 31 статью. Авторы пришли к заключению, что большинство исследований свидетельствуют об эффективности различных видов БОС для улучшения параметров ходьбы у ампутантов [12]. При этом визуальная, слуховая и тактильная/вибротактильная обратная связь использовались для коррекции различных аспектов походки: симметрии времени опоры, распределения нагрузки между протезированной и сохранной конечностью, каденции, длины шага и скорости ходьбы. Голобородько Е.В. и соавт. (2017) подчёркивают важность объективной оценки эффективности реабилитационных мероприятий с использованием валидированных количественных показателей, что является необходимым условием доказательного внедрения БОС-технологий в клиническую практику [17].

ЭМГ-БОС в обучении управлению протезами верхних конечностей

Одним из наиболее впечатляющих примеров эффективности БОС-тренинга является применение поверхностной электромиографической обратной связи в рамках концепции «бионической реконструкции» – хирургической процедуры, включающей пересадку нервов и последующее протезирование. Salming S. и соавт. (2019) представили результаты серии случаев, в которой пациенты с тяжёлыми повреждениями плечевого сплетения проходили структурированную программу ЭМГ-БОС тренинга после селективной нервной пересадки. Оценка с помощью теста ARAT (Action Research Arm Test) показала улучшение с $2,83 \pm 4,07$ до $25,00 \pm 10,94$ баллов, что свидетельствует о клинически значимом улучшении функции верхней конечности [18]. Этот результат демонстрирует потенциал ЭМГ-БОС в сочетании с хирургическими инновациями для восстановления утраченных двигательных функций.

Киш А.А. и соавт. (2021) разработали систему оценки физической работоспособности как интегрального показателя эффективности реабилитационных технологий, что имеет непосредственное значение для объективизации результатов БОС-тренинга в реабилитации ампутантов [19].

Нейробиоуправление при протезировании

Petrini F.M. и соавт. (2019) продемонстрировали революционный подход к интеграции обратной связи в протез нижней конечности: интраневральная электрическая стимуляция, обеспечивающая передачу информации о давлении на подошву и движениях в коленном суставе протеза непосредственно в чувствительные нервы культи. Результаты показали снижение интенсивности фантомной боли, уменьшение умственной усталости при ходьбе и увеличение скорости ходьбы. Данный подход представляет собой замыкание петли сенсомоторного контроля, утраченной при ампутации, и может рассматриваться как продвинутая форма биологической обратной связи [20].

Dietrich C. и соавт. (2018) в исследовании с участием 14 ампутантов голени (transtibial) продемонстрировали, что электрокожная обратная связь

(electrocutaneous feedback) о давлении на подошву протеза приводит к снижению фантомной боли и увеличению дистанции ходьбы. Механизм обезболивающего эффекта предположительно связан с «конкурентным» вовлечением сенсорных путей, ранее ассоциированных с утраченной конечностью, и частичным обращением дезадаптивной кортикальной реорганизации [21].

Программы реабилитации ампутантов в Медицинском центре VA Palo Alto и Стэнфордском университете включают использование вибротактильной обратной связи для тренировки экстензии бедра в фазе переноса протеза нижней конечности. Вибромоторы, размещённые на бедре, обеспечивают информацию о положении конечности и степени разгибания, что компенсирует утраченную проприоцепцию и способствует формированию более физиологичного паттерна ходьбы [12].

Нейробиоуправление при ПТСР

Эффективность нейробиоуправления в лечении ПТСР подтверждается результатами нескольких мета-анализов. Harris S. и соавт. (2023) провели мета-анализ, включивший исследования нейробиоуправления при ПТСР, и установили стандартизованную среднюю разность (SMD) $-1,76$ в пользу нейробиоуправления по сравнению с контрольными условиями, что соответствует очень большому размеру эффекта [22]. Частота ремиссии ПТСР в группе нейробиоуправления составила 79,3% по сравнению с 24,4% в контрольной группе. Эти результаты свидетельствуют о том, что нейробиоуправление является высокоэффективным вмешательством для лечения ПТСР, включая случаи, резистентные к стандартной фармакотерапии и психотерапии [22].

Van der Kolk B.A. и соавт. (2016) провели рандомизированное контролируемое исследование нейробиоуправления у пациентов с хроническим ПТСР. После 24 сеансов выраженность симптомов ПТСР по шкале CAPS (Clinician-Administered PTSD Scale) снизилась с 79,45 до 42,95 баллов, что представляет собой клинически значимое улучшение. Важно отметить, что улучшение затрагивало не только симптомы ПТСР, но и коморбидные проявления: тревогу, депрессию, нарушения аффективной регуляции и диссоциативные симптомы. Это подчёркивает потенциал нейробиоуправления как метода, воздействующего на глубинные нейрофизиологические механизмы дисрегуляции, а не только на симптоматический уровень [23].

Кардиобиоуправление при ПТСР

Кардиобиоуправление представляет собой менее технологически сложную, но эффективную альтернативу нейробиоуправлению при ПТСР. Мета-анализ Kenemore T. и соавт. установил размер эффекта Hedges's $g = -0,557$ для кардиобиоуправления в отношении симптомов ПТСР, что соответствует среднему размеру эффекта [24]. Особенно примечателен крайне низкий показатель отсева участников – всего 5,8%, что свидетельствует о высокой переносимости и приемлемости метода для пациентов с ПТСР, для которых характерен высокий уровень избегания и низкая приверженность к лечению.

Механизм действия кардиобиоуправления при ПТСР связан с нормализацией автономной дисрегуляции, характерной для данного расстройства. Пациенты с ПТСР демонстрируют хроническое преобладание симпатической активации с недостаточным парасимпатическим контролем, что проявляется в сниженной вариабельности сердечного ритма, повышенном базальном уровне тревоги и нарушении эмоциональной регуляции. Тренировка резонансного дыхания с обратной связью по ВСР повышает вагусный тонус, способствуя восстановлению автономного баланса и улучшению способности к саморегуляции эмоциональных состояний. Разинкин С.М. и соавт. (2022) в лекциях по спортивной медицине подробно описывают нейрофизиологические основы биоуправления и его применение для оптимизации функционального состояния, что транслируется на реабилитационный контекст [25].

Комплексная оценка эффективности БОС при ПТСР

Галушка А.С. и Вишневецкий В.А. (2024) провели обзор 19 рандомизированных контролируемых исследований, посвящённых применению различных видов БОС при ПТСР. Авторы пришли к заключению, что все исследованные виды БОС (нейробиоуправление, кардиобиоуправление, ЭМГ-БОС) эффективно снижают симптомы ПТСР [6]. При этом выбор конкретного метода определяется индивидуальными особенностями пациента, ведущим кластером симптомов и доступностью оборудования. Голобородько Е.В. и соавт. (2021) разработали систему оценки эффективности и качества медицинских технологий, которая может быть применена для стандартизации протоколов БОС-терапии ПТСР и обеспечения контроля качества лечения [26].

Терморегуляторная БОС при фантомной боли

Терморегуляторная биологическая обратная связь является одним из наиболее изученных методов БОС при фантомной боли. Sherman R.A. в серии исследований продемонстрировал, что терморегуляторная БОС эффективна при определённых типах фантомной боли: «сжимающая» (cramping) и «жгучая» (burning) фантомная боль успешно поддаётся коррекции, тогда как «стреляющая» (shooting) боль менее чувствительна к данному методу. Предполагаемый механизм связан с нормализацией периферического кровотока в культе и модуляцией центральных болевых механизмов через изменение симпатического тонуса [27].

Harden R.N. и соавт. (2005) в контролируемом исследовании продемонстрировали снижение интенсивности фантомной боли на 30–66% у 6 из 7 пациентов уже после 6-й сессии терморегуляторной БОС. Данный результат свидетельствует о скорости наступления обезболивающего эффекта и его клинической значимости [28]. Belleggia G. и Birbaumer N. (2001) сообщили о более впечатляющем результате – полном устранении фантомной боли, сохранявшемся в течение 12 месяцев наблюдения. Хотя данное исследование основано на единичном случае, оно демонстрирует потенциал БОС для долговременной коррекции даже хронической фантомной боли [29].

Комбинированные подходы: БОС и психотерапия

Morina N. и соавт. (2012) исследовали комбинацию биологической обратной связи с нарративной экспозиционной терапией (Narrative Exposure Therapy, NET) у пациентов с коморбидными ПТСР и хронической болью. Результаты показали значимое снижение как болевого синдрома, так и симптомов ПТСР, причём эффект был более выраженным, чем при применении каждого метода в отдельности [30]. Данный подход представляется особенно релевантным для ампутантов с боевой травмой, у которых ПТСР и фантомная боль часто сочетаются и взаимно усиливают друг друга, формируя порочный круг: боль провоцирует флешбэки и гиперактивацию, а ПТСР-обусловленная гиперактивация нервной системы усиливает восприятие боли.

Таким образом, методы биологической обратной связи демонстрируют выраженную эффективность в коррекции как ПТСР, так и фантомной боли – двух наиболее тяжёлых и дезадаптирующих психофизиологических нарушений у ампутантов с боевой травмой. Размеры эффектов, зафиксированные в мета-анализах (SMD до –1,76 для нейробиоуправления при ПТСР), превышают показатели многих фармакологических и психотерапевтических вмешательств, что обосновывает приоритетность интеграции БОС в реабилитационные программы для данной категории пациентов.

Интеграция БОС в комплексные реабилитационные программы

Реабилитация ампутантов с боевой травмой требует координированного взаимодействия специалистов различного профиля: хирургов-ортопедов, протезистов, физиотерапевтов, психологов, психиатров, специалистов по БОС-тренингу, социальных работников. Интеграция методов биологической обратной связи в эту мультидисциплинарную систему предполагает определение места БОС на различных этапах реабилитации – от раннего послеоперационного периода до долговременного сопровождения. На раннем этапе приоритетны кардиобиоуправление и дыхательная БОС для стабилизации вегетативных функций и снижения остроты стрессовых реакций. На этапе подготовки к протезированию – ЭМГ-БОС для тренировки мышечного контроля. В период обучения ходьбе – визуальная и тактильная БОС для коррекции параметров походки. На этапе психологической реабилитации – нейробиоуправление и кардиобиоуправление для коррекции ПТСР и коморбидных расстройств [18, 22].

Комбинирование БОС с другими доказательными методами психотерапии и фармакотерапии представляется наиболее перспективным подходом. Когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) и EMDR (Eye Movement Desensitization and Reprocessing) являются методами первой линии при ПТСР, а БОС может усиливать их эффективность за счёт улучшения нейрофизиологической «готовности» к психотерапевтической работе – снижения базального уровня возбуждения, улучшения способности к саморегуляции и повышения фронтальной когнитивной активности. Зеркальная терапия (mirror therapy),

направленная на модификацию фантомных ощущений, может дополняться нейробиоуправлением для мониторинга и управления корковыми процессами реорганизации.

Отечественный опыт и перспективы развития

Значительный вклад в разработку методологии оценки эффективности реабилитационных технологий внесли отечественные исследователи. Голобородько Е.В. в диссертационном исследовании (2022) разработала систему оценки эффективности медицинских технологий, которая может быть применена для стандартизации и контроля качества БОС-протоколов в реабилитации ампутантов [31]. Разинкин С.М. и Голобородько Е.В. (2021) предложили модель оценки средств коррекции функционального состояния на примере десинхроноза, демонстрируя возможность количественной оценки эффективности различных реабилитационных методов [32]. Самойлов А.С. и соавт. (2019) разработали методические рекомендации по экспертной оценке методов диагностики и коррекции адапционных и функциональных резервов, которые содержат универсальный алгоритм, применимый для оценки БОС-технологий [33].

Перспективы развития БОС-технологий в реабилитации ампутантов с боевой травмой связаны с несколькими направлениями: разработка и валидация стандартизированных протоколов БОС для конкретных клинических задач (коррекция ПТСР, фантомной боли, обучение управлению протезом); интеграция БОС в нейроинтерфейсы протезов нового поколения с замкнутым контуром сенсомоторной обратной связи; использование технологий виртуальной и дополненной реальности для повышения экологической валидности БОС-тренинга; масштабные многоцентровые рандомизированные контролируемые исследования с долговременным наблюдением для получения доказательств высшего уровня.

Заключение

Проведённый аналитический обзор свидетельствует о том, что методы биологической обратной связи представляют собой эффективный и научно обоснованный инструмент реабилитации ампутантов с боевой травмой, воздействующий на множественные патогенетические механизмы постампутационных нарушений.

В области реабилитации походки и протезирования систематический обзор Escamilla-Nunez R. и соавт. (2020), включивший 31 статью, подтверждает эффективность визуальной, слуховой и тактильной обратной связи для улучшения параметров ходьбы. ЭМГ-БОС в рамках бионической реконструкции (Salminger S. и соавт., 2019) продемонстрировала впечатляющее улучшение функции верхней конечности (ARAT с 2,83 до 25,00 баллов). Интраневральная стимуляция (Petrini F.M. и соавт., 2019) открывает перспективы создания протезов с замкнутым контуром сенсомоторной обратной связи.

В коррекции психофизиологического состояния эффективность методов БОС наиболее убедительно продемонстрирована при ПТСР: мета-анализ

нейробиоуправления (Harris S. и соавт., 2023) установил очень большой размер эффекта ($SMD = -1,76$) и частоту ремиссии 79,3%. Кардиобиоуправление, хотя и обладает более умеренным размером эффекта ($g = -0,557$), отличается минимальным отсеком участников (5,8%), что важно для популяции с ПТСР. Терморегуляторная БОС при фантомной боли обеспечивает снижение интенсивности боли на 30–66%, а в отдельных случаях – полное устранение боли с сохранением эффекта до 12 месяцев.

Особое значение имеет потенциал автономной регуляции посредством БОС-тренинга: нормализация вегетативного баланса, повышение парасимпатического тонуса, улучшение кортикальной саморегуляции. Эти механизмы обеспечивают не только симптоматическое улучшение, но и повышение адаптационных резервов организма ампутанта, что является ключевым фактором долговременного успеха реабилитации.

Вместе с тем необходимо признать ряд ограничений имеющейся доказательной базы. Многие исследования характеризуются небольшим размером

выборки, отсутствием рандомизации и контрольных групп, гетерогенностью протоколов и короткими сроками наблюдения. Необходимы масштабные многоцентровые рандомизированные контролируемые исследования с долговременным наблюдением, стандартизированными протоколами и валидированными исходами для получения доказательств высшего уровня.

Отечественные исследователи – Разинкин С.М., Орлова Н.З., Киш А.А., Голобородько Е.В. и соавторы – внесли значительный вклад в разработку методологических основ оценки эффективности реабилитационных технологий, создав универсальные модели и алгоритмы, применимые для стандартизации и внедрения БОС-протоколов в отечественную систему медицинской реабилитации.

Таким образом, биологическая обратная связь занимает обоснованное место в арсенале средств реабилитации ампутантов с боевой травмой и заслуживает приоритетного внимания со стороны исследователей, клиницистов и организаторов здравоохранения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Королёв А.Д., Петрова В.В., Шандала А.М., Фомкин А.П., Голобородько Е.В. Использование технологий биоуправления в спортивной психологии (обзор литературы) // Медицинская наука и образование Урала. 2017. Т. 18. №3. С. 69–76.
2. Tosti B., Corrado S., Mancone S., et al. Integrated use of Biofeedback and Neurofeedback Techniques in Treating Pathological Conditions and Improving Performance: a Narrative Review // *Frontiers in Neuroscience*. 2024 Mar 19. No.18. P. 1358481. Doi: 10.3389/fnins.2024.1358481.
3. Удалов Ю.Д., Гордиенко А.В., Самойлов А.С., Забелин М.В., Бахарев С.А. Психоэмоциональный стресс у соматически ослабленных пациентов онкохирургического профиля как один из факторов послеоперационных осложнений // Исследования и практика в медицине. 2018. Т.5. №3. С. 117–125. Doi: 10.17709/2409-2231-2018-5-3-12.
4. Голобородько Е.В. Обзор основных восстановительных технологий спортивной медицины, основанных на действии физических факторов // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2020. №4. С. 27–32.
5. Minshall C., Beard J., Engel L., et al. Post-Traumatic Stress Disorder in UK Military Amputees: a Mixed-Methods Study // *Military Medicine*. 2024 Mar 20. V.170. No.2. P. 99–100. Doi: 10.1136/military-2022-002232.
6. Гагушка М.С., Вишневецкий В.Ю. Обзор методов биологической обратной связи в реабилитации посттравматического стрессового расстройства // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т.12. №3. Doi: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.025.
7. Назарян С.Е., Орлова Н.З., Пустовойт В.И. Мишени психологической коррекции в реабилитации высококвалифицированных спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2023. Т.13. №1. С. 72–79. Doi: 10.47529/2223-2524.2023.1.10.
8. Назарян С.Е., Орлова Н.З., Брагин М.А. Вклад социально-психологических факторов в функциональную готовность спортсмена // Медицинская наука и образование Урала. 2017. Т.18. №2. С. 107–110.
9. Назарян С.Е., Самойлов А.С., Федин А.Б., Орлова Н.З., Никольская А.В., Пустовойт В.И. Применение методов когнитивной психотерапии при психологическом сопровождении спортсменов в реабилитационный период // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2019. № 1. С. 58–61.
10. Ramachandran V.S., Hirstein W. The Perception of Phantom Limbs: The D.O. Hebb Lecture // *Brain*. 1998. V.121. No.9. P. 1603–1630. Doi: 10.1093/brain/121.9.1603.
11. Брагин М.А., Голобородько Е.В., Котенко Н.В., Самойлов А.С., Калинина М.Ю. Эффективность аппаратно-программных комплексов в оценке психофизиологического состояния лиц экстремальных профессий // Вестник восстановительной медицины. 2021. Т.20. № 6. С. 111–118.
12. Escamilla-Nunez R., Michelini A., Andrysek J. Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review // *Sensors*. 2020. Vol. 20. No. 6. P. 1628. Doi: 10.3390/s20061628.
13. Sturma A., Hruby L.A., Prahm C., Mayer J.A., Aszmann O.C. Rehabilitation of Upper Extremity Nerve Injuries Using Surface EMG Biofeedback: Protocols for Clinical Application // *Frontiers in Neuroscience*. 2018 Dec 4. No.12. P. 906. Doi: 10.3389/fnins.2018.00906.
14. Tosti B., Corrado S., Mancone S., et al. Integrated Use of Biofeedback and Neurofeedback Techniques in Treating Pathological Conditions and Improving Performance: a Narrative Review // *Frontiers in Neuroscience*. 2024 Mar 19. No.18. P. 1358481. Doi: 10.3389/fnins.2024.1358481.
15. Разинкин С.М., Королёв А.Д., Брагин В.В., Крынцалов А.И. Оценка эффективности методики коррекции психоэмоционального состояния спортсменов сборной России по биатлону // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. 2019. № 1. С. 65–70.
16. Salminger S., Sturma A., Hofer C., et al. Long-Term Implant of Intramuscular Sensors and Nerve Transfers for Wireless Control of Robotic Arms in Above-Elbow Amputees // *Science Robotics*. 2019 Jul 17. V.4. No.32. P. eaaw6306. Doi: 10.1126/scirobotics.aaw6306. PubMed ID 31609322.
17. Голобородько Е.В., Фомкин П.А., Петрова В.В., Разинкин С.М. Некоторые подходы к оценке эффективности реабилитационных мероприятий у высококвалифицированных спортсменов // Саратовский научно-медицинский журнал. 2017. Т.13. №4. С. 947–955.
18. Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, Hofer C, Farina D. Bionic Reconstruction to Restore Hand Function after Brachial Plexus Injury: a Case Series of Three Patients // *Lancet*. 2015. May 30. V.385. No. 9983. P. 2183–9. Doi: 10.1016/S0140-6736(14)61776-1.
19. Киш А.А., Голобородько Е.В., Разинкин С.М., Комлев А.М. Физическая работоспособность в системе оценки эффективности технологий спортивной медицины // Вестник восстановительной медицины. 2021. Т. 20. № 6. С. 119–125.
20. Petrini F.M., Bumbasirevic M., Valle G., et al. Sensory Feedback Restoration in Leg Amputees Improves Walking Speed, Metabolic Cost and Phantom Pain // *Nature Medicine*. 2019. V. 25. P. 1356–1363.
21. Dietrich C., Walter-Walsh K., Preissler S., et al. Sensory Feedback Prosthesis Reduces Phantom Limb Pain: Proof of a Principle // *Neuroscience Letters*. 2018. V. 507. P. 97–100.

22. Askovic M, Soh N, Elhindi J, Harris AWF. Neurofeedback for Post-Traumatic Stress Disorder: Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical and Neurophysiological Outcomes // *Eur J Psychotraumatol*. 2023. V.14. No.2. P. 2257435. Doi: 10.1080/20008066.2023.2257435.
23. Van der Kolk B.A., Hodgdon H., Gapen M., et al. A Randomized Controlled Study of Neurofeedback for Chronic PTSD // *PLoS ONE*. 2016. V. 11. No.12. P. e0166752. Doi: 10.1371/journal.pone.0166752.
24. Kenemore T., Enlow P., Lee T., et al. Heart Rate Variability Biofeedback as a Treatment for Military PTSD: a Meta-Analysis // *Mil Med*. 2024 Aug 30. V.189. No.9-10. P. e1903-e1909. Doi: 10.1093/milmed/usae003.
25. Разинкин С.М., Самойлов А.С., Голобородько Е.В., Киш А.А., Брагин М.А., Рылова Н.В., Петрова В.В., Шуленов П.А. Избранные лекции по спортивной медицине. 2-е изд. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. 382 с.
26. Голобородько Е.В., Разинкин С.М., Сюрис Н.А., Ерофеев Г.Г., Казаков В.Ф. Роль системы оценки эффективности и качества медицинских технологий в совершенствовании программ санаторно-курортного лечения военнослужащих // *Курортная медицина*. 2021. №4. С. 25–29.
27. Sherman R.A. Phantom Pain as an Expression of Referred Sensations // *European Journal of Pain*. 1997. V.1. No.1. P. 59–69.
28. Harden R.N., Houle T.T., Green S., et al. Biofeedback in the Treatment of Phantom Limb Pain: A Time-Series Analysis // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2005. V.30. No.1. P. 83–93.
29. Belleggia G., Birbaumer N. Treatment of Phantom Limb Pain with Combined EMG and Thermal Biofeedback: a Case Report // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2001. V. 26. No.2. P. 141–146.
30. Morina N., Maier T., Bryant R., et al. Combining Biofeedback and Narrative Exposure Therapy for Persistent Pain and PTSD in Refugees: a Pilot Study // *European Journal of Psychotraumatology*. 2012. V.3. No.1. Doi: 10.3402/ejpt.v3i0.17660.
31. Голобородько Е.В. Разработка и обоснование системы экспертной оценки медицинских технологий для высококвалифицированных спортсменов: Дис. ... докт. мед. наук. М.: Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, 2022. 215 с.
32. Разинкин С.М., Голобородько Е.В., Комлев А.М. Модель оценки средств коррекции функционального состояния у высококвалифицированных спортсменов на примере десинхронизации // *Курортная медицина*. 2021. №4. С. 54–57.
33. Самойлов А.С., Разинкин С.М., Хан А.В., Назарян С.Е., Шевякова Н.И. Мультидисциплинарный подход в реабилитации спортсменов высших достижений // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2016. Т.93. №2. С. 147.

REFERENCES

1. Korolev A.D., Petrova V.V., Shandala A.M., Fomkin A.P., Goloborod'ko Ye.V. Use of Biofeedback Technologies in Sports Psychology (Literature Review). *Meditsinskaya Nauka i Obrazovaniye Urala* = Medical Science and Education of Ural. 2017;18;3:P. 69–76 (In Russ.).
2. Tosti B., Corrado S., Mancone S., et al. Integrated Use of Biofeedback and Neurofeedback Techniques in Treating Pathological Conditions and Improving Performance: a Narrative Review. *Frontiers in Neuroscience*. 2024 Mar 19;18:1358481. Doi: 10.3389/fnins.2024.1358481.
3. Udalov Yu.D., Gordiyenko A.V., Samoylov A.S., Zabelin M.V., Bakharev S.A. Psychoemotional Stress in Somatic Burdened Oncosurgical Patients as One of the Factors of Postoperative Complications. *Issledovaniya i Praktika v Meditsine* = Research'n Practical Medicine Journal. 2018;5;3:117–125 (In Russ.). Doi: 10.17709/2409-2231-2018-5-3-12.
4. Goloborod'ko Ye.V. Review of the Main Restorative Technologies in Sports Medicine Based on the Action of Physical Factors. *Meditsina. Sotsiologiya. Filosofiya. Prikladnyye Issledovaniya* = Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research. 2020;4:27–32 (In Russ.).
5. Minshall C., Beard J., Engel L., et al. Post-Traumatic Stress Disorder in UK Military Amputees: a Mixed-Methods Study. *Military Medicine*. 2024 Mar 20;170;2:99-100. Doi: 10.1136/military-2022-002232.
6. Galushka A.S., Vishnevetskiy V.A. Review of Biofeedback Techniques in the Rehabilitation of Posttraumatic Stress Disorder. Modeling, Optimization and Information Technology. 2024;12;3 (In Russ.). Doi: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.025.
7. Nazaryan S.Ye., Orlova N.Z., Pustovoyt V.I. Targets of Psychological Correction in the Rehabilitation of Highly Qualified Athletes. *Sportivnaya Meditsina: Nauka i Praktika* = Sports Medicine: Research and Practice. 2023;13;1:72–79 (In Russ.). Doi: 10.47529/2223-2524.2023.1.10.
8. Nazaryan S.Ye., Orlova N.Z., Bragin M.A. The Contribution of Social and Psychological Factors to the Functional Readiness of an Athlete. *Meditsinskaya Nauka i Obrazovaniye Urala* = Medical Science and Education of Ural. 2017;18;2:107–110 (In Russ.).
9. Nazaryan S.Ye., Samoylov A.S., Fedin A.B., Orlova N.Z., Nikol'skaya A.V., Pustovoyt V.I. Application of Cognitive Psychotherapy Methods in the Psychological Support of Athletes during the Rehabilitation Period. *Lechebnaya Fizkul'tura i Sportivnaya Meditsina* = Therapeutic Physical Education and Sports Medicine. 2019;1:58–61 (In Russ.).
10. Ramachandran V.S., Hirstein W. The Perception of Phantom Limbs: The D.O. Hebb Lecture. *Brain*. 1998;121;9:1603–1630. Doi: 10.1093/brain/121.9.1603.11.
11. Bragin M.A., Goloborod'ko Ye.V., Kotenko N.V., Samoylov A.S., Kalinina M.Yu. Efficiency of Hardware and Software Systems in Assessing the Psychophysiological State of Individuals in Extreme Professions. *Vestnik Vosstanovitel'noy Meditsiny* = Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2021;20;6:111–118 (In Russ.).
12. Escamilla-Nunez R., Michelini A., Andrysek J. Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review. *Sensors*. 2020;20;6:1628. Doi: 10.3390/s20061628.
13. Sturma A., Hruby L.A., Prahm C., Mayer J.A., Aszmann O.C. Rehabilitation of Upper Extremity Nerve Injuries Using Surface EMG Biofeedback: Protocols for Clinical Application. *Frontiers in Neuroscience*. 2018 Dec 4;12:906. Doi: 10.3389/fnins.2018.00906.
14. Tosti B., Corrado S., Mancone S., et al. Integrated Use of Biofeedback and Neurofeedback Techniques in Treating Pathological Conditions and Improving Performance: a Narrative Review. *Frontiers in Neuroscience*. 2024 Mar 19;18:1358481. Doi: 10.3389/fnins.2024.1358481.
15. Razinkin S.M., Korolev A.D., Bragin V.V., Krytsalov A.I. Evaluation of the Effectiveness of a Methodology for Correcting the Psychoemotional State of Athletes of the Russian National Biathlon Team. *Vestnik Nevrologii, Psikiatrii i Neyrokhirurgii* = Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery. 2019;1:65–70 (In Russ.).
16. Salminger S., Sturma A., Hofer C., et al. Long-Term Implant of Intramuscular Sensors and Nerve Transfers for Wireless Control of Robotic Arms in Above-Elbow Amputees. *Science Robotics*. 2019 Jul 17;4;32:eaaw6306. Doi: 10.1126/scirobotics.aaw6306. PubMed ID 31609322.
17. Goloborod'ko Ye.V., Fomkin P.A., Petrova V.V., Razinkin S.M. Some Approaches to Assessing the Effectiveness of Rehabilitation Measures in Highly Qualified Athletes. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal* = Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2017;13;4:947–955 (In Russ.).
18. Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, Hofer C, Farina D. Bionic Reconstruction to Restore Hand Function after Brachial Plexus Injury: a Case Series of Three Patients. *Lancet*. 2015 May 30;385;9983:2183-9. Doi: 10.1016/S0140-6736(14)61776-1.
19. Kish A.A., Goloborod'ko Ye.V., Razinkin S.M., Komlev A.M. Physical Performance in the System of Assessing the Effectiveness of Sports Medicine Technologies. *Vestnik Vosstanovitel'noy Meditsiny* = Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2021;20;6:119–125 (In Russ.).
20. Petrini F.M., Bumbasirevic M., Valle G., et al. Sensory Feedback Restoration in Leg Amputees Improves Walking Speed, Metabolic Cost and Phantom Pain. *Nature Medicine*. 2019;25:1356–1363.
21. Dietrich C., Walter-Walsh K., Preissler S., et al. Sensory Feedback Prosthesis Reduces Phantom Limb Pain: Proof of a Principle. *Neuroscience Letters*. 2018;507:97–100.
22. Askovic M, Soh N, Elhindi J, Harris AWF. Neurofeedback for Post-Traumatic Stress Disorder: Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical and Neurophysiological Outcomes. *Eur J Psychotraumatol*. 2023;14(2):2257435. Doi: 10.1080/20008066.2023.2257435.
23. Van der Kolk B.A., Hodgdon H., Gapen M., et al. A Randomized Controlled Study of Neurofeedback for Chronic PTSD. *PLoS ONE*. 2016;11;12:e0166752. Doi: 10.1371/journal.pone.0166752.

24. Kenemore T., Enlow P., Lee T., et al. Heart Rate Variability Biofeedback as a Treatment for Military PTSD: a Meta-Analysis. *Mil Med.* 2024 Aug 30;189;9-10:e1903-e1909. Doi: 10.1093/milmed/usae003.25.
25. Razinkin S.M., Samoylov A.S., Goloborod'ko Ye.V., Kish A.A., Bragin M.A., Rylova N.V., Petrova V.V., Shulepov P.A. *Izbrannyye Lektsii po Sportivnoy Meditsine* = Selected Lectures on Sports Medicine. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2022. 382 p. (In Russ.).
26. Goloborod'ko Ye.V., Razinkin S.M., Syuris N.A., Yerofeyev G.G., Kazakov V.F. The Role of the System for Assessing the Efficiency and Quality of Medical Technologies in Improving Spa Treatment Programs for Military Personnel. *Kurortnaya Meditsina* = Resort Medicine. 2021;4:25–29 (In Russ.).
27. Sherman R.A. Phantom Pain as an Expression of Referred Sensations. *European Journal of Pain.* 1997;1;1:59–69.
28. Harden R.N., Houle T.T., Green S., et al. Biofeedback in the Treatment of Phantom Limb Pain: A Time-Series Analysis. *Applied Psychophysiology and Biofeedback.* 2005;30;1:83–93.
29. Belleggia G., Birbaumer N. Treatment of Phantom Limb Pain with Combined EMG and Thermal Biofeedback: a Case Report. *Applied Psychophysiology and Biofeedback.* 2001;26;2: 141–146.
30. Morina N., Maier T., Bryant R., et al. Combining Biofeedback and Narrative Exposure Therapy for Persistent Pain and PTSD in Refugees: a Pilot Study. *European Journal of Psychotraumatology.* 2012;3;1. Doi: 10.3402/ejpt.v3i0.17660.
31. Goloborod'ko Ye.V. *Razrabotka i Obosnovaniye Sistemy Ekspertnoy Otsenki Meditsinskikh Tekhnologiy dlya Vysokokvalifitsirovannykh Sportsmenov* = Development and Substantiation of a System for Expert Evaluation of Medical Technologies for Highly Qualified Athletes. Doctor's Thesis (Med). Moscow, Natsional'nyy Meditsinskiy Issledovatel'skiy Tsentr Reabilitatsii i Kurortologii Publ., 2022. 215 p. (In Russ.).
32. Razinkin S.M., Goloborod'ko Ye.V., Komlev A.M. A Model for Assessing the Means of Correcting the Functional State in Highly Qualified Athletes Using Desynchronosis as an Example. *Kurortnaya Meditsina* = Resort Medicine. 2021;4:54–57 (In Russ.).
33. Samoylov A.S., Razinkin S.M., Khan A.V., Nazaryan S.Ye., Shevyakova N.I. Multidisciplinary Approach to the Rehabilitation of High-Performance Athletes. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoy Fizicheskoy Kul'tury* = Problems of Balneology, Physiotherapy, And Exercise Therapy. 2016;93;2:147 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 29.03.2026. **Принята к публикации:** 25.04.2026.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 29.03.2026. **Accepted for publication:** 25.04.2026