

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

Реабилитология

2025 | Том 3 | № 3

<https://rehabilitology.com>



2025 | Vol 3 | No 3

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.

Реабилитация, основанная на виртуальной и дополненной реальности

И.В. Грибкова

Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения г. Москвы» (ул. Шарикоподшипниковская, д. 9, Москва 115088, Российская Федерация)

Для контактов: Ирина Владимировна Грибкова, e-mail: igribkova@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Традиционные методы реабилитации часто имеют ограничения, связанные с недостаточной приверженностью пациентов, а также с отсутствием объективной обратной связи, необходимой для значительного улучшения функций. Поэтому необходимо использовать новые подходы для повышения мотивации больных и увеличения эффективности терапии. В этом могут помочь технологии виртуальной реальности (англ. virtual reality, VR) и дополненной реальности (англ. augmented reality, AR), которые все чаще используются в реабилитации. VR создает полностью иммерсивную цифровую среду, которая заменяет реальный мир, для чего требуется использование VR-очков. AR, напротив, накладывает цифровые элементы на реальную среду, позволяя пациентам видеть как свое физическое окружение, так и виртуальные подсказки с помощью смарт-очков, планшетов или VR-очков. Эта возможность обеспечивает обратную связь и поддержку в режиме реального времени в процессе выполнения упражнений. Показана эффективность применения VR- и AR-технологий в реабилитации пациентов с нарушениями функций организма, связанными с онкологическими заболеваниями, инсультом, рассеянным склерозом, черепно-мозговыми травмами, а также слабовидящих больных и людей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Использование данных подходов приводит к уменьшению болевых ощущений, улучшению функциональных возможностей, психического здоровья и качества жизни. Продемонстрирована высокая приверженность больных к таким методам реабилитации. Рассмотрены причины успеха данных технологий, а также сложности, препятствующие их широкому внедрению в клиническую практику.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

виртуальная реальность, дополненная реальность, онкологические заболевания, инсульт, реабилитация зрения, рассеянный склероз, заболевания опорно-двигательного аппарата, черепно-мозговая травма, обзор

Для цитирования

Грибкова И.В. Реабилитация, основанная на виртуальной и дополненной реальности. *Реабилитология*. 2025; 3 (3): 212–218. <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2025.66>.

Technologies of virtual and augmented reality in rehabilitation

I.V. Gribkova

Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management (9 Sharikopodshipnikovskaya Str., Moscow 115088, Russian Federation)

Corresponding author: Irina V. Gribkova, e-mail: igribkova@yandex.ru

ABSTRACT

Traditional rehabilitation methods are often limited by patient compliance issues and deficiencies in objective feedback, which are necessary for significant functional improvement. Therefore, new approaches should be implemented to improve patient motivation and increase therapy effectiveness. The increasing use of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies in rehabilitation is a solution. While VR creates a fully immersive digital environment that replaces the real world and requires the use of headsets, AR overlays digital elements onto the real world: using smart glasses, tablets, or VR headsets, patients can

see both their physical surroundings and virtual cues. Thus, these technologies provide real-time feedback and cues during exercise. This study reveals the effectiveness of VR and AR technologies for rehabilitating patients with functional impairments resulting from cancer, stroke, multiple sclerosis, traumatic brain injury, low vision, and musculoskeletal disorders. These techniques relieve pain while improving function, mental health, and quality of life. High patient compliance with these rehabilitation methods has been demonstrated. The reasons for the success of these technologies are discussed, as well as the challenges hindering their widespread implementation in clinical practice.

KEYWORDS

virtual reality, augmented reality, cancer, stroke, vision rehabilitation, multiple sclerosis, musculoskeletal disorders, traumatic brain injury, review

For citation

Gribkova I.V. Technologies of virtual and augmented reality in rehabilitation. *Reabilitologia / Journal of Medical Rehabilitation*. 2025; 3 (3): 212–218 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2949-5873/rehabil.2025.66>.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Эффективность реабилитации, основанной на традиционных подходах, включающих физиотерапию, медикаментозное лечение, коррекцию образа жизни и др., часто снижается из-за недостаточной интенсивности терапии, низкой вовлеченности и мотивации пациентов, а также отсутствия объективной обратной связи, необходимой для значительного улучшения функций. Рецидивы симптомов и психосоциальные последствия хронических заболеваний еще больше ограничивают результативность традиционных методов [1].

Цифровые технологии открыли новые возможности для реабилитации, в частности благодаря применению виртуальной реальности (англ. virtual reality, VR), дополненной реальности (англ. augmented reality, AR) и игровых платформ для физических упражнений, которые в совокупности называются расширенной реальностью (англ. extended reality, XR) [2, 3]. XR включает интерактивные среды, которые в той или иной степени сочетают реальные и виртуальные стимулы, повышая вовлеченность пациентов в процесс лечения и увеличивая вероятность положительного результата [2].

VR – это полностью иммерсивная компьютерная среда, создаваемая с помощью дисплеев, которые надеваются на голову и имитируют выполнение функциональных задач, одновременно отвлекая от болевых ощущений [2]. AR, в свою очередь, накладывает цифровой контент на физическую среду (как правило, с помощью смарт-очков, портативных устройств или экранов планшетов), позволяя пользователям получать визуальную обратную связь в режиме реального времени и корректируя сигналы во процессе движения [3]. Экзергеймы (VR-видеоигры) включают интерфейсы для отслеживания движений, которые дают возможность сочетать физическую активность с игровыми элементами, тем самым повышая приверженность к тренировкам, их регулярность и мотивацию, особенно у людей с фибромиалгией, остеопенией или дисфункцией суставов [4].

В сфере здравоохранения XR-технологии уже показали свою эффективность в медицинском обучении, точности выполнения процедур и непосредственном

уходе за пациентами [5, 6]. Симуляторы на основе VR вносят вклад в повышение качества обучения хирургии, позволяя стажерам оттачивать свои навыки в безопасной среде. AR может улучшить интраоперационное наведение и уже применяется в ортопедии для повышения точности установки имплантатов и снижения риска осложнений при таких процедурах, как артроскопия и эндопротезирование суставов. В последние десятилетия данные методы применяются и для реабилитации пациентов.

В связи с этим представляется актуальным выяснить, позволяет ли использование указанных технологий уменьшать болевые ощущения, улучшать функциональные возможности, психическое здоровье и качество жизни пациентов. Поскольку эти методы становятся все более доступными и востребованными в клинической практике, крайне важно также сравнить их эффективность с традиционными подходами к восстановлению, определить целесообразность и потенциал их интеграции в современную реабилитационную практику.

VR- И AR-ТЕХНОЛОГИИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ / VR AND AR TECHNOLOGIES IN REHABILITATION OF PATIENTS WITH VARIOUS DISEASES

Онкологические заболевания / Malignant neoplasms

Как показали Z. Su et al. в обзоре, включившем 25 статей (общий размер выборки составил 1174 пациента – от 6 до 136), методы VR и AR уже достаточно часто применяются для реабилитации при нарушениях функций организма, связанных с онкологическими заболеваниями. Авторы приводят информацию о типах рака, моделях и устройствах VR, программах и продолжительности вмешательства, эффективности, соблюдении требований, удовлетворенности и безопасности [7].

В большинстве исследований (17 из 25; 68%) использовались коммерческие игровые программы, а в трети (8 из 25; 32%) – индивидуальные программы тренировок, при этом в 7 из 8 работ (88%) представлены самодельные системы [7].

Содержание программ разнообразно: теннис, пляжный волейбол, тайский бокс, упражнения тайцзи, разгибание рук на трицепс, танец макарена и другие развлечения – дартс, боулинг, «разрезание торта», «гребля», «виртуальный шопинг». Продолжительность реабилитации варьировалась от 3 до 12 нед, занятия проводились от 2 до 5 раз в неделю по 20–50 мин за сеанс [7].

Реабилитация применялась для лечения пациентов с раком молочной железы, лейкемией и раком легких. Наиболее распространенными осложнениями были постмастэктомические синдромы. В целом в 74% исследований получены положительные результаты, в т.ч. значительное улучшение функций конечностей, амплитуды движений в суставах, уменьшение интенсивности боли, отеков, апноэ, нарушений дыхания, повышение когнитивных функций, способности к самообслуживанию и качества жизни. Показатель соблюдения режима лечения варьировался от 56% до 100% [7].

Инсульт / Stroke

Технологии VR и AR становятся революционными инструментами в реабилитации после инсульта, создавая иммерсивную и интерактивную среду, которая способствует восстановлению двигательных и когнитивных функций. Эти методы используют искусственный интеллект для создания персонализированных программ терапии, оптимизируя результаты реабилитации за счет увлекательных и адаптивных подходов [8–10].

В исследованиях, в которых проведено сравнение эффективности лечения с использованием технологий VR и AR и традиционной реабилитационной терапии, доказано, что применение VR- и AR-методов привело к лучшим результатам с точки зрения восстановления функций организма [11].

Основные методы и подходы – это общедоступные коммерческие игры и VR-системы, предназначенные для реабилитации конечностей. Во многих исследованиях использовались специализированные VR-игры/системы. Содержание программ может включать, например, тренировки по гребле на каноэ, стандартные физиотерапевтические упражнения с применением VR или игры, в которых пациентам нужно двигать руками, чтобы брать или убирать предметы и набирать очки. Все системы VR состоят из схожих компонентов: датчик, камера, монитор и программное обеспечение. Это погружает пациентов в виртуальные миры, где они могут выполнять задачи, имитирующие действия в реальной жизни, например дотягиваться до виртуальных объектов, брать их и манипулировать ими. Такие системы предназначены для улучшения процесса реабилитации за счет сочетания визуальной, слуховой и тактильной обратной связи, которые в совокупности способствуют повышению увлекательности процесса и эффективности терапевтического воздействия [12, 13]. Продолжительность вмешательства, как правило, составляет от 1 до 8 нед, частота тренировок – от 1 до 7 раз в неделю, а их длительность – от 30 до 120 мин [11].

Эффективность иммерсивной VR в реабилитации после инсульта обусловлена тем, что она позволяет создать

контролируемую и адаптируемую среду для тренировок. Передовые VR-платформы используют сложные алгоритмы и обработку данных в режиме реального времени, чтобы корректировать сложность заданий в зависимости от результатов пациента [8, 14, 15]. Например, VR-системы могут изменять размер, вес виртуальных объектов и расстояние до них, предлагая пациентам все более сложные сценарии, соответствующие их двигательным способностям. Такая адаптивность крайне важна для развития нейропластичности – способности мозга перестраиваться и формировать новые нейронные связи в ответ на тренировки [16–18]. Благодаря постоянной адаптации к меняющимся возможностям пациента VR гарантирует, что терапевтические упражнения будут достаточно сложными, но выполнимыми, что крайне важно для максимального восстановления двигательных функций [10].

Кроме того, интеграция VR и AR с другими технологиями, такими как носимые датчики и системы захвата движения, еще больше расширяет возможности реабилитации. Носимые датчики могут отслеживать движения конечностей и обеспечивать дополнительную обратную связь, а системы захвата движения позволяют точно измерять углы в суставах и мышечную активность. Комбинированные данные способствуют более комплексной оценке двигательной функции и внесению более точных корректив в протоколы тренировок с использованием VR [19].

Технология AR повышает эффективность реабилитации после инсульта, интегрируя цифровую информацию в физический мир и предлагая динамичную и интерактивную платформу для отработки функциональных навыков. Системы AR накладывают виртуальные элементы, такие как визуальные подсказки и интерактивные сообщения, на реальную среду [9, 20]. Такая интеграция помогает пациентам выполнять задачи в реальных условиях, предоставляя индивидуальные рекомендации и обратную связь во время реабилитационных упражнений. При восстановлении после инсульта AR может проецировать виртуальные объекты и обучающие наложения в поле зрения пациента, помогая ему выполнять такие действия, как приготовление пищи, одевание или преодоление препятствий [9].

Например, технология AR способна отображать виртуальные ингредиенты и пошаговые инструкции по приготовлению пищи на кухонной столешнице или проецировать виртуальные подсказки на одежду пациента, помогая ему отрабатывать навыки одевания [10]. Аналогичным образом AR может помогать пациентам преодолевать виртуальные полосы препятствий, подстраиваясь в режиме реального времени под их движение и обеспечивая мгновенную обратную связь. Такой интерактивный подход делает реабилитационные упражнения более интересными и применимыми в обычной жизни [10].

Основное преимущество AR в реабилитации после инсульта заключается в ее способности устранять разрыв между виртуальной средой обучения и реальным применением полученных навыков. Технология позволяет выполнять терапевтические упражнения в контексте повседневной деятельности, что способствует переносу навыков, полученных в ходе терапии, в практическую повседневную реальность [10].

Заболевания опорно-двигательного аппарата / Muscle and skeletal disorders

Технологические достижения последнего десятилетия произвели революцию и в реабилитации опорно-двигательного аппарата. Интеграция VR- и AR-технологий в ортопедическую реабилитацию повышает приверженность пациентов к лечению и ускоряет их функциональное восстановление за счет интерактивных и увлекательных реабилитационных сеансов.

Реабилитационные программы на основе VR оказались особенно полезными для пациентов, восстанавливающихся после травм опорно-двигательного аппарата и операций по эндопротезированию суставов. Исследования показывают, что игровая среда снижает болевые ощущения, увеличивает амплитуду движений и ускоряет функциональное восстановление за счет активного участия пациента в процессе реабилитации [3, 21].

M.J. Vinolo Gil et al. в систематическом обзоре подтвердили, что реабилитация с использованием AR улучшает функциональные результаты после травм за счет управляемой интерактивной двигательной терапии [22]. В другой работе доказано, что телереабилитация с применением AR при реконструкции передней крестообразной связки так же эффективна, как и очная физиотерапия, при этом у пациентов наблюдаются сопоставимое улучшение функциональных показателей и более высокий уровень приверженности к лечению [23]. А систематический обзор и метаанализ S. Su et al. продемонстрировал, что реабилитация с помощью XR-технологий лучше восстанавливает функциональность пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава по сравнению с традиционными методами [21].

Реабилитационные методы на основе VR также применяются при хронических заболеваниях опорно-двигательного аппарата, в т.ч. при болях в пояснице. Доказано, что VR значительно снижает страх перед болью и степень утраты трудоспособности [1]. Возможность проводить терапию дистанционно с помощью платформ VR и AR обеспечивает непрерывность лечения, особенно для пациентов, сталкивающихся с логистическими препятствиями при очном прохождении реабилитации [24].

В систематическом обзоре T. Plavoukou et al. показана эффективность VR и AR в уменьшении болевых ощущений, улучшении функциональности, равновесия и психологического состояния у взрослых с хроническими болевыми синдромами [2]. Используемые технологии включали системы VR с полным погружением, платформы для эрготерапии (предлагающие реабилитационные программы на основе игр без эффекта погружения, в которых упор делается на повторение движений и мотивацию), вмешательства с применением AR (накладывающие цифровые подсказки на реальные задачи, чтобы повысить точность и эффективность обратной связи в послеоперационной реабилитации), системы отслеживания движений и телереабилитации (позволяющие проводить контролируемую терапию в домашних условиях без использования иммерсивных визуальных сред). Среди этих методов наиболее стабильные улучшения физических функций и качества жизни наблюдались при применении экзергейминга в различных клинических группах.

В то же время иммерсивная VR оказывала более сильное влияние на психологические показатели, такие как депрессия и кинезиофобия, особенно у пациентов с фибромиалгией и хроническими болями в пояснице [2, 25]. Приверженность к лечению варьировалась от 81% до 93%, причем самые высокие показатели наблюдались при использовании долгосрочных геймифицированных подходов, таких как 24-недельные программы [2]. В большинстве исследований отмечено улучшение по нескольким показателям, наиболее стабильными результатами были уменьшение болевых ощущений, восстановление физических функций и повышение качества жизни.

Влияние VR и AR на реабилитацию при остеоартрите коленного сустава T. Plavoukou et al. изучили в другом систематическом обзоре [26]. В исследованиях использовались коммерчески доступные инструменты VR. Эти технологии продемонстрировали значительное улучшение в показателях равновесия и нервно-мышечного контроля, способствовали восстановлению психологического состояния пациентов за счет уменьшения болевых ощущений и улучшения функциональности, а также повышению вовлеченности пациентов в процесс лечения.

Реабилитация с применением XR-технологий выводит уход за опорно-двигательным аппаратом за рамки традиционных клинических условий благодаря интеграции телемедицинских платформ и носимых устройств. Инерциальные измерительные блоки (ИИБ) стали ключевым компонентом программ восстановления с использованием VR и AR, обеспечивая объективный непрерывный мониторинг кинематики суставов и параметров походки. Прикрепленные к конечности ИИБ с высокой точностью фиксируют данные о движении, позволяя передавать их в режиме реального времени на цифровые платформы или напрямую медицинским работникам. Недавние исследования продемонстрировали, что благодаря современным системам ИИБ можно получать показатели движения коленного сустава, сопоставимые по точности с данными, полученными в лабораторных условиях с применением систем захвата движения, и при этом проводить оценку в естественных условиях, приближенных к реальным. Эти носимые устройства дают возможность применять персонализированные протоколы дистанционной реабилитации, особенно после таких операций, как эндопротезирование коленного сустава [6].

Нарушения зрения / Visual impairment

Использование VR и AR для расширения поля зрения и повышения его остроты при реабилитации слабовидящих описано в систематическом обзоре D.R. Pur et al., в который вошли 16 исследований с участием 382 человек со снижением зрения по различным причинам (например, глаукома, возрастная макулярная дегенерация, пигментный ретинит). В качестве основных визуальных показателей оценивались поле зрения (67%), острота зрения (65%) и контрастная чувствительность (27%). В большинстве работ применялись технологии AR (53%) и VR (40%) [27].

Во всех публикациях представлены VR-шлемы различных производителей, а также самодельные устройства. К наиболее распространенным методам улучшения

зрения относились переменное увеличение с помощью цифрового зума (67%), повышение контрастности (53%) и уменьшение размера изображения (27%). Описаны и другие подходы, например подсветка и изменение разрешения изображения [27].

Установлено, что устройства VR и AR для лечения нарушений зрения позволяют расширить поле зрения и повысить его остроту. С помощью AR можно расширить поле зрения в 3–9 раз. В среднем у людей, использовавших технологии VR или AR, острота зрения улучшилась с 0,9 до 0,2 logMAR [27].

Рассеянный склероз / Multiple sclerosis

Выбор подходящей стратегии реабилитации при работе с неврологическими расстройствами является особенно сложной задачей. Поэтому актуален поиск новых подходов для улучшения клинических результатов.

В нескольких исследованиях уже показано успешное применение различных цифровых технологий для ведения пациентов с рассеянным склерозом [28–31]. Цифровые технологии используют для автоматического сбора данных, обнаружения сложно выявляемых симптомов, оценки приверженности к лечению и побочных эффектов, прогнозирования результатов нейрореабилитации и т.д. [29, 31]. Дистанционные методы лечения, которые стали доступны благодаря появлению цифровых подходов, открывают новые возможности для двигательной и когнитивной реабилитации в домашних условиях [29, 31]. Цифровые технологии также применяются для проведения психотерапии и двигательной реабилитации с помощью экзергеймов, электронных тренингов и упражнений с использованием роботов [29].

Исследование G.A. Albanese et al. показало, что синергия роботизированных систем с технологиями VR и AR может усилить преимущества, преодолеть недостатки и расширить возможности в области реабилитационной робототехники [28]. Для людей с рассеянным склерозом с успехом применяют роботизированные системы, помогающие бороться со сложностями этого заболевания, которое может ухудшить способность выполнять повседневные задачи. Однако у пациентов с мультисистемным склерозом часто наблюдаются уникальные симптомы, что приводит к необходимости разработки оптимальных стратегий управления роботами и визуальных стимулов для оказания индивидуальной помощи. С точки зрения кинематических нарушений у таких больных может наблюдаться разная степень нарушения функций обеих рук, при этом более пораженная сторона не обязательно является доминирующей. Однако, поскольку основное внимание исследователей сосредоточено на нарушениях, связанных с инсультом, большинство экзоскелетов для верхних конечностей предназначены для одностороннего использования. Чтобы преодолеть это ограничение, можно применить иммерсивные технологии VR и AR, которые позволят выполнять упражнения обеими руками и точно измерять движения руки, не подвергавшейся лечению. Такой подход предоставляет ценные количественные данные для мониторинга прогресса реабилитации. Кроме того, при работе с когнитивными нарушениями можно упростить среду VR и AR,

чтобы сделать задачи более доступными и понятными или дополнить их сложными умственными упражнениями для повышения нейропластичности [28].

VR-системы, отличающиеся простотой использования и экономичностью, также являются привлекательным вариантом для реабилитации в домашних условиях, дополняя роботизированные вмешательства в условиях стационара и обеспечивая непрерывность лечения, необходимого пациентам с мультисистемной атрофией. В случае рецидива или госпитализации предпочтение часто отдается роботизированной реабилитации. На этом этапе пациентам может потребоваться пассивное движение, активная помощь и компенсация гравитации, что может быть обеспечено с помощью роботизированных устройств. Однако после завершения данного этапа возникает проблема нехватки роботизированных устройств, подходящих для реабилитации в домашних условиях. Для обеспечения непрерывной реабилитации и мониторинга состояния больных могут использоваться VR-системы, дополненные технологиями компьютерного зрения. Такое сочетание позволяет пациентам продолжать реабилитацию в домашних условиях, предотвращая такие проблемы, как снижение физической активности, мышечной слабости из-за ограниченной подвижности и мышечных контрактур, связанных со спастичностью. Комплексный подход дает возможность поддерживать у пациентов интерес к тренировкам и следить за их прогрессом в процессе восстановления [28].

Черепно-мозговые травмы / Traumatic brain injuries

Технологии VR и AR могут быть полезны и при реабилитации пациентов с черепно-мозговыми травмами (ЧМТ).

Например, исследование M. Liu et al. [32] показало, что мультимодальная обратная VR-связь при тренировке функции захвата и размещения предметов улучшает неврологические и двигательные реакции после ЧМТ. В работе использовали тренировки функциональных хватательных движений с помощью VR и «умной» перчатки с датчиками для определения надежного захвата. Во время каждого тренировочного испытания перчатка определяет, что пользователь надежно схватил предмет, информирует его, активируя модуль обратной связи, и повышает его вовлеченность за счет постепенного сокращения задержки (с 1 до 0 с во всех тренировочных испытаниях) между действием по захвату предмета и сигналом обратной связи. При добавлении виртуальной обратной связи в перчаточную систему участники эксперимента погружались в смешанную реальность. Они манипулировали реальным объектом, одновременно просматривая виртуальную среду через гарнитуру, на которой отображались виртуальные копии объекта и руки в перчатке [32].

В этом исследовании оценивалось, как изменение характера расширенной сенсорной обратной связи, используемой для тренировки моторики с помощью VR, может повлиять на изменения неврологической активности, двигательных функций и мышечной активности после тренировки при выполнении задания «взять и положить». Основным экспериментальным фактором было предоставление участникам сигнала о правильном захвате предмета с помощью либо унимодальной (только звуко-

вой сигнал), либо мультимодальной (звуковой и визуальный сигнал) обратной связи во время каждого повторения упражнения. Результаты показали, что расширенная обратная связь, особенно мультимодальная, обеспечиваемая с помощью VR, является перспективным методом восстановления двигательных функций после ЧМТ [32].

Другим примером может служить работа C.L. van de Wouw et al., в которой продемонстрирована эффективность инновационных геймифицированных методов когнитивной тренировки при приобретенных ЧМТ у детей [33]. Авторы описывают использование системы VR, в частности компьютерной среды для реабилитации. После 4-недельной когнитивно-поведенческой терапии в рамках этой программы (20 сеансов) отмечены значительные улучшения внимания и исполнительных функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Традиционные методы реабилитации часто имеют ограничения, связанные с приверженностью пациентов и недостаточной эффективностью. В современном мире для достижения оптимальных результатов в процесс лечения интегрируются цифровые инструменты, в число которых входят методы, основанные на VR и AR. В данной работе показана эффективность использования этих подходов в реабилитации пациентов с нарушениями функций организма, связанными с онкологическими заболеваниями, инсультом, рассеянным склерозом, ЧМТ, а также слабовидящих больных и людей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Очевидно, что это далеко не весь перечень заболеваний, при которых с успехом применяются VR- и AR-технологии.

Основные методы и подходы с использованием VR и AR – это общедоступные коммерческие игры и VR-системы, однако применяются и индивидуализированные самодельные модели.

Данные методы повышают вовлеченность пациентов и соблюдение ими режима лечения благодаря применению игровых подходов. Результативность реабилитации, основанной на VR- и AR-технологиях, зачастую превосходит таковую при использовании традиционной терапии. Это связано, в первую очередь, с тем, что игровая среда снижает болевые ощущения – важный фактор при восстановлении двигательных функций. Также передовые VR-платформы способны корректировать сложность заданий в зависимости от результатов пациента, что необходимо для развития нейропластичности, помогающей при реабилитации после инсульта. Интеграция с носимыми устройствами и роботизированными системами дает еще больше возможностей в восстановлении организма при рассеянном склерозе и заболеваниях опорно-двигательного аппарата. Предоставление объективной обратной связи значительно улучшает результаты реабилитации при различных состояниях.

Тем не менее в научной литературе сохраняются пробелы в сравнении методов лечения, предоставлении долгосрочных данных и экономической оценке подобных подходов. Повсеместному внедрению перспективных VR-, AR- и XR-технологий препятствуют высокая стоимость, сложность обучения, недостаточная клиническая апробация, ограниченная доступность и отсутствие стандартизированных протоколов реабилитации. Этические проблемы, в т.ч. вопросы безопасности данных и конфиденциальности пациентов, еще больше затрудняют их использование в клинических условиях. Будущие исследования должны быть направлены на изучение долгосрочной эффективности, повышение экономической целесообразности, стандартизацию и улучшение доступности технологий для их беспрепятственной интеграции в клиническую практику.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
Поступила: 02.09.2025 В доработанном виде: 19.09.2025 Принята к печати: 25.09.2025 Опубликована: 30.09.2025	Received: 02.09.2025 Revision received: 19.09.2025 Accepted: 25.09.2025 Published: 30.09.2025
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 И.В. Грибкова; ООО «ИРБИС» Статья в открытом доступе по лицензии CC BY-NC-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)	© 2025 I.V. Gribkova. 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

- Lo H.H.M., Zhu M., Zou Z., et al. Immersive and nonimmersive virtual reality-assisted active training in chronic musculoskeletal pain: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res*. 2024; 26: e48787. <https://doi.org/10.2196/48787>.
- Plavoukou T., Staktopoulos P., Papagiannis G., et al. Virtual and augmented reality for chronic musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and exploratory meta-analysis. *Bioengineering*. 2025; 12 (7): 745. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12070745>.
- Li L. Effect of remote control augmented reality multimedia technology for postoperative rehabilitation of knee joint injury. *Comput Math Methods Med*. 2022; 2022: 9320063. <https://doi.org/10.1155/2022/9320063>.
- Rubio-Zarapuz A., Apolo-Arenas M.D., Tomas-Carus P., et al. Comparative analysis of psychophysiological responses in fibromyalgia patients: evaluating neuromodulation alone, neuromodulation combined with virtual reality, and exercise interventions. *Medicina*. 2024; 60 (3): 404. <https://doi.org/10.3390/medicina60030404>.
- Aksoy M.E., Kocaoglu B., Izzetoglu K., et al. Assessment of learning in simulator-based arthroscopy training with the diagnostic arthroscopy skill score (DASS) and neurophysiological measures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023; 31 (12): 5332–45. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07571-0>.
- Kayaalp M.E., Konstantinou E., Karaismailoglu B., et al. The metaverse in orthopaedics: virtual, augmented and mixed reality for advancing surgical training, arthroscopy, arthroplasty and rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2025; 33 (8): 3039–50. <https://doi.org/10.1002/ksa.12723>.
- Su Z., Zhang L., Lian X., Guan M. Virtual reality-based exercise rehabilitation in cancer-related dysfunctions: scoping review. *J Med Internet Res*. 2024; 26: e49312. <https://doi.org/10.2196/49312>.
- Aderinto N., Olatunji G., Abdulbasit M.O., et al. Exploring the efficacy of virtual reality-based rehabilitation in stroke: a narrative review of current evidence. *Ann Med*. 2023; 55 (2): 2285907. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2285907>.
- Khokale R., Mathew G.S., Ahmed S., et al. Virtual and augmented reality in post-stroke rehabilitation: a narrative review. *Cureus*. 2023; 15 (4): e37559. <https://doi.org/10.7759/cureus.37559>.
- Kopalli S.R., Shukla M., Jayaprakash B., et al. Artificial intelligence in stroke rehabilitation: from acute care to long-term recovery. *Neuroscience*. 2025; 572: 214–31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.03.017>.
- Leong S.C., Tang Y.M., Toh F.M., Fong K.N.K. Examining the effectiveness of virtual, augmented, and mixed reality (VAMR) therapy for upper limb recovery and activities of daily living in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil*. 2022; 19 (1): 93. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01071-x>.
- Bateni H., Carruthers J., Mohan R., Pishva S. Use of virtual reality in physical therapy as an intervention and diagnostic tool. *Rehabil Res Pract*. 2024; 2024: 1122286. <https://doi.org/10.1155/2024/1122286>.
- Bui J., Luauté J., Farnè A. Enhancing upper limb rehabilitation of stroke patients with virtual reality: a mini review. *Front Virtual Real*. 2021; 2: 595771. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.595771>.
- Kiper P., Godart N., Cavalier M., et al. Effects of immersive virtual reality on upper-extremity stroke rehabilitation: a systematic review with meta-analysis. *J Clin Med*. 2024; 13 (1): 146. <https://doi.org/10.3390/jcm13010146>.
- Patsaki I., Dimitriadi N., Despoti A., et al. The effectiveness of immersive virtual reality in physical recovery of stroke patients: a systematic review. *Front Syst Neurosci*. 2022; 16: 880447. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2022.880447>.
- Huang C.Y., Chiang W.C., Yeh Y.C., et al. Effects of virtual reality-based motor control training on inflammation, oxidative stress, neuroplasticity and upper limb motor function in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *BMC Neurol*. 2022; 22 (1): 21. <https://doi.org/10.1186/s12883-021-02547-4>.
- Kale M.B., Wankhede N.L., Bishoyi A.K., et al. Emerging biophysical techniques for probing synaptic transmission in neurodegenerative disorders. *Neuroscience*. 2025; 565: 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2024.11.055>.
- Shen J., Gu X., Fu J., et al. Virtual reality-induced motor function of the upper extremity and brain activation in stroke: study protocol for a randomized controlled trial. *Front Neurol*. 2023; 14: 1094617. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1094617>.
- Patil V., Narayan J., Sandhu K., Dwivedy S.K. Integration of virtual reality and augmented reality in physical rehabilitation: a state-of-the-art review. In: Subburaj K., Sandhu K., Čuković S. (Eds) *Revolutions in product design for healthcare: advances in product design and design methods for healthcare*. Chapter 10. Springer; 2022; 177–205. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9455-4_10.
- Gorman C., Gustafsson L. The use of augmented reality for rehabilitation after stroke: a narrative review. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2022; 17 (4): 409–17. <https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1791264>.
- Su S., He J., Wang R., et al. The effectiveness of virtual reality, augmented reality, and mixed reality rehabilitation in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Arthroplasty*. 2024; 39 (3): 582–90.e4. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.08.051>.
- Vinolo Gil M.J., Gonzalez-Medina G., Lucena-Anton D., et al. Augmented reality in physical therapy: systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games*. 2021; 9 (4): e30985. <https://doi.org/10.2196/30985>.
- Lim J.Y., Yu H.J., Kim S.H., et al. Effectiveness of in-home, augmented reality-based telerehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Orthop J Sports Med*. 2024; 12 (10): 23259671241271729. <https://doi.org/10.1177/23259671241271729>.
- Fakolade A., Salvia A.C., Phadke S., Kunz M. An interactive vision-based 3d augmented reality system for in-home physical rehabilitation: a qualitative inquiry to inform system development. *Health Expect*. 2024; 27 (5): e70020. <https://doi.org/10.1111/hex.70020>.
- Gulsen C., Soke F., Eldemir K., et al. Effect of fully immersive virtual reality treatment combined with exercise in fibromyalgia patients: a randomized controlled trial. *Assist Technol*. 2022; 34 (3): 256–63. <https://doi.org/10.1080/10400435.2020.1772900>.
- Plavoukou T., Apostolakopoulou K., Papagiannis G., et al. Impact of virtual reality, augmented reality, and sensor technology in knee osteoarthritis rehabilitation: a systematic review. *Cureus*. 2025; 17 (2): e79011. <https://doi.org/10.7759/cureus.79011>.
- Pur D.R., Lee-Wing N., Bona M.D. The use of augmented reality and virtual reality for visual field expansion and visual acuity improvement in low vision rehabilitation: a systematic review. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2023; 261 (6): 1743–55. <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05972-4>.
- Albanese G.A., Bucchieri A., Podda J., et al. Robotic systems for upper-limb rehabilitation in multiple sclerosis: a SWOT analysis and the synergies with virtual and augmented environments. *Front Robot AI*. 2024; 11: 1335147. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1335147>.
- De Angelis M., Lavorgna L., Carotenuto A., et al. Digital technology in clinical trials for multiple sclerosis: systematic review. *J Clin Med*. 2021; 10 (11): 2328. <https://doi.org/10.3390/jcm10112328>.
- Scholz M., Haase R., Schriefer D., et al. Electronic health interventions in the case of multiple sclerosis: from theory to practice. *Brain Sci*. 2021; 11 (2): 180. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020180>.
- Kanzler C.M., Lamers I., Feys P., et al. Personalized prediction of rehabilitation outcomes in multiple sclerosis: a proof-of-concept using clinical data, digital health metrics, and machine learning. *Med Biol Eng Comput*. 2022; 60 (1): 249–61. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02467-y>.
- Liu M., Wilder S., Sanford S., et al. Augmented feedback modes during functional grasp training with an intelligent glove and virtual reality for persons with traumatic brain injury. *Front Robot AI*. 2023; 10: 1230086. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1230086>.
- van de Wouw C.L., Visser M., Gorter J.W., et al. Systematic review of the effectiveness of innovative, gamified interventions for cognitive training in paediatric acquired brain injury. *Neuropsychol Rehabil*. 2024; 34 (2): 268–99. <https://doi.org/10.1080/09602011.2023.2174561>.

Сведения об авторе / About the author

Грибкова Ирина Владимировна, к.б.н. / **Irina V. Gribkova**, PhD – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7757-318X>.
WoS ResearcherID: M-5950-2014. eLibrary SPIN-code: 1559-3870. E-mail: igribkova@yandex.ru