

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ, КАК ПРИМЕР СОВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В.*, Мухаметова Д.А., Слепнева Н.И.

DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва

Резюме. Рассмотрены современные средства виртуальной реальности и возможности их применения в реабилитации. Обсуждаются понятие виртуальной реальности и поднимаются вопросы систематизации методов виртуальной реабилитации. Представлен обзор литературы по эффективности применения виртуальной реальности в реабилитации пациентов как с двигательными, так и с эмоциональными, и когнитивными нарушениями. Обсуждаются направления и пути дальнейшего развития и изучения технологий виртуальной реальности в реабилитации.

Ключевые слова: виртуальная реальность, виртуальная реабилитация, серьезные игры, когнитивная реабилитация, одностороннее игнорирование.

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN MEDICAL REHABILITATION AS AN EXAMPLE OF MODERN HEALTH INFORMATIZATION

Karpov O.E., Daminov V.D., Novak E.V.*, Mukhametova D.A., Slepneva N.I.
Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. This article reviews modern virtual reality technologies and their feasibility in rehabilitation. The definition of virtual reality is discussed in details and some approaches in the systematization and classification are offered. The efficacy of virtual reality is discussed for motor, cognitive and emotional recovery and suggestions for further development are made.

Keywords: virtual reality, virtual rehabilitation, serious games, cognitive rehabilitation, special neglect.

Понятие технологий виртуальной реальности

Виртуальная реальность (ВР) (от лат. *virtus* — мнимый, воображаемый) — созданная компьютерными средствами трехмерная модель реальности, которая создает эффект присутствия человека в ней, позволяет взаимодействовать с представленными в ней объектами, включая новые способы взаимодействия: изменение формы объекта, свободное перемещение между микро- и макроуровнями пространства, перемещение самого пространства [1]. Искусственная реальность — это переход от взаимодействия с компьютерными событиями к участию в них, к активной (а не пассивной) форме искусства. В связи с этим повышается значение искусственного опыта по сравнению с реальным. Искусственные реальности становятся посредником между выражением и опытом, равно как и новой возможностью людей взаимодействовать друг с другом. Такое положение ВР привело к её широкому распространению не только в развлекательной сфере, но и в образовании, туризме, журналистике, дизайне, спорте, армии, медицине и т.д. [2]. При создании программ ВР по данным различных рейтингов наиболее используемыми языками программирования оказались Python, Java, C/C++, C#, Ruby, JavaScript. Написание программ «с нуля» позволяет создать уникальные алгоритмы для медицинского использования, но значительно увеличивает их стоимость. Дополнительной сложностью может оказаться написание технического задания медицинскими работниками на языке, понятном для программистов. В такой ситуации наличие приложения для создания разнообразных про-

грамм ВР с набором готовых инструментов, понятных и простых в использовании для обычных пользователей, могут оказаться рациональной альтернативой. На данный момент наиболее известным и часто используемым приложением для разработки виртуальных сред (ВС) является платформа Unity Technologies (<https://unity3d.com/ru/unity>), возможности которой зачастую ограничены лишь техническими возможностями компьютеров учреждения, где эти среды создаются, так как они требуют не только больших объёмов для хранения данных, но и быстрой скорости их обработки [3].

Для предоставления технологий ВР, помимо программного обеспечения, необходимо наличие компьютерных устройств. Если проводить аналогию с общедоступными игровыми устройствами, такими, как Xbox или the PlayStation, можно ожидать в ближайшие годы такого же распространения устройств ВР. В настоящее время разговор о ВР возможен при наличии шлема ВР, которые создают закрытое трёхмерное изображение пространства и включают в себя набор воспринимающих датчиков для обратной связи (системы отслеживания, гироскоп, акселерометр, датчик приближения). На данный момент в мире наиболее широко представлены шлемы фирмы HTC Vive (Pro) (<https://www.vive.com/ru/>) и Oculus Quest (Go, Rift) (<https://www.oculus.com/>), при этом первый производитель уже заявил о выходе беспроводного шлема, что значительно расширит возможности его применения, в том числе и в медицине. Другие имеющиеся очки ВР, такие как Sony PlayStation VR, Samsung Gear VR и Google Daydream View, в виду ограниченного

* e-mail: dr.edward.novak@gmail.com



Рис. 1. Шлемы ВР. 1

t.

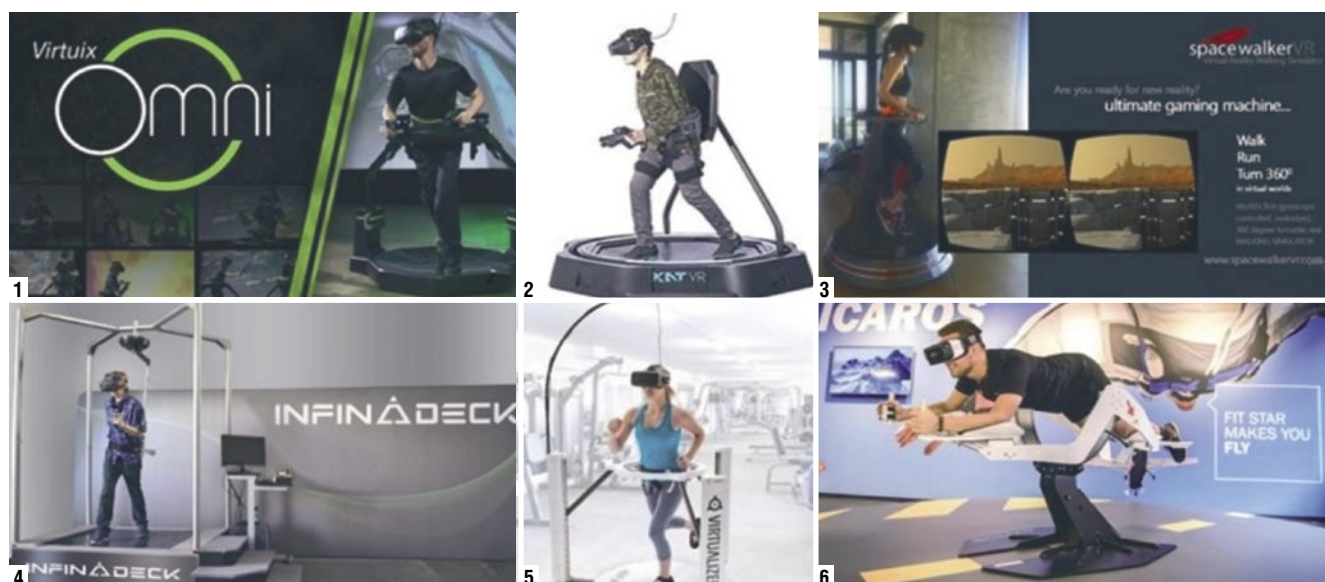


Рис. 2. Платформы ВР. 1 – Virtuix Omni; 2 – KatWalk; 3 – Spacewalker VR; 4 – Infinadeck; 5 – Cyberith Virtualizer; 6 – Icaros VR.

функционала пока не нашли широкого применения в реабилитации (Рис. 1).

Для обеспечения реалистичности движений в ВР активно разрабатываются платформы ВР, воздействующие на систему глубокой чувствительности и вестибулярный аппарат. Платформы ВР можно разделить на динамические, статические, вертикальные, горизонтальные и платформы специальных положений, которые на данный момент в основном используются в игровом сегменте. Наиболее известными из них и перспективными в плане использования в реабилитации являются платформы (Рис. 2):

1. Virtuix Omni (<https://www.virtuix.com/>);
2. KatWalk (<https://katvr.com/>);
3. Spacewalker VR (www.spacewalkervr.com/);
4. Infinadeck (<https://www.infinadeck.com/>);

5. Cyberith Virtualizer (<https://www.cyberith.com/>);

6. Icaros VR (<https://www.icaros.com/>);

7. Owatch (<https://www.stekiamusement.com/>).

Попытки визуализировать верхние конечности в ВР и создать точную обратную связи привели к созданию ряда многообещающих технологических проектов, например, такой как MindLeap (<https://www.mindmaze.com/>) — проект, находящийся в стадии разработки и призванный управлять движениями в ВР с помощью биоэлектрической активности головного мозга, регистрируемой с помощью электроэнцефалографии. Однако на данный момент наиболее практичными и часто используемыми, в том числе в реабилитации, приспособлениями для отслеживания движений верхних конечностей являются контроллеры НТС и появившиеся недавно контроллеры Oculus. Если говорить о

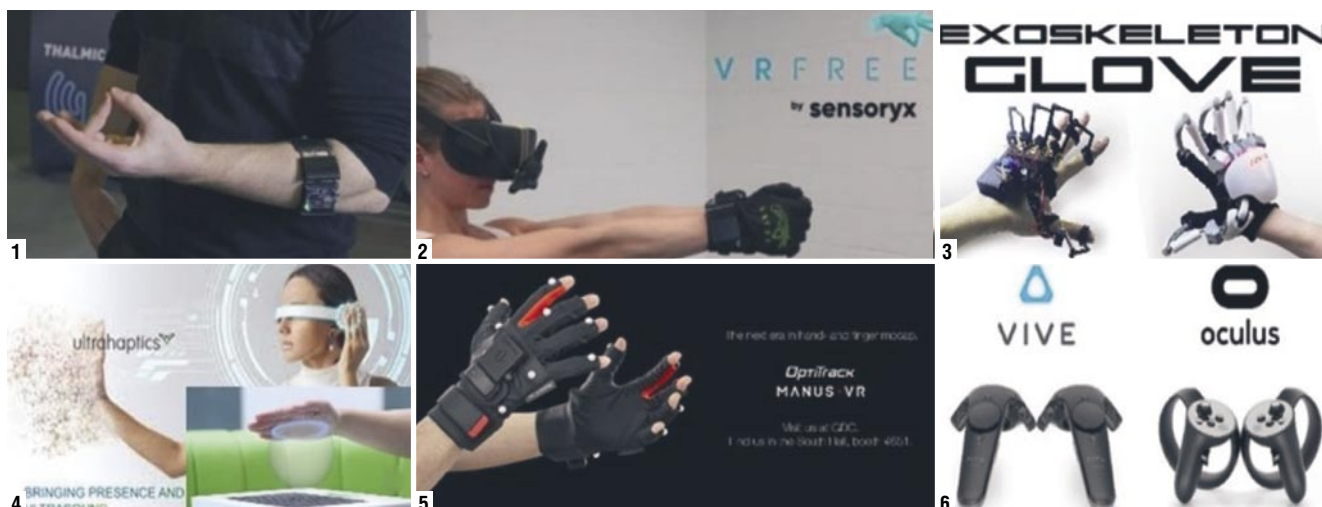


Рис. 3. Сенсоры обратной связи в ВР для кисти. 1 – Myo Thalmic Labs; 2 – VRfree gloves; 3 – Dexmo exoskeleton glove 4 – Ultrahaptics; 5 – Manus developer kit; 6 – Контроллеры HTC и Oculus Touch.

визуализации движений верхних конечностей в ВР, то здесь наиболее широко представлены устройства Kinect (в том числе и для кисти — проект Microsoft Handpose <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/fully-articulated-hand-tracking/>) и Leap Motion (<https://www.leapmotion.com/>). Помимо этих разработок существует ряд других амбициозных проектов (Рис. 3), которые требуют дальнейшего изучения на возможность применения в реабилитации:

1. Myo Thalmic Labs (<https://developerblog.myo.com/tag/virtual-reality/>) — электромиографические сенсоры для обратной связи;
2. Nimble Sense (<http://nimblevr.com/>) — система отслеживания с трёхмерной камерой;
3. Ultrahaptics (<https://www.ultrahaptics.com/>) — обратная тактильная связь посредством ультразвука от специальной платформы под кисть;
4. VRfree gloves (<http://www.sensoryx.com/>) и Manus developer kit (<https://manus-vr.com/>) — перчатки сенсорами для отслеживания движений кисти и пальцев;
5. Dexmo exoskeleton glove (<https://www.dextarobotics.com/>) — обеспечивают визуализацию и обратную связи по силе хвата.

Имеющиеся средства представление нижних конечностей в ВР в основном представлены периферическими сенсорами HTC, фиксирующимися на конечности, и системами отслеживания движения тела с применением помимо Kinect, похожих устройств VicoVR (<https://vicovr.com/>), Orbbec (<https://orbbec3d.com/>), Stereolabs ZED (<https://www.stereolabs.com/>). Интересным решением также стало изобретение туфель для ВР Cybershoes (<https://www.cybershoes.io/>), позволяющие бегать ВР, сидя на стуле, к сожалению, без визуализации ног.

Многообещающими в плане создания ВР с, действительно, полным мультимодальным погружением являются разработки гаптических костюмов, которые

помимо встроенных сенсоров (для отслеживания движений как конечностей, так и туловища), включают в себя систему обратной связи в виде тактильного и температурного воздействия посредством циркулирующей специальной жидкости (<https://www.roadtovr.com/axon-vr-making-haptic-exoskeleton-suit-bring-body-mind-vr/>). Включение на ранних этапах врачей и специалистов по реабилитации в процесс создания таких костюмов может ускорить процесс их внедрения из сферы развлечений в область реабилитации пациентов после различных заболеваний.

ВР в реабилитации

В настоящее время ВР рассматривается как перспективный метод для формирования новых двигательных стереотипов с интеграцией виртуальных конечностей в схему тела пациентов, а также когнитивной и мультисенсорной стимуляции психических процессов [4]. Определение виртуальной реабилитации, опубликованное международным обществом по виртуальной реабилитации (<http://isvr.org/>), объединяет в себя все методы лечебные воздействия (физические, когнитивные, психологический и эрготерапию), которые базируются в ВР или включают элементы ВР, дополненную реальность или компьютерные технологии в свою структуру. Термин часто применяется как для локальных, так и для дистанционных методик (телереабилитации). Для понимания ВР в этом контексте обычно используется определение, данное профессором Оксфордского университета, директором магистратуры в области социальных наук в интернете Ральфом Шрудером (Ralph Schroeder) еще в 1996 г. Согласно этому определению, ВР — это создаваемое компьютером изображение/отображение (display), которое вызывает у пользователя(ей) ощущение присутствия в среде, отличной от той, в которой они в действительности находятся, и которое позволяет взаимодействовать с этой средой

[5]. Такое широкое понимание ВР, пришедшее из социальных наук, в совокупности с недостаточным развитием компьютерных технологий в 90-е гг., видимо, привели к смешению понятий и отсутствию единой методологии и систематизации программ ВР в реабилитации. Многие исследователи рассматривают компьютеризованные занятия даже с минимальным уровнем погружения и присутствия, как ВР. При этом, технологическое обеспечение может включать обычный монитор с клавиатурой, а сам процесс «погружения» в ВР мало отличим от обычных компьютерных игр, если не учитывать их медицинское назначение. Использование термина «ВР» вместо термина «серьёзные игры», вероятно, оказалось более выгодным и с маркетинговой точки зрения.

В настоящее время при возрастающей доступности и качестве устройств для создания трехмерного пространства с мультисенсорной стимуляцией, позволяющих уменьшать связь с объективной реальностью и «обманывать» мозг, возможно, следует пересмотреть или дополнить термин «ВР» более биомедицинским смыслом. Когда речь идет о взаимодействии с окружающей средой, невольно возникает вопрос гомеостаза. Согласно учению П.К. Анохина, последний обеспечивается двумя типами функциональных систем: первый — за счет внутренних (автономных) реакций организма; второй — за счет поведенческих реакций. Говоря проще, при воздействии стимула из окружающей среды возникает ответная реакция, безусловная или условная. Стимулы окружающей среды воспринимаются органами чувств и, соответственно, делятся на зрительные, слуховые, вестибулярные, обонятельные, вкусовые, тактильные и проприоцептивные. Безусловные ответные реакции организма могут быть: 1) физиологическими (учащение пульса, повышение потоотделения, изменение артериального давления и температуры тела, изменения электрической активности головного мозга, кожно-гальванических потенциалов и т.д.) и/или 2) эмоциональными — положительные (радость, удовольствие, интерес и т.д.) и отрицательные (страх, отвращение, негодование и т.д.). Второй тип ответных реакций — поведенческие, которые включают в себя как простые произвольные движения, опосредованные задачами, так и сложные многостадийные поведенческие акты с анализом сенсорной информации, сравнением её с предыдущим опытом, построением программы действий, принятием решений, выполнением действий, анализом результатов данных действий [6].

Основываясь на вышеописанных принципах, можно прийти к определению ВР, согласно которому ВР — это компьютерные технологии, которые замещают или искажают информацию от органов чувств, изменяют и анализируют ответные реакции организма, обеспечивая взаимодействие организма с создаваемой виртуальной средой. Под замещением информации из окружающей среды понимается воздействие на органы чувств человека с помощью специальных устройств, блокирующих сенсорный поток из окружающей среды полностью

(иммерсионная ВР, ВР с полным погружением) или частично (старое понимание ВР). Искажение информации из окружающей среды — это воздействие на органы чувств человека с помощью специальных устройств, изменяющих сенсорный поток из окружающей среды (дополненная реальность). Продолжая мысль о устоявшемся в реабилитации понимании ВР, можно обсуждать использование термина серьёзные игры в реабилитации для приложений, использующих обычный монитор в качестве визуального представления. Игра — это вид произвольной активности, отличный от реальной жизни, создающий воображаемый мир, который может иметь или не иметь отношение к реальному миру и который поглощает всё внимание играющего. Игра происходит в определённом месте и времени по установленным правилам и может формировать социальные группы из игроков [7]. При этом под серьёзными играми в широком смысле понимается любая игра, цель которой не только развлекательная. Существуют разные вариации более широких определений. Серьёзные игры — это компьютерные приложения, основной целью которых является последовательное соединение двух принципов — серьёзного (такого как обучающий, исследующий, коммуникативный или информационный) и игрового. Такая комбинация должна быть простой в использовании с видео- и аудио-пакетами, с игровой историей и правилами, обеспечивая не только развлекательный компонент (Таб. 1) [8].

Таким образом, приложения виртуальной реабилитации, которые использовались в реабилитации до изобретения очков ВР в трёхмерном изображении, правильнее называть серьёзными играми в реабилитации. А термин ВР оставить для компьютерных технологий с полным замещением сенсорного потока (с полным погружением), при этом целесообразно указывать сенсорную модальность. С этой точки зрения о ВР с полным погружением можно говорить только в том случае, когда замещение сенсорного потока идет от всех органов чувств. То, что сейчас называется полным погружением, на самом деле является лишь полным зрительным замещением (погружением) и не замещает или частично замещает другие сенсорные модальности (например, движение окружающей среды в очках ВР без проприоцептивного ощущения движения тела в пространстве).

Компьютерные технологии для ВР включают в себя два аспекта: непосредственно устройства компьютера и компьютерные программы, генерирующие виртуальную

Табл. 1. Разница между серьёзными и развлекательными играми

	Серьёзные игры	Развлекательные игры
Задачи	Решение проблем	Получение приятных впечатлений
Цель	Усвоение навыков	Развлечение
Симуляция	Приближенная к жизни	Упрощенный процесс симуляции
Общение	Отражает естественное общение	Продвинутое средства общения

Табл. 2. Классификация программ VR с точки зрения игрового компонента

Жанр	Визуализация	Участники	Платформа
Экшен	Графическая	Одиночные	Персональные компьютеры
Рольевые	Текстовая	Многопользовательские	Игровые консоли/приставки
Стратегии	Двухмерная	Массовые онлайн	Мобильные телефоны
Симуляция	Трёхмерная		Мультиплатформенные
Головоломки	Звуковая		Одноплатформенные
Образовательные			

среду и обеспечивающие взаимодействие с ней. При систематизации последних в отношении реабилитации можно выделить четыре основные категории:

1. Симулирующие повседневные дела с целью выполнить какое-то действие из привычной жизни пациента (например, приготовление еды, уборка, покупки и т.д.), что может быть легко перенесено в реальную практику.
2. Игровые с более развлекательными и/или необычными целями — исследование удалённых мест, гонки, спорт и т.д.
3. Пассивные виртуальные среды — мультисенсорная стимуляция, безусловные эмоциональные реакции для активации психической деятельности при нейродинамических нарушениях.
4. Групповые виртуальные среды, где пациенты соревнуются с другими участниками при выполнении того или иного задания.

Однако, если рассматривать программы VR с точки зрения игрового компонента, который в той или иной степени присутствует практически во всех имеющихся программах, то систематизация последних также возможна по следующим параметрам: жанру, способу воздействия, визуальному представлению, количеству игроков, игровой платформе (Таб. 2) [9]. Программы VR могут копировать объективную реальность в виде различных ВС, например, квартира или дом, магазин, метро, улица, парк и т.д., а также создавать адаптированные воображаемые виртуальные среды, где пациент будет способен взаимодействовать с данными средами как в привычном для него режиме, так и в изменённых условиях [5].

С точки зрения реабилитационного компонента виртуальные программы можно условно разделить на тренирующие двигательные навыки, когнитивные функции или корректирующие эмоциональное состояние пациентов. Такое деление условное, так как любая программа VR в той или иной степени воздействует по всем этим направлениям. Адаптируя лечебные методики под устройства VR можно будет: 1) выявлять отдельные факторы, влияющие на восстановление функций — прогнозирование; 2) формировать персонализированные лечебные программы для конкретного пациента в конкрет-

ный период времени; 3) препятствовать утере конкретных навыков посредством профилактической тренировки; 4) делать пациента участником лечебного процесса в интерактивной среде. Данные аспекты соответствуют современным тенденциям медицины, которая должна носить профилактический характер с персонализированным подходом, направленным на прогнозирование течения заболевания и максимальным участием пациента в лечебном процессе [10].

В реабилитации важную роль играет возвращение пациента к повседневной активности, что сопряжено не только с восстановлением конкретных движений, но и с тренировкой высшей нервной деятельности в целом (когнитивные и эмоциональные функции), позволяющей адаптировать ограниченные возможности к окружающей среде. Таким образом, пациенты смогут дозированно и безопасно возвращаться к привычным делам в ВС: делать покупки в магазине (тренировка рабочей памяти), ориентироваться в торговом центре (тренировка пространственного ориентирования), находить людей по внешним характеристикам (тренировка избирательного внимания), искать знакомые места на улице (тренировка памяти распознавания), рассчитывать на кассе (тренировка счёта). Упражнения в VR, как двигательные, так и когнитивные, легко воспроизводимы необходимым количеством раз с настраиваемым уровнем интенсивности в зависимости от возможностей пациента. Разный уровень сложности может корректироваться во время занятий в зависимости от возможностей пациента как инструктором VR, так и автоматически по принципу мультимодальной обратной связи. Для последней используются системы отслеживания и анализа действий пациента в реальном времени, что позволяет адаптироваться ВС под конкретного пациента.

Взаимодействия пациента с виртуальным миром можно рассматривать как непрерывную связь по типу «восприятие-действие». Производимое движение воспроизводится в виртуальном мире и, одновременно, система обеспечивает мультимодальную обратную связь по выполненному движению. Такая сенсорная обратная связь с внешними (например, зрительными или слуховыми) и внутренними (например, проприоцептивными) стимулами реструктуризируется в головном мозге пациента. При этом параметры обратной связи могут корректироваться с целью решения пациентом тех или иных задач. В системах виртуальной реабилитации пациент обычно получает информацию: 1 — о самом движении в виде его визуализации; 2 — о точности выполнения задания через систему обратной сенсорной стимуляции; 3 — об изменениях окружающего виртуального мира. Последний может быть представлен как весьма реалистичной, так и абстрактной и сжатой технической средой, и обычно не имеет прямого терапевтического назначения. С другой стороны, движения и контроль за ними в виртуальном мире играют одну из ведущих ролей для центральной сенсорной стимуляции (например, зеркальная терапия),

при которой наблюдение за движениями или их представление может способствовать корковой реорганизации, улучшая процесс восстановления.

При оценке эффективности того или иного воздействия в ВР важно учитывать феномен присутствия, который рассматривается с двух позиций: описательной и структурной. Первая фокусируется на составляющих эффекта присутствия: соразмеримость пространства, включенности пациента и реалистичности. Вторая пытается объяснить, как феномен присутствия организован в мозге. Британский учёный А. Seth (2012) объясняет феномен присутствия не только с позиции ВР, но как один из базовых феноменов повседневного восприятия мира. Яркие примеры изменённого повседневного восприятия реальности можно увидеть у пациентов с шизофренией или дереализацией. Авторы предлагают концепцию внутренней прогнозируемой картины мира, которая может не совпадать с реальной. Таким образом, подавление сенсорной информации, не совпадающей с опытом виртуальной реальности является одним из ведущих для максимального эффекта присутствия.

Визуализация в ВР

По данным литературы удалось выделить следующие подходы для визуализации движений нижних конечностей в ВР [4]:

1. Имитация движений посредством окружающей среды — движения тела не представлены в ВР напрямую, а ощущаются посредством изменений окружающей виртуальной среды. Одна из техник — оптический поток, когда паттерны движений окружающих объектов формируют иллюзию движения в ВР с целью навигации при выполнении задания (например, покупки в магазине). Также существует вариант активного оптического потока, когда его параметры изменяются с целью повлиять на выполнение задания пациентом (например, ускорение оптического потока при движении).
2. Условные движения в абстрактной виртуальной среде — движения пациента представлены в искусственной (не антропоморфной) графике. Основная цель занятий в такой среде — точное выполнение упражнений в двух- или трехмерной абстрактной реальности.
3. Движения, дополненные ВР — изображение движений реального тела пациента анализируется с помощью виртуальной обратной связи и/или дополняется элементами ВС, например, очки дополненной реальности Sony Eye Toy (<https://www.playstation.com/en-us/games/eyetoy-play-2-with-camera-ps2/>).
4. Движения аватара — реальные движения копируются графическим представителем тела или части тела пациента, как в виде максимально реалистичного и приближенного к реальности, так и в виде простых фигур.
5. Отслеживание движений — постоянная корректировка движений по внешнему визуальному контролю

(например, для соблюдения точности движения по определенной траектории).

6. Комбинированный — два и более способов визуализации (например, имитация движения с дополненной реальностью).
7. Отсутствие визуализации реальных движений — движения тела не представлены в ВР и полностью, а отображаются посредством обратной связи при выполнении задания.

Преимущества ВР

Преимуществами ВР при сравнении с традиционными техниками можно считать [11]:

1. Более высокий уровень безопасности и контроля над уровнем и интенсивностью раздражителей.
2. Лучшее обеспечение конфиденциальности пациента во время лечения.
3. Значительное снижение рисков травматизации пациентов во время лечения.
4. Возможность адаптировать сценарии под нужды конкретного пациента в соответствии с его ожиданиями и возможностями.
5. Простота в повторении конкретных виртуальных сценариев необходимое количество раз с настраиваемыми стимулами.
6. Возможность уменьшить количество и продолжительность сессий за счёт большей эффективности генерируемых стимулов.
7. Снижение стоимости лечения за счёт включения в программу виртуальных сценариев.
8. Привлекательность для пациентов: некоторые пациенты рассматривают новые технологии как более эффективные, что повышает их приверженность терапии.

Недостатки ВР

По имеющемуся на данный момент опыту можно рассматривать виртуальную реальность как относительно безопасную. Имеющиеся в литературе данные указывают на лёгкие побочные явления, такие как головокружения, сухость во рту, сердцебиение и нервозность.

Начиная с презентации ВР в сфере развлечений, открыт вопрос о её безопасности для пользователей не только со стороны физического, но и психического здоровья. До сегодняшних дней многие системы имеют нечеткость и несогласованность в отслеживании движений головы и передаваемом изображении, что может быть незаметно обычным взглядом, но фиксируется более тонкими механизмами координации, вызывая головокружение, укачивание и тошноту [2]. В 2016 г. в прессе обсуждалась опасность виртуальных очков HTC Vive, когда из-за неточности работы сенсоров на камере некоторые пользователи врезались в стены и окружающие предметы. Также некоторые пациенты с фобиями оказались неготовыми к встрече с их страхами в ВР, особенно если последняя лишена принципов десенсибилизирующей терапии и имеет

недостаточную методологическую базу. Это привело к тому, что некоторые компании официально сообщали о возможных побочных эффектах при использовании их средств VR, чтобы уменьшить количество жалоб на нарушение координации и головную боль среди пользователей. Например, производители очков Oculus Rift предупреждали своих пользователей, что использование их устройства с определенными световыми паттернами и вспышками может вызвать головокружение, предобморочные состояния или судорожные приступы у некоторых индивидуумов. Фирма Самсунг рекомендовала использовать свои устройства не более 5–6 часов в день с перерывами минимум 10 минут после каждых 30 минут погружения в VR.

Можно отметить некоторые сложности по применению VR в клинической практике [11]:

1. Специалистам потребуются определенные методические рекомендации для эффективного и безопасного использования VR в своей повседневной работе.
2. Стоимость программного обеспечения и оборудования для VR, ограничивающие более широкое применение.
3. Потребность в образовательных программах или курсах для выработки навыка использования VR.
4. Скептическое отношение некоторых специалистов к VR, как к компьютерным развлекательным играм.

Помимо жалоб со стороны здоровья пользователей также встал вопрос о сохранности и безопасности информационных данных, так как большинство платформ VR являются общедоступными, и разработчики со всего мира создают и обмениваются своими данными. Кроме того, компании могут отслеживать все действия пользователя и менять виртуальный мир в своих интересах, при отсутствии четких условий конфиденциальности и приватности.

Существует также настороженность общественности в отношении того, как VR может повлиять на межличностное общение и взаимоотношения между людьми. Отсутствие эмоциональной мимики, языка жестов, зрительного контакта и т.д. в виртуальном мире может нарушать естественный процесс общения, создавая пространство для недопонимания, и потенциально изолировать человека от реального мира.

VR в психологической реабилитации

VR позволяет симулировать сложные мультисенсорные ситуации из повседневной жизни для выработки алгоритмов поведения и компенсации в безопасной и контролируемой обстановке. VR способна вызывать безусловные эмоциональные реакции, воздействуя на систему органов чувств — зрительные образы, звуки, реже прикосновения и запахи. Одним из первых мощным зрительным стимулом в VR было создание образа высоты, вызывающего эмоцию страха, даже учитывая факт осознания отсутствия реальной угрозы [11]. Обсуждался механизм не осознанного восприятия реальности с целью

последующего осознанного управления безусловными эмоциональными реакциями. Например, для редуцирования глубинных страхов использовалась постепенная десенсибилизация [12]. Погружение в VR производилось после проведения скрининга психического и физического состояния пациента. Пациенты с агорафобией сначала помещались в пустую аудиторию, затем в аудиторию с увеличивающимся количеством слушателей, которые могли переговариваться друг с другом или смеяться над выступавшим. Во время погружения пациентов просили оценивать уровень их тревожности по 10-балльной шкале через определенные короткие временные промежутки, что демонстрировало снижение тревожных переживаний.

Таким образом, в отношении эмоционального воздействия на пациента VR достигла наибольшего развития в области фобий и тревожных расстройств. Отмечалась важная роль визуальных паттернов для провоцирования эмоциональной реакции (например, изображение паука при арахнофобии). При этом было обнаружено, что устная информация о наличии паука вызывала гораздо меньший эмоциональный ответ [13]. Таким образом, авторы хотели показать разницу между зрительными стимулами и концептуальной информацией в активации эмоции страха. Другими словами, страх способствовал эмоциональной реакции и не вел к когнитивной обработке, что может указывать на более тесную связь сенсорных стимулов с эмоциями, нежели с мыслительной деятельностью. В сравнении с простыми фобиями, социальные фобии рассматриваются как более сложные, однако проведенное исследование также показало, что страх ожидания (когнитивная составляющая) значительно уступал страху при непосредственном погружении в виртуальную аудиторию (эмоциональная составляющая). Данные возможности VR могут позволить проведению более сбалансированного воздействия на пациентов с ограниченными возможностями, у которых часто присутствует страх появиться на улице в новом состоянии, страх осуждения и избегание социальных контактов. Кроме того, часто недооценивается психологическая составляющая в реабилитационном процессе, где важную роль играют преморбидные характерологические особенности и сопутствующие аффективные расстройства.

Одним из частных случаев таких расстройств можно рассматривать посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР), которое характеризуется развитием определенного комплекса симптомов: наплывающие воспоминания и сны о травмирующем событии, физиологические реакции при провоцирующих визуальных и слуховых стимулах, избегания данных стимулов, негативные изменения мышления и настроения. Травмирующими событиями в данном случае могут выступать войны, теракты, сексуальное насилие, так и различные травмы, в результате которых пострадавшие утратили функциональную независимость. Одним из изученных

методов воздействия в данной ситуации является пролонгированная экспозиция, то есть реальное или воображаемое представление образов, ассоциированных с травмирующим событием, в сочетании с психологическим образованием и контролируемым дыханием. Однако для многих пациентов сложно представлять или эмоционально включаться в травматическое событие, для некоторых неприемлемым в связи с отсутствием контроля. Внедрение ВР в лечение ПТСР происходит двумя способами: 1 — создание максимально реалистичной среды со специфичными ситуациями или 2 — создание гибкой виртуальной среды, использующая символизм для презентации травмирующего события. Первый метод позволяет создать виртуальную среду, максимально копирующую реальное масштабное травматическое событие, но является дорогостоящим и применимым только для конкретных событий (например, конкретная станция метро или место во время теракта). С другой стороны, второй метод позволяет быстро адаптировать виртуальную среду под конкретные травматические события, используя эмоциональные маркеры (образы, картинки, звуки, музыку и т.д.), при этом уступая на реалистичности и специфичности [14].

Нейропсихологическая реабилитация в ВР

В настоящее время получены данные об успешном применении технологий ВР в нейропсихологической реабилитации пациентов после острых нарушений мозгового кровообращения [15], черепно-мозговых травм [16], а также при рассеянном склерозе [17]. При этом существует два основных направления, в которых это возможно: диагностика и собственно восстановление пострадавших функций [16].

Одним из существенных ограничений традиционной диагностики является то, что она фокусируется на нарушениях конкретных функций, при этом обращая мало внимания на уровень функционирования испытуемого. В рамках стандартного исследования не всегда удаётся оценить уровень повседневной активности пациента, наличие у него или отсутствие поведенческих проблем при решении рутинных задач. При этом большее число жалоб самих пациентов и их родственников касается именно этих аспектов. Применение технологий ВР может стать одним из решений этой проблемы. Создавая ВС, имитирующую значимую для человека активность, а также ставя актуальные для него задачи, специалист может оценить не абстрактное нарушение функции, а возможности общего функционирования, что позволяет составить максимально персонализированную программу реабилитации [18; 19].

В ходе восстановительного лечения пациент также получает занятия, направленные на преодоление каких-либо конкретных проблем, действительно значимых для него. Это помогает поддерживать мотивацию и приверженность пациента проводимым процедурам. При этом также достигается улучшение конкретных

функций: так, в различных исследованиях было показано, что применение ВР улучшает внимание, регуляторные функции, память (как зрительную, так и вербальную), пространственное ориентирование, скорость реакций и речи [15–17; 20; 21].

Перспективным представляется использование виртуальной реабилитации в работе с пациентами с односторонним пространственным игнорированием (ОПИ), где традиционно используются методики интервьюирования и выполнения графических проб на бумажных носителях [20]. По некоторым данным, чувствительность и специфичность таких методов при хроническом, длительно существующем ОПИ остаются невысокими — 38 и 52%, соответственно. Упражнения обычно включают в себя поиск статичных двухмерных геометрических фигур по зрительным полям, что не совсем корректно отражает восприятие мира пациентом. При этом пациенты с ОПИ искаженно воспринимают не только внешнее пространство, но также и картину своего собственного тела. Более обоснованно говорить о динамическом восприятии мира, когда стимулы воздействуют на разных уровнях и постоянно меняются. При таком подходе использование движущихся стимулов является важным фактором для манипулирования зрительным вниманием пациента, то есть движущиеся объекты могут привлекать и направлять внимание к левой половине пространства. Преимущества такой методики уже продемонстрированы рядом исследований, в которых было показано, что наличие движущихся указателей в левой половине пространства улучшало поиск целей в данной области [21]. Кроме того, отличалось время реагирования на статичные и динамичные стимулы с увеличением скорости реакции при движении из ипсилатерального к контралатеральному зрительному полю, что легко и точно может быть измерено компьютером, в отличие от бумажного метода. Положительное влияние такой траектории движения можно объяснить тем фактом, что пациент начинает сканировать визуальное пространство с непораженной стороны и, фиксируясь, лучше удерживается в пораженной половине пространства.

Таким образом, технологии, использующие ВР для нейропсихологической реабилитации пациентов после острых нарушений мозгового кровообращения и травм головы, а также с рассеянным склерозом могут быть действительно полезны по ряду существенных причин. При этом важно отметить, что имеющиеся выводы об их эффективности можно считать лишь предварительными в связи с методологией и дизайном исследований с отличающимися группами и инструментами воздействия, о чём будет более подробно рассказано далее.

Заключение

Медицина и, в частности, реабилитация, несомненно должны развиваться в ногу со временем, но в такой погоне за новыми технологиями не нужно

недооценивать предыдущий накопленный опыт и важность фундаментальных знаний. На сегодняшний день несмотря на колоссальное количество публикаций по применению технологий VR в реабилитации, в том числе и мета-анализов, существует путаница как с самим определением VR, так и методологией при создании программ VR.

Во-первых, под VR понимаются практически любые компьютерные программы, которые обеспечивают взаимодействие пользователя с данной программой. При появлении очков VR стали говорить о VR с полным погружением, но снова оказались не учтены биологические аспекты. То есть сейчас речь идет о полном зрительном погружении, но когда появятся системы с погружением тактильным или проприоцептивным, снова возникнет путаница с терминологией. В связи с этим при внедрении технологий VR в медицину логично руководствоваться медицинскими понятиями, а не компьютерной и социальной терминологией. В связи с этим предлагается определение VR:

VR — это компьютерные технологии, которые замещают или искажают информацию от органов чувств, изменяют и анализируют ответные реакции организма, обеспечивая взаимодействие организма с создаваемой ВС.

Следуя из определения, при упоминании технологий VR в реабилитации нужно уточнять:

1. Какие именно компьютерные технологии:
 - описание программы по жанру, способу воздействия, визуальному представлению, количеству игроков, игровой платформе;
 - по дополнительным устройствам — какой шлем, платформа, сенсоры;
2. Какой уровень замещения сенсорной информации — полный или частичный;
3. На какую сенсорную модальность воздействует VR — визуальную, аудиальную, вестибулярную, проприоцептивную, тактильную и температурную, ольфакторную, вкусовую;
4. Сособы анализа ответных реакций организма — периферические сенсоры, системы отслеживания, гироскоп, акселерометр, датчик приближения, сенсорные перчатки, туфли или костюмы, система распознавания лица и эмоций и т.д.;
5. Какие ответные реакции организма корректируются:
 - эмоциональные — положительные/отрицательные, десенсибилизация;
 - когнитивные — внимание, исполнительные функции, память (зрительная и вербальная), пространственное ориентирование, скорость реакций и речи;
 - поведенческие — движения верхних и/или нижней конечностей, ходьба, поддержание позы, активность из повседневной жизни пациента и т.д.

Наличие систематизированного подхода при создании программ виртуальной реабилитации и четкое

понимание реакций организма, на которые оказывается воздействие позволит расширить арсенал конечных точек для будущих исследований с использованием как клинических шкал, так объективных нейрофизиологических методов. На данный момент большинство публикаций указывает на положительный эффект виртуальной реабилитации и некоторые отмечают превосходство виртуальной реабилитации над традиционными методами реабилитации [22]. Однако, несмотря на такие многообещающие данные, делать какие-либо окончательные выводы преждевременно, учитывая вышеописанную разнородность как в самих технологиях VR, так и в способах её доставки к пациенту. Кроме того, нужно учитывать имеющуюся тенденцию публиковать только исследования с положительными результатами, что не позволяет объективно оценить количество исследований, в которых результаты были не настолько выдающимися для виртуальной реабилитации. Также ограниченное количество рандомизированных контролируемых исследований, сравнивающих традиционные методы реабилитации и виртуальную реабилитацию. Это также сопряжено со сложностью обеспечения слепого контроля и тем более двойного слепого контроля для средств виртуальной реабилитации.

Существует также объективный факт, что технологии VR развиваются так стремительно, особенно в игровом сегменте, что учёные не успевают внедрить новое устройство в область медицины и тем более выполнить исследование его эффективности, когда появляются другие более совершенные и точные устройства. Например, когда в научной литературе только начинают появляться публикации о виртуальной реабилитации с применением первых моделей шлемов HTC, фирма анонсировала уже выход беспроводных шлемов с улучшенными техническими характеристиками, обеспечивающими более реальный опыт погружения и предполагаемыми меньшими нежелательными реакциями. Это также связано с правовыми препятствиями на внедрении новых технологий в медицинскую практику, что дополнительно сдерживает темпы развития новых технологий в этом сегменте. Остается открытым вопрос домашнего использования технологий VR с реабилитационной целью. Если учитывать темпы развития данных технологий с уменьшением размеров и стоимости шлемов VR, можно предполагать широкое распространение устройств VR среди населения в ближайшем будущем, что значительно упростит доставку программ виртуальной реабилитации домой к пациентам. Также среди специалистов обсуждается вопрос создания общих пространств VR для реабилитации, которые будут включать площадку больницы или альтернативные ресурсы, объединяющие как самих пациентов, так и их родственников и специалистов по реабилитации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Гермашова В.А. Понятие "виртуальная реальность" в философском знании // Вестник Ставропольского государственного университета. — 2009. — №5 — С. 215–221. [Germashova VA. Ponyatie "Virtual'naya real'nost'" v filosofskom znanii. *Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009;(5):215–221. (In Russ).]
2. Sharma A, Bajpai P, Singh S, et al. Virtual reality: blessings and risk assessment. *Indian J Sci Technol*. 2018;11(20):1–20. Doi: 10.17485/ijst/2018/v11i20/112577.
3. Gamito P, Oliveira J, Coelho C, et al. Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disabil Rehabil*. 2015;39(4):385–388. Doi: 10.3109/09638288.2014.934925.
4. Ferreira dos Santos L, Christ O, Mate K, et al. Movement visualisation in virtual reality rehabilitation of the lower limb: a systematic review. *BioMed Eng OnLine*. 2016;15(Suppl 3): 144. Doi: 10.1186/s12938-016-0289-4.
5. Schroeder R. Virtual world's research: past, present & future. *J Virtual Worlds Res*. 2008;1(1):2–3.
6. Судаков К.В. *Функциональные системы*. — М.: Издательство РАМН, 2011. [Sudakov KV. *Funktsionalnye sistemy*. Moscow: Izdatelstvo RAMN; 2011. (In Russ).]
7. Susi T, Backlund P, Johannesson M. *Serious games — an overview*. Technical report. University of Skövde; 2007. Report No. HS- IKI -TR-07-001.
8. Alvarez J, Djaouti D. *An introduction to serious game — definitions and concepts*. In: *Serious Games & Simulation for Risks Management*. Paris; 2011.
9. Rouse R. *Game design: theory & practice*. Plano, Texas, USA: Wordware Publishing; 2004. p. 660–698.
10. Valmaggia LR, Latif L, Kemptom MJ. Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems: a systematic review of recent evidence. *Psychiatry Res*. 2016;236:189–195. Doi: 10.1016/j.psychres.2016.01.015.
11. Diemer J, Alpers GW, Peperkorn HM. The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Front Psychol*. 2015;6:26. Doi: 10.3389/fpsyg.2015.00026.
12. Maheu MM, Drude KP, Wright SD. *Career paths in telemental health*. Switzerland: Springer International Publishing; 2017.
13. Peperkorn HM, Alpers GW, Mühlberger A. Triggers offear: perceptual cues versus conceptual information in spider phobia. *J Clin Psychol*. 2014;70(7):704–714. Doi: 10.1002/jclp.22057.
14. Botella C, Serrano B, Baños RM, et al. Virtual reality exposure-based therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder: a review of its efficacy, the adequacy of the treatment protocol, and its acceptability. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2015;11:2533–2545. Doi: 10.2147/NDT.S89542.
15. Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview. *J Neurosci Nurs*. 2019;51(2):101–105. Doi: 10.1097/JNN.0000000000000423.
16. Maggio MG, De Luca R, Molonia F, et al. Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: a narrative review on the emerging use of virtual reality. *J Clin Neurosci*. 2019;61:1–4. Doi: 10.1016/j.jocn.2018.12.020.
17. Maggio MG, Russo M, Cuzzola MF, et al. Virtual reality in multiple sclerosis rehabilitation: a review on cognitive and motor outcomes. *J Clin Neurosci*. 2019;65:106–111. Doi: 10.1016/j.jocn.2019.03.017.
18. Zanier ER, Zoerle T, Di Lernia D, et al. Virtual reality for traumatic brain injury. *Front Neurol*. 2018;9:345. Doi: 10.3389/fneur.2018.00345.
19. Aida J, Chau B, Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: a literature review. *NeuroRehabilitation*. 2018;42(4):441–448. Doi: 10.3233/NRE-172361.
20. Pedrolì E, Serino S, Cipresso P, et al. Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review. *Front Behav Neurosci*. 2015;9:226. Doi: 10.3389/fnbeh.2015.00226.
21. Tanaka T, Ifukube T, Sugihara S, et al. A case study of new assessment and training of unilateral spatial neglect in stroke patients: effect of visual image transformation and visual stimulation by using a head mounted display system. *J Neuroeng Rehabil*. 2010;16(7):20. Doi: 10.1186/1743-0003-7-20.
22. Howard MC. A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Comput Human Behav*. 2017;70:317–327. Doi: 10.1016/j.chb.2017.01.013.