

Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с детским церебральным параличом

Карякин Н.Н., Шейко Г.Е., Воловик М.Г., Белова А.Н.

Приволжский исследовательский медицинский университет (ПИМУ)
Россия, 603155, г. Нижний Новгород, Верхне-Волжская наб., 18/1

РЕЗЮМЕ

Обзор посвящен вопросам применения технологий виртуальной реальности (VR) в медицинской реабилитации пациентов с детским церебральным параличом (ДЦП). Обобщены современные данные касательно использования VR в восстановлении двигательных, координаторных функций, а также коррекции других расстройств, сопутствующих двигательным нарушениям у пациентов с ДЦП. Анализ работ, представленных в отечественной и зарубежной литературе, показывает, что в настоящее время нельзя однозначно говорить об эффективности VR в реабилитации пациентов с ДЦП. Это связано с рядом методологических недостатков проанализированных работ (небольшой размер изучаемой выборки, отсутствие контроля результатов в отдаленный период). Тем не менее использование технологий VR с целью улучшения различных функций у пациентов с ДЦП является перспективным методом медицинской реабилитации.

Ключевые слова: виртуальная реальность, реабилитация, детский церебральный паралич.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Для цитирования: Карякин Н.Н., Шейко Г.Е., Воловик М.Г., Белова А.Н. Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с детским церебральным параличом. *Бюллетень сибирской медицины*. 2020; 19 (2): 142–152. <https://doi.org/ 10.20538/1682-0363-2020-2-142–152>.

Virtual reality technologies in complex medical rehabilitation of patients with cerebral palsy

Karyakin N.N., Sheiko G.E., Volovik M.G., Belova A.N.

Privolzhskiy Research Medical University
18/1, Verkhne-Volzhska Emb., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

ABSTRACT

The review highlights the issue of applying virtual reality (VR) technologies in medical rehabilitation of patients with cerebral palsy (CP). This review generalizes the current evidence on the use of virtual reality in restoration of motor and coordination functions, as well as in correction of other diseases associated with motor disorders in patients with CP. The analysis of national and international research shows that at present it is impossible to speak unambiguously about the efficiency of VR in rehabilitation of patients with CP. This is explained by some

methodological shortcomings of the analyzed works (small size of the studied samples, lack of control over the results in the long term). However, the use of VR technologies for improving various functions in patients with CP is a promising method of medical rehabilitation.

Key words: virtual reality, rehabilitation, cerebral palsy.

Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors state that they received no funding for the study.

For citation: Karyakin N.N., Sheiko G.E., Volovik M.G., Belova A.N. Virtual reality technologies in complex medical rehabilitation of patients with cerebral palsy. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2020; 19 (2): 142–152. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2020-2-142-152>.

ВВЕДЕНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) относится к группе стабильных нарушений движения и поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, вследствие непрогрессирующего повреждения и (или) аномалии развивающегося головного мозга у плода или новорожденного ребенка [1–3]. ДЦП представляет актуальную проблему современной медицины, так как является основной неврологической причиной детской инвалидности во всем мире, затрагивающей семью, образование и социальную жизнь ребенка [4]. Распространенность ДЦП составляет 2–3,6 случая на 1 000 детей [5]. Грамотный выбор методов и сроков реабилитации позволяет социально адаптировать детей с данной патологией и улучшить прогноз их двигательного и психического развития [2].

На данный момент существует множество методов медицинской реабилитации больных с ДЦП, эффективность которых зависит от реабилитационного потенциала пациента, а также комплекса подобранных процедур [6]. Среди основных реабилитационных мероприятий на данный момент выделяют следующие: ортезирование; физическая реабилитация (массаж, лечебная гимнастика, аппаратная кинезиотерапия, роботизированная механотерапия), в том числе основанная на принципе биологической обратной связи; хирургические ортопедические вмешательства на конечностях; хирургическая коррекция деформаций позвоночника у детей с ДЦП; ботулинотерапия [7]. Основной целью в реабилитации больных ДЦП является помощь ребенку в достижении максимально возможного уровня физической, когнитивной, психологической и социальной независимости [2].

Тем не менее сохраняется актуальность разработки и внедрения новых эффективных и безопасных методов реабилитации больных с ДЦП, нацеленных

на восстановление двигательной активности. При этом крайне важно использовать методы лечения, которые будут не только эффективными, но интересными для детей, вызывать вовлеченность пациента в процесс реабилитации, что, несомненно, должно сказаться и на результате [8]. Мотивация и активное участие детей в процессе реабилитации играют ключевую роль [9].

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии виртуальной реальности (VR), которые, по различным данным, способны значительно улучшить результаты реабилитационного лечения [10, 11]. Технология VR является компьютерной симуляцией реальной среды и призвана обеспечить чувство присутствия с помощью 3D-изображения и анимации, а также позволить взаимодействовать с различными объектами данной среды [12, 13].

Технологии VR берут начало своего применения в 1950-х гг., как правило, с развлекательной целью. В середине 1960-х гг. потенциал их использования был признан исследователями из самых разных областей, в том числе в медицине [14]. В дальнейшем технологии VR показали положительные результаты в лечении акрофобии [15], зуда [16], болевых синдромов [17], посттравматического стрессового расстройства, депрессии и бессонницы [18]. Также был выявлен высокий потенциал VR в реабилитации пациентов с ДЦП [19], у детей с расстройствами аутистического спектра [20–22], пациентов с болезнью Паркинсона [23], Альцгеймера [24] и рассеянным склерозом [25]. Высокая эффективность технологии VR в медицинской реабилитации обусловлена достижением эффекта погружения, что позволяет отвлечь внимание пациента от боли, дискомфорта, снизить тревожность или неудовлетворенность лечением [26].

Ощущение погружения в VR обеспечивается с помощью использования очков, специальных шлемов, проекторов, перчаток с сенсорами, а также язы-

ка кодирования Virtual Reality Modeling Language (VRML), предназначенного для описания трехмерных изображений. Участие или погружение пациента в ВР может быть реализовано в следующих вариантах: активном, когда пользователь управляет виртуальным образом (аватаром) или конкретным объектом; пассивном, когда производится просмотр видеороликов без активного управления [27]. ВР в отличие от других форм визуализации (видеоигры, телевидение) позволяет взаимодействовать с различными объектами в реальном времени [28].

Пользователь в искусственно созданной виртуальной среде может почувствовать опыт, аналогичный событиям и действиям в реальной жизни [29]. Пациент может видеть, ощущать объекты и события, манипулировать ими и перемещать их в виртуальном пространстве. Таким образом создается «эффект присутствия» [30]. Наибольшая эффективность применения ВР с позиций доказательной медицины выявлена при восстановлении функции ходьбы [31] и манипулятивной функции верхней конечности [32], что достигается за счет создания виртуальной среды, максимально приближенной к реальной, а также формирования мотивации к активному участию пациента в реабилитационных мероприятиях [32, 33]. Именно активное вовлечение пациента в процесс тренировки в виртуальной среде, в ходе которой можно осознавать и исправлять свои ошибки при выполнении движений, позволяет достичь высоких результатов в обучении больного двигательным навыкам [34, 35]. ВР-тренировка способствует эффективному оттачиванию движений в том контексте, в котором они должны применяться в жизни благодаря трем ключевым элементам, необходимым для улучшения моторных функций: повторение стимуляции, сенсорная обратная связь, мотивация пациентов [26, 35].

Восстановление двигательного дефицита при использовании ВР в нейрореабилитации связано с активизацией механизмов пластичности мозга, в том числе с изменениями в первичной сенсомоторной коре и дополнительной двигательной области [35, 36]. Это знание позволяет расширять спектр нозологий, при которых с помощью ВР удается достигнуть значимых результатов [37, 38].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВР-ТЕХНОЛОГИЙ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ У БОЛЬНЫХ С ДЦП

Одним из перспективных направлений в коррекции двигательных и сопутствующих нарушений у пациентов с ДЦП является использование ВР в качестве дополнительного способа реабилитации [39]. Применение ВР у детей с ДЦП быстро набрало попу-

лярность, поскольку компьютерные технологии являются мотивирующими для детей и молодежи [40]. Стоит заметить, что недостаточная мотивация может помешать пациенту раскрыть свой функциональный потенциал [9, 41]. ВР позволяет выполнять сложные движения в безопасной среде, предоставляет возможность активного обучения [2, 9].

Ряд исследований указывает на положительное влияние ВР на реорганизацию мозговых структур, нейропластичность, двигательные способности пациента, зрительную перцепцию, социальные особенности поведения и личностные качества [2, 19, 42]. Положительная особенность применения ВР заключается в том, что учитывается реальная ежедневная деятельность пациента [43].

Существует множество различных систем ВР, среди них Virtual Rehab, Caren, Nirvana, Tyromotion, MiTii и др. Одной из самых распространенных является система Virtual Rehab – реабилитационная платформа, использующая коммерчески доступные сенсоры Microsoft Kinect и Leap Motion, а также технологию видеоигр, предназначенную для восстановления двигательных функций конечностей. ВР-терапия с применением сенсоров Microsoft Kinect и Nintendo Wii доказала свою эффективность в улучшении выполнения физических упражнений и повышении физической активности [44].

Оборудование для ВР отличается высокой стоимостью и сложностью, что предопределяет использование данных систем только в условиях клиники. Тем не менее разрабатываются игровые системы для домашнего пользования: Tyromotion Pablo для тренировки кисти и пальцев; Тумо для тренировки равновесия и силы; The Interactive Rehabilitation Exercise System (IREX) с технологией погружения и контроля жестов; системы You Grabber и You Kicker для тренировки движений верхней и нижней конечностей. Превращение лечения в игру повышает внимание ребенка к выполнению тех или иных упражнений по сравнению с обычным лечением [45, 46] и, что особенно важно, с возможностью использования ВР-технологий на дому [47].

В настоящее время активно разрабатываются и внедряются в реабилитационную практику игры с использованием ВР для пациентов с ДЦП, которые будут терапевтически релевантными и в то же время интересными для самих пациентов [48]. Во многих исследованиях применения ВР в реабилитации детей с ДЦП оценивается эффективность в зависимости от достигаемой цели: восстановление функции верхней и (или) нижней конечности, постурального контроля и равновесия; улучшение физической подготовки и тренировка сердечно-сосудистой системы [42, 49].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВР-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ДЦП

Одной из наиболее приоритетных задач восстановления бытовой и социальной активности пациентов с ДЦП является улучшение базовых моторных навыков верхней конечности, таких как способность координировать движения двух рук, достигнуть объект и манипулировать им [50].

J.W. Yoo и соавт. провели исследование, в котором оценивали эффективность использования биологической обратной связи с применением ВР по электромиографии (ЭМГ-биофидбэк) у пациентов ($n = 18$) с различными формами ДЦП (средний возраст $9,5 \pm 1,9$ года) для улучшения функции верхней конечности. Все пациенты с ДЦП прошли один 30-минутный сеанс ЭМГ-биофидбэк, а затем через 1 нед еще один 30-минутный сеанс ЭМГ-биофидбэк и ВР. Результаты оценивали по ряду тестов: диапазон движения локтевого сустава, тест «коробка и кубик», сила бицепса. После применения ЭМГ-биофидбэка совместно с ВР выявлялось статистически значимое улучшение по всем тестам ($p < 0,05$). Данное исследование является первым клиническим испытанием, которое продемонстрировало эффективность применения ЭМГ-биофидбэк совместно с ВР у пациентов с ДЦП для улучшения функции верхней конечности [51].

G. Asar и соавт. изучили эффективность применения ВР (Nintendo Wii) для улучшения функции верхней конечности у пациентов с гемипаретической формой ДЦП ($n = 30$) с уровнем двигательных нарушений I–II по Международной шкале классификации моторных функций пациента (Global Motor Function Classification System, GMFCS). Пациенты были разделены на две группы по 15 человек в зависимости от получаемого комплекса реабилитационных мероприятий. В первой группе (средний возраст $9,5 \pm 3,0$ года) выполнялось традиционное неврологическое лечение (30 мин) с применением технологии ВР (теннис, бокс, бейсбол – по 5 мин каждая). Во второй группе (средний возраст $9,7 \pm 2,9$ года) – только традиционное неврологическое лечение (45 мин).

Все пациенты получали 45-минутное лечение два раза в неделю в течение 6 нед. Функция верхних конечностей до и после лечения оценивались с помощью теста навыков верхней конечности (Quality of Upper Extremity Skills Test, QUEST), функционального теста кисти Джебсона – Тейлора (Jebesen–Taylor Hand Function Test), детского теста ABILHAND и Меры функциональной независимости (Pediatric

Functional Independence Measure (self-care)). Результаты исследования продемонстрировали более выраженное улучшение функции верхней конечности у пациентов с гемиплегической формой ДЦП, которым применялось традиционное неврологическое лечение совместно с ВР [52].

Кроме того, был проведен ряд пилотных исследований, где была определена высокая эффективность использования систем ВР в улучшении функции верхней конечности у пациентов с гемиплегической формой ДЦП [47, 53]. Одной из наиболее популярных систем для восстановления функции верхней конечности и планирования движений является программа MiTi (move it to improve it – двигайся, чтобы стать лучше), использующая интерактивную компьютерную игру, которая управляется с помощью движений кистей и тела. Система предусматривает дистанционную настройку и проверку прогресса, а также возможность придать серии игр индивидуальный характер. В настоящее время в университете Квинсленда (Австралия) проводятся рандомизированные клинические испытания системы ВР MiTi для оценки эффективности в улучшении функции верхней конечности, а также для того, чтобы глубже понять центральные нейроваскулярные механизмы, обуславливающие изменения функций верхней конечности, планирования движений и исполнительской функции [54].

Несмотря на положительные результаты применения ВР для улучшения функции верхней конечности у больных ДЦП, имеются противоречивые данные. Так, в систематическом обзоре C. Rathinam и соавт. из шести проанализированных работ только в четырех наблюдалось улучшение. В двух других никаких изменений после включения ВР в реабилитационные мероприятия не отмечалось [55].

Таким образом, на данный момент невозможно утверждать о высокой эффективности применения технологии ВР для восстановления функции верхней конечности в реабилитации пациентов с ДЦП. Крайне важно проводить контроль отдаленных результатов, в частности оценку применения навыков, полученных в процессе реабилитации в реальных жизненных ситуациях и действиях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВР-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ (ХОДЬБЫ) У ПАЦИЕНТОВ С ДЦП

Восстановление функции нижних конечностей у пациентов с ДЦП является ключевой и наиболее сложной задачей медицинской реабилитации. Целью исследований, связанных коррекцией двигательных

нарушений нижних конечностей при ДЦП, как правило, является улучшение ходьбы [9].

C. Gagliardi и соавт. провели пилотное исследование по оценке эффективности иммерсивной (от англ. *immersive* – создающий эффект присутствия, погружения) ВР, применяемой для улучшения ходьбы у пациентов с ДЦП. В исследование были включены 16 детей (средний возраст $(11 \pm 2,4)$ года) со спастической тетраплегией, посещающих общеобразовательную школу. Реабилитация была сосредоточена на восстановлении навыков ходьбы и выносливости с использованием интерактивной лаборатории анализа походки в реальном времени (*Gait Real-time Analysis Interactive Lab, GRAIL*). Все пациенты прошли 18 сеансов терапии за 4 нед. Эффективность применения системы ВР GRAIL оценивалась с использованием функциональных и инструментальных методов, включая анализ походки и применения опросника «оценка глобальных моторных функций» (*Gross Motor Function Measure 88, GMFM-88*). Спустя 4 нед после начала реабилитационных мероприятий с применением технологии ВР наблюдалось улучшение характера ходьбы (длина шага слева и справа ($p = 0,001$; $0,003$); скорость ходьбы ($p = 0,001$)), выносливости (6-минутный тест ходьбы ($p = 0,026$)), глобальных моторных функций (*GMFM-88* ($p = 0,041$)), а также других кинематических и кинетических параметров [56].

A.T.C. Booth и соавт. провели систематический обзор и метаанализ работ с 1980 по 2017 г., посвященных оценке эффективности применения технологии ВР для улучшения походки у детей с ДЦП. Всего в данную работу было включено 41 исследование, из них 11 контролируемых рандомизированных исследований. Было определено, что применение технологии ВР для функциональной тренировки походки у пациентов с ДЦП приводит к клиническим значимым положительным результатам. Установлено, что функциональная тренировка походки оказывает умеренное положительное влияние на скорость ходьбы по сравнению со стандартной физиотерапией ($p = 0,04$). Также выявлены более слабые, но относительно последовательные доказательства того, что функциональная тренировка походки с применением ВР также может улучшить ходьбу и общие двигательные функции, связанные с ней. Авторы утверждают, что функциональная тренировка походки с применением ВР является безопасным, осуществимым и эффективным методом улучшения ходьбы у детей с ДЦП. Кроме того, добавление методов ВР и биологической обратной связи к реабилитационным мероприятиям у пациентов с ДЦП может повысить мотивацию пациента и улучшить результаты лечения [57].

Тем не менее также существуют противоречивые данные касательно эффективности технологий ВР в улучшении ходьбы у пациентов с ДЦП. Например, D. Levas и соавт. провели пилотное нерандомизированное контролируемое исследование, в которое были включены две группы пациентов с различными формами ДЦП. В первой группе ($n = 5$) пациентам с ДЦП выполнялся один сеанс в день ВР в течение 5 дней в условиях стационара, далее в домашних условиях в течение 6 нед применялись активные видеоигры. Во второй группе ($n = 6$) использовались только активные видеоигры в домашних условиях в течение 6 нед. У всех пациентов оценивалась ходьба с помощью 6-минутного теста ходьбы (*6-minute Walk Test, 6MWT*) и глобальные моторные функции по шкале *GMFM-88*.

По результатам данного исследования различий между группами не выявлено. В группе, где применялись активные видеоигры в домашних условиях в течение 6 нед, отмечалось статистически значимое улучшение показателей по *GMFM-88* ($p = 0,042$). В первой группе, где применялась ВР в условиях клиники и активные видеоигры в домашних условиях, выявлено улучшение по *6MWT* ($p = 0,043$). Несмотря на это, значения по *6MWT* через 2 мес вернулись к исходному уровню. Таким образом, авторы делают вывод, что ни методы ВР, ни активные видеоигры не улучшили двигательные функции у пациентов с ДЦП [58].

Тем не менее сохраняется актуальность применения технологии ВР для восстановления функции нижней конечности. В настоящий момент уже разработаны протоколы, по которым проводятся клинические исследования эффективности технологий ВР в восстановлении функции нижних конечностей (ходьбы) у пациентов с ДЦП [59, 60]. При этом данные протоколы, что крайне важно, предусматривают оценку отдаленных результатов реабилитационных мероприятий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВР-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ (БАЛАНС, КООРДИНАЦИЯ) У ПАЦИЕНТОВ С ДЦП

Постуральный контроль, координация движений и равновесие являются ключевыми факторами, обеспечивающими большинство функциональных навыков, в особенности ходьбу и поддержание положения тела в пространстве. Основной причиной нарушения постурального контроля является усиление коактивации мышц агонистов и антагонистов, а так-

же снижение регуляции постурального сокращения мышц к специфике ситуации [61]. В последние годы часть исследований касательно применения VR были сосредоточены на оценке улучшения постурального контроля и координации движений у пациентов с ДЦП [62, 63].

Первым исследованием с применением VR для восстановления постурального контроля является работа J.E. Deutsch и соавт., в которой представлен клинический пример с ретро- и проспективным наблюдением. В исследование был включен ребенок 13 лет со спастической диплегией, которому проведено лечение с использованием игровой системы Nintendo Wii в течение 11 сеансов по 60–90 мин на протяжении 4 нед. По результатам наблюдения отмечалось улучшение постурального контроля, зрительного восприятия и функциональной мобильности [64].

В работе С. Gordon и соавт. применялась система Nintendo Wii в качестве метода реабилитации детей с дискинетической формой ДЦП. Всего в исследовании были включены шесть пациентов в возрасте 6–12 лет. Выполнялось по два реабилитационных сеанса в неделю на протяжении 6 нед. В результате использования системы VR у всех детей отмечалось улучшение постурального контроля и двигательных функций [8].

В исследовании D. Sharan и соавт. приняли участие 16 человек, из них восемь пациентов с ДЦП входили в исследуемую группу (средний возраст $(8,9 \pm 3,2)$ года) и восемь детей без патологии – в контрольную (средний возраст $(10,4 \pm 4,4)$ года). Для реабилитации применялась система VR Nintendo Wii sports и Wii fit. Оценка двигательной активности производилась с использованием системы классификации мануальных способностей для детей с церебральным параличом (Manual Ability Classification System, MACS) и педиатрической шкалы баланса (Pediatric Balance Score, PBS). В результате проведенного исследования положительный эффект был отмечен по шкале PBS. В отношении мануальных навыков различий по сравнению с контрольной группой не выявлено. Таким образом, исследователи показали, что использование систем VR Nintendo Wii sports и Wii fit оказывает положительное влияние на функцию поддержания равновесия пациента с ДЦП [29]. Также существуют другие работы, в которых применение технологий VR продемонстрировали высокую эффективность в улучшении функции постурального контроля и поддержания равновесия у детей с ДЦП [65, 66].

В 2018 г. D. Cano Porrás и соавт. провели систематический обзор 97 статей, 68 из которых опубликованы в 2013 г. и позже. В данном обзоре делается

вывод, что применение технологий VR имеет положительный эффект на восстановление равновесия и походки, а также приносит дополнительные преимущества в сочетании с традиционной реабилитацией [67]. Также существуют данные касательно положительного эффекта от совместного применения транскраниальной стимуляции и VR на поддержание равновесия [68].

Таким образом, включение VR-технологий в реабилитационные мероприятия с целью улучшения постурального контроля и равновесия у пациентов с ДЦП имеет положительные перспективы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В УЛУЧШЕНИИ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ТРЕНИРОВКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ПАЦИЕНТОВ С ДЦП

Активные видеоигры, которые получили в последнее время большую популярность среди детей и подростков, считаются оптимальной альтернативой пассивным компьютерным играм. Физическая активность и физическая подготовленность у детей с ДЦП снижены по сравнению с их здоровыми сверстниками, и большую часть времени они проводят сидя, в том числе перед экраном монитора [69].

В нескольких исследованиях изучалось влияние активных игр с применением методов VR на физическую активность у детей с ДЦП при домашнем использовании. Данные работы показали, что активные игры умеренно улучшают физическую активность, а также снижают время, проведенное сидя перед экраном монитора [70, 71].

ВЛИЯНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИИ НА СОПУТСТВУЮЩИЕ ДЦП СИНДРОМЫ

Большинство детей с ДЦП страдают от нескольких сопутствующих расстройств в дополнение к двигательным нарушениям. К данным расстройствам относятся поведенческие, когнитивные нарушения, а также неспособность к обучению, что, в свою очередь, оказывает влияние на общие двигательные функции. Примерно у 40% пациентов с ДЦП диагностируется синдром гиперактивности и дефицита внимания [2]. Существует ряд исследований, которые показали положительное влияние применения технологий VR у пациентов с ДЦП на когнитивные функции и поведенческие расстройства [72, 73].

M. Pourazar и соавт. провели рандомизированное контролируемое исследование по оценке эффективности применения VR для улучшения времени реакции у детей с ДЦП. Тридцать мальчиков от 7 до 12 лет были включены в исследование и разделены

на две группы (исследуемая и контрольная). У всех пациентов исходно и через 1 сут проводили измерение времени реакции (Simple Reaction Time, SRT), а также оценку дискриминантного времени реакции (Discriminative Reaction Time, DRT). В исследуемой группе между двумя измерениями проводили сеанс ВР с использованием приставки Xbox. По результатам исследования было показано, что у пациентов с ДЦП после сеанса уменьшается время реакции. Авторы считают, что системы ВР являются перспективным инструментом в реабилитационном процессе для улучшения времени реакции у детей с ДЦП [74].

На данный момент рассматривается возможность применения технологий ВР для коррекции орально-лицевых нарушений у детей с ДЦП. Например, M.L. Martín-Ruiz и соавт. считают, что выполнение реабилитационных мероприятий с применением метода ВР под названием SONRIE может улучшить процесс глотания, управление мышцами лица, а также речь детей с ДЦП. Следующие шаги сосредоточены на валидации SONRIE для проведения процесса реабилитации челюстно-лицевой мускулатуры у детей с ДЦП [75].

J.W. Shin и соавт. изучили влияние традиционного неврологического лечения и программы обучения ВР на координацию движений глаз и рук у детей с ДЦП. В исследование были включены 16 пациентов с диплегической формой ДЦП. В контрольной группе ($n = 8$) пациенты выполняли лечебную физкультуру в течение 45 мин два раза в неделю на протяжении 8 нед. В исследуемой группе ($n = 8$) пациенты выполняли лечебную физкультуру (30 мин) и тренировку с использованием подходов ВР (15 мин) два раза в неделю. Результаты исследования показали значительное улучшение координации движений глаз совместно с верхними конечностями в исследуемой группе. Авторы утверждают, что хорошо разработанная программа обучения с использованием ВР может улучшить координацию глаз и верхних конечностей у детей с ДЦП [76].

Таким образом, применение технологий ВР у больных ДЦП позволяет не только улучшить функцию конечностей, ходьбу, постуральный контроль и равновесие, но и оказать положительное влияние на такие социально значимые функции, как поведение, мимика, время реакции, координация движений рук и глаз и др.

НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ ВР-ТЕХНОЛОГИЙ

Несмотря на положительные результаты исследований по оценке эффективности технологий ВР в реабилитации пациентов с ДЦП, существует ряд не-

достатков, связанных с их применением. До сих пор многие системы ВР не адаптированы для пациентов с ДЦП с выраженной спастикой (степень спастичности 2 DRT,4 по шкале Эшворта). В данном случае речь идет об играх, где требуется использование пульта дистанционного управления. На данный момент разрабатываются игры, которые способны индивидуально адаптироваться к сниженным функциям пациента с ДЦП [77]. К примеру, компания Sony (Япония) разработала сенсорную перчатку для игровой приставки SonyPlay Station 3, а также несколько игр, которые используются в технологиях ВР у пациентов с ДЦП с дисфункцией верхних конечностей [78]. Также существует «Система интерактивных реабилитационных упражнений» (The Interactive Rehabilitation Exercise System, IREX), в которой используется технология обнаружения и захвата движения, что облегчает взаимодействие пациента с игровой системой [79].

Кроме того, большинство игр для ВР, доступных в продаже, могут быть слишком сложны для пациентов с ДЦП, а специальные программы, адаптированные под определенные двигательные нарушения, требуют применения дополнительных технических устройств, а также отличаются высокой стоимостью [9].

Также стоит отметить, что существующие программы ВР содержат ограниченное количество игр, что снижает мотивацию к длительному обучению. В своем исследовании S.G. Owners и соавт. отмечали сокращение времени, проведенного за игрой, спустя 6 нед использования. Длительность тренировки с использованием Nintendo Wii fit снижалась на 82% за первые 6 нед использования [80].

Помимо этого, существует ряд факторов, ограничивающих применение технологий ВР. Например, D. Levas и соавт. провели опрос канадских специалистов по физиотерапии и трудотерапии о клиническом использовании системы ВР в реабилитационных мероприятиях, а также о факторах, препятствующих ее применению. Всего был опрошен 1 071 респондент. Факторами, препятствующими использованию, являлись нехватка денежных средств, помещений с необходимой площадью, времени, персонала и пациентов с соответствующей патологией [81].

Стоит отметить, что недостатком многих работ, касающихся применения ВР-технологий в реабилитации детей с ДЦП, является небольшое число пациентов, включенных в исследование, что, скорее всего, связано с рядом ограничений: этический аспект их применения, а также недоверие родителей к новым методам реабилитации, эффективность которых еще до конца не определена [46, 81].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии виртуальной реальности только начинают свой путь интеграции в комплекс реабилитационных мероприятий у пациентов с ДЦП. Технологии ВР создают трехмерную виртуальную среду и способны обеспечить визуальную, аудио- и тактильную обратную связь для полного погружения пациента. Таким образом, они открывают новые возможности в медицинской реабилитации пациентов с ДЦП, так как виртуальная среда предоставляет оптимальные условия для улучшения двигательных функций, постурального контроля, равновесия, общей двигательной активности и сопутствующих синдромов, а интерактивные игры повышают мотивацию к терапии.

Потенциальная роль виртуальной моторной реабилитации многообещающая, но ранние свидетельства недостаточны. На данный момент имеются противоречивые данные касательно применения ВР-технологий в реабилитации пациентов с ДЦП, что, вероятно, связано с размером изучаемой выборки, сроками наблюдения, а также оцениваемыми показателями исхода. Необходима дальнейшая разработка подходов ВР, подробное исследование эффективности и безопасности данного метода реабилитации, в особенности влияния на повседневную функциональную активность пациентов с ДЦП.

ЛИТЕРАТУРА

- Kantak S.S., Stinear J.W., Buch E.R., Cohen L.G. Rewiring the brain: potential role of the premotor cortex in motor control, learning, and recovery of function following brain injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012; 26 (3): 282–292. DOI: 10.1177/1545968311420845.
- Mintaze K.G., Ozgun K.K., Cemil O., Duygu T. Virtual reality in rehabilitation of children with cerebral palsy. In book: *Cerebral palsy – challenges for the future*. 2014: 273–300. DOI: 10.5772/57486.
- Meyer-Heim A., van Hedel H.J. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. *Seminars in Pediatric Neurology*. 2013; 20 (2): 139–145. DOI: 10.1016/j.spen.2013.06.006.
- Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Кузенкова Л.М., Куренков А.Л., Клочкова О.А., Мамедъяров А.М., Каримова Х.М., Бурсагова Б.И., Вишнева Е.А. Детский церебральный паралич у детей. Клинические рекомендации, 2017: 62.
- Oskoui M., Coutinho F., Dykeman J., Jette N., Pringsheim T. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Dev. Med. Child Neurol*. 2013; 55 (6): 509–519. DOI: 10.1111/dmcn.12080.
- Полякова А.Г. Реабилитационный прогноз на базе интегративной оценки адаптационного потенциала больного с ограниченными возможностями. *Медицинский альманах*. 2018; 5 (56): 84–88. DOI: 10.21145/2499-9954-2018-5-84-88.
- Abbaskhanian A., Rashedi V., Delpak A., Vameghi R., Gharib M. Rehabilitation interventions for children with cerebral palsy: a systematic review. *Pediatr. Rev*. 2015; 3 (1): 1–8. DOI: 10.5812/jpr.361.
- Gordon C., Roopchand-Martin S., Gregg A. Potential of the Nintendo Wii as a Rehabilitation Tool for Children with Cerebral Palsy in a Developing Country: A Pilot Study. *Physiotherapy*. 2012; 98 (3): 238–242. DOI: 10.1016/j.physio.2012.05.011.
- Tatla S.K., Sauve K., Virji-Babul N., Holsti L., Butler C., van der Loos H.F. Evidence for outcomes of motivational rehabilitation interventions for children and adolescents with cerebral palsy: an American Academy for Cerebral Palsy and Developmental Medicine Systematic Review. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2013; 55 (7): 593–601. DOI: 10.1111/dmcn.12147.
- Dascal J., Reid M., Ishak W.W., Spiegel B., Recacho J., Rosen B., Danovitch I. Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials. *Innov. Clin. Neurosci*. 2017; 14 (1–2): 14–21.
- Hung Y.C., Gordon A.M. Virtual reality training for children with unilateral cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol*. 2018; 60 (4): 334–335. DOI:10.1111/dmcn.13699.
- Riener R., Harders M. Virtual reality in medicine. London: Springer, 2012: 1–2. DOI: 10.1007/978-1-4471-4011-5.
- Jung E.Y., Park D.K., Lee Y.H., Jo H.S., Lim Y.S., Park R.W. Evaluation of practical exercises using an intravenous simulator incorporating virtual reality and haptics device technologies. *Nurse Educ. Today*. 2012; 32 (4): 458–463. DOI: 10.1016/j.nedt.2011.05.012.
- Andolsek D. Virtual reality in education and training. *International Journal of Instructional Media*. 1995; 22 (2): 145–151.
- Rothbaum B.O., Hodges L.F., Kooper R., Opdyke D., Williford J.S., North M. Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. *Am. J. Psychiatry*. 1995; 152 (4): 626–628. DOI: 10.1176/ajp.152.4.626.
- Mochizuki H., Schut C., Nattkemper L.A., Yosipovitch G. Brain mechanism of itch in atopic dermatitis and its possible alteration through non-invasive treatments. *Allergol. Int*. 2017; 66 (1): 14–21. DOI: 10.1016/j.alit.2016.08.013.
- Jones T., Moore T., Choo J. The impact of virtual reality on chronic pain. *PLoS ONE*. 2016; 11 (12): e0167523. DOI: 10.1371/journal.pone.0167523.
- Lewis G.N., Rosie J.A. Virtual reality games for movement rehabilitation in neurological conditions: how do we meet the needs and expectations of the users? *Disabil. Rehabil*. 2012; 34 (22): 1880–1886. DOI: 10.3109/09638288.2012.670036.
- Weiss P.L., Tirosh E., Fehlings D. Role of virtual reality for cerebral palsy management. *J. Child Neurol*. 2014; 29 (8): 1119–1124. DOI: 10.1177/0883073814533007.
- Forbes P.A.G., Pan X., Hamilton A.F. de C. Reduced mimicry to virtual reality avatars in autism spectrum disorder. *J. Autism. Dev. Disord*. 2016; 46 (12): 3788–3797. DOI: 10.1007/s10803-016-2930-2.
- Duffield T.C., Parsons T.D., Landry A., Karam S., Otero T., Mastel S., Hall T. Virtual environments as an assessment modality with pediatric ASD populations: a brief report. *Child*

- Neuropsychology* September. 2017; 24 (8): 1129–1136. DOI: 10.1080/09297049.2017.1375473.
22. Zapata-Fonseca L., Froese T., Schilbach L., Vogeley K., Timmermans B. Sensitivity to social contingency in adults with high-functioning Autism during computer-mediated. *Embodied Interaction Behav. Sci.* 2018; 8 (2): 22. DOI: 10.3390/bs8020022.
 23. Dockx K., Bekkers E.M.J., van den Bergh V., Ginis P., Rochester L., Hausdoff J.M., Mirelman A., Nieuwboer A. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2016; 12: CD010760. DOI: 10.1002/14651858.CD010760.pub2.
 24. Garcia-Betances R.I., Waldmeyer M.T.A., Fico G., Cabrera-Umpierrez M.F. A succinct overview of virtual reality technology use in Alzheimer's disease. *Front. Aging Neurosci.* 2015; 7: 80. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00080.
 25. Massetti T., Trevizan I.L., Arab C., Favero F.M., Ribeiro-Papa D.C., de Mello Monteiro C.B. Virtual reality in multiple sclerosis – a systematic review. *Mult. Scler. Relat. Disord.* 2016; 8: 107–112. DOI: 10.1016/j.msard.2016.05.014.
 26. Teo W.P., Muthalib M., Yamin S., Hendy A., Bramstedt K., Kotsopoulos E., Perrey S., Ayaz H. Does a Combination of Virtual Reality, Neuromodulation and Neuroimaging Provide a Comprehensive Platform for Neurorehabilitation? A Narrative Review of the Literature. *Front. Hum. Neurosci.* 2016; 10: 284. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00284. eCollection 2016.
 27. Iamsakul K., Pavlovic A.V., Calderon J.I., Sanderson L.M. Project heaven preoperative training in virtual reality. *Surg. Neurol. Int.* 2017; 8: 59. DOI: 10.4103/sni.sni_371_16.
 28. Basso Moro S., Bisconti S., Muthalib M., Spezialetti M., Cutilini S., Ferrari M., Placidi G., Quaresima V. A semi-immersive virtual reality incremental swing balance task activates prefrontal cortex: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage.* 2014; 85: 451–460. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.031.
 29. Sharan D., Ajeesh P.S., Rameshkumar R., Mohandoss M., Rivas P. Virtual reality based therapy for post operative rehabilitation of children with cerebral palsy. *Work.* 2012; 41 (Suppl. 1): 3612–3615. DOI: 10.3233/WOR-2012-0667-3612.
 30. Fehlings D., Switzer L., Findlay B., Knights S. Interactive computer play as “motor therapy” for individuals with cerebral palsy. *Seminars in Pediatric Neurology.* 2013; 20 (2): 127–138. DOI: 10.1016/j.spen.2013.06.003.
 31. Moreira M.C., de Amorim Lima A.M., Ferraz K.M., Benedetti Rodrigues M.A. Use of virtual reality in gait recovery among post stroke patients – a systematic literature review. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* 2013; 8 (5): 357–362. DOI: 10.3109/17483107.2012.749428.
 32. Piggott L., Wagner S., Ziat M. Haptic neurorehabilitation and virtual reality for upper limb paralysis: a review. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 2016; 44 (1–2): 1–32. DOI: 10.1615/CritRev-BiomedEng.2016016046.
 33. Dimbwadyo-Terrer I., Gil-Agudo A., Segura-Fragoso A., de los Reyes-Guzmán A., Trincado-Alonso F., Piazza S., Polonio-López B. Effectiveness of the virtual reality system Toyra on upper limb function in people with tetraplegia: a pilot randomized clinical trial. *Biomed. Res. Int.* 2016; 2016 (6): 1–12. DOI: 10.1155/2016/6397828.
 34. Parsons T.D. Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences. *Front. Hum. Neurosci.* 2015; 9: 660. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00660.
 35. Faria A.L., Andrade A., Soares L., Badia S.B. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2016; 13 (1): 96. DOI: 10.1186/s12984-016-0204-z.
 36. Yeh S.C., Huang M.C., Wang P.C., Fang T.Y., Su M.C., Tsai P.Y., Rizzo A. Machine learning-based assessment tool for imbalance and vestibular dysfunction with virtual reality rehabilitation system. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2014; 16 (3): 311–318. DOI: 10.1016/j.cmpb.2014.04.014.
 37. Pozeg P., Palluel E., Ronchi R., Solcà M., Al-Khodairy A.W., Jordan X., Kassouha A., Blanke O. Virtual reality improves embodiment and neuropathic pain caused by spinal cord injury. *Neurology.* 2017; 89 (18): 1894–1903. DOI: 10.1212/WNL.0000000000004585.
 38. Chen L., Lo W.L.A., Mao Y.R., Ding M.H., Lin Q., Li H., Zhao J.L., Xu Z.Q., Bian R.H., Huang D.F. Effect of Virtual reality on postural and balance control in patients with stroke: a systematic literature review. *BioMed Research International.* 2016; 2016: 8. DOI: 10.1155/2016/7309272.
 39. Ravi D.K., Kumar N., Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy.* 2017; 103 (3): 245–258. DOI: 10.1016/j.physio.2016.08.004.
 40. Winkels D.G., Kottink A.I., Temmink R.A., Nijlant J.M.M., Buurke J.H. Wii-habilitation of upper extremity function in children with cerebral palsy. An explorative study. *Developmental Neurorehabilitation.* 2013; 16 (1): 44–51. DOI: 10.3109/17518423.2012.713401.
 41. Chen Y., Fanchiang H.D., Howard A. Effectiveness of Virtual Reality in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Phys. Ther.* 2018; 98 (1): 63–77. DOI: 10.1093/ptj/pzx107.
 42. Matijevic V., Secic A., Masic V., Sunic M., Kolak Z., Znika M. Virtual reality in rehabilitation and therapy. *Acta Clin. Croat.* 2013; 52 (4): 453–457.
 43. Robert M.T., Levin M.F. Validation of reaching in a virtual environment in typically developing children and children with mild unilateral cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 2018; 60 (4): 382–390. DOI: 10.1111/dmcn.13688.
 44. Clutterbuck G., Auld M., Johnston L. Active Exercise Interventions Improve Gross Motor Function of Ambulant/Semi-Ambulant Children with Cerebral Palsy: a Systematic Review. *Disabil. Rehabil.* 2018; 5: 1–21. DOI: 10.1080/09638288.2017.1422035.
 45. Howcroft J., Klejman S., Fehlings D., Wright F.V., Zabjek K., Andrysek J., Biddiss E. Active video game play in children with cerebral palsy: potential for physical activity promotion and rehabilitation therapies. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2012; 93 (8): 1448–1456. DOI: 10.1016/j.apmr.2012.02.033.
 46. Ni L., Fehlings D., Biddiss E. Clinician and child assessment of virtual reality therapy games for motor rehabilitation of ce-

- rebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014; 95 (10): e105. DOI: 10.1016/j.apmr.2014.07.323.
47. Chen Y.P., Garcia-Vergara S., Howard A.M. Effect of a Home-Based Virtual Reality Intervention for Children with Cerebral Palsy Using Super Pop VR Evaluation Metrics: A Feasibility Study. *Rehabil. Res. Pract.* 2015; 2015: 812348. DOI: 10.1155/2015/812348.
 48. Ni L.T., Fehlings D., Biddiss E. Design and evaluation of virtual reality-based therapy games with dual focus on therapeutic relevance and user experience for children with cerebral palsy. *Games Health J.* 2014; 3 (3): 162–171. DOI: 10.1089/g4h.2014.0003.
 49. Ren K., Gong X.M., Zhang R., Chen X.H. Effects of virtual reality training on limb movement in children with spastic diplegia cerebral palsy. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. 2016; 18 (10): 975–979.
 50. Bodimeade H., Whittingham K., Lloyd O., Boyd R.N. Executive Functioning in Children with Unilateral Cerebral Palsy: Cross-Sectional Study Protocol. *BMJ Open*. 2013; 3 (4): e002500. DOI: 10.1136/bmjopen-2012-002500.
 51. Yoo J.W., Lee D.R., Cha Y.J., You S.H. Augmented effects of EMG biofeedback interfaced with virtual reality on neuromuscular control and movement coordination during reaching in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2017; 40 (2): 175–185. DOI: 10.3233/NRE-161402.
 52. Acar G., Altun G.P., Yurdalan S., Polat M.G. Efficacy of neurodevelopmental treatment combined with the Nintendo® Wii in patients with cerebral palsy. *J. Phys. Ther. Sci.* 2016; 28 (3): 774–780. DOI: 10.1589/jpts.28.774.
 53. Do J.H., Yoo E.Y., Jung M.Y., Park H.Y. The effects of virtual reality-based bilateral arm training on hemiplegic children's upper limb motor skills. *NeuroRehabilitation*. 2016; 38 (2): 115–127. DOI: 10.3233/NRE-161302.
 54. Boyd R.N., Mitchell L.E., James S.T., Ziviani J., Sakzewski L., Smith A., Rose S., Cunningham R., Whittingham K., Ware R.S., Comans T.A., Scuffham P.A. Move it to improve it (Mitii): study protocol of a randomised controlled trial of a novel web-based multimodal training program for children and adolescents with cerebral palsy. *BMJ Open*. 2013; 3 (4): 1–21.
 55. Rathinam C., Mohan V., Peirson J., Skinner J., Nethaji K.S., Kuhn I. Effectiveness of virtual reality in the treatment of hand function in children with cerebral palsy: a systematic review. *J. Hand Ther.* 2018; S0894-1130(17)30107-2. DOI: 10.1016/j.jht.2018.01.006.
 56. Gagliardi C., Turconi A.C., Biffi E., Maghini C., Marelli A., Cesareo A., Diella E. Immersive Virtual Reality to Improve Walking Abilities in Cerebral Palsy: A Pilot Study. *Ann. Biomed. Eng.* 2018; 46 (9): 1376–1384. DOI: 10.1007/s10439-018-2039-1.
 57. Booth A.T.C., Buizer A.I., Meyns P., Lansink I.O., Steenbrink F., van der Kroft M. The efficacy of functional gait training in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Dev. Med. Child. Neurol.* 2018; 60 (9): 866–883. DOI: 10.1111/dmcn.13708.
 58. Levac D., McCormick A., Levin M.F., Brien M., Mills R., Miller E., Sveistrup H. Active Video Gaming for Children with Cerebral Palsy: Does a Clinic-Based Virtual Reality Component Offer an Additive Benefit? A Pilot Study. *Phys. Occup. Ther. Pediatr.* 2018; 38 (1): 74–87. DOI: 10.1080/01942638.2017.1287810.
 59. Pavão S.L., Arnoni J.L., de Oliveira A.K., Rocha N.A. Impact of a Virtual Reality-Based Intervention on Motor Performance and Balance of a Child with Cerebral Palsy: a Case Study. *Rev. Paul. Pediatr.* 2014; 32 (4): 389–394. DOI: 10.1016/j.rpped.2014.04.005.
 60. Hilderley A.J., Fehlings D., Lee G.W., Wright F.V. Comparison of a Robotic-Assisted Gait Training Program with a Program of Functional Gait Training for Children with Cerebral Palsy: Design and Methods of a Two Group Randomized Controlled Cross-Over Trial. *Springerplus*. 2016; 5 (1): 1886. DOI: 10.1186/s40064-016-3535-0.
 61. Mendoza S.M., Gómez-Conesa A., Montesinos M.D.H. Association between Gross Motor Function and Postural Control in Sitting in Children with Cerebral Palsy: a Correlational Study in Spain. *BMC Pediatr.* 2015; 15: 124. DOI: 10.1186/s12887-015-0442-4.
 62. Gatica-Rojas V., Cartes-Velásquez R., Guzmán-Muñoz E., Mendez-Redolledo G., Soto A., Pacheco A., Amigo C., Albornoz-Verdugo M., Elgueta-Cancino E.L. Effectiveness of a Nintendo Wii Balance Board Exercise Programme on Standing Balance of Children with Cerebral Palsy: A Randomised Clinical Trial Protocol. *Contemp. Clin. Trials Commun.* 2017; 6: 17–21. DOI: 10.1016/j.conctc.2017.02.008.
 63. Mao Y., Chen P., Li L., Huang D. Virtual reality training improves balance function. *Neural. Regen. Res.* 2014; 9 (17): 1628–1634. DOI: 10.4103/1673-5374.141795.
 64. Deutsch J.E., Borbely M., Filler J., Huhn K., Guarrera-Bowly P. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*. 2008; 88 (10): 1196–1207. DOI: 10.2522/ptj.20080062.
 65. Meyns P., Pans L., Plasmans K., Heyrman L., Desloovere K., Molenaers G. The Effect of Additional Virtual Reality Training on Balance in Children with Cerebral Palsy after Lower Limb Surgery: A Feasibility Study. *Games Health J.* 2017; 6 (1): 39–48. DOI: 10.1089/g4h.2016.0069.
 66. Tarakci D., Ersoz Huseyinsinoglu B., Tarakci E., Razak Ozdincler A. Effects of Nintendo Wii-Fit® video games on balance in children with mild cerebral palsy. *Pediatr. Int.* 2016; 58 (10): 1042–1050. DOI: 10.1111/ped.12942.
 67. Cano Porras D., Siemonsma P., Inzelberg R., Zeiling G., Plotnik M. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review. *Neurology*. 2018; 90 (22): 1017–1025. DOI: 10.1212/WNL.0000000000005603.
 68. Lazzari R.D., Politti F., Belina S.F., Santos C.A., Cimolin V. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation Combined with Virtual Reality Training on Balance in Children with Cerebral Palsy: A Randomized, Controlled, Double-Blind, Clinical Trial. *J. Mot. Behav.* 2017; 49 (3): 329–336. DOI: 10.1080/00222895.2016.1204266.
 69. Grondhuis S.N., Aman M.G. Overweight and obesity in youth with developmental disabilities: a call to action. *J. Intellect. Disabil. Res.* 2014; 58 (9): 787–799. DOI: 10.1111/jir.12090.
 70. Mitchell L., Ziviani J., Oftedal S., Boyd R. The effect of virtual reality interventions on physical activity in children and adolescents with early brain injuries including cerebral palsy.

- Developmental Medicine and Child Neurology*. 2012; 54 (7): 667–671.
71. Ainsworth B.E., Watson K.B., Ridley K., Pfeiffer K.A., Herrmann S.D., Crouter S.E., McMurray R.G., Butte N.F., Bassett D.R., Trost S.G., Berrigan D, Fulton J.E. Utility of the Youth Compendium of Physical Activities. *Res. Q. Exerc. Sport*. 2018; 89 (3): 273–281. DOI: 10.1080/02701367.2018.1487754.
72. Ritterband-Rosenbaum A., Christensen M.S., Nielsen J.B. Twenty weeks of computer training improves sense of agency in children with spastic cerebral palsy. *Res. Dev. Dis*. 2012; 33 (4): 1227–1234.
73. Encarnação P., Alvarez L., Rios A., Maya C., Adams K., Cook A. Using virtual robot-mediated play activities to assess cognitive skills. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol*. 2014; 9 (3): 231–241. DOI: 10.3109/17483107.2013.782577.
74. Pourazar M., Mirakhori F., Hemayattalab R., Bagherzadeh F. Use of Virtual Reality Intervention to Improve Reaction Time in Children with Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. *Dev. Neurorehabil*. 2017; 21 (8): 1–6: 515–520. DOI: 10.1080/17518423.2017.1368730.
75. Martín-Ruiz M.L., Máximo-Bocanegra N., Luna-Oliva L. A virtual environment to improve the detection of oral-facial malfunction in children with cerebral palsy. *Sensors (Basel)*. 2016; 16 (4): 444. DOI: 10.3390/s16040444.
76. Shin J.W., Song G.B., Hwangbo G. Effects of conventional neurological treatment and a virtual reality training program on eye-hand coordination in children with cerebral palsy. *J. Phys. Ther. Sci*. 2015; 27 (7): 2151–2154. DOI: 10.1589/jpts.27.2151.
77. Meyer-Heim A., van Hedel H.J. Robot-assisted and computer-based neurorehabilitation for children: the story behind. *Praxis*. 2014; 103 (15): 883–892. DOI: 10.1024/1661-8157/a001725.
78. Stansfield S., Dennis C., Larin H., Gallagher C. Movement-based VR gameplay therapy for a child with cerebral palsy. *Stud. Health Technol. Inform*. 2015; 219: 153–157. DOI: 10.3233/978-1-61499-595-1-153.
79. Rosie J.A., Ruhen S., Hing W.A., Lewis G.N. Virtual rehabilitation in a school setting: is it feasible for children with cerebral palsy? *Disabil. Rehabil. Assist. Technol*. 2015; 10 (1): 19–26. DOI: 10.3109/17483107.2013.832414.
80. Owens S.G., Garner J.C. 3rd, Loftin J.M., van Blerk N., Ermin K. Changes in physical activity and fitness after 3 months of home Wii Fit™ use. *J. Strength. Cond. Res*. 2011; 25 (11): 3191–3197. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182132d55.
81. Levac D., Glegg S., Colquhoun H., Miller P., Noubary F. Virtual reality and active videogame-based practice, learning needs, and preferences: A Cross-Canada survey of physical therapists and occupational therapists. *Games Health J*. 2017; 6 (4): 217–228. DOI: 10.1089/g4h.2016.0089.

Сведения об авторах

Карякин Николай Николаевич, д-р мед наук, доцент, ректор ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID 0000-0001-8958-6199.

Шейко Геннадий Евгеньевич, канд. мед. наук, ассистент, кафедра медицинской реабилитации, ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID 0000-0003-0402-7430.

Воловик Михаил Григорьевич, д-р мед наук, вед. науч. сотрудник, отделение функциональной диагностики, ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID 0000-0002-5459-2545.

Белова Анна Наумовна, д-р мед наук, профессор, зав. кафедрой медицинской реабилитации, ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID 0000-0001-9719-6772.

(✉) **Шейко Геннадий Евгеньевич**, e-mail: sheikogennadii@yandex.ru.

Поступила в редакцию 27.03.2019

Подписана в печать 25.12.2019