

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

Реабилитология

2025 | Том 3 | № 2

<https://rehabilitology.com>



2025 | Vol 3 | No 2

Journal of Medical
Rehabilitation

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта <https://rehabilitology.com>. Не предназначено для использования в коммерческих целях.
Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: info@irbis-1.ru.

Организация реабилитации после эндопротезирования коленных суставов: обзор современных подходов и методов

В.В. Мусияк

Независимый исследователь

Для контактов: Вера Васильевна Мусияк, e-mail: v.v.musiyak@chemomsu.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Тотальное эндопротезирование суставов, в т.ч. коленного сустава (ТЭКС), является основным способом терапии тяжелых форм остеоартрита. При этом качество жизни пациента после операции во многом зависит от организации процесса реабилитации. Развитие науки приводит к созданию новых методов реабилитации, кроме того, возникает потребность в изучении эффективности традиционных подходов. Поэтому систематизация и анализ новых работ, посвященных реабилитации после ТЭКС, представляется актуальной задачей.

Цель: обозначить ключевые тренды в реабилитации пациентов после ТЭКС, а также рассмотреть современные методы реабилитации с доказанной эффективностью.

Материал и методы. Поиск публикаций проведен в научных базах данных и электронных библиотеках: PubMed/MEDLINE, Google Scholar, eLibrary. В общей сложности найдено 2860 публикаций, из которых 70 полностью соответствовали критериям отбора и были включены в обзор. Поиск и отбор источников выполнен с учетом рекомендаций PRISMA.

Результаты. Современными трендами в реабилитации после ТЭКС являются раннее начало восстановительных процедур, ведение позднего послеоперационного периода в удаленном режиме с использованием цифровых технологий, персонализированный подход. Использование методов с доказанной эффективностью позволяет проводить реабилитацию в соответствии с указанными трендами. К таким методам относятся лечебная физкультура, терапия с применением биологической обратной связи, физиотерапия (криотерапия, нейромышечная электростимуляция, электроакупунктура), а также новейшие технологии: роботизированные экзоскелеты, устройства виртуальной реальности. Специально разработанные мобильные приложения и средства удаленного мониторинга дают возможность проведения эффективной телереабилитации. Формирование персонализированного подхода способствует высокой удовлетворенности пациентов прохождением восстановительного процесса.

Заключение. Развитие современных методов реабилитации позволяет пациентам после ТЭКС проходить восстановительные процедуры в комфортном режиме и в течение сравнительно короткого времени возвращаться к полноценной жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тотальное эндопротезирование коленного сустава, реабилитация, лечебная физкультура, физиотерапия, телереабилитация, персонализированный подход, новые технологии

Для цитирования

Мусияк В.В. Организация реабилитации после эндопротезирования коленных суставов: обзор современных подходов и методов. *Реабилитология*. 2025; 3 (2): 92–102. <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2025.49>.

Rehabilitation after knee arthroplasty: an overview of current approaches and methods

V.V. Musiyak

Independent Researcher

Corresponding author: Vera V. Musiyak, e-mail: v.v.musiyak@chemomsu.ru

ABSTRACT

Background. Total endoprosthesis, including total knee arthroplasty (TKA), is the main treatment method for severe forms of osteoarthritis. However, the quality of life in patients after surgery largely depends on the management of the rehabilitation process. The development of new rehabilitation methods and a need to study the efficiency of traditional ones enhance the relevance of the systematization and analysis of new studies on TKA rehabilitation.

Objective: to identify key trends in rehabilitation of TKA patients and to consider current rehabilitation methods with proven efficiency.

Material and methods. Literature search was conducted in scientific databases and electronic libraries: PubMed/MEDLINE, Google Scholar, and eLibrary. A total of 2860 publications were identified, including 70 fully eligible and considered in the review. Sources were searched and selected based on PRISMA guidelines.

Results. The current trends in TKA rehabilitation involve early initiation of recovery procedures, digitally managed late postoperative period, and a personalized approach. The use of proven methods ensures rehabilitation according to the specified trends. These include exercise, biofeedback, and physical (cryotherapy, neuromuscular electrical stimulation, and electroacupuncture) therapy, as well as the latest technologies: robotic exoskeletons and virtual reality devices. Specially designed mobile applications and remote monitoring tools enable efficient telerehabilitation. This personalized approach contributes to patients' satisfaction with the recovery process.

Conclusion. The development of modern rehabilitation methods ensures comfortable recovery procedures for TKA patients and their return to full life within a relatively short time.

KEYWORDS

total knee arthroplasty, rehabilitation, exercise therapy, physical therapy, telerehabilitation, personalized approach, new technologies

For citation

Musiyak V.V. Rehabilitation after knee arthroplasty: an overview of current approaches and methods. *Reabilitologia / Journal of Medical Rehabilitation*. 2025; 3 (2): 92–102 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2025.49>.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Остеоартрит является глобальной мировой проблемой: по данным Всемирной организации здравоохранения, в 2019 г. этим заболеванием страдали более 0,5 млрд человек во всем мире [1]. Как правило, оно поражает людей старше 55 лет, и повышение средней продолжительности жизни приводит к увеличению числа случаев данной патологии. Она сопровождается болью, скованностью суставов, ограничением подвижности – при этом не существует эффективной лекарственной терапии остеоартрита. Для улучшения качества жизни пациентов проводится операция по замене суставов. В последние два десятилетия количество таких вмешательств существенно возросло – например, частота проведения тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) в развитых странах составляет 150–200 случаев на 100 тыс. человек [2].

Важной частью терапии остеоартрита является послеоперационная реабилитация. От ее эффективности зависит то, как быстро пациент сможет вернуться к нормальному функционированию. Вопросам эффективности разных способов реабилитации после ТЭКС посвящено множество

публикаций [3, 4]. При этом выбор оптимальной стратегии из широкого спектра вариантов не представляется возможным, поскольку реабилитация – это сложный процесс, на протекание которого влияет огромное количество факторов [2, 5]. Поэтому целесообразно фокусироваться на изучении эффективности отдельных составляющих реабилитации и моделировать программу восстановления исходя из научных данных, ресурсов медицинского учреждения и индивидуальных потребностей пациента.

Для оценки эффективности методов реабилитации после ТЭКС используются различные параметры [6]. Подвижность коленного сустава оценивают по величине угла сгибания и разгибания, а также диапазона движений (англ. knee range of motion, KROM). Для оценки скорости ходьбы чаще всего используют 6-минутный тест (англ. 6-minute walking test, 6MWT), но встречаются и другие метрики. Уровень боли определяют с помощью визуальной аналоговой шкалы (англ. visual analog scale, VAS), на которой пациентам предлагается делать отметку в соответствии со своими ощущениями. На результатах опроса больных основаны и такие инструменты, как индекс остеоартрита Западного Онтарио и Университета Макмастера (англ.

Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC), шкала для оценки результатов лечения инвалидности коленного сустава и остеоартрита (англ. Knee Disability and Osteoarthritis Outcome Score, KOOS) и короткая форма опросника для оценки качества жизни (англ. Short Form-36, SF-36). Первые два позволяют оценить уровень боли, скованности, испытываемых пациентом, а также его функциональные возможности, последний направлен на оценку качества жизни.

Цель – обозначить ключевые тренды в реабилитации пациентов после ТЭКС, а также рассмотреть современные методы реабилитации с доказанной эффективностью.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ / MATERIAL AND METHODS

Поиск публикаций / Search for publications

Поиск публикаций, посвященных изучению современных подходов и методов реабилитации после ТЭКС, проведен в международных научных базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar, а также отечественной онлайн-библиотеке eLibrary. Ссылки на интернет-ресурсы,

представленные в обзоре, найдены с помощью поисковых сервисов. Использовались следующие ключевые слова и их комбинации на английском и русском языках: "total knee arthroplasty", "total knee replacement", "rehabilitation", "physiotherapy", "personalised approach", «тотальное эндопротезирование коленного сустава», «замена коленного сустава», «реабилитация», «физиотерапия», «персонализированный подход».

Отбор публикаций / Selection of publications

Схема отбора публикаций в соответствии с рекомендациями PRISMA представлена на **рисунке 1**. В общей сложности в процессе поиска найдено 2860 работ, датированных 2020–2025 гг. После ознакомления с названиями исключено 2736 публикаций, среди оставшихся 124 обнаружены 2 дублирующие. Не удалось получить доступ к 29 полнотекстовым версиям статей. Оставшиеся 93 полнотекстовые публикации оценивались с точки зрения соответствия теме обзора, качества источника и уникальности работы. В результате из 2860 найденных статей 70 всецело отвечали критериям отбора и были рассмотрены подробно.

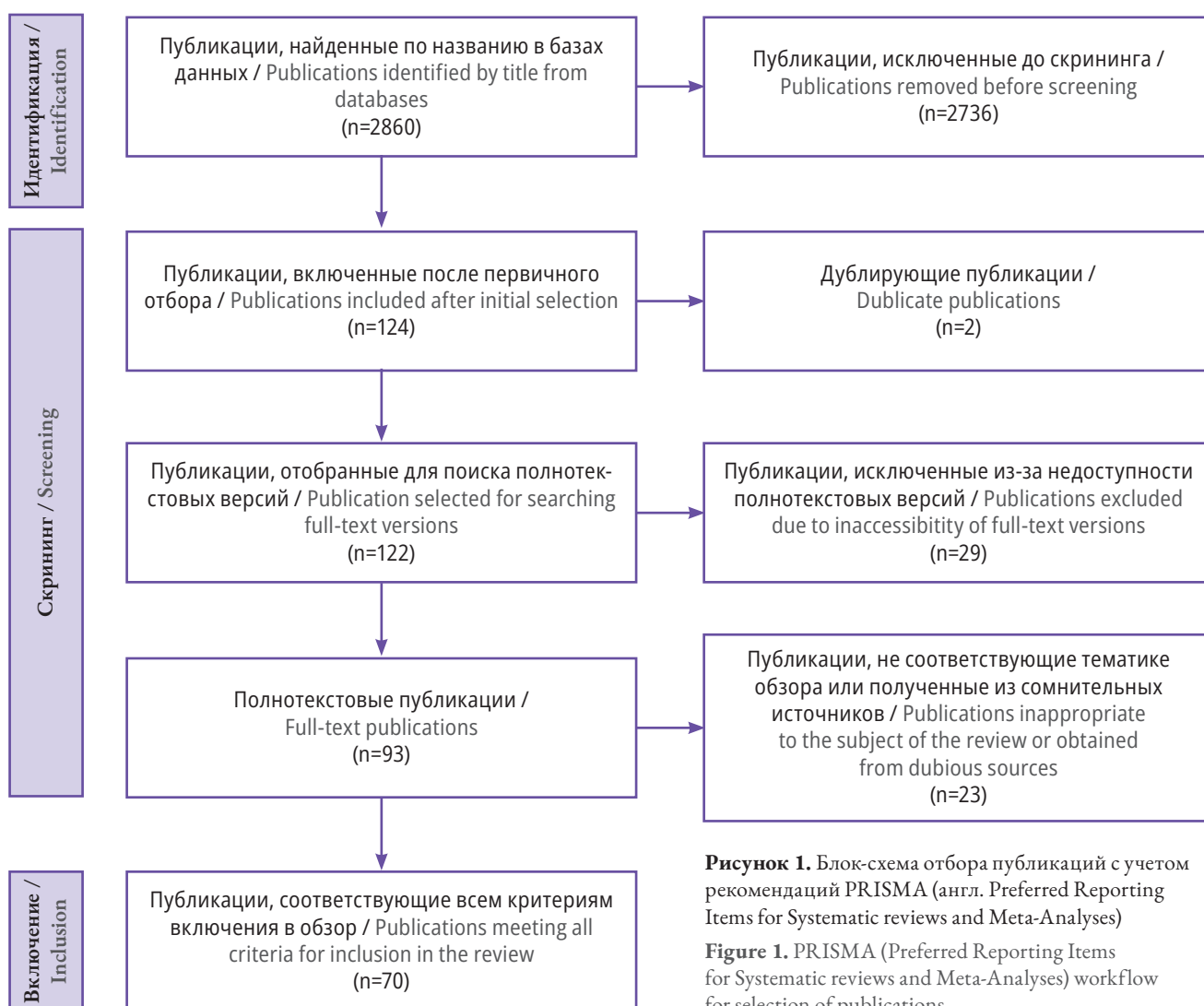


Рисунок 1. Блок-схема отбора публикаций с учетом рекомендаций PRISMA (англ. Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses)

Figure 1. PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) workflow for selection of publications

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ / RESULTS AND DISCUSSION

Современные тренды в реабилитации пациентов после ТЭКС / Current trends in rehabilitation of patients after TKA

Протокол ускоренного восстановления

Реабилитация по протоколу ускоренного восстановления (или реабилитация fast-track) предполагает мобилизацию пациента в день операции (через 6–12 ч) и раннее начало выполнения пассивно-активных упражнений (через 12–24 ч) [7–9]. Преимущества такого подхода можно разделить на экономические и терапевтические.

Экономические преимущества заключаются в том, что применение ускоренной реабилитации позволяет существенно снизить общее время госпитализации, а значит, уменьшить нагрузку на систему здравоохранения и удешевить лечение. Средний период госпитализации при реабилитации fast-track составляет около 10 дней, в то время как при обычной реабилитации этот период может превышать 17 дней [8, 10].

Терапевтические преимущества – это ускорение восстановления подвижности сустава и улучшения качества жизни по сравнению с обычной реабилитацией [7–10]. В когортном исследовании Y.T. Lei et al., охватывавшем почти 6500 пациентов, установлено, что ускоренная реабилитация позволяет существенно снизить риск развития тромбоза глубоких вен, а также за счет сокращения времени пребывания в стационаре – риск заражения легочными инфекциями [10].

Программа ускоренного восстановления может включать введение пациенту транексамовой кислоты через 6 ч после операции. Показано, что такая мера способствует существенному снижению кровопотери и ускорению восстановления функции коленного сустава [11].

Удаленная реабилитация

В то время как длительность раннего послеоперационного периода (до выписки) составляет примерно 10–15 дней [8, 10], поздний послеоперационный период (после выписки) длится 12 нед и более – в зависимости от индивидуальной скорости восстановления пациента [12]. В традиционном варианте этот период реабилитации организован амбулаторно: больной регулярно посещает медицинское учреждение для прохождения процедур и врачебного наблюдения. Однако в последнее время становится популярным вариант домашней реабилитации (телереабилитации), при которой основная часть восстановительных мероприятий проходит в удаленном режиме, а медицинские консультации пациент получает онлайн [13–18].

В период пандемии COVID-19 удаленный режим стал вынужденной мерой [19], однако многочисленные исследования показали, что домашняя реабилитация не уступает амбулаторной по эффективности, являясь при этом более комфортной для большинства пациентов [18]. Помимо этого, использование удаленного режима позволяет снизить нагрузку на медицинские учреждения и удешевить процесс реабилитации. Например, J. Prvu Bettger et al. отмечают уменьшение затрат на 12-недельный курс почти

в 3 раза [13], аналогичный результат приводят Y.H. Pua et al. для 24-недельного курса [17].

Авторы обзора статей за 2019–2021 гг. считают, что проведение телереабилитации должно быть включено в современные клинические рекомендации [15]. Примечательно, что пациент может проходить телереабилитацию, будучи причастным к специальному сообществу, примером которого является COmmunity-based Rehabilitation after Knee Arthroplasty (CORKA) в Великобритании [14, 20]. Российские исследователи удаленной реабилитации также приходят к выводу о потенциальной эффективности этого подхода, признавая в качестве возможных проблем ограниченный доступ некоторых пациентов к интернету и низкий уровень цифровой грамотности [16].

Для комфортного и эффективного прохождения телереабилитации пациенты нуждаются в специальных технологиях, которые помогут им организовать восстановительные занятия, вести мониторинг своего физического состояния и получать медицинские консультации. Так, S.J. Mehta et al. исследовали возможности использования монитора физической активности в удаленной реабилитации [21]. С его помощью пациенты могли отмечать свои достижения, обращаться за онлайн-консультациями, фиксировать свое физическое состояние. Установлено, что в группе, использовавшей монитор физической активности в течение 45 дней после выписки, наблюдалось меньше случаев повторной госпитализации по сравнению с контрольной группой [21].

Более широкий диапазон функций предлагают мобильные приложения для телереабилитации [19, 22–24]. В большинстве случаев они содержат [22–24]:

- видеоинструкции по выполнению упражнений лечебной физической культуры (ЛФК);
- интерфейс для постановки целей (например, ходить по 30 мин в день) и фиксирования физиологического состояния (например, уровня боли, количества пройденных шагов и т.д.);
- видео с историями пациентов, прошедших опыт реабилитации после ТЭКС;
- психологические техники, в частности техники расслабления и снятия стресса;
- возможность связи с медработниками и другими пациентами;
- обучающие материалы.

S. Pritwani et al. в обзоре работ за 2017–2023 гг. описывают приложения, созданные в странах Европы, Северной Америки, Азии, а также в Австралии и Новой Зеландии [23]. Исследователи указывают на то, что подобные технологии доступны в основном в развитых странах, и подчеркивают потребность больных из развивающихся стран в удобной телереабилитации. В качестве решения этой проблемы предложено разработанное приложение для пациентов из Индии [24].

В исследовании Q. Wang et al. показано, что применение пациентами приложения WeChat способствовало более эффективной реабилитации по сравнению с контрольной группой [22]. В России наблюдается интерес к созданию подобного рода приложений: согласно проведенному опросу, большинство пациентов после ТЭКС хотели бы

использовать приложение для мониторинга реабилитационного процесса и получения онлайн-консультаций [25].

Важным аспектом телереабилитации является возможность дистанционно определять значения физиологических параметров пациента, отражающих ход восстановления. Некоторые показатели (например, уровень боли, количество пройденных шагов или метров, качество жизни) больной может определить самостоятельно. Однако оценка величины KROM и мышечной силы без специальных приборов и помощи врача представляется затруднительной. Для решения этой проблемы предлагаются устройства удаленного мониторинга [26–28].

J. Luo et al. описывают модуль для измерения мышечной силы, представляющий собой конструкцию по типу экзоскелета, которая опоясывает часть ноги над коленом и под ним [26]. Модуль дает возможность измерить угол сгибания и разгибания колена, а также мышечную силу. При подключении прибора к мобильному приложению пациент передает измеренные значения лечащему врачу, предоставляя тому возможность контролировать процесс реабилитации [26].

В работах С. Yang et al. [27] и L. Forsyth et al. [28] использованы более компактные и удобные в обращении приборы, представляющие собой закрепленные на ноге датчики. Они способны измерять KROM и количество шагов при прогулке и ходьбе по ступеням. При синхронизации с устройствами мобильное приложение рассчитывает реабилитационные параметры, которые передаются лечащему врачу [27, 28].

Особенности персонализированной реабилитации

В последние годы утверждается подход персонализированной реабилитации, который предполагает использование данных о результатах лечения похожих пациентов в качестве шаблона (англ. people-like-me, PLM) [29]. Он подразумевает выстраивание процесса восстановления исходя из потребностей пациента, особенностей его образа жизни и ожиданий от реабилитации. В контексте PLM врач воспринимается не как ментор и непререкаемый авторитет, а скорее как партнер по лечению.

На примере реабилитации после ТЭКС A.J. Kittelson et al. показывают, что пациент и врач могут совместно обсуждать ход процесса восстановления и принимать решения о дальнейших действиях [29]. Согласно этому методу реабилитация может быть направлена на восстановление в первую очередь именно тех функций, которые нужны конкретному пациенту [30]. В исследовании J. Graber et al. продемонстрировано, что использование PLM позволяет более эффективно предсказывать ход реабилитационного процесса по сравнению с применением линейной смешанной модели [31].

Важной составляющей персонализированной реабилитации является работа с кинезиофобией [32, 33]. Кинезиофобия представляет собой иррациональный страх движения, который развивается у некоторых больных в раннем послеоперационном периоде. Так, А.Н. Белова и др. обнаружили признаки кинезиофобии у каждого из 50 обследованных пациентов [32]. Когортное исследование Z. Yan et al. показало связь кинезиофобии с замедлением про-

цесса восстановления [33]. Исследователи рекомендуют определять кинезиофобию на раннем этапе реабилитации и учитывать данную особенность пациента при работе с ним. Для диагностики кинезиофобии рекомендуется использовать методику опроса со шкалой Тампа [32, 33].

Современные методы реабилитации после ТЭКС / Current methods of rehabilitation after TKA

Лечебная физкультура

ЛФК является базовой и неотъемлемой составляющей большинства программ реабилитации после ТЭКС: упоминание этого метода встречается во множестве научных публикаций, посвященных данной теме [4]. Стандартные реабилитационные программы включают, в частности, функциональный тренинг (ходьба, подъем по ступеням, приседания и т.д.) и упражнения с полным диапазоном движений коленного сустава [2, 5]. Также используются такие методы ЛФК, как упражнения с сопротивлением, силовые упражнения, упражнения с закрытой и открытой кинетической цепью, нейромышечные упражнения, упражнения для брюшного пресса [2, 5, 34–38].

Некоторые современные исследования посвящены установлению эффективности отдельных составляющих ЛФК. В частности, в обзоре публикаций 2002–2019 гг. сделан вывод, что упражнения с сопротивлением обладают соразмерной эффективностью по отношению к стандартным упражнениям [34], а в обзоре статей 2010–2020 гг. – что их эффективность существенно выше [36]. Кроме того, клиническое руководство 2020 г. содержит рекомендации по включению в программу реабилитации упражнений с сопротивлением в первые 7 дней после операции [5].

В обзоре S. Shetty et al. представлен анализ работ 2017–2020 гг., посвященных влиянию упражнений для брюшного пресса на скорость реабилитации: авторы приходят к выводу, что использование таких упражнений приводит к улучшению функции коленного сустава и увеличению качества жизни пациентов [38]. При этом показано, что применение интенсивной функциональной терапии, включающей упражнения на растяжку и выносливость, не отличается значительно большей эффективностью по сравнению со стандартными тренировками [39].

Механотерапия

Традиционным вариантом механотерапии, т.е. реабилитации с применением тренажеров, является использование аппарата для пассивной разработки нижних конечностей (англ. continuous passive motion, CPM) [40–42]. При этом, согласно последним исследованиям, применение CPM не приводит к долгосрочному увеличению эффективности реабилитации.

Так, в работе N. Wirries et al. установлено, что пациенты, получавшие такой вид механотерапии, имели лучшие значения KROM по сравнению с контрольной группой на момент выписки, однако спустя 2 года после операции показатели обеих групп сравнялись [40]. Есть данные, что использование CPM позволяет немного улучшить показатели KROM вплоть до 24 нед после операции, однако не оказывает существенного влияния на скорость заживления раны [41]. В обзоре публикаций за 2008–2022 гг.

сделан вывод, что CPM не приводит к существенному увеличению скорости восстановления пациентов, однако значительно увеличивает время их пребывания в больнице и стоимость реабилитации [42]. Аналогичная оценка CPM приводится в клиническом руководстве 2020 г., рекомендуя не использовать этот метод для пациентов, перенесших первичное неосложненное ТЭКС [5].

Исследования также продемонстрировали отсутствие значимой эффективности использования беговой дорожки и велотренажера [43, 44].

Роботизированные экзоскелеты

Современными аналогами аппарата CPM являются роботизированные экзоскелеты [45–47]. Эти приборы закрепляются вокруг коленного сустава и помогают пациенту выполнять движения, реагируя на его биоэлектрические сигналы. Примерами таких устройств являются, в частности, HAL-SJ (англ. Single Joint Hybrid Assistive Limb) [45] и MAK (англ. Marsi Active Knee) [47].

Исследование S.J. Mrotzek et al. показало большую эффективность HAL-SJ по сравнению с традиционным прибором CPM, определенную по шкале Oxford Knee Score (OKS) [45]. Авторы обзора публикаций 2013–2022 гг. утверждают, что роботизированные экзоскелеты способны существенно улучшать двигательную активность коленного сустава [46]. Кроме того, использование HAL и аналогичных приспособлений уменьшает время госпитализации и делает процесс реабилитации более удобным для пациентов.

Устройство MAK, имеющее три режима активности (ходьба, стояние/сидение, двигательная активность), было представлено в прошлом году, поэтому пока проведено только мини-исследование, доказывающее безопасность и работоспособность этого прибора [47].

БОС-терапия

Биологическая обратная связь (БОС) – это технология, предусматривающая непрерывный мониторинг физиологических показателей пациента в ходе процедуры с предоставлением возможности их наблюдения и изменения [48]. Использование БОС-терапии помогает пациентам не только восстановить мышечную силу и диапазон движений сустава, но и развить утраченные стереотипы движения, прежде всего ходьбы [49].

Например, в качестве современного варианта механотерапии можно рассматривать сенсорные дорожки с БОС [50, 51]. Их устройство позволяет реагировать на движения пациента и осуществлять видеореконструкцию его шага, таким образом давая возможность отработки тренируемых двигательных паттернов. В частности, проведены исследования с использованием дорожек C-Mill [50] и h/p/cosmos [51]. В то время как C-Mill не показала существенного преимущества перед CPM в тесте 10-метровой ходьбы [50], применение комплекса h/p/cosmos способствовало значительному улучшению состояния пациентов по шкале WOMAC [51]. Кроме того, исследователи наблюдали субъективное повышение уверенности пациентов при ходьбе, что является важным психологическим фактором, способствующим быстрой и эффективной реабилитации [51].

Другими примерами устройств с БОС являются стабилоплатформа [49, 52] и точечный световой дисплей [53]. Стабилоплатформа – это прибор, позволяющий пациенту выполнять упражнения ЛФК и одновременно контролировать правильность своих действий для эффективной отработки двигательных паттернов. Установлено, что курс тренировок на стабилоплатформе HUBER 360, проведенный в постоперационный период, приводит к снижению уровня боли и повышению качества жизни пациентов [49], а в результате занятий на стабилоплатформе COBS через 3 мес после операции происходит улучшение микроциркуляции [52].

Использование точечного светового дисплея дает пациенту возможность активного наблюдения за тренировкой за счет отображения упрощенной модели тела, в которой точки соответствуют расположению суставов. Исследование C. Bidet-Iledei et al. показало, что в группе, занимавшейся ЛФК с точечным световым дисплеем, быстрее, чем в контрольной группе, происходило снижение уровня боли и улучшение показателей WOMAC [53].

Физиотерапия

Физиотерапия широко используется в реабилитации пациентов после ТЭКС, и изучение эффективности различных ее видов является предметом многих современных исследований [54].

Криотерапия

Метод криотерапии основан на том, что охлаждение поврежденной области способствует снижению болевых ощущений и воспаления за счет, соответственно, снижения скорости нервных импульсов и сужения просвета сосудов. Эффективность этого метода для реабилитации после ТЭКС доказана многочисленными исследованиями: в частности, обзор статей за 1991–2024 гг. содержит выводы о том, что криотерапия приводит к уменьшению боли, снижению кровопотери и увеличению KROM [55].

В самом простом варианте криотерапия проводится путем прикладывания к коленному суставу пакета со льдом. Усложненные техники предполагают использование рукава с циркулирующей внутри холодной водой [55], приборов типа cold flow с циркулирующим хладагентом [55, 56], а также сочетание криотерапии и компрессии (воздействия повышенным давлением) [57]. Показано, что приборы cold flow не имеют преимущества перед холодными компрессами с точки зрения уровня боли, кровопотери и значений KROM, определенных у пациентов, однако они могут быть удобнее в обращении [55, 56]. При этом исследование компрессионной криотерапии продемонстрировало высокую эффективность данного метода: через 21 день после начала реабилитации у пациентов наблюдали увеличение угла сгибания колена, улучшение результатов теста на ходьбу, снижение воспаления и боли, – и эти показатели были более значительными, чем у пациентов, подвергавшихся стандартной криотерапии [57].

В работе Д.Б. Кульчицкой и др. установлено, что криотерапия увеличивает эффективность нейромышечной электростимуляции (англ. neuromuscular electrical stimulation,

NMES) – таким образом, сочетание двух этих методов приводит к улучшению микроциркуляции [58]. Клиническое руководство 2020 г. рекомендует использовать криотерапию для реабилитации после ТЭКС [5].

Нейромышечная электростимуляция

Принцип метода NMES заключается в том, что действие низкочастотных (20–50 Гц) токов приводит к сокращению мышечной ткани и в результате многократного повторения этих сокращений происходит увеличение мышечной силы, предотвращается спастичность и атрофия мышц [59]. Наряду с криотерапией NMES является методом с доказанной эффективностью при реабилитации после ТЭКС [54], рекомендованным к использованию клиническим руководством 2020 г. [5].

При этом последние исследования эффективности NMES показывают неоднозначные результаты. С одной стороны, А.К. Klika et al. продемонстрировали существенное улучшение состояния пациентов (увеличение силы четырехглавой мышцы бедра и KROM, снижение уровня боли, улучшение двигательных навыков) через 12 нед после операции по сравнению с контрольной группой [60]. Важно отметить, что в данном исследовании использовалась система для домашней NMES-терапии. Эффективность подобного рода устройств позволяет пациентам проходить полноценную реабилитацию в удобном домашнем режиме. Влияние NMES на рост силы четырехглавой мышцы бедра отмечают и V.A. Cheuy et al. – эти исследователи также экспериментально доказали, что применение NMES приводит к увеличению диаметра мышечных волокон [61]. Кроме того, показана высокая эффективность NMES в сочетании с криотерапией (см. выше) [58] или с воздействием низкоинтенсивного лазерного излучения [62]. С другой стороны, продемонстрировано отсутствие значимой эффективности NMES в сочетании с упражнениями на велотренажере или на беговой дорожке [43, 44].

Абдоминальная декомпрессия

Применяется также метод абдоминальной декомпрессии, при котором нижнюю часть тела пациента помещают в камеру с пониженным давлением: таким образом, в зоне воздействия оказываются его брюшная полость, область малого таза и нижние конечности [63]. В результате увеличивается скорость транкапиллярного обмена веществ и происходит активная оксигенация тканей, что приводит к уменьшению отека в зоне воздействия. А.В. Калинин и др. доказали, что включение пролонгированного курса абдоминальной декомпрессии в программу реабилитации после ТЭКС приводит к увеличению KROM, снижению уровня боли и улучшению качества жизни пациентов [63].

Акупунктура, мануальная терапия и кинезиотейпирование

Некоторые физиотерапевтические методы относятся к области альтернативной медицины: в частности, акупунктура, мануальная терапия и кинезиотейпирование [64–68].

В обзоре статей за 2007–2022 гг. подтверждается эффективность акупунктуры в реабилитации пациентов

после ТЭКС: отмечается снижение боли и воспаления, улучшение двигательных функций, причем наиболее эффективным признается вариант электроакупунктуры [67]. Особенностью акупунктуры является то, что этот метод, в отличие от большинства техник физиотерапии, дает возможность проводить плацебо-контролируемые исследования за счет использования специальных плацебо-игл. Таким образом, многие работы, упомянутые в обзоре, имеют очень низкий риск предвзятости [67].

В работе X. Li et al. установлено, что использование электроакупунктуры в сочетании с воздействием постоянным током приводит к существенному снижению уровня боли по сравнению с медикаментозным обезболиванием [64]. Также сообщается об эффективности такого вида акупунктуры, как рефлексотерапия – у пациентов, подвергшихся этому воздействию, наблюдали существенное снижение боли по VAS по сравнению с контрольной группой [66].

Такие методы альтернативной медицины, как мануальная терапия [67] и кинезиотейпирование [68], также показали свою эффективность в ряде исследований. В обзоре R. Chen et al. сделан вывод о положительном влиянии массажа на ход реабилитации [69].

Устройства виртуальной реальности

Устройства виртуальной реальности (англ. virtual reality, VR) предоставляют пациентам возможность безопасного и интерактивного включения в реалистичные ситуации, которые затруднительно организовать в условиях реабилитации [70]. Разнообразие ситуаций, моделируемых с помощью VR, огромно: от катания на велосипеде и игры в футбол до разрушения кирпичной стены и прохождения джунглей. Представляя себя в этих условиях, пациент эффективно отрабатывает необходимые паттерны движения [71].

Для создания условий VR используются различные устройства: очки, шлемы, ручные контроллеры, платформы движения и т.д. [71]. Целесообразность включения VR-терапии в программы реабилитации после ТЭКС исследуется учеными с начала 2010-х гг. Так, в обзоре публикаций за 2012–2018 гг. отмечается, что тренировки с VR помогают пациентам лучше сохранять равновесие, однако не имеют эффективности с точки зрения других реабилитационных параметров [70]. При этом авторы более позднего обзора, охватывающего работы за 2018–2023 гг., утверждают, что VR-терапия эффективна в отношении снижения уровня боли, увеличения подвижности коленного сустава и улучшения качества жизни [71].

Следует отметить, что VR-устройства можно использовать в домашних условиях, что открывает возможности для эффективной удаленной реабилитации.

Психотерапевтические методы

Некоторые современные публикации посвящены изучению влияния на процесс реабилитации психотерапевтических методов, в частности Морита-терапии, использования шкалы достижения целей (англ. goal attainment scaling, GAS) и метода умственных симуляций [30, 72, 73].

Морита-терапия

Морита-терапия направлена на то, чтобы научить пациентов артикулировать свои симптомы и воспринимать их как часть своей жизни [72]. Предполагается, что результатом терапии становится улучшение настроения больного и, соответственно, более благоприятный исход реабилитации. Исследование X. Yi et al. продемонстрировало, что включение Морита-терапии в программу ранней реабилитации способствует сокращению количества D-димера, связанного с риском тромбоза глубоких вен, а также снижению уровня боли и улучшению двигательных функций пациентов [72].

Шкала достижения целей

Использование метода GAS дает возможность организовать персонализированную реабилитацию [30]. В зависимости от своего образа жизни и рода занятий пациент с помощью специалиста делает акцент на тех навыках, которые ему необходимо восстановить прежде всего. Таким образом, реабилитация становится процессом последовательного достижения локальных целей. Показано, что этот подход позволяет повысить удовлетворенность пациентов процессом реабилитации [30].

Метод умственных симуляций

В основе метода умственных симуляций, как и VR-терапии, лежит предположение, что больному легче восстанавливать утраченные паттерны движения в условиях симуляции реальных жизненных ситуаций [73]. Но, в отличие от VR-терапии, умственная симуляция не предусматривает применения сложного цифрового оборудования: пациенту предлагается представить ситуацию, просматривая видеоклип, прослушивая аудиотрек или используя собственное воображение. В обзоре публикаций за 2014–2020 гг. делается вывод о высокой эффективности метода: исследователи наблюдали снижение уровня боли,

увеличение KROM и силы четырехглавой мышцы бедра, повышение качества жизни пациентов.

Дулоксетин

Также сообщается об использовании в реабилитации антидепрессанта дулоксетина: в обзоре статей за 2010–2021 гг. установлено, что применение данного препарата в послеоперационном периоде способствует снижению уровня боли и, соответственно, потребности в приеме опиоидных анальгетиков [74].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Анализ публикаций за 2020–2025 гг. позволил выделить современные тренды в реабилитации после ТЭКС. К ним относятся раннее начало восстановительных процедур, проведение позднего послеоперационного периода в удаленном режиме с использованием цифровых технологий, персонализированный подход.

Применение современных методов с доказанной эффективностью позволяет проводить реабилитацию в соответствии с указанными трендами. Так, назначение ЛФК, физиотерапии, БОС-терапии и других процедур возможно в раннем реабилитационном периоде. Многие из описанных методов могут использоваться в удаленном формате: например, мобильные приложения и устройства дистанционного мониторинга дают возможность самостоятельно выполнять ЛФК-тренировки и психологические тренинги. Процедуры криотерапии, NMES-терапии, применение роботизированных экзоскелетов и VR-устройств также могут осуществляться в удаленном режиме.

Формирование персонализированного подхода к реабилитации и использование психотерапевтических техник улучшают настрой пациента и способствуют его высокой удовлетворенности прохождением восстановительного процесса.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
Поступила: 19.05.2025 В доработанном виде: 16.06.2025 Принята к печати: 27.06.2025 Опубликована: 30.06.2025	Received: 19.05.2025 Revision received: 16.06.2025 Accepted: 27.06.2025 Published: 30.06.2025
Конфликт интересов	Conflict of interests
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов	The author declares no conflict of interests
Финансирование	Funding
Автор заявляет об отсутствии финансовой поддержки	The author declares 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
© 2025 В.В. Мусияк; ООО «ИРБИС» Статья в открытом доступе по лицензии CC BY-NC-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)	© 2025 V.V. Musiyak. 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

- World Health Organisation. Osteoarthritis. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/osteoarthritis> (accessed 19.05.2025).
- Alrawashdeh W., Eschweiler J., Migliorini F., et al. Effectiveness of total knee arthroplasty rehabilitation programmes: a systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med.* 2021; 53 (6): jrm00200. <https://doi.org/10.2340/16501977-2827>.
- Zhao R., Ren H., Li P., et al. Research trends and frontiers in rehabilitation after total knee arthroplasty: based on bibliometric and visualization analysis. *J Orthop Surg Res.* 2024; 19 (1): 897. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05377-5>.
- Кустова О.В., Хозяинова С.С., Абусева Г.Р. и др. Реабилитационные технологии у пациентов после тотального эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей: наукометрический анализ. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2024; 101 (1): 54–61. <https://doi.org/10.17116/kurort202410101154>.
Kustova O.V., Khoziainova S.S., Abuseva G.R., et al. Rehabilitative technologies in patients after total endoprosthesis of lower limbs' major joints: scientometric analysis. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy.* 2024; 101 (1): 54–61 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort202410101154>.
- Jette D.U., Hunter S.J., Burkett L., et al. Physical therapist management of total knee arthroplasty *Phys Ther.* 2020; 100 (9): 1603–31. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa099>.
- Total knee arthroplasty. Available at: https://www.physio-pedia.com/Total_Knee_Arthroplasty (accessed 19.05.2025).
- Sattler L., Hing W., Vertullo C. Changes to rehabilitation after total knee replacement. *Aust J Gen Pract.* 2020; 49 (9): 587–91. <https://doi.org/10.31128/AJGP-03-20-5297>.
- Arienti C., Pollet J., Buraschi R., et al. Fast-track rehabilitation after total knee arthroplasty reduces length of hospital stay: a prospective, case-control clinical trial. *Turk J Phys Med Rehabil.* 2020; 66 (4): 398–404. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2020.6266>.
- Цед А.Н., Кожевин А.А., Муштин Н.Е. Современные тренды в ранней реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2024; 183 (1): 60–5. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2024-183-1-60-65>.
Tsed A.N., Kozhevin A.A., Mushtin N.E. Current trends in early rehabilitation of patients after total hip and knee replacement. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2024; 183 (1): 60–5 (in Russ.). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2024-183-1-60-65>.
- Lei Y.T., Xie J.W., Huang Q., et al. Benefits of early ambulation within 24 h after total knee arthroplasty: a multicenter retrospective cohort study in China. *Mil Med Res.* 2021; 8 (1): 17. <https://doi.org/10.1186/s40779-021-00310-x>.
- Li L., Pan H., Liu G., et al. Value of tranexamic acid and progressive nursing in accelerating postoperative rehabilitation after total knee arthroplasty. *Altern Ther Health Med.* 2023; 29 (1): 111–7.
- 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>.
- Prvu Bettger J., Green C.L., Holmes D.N., et al. Effects of virtual exercise rehabilitation in-home therapy compared with traditional care after total knee arthroplasty: VERITAS, a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2020; 102 (2): 101–9. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00695>.
- Barker K.L., Room J., Knight R., et al. Home-based rehabilitation programme compared with traditional physiotherapy for patients at risk of poor outcome after knee arthroplasty: the CORKA randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2021; 11 (8): e052598. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-052598>.
- Zhang H., Wang J., Jiang Z., et al. Home-based tele-rehabilitation versus hospital-based outpatient rehabilitation for pain and function after initial total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Medicine.* 2023; 102 (51): e36764. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000036764>.
- Шейко Г.Е., Карякин Н.Н., Белова А.Н. и др. Эффективность и безопасность дистанционной физической реабилитации у пациентов с эндопротезированием тазобедренного или коленного сустава: проспективное рандомизированное сравнительное исследование. *Вестник восстановительной медицины.* 2023; 22 (5): 40–7 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-5-40-47>.
Sheiko G.E., Karyakin N.N., Belova A.N., et al. Efficacy and safety of remote physical rehabilitation in patients with hip or knee replacement: a prospective randomized comparative study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2023; 22 (5): 40–7. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-5-40-47>.
- Pua Y.H., Yeo S.J., Clark R.A., et al. Cost and outcomes of Hospital-based Usual Care versus Tele-monitor self-directed Rehabilitation (HUATR) in patients with total knee arthroplasty: a randomized, controlled, non-inferiority trial. *Osteoarthritis Cartilage.* 2024; 32 (5): 601–11. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2023.11.017>.
- Wang L., Zhang L., He C. research progress and hot topics in telerehabilitation for hip or knee arthroplasty. *Orthop Surg.* 2025; 17 (3): 677–93. <https://doi.org/10.1111/os.14347>.
- Miner T.M., Anderson M.B., Van Andel D.C., et al. Evaluating self-directed rehabilitation for knee and hip arthroplasty during the COVID-19 pandemic: a multicenter study. *Med Sci.* 2024; 12 (4): 69. <https://doi.org/10.3390/medsci12040069>.
- Barker K.L., Room J., Knight R., et al. Outpatient physiotherapy versus home-based rehabilitation for patients at risk of poor outcomes after knee arthroplasty: CORKA RCT. *Health Technol Assess.* 2020; 24 (65): 1–116. <https://doi.org/10.3310/hta24650>.
- Mehta S.J., Hume E., Troxel A.B., et al. Effect of remote monitoring on discharge to home, return to activity, and rehospitalization after hip and knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open.* 2020; 3 (12): e2028328. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.28328>.
- Wang Q., Hunter S., Lee R.L., et al. The effectiveness of a mobile application-based programme for rehabilitation after total hip or knee arthroplasty: a randomised controlled trial. *Int J Nurs Stud.* 2023; 140: 104455. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2023.104455>.
- Pritwani S., Shrivastava P., Pandey S., et al. Mobile and computer-based applications for rehabilitation monitoring and self-management after knee arthroplasty: scoping review. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2024; 12: e47843. <https://doi.org/10.2196/47843>.
- Pritwani S., Girotra S., Shrivastava P., et al. Design and development of a mobile health intervention for rehabilitation support after knee arthroplasty: TeleRehabilitation after knee Arthroplasty (TReAT) project. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024; 25 (1): 890. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-08003-x>.
- Федонников А.С., Андриянова Е.А., Гришечкина Н.В., Норкин И.А. Возможности онлайн-коммуникации в управлении процессом реабилитации после эндопротезирования суставов. *Здравоохранение Российской Федерации.* 2022; 66 (1): 34–40. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-1-34-40>.
Fedonnikov A.S., Andriyanova E.A., Grishechkina N.V., Norkin I.A. Online communication possibilities in managing the rehabilitation process after joint arthroplasty. *Health Care of the Russian Federation.* 2022; 66 (1): 34–40 (in Russ.). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-1-34-40>.
- Luo J., Li Y., He M., et al. Rehabilitation of total knee arthroplasty by integrating conjoint isometric myodynamia and real-time rotation sensing system. *Adv Sci.* 2022; 9 (8): e2105219. <https://doi.org/10.1002/advs.202105219>.
- Yang C., Shang L., Yao S., et al. Cost, time savings and effectiveness of wearable devices for remote monitoring of patient rehabilitation after total knee arthroplasty: study protocol for a randomized controlled trial. *J Orthop Surg Res.* 2023; 18 (1): 461. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03898-z>.
- Forsyth L., Ligeti A., Blyth M., et al. Validity of wearable sensors for

- total knee arthroplasty (TKA) rehabilitation: a study in younger and older healthy participants. *Knee*. 2024; 51: 292–302. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2024.10.006>.
29. Kittelson A.J., Hoogbeem T.J., Schenkman M., et al. Person-centered care and physical therapy: a “people-like-me” approach. *Phys Ther*. 2020; 100 (1): 99–106. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz139>.
 30. Hoorntje A., Waterval-Witjes S., Koenraadt K.L.M., et al. Goal attainment scaling rehabilitation improves satisfaction with work activities for younger working patients after knee arthroplasty: results from the randomized controlled ACTION trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2020; 102 (16): 1445–53. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.01471>.
 31. Graber J., Kittelson A., Juarez-Colunga E., et al. Comparing “people-like-me” and linear mixed model predictions of functional recovery following knee arthroplasty. *J Am Med Inform Assoc*. 2022; 29 (11): 1899–907. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocac123>.
 32. Белова А.Н., Шабанова М.А., Сушин В.О. и др. Кинезиофобия у пациентов, нуждающихся в эндопротезировании тазобедренного и коленного суставов: выраженность и провоцирующие факторы. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2022; 99 (6): 34–41. <https://doi.org/10.17116/kurort20229906134>.
Belova A.N., Shabanova M.A., Sushin V.O., et al. Kinesiophobia in patients requiring hip and knee endoprosthesis: severity and provoking factors. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2022; 99 (6): 34–41 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20229906134>.
 33. Yan Z., Wu Y., Liu M., et al. Heterogeneous trajectories of kinesiophobia and their effects on rehabilitation outcomes after total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *J Orthop Surg Res*. 2023; 18 (1): 449. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03881-8>.
 34. Chen X., Li X., Zhu Z., et al. Effects of progressive resistance training for early postoperative fast-track total hip or knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Asian J Surg*. 2021; 44 (10): 1245–53. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2021.02.007>.
 35. An J., Son Y.W., Lee B.H. Effect of combined kinematic chain exercise on physical function, balance ability, and gait in patients with total knee arthroplasty: a single-blind randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20 (4): 3524. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043524>.
 36. Monsegue A.P., Emans P., van Loon L.J.C., et al. Resistance exercise training to improve post-operative rehabilitation in knee arthroplasty patients: a narrative review. *Eur J Sport Sci*. 2024; 24 (7): 938–49. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12114>.
 37. Larsen J.B., Skou S.T., Laursen M., et al. Exercise and pain neuroscience education for patients with chronic pain after total knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*. 2024; 7 (5): e2412179. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.12179>.
 38. Shetty S., Maiya G.A., KG M.R., et al. Effect of core exercises on clinical and functional outcomes after total knee arthroplasty in individuals with knee osteoarthritis: a systematic review. *Musculoskeletal Care*. 2024; 22 (3): e1930. <https://doi.org/10.1002/msc.1930>.
 39. Tanaka R., Hayashizaki T., Taniguchi R., et al. Effect of an intensive functional rehabilitation program on the recovery of activities of daily living after total knee arthroplasty: a multicenter, randomized, controlled trial. *J Orthop Sci*. 2020; 25 (2): 285–90. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.04.009>.
 40. Wirries N., Ezechieli M., Stimpel K., et al. Impact of continuous passive motion on rehabi following total knee arthroplasty. *Physiother Res Int*. 2020; 25 (4): e1869. <https://doi.org/10.1002/pri.1869>.
 41. Gil-González S., Barja-Rodríguez R.A., López-Pujol A., et al. Continuous passive motion not affect the knee motion and the surgical wound aspect after total knee arthroplasty. *J Orthop Surg Res*. 2022; 17 (1): 25. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-02916-w>.
 42. Jia Z., Zhang Y., Zhang W., et al. Efficacy and safety of continuous passive motion and physical therapy in recovery from knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2024; 19 (1): 68. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04536-y>.
 43. Hsieh C.J., DeJong G., Vita M., et al. Effect of outpatient rehabilitation on functional mobility after single total knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*. 2020; 3 (9): e2016571. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.16571>.
 44. DeJong G., Hsieh C.J., Vita M.T., et al. Innovative devices did not provide superior total knee arthroplasty outcomes in post-operative rehabilitation: results from a four-arm randomized clinical trial. *J Arthroplasty*. 2020; 35 (8): 2054–65. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.03.048>.
 45. Mroczek S.J., Ahmadi S., von Glinski A., et al. Rehabilitation during early postoperative period following total knee arthroplasty using single-joint hybrid assistive limb as new therapy device: a randomized, controlled clinical pilot study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022; 142 (12): 3941–7. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04245-9>.
 46. Wu K., Pan H.H., Lin C.H. Robotic exoskeletons and total knee arthroplasty: the future of knee rehabilitation and replacement – a meta-analysis. *Medicine*. 2024; 103 (17): e37876. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000037876>.
 47. Barquín-Santos E., Cumplido-Trasmonte C., Gor-García-Fogeda M.D., et al. Early implementation of MAK robotic device in total knee arthroplasty rehabilitation: a proof-of-concept study. *Physiother Res Int*. 2024; 29 (4): e2134. <https://doi.org/10.1002/pri.2134>.
 48. Biofeedback. Available at: <https://www.physio-pedia.com/Biofeedback> (accessed 19.05.2025).
 49. Хаптагаев Т.Б., Конева Е.С., Струков Р.Н. и др. Эффективность включения баланс-тренинга с использованием стабилоплатформы в комплексные программы ранней послеоперационной реабилитации пациентов после эндопротезирования. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2022; 99 (4-2): 17–21. <https://doi.org/10.17116/kurort20229904217>.
Khaptagaev T.B., Koneva E.S., Strukov R.N., et al. Efficiency of balance training with stabilizing platform in early postoperative rehabilitation of patients after arthroplasty. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2022; 99 (4-2): 17–21 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20229904217>.
 50. Хаптагаев Т.Б., Конева Е.С., Струков Р.Н. Восстановление стереотипа ходьбы с использованием БОС-видеореконструкции в раннем послеоперационном периоде у пациентов после тотального эндопротезирования. *Курортная медицина*. 2022; 3: 114–20. https://doi.org/10.51871/2304-0343_2022_3_114.
Khaptagaev T.B., Konev S.M., Koneva E.S., Strukov R.N. Restoration of the stereotype of walking using a biofeedback-videoreconstruction in the early postoperative period with patients after total knee replacement. *Resort Medicine*. 2022; 3: 114–20 (in Russ.). https://doi.org/10.51871/2304-0343_2022_3_114.
 51. Хозяинова С.С., Кустова О.В., Пономаренко Г.Н., Абусева Г.Р. Роботизированная биомеханокинестотерапия пациентов после эндопротезирования коленного сустава в раннем послеоперационном периоде. *Курортная медицина*. 2024; 3: 71–7. https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_3_71.
Khozyainova S.S., Kustova O.V., Ponomarenko G.N., Abuseva G.R. Robotic biomechanokinesitherapy of patients after knee arthroplasty in the early postoperative period. *Resort Medicine*. 2024; 3: 71–7 (in Russ.). https://doi.org/10.24412/2304-0343-2024_3_71.
 52. Колбахова С.Н., Конева Е.С., Кульчицкая Д.Б. и др. Применение стабилотренинга в программах реабилитации у пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава в позднем восстановительном периоде. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2022; 99 (6-2): 31–5. <https://doi.org/10.17116/kurort20229906231>.
Kolbakhova S.N., Koneva E.S., Kulchitskaya D.B., et al. The use of stability training in rehabilitation programs in patients after total knee replacement in the late recovery period. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2022; 99 (6-2): 31–5 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20229906231>.
 53. Bidet-Ildei C., Deborde Q., Francisco V., et al. The added value of point-light display observation in total knee arthroplasty rehabilitation program: a prospective randomized controlled pilot study. *Medicina*. 2022; 58 (7): 868. <https://doi.org/10.3390/medicina58070868>.
 54. Jin Z., Tang Y., Huang H., et al. Comparison of therapeutic effects

- of different rehabilitation methods on patients undergoing total knee arthroplasty: a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Orthop Surg.* 2025; 17 (2): 348–60. <https://doi.org/10.1111/os.14332>.
55. Liang Z., Ding Z., Wang D., et al. Cryotherapy for rehabilitation after total knee arthroplasty: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Orthop Surg.* 2024; 16 (12): 2897–915. <https://doi.org/10.1111/os.14266>.
 56. Coviello M., Abate A., Ippolito F., et al. Continuous cold flow device following total knee arthroplasty: myths and reality. *Medicina.* 2022; 58 (11): 1537. <https://doi.org/10.3390/medicina58111537>.
 57. Quesnot A., Mouchel S., Salah S.B., et al. Randomized controlled trial of compressive cryotherapy versus standard cryotherapy after total knee arthroplasty: pain, swelling, range of motion and functional recovery. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024; 25 (1): 182. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07310-7>.
 58. Кульчицкая Д.Б., Фесюн А.Д., Самойлов А.С., Колбахова С.Н. Применение физических факторов в программах реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава. *Вестник восстановительной медицины.* 2022; 21 (2): 46–52. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-2-46-52>.
 - Kulchitskaya D.B., Fesyun A.D., Samoilov A.S., Kolbakhova S.N. The physical factors application in rehabilitation programs for patients after total knee replacement. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2022; 21 (2): 46–52 (in Russ.). <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-2-46-52>.
 59. Neuromuscular and muscular electrical stimulation (NMES). Available at: [https://www.physio-pedia.com/Neuromuscular_and_Muscular_Electrical_Stimulation_\(NMES\)](https://www.physio-pedia.com/Neuromuscular_and_Muscular_Electrical_Stimulation_(NMES)) (accessed 19.05.2025).
 60. Klika A.K., Yakubek G., Piuze N., et al. Neuromuscular electrical stimulation use after total knee arthroplasty improves early return to function: a randomized trial. *J Knee Surg.* 2022; 35 (1): 104–11. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713420>.
 61. Cheu V.A., Dayton M.R., Hogan C.A., et al. Neuromuscular electrical stimulation preserves muscle strength early after total knee arthroplasty: effects on muscle fiber size. *J Orthop Res.* 2023; 41 (4): 787–92. <https://doi.org/10.1002/jor.25418>.
 62. Кульчицкая Д.Б., Фесюн А.Д., Самойлов А.С. и др. Применение реабилитационных программ для пациентов в раннем восстановительном периоде после тотального эндопротезирования коленного сустава. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2022; 99 (2): 32–6. <https://doi.org/10.17116/kurort20229902132>.
 - Kulchitskaya D.B., Fesyun A.D., Samoylov A.S., et al. The use of rehabilitation programs for patients in the early recovery period after total knee arthroplasty. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy.* 2022; 99 (2): 32–6 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20229902132>.
 63. Калинин А.В., Мельничук Н.В., Калашникова О.М. и др. Применение метода абдоминальной декомпрессии в реабилитации ветеранов спорта после тотального эндопротезирования коленного сустава. *Медицина экстремальных ситуаций.* 2020; 22 (2): 199–213. Kalinin A.V., Melnichuk N.V., Kalashnikova O.M., et al. Application of the abdominal decompression method for sports veterans rehabilitation after knee total arthroplasty. *Medicine of Extreme Situations.* 2020; 22 (2): 199–213 (in Russ.).
 64. Li X., Yu W., Li H., et al. Prospective, single-center comparison of transcranial direct current stimulation plus electroacupuncture and standard analgesia in patients after total knee arthroplasty: effect on rehabilitation and functional recovery. *Med Sci Monit.* 2021; 27: e930363. <https://doi.org/10.12659/MSM.930363>.
 65. Karaborklu Argut S., Celik D., Kilicoglu O.I. The combination of exercise and manual therapy versus exercise alone in total knee arthroplasty rehabilitation: a randomized controlled clinical trial. *PM R.* 2021; 13 (10): 1069–78. <https://doi.org/10.1002/pmjr.12542>.
 66. Латынцева А.И., Шомина Е.А. Оценка возможности использования акупунктуры в постоперационном периоде эндопротезирования коленного сустава. *Практическая медицина.* 2022; 20 (4): 56–9. <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2022-4-56-59>.
 - Latyntseva A.I., Shomina E.A. Estimating the use of acupuncture in post-operative period of knee endoprosthesis. *Practical Medicine.* 2022; 20 (4): 56–9 (in Russ.). <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2022-4-56-59>.
 67. Li W.X., Wu C.Q., Feng W., et al. Acupuncture for rehabilitation after total knee arthroplasty: a systematic review and network meta-analysis. *Int J Surg.* 2025; 111 (1): 1373–85. <https://doi.org/10.1097/J99.0000000000002006>.
 68. Mei T., Shuai Y., Wu D., et al. Effects of kinesio taping in patients undergoing knee or hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Rehabil Med.* 2025; 57: jrm40784. <https://doi.org/10.2340/jrm.v57.40784>.
 69. Chen R., Jin Y., Jin Z., et al. Massage for rehabilitation after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res.* 2024; 19 (1): 307. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04798-6>.
 70. Blasco J., Igual-Camacho C., Blasco M., et al. The efficacy of virtual reality tools for total knee replacement rehabilitation: a systematic review. *Physiother Theory Pract.* 2021; 37 (6): 682–92. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1641865>.
 71. Song S., Liu Z., Zhang Q. Application of virtual reality technology in postoperative rehabilitation following total knee arthroplasty: a scoping review. *Int J Orthop Trauma Nurs.* 2024; 54: 101124. <https://doi.org/10.1016/j.ijotn.2024.101124>.
 72. Yi X., Lee J.H., Yu X., et al. Assessing the efficacy of the early rehabilitation pathway in combination with morita therapy after hip and knee arthroplasty. *J Healthc Eng.* 2022; 2022: 4285197. <https://doi.org/10.1155/2022/4285197>.
 73. Lee T.H., Liu C.H., Chen P.C., et al. Effectiveness of mental simulation practices after total knee arthroplasty in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One.* 2022; 17 (6): e0269296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269296>.
 74. Yang J.M., Wang Y., Li J.Y., et al. Duloxetine for rehabilitation after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2023; 109 (4): 913–24. <https://doi.org/10.1097/J99.000000000000230>.

Сведения об авторе / About the author

Мусяк Вера Васильевна / Vera V. Musiyak – ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7177-5709>. E-mail: v.v.musiyak@chemomsu.ru.