

ISSN 2949-5873 (print)
ISSN 2949-5881 (online)

Реабилитология

2026 | Том 4 | № 3

<https://rehabilitology.com>



2026 | Vol 4 | No 3

Journal of Medical
Rehabilitation



Использование методов биологической обратной связи в медицинской реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате

Р.З. Нурлыгаянов¹, Л.Т. Гильмутдинова¹, Д.Р. Нурлыгаянова²,
Б.Р. Гильмутдинов¹, Ю.А. Богданова¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Ленина, д. 3, Уфа 450008, Республика Башкортостан, Российская Федерация)

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ул. Кремлевская, д. 18, Казань 420008, Республика Татарстан, Российская Федерация)

Для контактов: Радик Зуфарович Нурлыгаянов, e-mail: radiknur@list.ru

РЕЗЮМЕ

Цель: обобщить современные данные о применении биологической обратной связи (БОС) в медицинской реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате, оценить возможности различных методов и определить перспективные направления их дальнейшего использования.

Материал и методы. Проведен обзор научной литературы, представленной в базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar и eLibrary. В анализ включено 34 источника, опубликованных в период с 2013 по 2026 гг. Рассматривали оригинальные клинические исследования, рандомизированные контролируемые испытания, систематические обзоры и метаанализы. Основное внимание уделяли применению электромиографической и биомеханической БОС, стабилметрического тренинга, систем контроля распределения нагрузки и современных цифровых технологий после эндопротезирования крупных суставов, артроскопических вмешательств и реконструкции передней крестообразной связи.

Результаты. Использование техник БОС позволяет осуществлять объективный контроль мышечной активности, распределения нагрузки, постральной устойчивости и параметров движения. Наиболее изучены методы электромиографической и стабилметрической БОС. Результаты ряда исследований свидетельствуют об улучшении мышечной активации, опорной симметрии, пострального баланса и отдельных параметров ходьбы при включении БОС в программу реабилитации. Вместе с тем преимущества перед стандартной реабилитацией выявлены не во всех работах. Сопоставление результатов затрудняют различия в используемых технологиях, клинических группах, сроках начала и продолжительности тренировок.

Заключение. БОС может применяться как дополнительный компонент комплексной медицинской реабилитации после операций на опорно-двигательном аппарате. Выбор метода целесообразно проводить с учетом ведущего функционального нарушения у пациента. Для определения оптимальных сроков, продолжительности и режимов использования БОС необходимы дальнейшие клинические исследования с оценкой долгосрочных функциональных результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биологическая обратная связь, медицинская реабилитация, ортопедические операции, электромиография, эндопротезирование суставов, постральный баланс, восстановление ходьбы, послеоперационная реабилитация

Для цитирования

Нурлыгаянов Р.З., Гильмутдинова Л.Т., Нурлыгаянова Д.Р., Гильмутдинов Б.Р., Богданова Ю.А. Использование методов биологической обратной связи в медицинской реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате. *Реабилитология*. 2026; 4 (3): 257–266. <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2026.90>.

Biofeedback in medical rehabilitation of patients following musculoskeletal surgery

R.Z. Nurlygayanov¹, L.T. Gilmudinova¹, D.R. Nurlygayanova², B.R. Gilmudinov¹, J.A. Bogdanova¹

¹ Bashkir State Medical University (3 Lenin Str., Ufa 450008, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

² Kazan (Volga Region) Federal University (18 Kremlyovskaya Str., Kazan 420008, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

Corresponding author: Radik Z. Nurlygayanov, e-mail: radiknur@list.ru

ABSTRACT

Objective: To summarize contemporary data on the use of biofeedback (BFB) in medical rehabilitation of patients following musculoskeletal surgery, evaluate the capabilities of various methods, and identify promising directions for their future application.

Material and methods. A scientific literature review was conducted across PubMed/MEDLINE, Google Scholar, and eLibrary databases. The analysis examined 34 studies published between 2013 and 2026, including original clinical studies, randomized controlled trials, systematic reviews, and meta-analyses. This review focused on the application of electromyographic and biomechanical BFB, stabilometric training, load distribution monitoring systems, and modern digital technologies following major joint replacement, arthroscopic interventions, and anterior cruciate ligament reconstruction.

Results. BFB techniques enable objective monitoring of muscle activity, weight distribution, postural stability, and movement parameters. Electromyographic and stabilometric BFB are the most widely investigated. Several studies demonstrate improvements in muscle activation, weight-bearing symmetry, postural balance, and individual gait parameters when BFB is incorporated into rehabilitation programs. However, not all studies report advantages over standard rehabilitation. Differences in the technologies used, clinical groups, and training protocols (initiation timing and duration) confound the comparison of results.

Conclusion. BFB techniques can be used to complement comprehensive rehabilitation following musculoskeletal surgery. The choice of a method should be based on the patient's primary functional impairment. Further clinical studies evaluating long-term functional outcomes are needed to determine the optimal timing, duration, and parameters of BFB application.

KEYWORDS

biofeedback, medical rehabilitation, orthopedic surgery, electromyography, joint replacement, postural balance, gait recovery, postoperative rehabilitation

For citation

Nurlygayanov R.Z., Gilmudinova L.T., Nurlygayanova D.R., Gilmudinov B.R., Bogdanova J.A. Biofeedback in medical rehabilitation of patients following musculoskeletal surgery. *Reabilitologia / Journal of Medical Rehabilitation*. 2026; 4 (3): 257–266 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2026.90>.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Болезни и травмы опорно-двигательного аппарата занимают значимое место в структуре хронической заболеваемости населения. Они являются одной из ведущих причин стойкого ограничения двигательной активности, снижения трудоспособности и качества жизни пациентов [1].

По данным А.Г. Александрова, заболевания костно-мышечной системы характеризуются высокой распространенностью и длительным течением, а одним из ключевых последствий патологического процесса становится ограничение мобильности и способности к самообслуживанию [2]. В Российской Федерации болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани также сохраняют существенную долю в общей структуре заболеваемости [3]. При неэффективности консервативного лечения дегенеративных заболеваний суставов, а также при тяжелых травматических повреждениях пациентам выполняются реконструктивные вмешательства, эндопротезирование и другие травматолого-ортопедические операции. Увеличение числа таких вмешательств закономерно сопровож-

дается ростом потребности в полноценной послеоперационной медицинской реабилитации [4].

Результат хирургического лечения определяется не только техническим выполнением операции, но и характером последующего восстановления. После травматолого-ортопедических вмешательств у пациентов могут сохраняться болевой синдром, ограничение объема движений, снижение мышечной силы, нарушения проприоцептивной чувствительности и постурального контроля [5, 6]. Продолжительное ограничение двигательной активности способствует развитию мышечной атрофии и контрактур, а недостаточная или неравномерная нагрузка на конечности может закреплять патологический двигательный стереотип. Важными задачами раннего этапа реабилитации являются профилактика последствий гипокинезии и последующее восстановление двигательных паттернов с постепенным расширением физической активности [2]. Особое значение это приобретает после операций на крупных суставах, когда пациенту необходимо адаптироваться к изменившимся биомеханическим условиям.

Актуальной остается и организационная сторона послеоперационного восстановления. Н.С. Николаев и др. на примере профильного федерального центра показали необходимость непрерывного трехэтапного реабилитационного процесса после травматолого-ортопедических операций [7]. Авторы рассматривают реабилитацию как последовательную систему мероприятий, включающую раннюю активизацию, восстановление функции оперированного сегмента и последующее возвращение пациента к самостоятельной и социальной активности. В работе продемонстрировано, что комплексная реабилитация с участием мультидисциплинарной команды и индивидуальным планированием на основе Международной классификации функционирования позволяет улучшать функциональные показатели и качество жизни пациентов [7]. Вместе с тем эффективность восстановления зависит от возможности объективно оценивать выполняемые движения и своевременно корректировать нагрузку, что обуславливает интерес к инструментальным технологиям контроля реабилитационного процесса.

Одним из таких направлений является применение биологической обратной связи (БОС). Метод основан на регистрации физиологических или биомеханических параметров пациента и преобразовании полученной информации в зрительный, слуховой или тактильный сигнал, доступный для непосредственного восприятия во время выполнения упражнения [8]. Благодаря этому пациент получает информацию о результате движения и может целенаправленно изменять мышечную активность, положение тела или характер распределения нагрузки. Р.З. Нурлыгаянов и др. рассматривают БОС как технологию, позволяющую осуществлять объективный контроль двигательной активности и формировать более рациональные двигательные стереотипы в процессе послеоперационного восстановления [9].

В реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате применяются различные варианты БОС. Электромиографическая (ЭМГ) БОС основана на регистрации биоэлектрической активности скелетных мышц и используется для обучения их контролируемому сокращению и расслаблению, коррекции мышечной асимметрии и восстановления нервно-мышечной координации [10]. Биомеханическая БОС предусматривает регистрацию пространственных и временных параметров движения с использованием гониометров, инерциальных датчиков и систем анализа движений. Отдельное направление связано с оценкой распределения нагрузки и пострурального контроля с помощью стабилметрических платформ, сенсорных стелек и датчиков давления. В исследовании L. Marin et al. применение визуальной обратной связи на основании данных сенсорных стелек после эндопротезирования тазобедренного сустава способствовало более симметричному распределению нагрузки между конечностями [11]. В работе Н.А. Горянной и др. использование стабилотренинга с БОС сопровождалось положительной динамикой показателей пострурального баланса у пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава [12].

Результаты исследований БОС при этом остаются неоднородными и зависят от типа технологии, сроков ее

включения в реабилитационную программу, продолжительности курса и особенностей хирургического вмешательства. Так, в работе T. Kokić et al. добавление ЭМГ-БОС к стандартной программе после эндопротезирования тазобедренного сустава не обеспечило статистически значимого преимущества по сравнению с традиционной реабилитацией, несмотря на улучшение функциональных показателей в обеих группах [13]. Эти данные указывают на необходимость дифференцированной оценки возможностей различных вариантов БОС и определения оптимальных сроков их применения.

Развитие цифровых технологий, носимых датчиков, стабилметрических комплексов и систем анализа движений расширяет возможности объективного контроля послеоперационного восстановления [9]. Современные системы БОС позволяют не только регистрировать результаты выполнения упражнения, но и использовать полученные показатели для индивидуальной коррекции интенсивности нагрузки и двигательной задачи. Возможность применения части таких технологий в амбулаторных и домашних условиях представляет дополнительный интерес в связи с необходимостью обеспечения непрерывности реабилитации после выписки пациента из стационара.

Цель – обобщить современные данные о применении БОС в медицинской реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате, оценить возможности различных методов и определить перспективные направления их дальнейшего использования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ / MATERIAL AND METHODS

Источники данных и стратегия поиска / Data sources and search strategy

Проведен обзор научной литературы, посвященной применению методов БОС в медицинской реабилитации пациентов с заболеваниями и травмами опорно-двигательного аппарата, с преимущественным анализом исследований после травматолого-ортопедических операций. Поиск публикаций осуществляли в электронных базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar и eLibrary. Дополнительно анализировали списки литературы отобранных публикаций для выявления работ, соответствующих тематике обзора.

При поиске англоязычных публикаций использовали ключевые слова и их сочетания: "biofeedback", "electromyographic biofeedback", "EMG biofeedback", "biomechanical biofeedback", "visual feedback", "weight bearing feedback", "stabilometric training", "musculoskeletal rehabilitation", "orthopedic rehabilitation", "postoperative rehabilitation", "total hip arthroplasty", "total knee arthroplasty", "meniscectomy", "anterior cruciate ligament reconstruction", "gait rehabilitation". Для поиска русскоязычных источников применяли соответствующие термины: «биологическая обратная связь», «электромиографическая биологическая обратная связь», «стабилотренинг», «медицинская реабилитация», «ортопедическая реабилитация», «эндопротезирование», «послеоперационная реабилитация».

Глубину поиска определяли с учетом необходимости включения как современных исследований, так и более

ранних работ, имеющих значение для оценки развития и практического применения методов БОС.

Отбор публикаций / Selection of publications

В анализ включали оригинальные клинические исследования, рандомизированные контролируемые испытания, систематические обзоры и метаанализы, в которых изучалась эффективность применения различных вариантов БОС в реабилитации. Основное внимание уделяли работам, посвященным восстановлению после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов, артроскопических вмешательств, менискэктомии и реконструкции передней крестообразной связки. Также рассматривали исследования применения БОС при нарушениях опорной функции, ходьбы и пострурального контроля, если полученные результаты имели значение для понимания возможностей технологии в послеоперационной ортопедической реабилитации. Отдельные публикации по нейрореабилитации и хроническим заболеваниям опорно-двигательного аппарата включали для характеристики принципов ЭМГ-БОС, виртуальных технологий и других методов, недостаточно изученных непосредственно у послеоперационных пациентов.

При анализе публикаций учитывали вид БОС, особенности реабилитационной программы, характер хирургического вмешательства или функционального нарушения, продолжительность тренировок, используемые показатели эффективности и результаты сравнения со стандартными методами медицинской реабилитации. Отдельное внимание уделяли восстановлению мышечной активности, симметрии распределения нагрузки, поструральной устойчивости, параметров ходьбы и функциональной активности. При интерпретации результатов учитывали дизайн исследований, объем выборки, продолжительность наблюдения и возможность переноса результатов, полученных в других клинических группах, на пациентов после травматолого-ортопедических операций.

После отбора в обзор включено 34 источника, опубликованных в период с 2013 по 2026 гг. Полученные данные были систематизированы по основным направлениям применения БОС, видам хирургических вмешательств, сравнительной эффективности со стандартными методами медицинской реабилитации и недостаточно изученным аспектам использования данной технологии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ / RESULTS AND DISCUSSION

Методы БОС, применяемые после операций на опорно-двигательном аппарате / BFB methods used after surgeries on musculoskeletal system

В медицинской реабилитации после операций на опорно-двигательном аппарате применяются различные варианты БОС, основанные на регистрации физиологических и биомеханических параметров (**рис. 1**). В обзоре О.М. Giggins et al. методы БОС разделены на физиологические и биомеханические. Для послеоперационной ортопедической реабилитации наибольшее значение имеют ЭМГ-БОС, стабилметрический тренинг, обратная связь по

реакции опоры и распределению нагрузки, кинематическая БОС с регистрацией движений в суставах, а также системы на основе инерциальных датчиков и компьютерных игровых технологий [14].

Одним из наиболее изученных методов является ЭМГ-БОС. Поверхностные электроды регистрируют электрическую активность мышцы, после чего сигнал преобразуется в визуальную или звуковую информацию [15]. Пациент получает возможность непосредственно во время упражнения оценивать степень мышечной активации и изменять характер выполнения движения. В послеоперационном периоде данный подход особенно важен при снижении произвольной активности мышц вследствие боли, ограничения движений, длительной разгрузки конечности и изменений нервно-мышечного контроля.

Показательные результаты применения ЭМГ-БОС получены при восстановлении четырехглавой мышцы бедра после хирургических вмешательств на коленном суставе. После реконструкции передней крестообразной связки использование обратной связи способствовало восстановлению максимального мышечного усилия. После артроскопической частичной менискэктомии включение ЭМГ-БОС в программу лечебных упражнений сопровождалось более быстрым отказом от вспомогательных средств при ходьбе, возрастанием силы и активности четырехглавой мышцы, увеличением объема сгибания коленного сустава и улучшением показателей по шкале Лисхольма [16]. Вместе с тем небольшие выборки в большинстве исследований ограничивают возможность распространения полученных результатов на всю популяцию послеоперационных пациентов.

Значимое место в ортопедической реабилитации занимает биомеханическая БОС. Она позволяет контролировать положение тела, перемещение центра давления, поструральную устойчивость и распределение нагрузки между нижними конечностями. В систематическом обзоре с метаанализом S.H. Mousavi et al., включившем 13 исследований с общей выборкой 226 пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава, показано, что визуальная, звуковая и вибрационная БОС при тренировке ходьбы способствует коррекции патологических биомеханических параметров [17]. На фоне применения БОС отмечались медиальное смещение центра давления и подошвенной нагрузки, уменьшение инверсии и приведения стопы, снижение вертикальной реакции опоры, контактной нагрузки на голеностопный сустав и пикового давления в латеральных отделах стопы. При этом звуковая обратная связь продемонстрировала более выраженное влияние на распределение подошвенного давления. Полученные данные подтверждают потенциальную целесообразность включения биомеханической БОС в программы восстановления ходьбы и опорной функции нижней конечности, однако их перенос на послеоперационную реабилитацию требует дальнейшего изучения, поскольку рассмотренные исследования преимущественно включали пациентов с хронической нестабильностью голеностопного сустава, а продолжительность наблюдения была ограниченной [17].

Одним из наиболее распространенных вариантов является компьютерный стабилотренинг, при котором поло-

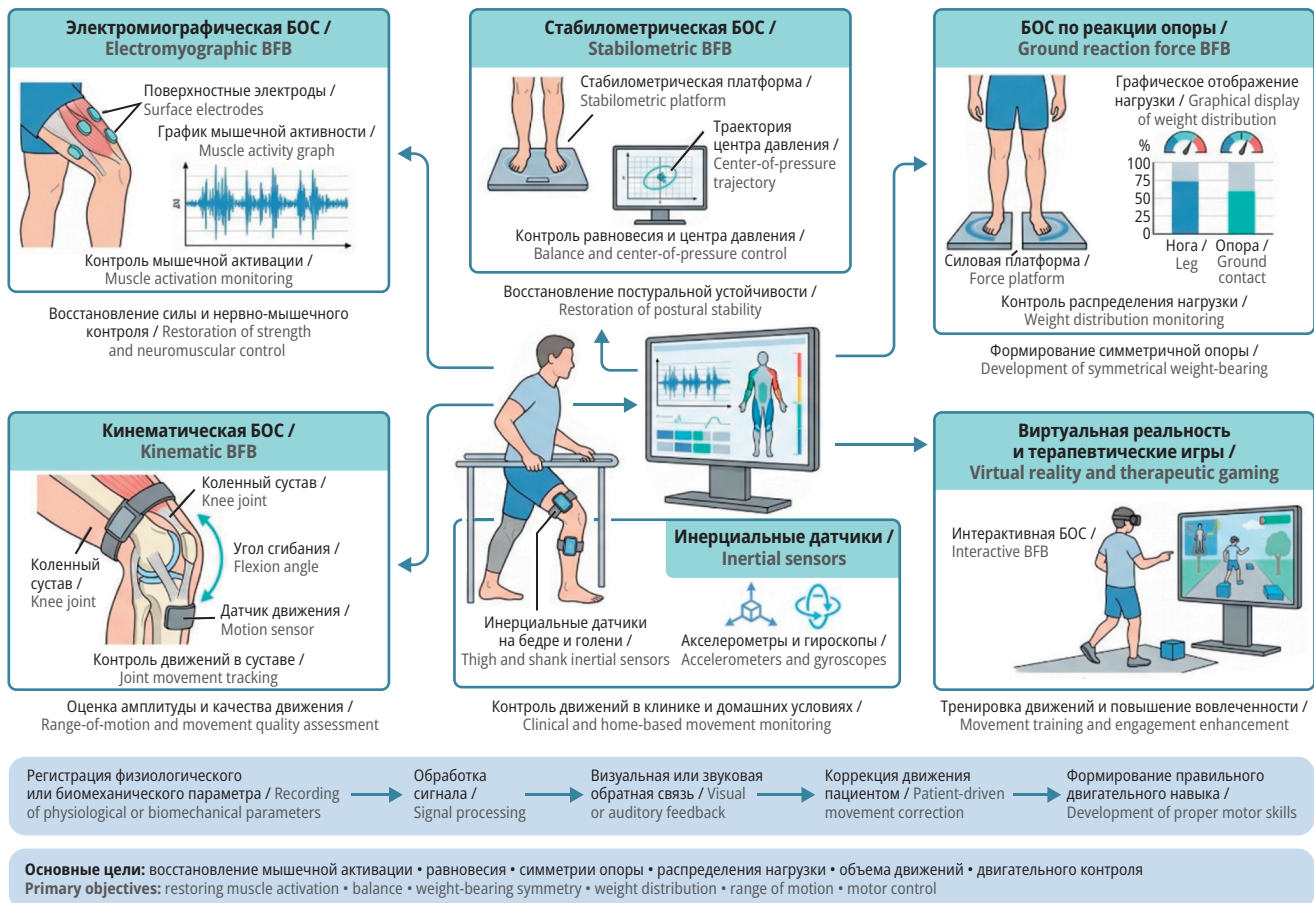


Рисунок 1. Методы биологической обратной связи (БОС) в послеоперационной ортопедической реабилитации

Figure 1. Biofeedback (BFB) modalities in postoperative orthopedic rehabilitation

жение центра давления регистрируется с помощью платформы, а информация о его перемещениях выводится на экран. Благодаря этому пациент корректирует движения непосредственно во время выполнения задания. В работе Е.А. Мельниковой и др. для этой цели применяли динамическую бипедальную платформу с тензометрическими датчиками. Реабилитационная технология была основана на выполнении целенаправленных игровых заданий с контролируемым перемещением центра давления. Такой подход обеспечивает активное участие пациента в восстановлении позуальной функции и позволяет многократно воспроизводить требуемую двигательную стратегию с постоянным зрительным контролем [18].

Нельзя не отметить обратную связь по реакции опоры. Силовые платформы предоставляют возможность определять величину нагрузки на каждую конечность и выявлять ее асимметричное распределение. Эта особенность представляет особый интерес после операций на суставах нижних конечностей, поскольку привычка разгружать ранее пораженную сторону может сохраняться и после устранения основной структурной причины ограничения функции [19]. Получение визуальной информации о нагрузке позволяет пациенту осознанно изменять положение тела и формировать более симметричную опору.

Для контроля объема и характера движений применяются также средства кинематической БОС. Электрогониометры обеспечивают регистрацию угловых перемещений

в суставе и передачу пациенту информации об амплитуде выполняемого движения. Аналогичные задачи могут решаться с помощью инерциальных датчиков, включающих акселерометры и гироскопы [20]. Их преимуществами являются небольшие размеры и возможность регистрации движения вне специализированной лаборатории [14]. Это создает предпосылки для применения подобных систем на амбулаторном и домашнем этапах послеоперационной реабилитации.

Отдельное направление представляет собой сочетание БОС с виртуальной и дополненной реальностью, а также терапевтическими компьютерными играми. Зарегистрированная мышечная активность или движение используется для управления виртуальным объектом, благодаря чему выполнение реабилитационного упражнения приобретает форму целенаправленной двигательной задачи. В систематическом обзоре С.Л. Toledo-Peral et al. проанализировано 40 исследований, посвященных применению поверхностной ЭМГ в качестве управляющего сигнала или БОС в системах виртуальной и дополненной реальности [20]. В 57,5% работ использовалась виртуальная реальность, а наиболее распространенным вариантом взаимодействия являлись игровые интерфейсы. При этом 82,5% систем были направлены на верхнюю конечность и только 17,5% – на нижнюю, а 70,0% разработок относились к двигательной нейрореабилитации и преимущественно применялись у больных после инсульта. Авторы отмеча-

ют, что сочетание поверхностной ЭМГ-БОС и виртуальной среды позволяет предоставлять пациенту информацию о мышечной активности непосредственно во время выполнения задания, способствует тренировке мышечного контроля и координации движений, а игровая форма занятий может повышать вовлеченность и приверженность к реабилитации [20].

Вместе с тем отсутствие единых подходов к обработке ЭМГ-сигналов, параметрам тренировок и оценке эффективности, а также преобладание исследований в области нейрореабилитации не позволяют в настоящее время непосредственно переносить полученные результаты на пациентов после ортопедических операций. Таким образом, применение виртуальной и дополненной реальности в сочетании с БОС представляет перспективное направление послеоперационной реабилитации, однако его эффективность после хирургических вмешательств на опорно-двигательном аппарате требует подтверждения в отдельных клинических исследованиях [21].

Для послеоперационной реабилитации наибольшее практическое значение имеют ЭМГ-БОС и стабилметрическая БОС. Первая преимущественно используется для восстановления мышечной активации, тогда как стабилметрическая и силовая обратная связь направлена на восстановление равновесия, симметрии опоры и адекватного распределения нагрузки. Кинематические и инерциальные системы расширяют возможности объективного контроля движений, однако степени изученности отдельных технологий существенно различаются.

Виды оперативных вмешательств, после которых применяются методы БОС / Types of surgical interventions after which BFB methods are used

Наиболее широко методы БОС представлены в реабилитации после хирургических вмешательств на крупных суставах нижних конечностей. В проанализированных публикациях описано их применение после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов, артроскопической менискэктомии, реконструкции передней крестообразной связки, ампутаций нижних конечностей, а также при восстановлении пациентов после хирургического лечения травм нижних конечностей и таза [22, 23].

Особое значение БОС приобретает после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. До хирургического вмешательства боль длительное время приводит к уменьшению нагрузки на пораженную конечность и формированию компенсаторного двигательного стереотипа. После операции структурное восстановление сустава не всегда сопровождается быстрым восстановлением симметричной опоры. Сохраняющаяся разгрузка оперированной стороны способна влиять на походку, равновесие и функциональную активность пациента.

Применение визуальной обратной связи по величине реакции опоры после эндопротезирования тазобедренного сустава способствует обучению более равномерному распределению массы тела между конечностями. В исследовании S. Abujaaber et al. использование информации о реакции опоры позволило уменьшить асимметрию нагрузки после операции [24]. Следовательно, БОС в данном

случае направлена не только на восстановление отдельных физических показателей, но и на перестройку сформировавшейся до операции модели движения.

Эффективность данного подхода подтверждается и пилотным рандомизированным контролируемым исследованием с участием 24 пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Применение визуальной БОС в реальном времени во время занятий с физиотерапевтом сопровождалось значимым увеличением пиковой нагрузки на оперированную конечность в раннем послеоперационном периоде. Через 12 нед у пациентов группы БОС отмечались большая дистанция ходьбы и меньшая потребность во вспомогательных средствах передвижения, что указывает на возможность сохранения эффекта после завершения раннего этапа тренировки [25].

Стабилометрический тренинг также применяется после эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. Для оценки восстановления используются положение центра давления, площадь и длина статокинезиограммы, скорость перемещения центра давления и степень его отклонения в различных плоскостях. Уменьшение медиолатерального отклонения и площади статокинезиограммы рассматривается как один из признаков восстановления постральной функции [12].

В рандомизированном сравнительном исследовании Е.А. Мельниковой и др., включавшем 128 пациентов, применение компьютерного стабилотренинга изучалось при постральной неустойчивости, связанной с заболеваниями крупных суставов и состоянием после эндопротезирования [18]. Клиническое улучшение отмечалось у 85% больных, получавших стабилотренинг с БОС, и у 64% участников контрольной группы. Медиолатеральное стандартное отклонение улучшилось на 53,3% и 39,5% соответственно, что свидетельствует о более выраженной коррекции постральной неустойчивости при включении БОС в стандартную программу реабилитации [18].

Сходные результаты получены Н.А. Горянной и др. при обследовании 43 пациентов на втором этапе реабилитации после одностороннего тотального эндопротезирования тазобедренного сустава [12]. В 21 случае стандартный комплекс реабилитации был дополнен десятью процедурами стабилотренинга, тогда как 22 участника контрольной группы проходили реабилитацию без БОС. После курса стабилотренинга отмечено уменьшение отклонения общего центра давления во фронтальной плоскости, а при закрытых глазах изменение данного показателя достигло статистической значимости. Коэффициент эффективности, характеризующий вклад зрительного контроля в поддержание равновесия, снизился с 220,33 до 128,43 балла ($p=0,002$). Одновременно доля пациентов с нормально сбалансированным зрительно-проприоцептивным контролем увеличилась с 23,8% до 52,4%, тогда как в контрольной группе статистически значимых изменений стабилметрических показателей не выявлено. Полученные результаты подтверждают целесообразность включения стабилотренинга с БОС в программу второго этапа реабилитации после эндопротезирования тазобедренного сустава для восстановления опорной симметрии и пострального баланса [12].

Другой областью применения является восстановление после артроскопических операций на коленном суставе. После частичной менискэктомии одной из основных проблем становится недостаточная активность четырехглавой мышцы бедра. Использование ЭМГ-БОС в сочетании с упражнениями сопровождалось увеличением мышечной силы и активности, улучшением сгибания коленного сустава и функциональных показателей. В отдельных исследованиях зарегистрировано также сокращение периода использования вспомогательных средств для передвижения [14].

БОС применяется и после реконструкции передней крестообразной связки. Ранее основное внимание уделялось ЭМГ-БОС для восстановления активности четырехглавой мышцы, однако современные исследования оценивают возможность коррекции более сложных биомеханических нарушений. В работе V. Rathod et al. у 33 пациентов после реконструкции передней крестообразной связки оценивалось влияние 12-недельной БОС на симметрию жесткости конечностей и эксцентрической мощности коленного сустава при приземлении [26]. Значимого преимущества БОС по этим показателям не выявлено, а различия между оперированной и неоперированной конечностями сохранялись. Авторы указывают на ограниченную статистическую мощность исследования и необходимость дальнейших работ с более крупными выборками [26].

Особое направление связано с реабилитацией после ампутаций нижних конечностей. В систематическом обзоре R. Escamilla-Nunez et al., включившем 31 исследование, большинство работ продемонстрировало положительное влияние БОС на параметры ходьбы у пользователей протезов [27]. Наиболее часто контролировались нагрузка на конечность, реакция опоры, симметрия продолжительности шага и фазы опоры, а основным способом передачи информации была визуальная БОС с последующим использованием звуковой и тактильной обратной связи. Вместе с тем большинство исследований проводилось в лабораторных условиях и ограничивалось небольшими выборками и короткими периодами наблюдения [27].

Отдельную группу составляют пациенты после хирургического лечения травматических повреждений. Возможности стабилотренинга описаны при последствиях несросшихся и неправильно сросшихся переломов нижних конечностей и костей таза. Продолжительная иммобилизация и ограничение опоры создают условия для формирования асимметрии и компенсаторных движений, поэтому после восстановления анатомической целостности сохраняется необходимость коррекции приобретенного двигательного стереотипа.

Результаты рассмотренных исследований показывают, что выбор варианта БОС определяется видом хирургического вмешательства и ведущим послеоперационным нарушением. После эндопротезирования крупных суставов основное значение имеют стабилотметрическая БОС и контроль распределения нагрузки, после артроскопических и реконструктивных операций на коленном суставе применяются ЭМГ-БОС и биомеханическая обратная связь, а после ампутаций особое внимание уделяется симметрии ходьбы и нагрузке на протезированную конечность [28].

При этом результаты исследований неоднородны, а небольшие выборки и недостаточная продолжительность наблюдения ограничивают оценку долгосрочной эффективности БОС после различных ортопедических операций.

Сравнение БОС со стандартными методами медицинской реабилитации / Comparison of BFB with standard medical rehabilitation methods

В программах медицинской реабилитации БОС преимущественно используется в сочетании с лечебной физкультурой, механотерапией и тренировкой равновесия [29]. В отличие от обычного выполнения упражнений, при БОС пациент непосредственно во время движения получает информацию о мышечной активности, положении тела или распределении нагрузки. Это позволяет корректировать двигательное действие в процессе его выполнения, а не только на основании инструкций специалиста. Такой подход особенно актуален после операций на опорно-двигательном аппарате, когда восстановление силы и объема движений может происходить быстрее, чем нормализация опорной функции и привычного двигательного стереотипа.

M. Zadravova et al. изучили возможности БОС при домашней реабилитации 55 пациентов с травмами коленного сустава [30]. В контрольной группе использовался обычный балансирующий мат, тогда как пациенты основной группы тренировались на инструментированной нестабильной платформе с БОС и дистанционным программным сопровождением. В обеих группах занятия были направлены на восстановление равновесия, однако динамическая устойчивость в большей степени улучшилась у пациентов, использовавших инструментированную платформу. При этом различия в способах дистанционной коммуникации с пациентами существенного влияния на результат не оказали. Таким образом, дополнительный эффект был связан прежде всего с характером выполнения упражнений и наличием объективной обратной связи [30].

Р.А. Бодрова и А.Д. Закамырдина сравнили стандартное лечение и комплексную программу с применением ЭМГ-БОС у 48 пациентов с травматической болезнью спинного мозга [31]. В основной группе стандартная терапия была дополнена активной механотерапией и активно-пассивной электростимуляцией с контролем мышечной активности по данным ЭМГ. После лечения мощность при эксцентрических сокращениях увеличилась на 88,5%, а амплитуда – на 79,2% (оба изменения были статистически значимыми). В группе стандартной терапии показатели свободного движения существенно не изменились [31]. Хотя результаты получены у пациентов с повреждением спинного мозга и не могут непосредственно переноситься на послеоперационную ортопедическую реабилитацию, они показывают значение ЭМГ-контроля в тех случаях, когда одной из основных задач является восстановление управляемой мышечной активности.

Данные о преимуществах ЭМГ-БОС представлены и в байесовском сетевом метаанализе S. Feng et al., объединившем результаты 45 рандомизированных контролируемых испытаний с участием 3379 пациентов [32]. Авторы сравнили семь вариантов физической терапии, применявшихся совместно с реабилитационными трени-

ровками. Наиболее высокий рейтинг получило сочетание ЭМГ-БОС с тренировочной программой, для которого показатель SUCRA¹ составил 96,8%. Данный вариант лечения был связан с улучшением двигательной функции верхней конечности и уменьшением боли [32]. В то же время эти результаты получены у пациентов с постинсультным синдромом «плечо – кисть», поэтому для оценки эффективности аналогичного подхода после ортопедических операций необходимы отдельные исследования.

При послеоперационном восстановлении преимущество БОС связано, прежде всего, с возможностью воздействовать на те нарушения, которые не всегда устраняются при обычной тренировке силы и объема движений. После длительного болевого синдрома, иммобилизации или ограничения опоры пациент может продолжать разгружать оперированную конечность даже после восстановления ее физической способности воспринимать нагрузку [33]. Обычные упражнения в таких случаях улучшают функциональное состояние конечности, но не обязательно обеспечивают коррекцию асимметрии. Стабилометрическая или силовая БОС дает пациенту информацию о величине и направлении нагрузки и тем самым позволяет целенаправленно перестраивать движение. ЭМГ-БОС решает другую задачу, помогая контролировать включение конкретных мышц и степень их активации.

Вместе с тем преимущество БОС перед стандартной реабилитацией выявляется не во всех исследованиях и не по всем оцениваемым параметрам. Результат зависит от исходного функционального дефицита, выбранного параметра обратной связи, продолжительности тренировок и момента их включения в программу восстановления [34]. Поэтому клиническая ценность метода определяется не самим фактом применения БОС, а соответствием контролируемого показателя существующему у пациента нарушению. При сниженной мышечной активации более оправданна ЭМГ-БОС, тогда как при асимметричной опоре и нарушении равновесия более информативны стабилометрические и силовые системы.

Имеющиеся данные не дают оснований рассматривать БОС как замену стандартной медицинской реабилитации. Более рациональным представляется ее включение в программу в качестве дополнительного инструмента контроля и коррекции движения. Результаты сравнительных исследований показывают возможность более выраженного восстановления отдельных параметров мышечной активности и динамической устойчивости, однако различия в клинических группах и методиках БОС затрудняют прямое сопоставление полученных эффектов. Особенно невелико количество исследований, в которых стандартная программа и аналогичная программа с БОС непосредственно сравнивались бы у пациентов после конкретных ортопедических операций.

Недостаточно изученные вопросы применения БОС / Insufficiently studied issues of BFB application

Несмотря на накопленные данные, ряд вопросов применения БОС после операций на опорно-двигательном

аппарате остается недостаточно изученным. Одной из основных проблем является неоднородность существующих исследований. Различаются виды оперативных вмешательств, используемые технологии БОС, продолжительность и частота тренировок, сроки начала реабилитации и критерии оценки результатов. Это затрудняет прямое сравнение исследований и не позволяет сформировать единые рекомендации по назначению БОС.

Не определены оптимальные сроки включения различных вариантов БОС в послеоперационную реабилитацию. В частности, недостаточно данных о том, на каком этапе наиболее эффективно применение ЭМГ-БОС, стабилометрического тренинга и контроля распределения нагрузки. Остаются также неуточненными необходимая продолжительность курса и частота занятий, обеспечивающие устойчивый клинический результат.

Большинство исследований оценивает преимущественно краткосрочные изменения отдельных функциональных показателей. Значительно меньше данных о сохранении достигнутого эффекта после завершения тренировок, влиянии БОС на самостоятельность пациентов, возвращении к трудовой и повседневной активности, риске падений и качестве жизни. Ограниченно и количество крупных рандомизированных исследований непосредственно у пациентов после конкретных травматолого-ортопедических операций.

Отдельного изучения требует возможность индивидуального выбора параметров обратной связи в зависимости от ведущего функционального нарушения у пациента. Перспективным направлением является разработка критериев, позволяющих определить, в каких клинических ситуациях применение БОС принесет наибольшую пользу. Кроме того, необходима дальнейшая оценка эффективности и безопасности носимых датчиков и домашних систем БОС, включая точность дистанционного контроля выполнения упражнений и приверженность пациентов к длительной реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Применение БОС является перспективным направлением медицинской реабилитации пациентов после операций на опорно-двигательном аппарате. Наиболее изучены ЭМГ-БОС и стабилометрическая БОС, а также методы контроля распределения нагрузки, позволяющие воздействовать на мышечную активацию, опорную симметрию, постуральный баланс и параметры ходьбы. Наибольшая эффективность отмечается при использовании БОС как дополнения к стандартной программе реабилитации с учетом ведущих функциональных нарушений у пациента.

Вместе с тем неоднородность методик и ограниченное число крупных рандомизированных контролируемых испытаний не позволяют сформировать единые рекомендации по срокам и продолжительности использования методик БОС. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных протоколов, оценку долгосрочных результатов и определение возможностей для применения носимых и домашних систем.

¹ SUCRA (англ. surface under the cumulative ranking curve) – площадь под кривой совокупного ранжирования.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
Поступила: 26.08.2026 В доработанном виде: 23.09.2026 Принята к печати: 28.09.2026 Опубликована: 30.09.2026	Received: 26.08.2026 Revision received: 23.09.2026 Accepted: 28.09.2026 Published: 30.09.2026
Вклад авторов	Authors' contribution
Нурлыгаянов Р.З. – разработка дизайна исследования и концепции статьи, написание текста, финальное редактирование текста, окончательное утверждение текста; Гильмутдинова Л.Т. – разработка концепции статьи, редактирование текста, окончательное утверждение текста; Нурлыгаянова Д.Р. – анализ литературы, написание текста; Гильмутдинов Б.Р. – разработка дизайна исследования, редактирование текста; Богданова Ю.А. – разработка дизайна исследования, редактирование текста. Все авторы прочитали и утвердили окончательный вариант рукописи	Nurlygayanov R.Z. – developing study design and article concept, text writing, final text editing, final approval of the text; Gilmudinova L.T. – developing article concept, text editing, final approval of the text; Nurlygayanov D.R. – literature review, text writing; Gilmudinov B.R. – developing article concept, text editing; Bogdanova Yu.A. – developing study design, text editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript
Конфликт интересов	Conflict of interests
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interests
Финансирование	Funding
Авторы заявляют об отсутствии финансовой поддержки	The authors declare no funding
Этические аспекты	Ethics declarations
Неприменимо	Not applicable
Комментарий издателя	Publisher's note
Содержащиеся в этой публикации утверждения, мнения и данные были созданы ее авторами, а не издательством ИРБИС (ООО «ИРБИС»). Издательство снимает с себя ответственность за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или препаратов, упомянутых в публикации	The statements, opinions, and data contained in this publication were generated by the authors and not by IRBIS Publishing (IRBIS LLC). IRBIS LLC disclaims any responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred in the content
Права и полномочия	Rights and permissions
© 2026 Авторы; ООО «ИРБИС» Статья в открытом доступе по лицензии CC BY-NC-SA https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/	© 2026 The Authors. Publishing services by IRBIS LLC This is an open access article under CC BY-NC-SA license https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Malik K.M., Beckerly R., Imani F. Musculoskeletal disorders a universal source of pain and disability misunderstood and mismanaged: a critical analysis based on the U.S. model of care. *Anesth Pain Med.* 2018; 8 (6): e85532. <https://doi.org/10.5812/aapm.85532>.
- Александров А.Г. Реабилитация пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата. *Реабилитология.* 2026; 4 (1): 63–74. <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2026.67>.
Aleksandrov A.G. Rehabilitation for patients with musculoskeletal disorders. *Reabilitologia / Journal of Medical Rehabilitation.* 2026; 4 (1): 63–74 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2026.67>.
- Олейникова Т.А., Пожидаева Д.Н., Орешко А.Ю. Мониторинг заболеваемости патологиями костно-мышечной системы и соединительной ткани в Российской Федерации. *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология.* 2019; 12 (1): 5–13. <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2019.12.1.5-13>.
Oleynikova T.A., Pozhidaeva D.N., Oreshko A.Yu. Prevalence survey of musculoskeletal and connective tissue disorders in the Russian Federation. *FARMAKOEKONOMIKA. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya / FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology.* 2019; 12 (1): 5–13 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2019.12.1.5-13>.
- Geng R., Li J., Yu C., et al. Knee osteoarthritis: current status and research progress in treatment (review). *Exp Ther Med.* 2023; 26 (4): 481. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.12180>.
- Arnstein P., van Boekel R., Booker S.Q. Overcoming movement-evoked pain to facilitate postoperative recovery. *Am J Nurs.* 2023; 123 (7): 28–37. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000944916.30662.5c>.
- Paladugu P., Kumar R., Ong J., et al. Virtual reality-enhanced rehabilitation for improving musculoskeletal function and recovery after trauma. *J Orthop Surg Res.* 2025; 20 (1): 404. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05705-3>.
- Николаев Н.С., Преображенская Е.В., Петрова Р.В., Андреева В.Э. Полный цикл медицинской реабилитации пациентов после травматолого-ортопедических операций на примере профильного федерального центра. *Национальное здравоохранение.* 2023; 4 (4): 23–36. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2023.4.4.23-36>.
Nikolaev N.S., Preobrazhenskaya E.V., Petrova R.V., Andreeva V.E. Full cycle of medical rehabilitation of patients after traumatological and orthopedic operations using the example of a specialized federal center. *National Health Care (Russia).* 2023; 4 (4): 23–36 (in Russ.). <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2023.4.4.23-36>.
- Malik K., Dua A. Advancing patient care with biofeedback. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31971716> (accessed 17.07.2026).
- Нурлыгаянов Р.З., Гильмутдинова Л.Т., Гильмутдинов Б.Р. и др. Реабилитация пациентов после операции эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием методов биологической обратной связи. *Врач.* 2025; 36 (11): 17–23. <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-11-03>.
Nurlygayanov R.Z., Gilmudinova L.T., Gilmudinov B.R., et al. Rehabilitation of patients after hip arthroplasty using biofeedback methods. *Vrach / The Doctor.* 2025; 36 (11): 17–23 (in Russ.). <https://doi.org/10.29296/25877305-2025-11-03>.
- Morales-Sánchez V., Falcó C., Hernández-Mendo A., Reigal R.E. Efficacy of electromyographic biofeedback in muscle recovery after meniscectomy in soccer players. *Sensors.* 2022; 22 (11): 4024. <https://doi.org/10.3390/s22114024>.

11. Marin L., Vandoni M., Zaza G., et al. The effects of insole-based visual feedback on weight-bearing in patients undergoing total hip replacement. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18 (7): 3346. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073346>.
12. Горьянная Н.А., Ишекова Н.И., Ишеков А.Н., Джгаркава О.В. Динамика показателей опорной симметрии и баланса в результате стабилотренинга на втором этапе реабилитации у пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава. *Современные проблемы науки и образования*. 2020; 3: 99. <https://doi.org/10.17513/spno.29792>.
- Goryannaya N.A., Ishekov N.I., Ishekov A.N., Dzhgarkava O.V. Dynamics of indicators of supporting symmetry and balance as a result of stabilotrening at the second stage of rehabilitation in patients after hip replacement. *Modern Problems of Science and Education*. 2020; 3: 99 (in Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.29792>.
13. Kocic T., Pavic R., Vuksanac M., et al. Effects of electromyographic biofeedback-assisted exercise on functional recovery and quality of life in patients after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. *J Pers Med*. 2023; 13 (12): 1716. <https://doi.org/10.3390/jpm13121716>.
14. Giggins O.M., Persson U.M., Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2013; 10: 60. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>.
15. Gámez A.B., Hernandez Morante J.J., Martínez Gil J.L., et al. The effect of surface electromyography biofeedback on the activity of extensor and dorsiflexor muscles in elderly adults: a randomized trial. *Sci Rep*. 2019; 9 (1): 13153. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49720-x>.
16. Barbosa de Almeida M., Bravo A., Santo J. Effects of electromyographic biofeedback training after meniscectomy on quadriceps strength and health related quality of life: a randomized controlled trial. In: de Pinho L.G., Fonseca C., Moguel E. (Eds) *Gerontechnology VI. IWOG 2024. Lecture notes in bioengineering*. Springer; 2025: 24–37. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87729-2_3.
17. Mousavi S.H., Khorramroo F., Minoonejad H., Zwerver J. Effects of biofeedback on biomechanical factors associated with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2023; 15 (1): 168. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00780-7>.
18. Мельникова Е.А., Рудь И.М., Рассулова М.А. Стабилотренинг с биологической обратной связью в реабилитации пациентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. *Доктор.Ру*. 2019; 1: 53–8. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-156-1-53-58>.
- Melnikova E.A., Rud I.M., Rasulova M.A. Biofeedback stabilisation in the rehabilitation of patients with musculoskeletal system disorders. *Doctor.Ru*. 2019; 1: 53–8 (in Russ.). <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-156-1-53-58>.
19. Faisal A.I., Majumder S., Mondal T., et al. Monitoring methods of human body joints: state-of-the-art and research challenges. *Sensors*. 2019; 19 (11): 2629. <https://doi.org/10.3390/s19112629>.
20. Toledo-Peral C., Vega-Martínez G., Mercado J., et al. Virtual/augmented reality for rehabilitation applications using electromyography as control/biofeedback: systematic literature review. *Electronics*. 2022; 11 (4): 2271. <https://doi.org/10.3390/electronics11142271>.
21. Byra J., Czernicki K. The effectiveness of virtual reality rehabilitation in patients with knee and hip osteoarthritis. *J Clin Med*. 2020; 9 (8): 2639. <https://doi.org/10.3390/jcm9082639>.
22. Groot L., Latijnhouwers D.A.J.M., Reijman M., et al. Recovery and the use of postoperative physical therapy after total hip or knee replacement. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022; 23 (1): 666. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05429-z>.
23. Johnson A., Brown S., Palmieri-Smith R., Krishnan C. Functional resistance training after anterior cruciate ligament reconstruction improves knee angle and moment symmetry during gait: a randomized controlled clinical trial. *Arthroscopy*. 2022; 38 (11): 3043–55. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.04.021>.
24. Abujaber S., Pozzi F., Zeni J. Jr. Influence of weight bearing visual feedback on movement symmetry during sit to stand task. *Clin Biomech*. 2017; 47: 110–6. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.06.005>.
25. Raaben M., Vogely H.C., Blokhuis T.J. Real-time visual biofeedback to improve therapy compliance after total hip arthroplasty: a pilot randomized controlled trial. *Gait Posture*. 2018; 61: 306–10. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.038>.
26. Rathod V., Vasquez B.N., Teater M.A., et al. Biofeedback impact on limb stiffness and joint power in patients with ACL reconstruction – a secondary analysis. *J Orthop Res*. 2026; 44 (1): e70131. <https://doi.org/10.1002/jor.70131>.
27. 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. <https://doi.org/10.3390/s20061628>.
28. Xie Y.J., Wang S., Gong Q.J., et al. Effects of electromyography biofeedback for patients after knee surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Biomech*. 2021; 120: 110386. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110386>.
29. Li L., Ji J., Ren H., et al. Transformative biomechanics and mechanobiology breakthroughs shaping the future of health and medicine. *Innovation*. 2026; 7 (4): 101307. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101307>.
30. Zadravova M., Mrázková E., Janura M., et al. Influence of rehabilitation aid with biofeedback on the rehabilitation process during remote home-based rehabilitation. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19 (15): 9069. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159069>.
31. Бодрова Р.А., Закамырдина А.Д. Применение биологической обратной связи в реабилитации лиц с травматической болезнью спинного мозга. *Доктор.Ру*. 2019; 6: 31–5. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-161-6-31-35>.
- Bodrova R.A., Zakamyrdina A.D. Biofeedback in rehabilitation for people with traumatic spinal cord injury. *Doctor.Ru*. 2019; 6: 31–5 (in Russ.). <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-161-6-31-35>.
32. Feng S., Tang M., Huang G., et al. EMG biofeedback combined with rehabilitation training may be the best physical therapy for improving upper limb motor function and relieving pain in patients with the post-stroke shoulder-hand syndrome: a Bayesian network meta-analysis. *Front Neurol*. 2023; 13: 1056156. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1056156>.
33. Calderone A., Mazzurco Masi V.M., De Luca R., et al. The impact of biofeedback in enhancing chronic pain rehabilitation: a systematic review of mechanisms and outcomes. *Heliyon*. 2025; 11 (2): e41917. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41917>.
34. Taylor J., Nguyen A.D., Paterno M., et al. Real-time optimized biofeedback utilizing sport techniques (ROBUST): a study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017; 18 (1): 71. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1436-1>.

Сведения об авторах / About the authors

Нурлыгаянов Радик Зуфарович, к.м.н. / **Radik Z. Nurlygayanov**, PhD – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3026-5814>. eLibrary SPIN-code: 2864-0259. E-mail: radiknur@list.ru.

Гильмутдинова Лира Талгатовна, д.м.н. / **Lira T. Gilmutdinova**, Dr. Sci. Med. – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3420-8400>. eLibrary SPIN-code: 8940-5713.

Нурлыгаянова Динара Радиковна / **Dinara R. Nurlygayanova** – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8896-6875>. eLibrary SPIN-code: 3087-2743.

Гильмутдинов Булат Рашитович, к.м.н. / **Bulat R. Gilmutdinov**, PhD – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2119-1737>. eLibrary SPIN-code: 5680-8162.

Богданова Юлия Альбертовна, к.м.н. / **Yulia A. Bogdanova**, PhD – ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5195-6729>. eLibrary SPIN-code: 5818-5731.