

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20>

Виртуальная реальность (VR) в клинической медицине: международный и российский опыт

Обзор литературы

М.М. Зеленский¹, С.А. Рева^{2,3}, А.И. Шадеркина⁴

¹ ООО «Медицинские вебтехнологии»; д. 11, ул. Золотая, Москва, 105094, Россия

² ФГБОУ ВО «ПСПбГ МУ им. И.П. Павлова», НИЦ урологии; д. 17, ул. Льва Толстого, Санкт-Петербург, 197101, Россия

³ ФГБУ «НМИЦ онкологии имени Н.Н. Петрова», отделение онкоурологии; д. 68, ул. Ленинградская, пос. Песочный, Санкт-Петербург, 197758, Россия

⁴ Институт цифровой медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); д. 1, стр. 2, Абрикосовский пер., Москва, 119435, Россия

Контакт: Зеленский Максим Михайлович, mz-uro@yandex.ru

Аннотация:

Введение. В обзоре рассматривается применение высокотехнологических методов виртуальной реальности (VR) в клинической медицине на примерах исследований и экспериментов зарубежных и российских ученых в течение последних лет.

Цель обзора — демонстрация перспектив применения технологии виртуальной реальности для дальнейшей трансформации классической медицины в цифровую.

Материалы и методы. За последние 5 лет научный интерес к теме использования VR в медицине демонстрирует неуклонный рост. В частности, только в библиотеке PubMed по ключевым словам «VR technology in medicine» прослеживается следующая динамика: в 2017 году было 58 публикаций, в 2018 – 65, в 2019 – 106, в 2020 – 127, а в текущем 2021 году только за первое полугодие – 145. Для настоящего обзора отобрано 37 публикаций из международных журналов и 28 из российских. Акцент был сделан на применение технологий VR в различных областях клинической медицины, обучении медицинского персонала и пациентов.

Результаты. Описан широкий спектр экспериментов по применению технологий виртуальной реальности при проведении различных медицинских манипуляций по диагностике, планированию оперативных вмешательств, когнитивной терапии, управлению болью, профилактике и консервативному лечению. Приведены примеры методик по успешному оказанию помощи пациентам в процессе реабилитации и для поддержания здоровья. Очерчен круг врачебных специализаций, в которых в настоящее время уже активно применяется виртуальная реальность, указаны направления исследований, многообещающих для массового использования в будущем. Описаны возможности применения VR в обучении медицинского персонала.

Выводы. Почти все исследователи, применявшие виртуальную реальность (VR) в клинической медицине, приходили к схожим выводам о том, что этот инновационный инструментальный является прорывом в медицине, имеет высокий потенциал для использования его врачами, пациентами и организаторами здравоохранения. Авторами сформулированы проблемы, которые предстоит решить для успешного внедрения VR в повседневную медицинскую практику.

Ключевые слова: виртуальная реальность; симуляторы виртуальной реальности; VR в медицине; VR для пациентов; виртуальные врачи; VR-реабилитация.

Для цитирования: Зеленский М.М., Рева С.А., Шадеркина А.И. Виртуальная реальность (VR) в клинической медицине: международный и российский опыт. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2021;7(3):7-20; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20>

Virtual reality (VR) in clinical medicine: international and Russian experience

Literature review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20>

M.M. Zelensky¹, S.A. Reva^{2,3}, A.I. Shaderkina⁴

¹ Medical Web Technologies LLC, st. Zolotaya, 11, Moscow, 105094, Russia

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Research Institute of Urology, 17 Lev Tolstoy street, Saint Petersburg, 197101, Russia

³ N.N. Petrov Research Institute of Oncology, Department of oncurology, 68 Leningradskaya street, Pesochny, 197758, Saint Petersburg, Russia

⁴ Laboratory of Electronic Health, Institute of Digital Medicine, Sechenov University, Abrikosovskiy per., 1, bldg. 2, Moscow, 119435, Russia

Contact: Maxim M. Zelensky, mz-uro@yandex.ru

Summary:

Introduction. This article reviews an application of highly technological methods of virtual reality (VR) in clinical practice based on various studies and experiments of foreign and Russian researchers in recent years.

The aim of this review is to demonstrate application of virtual reality technologies for further transformation of classical medicine into digital one.

Materials and methods. There is significant growth of interest in the use of VR in medicine. Particularly, only in PubMed library such dynamics can be traced by using key words «VR technology in medicine»: in 2017 year there were 58 articles, in 2018 – 65, in 2019 – 106, in 2020 – 127, and currently in the first half of 2021 year there are already 145 articles. For this paper 37 articles from international journals and 28 from Russian ones were selected. The accent was made on the usage of VR technologies in different fields of clinical medicine, education of medical staff and patients.

Results. In this paper we described wide range of experiments on using VR technologies during various medical manipulations such as diagnosis, planning of surgical interventions, cognitive therapy, pain management, preventing medicine and conservative treatment. Examples of successful clinical management of patients during rehabilitation and health maintaining were shown. Medical fields where VR is currently widely used were chosen, promising directions for further research were indicated. We also described opportunities of VR application for teaching medical staff.

Conclusion. Nearly all researchers who applied virtual reality (VR) in clinical practice have come to similar conclusion. This innovative tool is a breakthrough in medicine and it has high potential for using it by physicians, patients and health care organizers. Authors have articulated issues which should be managed for further successful introduction VR technologies into modern clinical practice.

Key words: virtual reality; virtual reality simulators; VR in medicine; VR for patients; virtual doctors; VR rehabilitation.

For citation: Zelensky M.M., Reva S.A., Shaderkina A.I. Virtual reality (VR) in clinical medicine: international and Russian experience. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2021;7(3):7-20; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20>

■ **ВВЕДЕНИЕ**

Виртуальная реальность (VR) в медицине представляет собой фонд возможностей, который постоянно пополняется новыми преимуществами, особенно в здравоохранении.

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) в сочетании с клиническим опытом врача смогут обеспечить индивидуальное лечение каждого пациента, гарантируя его более быстрое и стабильное выздоровление. VR создает трехмерный мир, полностью отделяя пользователя от реальности, в AR не теряется связь с реальностью, просто дополнительную информацию в фото-, видео- или 3D-формате максимально быстро помещают в поле зрения.

Виртуальная реальность уже сейчас используется во многих областях клинической и профилактической медицины в самых разных прило-

жениях, включающих повышение квалификации врачей, профессиональное образование для студентов, немедикаментозные методы лечения пациентов, информирование людей о болезни или медицинском процессе.

В данной статье будут приведены многочисленные примеры, как технология VR уже спасает жизни людей, помогает врачам в некоторых областях медицины — от хирургии до реабилитации, поддерживает пациентов, страдающих разными заболеваниями. С каждым месяцем разнообразие устройств и приложений увеличивается, что способствует более быстрому развитию VR в медицине.

■ **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

За последние 5 лет научный интерес к теме использования VR в медицине демонстрирует почти вертикальный взлет. В частности, только в библио-

теке PubMed по ключевым словам «VR technology in medicine» прослеживается следующая динамика: в 2017 году было 58 публикаций, в 2018 – 65, в 2019 – 106, в 2020 – 127, а в текущем 2021 году только за первое полугодие – 145. Аналогичное увеличение количества публикаций, посвященных различным аспектам изучения применения технологии виртуальной реальности, наблюдается в российских научных медицинских журналах. Для настоящего обзора отобрано 37 публикаций из международных журналов и 28 из российских. Акцент был сделан на применении технологий VR в различных областях клинической медицины, обучении медицинского персонала и пациентов.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Центральным элементом технологии VR является способность виртуальной реальности к погружению поля восприятия человека в смоделированную среду. Это означает, что пользователь психологически чувствует себя присутствующим в цифровом мире, а не в своей физической реальности.

Несмотря на схожую структуру VR-устройств, существуют расхождения в требованиях к аппаратному и программному обеспечению. Многое зависит от областей применения или избранной модели использования. Так, симуляторы виртуальной реальности для образования ориентированы на трехмерную среду и сетевые ресурсы [1]. Для тренировки хирургов нужны симуляторы виртуальной реальности, которые позволят взаимодействовать с хирургическими инструментами и виртуальной анатомией человеческого организма [2]. VR-инструменты для коррекции психологических расстройств ориентированы на контроль эмоций и обратную связь.

■ VR В ОБУЧЕНИИ ВРАЧЕЙ И СРЕДНЕГО МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА

VR в области образования начала свое победное наступление с применения различных симуляторов для демонстрации явлений, процессов и объектов, которые крайне затруднительно или невозможно наглядно предъявить в настоящей реальности. Они могут просматривать мельчайшие детали любой части тела с помощью 360° CGI-реконструкции.

В 2016 году группой ученых было проведено масштабное обзорное исследование, посвященное внедрению VR в обучение медицинских работников. На основании публикаций в PubMed, Scopus, Web of Sciences, Springer и Google Scholar они отобрали 21 публикацию из 1343. Авторы обзора сообщили о том, что в 11 статьях (48%) описан опыт применения виртуальной технологии для обучения лапароскопической хирургии. Использование виртуальной реальности улучшило обучение по данным 17 (74%) исследований, в 20 (87%) исследованиях сообщалось о большей точности на практике людей, прошедших тренинги с помощью VR. Авторами был сделан вывод о том, что применение возможностей виртуальной реальности играет важную роль в улучшении работы различных групп медицинских работников, а также, что в дальнейшем обучение будет происходить с учетом их индивидуальных и коллективных потребностей [3].

Студенты медицинских вузов изучают строение тела с помощью виртуальной реальности, позволяющей до мельчайших деталей проанализировать человеческое тело, начиная со скелета, нервной системы, мышц и всего остального. Такое обучение предлагает уникальные возможности и повышает качество знаний будущих врачей. Врачи хирургических специальностей могут отработать практические навыки операций и/или манипуляций без риска совершения ошибок; врачи-психиатры – увидеть мир пациентов с нарушениями психики; студенты медицинских ВУЗов – научиться выполнению элементарных процедур. Виртуальная реальность позволяет моделировать перенос в пространстве и времени, а также совершать визуальные преобразования объектов. Приложения VR можно использовать для моделирования чрезвычайных ситуаций, несчастных случаев или ситуаций, угрожающих жизни, благодаря чему сотрудники бригад скорой помощи и МЧС могут обучаться действовать под высоким давлением и приобретать ценные навыки в довольно реалистичной атмосфере. В учебную программу студентов Стэнфордского университета (США) был включен проект «Виртуальное сердце», позволяющий погружаясь в VR, изучить анатомию сердца механизмы его функционирования [4-10].

Фармацевтическая компания AbbVie на одной из медицинских выставок предоставила участникам мероприятия возможность почувствовать повседневное состояние пациента с болезнью ►►

Паркинсона. Надев гарнитуру, участники могли вочию увидеть, как больной Паркинсоном перемещается по виртуальному супермаркету, сталкиваясь с неловкими моментами при контакте с другими людьми.

Примеры образовательных программ в России были проанализированы в ряде статей и все они подтверждают это направление, как перспективное, одновременно формулируя принципы проектирования образовательных VR-приложений. Обучение медицинских работников с помощью инновационной VR-технологии дает ряд преимуществ, в числе которых нулевой риск, безопасная и контролируемая зона обучения, реалистичные сценарии медицинских случаев, возможность удаленного обучения, упрощение в изучении сложных проблем [10, 11, 12].

■ ХИРУРГИЯ

В современной хирургии в течение последних нескольких лет роботизированные устройства выполняют высокоточные операции под контролем хирурга, в том числе с помощью технологии VR, которая обеспечивает врачу точность и эффективность работы. Перед проведением операции хирурги могут использовать технологии виртуальной реальности, чтобы смоделировать ход предстоящего вмешательства, изучить трехмерные модели внутренних органов, их топографии относительно других анатомических структур.

Есть доказательства, что использование VR повышает точность и информативность хирургических вмешательств. Это осуществляется на стадии принятия решений в предоперационный и интраоперационный периоды, когда виртуальную модель, воспроизводящую анатомические особенности оперируемого, выводят на дисплей специальным проектором, или, когда хирург работает в шлеме с технологией Video See-Through [13].

Отечественные урологи считают, что благоприятный исход хирургического лечения пациентов с саркоматоидной трансформацией почечно-клеточного рака «во многом обеспечивается виртуальным планированием операции на основании трехмерных моделей – мультипланарных изображений, полученных при мультиспиральной компьютерной томографии с контрастированием» [14]. Цифровые изображения, полученные на современном компьютерном томографе, могут быть использованы

для построения в виртуальном пространстве объемных объектов – 3D-моделей.

Конусно-лучевая компьютерная томография и плоскостельные рентгеновские детекторы позволили интраоперационной 3D-визуализации занять свое достойное место в ортопедической и травматологической хирургии. Кроме помощи хирургам при проведении операций, технология привела к существенному снижению дозы облучения пациентов и врачей. С помощью 3D-визуализации редукция переломов, процедуры остеотомии и имплантации прослеживаются в безопасном режиме [15].

Особенности VR в хирургии:

- VR-система воспроизводит ощущение взаимодействия с реальным хирургическим инструментом, например, скальпелем по типу обратной связи. Хирург может почувствовать виртуальный скальпель, разрезающий ткани и мышцы, точно также, как при реальной операции. Это позволяет ему скорректировать свою технику.

- Обратная связь различается в зависимости от того, на какой части тела выполняется операция, инструмента и процедуры.

- Очки виртуальной реальности используются во время онлайн-трансляций операций, так как помогают специалистам получать в полном объеме и в режиме реального времени информацию о состоянии оперируемого.

В кардиологии с помощью симулятора Simman, представляющего собой манекен в человеческий рост, имитирующий сердечно-сосудистую систему человека до мельчайших деталей, совершенствуют свои навыки хирурги-кардиологи [16].

Совершенствованию навыков хирургов могут способствовать видеоигры. Игровая моторика развивает точность движений, которая помогает хирургу в проведении, например, лапароскопических операций на брюшной полости. Согласно исследованию, еженедельная игра в «Top Gun» в течение трех часов способствует сокращению на 37% числа ошибок, допускаемых хирургами и увеличению скорости проведения операций [17].

В последующем исследовании этого же автора было изучено благотворное влияние на подготовку к хирургическим операциям игр «Underground video games» и «Super Monkey Ball». Удивительно, что простая игра про обезьянку тренирует моторику хирурга практически так же, как профессиональный тренинг по лапароскопии [18]. Следующим шагом в повышении точности работы хирургов ста-

нет технология, основанная на нейрокомпьютерном интерфейсе.

■ СТОМАТОЛОГИЯ

VR в стоматологии тоже интересна для инновационного решения проблем и обучения стоматологов, с применением шлема виртуальной реальности, чтобы предоставить врачу визуальные инструкции для выполнения необходимой задачи. «Умные очки» отображают трехмерную модель зубов и всей головы человека, благодаря чему обучающийся стоматолог может изучить и применить на практике различные стоматологические манипуляции, например, лечение зуба с помощью виртуального сверла.

VR-планирование лечения во времена цифровой стоматологии становится ключевым элементом стоматологической практики [19]. Современные технологии компьютерного программирования для медицинской визуализации превратят двумерные осевые изображения в трехмерные виртуальные модели 3D, которые детально отразят индивидуальную анатомию пациента. Таких цифровых данных достаточно стоматологу-ортопеду и стоматологу-хирургу для выполнения любых ортопедических процедуры [20].

VR-стоматология не только позволяет провести подготовку операции в сложных случаях, обеспечивая визуальное сканирование полости рта пациента перед изготовлением имплантатов, мостовидных протезов, коронок, но и помогает хранить виртуальную информацию для последующего лечения [21]. Например, применяя индивидуально позиционируемый формирователь десны, стоматолог-имплантолог снижает опасность различных воспалительных осложнений в периимплантатной зоне, сохраняет естественное кровообращение в десне, уменьшает резорбцию костной ткани в области имплантатов. Для последующего контроля процесса заживления «виртуальная конструкция формирователя хранится в памяти компьютера, что позволяет осуществлять его коррекцию и передавать информацию во фрезерный центр или в клинику для согласования с врачом-ортопедом» [22].

■ ОФТАЛЬМОЛОГИЯ

Офтальмологами давно подробно описано создание компьютерных обучающих тренажеров с

виртуальной реальностью, а также созданы модели компьютерного тренажера для обследования зрения [23]. Представляет интерес изобретение для проведения периметрии у пациентов с отсутствием центрального зрения. В комплект медицинского оборудования входит портативное устройство, состоящее из шлема виртуальной реальности с дисплеем и компьютера для последовательного предъявления паттернов и фиксации результатов исследования. Это диагностическое оборудование обеспечивает возможность оперативно изучать состояние поля зрения у пациентов, которые не могут удерживать взор на точке фиксации [24].

Эффективно работают программные комплексы для тренировки зрительных органов с применением технологии виртуальной реальности «Амблиотренер» и «Стработренер». Первый предназначен для проведения ряда мероприятий при терапии амблиопии, а второй — лечения косоглазия [25, 26]. Этими же разработчиками создан программный комплекс для проверки остроты зрения с применением технологии виртуальной реальности «Визус VR» [27]. Компьютерная программа обеспечивает моделирование трехмерной виртуальной сцены, позволяя визуализировать классические методики визометрии с высоким разрешением. Погружая офтальмологического пациента при помощи специализированного оборудования в VR, проводится коррекция зрения, доступная людям, носящим очки или линзы, благодаря достаточному пространству.

Офтальмолог может предоставить приложение, которое стимулирует зрение пациента с катарактой и другими заболеваниями. Пациенты, которые наглядно увидели свои проблемы, поняли их суть, будут более активно участвовать в лечении.

Во время пандемии COVID-19 технологии VR стали использоваться для самодиагностики пациентов, потому что в отдаленных районах посещение клиник затруднено или невозможно по эпидемиологическим причинам.

■ КОРРЕКЦИЯ БОЛЕВОГО СИНДРОМА

VR помогает пациентам преодолеть сильную боль путем повышения контроля. Виртуально-реальный гипноз VRH (virtual reality hypnosis), как вид терапии получил широкое применение в терапии боли, в частности послеожоговой. С помощью виртуальной программы SnowWorld®, пользователи ►►

скользили по ледяным 3D-каньонам и в качестве развлечения играли в снежки с виртуальными снеговиками, роботами, пингвинами. После погружения в атмосферу зимнего веселья и детской игры все участники отмечали снижение боли [28].

Пациентам в некоторых случаях приходится переживать во время врачебного вмешательства острую боль, например, при урологических манипуляциях – катетеризации, цистоскопии и др. Именно в урологии в настоящее время прорабатывается возможность использования VR-технологий – в лечении паруреза, болевого синдрома при рецидивирующем и интерстициальном цистите, синдроме хронической тазовой боли, различных болезненных манипуляциях. Отвлечение с помощью виртуальной реальности уже давно применяется как эффективное для проведения других болезненных урологических процедур. Опубликованы результаты применения VR-технологий при трансуретральной микроволновой термотерапии (ТУМТ), которые показали возможность уменьшения выраженности болевого синдрома, связанного с выполнением вмешательства на предстательной железе [29].

Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) признает медицинский потенциал виртуальной реальности, и в прошлом году провело семинары для выявления препятствий к широкому внедрению виртуальной реальности в терапевтических целях и ускорению разработки решений. Например, в 2020 году FDA присвоило системе виртуальной реальности, предназначенной для облегчения боли в пояснице и боли при фибромиалгии, статус революционного устройства.

В последние годы в отечественных и зарубежных медицинских журналах появилось много научных статей, посвященных исследованиям по отвлечению детей от боли во время медицинских процедур [30]. Успешнее проходило лечение детей и подростков с серповидноклеточной анемией – снижение средней интенсивности болевого синдрома после погружения пациентов в виртуальную среду сократилось больше, чем вдвое с 7,3 до 3,0 баллов [31].

Практикующие врачи отмечают устойчивое снижение восприятия боли во время пункции вены и установки внутривенного катетера во время VR-эксперимента, а также во время блокады нижнего альвеолярного нерва в ходе стоматологических процедур и др. [32-34]. Однако остаются неизучен-

ными вопросы, касающиеся сравнительного взаимодействия между обезболивающими препаратами и VR. Большая часть приведенных исследований касается случаев острой боли, поэтому необходимо в дальнейшем изучить эффективность использования VR-технологий при хронической боли.

Некоторые медицинские центры теперь используют виртуальную реальность, чтобы помочь своим пациентам избавиться от беспокойства и психологического дискомфорта во время процедур химиотерапии, которые могут занять несколько часов [35].

С помощью виртуальной реальности лечат фантомные боли конечностей, которые являются сложной медико-социальной проблемой. Избавиться от боли или хотя бы ее минимизировать позволяют специальные датчики, которые снимают сигналы с сокращавшихся мышц, предположим, в ампутированной руке. Через компьютер сигналы транслируются в движения виртуальной руки, которая отображается в очках виртуальной реальности и мозг получает визуальное подтверждение наличия конечности [36]. Основу механизма воздействия виртуального образа составляет эффект отвлечения внимания – у пациента смещается фокус ориентированности с боли на виртуальный объект [37].

Вышеописанная технология пока не получила в нашей стране широкого распространения, так как стоимость зарубежных высокотехнологичных средств VR высока, а соответствующее недорогое оборудование отечественного производства отсутствует. Но доступность и качество портативных гарнитур дополненной реальности постоянно растут, и есть уверенность, что в ближайшем будущем появится доказательная база. Кроме того, многие авторы указывают на необходимость индивидуального подхода в настройке программ дополненной реальности, чтобы убрать сопротивление и страх усиления боли при использовании VR-моделирования, открывающее перспективы для внедрения нового нефармакологического метода в реабилитации пациентов с фантомной болью [38].

■ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИЯ

В числе первых на перспективные возможности виртуальной реальности для реабилитации послеинсультных больных обратили неврологи. В ряде случаев, при оценке повреждения мозга становится очевидно, что традиционные способы не всегда отвечают всем условиям активного обуче-

ния, в то время как VR моделирует любое требуемое пространство и обеспечивает бесконечную обратную связь через мотивирующие игровые действия, что делает программу реабилитации более успешной, она восполняет недостающие элементы для восстановления движения, погружая мозг в иллюзорную обстановку, в которой он восстанавливает нейросвязи по алгоритму биологической обратной связи (БОС).

Специалистами по восстановительной медицине была предложена нижеприведенная классификация систем VR:

1. Собственно, сама виртуальная среда.
2. Аппаратные средства для отображения VR.
3. Оборудование, позволяющее регистрировать повороты головы, если человек находится в шлеме VR.
4. Аппаратные средства, регистрирующие физиологические параметры.
5. Программные средства управления и построения для тренировок с БОС [39].

В лечении пациентов с патологией ЦНС накоплен огромный опыт восстановления координации движений, таких, как способность максимально точно и быстро дотронуться до объекта, выполнить с ним какие-то манипуляции. Также хорошие результаты с помощью VR показывает восстановление равновесия, чтобы убрать ряд типичных проявлений нарушений ходьбы, которые делают ее замедленной, асимметричной, неустойчивой при перемещении по неровной поверхности и на поворотах [40].

В научной литературе были опубликованы новые результаты исследования, в котором авторы представили оригинальную методику «3D-аудиовизуализации» с применением зеркальной терапии, позволяющей использовать VR для стимуляции репаративных процессов головного мозга, и благодаря стимуляции моторного воображения через визуальную обратную связь, разрабатывать двигательные функции руки. У 18 из 20 пациентов с ишемическим инсультом было зафиксировано восстановление силы проксимальных мышечных групп [41]. В будущем запланирована разработка программ, включающих реабилитацию дистальных отделов верхних и нижних конечностей.

Белорусские неврологи провели эксперимент с дополнительным использованием технологий виртуальной реальности по реабилитационному воздействию на увеличение объема супинации рук у детей со спастическими формами ДЦП. В исследовании, которое продолжалось 19 дней, приняло участие 58 человек старше 55 лет в остром периоде болезни. Сеансы с использованием VR-технологий были ежедневными: первые два занятия в период адаптации длились 2 минуты, а последующие проходили по 5 минут. Замеры углов супинации были выполнены перед началом курса реабилитации и после его окончания. Предложенный метод значительно увеличил объем амплитуды движений и угла супинации руки [42].

■ ПСИХИАТРИЯ И БОРЬБА С ФОБИЯМИ И СТРАХАМИ

В психологии и психиатрии давно не оспаривается утверждение о результативности VR-технологий при лечении проблем внимания, заторможенности, снижения памяти и даже деменции, блокировании общения, различных психологических травм и др. Чем более глубоко детализирована проработка виртуального пространства, тем выше эффективность терапии [43]. Перспективной признают VR-терапию пациентов с шизофренией, помогающая восстановить когнитивные функции [44].

Для лечения посттравматического стресса, когда человек попадает в среду с травмирующей ситуацией и пытается найти решение и преодолеть кризисную ситуацию, применяют виртуально-реальную экспозиционную терапию VRET (virtual reality exposure therapy), которая преимущественно работает с проблемами тревожности, фобий, страхов, депрессии и боли. VRET, как один из вариантов поведенческой терапии, помогает пациентам использовать виртуальную реальность для медитации или расслабления в безопасной среде, предоставляемой виртуальной реальностью, с предельно реалистичной графикой и подходящим к ситуации звуковым сопровождением. Важно то, что при погружении в VR, пациент контактирует с пугающим его объектом или явлением в безопасном для себя режиме. Цель — научиться расслабляться в момент пика угрозы.

Диапазон возможностей VRET крайне широк от терапевтической программы «Виртуальный Ирак» для восстановления психологического равновесия участников военных действий до лечения людей с расстройствами пищевого поведения [45].

Несколько иной алгоритм предлагает метод компьютеризированной когнитивно-поведенческой терапии, ССВТ (Computerised cognitive ►

behavioural therapy) так же интенсивно использующий VR. Его возможности были подтверждены при лечении наркотической зависимости, а также других когнитивных расстройств [46].

Стоматологам известны позитивные результаты VR-терапии в лечении дентофобии. Виртуальное посещение стоматологического кабинета с виртуальным стоматологом, виртуальным осмотром ротовой полости и проведением манипуляций, рассматривание стоматологических инструментов и звучание включенной бормашины погружали пациентов под контролем стоматологов в пугающие ситуации, чтобы затем научиться их преодолевать [47].

Так как изучение VR воздействия на отклик человеческой психики идет давно, методик разработано много. Из классических проверенных методик стоит упомянуть виртуально-реальный социально-когнитивный тренинг VR-SCT (Virtual Reality Social Cognition Training) который изначально был опробован на отработке социальных навыков пациентов с аутоизмом [48].

Российские психологи, проанализировав основные принципы и практические примеры применения технологии VR в психологическом и социальном процессе обучения детей-инвалидов, пришли к выводу о повышении уровня психологического комфорта у участников исследования и о необходимости системного подхода в изучении потенциала виртуальной реальности в работе с людьми с ограниченными возможностями здоровья [49].

К интересным выводам пришли ученые, изучавшие вопросы искажения восприятия человеком в VR собственного тела. Эксперимент с погружением респондентов в VR-среду показал устойчивость искажений восприятия своих параметров при погружении в одну и ту же пространственную среду. Это позволяет сделать выводы об открывающихся перспективах в терапии психогенных нарушений [50].

В прошлом году был проведен успешный эксперимент по включению виртуальной реальности в программу по преодолению никтофобий (боязнь темноты) у школьников [51].

Другая группа ученых занята проектированием VR-пространства и предметно-пространственных компонентов тренажера для отработки фобий публичного выступления. Их исследование выявило ряд интересных уточнений, касающихся формирования пространства: более комфортным представляется формат коворкинга с интерьером в светлых

тонах и обязательно должна присутствовать виртуальная аудитория [52].

■ ГЕРОНТОЛОГИЯ

Используя виртуальную реальность, врач может поставить себя на место пожилых людей и увидеть жизнь с их точки зрения. Эта ценная информация может предоставить важные данные для коррекции процесса лечения и адаптации его к пациенту более продуктивным образом.

По мере распространения и удешевления технологии VR геронтологи начинают более пристально изучать ее потенциал для применения у долгожителей. Появляются программы, сочетающие искусственный интеллект и аватары, которые становятся инструментом укрепления здоровья, помогающим решать такие проблемы, как мобильность и предотвращение падений пенсионеров [53]. В последнее время VR-технологии изучаются в контексте применимости к социальному здоровью. В частности, программы виртуальной реальности могут быть особенно эффективны, когда пожилые люди эмоционально изолируются от окружающих. Уже есть положительные результаты, подтверждающие социальный дискомфорт, связанный с одиночеством, можно было бы свести к минимуму, а VR-технологии сделать более удобной и привлекательной для этой возрастной группы [54].

Геронтологи предупреждают разработчиков о необходимости учитывать интеллектуальные и экономические возможности пенсионеров при проектировании платформ VR. Лицам с умеренными когнитивными нарушениями, находящимся в домах для престарелых, потребуются другие аспекты дизайна, по сравнению с теми, кто живет самостоятельно. Это не означает, что нельзя обслуживать несколько целевых групп одной и той же виртуальной средой, но результаты будут максимальными, если разработчики смогут по-настоящему учитывать уникальные потребности пожилых людей.

Для мониторинга восстановления хронической сенсоневральной тугоухости у пожилых пациентов необходима оценка пространственных и голосовых характеристик. Специалисты из Научно-исследовательского клинического института оториноларингологии им. Л.И. Свержевского создали специальное программное обеспечение с использованием виртуальной реальности повышения реалистичности слуховой диагностики, проводимой в электрон-

ном аудиовизуальном сценарии. На основании сравнительного анализа речевых, пространственных и качественных характеристик слуха у пожилых пациентов до использования VR и после был продемонстрирован высокий уровень (48,3%) толерантности к виртуальной реальности. Можно говорить о том, что почти половина пациентов ответили на вопросы в ходе диагностики более объективно, это делает разработанный метод погружения пациента в виртуальную среду с созданием приближенного к реальным условиям аудиовизуального сценария дополнительным инструментом для терапии тугоухости пожилых людей [55].

Управлять здоровым старением с использованием виртуальной реальности и искусственного интеллекта предлагают отечественные геронтологи, изучающие болезнь Альцгеймера, которые разработали уникальную методику, сочетающую в себе нейропсихологические тесты, комбинированные и гибридные технологии нейровизуализации, современные технологии, интерфейс «мозг–компьютер» и «искусственный интеллект». К тому же предлагаемый метод дает дополнительный материал для изучения «молекулярных и клеточных событий, которые управляют развитием болезни Альцгеймера, прежде чем проявятся когнитивные симптомы» [56].

Зарубежными учеными тоже были получены положительные эффекты в когнитивной реабилитации с использованием VR: зрительное внимание и память стали лучше, результаты тестов с одновременным выполнением двух задач повысились, психоэмоциональное состояние пациентов стабилизировалось. Такие хорошие результаты дали 14 VR-сеансов по 30 минут, которые проходили 2-3 раза в неделю. Однако на первых сеансах симуляции некоторые пациенты жаловались на головокружение, ощущения укачивания и тошноты, боль в шейном отделе позвоночника и отрицательные эмоции, если их действия в виртуальной среде были неудачными. К окончанию терапии все негативные проявления были сглажены [57].

■ РЕАБИЛИТАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОИГР

Золотой век медицинской реабилитации с помощью видеоигр с виртуальной реальностью начался с запуска в 2006 году видеоигры «Nintendo Wii», которая заново учила пациентов контролировать свои движения. Затем компания, продолжая

тему терапии нарушений двигательного аппарата, выпустила еще две игры «Wii Balance Board» и «Wii Fit». Помимо восстановления нервных связей, отвечающих за равновесие, в позитивные итоги было записано проявление нейропластичности. Таким образом, виртуальные видеоигры помогли мозгу адаптироваться и создать новые связи между своими клетками.

Похожим путем следуют отечественные разработчики из компании «Моторика». VR-игра на цифровой реабилитационной платформе ATTILAN направлена на совершенствование навыка пользования бионическим протезом. Только при правильной работе мышц оставшейся части ампутированной руки игрок сможет пройти все уровни игры, а также в будущем нормально и естественно использовать протез в обычной жизни.

Разработка компании «Исток-аудио» использует аналогичную технологию. Аппаратно-программный мультимедийный комплекс «Девирта Делфи» применяет сенсорные датчики и шлем виртуальной реальности в процессе дистанционно-контролируемой реабилитации пациентов с еще более высокой степенью интерактивности, заставляя пациента взаимодействовать с окружающим пространством [58].

■ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ МЕДИЦИНА

Важной особенностью VR-технологий для врачей стала ее способность переносить сознание доктора в тело пациента, у лечащего врача теперь есть возможность увидеть болезнь глазами больного, ощутить на себе симптомы его болезни и более качественно осознать симптоматику и специфику заболевания, эмоционально прочувствовать индивидуальное течение болезни у каждого конкретного пациента. Можно предположить, что коммуникация между пациентом и врачом станет более гармоничной и оптимальной.

Широкие возможности открываются перед диагностами. В научных публикациях описан интересный случай, когда пациентке, «которой по нескольким объективным причинам не смогли выполнить ирригоскопию и оптическую колоноскопию, удалось выполнить виртуальную колоноскопию, сыгравшую решающую роль в постановке диагноза» [59].

Другой пример, совместный проект детских кардиологов из медицинского центра Шнайдера ►

в Израиле и специалистов из компаний «РеалВью имейджинг» и «Филиппс». Ими был проведен успешный эксперимент по применению компьютерной голографии при проведении 3D ротационной ангиографии для идентификации опознавательных точек по данным чреспищеводной эхокардиографии. В условиях лаборатории по зондированию и коронарографии сосудов сердца были созданы 3D-голограммы при взаимодействии света с физическими объектами. Такой подход открывает новые качественные возможности для персонализированной кардиологии в лечении пациентов, имеющих дефекты коронарной артерии и перегородок сердца [60, 61].

■ VR ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ

VR – качественный инструмент для врача в тех случаях, когда нужно объяснить пациентам, как будут выполняться их операции или какие шаги пациенту следует предпринять для более эффективного восстановления путем мобилизации его внутренних ресурсов. Для самостоятельного применения пациентами специальные VR-приложения помогают в устранении хронических болей, проведения сеансов медитации для преодоления беспокойства или в выполнении упражнений для восстановления функции суставов. Пациенты, пережившие черепно-мозговые травмы и инсульты, могут проходить реабилитацию в облегченной игровой форме. Это делает ее более приятной, понятной, и лучше вовлекает пациентов в терапию.

■ ВИРТУАЛЬНЫЕ ВРАЧИ И МЕДИЦИНСКИЕ СЕСТРЫ

В целях оказания помощи на дому уже начаты эксперименты по созданию виртуальных врачей.

Интересный эксперимент проводят психиатры из Великобритании. Отправной точкой эксперимента послужил тот факт, что многие пациенты с психозами воспринимают повседневные социальные ситуации как провоцирующие беспокойство. Такие психические заболевания, как паранойя, шизофрения, галлюцинации, социальная тревожность, патологическая неуверенность вызывают у пациентов боязнь. Это провоцирует отказы от регулярных встреч и занятий с врачом, что приводит к еще большей изоляции и ухудшению психического и физического здоровья. Исследователи по-

дошли к решению этой проблемы с помощью автоматизированного психологического лечения в виртуальной реальности. Пациенты получали возможность с помощью компьютерного моделирования ситуаций, вызывающих у них тревогу, пережить эти ситуации с участием виртуального коуча, который как реальный врач применяет когнитивные техники для преодоления их страха. 432 пациента с психозами и тревожным избеганием социальных ситуаций приняли участие в погружении в виртуальные ситуации, вызывающие дискомфорт. Хотя участники эксперимента осознавали, что симуляции не настоящие, полученные ими знания мозг воспринимал как реальное обучение, позволяющее поверить пациентам в себя.

Авторы статьи делают вывод, что в будущем, не только виртуальные тренеры смогут работать с психически больными людьми, но и виртуальные терапевты. Таким образом, VR-терапия обеспечит оперативный доступ к лечению большого количества людей. Слабыми сторонами этой технологии исследователи считают отсутствие контроля, которое есть в обычном лечении, что мешает врачу точно установить, какие элементы лечения VR вызывают положительные клинические изменения. Также проблемой становится невозможность скрыть от пациентов назначение лечения, что может привести к систематическим ошибкам при оценке эффективности лечения [62].

С развитием системы здравоохранения люди все чаще заинтересованы в получении медицинской помощи в виртуальном режиме. Многие медсестры хорошо подготовлены к расширению своей практики и готовы стать виртуальными помощниками. VR-технология позволяет виртуальной медсестре общаться с пациентом, чтобы направлять и контролировать медицинское обслуживание. В ее обязанности входит обучение пациентов, мониторинг качества и безопасности лечения. Например, в соответствии с философией расширения прав и возможностей виртуальный сестринский уход был разработан для управления ежедневной антиретровирусной терапией ВИЧ-инфицированных пациентов [63].

Виртуальные медики, полностью имитирующие живых людей, открывают перед ЛПУ возможность снижения затрат, автоматизируя тривиальные и повторяющиеся задачи. Они не страдают от синдрома выгорания и всегда готовы оказывать не просто более комфортную

медпомощь, но постоянно выражать безусловное терпение и сочувствие [64].

■ ВЫВОДЫ

1. Технология виртуальной реальности уже оказывает высококачественную помощь медикам и пациентам, помогая качественнее лечить и эффективнее заботиться о здоровье.

2. Одним из препятствий, тормозящих повседневно и повсеместное применение технологий виртуальной реальности, является ограниченный доступ к высокоскоростным сетям, таким как 5G, и низкое использование устройств 5G.

3. Технологии постоянно расширяют количество направлений и программ виртуальной реальности в здравоохранении. Это быстрорастущий рынок. Эксперты компании Allied Market Research предполагают, что к 2026 году объем виртуальной реальности на рынке здравоохранения достигнет 2,4 млрд. долларов. Согласно отчету, глобальная виртуальная реальность на рынке здравоохранения три года назад уже составила 240,9 млн. долларов США. Совокупный годовой рост меняющейся динамики рынка должен составить 33,2% с 2019 по 2026 год [65].

4. Особенность современного этапа изучения виртуальной реальности заключается в том, что пока еще создается база эмпирического материала, требующая как широкого, так и глубо-

кого его осмысления. Многие из сценариев VR-терапии требуют научной и экспериментальной доработки.

5. Другой проблемой остается малое количество медицинских центров, оборудованных для проведения терапии с помощью виртуальной реальности и высокая стоимость самого лечения.

6. VR пока остается на экспериментальном уровне и ранних стадиях внедрения в большинстве медицинских ИТ-компаний и медицинских учреждений, но уже быстро набирает популярность в отрасли. Многие отечественные компании вкладывают значительные средства в этот рынок. Специалисты, которые осознают прогрессивный и эволюционный потенциал в перспективе будут наиболее конкурентоспособными.

7. Чтобы усилить потенциал внедрения технологий виртуальной реальности в российскую систему здравоохранения, необходимо консолидировать усилия ученых, преподавателей медицинских университетов, ИТ-разработчиков, организаторов здравоохранения, врачей и всего медицинского сообщества.

8. Требуется продолжить совершенствование существующей нормативно-правовой базы и новых законов, позволяющих более широко использовать технологии виртуальной реальности в медицине, обеспечивая безопасную терапию и соблюдение прав всех участников процесса лечения. //

ЛИТЕРАТУРА

1. Fominykh M., Prasolova-Firland E., Morozov M., Smorkalov A., Molka-Danielsen J. Increasing immersiveness into a 3D virtual world: motion-tracking and natural navigation in vAcademia. *Ieri Procedia* 2014(7):35–41.
2. Huber T., Paschold M., Hansen C., Wunderling T., Lang H., Kneist W. New dimensions in surgical training: immersive virtual reality laparoscopic simulation exhilarates surgical staff. *Surg Endosc.* <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5500-6>. Epub 2017 Apr 4.
3. Samadbeik M., Yaaghobi D., Bastani P., Abhari S., Rezaee R., Garavand A. The Applications of Virtual Reality Technology in Medical Groups Teaching. *J Adv Med Educ Prof* 2018 Jul;6(3):23–129. PMID: PMC6039818.
4. Chen F.Q., Leng Y.F., Ge J.F., Wang D.W., Li C., Chen B., Sun Z.L.J Effectiveness of Virtual Reality in Nursing Education: Meta-Analysis. *Med Internet Res* 2020 Sep 15;22(9):e18290. <https://doi.org/10.2196/18290>. PMID: 32930664.
5. Dyer E., Swartzlander B.J., Gugliucci M.R. Using virtual reality in medical education to teach empathy. *J Med Libr Assoc* 2018 Oct;106(4):498-500. <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.518>. Epub 2018 Oct 1. PMID: 30271295.
6. Kyaw B.M., Saxena N., Posadzki P., Vseteckova J., Nikolaou C.K., George P.P., Divakar U., Masiello I., Kononowicz A.A., Zary N., Car L.T. Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration. *J Med Internet Res* 2019 Jan 22;21(1):e12959. <https://doi.org/10.2196/12959>. PMID: 30668519.
7. Zitzmann N.U., Matthisson L., Ohla H., Joda T. Digital Undergraduate Ed-

- ucation in Dentistry: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2020 May 7;17(9):3269. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093269>. PMID: 32392877.
8. Veneziano D., Cacciamani G., Rivas J.G., Marino N., Somani B.K. VR and machine learning: novel pathways in surgical hands-on training. *Curr Opin Urol* 2020 Nov;30(6):817-822. <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000000824>. PMID: 33009150.
9. Applications of virtual environments in medicine. Riva G. *Methods Inf Med* 2003;42(5):524-34. PMID: 14654887.
10. Баталова Т.А., Григорьев Н.Р., Чербикина Г.Е., Гасанова С.Н. Инновационные методы обучения студентов в процессе преподавания нормальной и клинической физиологии. *Амурский медицинский журнал* 2020;1(29):98-101. [Batalova T.A., Grigorev N.R., Cherbikova G.E., Gasanova S.N. Innovatsionnyie metody obucheniya studentov v protsesse prepodavaniya normalnoy i klinicheskoy fiziologii. *Amurskiy meditsinskiy zhurnal = Amur Medical Journal* 2020;1(29):98-101. (in Russian)].
11. Гнедаш Е.В., Чернышева Т.Ю. Технология «виртуальная реальность» и ее перспективы использования в образовательном процессе. *Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики* 2014(2):151-153. [Gnedash E.V., Chernyisheva T.Yu. Tehnologiya «virtualnaya realnost» i eYo perspektiviyi ispolzovaniya v obrazovatelnom protsesse. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tehniceskogo universiteta svyazi i informatiiki* 2014(2):151-153. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tehniceskogo universiteta*

ЛИТЕРАТУРА

- svyazi i informatiki 2014(2):151-153. (in Russian)].
12. Елесин С.С., Фещенко А.В. Виртуальная реальность в образовании: сомнения и надежды. *Гуманитарная информатика* 2016(10):109-114. [Elesin S.S., Feshchenko A.V. Virtualnaya realnost v obrazovanii: somneniya i nadezhdy. *Gumanitarnaya informatika = Humanitarian Informatics* 2016(10):109-114. (in Russian)].
 13. Quero G., Lapergola A., Soler L., Shahbaz M., Hostettler A., Collins T., Marescaux J., Mutter D., Diana M., Pessaux P. Virtual and Augmented Reality in Oncologic Liver Surgery. *Surgical Oncology Clinics of North America* 2019;28(1):31-44. <https://doi.org/10.1016/j.soc.2018.08.002>.
 14. Шпот Е., Проскура А., Юрова М., Фиев Д., Хохлачев С., Лернер Ю. Саркоматоидный рак: особенности диагностики и предоперационного планирования. *Врач* 2018;(5):3-7. [Shpot E., Proskura A., Yurova M., Fiev D., Hohlachev S., Lerner Yu. Sarkomatoidnyy rak: osobennosti diagnostiki i predoperatsionnogo planirovaniya. *Vrach = The Doctor* 2018;(5):3-7. (in Russian)]. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-05-01>.
 15. Tonetti J., Boudissa M., Kerschbaumer G., Seurat O. Role of 3D intraoperative imaging in orthopedic and trauma surgery. *Orthopaedics and Traumatology, Surgery and Research: OTSR* 2020;106(1):19-25.
 16. Чернова А.А., Шестерня П.А., Никулина С.Ю., Верещагина Т.Д., Новожилов В.К. Обучение неотложным состояниям в кардиологии с помощью симуляционного манекена SIMMAN. *Сибирское медицинское обозрение* 2013(5):93-96. [Chernova A.A., Shesternya P.A., Nikulina S.Yu., Vereschagina T.D., Novozhilov V.K. Obuchenie neotlozhnyim sostoyaniyam v kardiologii s pomoschy simulyatsionnogo manekena SIMMAN. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie = Siberian Medical Review* 2013(5):93-96. (in Russian)].
 17. Rosser J.C. Jr, Lynch P.J., Cuddihy L., Gentile D.A., Klonsky J., Merrell R. The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Arch Surg* 2007 Feb;142(2):181-6; discussion 186.
 18. Rosser J.C. Jr., Liu X., Jacobs C., Choi K.M., Jalink M.B., Ten Cate Hoedemaker H.O. Impact of Super Monkey Ball and Underground video games on basic and advanced laparoscopic skill training. *Surgical endoscopy* 2016 April 31(4):1544-1549. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-5059-7>. Epub 2016 Sep 8.
 19. Казумян С.В., Дегтев И.А., Борисов В.В., Ершов К.А. Виртуальные технологии в стоматологии. *Вестник Авиценны* 2020;22(4):606-12. [Kazumyan SV, Degtev I.A., Borisov V.V., Ershov K.A. Virtualnyie tehnologii v stomatologii. *Vestnik Avitsennyy = Avicenna bulletin* 2020;22(4):606-12. (in Russian)]. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2020-22-4-606-612>.
 20. Wong K.C. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. *Orthopedic Research and Reviews* 2016(8):57-66. URL: <https://doi.org/10.2147/ORR.S99614>.
 21. Haleem A., Javaid M., Khan I.H. Virtual reality (VR) applications in dentistry: An innovative technology to embrace. *Indian J Dent Res* [serial online] 2020 [cited 2021 Aug 10];31:666-7. URL: <https://www.ijdr.in/text.asp?2020/31/4/666/298409>.
 22. Утюж А. Роль формирователя десны в профилактике имплантологических воспалительных осложнений. *Врач* 2016(12):49-51. [Utyuzh A. Rol formirovatel'ya desny v profilaktike implantologicheskikh vospalitelnykh oslozhneniy. *Vrach = The Doctor* 2016(12):49-51. (in Russian)].
 23. Грибова В.В., Петряева М.В., Федорищев Л.А. Компьютерный обучающий тренажер с виртуальной реальностью для офтальмологии. *Открытое образование* 2013;6(101):45-51. [Gribova V.V., Petryaeva M.V., Fedorischev L.A. Kompyuternyy obuchayuschiy trenazher s virtualnoy realnostyu dlya oftalmologii. *Otkryitoe obrazovanie = Open Education* 2013;6(101):45-51. (in Russian)].
 24. Ермолаев А.П., Григорян Г.Л., Антонов А.А., Бахарев А.В., Петров С.Ю., Левицкий Ю.В., Хдери Х., Казбан А.А. Способ проведения периметрии у пациентов с отсутствием центрального зрения. Патент на изобретение RU 2682932 C1, 22.03.2019. Заявка № 2018123192 от 26.06.2018. [Ermolaev A.P., Grigoryan G.L., Antonov A.A., Baharev A.V., Petrov S.Yu., Levitskiy Yu.V., Hderi H., Kazban A.A. Sposob provedeniya perimetrii u patsientov s otsutstviem tsentralnogo zreniya Patent na izobretenie RU 2682932 C1, 22.03.2019. Zayavka № 2018123192 ot 26.06.2018. (in Russian)].
 25. Чупров А.Д., Воронина А.Е., Егоров Ю.С., Алексеев В.В., Прихунов А.С. Программный комплекс для тренировки зрительных органов с применением технологии виртуальной реальности «Амблиотренер» Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612386, 20.02.2020. Заявка № 2020611459 от 11.02.2020.ф [Chuprov A.D., Voronina A.E., Egorov Yu.S., Alekseev V.V., Prihunov A.S. Programmnyy kompleks dlya trenirovki zritelnykh organov s primeneniem tehnologii virtualnoy realnosti «Ambliotrenner» Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2020612386, 20.02.2020. Zayavka № 2020611459 ot 11.02.2020. (in Russian)].
 26. Чупров А.Д., Воронина А.Е., Егоров Ю.С., Алексеев В.В., Прихунов А.С. Программный комплекс для тренировки зрительных органов с применением технологии виртуальной реальности «Страбوترенер» Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612387, 20.02.2020. Заявка № 2020611461 от 11.02.2020. [Chuprov A.D., Voronina A.E., Egorov Yu.S., Alekseev V.V., Prihunov A.S. Programmnyy kompleks dlya trenirovki zritelnykh organov s primeneniem tehnologii virtualnoy realnosti «Strabotrenner» Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2020612387, 20.02.2020. Zayavka № 2020611461 ot 11.02.2020. (in Russian)].
 27. Чупров А.Д., Воронина А.Е., Егоров Ю.С., Алексеев В.В., Прихунов А.С. Программный комплекс для проверки остроты зрения с применением технологии виртуальной реальности «Визус VR». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612736, 28.02.2020. Заявка № 2020611423 от 11.02.2020. [Chuprov A.D., Voronina A.E., Egorov Yu.S., Alekseev V.V., Prihunov A.S. Programmnyy kompleks dlya proverki ostroti zreniya s primeneniem tehnologii virtualnoy realnosti «Vizus VR». Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2020612736, 28.02.2020. Zayavka № 2020611423 ot 11.02.2020. (in Russian)].
 28. Oneal B., Patterson D., Soltani M., Teeley A., Jensen M. Virtual reality hypnosis in the treatment of chronic neuropathic pain: a case report. *Int J Clin Exp Hypn* 2008;56(4):451-462.
 29. Wright J.L., Hoffman H.G., Sweet R.M. Virtual reality as an adjunctive pain control during transurethral microwave thermotherapy. *Urology* 2005 Dec;66(6):1320. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2005.06.123>.
 30. Бюфанова Н.С., Петрова Е.В., Калистратов В.Б., Нестеренко Е.Н., Чиж Д.И. Применение технологии виртуальной реальности для лечения болевого синдрома у детей. *Ульяновский медико-биологический журнал* 2020(4):19-29. [Bofanova N.S., Petrova E.V., Kalistratov V.B., Nesterenko E.N., Chizh D.I. Primenenie tehnologii virtualnoy realnosti dlya lecheniya bolevoogo sindroma u detey. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal = Ulyanovsk Medico-biological Journal* 2020(4):19-29. (in Russian)].
 31. Agrawal A.K., Robertson S., Litwin L., Tringale E., Treadwell M., Hoppe C., Marsh A. Virtual reality as complementary pain therapy in hospitalized patients with sickle cell disease. *Pediatr. Blood Cancer* 2019(66):e27525.
 32. Chan E., Hovenden M., Ramage E., Ling N., Pham J.H., Rahim A., Rahim A., Lam C., Liu L., Foster S., Sambell R., Jeyachanthiran K., Crock C., Stock A., Hopper S., Cohen S., Davidson A., Plummer K., Mills E., Craig S., Deng G., Leong P. Virtual reality for pediatric needle procedural pain: two randomized clinical trials. *J. Pediatr* 2019(209):160-167.
 33. Al-Halabi M.N., Bshara N. Effectiveness of audio visual distraction using virtual reality eyeglasses versus tablet device in child behavioral management during inferior alveolar nerve block. *Anaesth. Pain Intensive Care* 2018(22):55-61.
 34. Niharika P., Reddy N.V., Srujana P., Srikanth K., Daneswari V., Geetha K.S. Effects of distraction using virtual reality technology on pain perception and anxiety levels in children during pulp therapy of

ЛИТЕРАТУРА

- primary molars. *J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent* 2018(36):364–369.
35. Chirico A., Maiorano P., Indovina P., Milanese C., Giordano G.G., Alivernini F. et al. Virtual reality and music therapy as distraction interventions to alleviate anxiety and improve mood states in breast cancer patients during chemotherapy. *J Cell Physiol* 2020 Jun;235(6):5353–5362. <https://doi.org/10.1002/jcp.29422>.
36. Dunn J., Yeo E., Moghaddampour P., Chau B., Humbert S. Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation* 2017;40(4):595–601. <https://doi.org/10.3233/NRE-171447>.
37. Spiegel BM. Virtual medicine: how virtual reality is easing pain, calming nerves and improving health. *Med J Aust* 2018;209(6):245–247. <https://doi.org/10.5694/mja17.00540>.
38. Бoфанова Н.С., Буланов А.А., Яворский А.С., Алехина Е.В. Технология виртуальной реальности как современное направление в реабилитации пациентов с фантомной болью. *Российский журнал боли* 2021;19(2):33–37. [Bofanova N.S., Bulanov A.A., Yavorskiy A.S., Alehina E.V. Tehnologiya virtualnoy realnosti kak sovremennoe napravlenie v reabilitatsii patsientov s fantomnoy bolyu. *Rossiyskiy zhurnal boli = Russian Journal of Pain* 2021;19(2):33–37. (in Russian)].
39. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В. Виртуальная реальность в восстановлении двигательной функции. *Вестник восстановительной медицины* 2014;2(60):46–51. [Ivanova G.E., Skvortsov D.V., Klimov L.V. Virtualnaya realnost v vosstanovlenii dvigatelnoy funktsii. *Vestnik vosstanovitelnoy meditsiny = Bulletin of Rehabilitation Medicine* 2014;2(60):46–51. (in Russian)].
40. Устинова К.И., Черникова Л.А. Виртуальная реальность в нейрореабилитации. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2008;2(4):34–39. [Ustinova K.I., Chernikova L.A. Virtualnaya realnost v neyroreabilitatsii. *Annaly klinicheskoy i eksperimentalnoy neurologii = Annals of Clinical and Experimental Neurology* 2008;2(4):34–39. (in Russian)].
41. Саковский И.В. Возможности методики 3D-аудиовизуализации в восстановлении функции руки у больных с церебральным инсультом. В сборнике: *Инновационные научные исследования в современном мире. Сборник трудов по материалам III Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ. Уфа* 2021;115–126 с. [Sakovskiy I.V. Vozmozhnosti metodiki 3D-audiovizualizatsii v vosstanovlenii funktsii ruki u bolnykh s tserebralnyim insultom. V sbornike: *Innovatsionnyie nauchnyie issledovaniya v sovremennom mire. Sbornik trudov po materialam III Vserossiyskogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot. Ufa* 2021;115–126 s. (in Russian)].
42. Шалькевич Л.В. Эффективность использования технологий виртуальной реальности в комплексной реабилитации мануальной активности у детей с детским церебральным параличом. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета* 2020;18(6):716–721. [Shalkevich L.V. Effektivnost ispolzovaniya tehnologiy virtualnoy realnosti v kompleksnoy reabilitatsii manualnoy aktivnosti u detey s detским tserebralnyim paralichom. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University* 2020;18(6):716–721. (in Russian)].
43. Кузьмина А.С. Виртуальная реальность как средство безопасного контакта с травмирующей реальностью в психотерапии. *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности* 2014(3):74–81. [Kuzmina A.S. Virtualnaya realnost kak sredstvo bezopasnogo kontakta s travmiruyushey realnostyu v psixoterapii. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti = RUDN journal of ecology and life safety* 2014(3):74–81. (in Russian)].
44. Fernandez-Sotos P., Fernandez-Caballero A., Rodriguez-Jimenez R. Virtual reality for psychosocial remediation in schizophrenia: a systematic review. *European Journal of Psychiatry* 2020;34(1):1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejpsy.2019.12.003>.
45. Gerardi M., Rothbaum B., Ressler K., Heekin M. Virtual Reality Exposure Therapy Using a Virtual Iraq: Case Report. *Journal of Traumatic Stress* 2008;21(2):209–213.
46. Brian K., Charla N., Theresa B., Kathleen C. Quality vs. Quantity: Acquisition of Coping Skills Following Computerized Cognitive Behavioral Therapy for Substance Use Disorders. *Addiction* 2010;105(12):2120–2127.
47. Joda T., Gallucci G.O., Wismeijer D., Zitzmann N.U. Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine* 2019(108):93–100. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2019.03.012>.
48. Kandalaf M., Didehban N., Krawczyk D., Allen T., Chapman S. Virtual Reality Social Cognition Training for Young Adults with High-Functioning Autism. *J Autism Dev Disord* 2013;43(1):34–44.
49. Лаврик О.В., Витер Е.В. Применение VR-технологий в психосоциальной адаптации людей с ограниченными возможностями. *Гуманизация образования* 2021(1):75–80. [Lavrik O.V., Viter E.V. Primenenie VR-tehnologiy v psihosotsialnoy adaptatsii lyudey s ogranichennymi vozmozhnostyami. *Gumanizatsiya obrazovaniya = Humanization of Education* 2021(1):75–80. (in Russian)].
50. Скотарь И.С., Варламов А.В. Исследование устойчивости искажений восприятия размеров собственного тела человеком в VR. В сборнике: *Психология и медицина: пути поиска оптимального взаимодействия. Сборник материалов VII Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Редколлегия: Н.В. Яковлева и др.* 2020;157–163 с. [Skotar I.S., Varlamov A.V. Issledovanie ustoychivosti iskazheniy vospriyatiya razmerov sobstvennogo tela chelovekom v VR. V sbornike: *Psixologiya i meditsina: puti poiska optimal'nogo vzaimodeystviya. Sbornik materialov VII Vserossiyskoy konferentsii studentov i molodykh uchnykh s mezhdunarodnym uchastiem. Redkollegiya: N.V. Yakovleva i dr.* 2020;157–163 s. (in Russian)].
51. Аникина В.Г., Побокин П.А., Ивченкова Ю.Ю. Применение технологий виртуальной реальности в преодолении состояния тревожности. *Экспериментальная психология* 2021;14(1):40–50. [Anikina V.G., Pobokin P.A., Ivchenkova Yu.Yu. Primenenie tehnologiy virtualnoy realnosti v preodolenii sostoyaniya trevozhnosti. *Eksperimentalnaya psixologiya = Experimental psychology* 2021;14(1):40–50. (in Russian)].
52. Гладких А.П., Парфенова А.Г., Городищева А.Н. Предметно-пространственные компоненты виртуального тренажера для преодоления страхов публичного выступления. *Мир науки. Педагогика и психология* 2021(9):1. [Gladkih A.P., Parfenova A.G., Gorodischeva A.N. Predmetno-prostranstvennyie komponentyi virtualnogo trenazhera dlya preodoleniya strahov publichnogo vystupleniya. *Mir nauki. Pedagogika i psixologiya = World of Science. Pedagogy and psychology* 2021(9):1. (in Russian)].
53. Mirelman A., Rochester L., Maidan I., Del Din S., Alcock L., Nieuwhof F., Rikkert M.O., Bloem B.R., Pelosin E., Avanzino L. et al. Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): A randomised controlled trial. *Lancet* 2016.
54. O'Brien C.J., Smith J.L., Beck D.E., Real relationships in a virtual world: Social engagement among older adults in Second Life. *Gerontechnology* 2016(15):171–179.
55. Владимирова Т.Ю., Куренков А.В., Айзенштадт Л.В. Речевые и пространственные характеристики слуха в старших возрастных группах при использовании технологии виртуальной реальности. *Вестник оториноларингологии* 2021;86(1):20–24. [Vladimirova T.Yu., Kurenkov A.V., Ayzenshtadt L.V. Rechevyie i prostranstvennyie harakteristiki sluha v starshih voznrastnykh gruppah pri ispolzovanii tehnologii virtualnoy realnosti. *Vestnik otorinolaringologii = Scientific and practical peer-reviewed journal* 2021;86(1):20–24. (in Russian)].
56. Булгакова С.В., Романчук П.И., Романчук Н.П., Пятин В.Ф., Романов Д.В., Волобуев А.Н. Болезнь Альцгеймера и искусственный интеллект: долговременная персонифицированная реабилитация и медико-социальное сопровождение. *Бюллетень науки и практики* 2019;5(11):136–175. [Bulgakova S.V., Romanchuk P.I., Romanchuk

ЛИТЕРАТУРА

N.P., Pyatin V.F., Romanov D.V., Volobuev A.N. Bolezn Altsgeymera i iskusstvennyy intellekt: dolgovremennaya personifitsirovannaya reabilitatsiya i mediko-sotsialnoe soprovozhdenie. *Byulleten nauki i praktiki = Bulletin of science and practice* 2019;5(11):136-175. (in Russian)].

57. Moreno A., Wall K.J., Thangavelu K., Craven L., Ward E., Dissanayaka N.N. A systematic review of the use of virtual reality and its effects on cognition in individuals with neurocognitive disorders. *Alzheimer's and Dementia (New York, N.Y.)* 2019(5):834-850. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2019.09.016>.

58. Олешкевич К.И., Андреева В.А. Применение видеоигр и VR-технологий в сфере медицины. *Актуальные исследования* 2021;7(34):17-20. URL: <https://apni.ru/article/1945-primenenie-videoigr-i-vr-tehnologij-v-sfere>. [Oleshkevich K.I., Andreeva V.A. Primenenie videoigr i VR-tehnologiy v sfere meditsiny. *Aktualnyie issledovaniya = Actual Research* 2021;7(34):17-20. URL: <https://apni.ru/article/1945-primenenie-videoigr-i-vr-tehnologij-v-sfere>. (in Russian)].

59. Рубцов В., Чалык Ю., Грязнова Г. Рентгеноэндоскопическая диагностика рака слепой кишки при невозможности проведения тотальной колоноскопии и ирригоскопии. *Врач* 2018(5):59-61. [Rubtsov V., Chalyyk Yu., Gryaznova G. Rentgenoendoskopicheskaya diagnostika raka slepoy kishki pri nevozmozhnosti provedeniya totalnoy kolonoskopii i irrigoskopii. *Vrach = The Doctor* 2018(5):59-61. (in Russian)]. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-05-14>.

60. Southworth M.K., Silva J.R., Silva J.N.A. Use of extended realities in cardiology. *Trends in Cardiovascular Medicine* 2020;30(3):143-148. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2019.04.005>.

61. Николаев В.А., Николаев А.А. Опыт и перспективы использования технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности в условиях цифровой трансформации системы здравоохранения. *Медицинские технологии. Оценка и выбор* 2020(2):35-42. [Nikolaev V.A., Nikolaev A.A. Opyit i perspektivy ispolzovaniya tehnologiy virtualnoy, dopolnennoy i smeshannoy realnosti v usloviyah tsifrovoy transformatsii sistemyi zdavoohraneniya. *Meditsinskie tehnologii. Otsenka i vyibor* 2020(2):35-42. (in Russian)]. <https://doi.org/10.17116/medtech20204002135>

62. Freeman D., Yu L.M., Kabir T., Martin J., Craven M.M., Leal J., et al. Automated virtual reality (VR) cognitive therapy for patients with psychosis: study protocol for a single-blind parallel group randomised controlled trial (gameChange), <https://bmjopen.bmj.com/content/9/8/e031606>.

63. Cote J., Pilar R-G, Rouleau G., Saulnier D., Gueheneuc Y-G., Hernandez A., et al. A nursing virtual intervention: real-time support for managing antiretroviral therapy. *Computer, Informatics, Nursing* 2011;29(1):43-51. URL: <https://doi.org/10.1097/NCN.0b013e3181f9dc02>.

64. Liu Y-C, Chen C-H, Lin Y-S, Chen H-Y, Irianti D., Jen T-N, et al. Design and usability evaluation of mobile voice-added food reporting for elderly people: randomized controlled trial. *JMIR mHealth and uHealth* 2020;8(9):e20317. URL: <https://doi.org/10.2196/20317>.

65. GlobeNewswire. Official site. [Electronic resource]. URL: <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2020/05/11/2031228/0/en/Virtual-Reality-VR-in-Healthcare-Market-to-Reach-2-4-Billion-by-2026-AMR.html>.

Сведения об авторах:

Зеленский М.М. – инженер-программист, сооснователь и шеф-редактор проекта Evercare, генеральный директор ООО «Медицинские вебтехнологии»; Москва, Россия; mz-uro@ya.ru; PИHЦ AuthorID 1119957

Рева С.А. – к.м.н., заведующий 6 онкологическим отделением (андрологии и онкоурологии), НИЦ Урологии, ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова», научный сотрудник ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова»; Санкт-Петербург, Россия; sgreva79@mail.ru; PИHЦ AuthorID 801853

Шадеркина А.И. – студентка 3-го курса Института клинической медицины Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Сеченовского университета); Москва, Россия; nastyashade01@yandex.ru

Вклад автора:

Зеленский М.М. – обзор литературы, написание текста статьи, 34%
 Рева С.А. – разработка дизайна исследования, обзор литературы, 33%
 Шадеркина А.И. – определение научного интереса, дизайн исследования, 33%

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 01.07.21

Результаты рецензирования: 27.07.21

Принята к публикации: 14.08.21

Information about authors:

Zelensky M.M. – Software engineer, co-founder and editor-in-chief of the Evercare, General Director of Medical Web Technologies LLC; Moscow, Russia; mz-uro@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5571-6490>

Reva S.A. – PhD, head of the Department of oncology No6 (of andrology and oncurology), Research Center of Urology, Pavlov First Saint Petersburg State, Medical University, St. Petersburg, Russia; researcher, N.N. Petrov Research Institute of Oncology; Saint-Petersburg, Russia; sgreva79@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5183-5153>

Shaderkina A.I. – 3st year student Institute of Clinical Medicine of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University); Moscow, Russia; nastyashade01@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Author contributions:

Zelensky M.M. – literature review, writing the text of the article, 34%
 Reva S.A. – study design, literature review, 33%
 Shaderkina A.I. – determination of scientific interest, study design, 33%

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Financing: The study was performed without external funding.

Received: 01.07.21

Peer review results: 27.07.21

Accepted for publication: 14.08.21