

# ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

УДК 616

Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В.

ГБОУ ВПО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова», Москва, Россия

## VIRTUAL REALITY AT RECOVERY OF MOTION

Ivanova G.E., Skvortsov D.V., Klimov L.V.

«Russian national research medical university n.a. N.I. Pirogov», Moscow, Russia

### Введение

Сегодня для облегчения реабилитации пациентов предлагают использовать виртуальную реальность (VR) – интерфейс, позволяющий человеку взаимодействовать с компьютером и «погружаться» в создаваемую им среду, а также интерактивные видеоигры. С помощью компьютерных программ – симуляторов реальной жизни большие после инсульта могут практиковаться в выполнении различных действий, недоступных в условиях стационара. Кроме того, у VR и интерактивных видеоигр есть некоторые качества, мотивирующие пациентов и побуждающие их уделять занятиям больше времени. Некоторые уже известные коммерческие игровые приставки используются в клиниках Западной Европы и США (Pastor I., Hayes H.A., Bamberg S.J. 2012; Sin H., Lee G. 2013; Lloréns R. et al 2012; Neil A. et al 2013; Celinder D., Peoples H. 2012; Hijmans J.M. et al 2011), тем не менее, сведений об их эффективности пока недостаточно.

В целом, любые системы с VR, используемые для реабилитации можно разделить на две большие группы: системы с полным погружением и без погружения. В первом случае, визуально, а иногда и тактильно пациенту предъявляется только VR. Во втором – речь идёт о типичной игровой станции, т.е. компьютер, монитор, клавиатура, мышь, различные игровые манипуляторы. Соответственно, пациент существует в VR в трёх основных модальностях:

- Визуальная (основная);
- Аудиальная (дополнительная);
- Кинестетическая (пока в силу технических проблем присутствует редко).

Таким образом, из телевидения и компьютерных игр две основные модальности передачи информации от VR пациенту перешли в область реабилитации.

В настоящее время чаще всего используют следующие технические варианты виртуальной реальности:

1. Монитор компьютера, плазменная панель или панель 3D воспроизведения.
2. Комната виртуальной реальности, где изображение проецируется на несколько экранов, которые расположены вокруг пользователя, могут использоваться звуковые системы и поляризационные очки, которые обеспечивают стереоскопическое восприятие.
3. Шлем виртуальной реальности (HMD – head mounted display), соединенный с компьютером и устройством, отслеживающим положение головы.

При таком варианте использования, пользователь полностью погружается в виртуальную среду.

Все три варианта в зарубежной литературе рассматриваются, именно, как варианты VR. Для восприятия пациента все три варианта имеют разную ценность и результат восприятия. Монитор компьютера с его двухмерным или псевдо трёхмерным изображением является наиболее привычным и простым средством воспроизведения VR. Тем более, что современные мониторы всегда содержат и соответствующую звуковоспроизводящую аппаратуру, а реалистичность изображения приблизилась к натуральному. Это наиболее технически простой способ. В последние годы появились панели 3D воспроизведения, которые позволяют получить отдельные изображения для правого и левого глаза. Таким образом, возможно воспроизведение 3D контента. Собственно устройства такого типа можно разделить на два типа, по тому, как пользователь получает 3D изображение. Рассматривать изображение на экране непосредственно не имеет смысла. Необходимо использовать специальные очки, которые находятся в комплекте с устройством. Последние могут быть пассивного типа и активного. Пассивный тип – это очки с поляризационными стёклами, что позволяет получить отдельную картинку для правого и левого глаза. Активный тип – это тоже очки, но имеющие источник питания и синхронизирующую схему, которая позволяет с относительно высокой частотой предъявлять изображение только для левого и только для правого глаза. Но, данная частота в современных устройствах составляет 50 Гц, что не очень много и может привести к утомлению глаз. В этом отношении устройства, работающие с пассивным типом очков представляются более привлекательными.

Комната виртуальной реальности является наиболее впечатляющим воображение и затратным средством (рисунок 1). Фактически, это помещение, в центре которого находится пациент, а переднебоковые части его занимают проекционные экраны, закрывающие, в идеале, около 180 градусов поля зрения. Это могут быть три и более плоских экрана, соединённые в одну систему или один, представляющий полуокружность в плане. На экраны посредством нескольких проекторов подаётся синхронизированное изображение, какого либо пейзажа или другой виртуальной среды. Вот в ней и происходят действия, которыми управляет



**Рис. 1.** Помещение виртуальной реальности Motek Medical.

пациент с помощью движений своего тела или внешних устройств. В качестве последних могут выступать динамометрические платформы, беговые дорожки или другие приборы и устройства. Однако, системы данного типа пока не претендуют на массовость в силу своей высокой стоимости и необходимости выделения помещения большой площади. Существуют и более компактные устройства для специализированных задач, которые могут быть установлены в помещении обычного для клиники размера.

Преимущества таких устройств в том, что противопознания со стороны состояния центральной нервной системы или зрительного анализатора, в данном случае, минимальны. По прошествии небольшого времени тренировки, происходящее на экране, начинает восприниматься, как реальное. При наличии квалифицированного персонала, такие системы способны работать с высоким эффектом. Регистрирующие движения видеокамеры и соответствующее программное обеспечение позволяет проводить подробный анализ особенностей движения пациента.

HMD – устройство наиболее точно соответствующее задаче создания виртуального пространства (рисунок 2). При использовании таких устройств пользователь видит только виртуальную среду, что позволяет потенциально создать эффект присутствия. Однако, технически HMD остаются недостаточно совершенными. Даже лучшие образцы имеют пока среднюю разрешающую способность микромониторов. Поэтому качество изображения не достигает уровня телевизионного. Далеко не все конструкции имеют регулировку межзрачкового расстояния, что, на самом деле, важно для реализации стереоэффекта. Ещё один существенный момент – HMD устройства, как правило, не имеют датчика поворота

головы. При этом датчик должен иметь три степени регистрации вращения головы: повороты, наклоны в сторону, наклоны вперёд-назад. Почему это необходимо? Человек, находясь в виртуальной среде, т.е. с работающим HMD, установленным на голову, неизбежно производит различные повороты и перемещения головы. В любом состоянии здоровья эти повороты регистрируются и анализируются несколькими сенсорными системами. Как минимум, вестибулярной и проприоцептивной. Таким образом, если виртуальная среда, которую видит пользователь в HMD не имеет пропорционального управления, связанного с поворотами головы, то развивается ситуация сенсорного конфликта. Например, при повороте головы проприорецептивный и вестибулярный аппарат регистрируют и амплитуду, и угловую скорость поворота, момент остановки и другие параметры. В то же самое время, зрительный анализатор ничего подобного не обнаруживает. Последствия очевидны – ощущение головокружения, тошноты и другие реакции. Поскольку собственные сенсорные системы позволяют человеку регистрировать повороты головы в пространстве с высокой точностью, то регистрирующий прибор, применяемый совместно с HMD должен обладать сравнимой точностью. Это же относится и к алгоритму визуализации виртуальной среды.

В результате, из имеющихся HMD для реабилитационных задач подходит 2–3 модели.

Таким образом, из трёх существующих вариантов воспроизведения VR наиболее простым и доступным является применение компьютерного монитора или телевизионных панелей. Несмотря на то, что они дают первично двухмерное изображение, последнее является привычным, как экран телевизора. Этот вариант имеет так же и минимальные ограничения (например, эпилепсия в анамнезе). Устройства 3D воспроизведения, в этом отношении являются более уязвимыми. Различная патология зрения может сделать невозможным для пациента применение таких устройств: существенно отличная рефракция слева и справа, односторонний некорригируемый астигматизм, косоглазие, ограничение полей зрения и другая патология, препятствующая получению стереоскопического изображения.

Комната виртуальной реальности по своим ограничениям приближается к простому компьютерному монитору. Но, в этом случае поле зрения существенно больше. С точки зрения реалистичности такая вирту-



**Рис. 2.** Комплекс восстановления двигательной функции с использованием шлема виртуальной реальности (компания Neurocor).

альная среда принимается на сознательном и подсознательном уровне, практически на таких же «правах», как и окружающая действительность. Пожалуй, успешную конкуренцию такому варианту в настоящее время представляют 3D панели большого формата с диагональю 40 и более дюймов. При расположении их в непосредственной близости от глаз пациента (порядка одного метра) данные устройства перекрывают значительное поле зрения, а получаемый стереоскопический эффект, наличие глубины пространства, вполне может быть более привлекательным и для пациента и для врача.

HMD устройства, наиболее полно воспроизводят эффект ВР, но пока недостаточно совершенны. Кроме этого, как сами устройства, так и программный пакет ВР должны иметь интерфейс точной регистрации поворотов головы. Точность здесь играет не последнюю роль, поскольку при отсутствии точности регистрации поворотов головы неизбежно будет развиваться ситуация сенсорного конфликта. Другой технический аспект – при точной регистрации поворотов головы и учёта этого поворота в ВР необходима синхронизация данных процессов регистрации поворотов и соответствующей коррекции ВР в реальном режиме времени. В противном случае, мы будем иметь тот же сенсорный конфликт. Данные требования ставят разработчиков реабилитационных устройств с использованием HMD в очень жёсткие рамки. Однако, примеры успешных решений имеются, в том числе и на отечественной почве.

Отмечено, что наиболее эффективно виртуальная реальность может быть использована в любых процессах, связанных с обучением. Восстановление утраченных функций – это так же процесс обучения. Это связано со следующими аспектами:

1. Виртуальная среда позволяет наглядно визуализировать процессы, которые сложно представить, опираясь только на теоретические знания.
2. Негативные последствия от ошибок в условиях обучения минимальны. Это повышает самостоятельность и уверенность обучающихся.
3. Занятия, в которых используется виртуальная реальность, способны высоко мотивировать обучающегося.
4. Возможность использования у людей с ограниченными возможностями.
5. Технология виртуальной реальности позволяет осуществлять полный контроль за вниманием наблюдателя.

Системы виртуальной реальности становятся востребованными в силу их высокой привлекательности для больных. Именно эта технология позволяет успешно симулировать различные задачи, которые встречаются пациенту в его повседневной жизни [Adamovich S.V. et al 2009; Merians A.S. et al 2002].

В настоящее время классифицировать системы ВР можно следующим образом:

ВР состоит из:

1. Виртуальной среды (ВС).
2. Аппаратных средств отображения ВС.
3. Аппаратных средств регистрации поворотов головы (для шлемов ВР).
4. Аппаратных средств управления (регистрации физиологических параметров).
5. Программных средств управления и построения БОС.

Основные тенденции использования ВР в медицине:

- Системы врачебные (в лечебных учреждениях).

- Системы пациентов изолированные (используются на дому).
- Системы пациентов сетевые.

Сетевые системы стали разрабатываться совсем недавно (Holden M.K. et al 2007). Данная система предназначена для восстановления движений в верхней конечности после перенесённого церебрального инсульта. Разработана теле-система, позволяющая проводить реабилитацию под контролем врача.

По игровым задачам используются следующие игровые среды:

- Бытовые игры (чаще – симуляторы).
- Специальные игры.
- Специальные среды 3D.

Бытовые игры использовать напрямую для пациентов со значительными дефектами двигательной функции не представляется возможным. Тем более со стандартными игровыми манипуляторами. Скажем, джойстик не получится применить для управления игрой с помощью поражённой нижней конечности. Но в паре со специальными устройствами, адаптированными для управления больным человеком бытовые игры использовать становится, возможно. Бытовые игры привлекательны тем, что, во первых, они вообще уже имеются, у них, как правило, хорошая графика, а некоторые имеют и 3D контент. Поэтому попытки использовать их для реабилитации будут продолжаться. Это самый бюджетный вариант. Однако, по мере накопления опыта стало очевидно, что решить все реабилитационные задачи посредством игровых симуляторов, предназначенных для здоровых людей не представляется возможным. К примеру, один из существенных параметров – скорость реакции или латентное время от получения стимула до получения ответа. В симуляторах это время ориентировано на здорового человека. Больному, у которого латентное время в разы больше с такими симуляторами работать не представляется возможным.

Именно по этому стали разрабатываться специальные ВС, ориентированные на возможности пациента. Поэтому для бытовых симуляторов остаётся ниша пациентов с функциональными показателями близкими к норме.

Специальные среды 3D, включающие игровые ситуации и различные двигательные задачи для пациента начали разрабатываться относительно недавно, когда появилась техническая возможность их воспроизведения. По определению, 3D контент является наиболее реалистичным и адекватно воспринимаемым.

По используемым датчикам движения можно классифицировать применяемые системы следующим образом:

- Без датчиков (используется только клавиатура и компьютерная мышь).
- Бытовые датчики:
  - Джойстик.
  - Манипуляторы игровых систем.
  - Универсальные игровые манипуляторы (Nintendo wii, Xbox, Kinect...).
  - CyberClove.
- Специальные датчики (инерционные Trust-M, XSens, Myomotion и другие).
- Видеосистемы.

Применение в качестве устройств ввода стандартной клавиатуры или мыши, в настоящее время встретить трудно. Работа с такими устройствами может вестись только посредством пальцев и кисти, что уже

существенно ограничивает возможное применение. То же самое можно сказать и про манипуляторы игровых систем и популярный манипулятор типа джойстик. Все устройства не адаптированы для пациентов с функциональными двигательными ограничениями. Все они так же ориентированы только на работу пальцами и кистью.

Универсальные игровые манипуляторы, которые появились в последние годы позволяют выполнять управление игрой не только посредством пальцев и кисти, а любым сегментом тела. Данный подход позволяет значительно расширить возможности использования игровых симуляторов или специализированных игр для восстановления движений в отдельных сегментах тела и конечностях. Однако, на сегодняшний день, большинство таких игровых приложений работают с обычными бытовыми локомоциями, которые успешно воспроизводимы относительно сохраненными пациентами, у которых отсутствует грубая двигательная патология. Это так же связано с тем, что технически данные манипуляторы хорошо справляются с амплитудными движениями, преимущественно дистальных сегментов конечностей.

Манипулятор в виде перчатки CyberClove – практически готовое устройство, но ориентированное только на развитие движений пальцев кисти. В связи с этим применение данного устройства так же ограничивается соответствующей патологией.

Последние десятилетия для регистрации движений стала применяться новая технология – инерционные сенсоры (Fitzgerald D. et al; 2008). В настоящее время их технические характеристики позволяют регистрировать движения, практически любого типа от очень медленных, до быстрых, рывковых. Что не маловажно, применение, например, двух таких сенсоров позволяет регистрировать движения в любом крупном суставе тела в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях. Это уже недоступно средствами, которые рассматривались выше. То же самое возможно для отделов позвоночника. Особенно хорошо регистрируются движения в двух наиболее подвижных отделах поясничном и шейном (Кочетков А.В. с соавт.; 2013). Таким образом, становится возможным избирательное восстановление не только определённых движений, но и в определённой амплитуде и временном алгоритме. Данный тип сенсоров имеет наиболее высокий потенциал развития в реабилитационных системах с ВР (Fitzgerald D. et al; 2007–2008; Churko J.M. et al; 2009; Paolini G. et al; 2013).

Это же доступно и видеосистемам. Видеорегистрация движений стала, в настоящее время, золотым стандартом. Видеосистемы так же применяются для регистрации движений в реальном масштабе времени. Однако, технически это самый дорогой и сложный способ. У видеосистем имеется и ещё одна особенность. Применяемые маркеры на теле человека – это пассивные светоотражающие шарики. Если в процессе тренировки траектории двух маркеров на разных сегментах тела пересекаются, то имеющиеся алгоритмы распознавания не всегда способны правильно отличить, какой из маркеров, где находится после пересечения. В режиме off line это может сделать человек – оператор. Но в режиме on line, а именно только такой режим может быть применён в течение сессии – это невозможно. Остаётся надеяться только на грамотность алгоритма. Правда, чем большее количество регистрирующих видеокамер, тем меньше вероятность ошибок в распознавании маркеров, т.к. они определяются разными

камерами и в поле зрения далеко не каждой камеры они пересекаются. Оптические системы с активными маркерами для этих целей пока не применяются. В этом типе систем проблема распознавания маркера решена на техническом уровне.

В целом, по нашему мнению, использование для целей, надо сказать прямо, тренировки с биологической обратной связью (БОС) видеосистем, даже в их современном техническом состоянии вряд ли можно признать оправданным. Они достаточно сложны технически и в применении. Вполне возможно, что разработка таких систем началась в то время, когда ещё технология инерционных сенсоров не вышла из лабораторной стадии, и им не было альтернативы. Тем не менее, нельзя не признать, что именно видеосистемы позволяют получить полную пространственную картину движения, что позволяет решать ряд научных задач.

С 2011 года активно используется термин – «виртуальное зеркало» (Kurillo G. et al; 2011) – то есть ВР, где пациент активно включён в происходящее. Это достаточно удачное образное понятие. Тем более, что клиницисты знакомы с методиками применения обычного зеркала для восстановления движений у больных после перенесённого инсульта.

Рецензенты Кокрановского сотрудничества задались целью достоверно определить, насколько эффективна ВР как метод реабилитации постинсультных больных. Изучены регистры испытаний Кокрановской инсультной группы, Кокрановский центральный регистр испытаний, MEDLINE, Embase и ещё 7 дополнительных баз данных, а также материалы конференций, библиографические списки; при необходимости дополнительную информацию запрашивали у авторов исследований и производителей соответствующей аппаратуры.

В 19 рандомизированных и квазирандомизированных клинических испытаниях (n=565) использовали широкий спектр программ и видеоигр, в основном требующих незначительной физической активности (например подвигать джойстик). 7 исследований (n=205) были посвящены сравнению эффективности использования ВР и традиционной реабилитационной терапии в постинсультный период. Все они подтвердили, что применение ВР приводит к лучшему восстановлению функций верхних конечностей (стандартизованная разность средних (СРС) 0,53; 95% доверительный интервал (ДИ) 0,25–0,81). Предметом изучения 3 исследований было сравнение эффективности ВР и традиционной терапии в отношении скорости ходьбы, однако в этом плане не получено убедительных доказательств преимущества ВР. Согласно результатам 3 других исследований (n=101), применение ВР оказалось немного более эффективным в отношении прогресса повседневных навыков, таких как одевание, водные процедуры (СРС 0,81; 95% ДИ 0,39–1,22). Все эти положительные эффекты выявлены сразу после окончания лечения, и пока неясно, насколько длительными они окажутся. Прочие исследования не продемонстрировали убедительных результатов.

В целом полученные данные следует интерпретировать с осторожностью, поскольку исследования включали небольшое количество участников, при этом большинство из них были относительно молодого возраста. Крайне малое число пациентов, использующих ВР, предъявляли жалобы на головную боль и/или головокружение; не было ни одного сообщения о серьезных побочных эффектах.

Таким образом, выявлены доказательства того, что использование ВР может быть полезным для улучшения функции верхних конечностей, а также для развития повседневных навыков у больных после инсульта. Однако для того чтобы сделать окончательные выводы касательно функции нижних конечностей и скорости ходьбы, данных недостаточно. Кроме того, пока неясно, какие именно характеристики ВР наиболее важны для реабилитации пациентов в постинсультный период; также неизвестно, насколько устойчивы достигнутые с помощью ВР положительные эффекты. Рецензенты Кокрановского сотрудничества полагают, что исследования в этом направлении окажутся очень перспективными (Laver K.E. et al; 2011).

Авторы (Crosbie J.H. et al; 2006–2012) – провели анализ различных систем ВР для восстановления движений в верхней конечности после инсульта. Исследование показало, что для получения достоверных результатов необходима существенно более большая группа исследуемых. На исследуемой группе в 17 человек (резидуальный период заболевания) существенных изменений в результате ВР и сравнения её с традиционной терапией не было обнаружено. Только два пациента показали достоверное улучшение. Для оценки функции верхней конечности использовался Motricity Index и Action Research Arm Test. [Crosbie J.H. et al; 2006; Crosbie J.H. et al; 2012].

В другом исследовании [Edmans J. et al 2009] не было получено убедительных данных об эффективном использовании ВР в реабилитации больных с нарушением движений в верхней конечности.

Таким образом, существующие данные об эффективности ВР у больных после перенесённого церебрального инсульта являются недостаточными и

противоречивыми. Кроме этого, мы не обнаружили исследований, посвящённых острому периоду инсульта и восстановлению базовых осевых движений головы и туловища.

БОС и ВР в двигательной реабилитации применяются относительно недавно. До определённого момента БОС тренировка двигательной функции не рассматривалась по той причине, что движение считалось самоочевидной функцией. После основных работ, посвящённых анализу движений человека (Бернштейн Н.А. 1935; Inman V.T., Ralston H.J., Told F. 1981; Murray M.P. 1967; Winter D.A., 1988; Скворцов Д.В., 2007; Скворцов Д.В., с соавт.; 2013) прошло не одно десятилетие, когда миф о самоочевидности двигательной функции был развеян. По своей сути ВР не используется сама по себе. ВР можно рассматривать, как вариант БОС тренировки с применением специфических средств. При этом, «погружение» в ВР играет существенную роль в повышении мотивации пациента к тренировке. Игровой контент значительно легче воспринимается на эмоциональном уровне, чем монотонные упражнения, где основная мотивация – необходимость. На начальных этапах пациент может быть двигателью абсолютно успешен в ВР, что так же имеет высокий психологический аспект. Новизна ощущений пациента так же является одним из факторов повышения мотивации. Возможность проводить в ВР избирательную тренировку отдельных двигательных навыков так же повышает эффективность реабилитации в целом. Большинство систем с ВР, предназначенных для БОС тренировки позволяют проводить и первичную оценку выбранной двигательной функции, что играет существенную роль в формировании функционального подхода к восстановительному лечению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Pastor I., Hayes H.A., Bamberg S.J. A feasibility study of an upper limb rehabilitation system using Kinect and computer games. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012; 2012: 1286-9. Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. – SLACK Incorporated, 1992. – 524 p.
- Sin H., Lee G. Additional virtual reality training using Xbox Kinect in stroke survivors with hemiplegia. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013 Oct; 92 (10): 871–80.
- Lloréns R., Alcañiz M., Colomer C., Navarro M.D. Balance recovery through virtual stepping exercises using Kinect skeleton tracking: a follow-up study with chronic stroke patients. *Stud Health Technol Inform.* 2012; 181: 108–12.
- Celinder D., Peoples H. Stroke patients' experiences with Wii Sports® during inpatient rehabilitation. *Scand J Occup Ther.* 2012 Sep; 19(5): 457–63.
- Hijmans J.M., Hale L.A., Satherley J.A., McMillan N.J., King M.J. Bilateral upper-limb rehabilitation after stroke using a movement-based game controller. *J Rehabil Res Dev.* 2011; 48 (8): 1005–13.
- Adamovich S., Merians A., Boian R., Tremaine M., Burdea G., Recce M., Poizner H: A virtual reality based exercise system for hand rehabilitation post-stroke: transfer to function. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004, 7: 4936–4939.
- Merians A.S., Jack D., Boian R., Tremaine M., Burdea G.C., Adamovich S.V., Recce M., Poizner H. et al 2002 – *Phys. Ther.* 2002 Sep; 82 (9): 898–915. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke.
- Holden M.K., Dyar T.A., Dayan-Cimadoro L. – 2007 – Telerehabilitation using a virtual environment improves upper extremity function in patients with stroke. *Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15 (1): 36–42.
- Fitzgerald D., Trakarnatanakul N., Dunne L., Smyth B., Caulfield B. Development and user evaluation of a virtual rehabilitation system for wobble board balance training. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008; 2008: 4194–8.
- Кочетков А.В., Митьковский В.Г., Кочунева О.Я., Журавлев И.А., Поляев Б.А., Скворцов Д.В. Движения в шейном отделе позвоночника в норме и у больных с хронической дорсопатией. *Лечебная физкультура и спортивная медицина*, 2013, №5, с 4–8.
- Fitzgerald D., Foody J., Kelly D., Ward T., Markham C., McDonald J., Caulfield B. Development of a wearable motion capture suit and virtual reality biofeedback system for the instruction and analysis of sports rehabilitation exercises. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007; 2007: 4870–4.
- Churko J.M., Mehr A., Linassi A., Dinh A. Sensor evaluation for tracking upper extremity prosthesis movements in a virtual environment. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2009; 2009: 2392–5.
- Laver K.E., George S., Thomas S., Deutsch J.E., Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2011, Issue 9. Art. No.: CD008349.
- Crosbie J.H., Lennon S., McNeill M.D., McDonough S.M. Virtual reality in the rehabilitation of the upper limb after stroke: the user's perspective. *Cyberpsychol Behav.* 2006 Apr; 9 (2): 137–41.
- Crosbie J.H., Lennon S., McGoldrick M.C., McNeill M.D., McDonough S.M. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil.* 2012 Sep; 26 (9): 798–806.
- Бернштейн Н.А. Исследование по биодинамике локомоций. Книга первая. – М.: Изд. ВИЭМ, 1935. – 244 с.
- Inman V.T., Ralston H.J., Told F. *Human Walking.* – Baltimore: Williams & Wilkins, 1981. – 154 p.
- Murray M.P. Gait as a total pattern of movement // *Am. J. Physical Med.* – 1967. – Vol. 46, №1. – P. 290–333.
- Winter D.A. *The biomechanics and motor control of human gait.* – Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press, 1988.
- Edmans J., Gladman J., Hilton D., Walker M., Sunderland A., Cobb S., Pridmore T., Скворцов Д.В. – Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. Москва, Т.М. Андреева, 2007, 617 с.
- Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными методами. *Вестник восстановительной медицины.* №5, 2013, с. 74–78.

## REFERENCES:

1. Pastor I., Hayes H.A., Bamberg S.J. A feasibility study of an upper limb rehabilitation system using Kinect and computer games. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:1286-9. Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. – SLACK Incorporated, 1992. – 524 p.
2. Sin H., Lee G. Additional virtual reality training using Xbox Kinect in stroke survivors with hemiplegia. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013 Oct;92(10):871-80.
3. Lloréns R., Alcañiz M., Colomer C., Navarro M.D. Balance recovery through virtual stepping exercises using Kinect skeleton tracking: a follow-up study with chronic stroke patients. *Stud Health Technol Inform.* 2012; 181: 108–12.
4. Celinder D., Peoples H. Stroke patients' experiences with Wii Sports® during inpatient rehabilitation. *Scand J Occup Ther.* 2012 Sep;19(5):457-63.
5. Hijmans J.M., Hale L.A., Satherley J.A., McMillan N.J., King M.J. Bilateral upper-limb rehabilitation after stroke using a movement-based game controller. *J Rehabil Res Dev.* 2011; 48 (8): 1005–13.
6. Adamovich S., Merians A., Boian R., Tremaine M., Burdea G., Recce M., Poizner H: A virtual reality based exercise system for hand rehabilitation post-stroke: transfer to function. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004, 7: 4936–4939.
7. Merians A.S., Jack D., Boian R., Tremaine M., Burdea G.C., Adamovich S.V., Recce M., Poizner H. et al 2002 –Phys. Ther. 2002 Sep;82(9):898-915. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke.
8. Holden M.K., Dyar T.A., Dayan-Cimadoro L. – 2007 – Telerehabilitation using a virtual environment improves upper extremity function in patients with stroke. *Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(1): 36 – 42.
9. Fitzgerald D., Trakarnatanakul N., Dunne L., Smyth B., Caulfield B. Development and user evaluation of a virtual rehabilitation system for wobble board balance training. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008; 2008: 4194–8.
10. Kochetkov A.V., Mit'kovskij V.G., Kochuneva O.Ja., Zhuravlev I.A., Poljaev B.A., Skvorcov D.V. Dvizhenija v shejnom otdel pozvonocznika v norme i u bol'nyh s hronicheskoj dorsopatiej. *Lechebnaja fizkul'tura i sportivnaja medicina*, 2013, №5, s 4–8.
11. Fitzgerald D., Foody J., Kelly D., Ward T., Markham C., McDonald J., Caulfield B. Development of a wearable motion capture suit and virtual reality biofeedback system for the instruction and analysis of sports rehabilitation exercises. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007;2007:4870-4.
12. Churko J.M., Mehr A., Linassi A., Dinh A. Sensor evaluation for tracking upper extremity prosthesis movements in a virtual environment. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2009; 2009: 2392-5.
13. Laver K.E., George S., Thomas S. Deutsch J.E., Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2011, Issue 9. Art. No.: CD008349.
14. Crosbie J.H., Lennon S., McNeill M.D., McDonough S.M. Virtual reality in the rehabilitation of the upper limb after stroke: the user's perspective. *Cyberpsychol Behav.* 2006 Apr; 9 (2): 137–41.
15. Crosbie J.H., Lennon S., McGoldrick M.C., McNeill M.D., McDonough S.M. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil.* 2012 Sep; 26 (9): 798–806 .
16. Bernshtejn N.A. Issledovanie po biodinamike lokomocij. Kniga pervaja. – M.: Izd. VIJeM, 1935. – 244 s.
17. Inman V.T., Ralston H.J., Told F. Human Walking. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1981. – 154 p.
18. Murray M.P. Gait as a total pattern of movement // *Am. J. Physical Med.* – 1967. – Vol.46, N1. – P. 290–333.
19. Winter D.A. The biomechanics and motor control of human gait. – Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press, 1988.
20. Edmans J., Gladman J., Hilton D., Walker M., Sunderland A., Cobb S., Pridmore T.,
21. Skvorcov D.V. – Diagnostika dvigatel'noj patologii instrumental'nymi metodami: analiz pohodki, stabilometrija. Moskva, T.M. Andreeva, 2007, 617 s.
22. Skvorcov D.V., Ivanova G.E., Poljaev B.A., Stahovskaja L.V. Diagnostika i testirovanie dvigatel'noj patologii instrumental'nymi sredstvami. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny.* №5, 2013, s. 74–78.

## РЕЗЮМЕ

Работа посвящена применению виртуальной реальности (ВР) в реабилитации больных с двигательной патологией. Сделана попытка системного рассмотрения и, прежде всего, классификации видов ВР, средств ВР и методов применения ВР в клинической практике. Проведён анализ эффективности применения ВР у больных с различной двигательной патологией с целью реабилитации в доступной литературе. Имеющиеся данные противоречивы и не позволяют сделать однозначных выводов. Однако, перспективность ВР в реабилитации не вызывает сомнений.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, реабилитация, нарушение двигательной функции.

## ABSTRACT

Virtual reality (VR) is coming to be a convenient tool for training patients with motion pathology. The term of VR obviously is using to mark different type of devices and methods. In this time the VR could be call any system from computer's game to complicate 3D environment. Therefore in this paper we had tried to suggest some classification of VR which is possible to use for clinical tasks. Another goal was to estimate clinical effectiveness of VR system at rehabilitation patients with different motion pathology. At available literature the data on this matter were controversial.

**Keywords:** virtual reality, rehabilitation, motion pathology.

## Контакты:

Скворцов Д.В. Email: dskvorts63@mail.ru