

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ СПИННОГО МОЗГА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

VIRTUAL REALITY IN THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURY: A LITERATURE REVIEW

Коновалова Н.Г. Konovalova N.G.
Васильченко Е.М. Vasilchenko E.M.
Хохлова О.И. Khokhlova O.I.

ФГБУ «Новокузнецкий научно-практический
центр медико-социальной экспертизы и реабилитации
инвалидов» Минтруда России,

Novokuznetsk Scientific and Practical Centre
for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation
of Disabled Persons, Ministry of Labour
and Social Protection of the Russian Federation,

г. Новокузнецк, Россия Novokuznetsk, Russia

Виртуальная реальность (Virtual Reality, VR) — быстро развивающаяся область медицины. Ее преимущества — гибкая интеграция с другими технологиями, игровая форма занятий. VR-технологии широко используются в лечении и реабилитации пациентов с патологией головного мозга. Научных публикаций, посвященных применению VR у пациентов с патологией спинного мозга, крайне мало.

Цель — анализ применения VR-технологий в реабилитации пациентов с травматической болезнью спинного мозга.

Материалы и методы. Поиск публикаций проводился в базе данных PubMed/Medline в период 2020–2025 гг. с использованием ключевых слов: травматическая болезнь спинного мозга (ТБСМ), позвоночно-спинномозговая травма, повреждение спинного мозга, тетраплегия, параплегия, виртуальная реальность, дополненная реальность, иммерсивные системы, реабилитация.

Результаты. Анализ публикаций проводили по пяти подгруппам в соответствии с задачами VR-терапии: баланс, ходьба, мануальные функции, боль, приверженность к лечению. Используя различные типы VR-устройств, в соответствии с протоколами, применяли игры, которые побуждали инвалидов двигаться, формируя произвольные движения, равновесие, повышали приверженность к лечению, способствовали уменьшению боли.

Заключение. VR — новая технология, способная дополнить комплекс мероприятий медицинской реабилитации пациентов с ТБСМ. Создавая интерактивную среду, VR-терапия повышает эмоциональную вовлеченность пациента в работу, приверженность к лечению, побуждает генерировать повторяющиеся движения, находить правильный паттерн, обеспечивает обратную связь.

Ключевые слова: травматическая болезнь спинного мозга; тетраплегия; параплегия; виртуальная реальность; реабилитация

Virtual reality (VR) is a rapidly developing field of medicine. Its advantages include game-based learning and a flexible integration with other technologies. VR technologies are widely used in the treatment and rehabilitation of patients with brain pathology. Scientific publications on the use of VR in patients with spinal cord pathology are extremely scarce.

Objective — to analyze the use of VR technologies in the rehabilitation of patients with traumatic spinal cord injury.

Materials and methods. We performed a search in PubMed/Medline database for 2020–2025 using the following keywords: traumatic spinal cord injury (TSCI), spinal trauma, tetraplegia, paraplegia, virtual reality, augmented reality, immersive systems, rehabilitation.

Results. Analysis was performed in five subgroups according to the objectives of VR therapy: balance, walking, manual functions, pain and treatment adherence. We employed different VR devices in accordance with the protocols using games which encouraged the disabled persons to move thus forming voluntary movements and balance, increased treatment adherence and helped to reduce pain.

Conclusion. VR is a new technology which can complement the medical rehabilitation of patients with TSCI. VR therapy creates an interactive environment increasing the emotional involvement of patients in work and their treatment adherence, encouraging them to generate iterative movements and to find the correct pattern and providing feedback.

Keywords: traumatic spinal cord injury; tetraplegia; paraplegia; virtual reality; rehabilitation

По данным последнего исследования Глобального бремени болезней (Global Burden of Disease — GBD), за 2021 г. во всем мире было зарегистрировано 574 502 новых

случая повреждения спинного мозга; общее число людей с повреждением спинного мозга во всем мире достигло 15 400 682, приводя к потере 4,6 млн лет жизни [1]. Более

50,0 % составляют повреждения на уровне шейного отдела, осложняющиеся тетрапарезом, ограничивающие либо исключают независимость и социальную активность.



Для цитирования: Коновалова Н.Г., Васильченко Е.М., Хохлова О.И. ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ СПИННОГО МОЗГА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2025. № 3. С. 75-82.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/605>

DOI: 10.24412/1819-1495-2025-3-75-82

Чаще страдают мужчины (68,3 %) трудоспособного возраста [2]. Современные методы лечения увеличили продолжительность жизни пациентов с травматической болезнью спинного мозга (ТБСМ), поставив на первый план вопрос о ее качестве и повышении эффективности реабилитации [3].

Позвоночно-спинномозговая травма сопровождается полным или частичным нарушением проводимости по спинному мозгу. Пациенты теряют произвольное управление движениями, чувствительность в конечностях и туловище ниже уровня повреждения; нарушается регуляция работы внутренних органов. Дисфункция сенсорной и моторной систем часто сопровождается нарушением социально-бытовой адаптации, приводит к утрате психологического благополучия [4]. Основным методом восстановительного лечения служат занятия лечебной физкультурой (ЛФК), направленные на формирование и улучшение движений пациента, умение применять имеющиеся и вновь сформированные движения для самообслуживания, других видов активности [5].

На функциональные результаты реабилитации, включая восстановление движений и социально-бытовую адаптацию лиц с ТБСМ, влияет объем терапии, измеряемый общим количеством часов и интенсивностью вмешательств. Факторами, ограничивающими успех реабилитации, служат длительность и ресурсоемкость данного процесса [6].

В последнее время в реабилитации пациентов с патологией центральной нервной системы (ЦНС) все чаще используются технологические достижения, в том числе, виртуальная реальность (VR) — компьютерная технология, позволяющая пользователю действовать в виртуальной среде [4]. Эта быстро развивающаяся область медицины применяется для лечения физических и когнитивных нарушений, а также для снятия боли [7]. Преимущества VR-систем в реабилитации включают возможность гибкой интеграции с другими технологиями, игровую форму проведения занятий, что делает их менее

однообразными, утомительными и более увлекательными [8–12]. VR позволяет создать безопасные и разнообразные среды в игровом формате для каждого конкретного пациента. В некоторых работах показано стимулирующее воздействие VR-технологий на функциональную пластичность ЦНС, что делает метод особенно перспективным при неврологических расстройствах [5].

По уровню погружения VR-системы делят на иммерсивные, полумиммерсивные и неиммерсивные. Иммерсивные системы обеспечивают полную интеграцию в виртуальную среду с помощью головных дисплеев и VR-пещер, изолируя пациента от большинства слуховых и зрительных стимулов реального мира. Полумиммерсивные системы используют большие экраны в сочетании с высокопроизводительной графикой, что вызывает менее глубокое ощущение погружения в виртуальную среду. Неиммерсивные системы, представленные персональными компьютерами, планшетами, смартфонами, оставляют пациенту максимальную степень контакта с реальностью. VR-системы применяют как монотерапию, так и сочетая с другими методами лечения. При работе с верхними конечностями их часто комбинируют с реабилитационной перчаткой, а при тренировке баланса — с приборами для функциональной электростимуляции и экзоскелетами [13–17].

В литературе широко представлены различные аспекты использования VR-технологий у пациентов с патологией головного мозга, гораздо меньше работ, посвященных применению данных методов у пациентов с патологией спинного мозга.

Цель работы — анализ применения VR-технологий в реабилитации пациентов с травматической болезнью спинного мозга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения критериев включения была использована модель дизайна «Популяция, вмешательство, сравнение, исходы и дизайн исследования» (PICOS): (1) популяция: взрослые пациенты с

ТБСМ; (2) вмешательство: VR-интервенции; (3) сравнение: взрослые пациенты с ТБСМ, получающие традиционное восстановительное лечение; (4) исход: результат реабилитации — баланс, ходьба, мануальные функции, боль, приверженность к реабилитации; (5) дизайн исследования: контролируемые клинические испытания и систематические обзоры [18].

Поиск публикаций проводился в базе данных PubMed/Medline в период 2020–2025 гг. Термины и ключевые слова, использованные для отбора статей: травматическая болезнь спинного мозга, позвоночно-спинномозговая травма, повреждение спинного мозга, тетраплегия, параплегия, виртуальная реальность, дополненная реальность, иммерсивные системы, реабилитация. Полученная выборка прошла двухэтапную обработку: первым этапом исключили статьи, опубликованные ранее 2020 г. и публикации, полнотекстовые версии которых были недоступны, вторым — проанализировали оставшиеся публикации по резюме и результатам, руководствуясь критериями включения: цель — оценка эффективности применения VR-технологий в реабилитации лиц с ТБСМ; VR-технологии служат основным методом клинического исследования либо основным объектом литературного обзора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате поиска по ключевым словам было найдено 150 публикаций, из которых по результатам первого этапа исключена 61 статья, опубликованная ранее 2020 г. и 39 работ, полнотекстовые версии которых были недоступны. Из оставшихся 50 работ критериям включения соответствовало 17 (второй этап), которые и были отобраны для аналитического обзора: 10 систематических обзоров с метаанализом, две статьи — описания клинических испытаний, одна — описание клинического случая, три — случай — контроль, одно предварительное исследование.

Размер выборки в публикациях, основанных на клинических данных, варьировал от 1 участника в описании клинического случая

до 24 в исследовании случай – контроль. Аналитические обзоры включали данные о количестве участников от 18 до 967. VR-терапия применялась в группах вмешательства с помощью различных технических устройств в качестве монометода либо в сочетании с традиционными методами восстановительного лечения; в группах сравнения проводилась традиционная терапия. В одном исследовании сравнивали эффективность VR-терапии и функциональной электростимуляции мышц.

Максимальная продолжительность сеанса VR-терапии составляла 60 минут, наибольшая продолжительность курса лечения – 30 сеансов: 5 раз в неделю в течение 6 недель. Наименьшая продолжительность курса – 4 сеанса: 2 раза в неделю в течение 2 недель.

Использование VR-терапии в медицинской реабилитации после травмы спинного мозга варьировало от обучения движениям, восстановления баланса и походки до управления болью и приверженности к лечению. Для анализа публикации были разделены на пять подгрупп в зависимости от задач VR-терапии: баланс, ходьба, мануальные функции, боль и приверженность к лечению.

Баланс

Изучению баланса были посвящены четыре клинических исследования [19–22] и четыре систематических обзора [5, 6, 23, 24]. Постуральная стабильность – ключевой момент восстановления локомоторных и мануальных функций пациентов с ТБСМ, она определяется способностью сохранять проекцию центра масс в пределах опорного контура в покое и при движениях. Функция сохранения баланса актуализируется при каждом произвольном и непроизвольном движении, изменениях в окружающем пространстве. ЦНС обладает способностью контролировать равновесие, быстро задействовать корректирующие постуральные реакции на основе полимодального афферентного притока и прошлого опыта [25]. Сенсорные и двигательные нарушения приводят к изменению объема и структуры афферен-

тации у инвалидов с ТБСМ, что нарушает возможность управления движениями ниже уровня повреждения и поддержания баланса. Независимо от того, удалось ли восстановить вертикальную позу и ходьбу, большую часть активного времени инвалиды проводят сидя, поэтому улучшение функциональной независимости, способность использовать верхние конечности для повседневной деятельности у них тесно связаны с восстановлением баланса в положении сидя [21, 22].

VR-технологии применяют у пациентов с ТБСМ для восстановления баланса в положении сидя как дополнение к традиционным методам лечения. Слепое рандомизированное контролируемое исследование M.S. Naig и соавт. показало положительное влияние VR-технологии на поддержание баланса у пациентов с неврологическим уровнем травмы D10 и ниже, полным нарушением проводимости по спинному мозгу (тип А, В по шкале AIS) [21]. Сравнивались две группы: представители одной группы в течение 6 дней получали ЛФК, направленную на тренировку равновесия (группа А), пациенты другой группы дополнительно тренировались с использованием полуиммерсивных систем (теннис, дартс, лыжи) (группа В). Использовали следующие критерии поддержания баланса: возможность удерживать позу сидя без опоры в течение 30 секунд, поднимать руки к голове без потери равновесия; расстояние, на которое участники могли дотянуться; скорость надевания футболки из положения сидя на стуле без подлокотников. В начале исследования группы не различались между собой по перечисленным критериям; через неделю занятий группа В, участники которой в дополнение к занятиям ЛФК использовали VR-технологии, демонстрировала лучшие показатели баланса в положении сидя, чем группа А, получавшая только занятия ЛФК [21].

В работе T. Goel и соавт. проведено сравнение эффективности применения VR-технологий и функциональной электростимуляции аксиальных мышц в сочетании с традиционной физиотерапией для

восстановления баланса в положении сидя у пациентов с неполным повреждением спинного мозга. Исследование показало положительное воздействие обеих методик на показатели баланса, но более значимые результаты были получены в группе с использованием VR-технологии [22].

В результате систематического обзора A.R. Alashram и соавт. пришли к заключению о положительном влиянии VR-технологий на способность сохранять равновесие у пациентов с неполным повреждением спинного мозга. В частности, занятия в течение 30–60 минут (12–20 сеансов) показали значимые улучшения баланса у данного контингента. В то же время авторы отметили недостаточное количество рандомизированных контролируемых испытаний и необходимость продолжения исследований в этом направлении [23].

Метаанализ, посвященный влиянию VR-терапии на баланс сидя, проведенный L. Abou и соавт., выявил более высокую эффективность сочетания данного метода с традиционными технологиями восстановления равновесия в положении сидя, чем применение только традиционных технологий. Авторы предположили, что успешность VR-терапии связана с необходимостью решения более интенсивных и сложных задач, чем традиционная реабилитация, таких как: обход препятствий, дотягивание до объектов, расположенных на разной высоте, по разные стороны от инвалида. По мере освоения игры система повышает уровень сложности, что приводит к совершенствованию механизмов постуральной стабильности [6].

Часть пациентов с ТБСМ имеют потенциал для восстановления ходьбы. Этому всегда предшествует формирование навыка поддерживать вертикальную позу, перемещать проекцию общего центра масс в пределах опорного контура в положении стоя. На основании систематического обзора и метаанализа работ, посвященных влиянию VR-технологий на баланс в положении стоя в условиях постоянно меняющегося центра тяжести, L. Wang и соавт. пришли к выводу

о значительном улучшении баланса в положении стоя у пациентов с ТБСМ в процессе VR-терапии [5]. Занимаясь в виртуальной среде, пациенты стоя выполняли различные задачи, двигая руками и туловищем, смещая парциальные центры масс относительно друг друга и общий центр давления по опорной плоскости, главным образом, справа налево и обратно. В результате наблюдалось улучшение равновесия во фронтальной плоскости, но не в сагиттальной, что авторы связывают с преимущественным направлением движений во время тренировок [5]. Другими авторами показано, что воздействие VR-терапии сопровождается увеличением баллов по шкале Берга (Berg Balance Scale, BBS) и шкале уверенности в равновесии (Activities-specific Balance Confidence scale, ABC), что указывает на улучшение устойчивости стоя и более уверенное поддержание позы [6].

Таким образом, включение VR-технологий в комплекс мер, направленных на формирование баланса у инвалидов с ТБСМ, повышает эффективность реабилитации. В то же время результаты могут быть оценены как предварительные, поскольку получены на малых, неоднородных группах, с использованием разных программ и режимов тренировок.

Ходьба

Подвижность нижних конечностей и ходьба рассматривались в четырех систематических обзорах [5, 6, 24, 25]. Применение VR-терапии способствовало увеличению подвижности нижних конечностей. В 80 % случаев использование VR-терапии привело к значительному улучшению ходьбы по сравнению с исходным уровнем. Результаты большинства тестов сравнительных исследований выявили преимущества VR-технологий перед традиционным обучением ходьбе [26].

На основании анализа десяти работ с общим числом участников 149 человек, L. Aboи и соавт. пришли к заключению о наличии тенденции к улучшению походки у лиц с повреждением спинного мозга под влиянием VR-терапии [6]. Особо отметим, что ни одно ис-

следование не приводит в качестве результата ухудшение баланса или функции нижних конечностей.

Таким образом, имеются сведения, подтверждающие положительное влияние VR-терапии на восстановление/улучшение ходьбы пациентов с ТБСМ. Все авторы утверждают, что данное заключение основано на предварительных результатах, и для подтверждения влияния VR-терапии на ходьбу лиц с повреждением спинного мозга необходимы дополнительные рандомизированные, контролируемые исследования, учитывающие уровень и тяжесть повреждения спинного мозга, период заболевания.

Мануальные функции

В восстановлении функций верхних конечностей нуждаются только пациенты с повреждением позвоночника и спинного мозга на шейном уровне, что, безусловно, сужает выборку, оставляя наиболее сложный как в двигательном, так и в соматическом отношении контингент. VR-терапия используется для восстановления мануальных функций у пациентов с ТБСМ, но пока не дает отчетливых положительных результатов.

В аналитический обзор по оценке эффективности воздействия VR-терапии на функцию верхних конечностей у пациентов с ТБСМ включено шесть статей: четыре клинических исследования [24, 27–29] и два систематических обзора, содержащих анализ 77 работ, посвященных оценке влияния VR-терапии на мануальные функции у 1239 пациентов [7, 30]. В исследованиях применялись иммерсивные, полуиммерсивные или неиммерсивные системы VR. Разнообразие используемых систем в сочетании с различным содержанием занятий, разной продолжительностью сеансов, курсов, составу групп явилось причиной получения неоднородных результатов.

В частности, A. De Miguel-Rubio и соавт., проанализировав шесть статей с общим участием 105 пациентов, занимавшихся на полуиммерсивных и неиммерсивных системах, отметили отсутствие статистически значимых результатов

у инвалидов с повреждением спинного мозга на шейном уровне, с полным нарушением проводимости (тип А и тип В), при наличии положительных эффектов у нескольких человек. В то же время в одном исследовании были выявлены значительные улучшения функции верхних конечностей у данного контингента при увеличении продолжительности курса лечения (30 сеансов по 60 минут). На основании проведенного анализа авторы пришли к выводу, что нет достаточных доказательств того, что VR-вмешательства более эффективны, чем традиционные методы лечения в восстановлении функций верхних конечностей у пациентов с ТБСМ. Однако они не считают свое заключение окончательным в связи с малым количеством проанализированных работ, небольшими объемами выборок и неоднородностью контингента [7].

M. Scalise и соавт., проанализировав семь статей, в которых эффективность VR-технологий для восстановления функций верхних конечностей оценивалась в общей сложности по 12 шкалам, в большинстве случаев не обнаружили существенной разницы между результатами, полученными при использовании VR-технологий и традиционных методов реабилитации [24]. В то же время авторы отметили, что ни в одной работе не приводятся данные об отрицательных результатах VR-терапии по сравнению с традиционными методами, а в 27 % тестов отмечались лучшие результаты, особенно при тестировании «мышечной силы». В остальных случаях значимой разницы в восстановлении силы и объема активных движений в суставах верхних конечностей не получено. Однако пациенты с большим общим количеством часов тренировок неизменно показывали лучшие результаты, чем пациенты с более короткими курсами реабилитации [24]. T. Zhang и соавт. тоже не отметили существенного влияния VR-терапии на объем движений у пациентов с ТБСМ [30].

Различные режимы тренировок с разной степенью погружения в VR в небольших группах пациентов, неоднородных по уровню и тяже-

сти повреждения шейного отдела позвоночника и спинного мозга, не показали отчетливых преимуществ VR-технологий в сравнении с традиционными методами лечения, однако наличие отдельных положительных результатов и отсутствие информации о нежелательных явлениях позволяют говорить о применимости VR-технологий у данного контингента и необходимости дальнейших исследований в этом направлении.

Боль

Нейропатическая и скелетно-мышечная боль — наиболее распространенные формы хронической боли у пациентов с ТБСМ. Боль возникает выше, ниже или на уровне повреждения позвоночника и трудно поддается лечению [30]. В семи публикациях для оценки боли использовали специальные шкалы [4, 24, 30–34]. Чаще других применяли три инструмента измерения: Числовую шкалу оценки интенсивности нейропатической боли (Numeric rating Scale for pain, NRS), Шкалу нейропатической боли (Neuropathic Pain Scale, NPS) и Визуальную аналоговую шкалу (Visual Analog Scale, VAS). При использовании VR-технологий в реабилитации пациентов с ТБСМ по всем шкалам отмечено значительное уменьшение выраженности болевого синдрома по сравнению с исходным уровнем, показано преимущество перед традиционными методами, причем положительные результаты получены вне зависимости от продолжительности тренировок [24].

На основании анализа 16 работ с участием 800 пациентов T. Zhang и соавт. пришли к выводу, что VR-терапия может быть эффективным и безопасным вмешательством для уменьшения симптомов боли у пациентов с ТБСМ, поскольку она оказывает значительный анальгетический эффект, снижая уровень воспаления, не влияя при этом «на страх движения» [30]. Согласно полученным результатам, VR-терапия представляется неинвазивной нефармацевтической альтернативой при лечении нейропатической боли [32]. Ряд авторов склонны рассматривать ее в качестве

вмешательства первой линии среди нефармакологических методов облегчения хронической скелетно-мышечной боли [32, 33]. В то же время все авторы подчеркивают необходимость проведения более целенаправленных и высококачественных исследований эффективности и результативности применения VR для лечения пациентов с болью в позвоночнике [24, 32, 33].

Приверженность к лечению

В четырех научных публикациях представлены данные о приверженности к лечению пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой [6, 21, 35, 36].

Соблюдение режима лечения — одна из наиболее распространенных проблем у лиц, страдающих хроническими заболеваниями, в том числе у пациентов с ТБСМ, что можно объяснить длительным, утомительным характером тренировок при отсутствии четких гарантий выздоровления [35]. Из факторов, влияющих на приверженность к лечению, связанных с пациентом, в числе наиболее значимых отмечают молодой возраст и мужской пол; именно эти факторы характеризуют популяцию пациентов с ТБСМ [2].

VR-терапия способна повысить вовлеченность и мотивировать человека к выполнению физических упражнений в формате увлекательных игр, побуждая многократно повторять движения, обеспечивая при этом мультимодальную обратную связь [21]. Показано, что полумерсионная VR-терапия способствует заинтересованности и повышению мотивации к реабилитации у инвалидов с ТБСМ, обеспечивая при этом разнообразную и безопасную среду. Однако, поскольку эти данные получены не в рамках рандомизированного контролируемого исследования, к ним следует относиться с осторожностью [6].

Побочные эффекты

В числе побочных эффектов применения VR-технологий описаны головокружение, головная боль, тошнота и дезориентация, возникающие при длительном, непре-

рывном погружении в VR [37]. Этиопатогенетические механизмы перечисленных явлений точно не описаны, предположительно их связывают с конфликтом в мультисенсорной интеграции [38]. Частота данных проявлений переменна и в целом достаточно низка [39]. L. Wang и соавт, проанализировав 2588 статей, посвященных применению VR-технологий в лечении пациентов с патологией центральной нервной системы, обнаружили только одно сообщение о неблагоприятных событиях [5].

Однако, как отмечают авторы, многие пациенты предпочитают традиционные методы лечения VR-технологиям. Предположительно этот факт связывают с проблемами с оборудованием, программным обеспечением виртуальной реальности, а также с головокружением или общим дискомфортом, которые некоторые пациенты испытывают в процессе и после занятий в виртуальной среде, но в силу разных причин не указывают специалистам. Авторы пришли к заключению, что безопасность VR-вмешательств в настоящий момент недостаточно оценена и нуждается в дополнительных исследованиях [40].

Ограничения

Большинство использованных в настоящем обзоре публикаций основаны на результатах предварительных клинических исследований, которые могут не предоставлять детальной информации об эффективности отдельных методик VR-терапии у лиц с различными уровнями и тяжестью повреждения спинного мозга, сопутствующей патологией и клинико-демографическими характеристиками участников исследований. Кроме того, в работах описаны разные типы VR (неиммерсивный, полумерсивный и иммерсивный) и режимы тренировок у лиц с разным уровнем и тяжестью повреждения спинного мозга.

ОБСУЖДЕНИЕ

VR — новая технология, которая может дополнить другие методы медицинской реабилитации пациентов с патологией спинного

мозга, устранив ряд ограничивающих факторов и повысив приверженность к лечению. Создавая интерактивную среду, включающую соревновательный, игровой, исследовательский компоненты, VR-терапия повышает эмоциональную вовлеченность пациента в работу и приверженность к лечению. VR-системы побуждают пациентов генерировать повторяющиеся действия, находить правильный паттерн движения, обеспечивая при этом мультимодальную обратную связь [26].

VR-технологии становятся все более портативными и иммерсивными [27], позволяют тонко корректировать сложность, интенсивность, продолжительность работы с учетом интересов и возможностей пациента, обеспечивают обратную связь [41]. Большинство протоколов VR-технологии применяют игры, которые побуждают двигать конечностями, туловищем, фор-

мируя произвольные движения, равновесие, повышают приверженность к лечению и способствуют уменьшению боли. VR в форме интерактивной видеоигры обладает мотивирующим воздействием, повышает приверженность пациентов к лечению [41, 42].

В то же время полученные различными авторами результаты должны быть оценены как предварительные, несмотря на большое количество исследований и, казалось бы, достаточное общее число их участников. Однако отдельные клинические исследования включают небольшие выборки, различающиеся между собой по возрасту, полу, тяжести, давности и уровню повреждения спинного мозга. Работы выполнены с использованием разных типов виртуальных систем и программ тренировок для решения различных задач реабилитации. Разнообразие методологических подходов, методов статистической

обработки полученных данных не позволяет считать тему закрытой и требует дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

VR — новая технология, способная дополнить комплекс мероприятий медицинской реабилитации пациентов с ТБСМ. Создавая интерактивную среду, VR-терапия повышает эмоциональную вовлеченность пациента в работу, приверженность к лечению, побуждает генерировать повторяющиеся движения, находить правильный паттерн, обеспечивает обратную связь.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Lu Y, Shang Z, Zhang W, Hu X, Shen R, Zhang K, et al. Global, regional, and national burden of spinal cord injury from 1990 to 2021 and projections for 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease 2021 study. *Ageing Res Rev.* 2025; 103:102598. DOI: 10.1016/j.arr.2024.102598.
2. Barbiellini Amidei C, Salmaso L, Bellio S, Saia M. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: a large population-based study. *Spinal Cord.* 2022; 60(9): 812-819. DOI: 10.1038/s41393-022-00795-w.
3. Cardile D, Calderone A, De Luca R, Corallo F, Quartarone A, Calabro RS. The quality of life in patients with spinal cord injury: assessment and rehabilitation. *J Clin Med.* 2024; 13(6): 1820. DOI: 10.3390/jcm1306182.
4. Leemhuis E, Esposito RM, De Gennaro L, Pazzaglia M. Go virtual to get real: virtual reality as a resource for spinal cord treatment. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18(4): 1819. DOI: 10.3390/ijerph18041819.
5. Wang L, Zhang H, Ai H, Liu Y. Effects of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil.* 2024; 21(1): 191. DOI: 10.1186/s12984-024-01492-w.
6. Abou L, Malala VD, Yarnot R, Alluri A, Rice LA. Effects of virtual reality therapy on gait and balance among individuals with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2020; 34(5): 375-388. DOI: 10.1177/1545968320913515.
7. De Miguel-Rubio A, Rubio MD, Alba-Rueda A, Salazar A, Moral-Munoz JA, Lucena-Anton D. Virtual reality systems for upper limb motor function recovery in patients with spinal cord injury: systematic review and meta-analysis. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2020; 8(12): e22537. DOI: 10.2196/22537.
8. Sheehy L, Taillon-Hobson A, Sveistrup H, Bilodeau M, Fergusson D, Levac D, et al. Does the addition of virtual reality training to a standard program of inpatient rehabilitation improve sitting balance ability and function after stroke? Protocol for a single-blind randomized controlled trial. *BMC Neurol.* 2016; 16: 42. DOI: 10.1186/s12883-016-0563-x.
9. Ghaednia H, Fourman MS, Lans A, Detels K, Dijkstra H, Lloyd S, et al. Augmented and virtual reality in spine surgery, current applications and future potentials. *Spine J.* 2021; 21(10): 1617-1625. DOI: 10.1016/j.spinee.2021.03.018.
10. Chen J, Or CK, Chen T. Effectiveness of using virtual reality-supported exercise therapy for upper extremity motor rehabilitation in patients with stroke: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Med Internet Res.* 2022; 24(6): e24111. DOI: 10.2196/24111.
11. Rutkowski S, Rutkowska A, Kiper P, Jastrzebski D, Rachenik H, et al. Virtual reality rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2020; 15: 117-124. DOI: 10.2147/COPD.S223592.
12. Choi JY, Yi SH, Ao L, Tang X, Xu X, Shim D, et al. Virtual reality rehabilitation in children with brain injury: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* 2021; 63(4): 480-487. DOI: 10.1111/dmcn.14762.
13. Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Salazar A, Casado-Fernández E, Lucena-Antón D. Game-based virtual reality interventions to improve upper limb motor function and quality of life after stroke: systematic review and meta-analysis. *Games Health J.* 2020; 9(1): 1-10. DOI: 10.1089/g4h.2019.0043.
14. Aguilera-Rubio Á, Cuesta-Gómez A, Mallo-López A, Jardón-Huete A, Oña-Simbaña ED, Alguacil-Diego IM. Feasibility and efficacy of a virtual reality game-based upper extremity motor function rehabilitation therapy in patients with chronic stroke: a pilot study. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19(6): 3381. DOI: 10.3390/ijerph19063381.

15. Shin S, Lee HJ, Chang WH, Ko SH, Shin YI, Kim YH. A Smart glove digital system promotes restoration of upper limb motor function and enhances cortical hemodynamic changes in subacute stroke patients with mild to moderate weakness: a randomized controlled trial. *J Clin Med.* 2022; 11(24): 7343. DOI: 10.3390/jcm11247343.
16. Gulcan K, Guclu-Gunduz A, Yasar E, Ar U, Sucullu Karadag Y, Saygili F. The effects of augmented and virtual reality gait training on balance and gait in patients with Parkinson's disease. *Acta Neurol Belg.* 2023; 123(5): 1917-1925. DOI: 10.1007/s13760-022-02147-0.
17. Sana V, Ghous M, Kashif M, Albalwi A, Muneer R, Zia M. Effects of vestibular rehabilitation therapy versus virtual reality on balance, dizziness, and gait in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2023; 102(24): e33203. DOI: 10.1097/MD.00000000000033203.
18. Amir-Behghadami M, Janati A. Emerg population, intervention, comparison, outcomes and study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Med J.* 2020; 37(6): 387. DOI: 10.1136/emered-2020-209567.
19. Leirós-Rodríguez R, Álvarez-Barrio L, Alonso-Cortés Fradejas B. Analysis of postural control in sitting by pressure mapping in patients with multiple sclerosis, spinal cord injury and friedreich's ataxia: a case series study. *Reguera-García MM, Sensors (Basel).* 2020; 20(22): 6488. DOI: 10.3390/s20226488.
20. Nam SM, Koo DK, Kwon JW. Efficacy of wheelchair skills training program in enhancing sitting balance and pulmonary function in chronic tetraplegic patients: a randomized controlled study. *Medicina (Kaunas).* 2023;59(9):1610. DOI: 10.3390/medicina59091610.
21. Nair MS, Kulkarni VN, Shyam AK. Combined Effect of virtual reality training (VRT) and conventional therapy on sitting balance in patients with spinal cord injury (SCI): randomized control trial. *Neurol India.* 2022; 70 (Supplement): S245-S250. DOI: 10.4103/0028-3886.360934.
22. Goel T, Sharma N, Gehlot A, Srivastav AK. Effectiveness of immersive virtual reality training to improve sitting balance control among individuals with acute and sub-acute paraplegia: a randomized clinical trial. *J Spinal Cord Med.* 2023; 46(6): 964-974. DOI: 10.1080/10790268.2021.2012053.
23. Alashram AR, Padua E, Hammash AK, Lombardo M, Annino G. Effectiveness of virtual reality on balance ability in individuals with incomplete spinal cord injury: a systematic review. *J Clin Neurosci.* 2020; 72: 322-327. DOI: 10.1016/j.jocn.2020.01.037
24. Scalise M, Bora TS, Zancanella C, Safa A, Stefini R, Cannizzaro D. Virtual reality as a therapeutic tool in spinal cord injury rehabilitation: a comprehensive evaluation and systematic review. *J Clin Med.* 2024; 13(18): 5429. DOI: 10.3390/jcm13185429.
25. Koster RAJ, Alizadehsaravi L, Muijres W, Bruijn SM, Dominici N, van Dieën JH. Balance training in older adults enhances feedback control after perturbations. *Peer J.* 2024;12:e18588. DOI: 10.7717/peerj.18588.
26. Wang C, Kong J, Qi H. Areas of research focus and trends in the research on the application of VR in rehabilitation medicine. *Healthc (Basel).* 2023; 11(14): 2056. DOI: 10.3390/healthcare11142056.
27. Lim DY, Hwang DM, Cho KH, Moon CW, Ahn SY. A fully immersive virtual reality method for upper limb rehabilitation in spinal cord injury. *Ann. Rehabil. Med.* 2020; 44: 311-319. DOI: 10.5535/arm.19181.
28. Al Nattah MMA, Tiberti S, Segaletti L. Semi-immersive virtual reality exercise therapy for upper limb rehabilitation in patients with spinal cord injury using the leap motion controller. *Cureus.* 2024; 16: e52261. DOI: 10.7759/cureus.52261.
29. Bressi F, Cricenti L, Bravi M, Pannunzio F, Cordella F, Lapresa M, et al. Treatment of the paretic hand with a robotic glove combined with physiotherapy in a patient suffering from traumatic tetraparesis: a case report. *Sensors.* 2023; 23: 3484. DOI: 10.3390/s23073484.
30. Zhang T, Li X, Zhou X, Zhan L, Wu F, Huang Z, et al. Virtual reality therapy for the management of chronic spinal pain: systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games.* 2024; 12: e50089. DOI: 10.2196/50089.
31. Chambel SS, Tavares I, Cruz CD. Chronic pain after spinal cord injury: is there a role for neuron-immune dysregulation? *Front. Physiol.* 2020; 11: 748. DOI:10.3389/fphys.2020.00748.
32. Guerra-Armas J, Flores-Cortes M, Pineda-Galan C, Luque-Suarez A, La Touche R. Role of immersive virtual reality in motor behaviour decision-making in chronic pain patients. *Brain Sci.* 2023; 13(4): 617. DOI: 10.3390/brainsci13040617
33. Flores-Cortes M, Guerra-Armas J, Pineda-Galan C, La Touche R, Luque-Suarez A. Sensorimotor uncertainty of immersive virtual reality environments for people in pain: scoping review. *Brain Sci.* 2023; 13(10): 1461. DOI: 10.3390/brainsci13101461.
34. Ahern MM, Dean LV, Stoddard CC, Agrawal A, Kim K, Cook CE, et al. The effectiveness of virtual reality in patients with spinal pain: a systematic review and meta-analysis. *Pain Pract.* 2020; 20(6): 656-675. DOI: 10.1111/papr.12885.
35. Hisham H, Justine M, Hasnan N, Manaf H. Effects of paraplegia fitness integrated training on physical function and exercise self-efficacy and adherence among individuals with spinal cord injury. *Ann Rehabil Med.* 2022; 46(1): 33-44. DOI: 10.5535/arm.21127.
36. Donegan T, Sanchez-Vives MV. Perception and control of a virtual body in immersive virtual reality for rehabilitation. *Curr Opin Neurol.* 2024;37(6):638-644. DOI: 10.1097/WCO.0000000000001321.
37. Park S, Lee G. Full-immersion virtual reality: adverse effects related to static balance. *Neurosci Lett.* 2020;733:134974. DOI: 10.1016/j.neulet.2020.134974.
38. Simón-Vicente L, Rodríguez-Cano S, Delgado-Benito V, Ausín-Villaverde V, Cubo Delgado E. Cybersickness. A systematic literature review of adverse effects related to virtual reality. *Neurología.* 2024; 39(8): 701-709. DOI: 10.1016/j.nrleng.2022.04.007.
39. Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: a review. *Front. Psychol.* 2019; 10: 158. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00158.
40. Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, Keage HAD, Rizzo A, Loetscher T. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: A systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2020; 14: 96. DOI:10.3389/fnhum.2020.00096.
41. De Araújo AVL, Neiva JFO, Monteiro CBM, Magalhães FH. Efficacy of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review. *Biomed Res Int.* 2019; 2019: 7106951. DOI: 10.1155/2019/7106951.
42. Moulaei K, Bahaadinbeigy K, Haghdoostd A, Nezhad MS, Gheysari M, Sheikhtaheri A. An analysis of clinical outcomes and essential parameters for designing effective games for upper limb rehabilitation: a scoping review. *Health Sci Rep.* 2023; 6(5): e1255. DOI: 10.1002/hsr2.1255.

Сведения об авторах:

Коновалова Н.Г., д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России, г. Новокузнецк, Россия.

Хохлова О.И., д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России, г. Новокузнецк, Россия.

Васильченко Е.М., д.м.н., доцент, главный научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России, г. Новокузнецк, Россия.

Адрес для переписки:

Коновалова Нина Геннадьевна, ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России
ул. Малая, 7, г. Новокузнецк, Россия, 654055
Тел: +7 (3843) 36-91-26
E-mail: root@reabil-nk.ru; konovalovang@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21.07.2025

Рецензирование пройдено 25.07.2025

Подписано в печать 05.08.2025

Information about authors:

Konovalova N.G., MD, PhD, leading researcher of Department of Medical and Sociovocational Rehabilitation of Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation of Disabled Persons, Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Novokuznetsk, Russia.

Khokhlova O.I., MD, PhD, leading researcher of Department of Medical and Sociovocational Rehabilitation of Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation of Disabled Persons, Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Novokuznetsk, Russia.

Vasilchenko E.M., MD, PhD, associate professor, chief researcher of Department of Medical and Sociovocational Rehabilitation of Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation of Disabled Persons, Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Novokuznetsk, Russia.

Address for correspondence:

Konovalova Nina Gennadievna, Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation of Disabled Persons, Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Malaya St., 7, Novokuznetsk, Russia, 654066
Tel: +7 (3843) 36-91-26
E-mail: root@reabil-nk.ru; konovalovang@yandex.ru

Received 21.07.2025

Review completed 25.07.2025

Passed for printing 05.08.2025

