

# ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

*К.И. Устинова, А.С. Клочков, Л.А. Черникова*

### 7.1. Значение виртуальной реальности в восстановлении движений

Виртуальная реальность — это генерированная с помощью анимационных компьютерных программ и отображаемая на экране окружающая среда, внешнее пространство, максимально приближенное к действительному. Очень близкое по своим свойствам к кино и телевидению виртуальная действительность имеет некоторые отличительные особенности. Ключевым компонентом этой технологии является возможность человека взаимодействовать с виртуальной средой. Погруженный в виртуальное пространство, он может участвовать в виртуальных событиях, например, перемещаться, манипулировать с виртуальными предметами и даже наблюдать свои действия со стороны в качестве постороннего зрителя.

Начавшаяся с использования простых компьютерных игр в начале 90-х годов прошлого столетия, виртуальная реальность достигла того уровня развития, когда эффективность ее использования в нейрореабилитации уже ни у кого не вызывает сомнений. Некоторый позитивный опыт ее применения накоплен и продолжает пополняться стремительными темпами.

Виртуальная реальность — это прежде всего игра. Но несмотря на всю, казалось бы, несерьезность использования игр в реабилитации больных, данный метод основан на фундаментальных механизмах физиологии движения.

Согласно идеям активного переобучения [Carr J., Shepherd R. A., 1982; Woollacott M.H., Shumway-Cook A., 1990], для того чтобы восстановление функций происходило успешно и в минимальные сроки, физическая реабилитация должна отвечать следующим требованиям. Во-первых, больному необходимо тренироваться в среде, максимально приближенной к реальной. Во-вторых, поскольку обучение

выполнению движений в основном происходит путем проб и ошибок, больной должен иметь возможность осознать свои ошибки, чтобы затем успешно корректировать выполнение движения. Другими словами, пациенту обязательно предоставляется объективная информация о ходе и качестве выполнения задания. И в-третьих, больной должен хотеть быть активно вовлеченным в процесс. Используя традиционные методы физиотерапии, например, лечебную гимнастику, не всегда удается сочетать все три предпосылки активного обучения больного двигательным навыкам. В этом отношении виртуальная реальность с ее возможностями моделировать практически любое пространство, предъявлять практически не ограниченную обратную связь и высокомотивационными игровыми заданиями способна восполнить недостающие компоненты успешной реабилитационной программы.

Виртуальная реальность со своими уникальными возможностями воспроизводит практически любую среду и предъявляет дополнительную обратную связь, сигнализирующую об ошибках, зарекомендовала себя чрезвычайно эффективной в отношении переноса обучения двигательных навыков [Rose F.D. et al., 1997]. Кроме того, было показано, что параметры движения, выполняемого в реальном пространстве, не сильно отличаются от таковых, регистрируемых в виртуальной среде [Viau A. et al., 2004]. Анализируя попытку достигнуть и затем захватить мячик в реальной среде и в виртуальном двухмерном пространстве, авторы не обнаружили сколь-либо значимых отличий в движениях.

## 7.2. Технологии виртуальной реальности

На сегодняшний день различные системы позволяют генерировать виртуальное пространство. Пространство как правило создается с помощью различных анимационных компьютерных программ, отображается на экране компьютера, телевизора или вмонтированного в шлем дисплея и предъявляется человеку в реальном времени. Причем для того чтобы усилить эффект реальности, изображение на экране может сопровождаться различными звуковыми эффектами и запахами. Дополнительное применение вестибулярных и проприоцептивных стимулов также усиливает ощущение реального присутствия. Так, например, виртуальный сюжет может предъявляться человеку во время стояния на подвижной опоре или ходьбы по бегущей дорожке.

Технологии отличаются друг от друга по степени погружения человека в виртуальную реальность. Возможность наблюдать свои собственные действия в первом лице, а также полное исключение из поля зрения любой другой информации, не относящейся к виртуальному сюжету, создает у человека ощущение полного присутствия в нем. Напротив, взаимодействие с виртуальной средой, отображаемой на экране небольшого компьютерного монитора посредством компьютерного джойстика или мыши, не исключает возможность улавливать с помощью периферического зрения события, происходящие в реальной действительности. Это в свою очередь снижает ощущения реальности виртуальных событий. Учитывая многообразие технологий, генерирующих виртуальную реальность, чрезвычайно важно выбрать метод, который будет отвечать целям и задачам реабилитации в каждом конкретном случае.

Условно способы отображения виртуального пространства можно подразделить на генерирующие изображение на плоском экране и транслирующие его через вмонтированные в шлем дисплеи или выпукло-вогнутые поверхности. На плоский экран изображение обычно проецируется в стереоформате. Стереοизображение на экране двухслойное и воспринимается через специальные стереοочки. Особенностью таких стереοочков является наличие специальных фильтров, позволяющих разделять картинку для левого и правого глаза. Так, один глаз воспринимает изображение через горизонтальный фильтр, в то время как другой глаз через вертикальный. Используя бинокулярное зрение, мозг соединяет оба изображения в одно, что создает иллюзию его объемности, известной как стереοэффект.

Объемность изображения — немаловажный, но не единственный фактор, создающий ощущение реальности. Окружающая нас среда не остается неподвижной, она постоянно изменяет свое положение по отношению к нам. Чтобы восприниматься реальным, виртуальное пространство должно видоизменяться или перемещаться, не оставаясь статичной картинкой на экране. Так, например, у человека, стоящего на подвижной опоре-качалке и наблюдающего движение лодки на экране через стереοочки, создается иллюзия его собственного стояния на палубе качающейся лодки [Hausbeck C.J. et al., 2009] (рис. 7.1).



**Рис. 7.1.** Испытуемый, стоящий на подвижной опоре и наблюдающий движение лодки на экране, ощущает себя стоящим на реальной палубе

Величина изображения также влияет на создание эффекта присутствия. Чем больше изображение и чем ближе оно по своим размерам к действительному, тем реальнее кажется виртуальный сюжет. И, естественно, виртуальное изображение не должно конфликтовать с реальным. Для обеспечения полного ощущения погружения в виртуальное пространство окружающая, реальная среда должна быть исключена из поля зрения человека.

Такого эффекта, к сожалению, не всегда удастся достигнуть, проецируя изображение на плоские телеэкраны, поскольку периферическим зрением удается воспринимать пространство, не связанное с отображаемым на экране. Чтобы вос-

полнить данный технологический недостаток, в реабилитационном институте университета Иллинойс в Чикаго была создана система, позволяющая отображать виртуальный сюжет на стены и пол специального отведенного помещения, смонтированного в форме пещеры (CAVE, [http://en.wikipedia.org/wiki/Cave\\_automatic\\_virtual\\_environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment)) (рис. 7.2). Стены и пол этой комнаты представляют собой вогнутые проекционные экраны. Изображение проецируется в стереоформате на стены и пол через систему зеркал. Через стереочки человек, находящийся внутри такой комнаты, может видеть реальные объекты, плывущие в воздухе, может перемещаться между ними, обходить их. Несколько человек могут одновременно помещаться внутри такой комнаты.



**Рис. 7.2.** Комната с проецируемыми на стены и пол изображениями виртуального пространства CAVE. Разработана в Реабилитационном институте университета Иллинойс, Чикаго

Проекция изображения на жидкокристаллические дисплеи, смонтированные в специальный шлем или очки и соединенные с компьютером, также обеспечивает практически полное погружение в виртуальную среду. В этом случае оба глаза видят различные картинку, и, комбинированные воедино, они создают ощущение объемного мира.

Подобные шлемы или очки могут различаться по своим техническим характеристикам, в частности по частоте передачи изображения и ширине охвата поля зрения. Чем выше упомянутые показатели, тем реальнее ощущения. Как известно, зрительный анализатор нормального человека может одновременно воспринимать информацию в горизонтальном поле зрения около  $180^\circ$ . К сожалению, большинство систем не могут обеспечить такую ширину охвата, которая, как правило, ограничивается  $50\text{--}120^\circ$ , что в свою очередь является некоторым лимитирующим фактором использования данной технологии. Отличаются шлемы и очки также и по весу. Вес может достигать 2,5 кг, что затрудняет использование такого оборудования у больных с ригидностью мышц шеи, поскольку ношение подобного шлема может вызвать неприятные ощущения и, более того, усилить мышечный тонус.

Наряду с недостатками смонтированные в шлем дисплеи имеют и ряд преимуществ. К ним относится абсолютно неограниченная свобода перемещений человека,

в отличие от плоскостных экранов. Однако подобное преимущество предъявляет дополнительные требования к техническому обеспечению виртуальной реальности, проецируемой с помощью данной техники. Перемещаясь в реальном пространстве, мы воспринимаем все предметы, окружающие нас, как неподвижные. Изображение стабилизируется на сетчатке глаза во время движений головы при ходьбе или каких-либо других перемещениях. Физиологически это обеспечивается вестибуло-окулярным рефлексом, координирующим движения глаз и головы во время медленных перемещений [Goldberg M.E., Hudspeth A.J., 2000].

К сожалению, вестибуло-окулярный рефлекс не может вызываться естественным путем в виртуальном пространстве, генерируемом через вмонтированные в шлем дисплеи. Изображение, передаваемое через дисплей, следует движению головы. Так, например, виртуальная комната будет поворачиваться в одном и том же направлении с человеком, поворачивающим голову.

Чтобы имитировать вестибуло-окулярный рефлекс и воссоздать ощущение реальности, движение головы регистрируется с помощью различных сенсоров (магнитных, оптических и др.) и информация передается на принимающее устройство. На основе данной информации изображение на дисплеях меняет свое положение, движется в направлении противоположном движению головы [Ustinova K. et al., 2007] (рис. 7.3). Чрезвычайно важно в таких случаях, чтобы смещения головы и изображения координировались точно во времени и совпадали по амплитуде и направлению движения. В противном случае человек может ощущать дискомфорт, головокружение, боль в глазах и тошноту.



**Рис. 7.3.** Шлем с вмонтированными дисплеями для проекции виртуального коридора. Модель ProView™ XL35, выпускаемая компанией Rockwell Collins (<http://www.rockwellcollins.com>)

Следующая группа систем, предлагающих погружение в виртуальную реальность, отличается коренным образом от вышеупомянутых. Эти системы с помощью обычной видеокamеры регистрируют образ человека, затем выделяют его из общего фона и помещают в виртуальное пространство на экране компьютера или телевизора. Как правило, камера располагается непосредственно над широкоформатным

экраном. Такое расположение позволяет производить съемку человека, стоящего или сидящего перед камерой, и проецировать его изображение на экран, где как раз и разворачивается виртуальный сюжет с его собственным участием. Помещенный в виртуальное пространство человек может наблюдать свои действия в качестве третьего лица в зеркальном отображении, а также манипулировать виртуальными предметами. Например, жонглируя виртуальными мячами или ловя виртуальных птиц, человек имеет возможность постоянно получать информацию о степени успешности выполнения задания.

Подобные системы начали создаваться в середине 1990-х годов. Пионерами в этой области были корпорации Reality Fusion's Game Cam и Intel's Me2Cam Virtual Game System. Они предложили видеоигры, использующие недорогие веб-камеры.

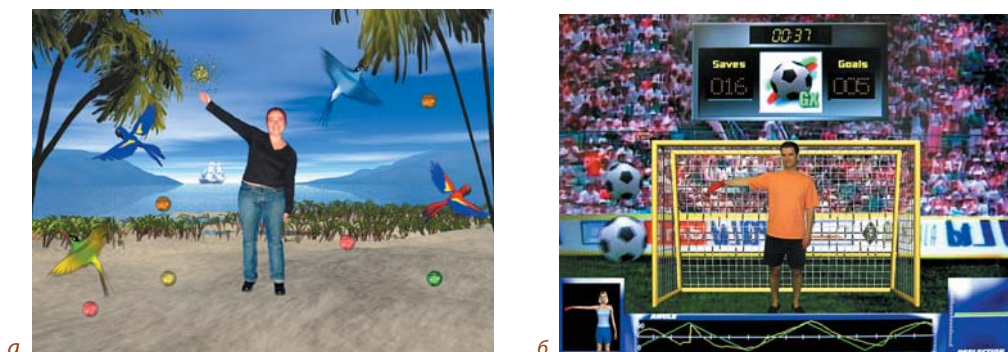
Позже корпорация Sony выпустила знаменитую серию игр Eye Toy, воспроизводимых с помощью игровой приставки PlayStation II. Эти игры позволяют проецировать изображение на экран обычного телевизора и быть участником увлекательнейших игровых сюжетов. Создавая Eye Toy, корпорация Sony определенно не рассчитывала на то, что эти игры могут использоваться в нейрореабилитации. Игры создавались в основном для детей и молодых людей, чья подвижность позволяет выполнять интенсивные движения всего тела, например, имитировать движения борьбы кунг фу, бокса или баскетбола. Поэтому даже простейший уровень заданий, предлагаемый этой игрушкой, может быть практически невыполним для больных с тяжелыми повреждениями двигательных и сенсорных функций. Вместе с тем использование Eye Toy-приставки для реабилитации больных со средними и легкими двигательными нарушениями может быть эффективным [Rand D. et al., 2008; Yavuzer G. et al., 2008].

У других компаний, специализирующихся на создании видеоигр и игровых консолей, также имеются аналогичные решения. Игровая консоль Nintendo Wii, предложенная международной компанией Nintendo Co., Ltd. (Япония) (<https://www.nintendo.ru/index.html>), для управления использует контроллер Wii Remote, особенностью которого является детектор движения, позволяющий игрокам управлять персонажами игры и предметами на экране движением руки или «указывая» на объекты, отображаемые на экране. Данная обратная связь обеспечивается работой акселерометра и светочувствительной матрицы. Помимо этого, к контроллеру можно подключать различные дополнительные устройства, расширяя его возможности. Специальный сенсор Nintendo Wii MotionPlus, кроме акселерометра, содержит гироскоп Камертона, позволяющий захватывать более сложные движения в 3D-пространстве, в том числе вращательные. Также используется платформа Wii Balance Board, позволяющая измерять вес и положение центра тяжести игрока.

Для данной консоли была выпущена целая серия спортивных игр, в том числе и Wii Fit, которая является виртуальным тренажерным залом и содержит 40 упражнений из четырех категорий: аэробика, физические упражнения, йога и игры, улучшающие равновесие.

Набор игр, использующих те же принципы, но адаптированный к возможностям людей с ограниченными двигательными функциями, был позже предложен компанией VIVID Gesture Extreme. Компания разработала специальную приставку с набором игр для использования в реабилитации, известную как IREX/Interactive Rehabilitation Exercises (<http://www.irexonline.com>) (рис. 7.4). Их отличает простота установки и возможность регулировать степень сложности выполнения задания

в соответствии с функциональными возможностями больных. Так, например, больные могут участвовать в игре, находясь в положении сидя, стоя или даже лежа. К недостаткам VIVID IREX-системы можно отнести ее достаточно высокую стоимость по сравнению с аналогичными игрушками EyeToy и Nintendo Wii.



**Рис. 7.4.** Виртуальные игры «Птицы и Мячи» (а) и «Футбол» (б) разработанные компанией Gesture Tech IREX для использования в реабилитации ([http://www.gesturetekhealth.com/pdfs/irex\\_productsheet.pdf](http://www.gesturetekhealth.com/pdfs/irex_productsheet.pdf))

Одним из существенных ограничений виртуальной реальности, базирующейся на видеосъемке, считается также двухмерность изображения. Системы, использующие только одну камеру, не способны передать всю объемность и трехмерность пространства. Иными словами, картинка, возникающая на экране, плоская, и любые движения, совершаемые, например, в переднезаднем направлении, не учитываются. Кроме того, подобные системы отображают участника на экране зеркально, что, например, не может не вызывать некоторого дискомфорта и дискоординации у больных с нарушениями пространственной ориентации (см. рис. 7.4).

Чтобы преодолеть неестественность наблюдения себя самого, да еще и со стороны, участнику может демонстрироваться только часть его тела, например, рука во время выполнения каких-нибудь манипуляций. Причем картинка проецируется на экран в ракурсе, максимально приближенном к реальному. Таким образом участник получает возможность зрительно контролировать движения своей руки.

Как правило, для визуализации действий руки используются специальные приспособления. Примером такого приспособления может служить кибернетическая перчатка (*Cyber Glove*) (<http://www.vrealities.com/cyber.html>). Перчатка изготовлена из эластичного материала и в зависимости от модели может иметь от 18 до 22 вшитых внутрь сенсоров (рис. 7.5). Сенсоры позволяют с достаточной степенью точности регистрировать движения пальцев во всех суставах в трех направлениях. Полученные данные обрабатываются и на их основании движение кисти воспроизводятся в реальном времени на экране. Поскольку для координированных движений в кисти необходима также проприоцептивная информация, очень часто перчатки используются в сочетании с дополнительными устройствами, джойстиком или же силовыми сенсорами, регистрирующими давление пальцев на предмет. Таким образом участник имеет возможность не только наблюдать движения рук в виртуальном пространстве, но и ощущать предмет, которым он манипулирует тактильно и контролировать свои усилия.



**Рис. 7.5.** Кибернетическая перчатка (Cyber Glove) (<http://www.vrealities.com/cyber.html>)

Огромным шагом в развитии виртуальной реабилитации стала разработка компанией Microsoft сенсора Kinect для игровой приставки Xbox 360 в 2012 г. [Raavola J.M. et al., 2013]. Kinect-сенсор имеет две камеры, что позволяет регистрировать движения в трехмерном пространстве и составлять игровые задания, учитывая трехмерность движений человека. Помимо выпуска игровой приставки и сенсора, Microsoft Kinect обеспечил нелимитированный бесплатный доступ к программному обеспечению для всех желающих. Таким образом, сенсор и программное обеспечение может использоваться для создания индивидуальных игровых сценариев, учитывающих специфику двигательных нарушений больного. Следующий рисунок иллюстрирует серию игровых заданий, созданных для восстановления координации у больных после черепно-мозговой травмы [Ustinova K.I. et al., 2014] (рис. 7.6). Сидя или стоя перед экраном телевизора, больной выполняет движения, демонстрируемые аватаром (анимационным героем), пытается избежать столкновения с виртуальным препятствием (фонарным столбом) или схватить виртуальный объект (плывущую рыбу).



**Рис. 7.6.** Серия интерактивных игр, разработанных для больных с черепно-мозговой травмой

Таким образом, виртуальная реальность существует во всем своем многообразии и, несмотря на свою молодость, в качестве реабилитационной технологии может удовлетворить практически любые требования восстановления двигательных, сенсорных и функциональных нарушений у больных в клинике нервных болезней.



### 7.3. Восстановление позы и равновесия с помощью виртуальной реальности

Несмотря на то что виртуальная реальность сравнительно недавно стала использоваться для реабилитации больных с неврологическими нарушениями, достаточно большой опыт уже накоплен в этой области. Наиболее интенсивно этот метод используется в настоящее время для восстановления позной устойчивости у больных.

Как известно, успешное сохранение устойчивости тела во время стояния, ходьбы и любых других перемещений требует интеграции информации, поступающей от трех основных сенсорных систем — зрительной, проприоцептивной и вестибулярной [Gurfinkel V.S., Levik Yu.S., 1979]. Участие каждой из трех систем в обеспечение позной устойчивости в основном зависит от особенностей выполняемого задания и окружающей среды [Jeka J.J., Lackner J.R., 1994; Куо A.D. et al., 1998]. Так, например, при спокойном стоянии человек в основном полагается на информацию, поступающую от мышечных и суставных рецепторов нижних конечностей. Однако доля проприоцепции в общем объеме сенсорной информации увеличивается при стоянии в плохо освещенном помещении. Напротив, проприоцептивная чувствительность снижается во время стояния на не твердой поверхности, например, на куске поролона, и, сохраняя равновесие, человек в основном полагается на зрение. Подобная способность нашего мозга перераспределять сенсорную информацию позволяет сохранять устойчивость вертикальной позы в условиях недостаточности функционирования одной из сенсорных систем, что нередко сопровождается заболеваниями ЦНС [Horak F.B. et al., 1990].

Более серьезные нарушения позной устойчивости возникают в случае, когда информация, поступающая из различных сенсорных источников, неточная и противоречит друг другу [Keshner E.A., Kenyon R.V., 2004]. Так, например, конфликт между двумя сенсорными системами может возникать у человека во время стояния с запрокинутой назад головой. В этом случае вестибулярные рецепторы сигнализируют о том, что тело человека находится в положении лежа, тогда как проприоцепция сообщает о его вертикальном положении. Наиболее часто сенсорные конфликты возникают с участием зрения. Как правило, большие движущиеся объекты, попадающие в поле зрения человека, создают иллюзию собственного движения. Например, стоя на остановке и наблюдая автобус, трогаящийся с места, человек непроизвольно ощущает свое тело какдвигающееся в противоположном направлении. Чтобы «не упасть», он начинает корректировать положение тела, в чем нет абсолютно никакой необходимости, и тем самым нарушает устойчивость. Как долго подобная дестабилизация может продолжаться, зависит от того, насколько быстро мозг осознает, какой из сенсорных источников предоставляет наиболее точную информацию о положении тела в пространстве [Keshner E.A. et al., 2004].

У больных с повреждением сенсорных и ассоциативных зон мозга способность исключать зрение и корректировать позную устойчивость, полагаясь на внутреннее (проприоцептивные и вестибулярные) сенсорные сигналы, как правило, нарушена [Di Fabio R.P., Badke M.B., 1991; Bronstein A.M., 1995; Marigold D.S. et al., 2004]. Это может быть связано как с общим сенсорным дефицитом, так и с нарушением способности мозга интерпретировать и интегрировать полученную сенсорную информацию. Как результат сенсорный конфликт может вызвать у больных потерю

равновесия и даже спровоцировать падение со всеми вытекающими неприятными последствиями.

Было показано, что помещение больного в виртуальное пространство с конфликтующими сенсорными входами является эффективным способом улучшить сенсорную адаптацию, необходимую для сохранения равновесия. Так, E.A. Keshner, R.V. Kenyon (2004) тренировали больного с вестибулярными нарушениями сохранять равновесие, стоя на перемещающейся стабиллоплатформе. Смещение платформы вперед и назад сопровождалось изменением положения виртуального пространства в медиолатеральных направлениях. После нескольких повторений способность больного сохранять равновесие, нарушаемое поступающей конфликтной информацией, улучшилось.

Другим серьезным испытанием устойчивости у таких пациентов служат произвольные движения, выполняемые в момент поддержания вертикальной позы [Slijper H. et al., 2002; Garland S.J. et al., 2003]. Известно, что основное количество падений больных происходит в момент выполнения ими бытовых операций, как, например, попытка достать какой-нибудь предмет с верхней полки на кухне, завязывания шнурков обуви, перемещений в ванной комнате и др. Было показано, что использование виртуальных игр, разработанных группой VIVID IREX, помогает восстанавливать такого рода дефицит у пациентов с постинсультными гемипарезами и повреждениями спинного и головного мозга [Kizony R. et al., 2005; Thornton M. et al., 2005]. Больные тренировались сохранять равновесие во время манипуляции с виртуальными предметами, например, отбивая виртуальные мячи или ловя виртуальных птиц. Причем больные с грубыми двигательными нарушениями в результате травмы спинного мозга выполняли задание, сидя в инвалидном кресле. У всех участников терапии с использованием виртуальных игр достоверно улучшились показатели стабильности. Кроме того, у них отмечались повышенная мотивация, заинтересованность и желание увеличить количество процедур, что немаловажно для реабилитации такого рода больных.

Потенциально эффективным для восстановления устойчивости вертикальной позы также может быть использование виртуального велотренажера или горнолыжного спуска. В первом случае человек, сидящий на велотренажере, видит велосипедную трассу на дисплее, вмонтированном в шлем, и таким образом ощущает себя едущим по трассе со всеми возможными поворотами и неожиданными изменениями пути. Эта система использовалась в основном для тренировки здоровых испытуемых [Kim N.G. et al., 1999]. Но поскольку велотренажер закреплен в фиксированном положении и обеспечивает надлежащий уровень безопасности, эта система может быть также использована для улучшения равновесия у больных с различными проявлениями позного дефицита.

Виртуальные игры VIVID IREX также предлагают почувствовать себя горнолыжником, спускающимся с горы на сноуборде [Sveistrup H., 2004]. Участник этой игры должен, изменяя направление движения, успешно уворачиваться от столкновения с неожиданными препятствиями, проезжать между деревьями, встречающимися на трассе. Хотя данная игра не была испытана в реабилитации больных с неврологическими нарушениями, она вполне может рассматриваться как потенциальный метод тренировки равновесия у больных с незначительными двигательными нарушениями.

В обзоре G. Barry и соавт. (2014) были проанализированы результаты применения игровых систем, основанных на воспроизведении различных упражнений для тренировки, в том числе и баланса, в реабилитации больных с болезнью Паркинсона. Для анализа было отобрано только 7 исследований, из них в 6 использовалась игровая система Nintendo Wii fit platform и в одном — Sony Playstation Eye Toy. Только одна работа являлась рандомизированным контролируемым исследованием.

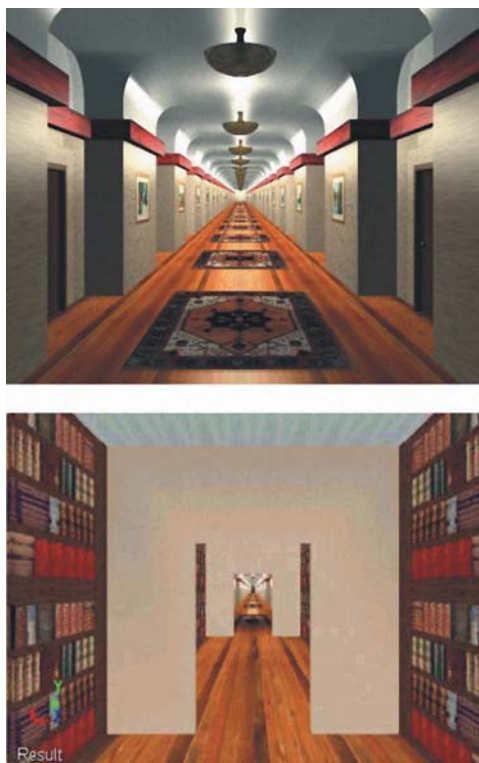
Авторы обзора отмечают, что у большинства больных с болезнью Паркинсона особых затруднений в применении этих игр не наблюдалось, вместе с тем в одном из 7 исследований больные испытывали трудности при выполнении быстрых и комплексных игровых заданий. В 6 из 7 исследований было показано, что применение игровых систем способствует улучшению постуральной устойчивости (по клинической оценке) и уменьшению выраженности двигательных симптомов. Результаты единственного рандомизированного контролируемого исследования [Pompreu J.E. et al., 2012] показали, что как применение компьютерных игр, так и традиционной тренировки баланса в одинаковой степени улучшают двигательный статус больных по оценке шкалы UPDRS II, баланс в положении стоя, когнитивные функции, и что это улучшение наблюдается и через 60 дней после окончания тренинга. В заключение обзора авторы делают вывод о возможности применения игровых систем при болезни Паркинсона, однако считают, что необходимы дальнейшие исследования для установления их безопасности и клинической эффективности, особенно в домашних условиях.

#### **7.4. Восстановление локомоции с помощью виртуальной реальности**

В последнее время виртуальные технологии все интенсивнее начинают использоваться для восстановления ходьбы. Типичными проявлениями нарушений ходьбы у больных с неврологическими нарушениями являются ее замедление, асимметрия, потеря устойчивости во время перемещений по неровной поверхности и на поворотах, а также задержка с инициацией и остановкой [Knutsson E., Richards C., 1979; Olney S.J. et al., 1994].

Как известно, ходьба человека — комплексный сенсорно-моторный акт, в котором поток оптической информации является основным источником, формирующим наши внутренние представления о направлении и скорости перемещения в пространстве [Harris J.M., Bonas W., 2002]. В случае, когда оптический поток не соответствует проприоцептивной информации, параметры ходьбы произвольно перенастраиваются двигательными центрами мозга [Pailhoux J. et al., 1990]. Используя этот механизм, у пациентов с постинсультными гемипарезами тренировали ходьбу в виртуальном пространстве [Lamontagne A. et al., 2007]. Больные шагали по бегущей дорожке с произвольной, удобной для них скоростью. На дисплее, смонтированном в шлем, проецировалось изображение виртуального коридора, который расширялся, имитируя изменения оптической информации во время ходьбы (рис. 7.7).

Изначально виртуальный коридор двигался со скоростью, соответствующей скорости движения больного, создавая у него полную иллюзию передвижения по коридору. Изменение ускорения или замедление движения коридора влекло за со-

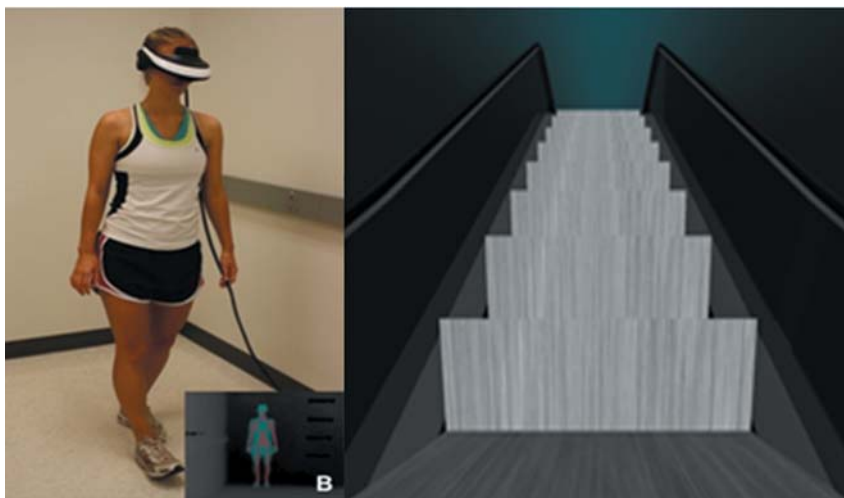


**Рис. 7.7.** Виртуальный коридор для тренировки навыков ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами

бой непроизвольное изменение скорости ходьбы испытуемого. Таким образом, манипулируя потоком оптической информации на экране дисплея, удавалось влиять, в основном увеличивать скорость ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами.

Аналогично изменение скорости движения виртуального эскалатора влекло уменьшение или увеличение латентного периода инициации шага у молодых и пожилых испытуемых [Koptelova P.O. et al., 2013] (рис. 7.8). Данный метод может быть использован для восстановления навыков ходьбы у больных и с другими неврологическими нарушениями.

Похожий метод использовался также для облегчения начала ходьбы у людей с болезнью Паркинсона. Как известно, у таких больных возникает проблема с возобновлением движения после остановки, известная как симптом «замораживания» (*freezing*) [Marsden C.D., 1990; Stelmach G., Phillips J.G., 1992]. Трудности с продолжением движения также могут возникнуть при прохождении через узкий дверной проем, выполнении поворота или обходе препятствий. Хотя механизм возникновения подобного дефицита у больных с болезнью Паркинсона до сих пор не известен, некоторые данные говорят о том, что одной из причин может быть нарушение способности к интеграции сенсорной информации [Georgiou N. et al., 1993]. Не случайно предъявление больному дополнительного визуального стимула в виде, например, нанесенной разметки на пол может облегчить инициацию ходьбы



**Рис. 7.8.** Виртуальный эскалатор для тренировки навыков ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами

[Jiang Y., Norman K.E., 2006]. Принимая это во внимание, были сделаны некоторые попытки использовать виртуальный коридор для облегчения начала ходьбы у больных. В частности, было показано, что большинство больных начало движение значительно быстрее в движущемся коридоре по сравнению со стационарным. Таким образом, можно говорить о положительном опыте применения виртуальной реальности при тренировке ходьбы у больных с болезнью Паркинсона.

В работе М.С. Moreira и соавт. (2013) были проанализированы результаты применения технологии виртуальной реальности для тренировки локомоции у больных, перенесших инсульт. Из огромного количества источников, посвященной этой проблеме, были отобраны и проанализированы только четыре работы, в которых было показано, что применение виртуальной реальности способствует изменению параметров ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами. При этом работы отличались между собой как по применяемым протоколам, так и по клинической характеристике больных, и их количеству.

Таким образом, анализ проведенных исследований показывает, что виртуальная реальность является перспективным методом для улучшения походки больных с инсультом. Тем не менее для подтверждения эффективности виртуальной реальности в тренировке ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами требуются дальнейшие исследования с привлечением объективных методов анализа движений и, прежде всего, локомоции.

## **7.5. Восстановление движений руки с помощью виртуальной реальности**

Типичные функции руки, которые нарушаются у больных с различными заболеваниями мозга, — это способность достигнуть объект, манипулировать им, а также координировать движения двух рук. Причины подобных нарушений могут быть

различные, но прежде всего включают мышечную слабость, изменения координации движений в суставах и последовательности включения различных групп мышц [Bourbonnais D. et al., 1989, 1992; Cirstea M.C., Levin M.F., 2000]. В силу того, что объем движений в руке может быть и недостаточен, чтобы дотянуться до какого-нибудь объекта, больной может компенсировать недостающее расстояние за счет дополнительного включения корпуса [Levin M.F. et al., 2002]. Кроме того, больные со спастическими парезами в кисти испытывают трудности при дозировании мышечного усилия, например при сгибании пальцев.

Также чрезвычайно трудной операцией для больных является разгибание (разжатие) пальцев, после того как предмет был схвачен и удерживался в руке некоторое время [Trombly S.A. et al., 1986].

Несмотря на то что при восстановлении нарушений двигательных функций руки традиционная физическая реабилитация вряд ли может быть заменена виртуальной терапией, некоторый положительный опыт использования последней уже накоплен. Так, в одном из исследований больные с хроническими постинсультными гемипарезами тренировались попадать указательным пальцем в виртуальную мишень [Subramanian S. et al., 2007]. Виртуальная мишень представляла собой шесть кнопок (3,6 × 6 см каждая), расположенных в два ряда и имитирующую панель с кнопками в лифте. По команде больной должен был точно попасть в одну из кнопок, каждая из которых имела свой номер. Больные тренировались 30 мин ежедневно в течение 10 дней. По окончании курса терапии у больных улучшилась точность движения и объем движений в локтевом суставе. Похожие результаты были получены L. Pignon и соавт. (2001). Используя виртуальную реальность, авторы тренировали больных с постинсультными гемипарезами складывать виртуальные конверты в виртуальный почтовый ящик. По окончании курса терапии у больных увеличилась скорость движения руки.

Известно, что неспособность больного выполнить намеченное движение рукой влечет за собой формирование компенсаторных двигательных синергий. Например, будучи не в состоянии достаточно согнуть руку в плече, для того чтобы дотянуться до объекта, больной может использовать дополнительное отведение в плече [Cirstea M.C., Levin M.F., 2000]. Чтобы предотвратить формирование устойчивых двигательных компенсаций, мешающих в конечном итоге восстановлению нормального движения, M.K. Holden и соавт. (2007) использовали виртуальную реальность. Во время выполнения движения рукой больному предлагалось следовать оптимальной траектории, которая демонстрировалась на экране. Причем больной имел возможность синхронизировать свои движения как с движущейся конечной траекторией, так и с движением виртуальной руки на экране. По окончании курса терапии у некоторых больных были отмечены значительные улучшения двигательных функций руки.

В Научном центре неврологии была выполнена работа по изучению эффекта двигательного обучения с применением технологий виртуальной реальности у 47 пациентов с постинсультным парезом руки. Для тренировки движений в среде виртуальной реальности использовалась аппаратура PlayStation II, цифровая видеокамера и анимационная игровая программа Eye Toy PlayStation-3 (Sony). Во время тренинга имитировалась игра в боулинг. Тренировка проводилась по 20–30 мин 5 р/нед. в течение 10 дней. Игра была направлена на тренировку скорости и точности

движения, в основном в проксимальном отделе руки. Для оценки эффекта обучения применялись клинические шкалы *Motor Assessment Scale (MAS)*, *Modified Ashworth scale of muscle spasticity*, *Barthel Index* и *Modified Mini-Mental State Exam* и биомеханическое исследование с помощью электромагнитной системы *Mini Birds* (Ascension Technology Corporation, USA). Выявлены уменьшение степени пареза не только в проксимальных, но и в дистальных отделах руки, повышение точности движения, убавление кривизны траектории и времени планирования движения, а также снижение степени выраженности сгибательной синергии в локте при выполнении движения «достижение цели» [Черникова Л.А. и др., 2011].

В одном из последних обзоров E. Pietrzak и соавт. (2014), посвященных анализу эффективности применения различных игровых приставок, основанных на технологии виртуальной реальности, в реабилитации больных, перенесших инсульт, было показано, что применение игровых систем, таких как *Nintendo Wii*, *Eye Toy PlayStation* and *CyWee Z*, способствует увеличению объема движений в суставах, улучшает функциональные возможности руки, повышает силу точностного хвата и ловкость в руке у пациентов, перенесших инсульт, при этом наиболее эффективной оказалась игровая система *Nintendo Wii*. Тем не менее авторы обзора делают вывод, что в настоящее время доказательств того, что использование видеоигр в реабилитации улучшает функциональные способности руки после инсульта, явно недостаточно. Вместе с тем использование видеоигр в реабилитации имеет большой потенциал, поскольку может обеспечить доступность и приемлемость восстановительной терапии в условиях, когда доступ к лечению ограничен географическими или финансовыми ограничениями.

## **7.6. Восстановление бытовых навыков с помощью виртуальной реальности**

Целью физической реабилитации неврологических больных является восстановление не только отдельных движений, но и бытовых навыков. Этот аспект реабилитации учитывался при создании виртуального гастронома на базе *VIVID IREX*-платформы [Weiss P.L. et al., 2004].

Как известно, поход в магазин и выполнение бытовых операций, связанных с выбором, покупкой, складыванием купленных (или отобранных) товаров в корзину и др. сопряжено с некоторыми трудностями у больных с двигательными нарушениями в результате неврологических заболеваний. Причем трудности могут быть различного характера, начинающиеся с неспособности выполнять все вышеперечисленные операции и заканчивающиеся потенциальной возможностью потерять равновесие и упасть в процессе выполнения бытовых движений. Виртуальный гастроном был создан специально для тренировки больных в условиях, сопряженных с минимальным риском падений. Погруженный в реальность виртуального гастронома, больной мог перемещаться между рядами, заставленными полками с различными товарами, выбирать различные продукты согласно заранее определенному списку, снимать вещи с полок, рассматривать, класть их в корзину или возвращать на место.

Осуществление таких бытовых операций преследовало сразу несколько целей. Во-первых, выполнение данного задания стимулировало восстановление когнитив-

ных функций. Больной должен был делать выбор, принимать решение, планировать свои действия. Во-вторых, перемещаясь между полками с продуктами и, что немало важно, доставая продукты с самых дальних полок, больной тренировал устойчивость вертикальной позы. Успешность выполнения задания оценивалась по количеству набранных баллов, начисляемых за каждый правильно выбранный продукт. В дополнение также учитывалась скорость выполнения задания.

Исследования показали, что использование виртуального магазина в реабилитации больных с постинсультными гемипарезами позволило существенно улучшить выполнение ими бытовых операций [Rand D. et al., 2007]. Вдохновленные полученными результатами, создатели виртуального гастронома не остановились на достигнутом и скоро планируют выпустить виртуальную прачечную и другие имитирующие реальные учреждения игры.

Бытовые функции также тренировались с помощью игр, не предназначенных специально для нейрореабилитации. Например, компьютерная игра *Wishy Washy* (Sony's EyeToy), предлагающая участникам вымыть виртуальные окна, позволила улучшить не только бытовые навыки, но и устойчивость вертикальной позы у пожилых людей [Rand D. et al., 2004]. Некоторые бытовые навыки также могут практиковаться больными с использованием набора виртуальных операций, предлагаемых компанией Ascension (<http://www.ascension-tech.com/applications/virtual.php>). Примерами таких виртуальных операций могут служить управление штурвалом самолета, манипуляции с инструментами и мн. др. Хотя на сегодняшний день нет достаточной информации о положительном опыте использования этих игр в нейрореабилитации, применение может быть успешным.

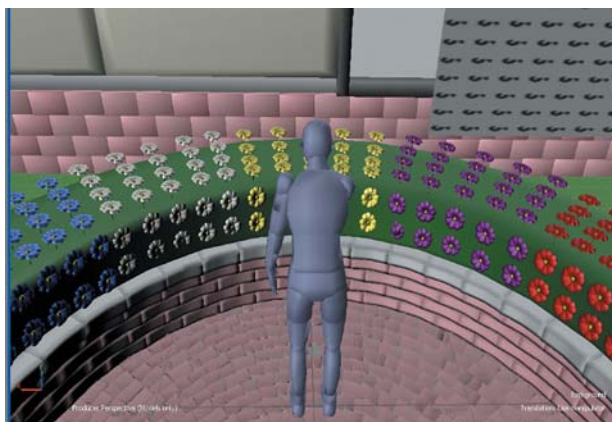
## 7.7. Оценка двигательных нарушений с помощью виртуальной реальности

Большинство технологий виртуальной реальности были разработаны для тренировки и восстановления у больных различных двигательных и бытовых навыков. Однако данные технологии с равной долей успешности могут быть использованы и для оценки двигательных нарушений.

Не секрет, что некоторые из широко применяемых клинических тестов, созданных для оценки нарушений функций больного, не отвечают требованиям как таковым. Примером может служить *Functional Reach Test* [Duncan P.W. et al., 1990]. Тест используется для оценки способности больного сохранять равновесие в момент выполнения произвольного движения рукой. Больному предлагается стоя в положении боком к стене поднять руку до уровня плеча и пытаться дотянуться этой рукой как можно дальше, не сходя с места и не отрывая стоп от пола. Оценивается расстояние, на которое сместилась кисть руки, и чем оно больше, тем устойчивее больной.

При всей своей простоте и изначальной идее быть функциональным тест имеет одно ограничение. Трудно найти пример в реальной жизни, когда человеку приходится выполнять подобное движение, не имеющее конечной целью достижение какого-либо предмета и последующую манипуляцию с ним. А поскольку все наши движения определяются конечной целью, амплитуда движения, предполагающего захват какого-либо объекта, может существенно отличаться от амплитуды движения, преследующего лишь абстрактную цель вытянуть руку как можно дальше.





**Рис. 7.9.** Испытуемый, пытающийся дотянуться до виртуального цветка (рисунок предоставлен К.И. Устиновой, Центральный Мичиганский университет)

Принимая это во внимание, было создано изображение виртуальной клумбы с цветами, чтобы оценивать способность больных с постинсультными гемипарезами достигать максимально удаленные цветы. Цветы расположены в несколько рядов по периметру клумбы, выполненной в форме полукруга. Изображение клумбы проецируется на экран, и во время выполнения задания испытуемый имеет возможность наблюдать свои действия со стороны. Больной инструктируется достигать максимально удаленный цветок в переднем, боковом и диагональном направлениях без потери равновесия. Сравнение движений, выполняемых в виртуальном и реальном пространствах, показало, что способность выполнять этот тест в реальном пространстве снижена у больных с последствиями черепно-мозговой травмы, но, что немаловажно, существенно увеличивается в виртуальной среде [Schafer A.Y., Ustinova K.I., 2013] (рис. 7.9). Данный факт позволяет надеяться, что со временем Functional Reach Test может быть использован в нейрореабилитации.

## 7.8. Многоцелевые реабилитационные системы виртуальной реальности

Концепция современных систем виртуальной реальности подразумевает использование систем виртуальной реальности в качестве виртуальной среды для двигательных тренировок, которую специалист может настроить согласно выполняемым пациентом упражнениям. К примеру, система Nirvana (<http://www.keleanz.ru/catalog/65/195/>) представляет собой безмаркерную интерактивную систему виртуальной реальности. Проецируемое на горизонтальную или вертикальную поверхность изображение реагирует на движения пациента, регистрируемые с помощью инфракрасных камер. Помимо абстрактных изображений (листья, вода и т.д.), Nirvana может проецировать изображения, подразумевающие конкретные действия с ними (например, струны, клавиши фортепиано). Пациент может взаимодействовать с виртуальной средой естественным образом, двигаясь на фоне спроецированных изображений.

Помимо нескольких режимов и возрастающих уровней сложности, каждое задание определяется множественными обратными сенсорными связями: в сравнении с традиционным терапевтическим подходом пациент получает мощные когнитивные и моторные стимулы, что повышает его мотивацию к исполнению более сложных и комплексных упражнений. Упражнения могут быть различных типов: перцептивные, направленные на восприятие окружающей среды, направленные на достижение цели (следовать за животным или идти по линии и т.д.), моторные (событие происходит при пересечении пациентом какого-либо объекта) или игровые (футбол, воздушные шары и т.д.). Таким образом, с помощью системы Nirvana можно осуществлять тренировку локомоции, равновесия, движения рук и их координацию. Однако из-за стоимости и сложности монтажа использование данной системы возможно только в условиях стационара.

В то же время развивающиеся технологии виртуальной реальности становятся все более доступными, а использование игровых консолей в качестве подобных систем позволяет пациенту продолжать тренировки в домашних условиях. Такой системой является программа NeuroAtHome (<http://www.neuroathome.net/>), которая использует инфракрасную камеру Microsoft Kinect для распознавания движений. Виртуальная среда может быть отображена как на большом экране с помощью проектора, так и на ноутбуке или домашнем телевизоре, в том числе с функцией 3D. В виртуальной среде отображаются как упражнения в игровой форме, так и функциональные упражнения в виртуальном зале лечебной физкультуры.

NeuroAtHome позволяет тренировать навык равновесия стоя, сидя на кресле или кровати, движения в руках или ногах, шаговые движения и одновременные движения в руках и ногах, в том числе движения с последующей статичной нагрузкой. Доступны также когнитивные упражнения, управления в которых осуществляются с помощью движений руки.

Уникальностью подобной системы является пластичность, инструктор или врач может настроить имеющиеся упражнения индивидуально под пациента. С помощью программного обеспечения пациент может продолжать тренироваться по созданной для него программе, находясь дома. Данные о домашних тренировках, переданные через сеть Интернет врачу, позволяют отслеживать правильность выполнения упражнений и при необходимости корректировать программу тренировок. Компактность системы может варьироваться и быть установленной на ноутбук или даже планшетный компьютер.

## **7.9. Интеграция виртуальной реальности с другими реабилитационными и диагностическими системами**

Множество реабилитационных методик и технологий в последнее время развиваются не только в качестве самостоятельных методик, но и как интегрируемые в более комплексные реабилитационные системы.

Все большее количество реабилитационных систем использует технологии виртуальной реальности для повышения мотивации пациента, визуализации расширенной обратной связи, а также повышения разнообразности тренировок, что особенно важно, учитывая длительные сроки тренировок. Одним из наиболее до-

ступных способов интеграции виртуальной реальности является отображение на экране виртуальной среды с видом от первого лица, в то время как движения «экрана» и отображаемая картинка зависят от активности пациента во время тренировок. Наиболее востребованным данный симбиоз технологий является у пациентов, нуждающихся в восстановлении навыка ходьбы и моторики руки.

Для восстановления способности больного дозировать мышечное усилие во время удерживания предмета так же, как и во время разжатия пальцев, комбинация виртуальной реальности и вспомогательных технологий была предложена реабилитационным институтом Чикаго. Подобный двигательный дефицит у больных с постинсультными гемипарезами в основном возникает по причине повышенного тонуса (спастичности) мышц-сгибателей кисти и слабостью мышц-разгибателей.

Кибернетическая перчатка была успешно совмещена с пневматическим ортезом для кисти [Luo X. et al., 2005]. Сидящий на стуле и наблюдающий виртуальное пространство через дисплей, вмонтированный в шлем, больной должен был захватить виртуальную баночку из-под кока-колы, переместить ее и затем, разжав пальцы, вернуть руку в исходное положение. Действие ортеза контролировалось ассистентом, который имел возможность наблюдать действия больного на компьютерном экране. В случае недостаточной силы сгибания или разгибания в кисти приводимый в движение ортез облегчал движения пальцев. Больной информировался об успешности выполнения задания звуковым сигналом. Данное устройство испытывалось на нескольких больных со спастическим гемипарезом. Данный метод обещает быть полезным для восстановления функций кисти у больных.

Одним из первых механотерапевтических тренажеров с интегрированной виртуальной реальностью является Armeo Spring. Все тренировки на данном тренажере с системой антигравитационной поддержки руки проводятся в виртуальном пространстве, которое может отображать сцены привычной бытовой деятельности. Движения руки пациента при помощи датчиков, встроенных в экзоскелетную конструкцию, позволяют передавать движения виртуальной руке, тем самым не только увеличивая интенсивность реабилитации, но и позволяя тренировать навыки бытовой активности, как, например, взятие и удержание различных продуктов питания или предметов (рис. 7.10).

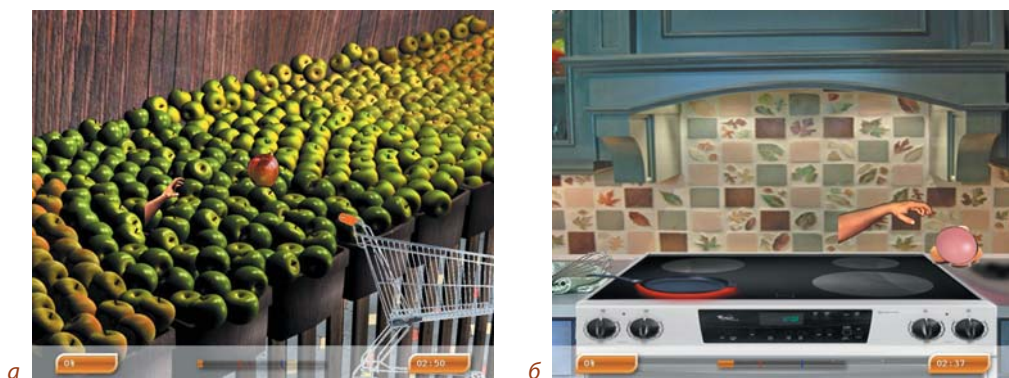


Рис. 7.10. Система Армео:

а — виртуальный прилавок с яблоками; б — приготовление виртуальной яичницы

Исследование А. Turolla и соавт. (2013) показало, что сочетание механизированной тренировки захвата предметов на тренажере для пальцев и кисти с программой виртуальной реальности приводит к более активному восстановлению движений, а также индуцирует процессы корковой реорганизации по данным фМРТ.

Интересные данные были получены об использовании платформенного роботизированного комплекса Gait Master 2 для восстановления ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами. Данный комплекс представляет собой две платформы для ног, соединенные на манер обычного степ-тренажера. Приводимые в движение автоматически платформы с большой степенью точности воспроизводили траекторию движения стоп во время ходьбы. Движение платформ через компьютерное устройство синхронизировалось с движением виртуального пространства, проецируемого на дисплей, вмонтированный в шлем. Таким образом у больного создавалось ощущение ходьбы по пересеченной местности в реальном пространстве. Авторы испытывали эту систему на двух испытуемых с гемипарезом и отмечали значительное улучшение скорости и симметричности ходьбы [Yano H. et al., 2003].

При восстановлении локомоции на тренажерах с виртуальной обратной связью на экране может быть отображена виртуальная прогулка. В роботизированном комплексе Lokomat данная возможность реализована наравне с тренировочными программами в игровой форме. Пациент, прилагая соответствующие усилия, способен управлять видом от первого лица, что обеспечивает максимальный эффект присутствия.

Данный вид виртуальной реальности является достаточно недорогим и простым в использовании, в то же время отображаемая картинка может передаваться на экран большей формата, а наличие 3D-очков делает картинку трехмерной.

Проведенные исследования показали, что использование виртуальной реальности увеличивает эффективность тренировок, в частности, исследования К. Brüttsch и соавт. (2010, 2011) выявили, что у детей с ДЦП применение программ виртуальной реальности во время тренировки значительно увеличивает мотивацию пациента и эффективность курса тренировок по сравнению с обычной тренировкой на Lokomat. Виртуальная реальность позволяет инструктору более доходчиво объяснить пациенту, какое движение он должен совершить для тренировки навыка ходьбы (рис. 7.11).

Условием успешного совмещения виртуальной реальности с роботизированными или прочими тренажерами является наличие датчиков, передающих движения пациента в виртуальное пространство. Как правило, в качестве подобных датчиков используются встроенные в устройство датчики гониометрии и потенциометры,

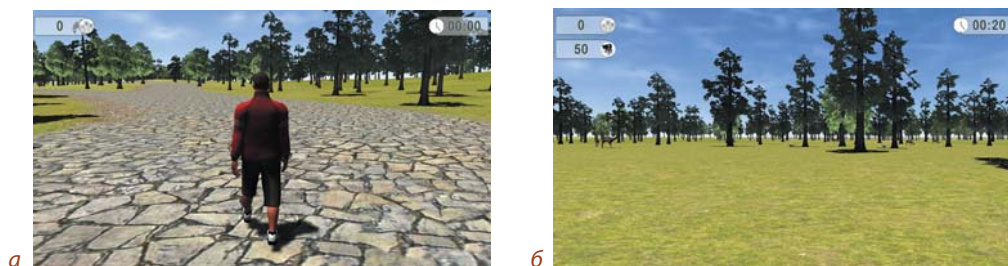


Рис. 7.11. Виртуальная прогулка (а–б) во время занятия на системе Локомат

в то время как для виртуальной реальности как самостоятельного тренажера применяются инфракрасные камеры распознавания движений, которые, к сожалению, не всегда позволяют оценить движение достаточно точно.

Однако существуют системы, в которых для передачи движений применяется наиболее точная на данный момент технология — видеоанализ движений. В частности, система анализа и восстановления навыка ходьбы G.R.A.I.L. (Gait Real-time Analysis Interactive Lab, Motek medical., Голландия) является первой системой с интерактивной биологической обратной связью по данным видеоанализа движений, цифровой постурографии и 16-канальной беспроводной миографии, в режиме реального времени (рис. 7.12). Виртуальная реальность данной системы представлена в виде проецируемого на панорамный (180°) экран высотой до 3 м изображения. На экране может отображаться и визуализироваться работа определенных групп мышц, кинематики ходьбы, игровые упражнения, основанные на данных биологической обратной связи, а также интерактивная симуляция прогулки по городу.

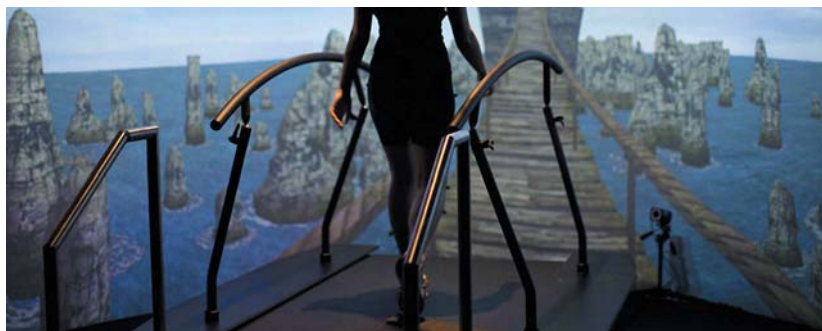


Рис. 7.12. Тренировка ходьбы в виртуальной среде G.R.A.I.L.

В заключение виртуальная реальность, как любой другой высокотехнологичный метод, имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с традиционными методами физической реабилитации.

К очевидным недостаткам относится прежде всего все еще высокая стоимость оборудования. Поскольку наиболее привлекательной стороной данной технологии является погружение больного в виртуальную реальность, то ощущение реального присутствия исключительно важно. К сожалению, степень реальности виртуального пространства, предъявляемого больному, напрямую зависит от стоимости оборудования. Так, например, для достижения эффекта полного погружения в виртуальное пространство требуется наличие не только оборудования, воспроизводящего виртуальные сценарии, но и системы для анализа движений.

Удешевление процесса возможно за счет использования недорогих и высококачественных компьютерных приставок, выпускаемых в большом количестве фирмами-производителями компьютерных игр. Однако недостатком таких игр является невозможность адаптации этих игр к условиям применения в клинике нервных болезней. Реабилитологи, использующие подобные игры, отмечали трудности с настройкой уровня сложности игрового задания в соответствии с двигательными возможностями больного. Испытуемые, которые были не в состоянии выполнить даже простейшие двигательные требования, очень быстро теряли интерес к игре, разо-

чаровывались и не хотели продолжать данную терапию. Также у некоторых больных были отмечены формирование патологических компенсаторных двигательных и позных синергий.

Несмотря на некоторые недостатки, виртуальная реальность имеет и ряд неоспоримых достоинств [Weiss P.L. et al., 2004]. Большинство больных, вовлеченных в терапию, отмечали высокую заинтересованность. Так, например, тренировка равновесия переставала быть для них малопривлекательной процедурой, обычно выполняемой в рамках традиционной реабилитации. Напротив, тренируя равновесие в процессе виртуальных игр, больные ощущали себя участниками событий, в которых в реальной жизни они вряд ли смогли бы участвовать, например, успешными горнолыжниками, игроками в теннис, в футбол и др. Занятия проходили на повышенном эмоциональном фоне, который в свою очередь служил дополнительным стимулом для тренировки двигательных функций.

Необходимо отметить, что все вышесказанное совершенно не означает, что виртуальная реальность может заменить традиционные методы реабилитации. Конечно, нет. Но виртуальная реальность сможет занимать важное место и органически дополнять традиционные методы лечения.

## Литература

- Черникова Л.А., Иоффе М.Е., Курганская М.Е. и др. Применение технологии виртуальной реальности при восстановлении движений в паретичной руке у больных, перенесших инсульт // Физиотер., бальнеол. и реабилитац. — 2011. — № 3. — С. 3–7.
- Barry G., Galna B., Rochester L. The role of exergaming in Parkinson's disease rehabilitation: a systematic review of the evidence // J. Neuroeng. Rehabil. — 2014. — V. 7 (1). — P. 33.
- Bourbonnais D., Vanden Noven S. Weakness in patients with hemiparesis // Amer. J. Occup. Ther. — 1989. — V. 43 (5). — P. 313–319.
- Bourbonnais D., Vanden Noven S., Pelletier R. Incoordination in patients with hemiparesis // Can. J. Public. Health. — 1992. — V. 83 (2). — P. 58–63.
- Bronstein A.M. Visual vertigo syndrome: clinical and posturography findings // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. — 1995. — V. 59 (5). — P. 472–476.
- Brütsch K., Koenig A., Zimmerli L. et al. Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with central gait disorders // J. Rehabil. Med. — 2011. — V. 43 (6). — P. 493–499.
- Brütsch K., Schuler T., Koenig A. et al. Influence of virtual reality soccer game on walking performance in robotic assisted gait training for children // J. Neuroeng. Rehabil. — 2010. — V. 22 (7). — P. 15.
- Carr J., Shepherd R.A. Motor Learning Programme for Stroke. — 2<sup>nd</sup> ed. — Heinemann, 1982.
- Cirstea M.C., Levin M.F. Compensatory strategies for reaching in stroke // Brain. — 2000. — V. 123 (Pt 5). — P. 940–953.
- Di Fabio R.P., Badke M.B. Stance duration under sensory conflict conditions in patients with hemiplegia // Arch. Phys. Med. Rehabil. — 1991. — V. 72 (5). — P. 292–295.
- Duncan P.W., Weiner D.K., Chandler J. et al. Functional reach: a new clinical measure of balance // J. Gerontol. — 1990. — V. 45 (6). — P. 192–197.

Garland S.J., Willems D.A., Ivanova T.D. et al. Recovery of standing balance and functional mobility after stroke // Arch. Phys. Med. Rehabil. — 2003. — V. 84 (12). — P. 1753–1759.

Georgiou N., Ianssek R., Bradshaw J.L. et al. An evaluation of the role of internal cues in the pathogenesis of parkinsonian hypokinesia // Brain. — 1993. — V. 116. — P. 1575–1578.

Goldberg M.E., Hudspeth A.J. The vestibular system // In: The principles of neuroscience / Eds: E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. — 2000. — P. 801–814.

Gurfinkel V.S., Levik Yu.S. Sensory complexes and sensomotor integration // Hum. Physiol. — 1979. — V. 5 (3). — P. 269–281.

Harris J.M., Bonas W. Optic flow and scene structure do not always contribute to the control of human walking // Vision Res. — 2002. — V. 42 (13). — P. 1619–1626.

Hausbeck C.J., Strong M.J., Tamkei L.S. et al. The effect of additional hand contact on postural stability perturbed by a moving environment // Gait & Posture. — 2009. — V. 29. — P. 509–513.

Holden M.K., Dyar T.A., Dayan-Cimadoro L. Telerehabilitation using a virtual environment improves upper extremity function in patients with stroke // IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. — 2007. — V. 15 (1). — P. 36–42.

Horak F.B., Nashner L.M., Diener H.C. Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss // Exp. Brain Res. — 1990. — V. 82 (1). — P. 167–77.

Jeka J.J., Lackner J.R. Fingertip contact influences human postural control // Exp. Brain Res. — 1994. — V. 100 (3). — P. 495–502.

Jiang Y., Norman K.E. Effects of visual and auditory cues on gait initiation in people with Parkinson's disease // Clin. Rehabil. — 2006. — V. 20 (1). — P. 36–45.

Keshner E., Kenyon R., Langston J. Postural responses exhibit Multisensory dependencies with discordant visual and support surface motion // J. Vestib. Res. — 2004. — V. 14. — P. 307–319.

Keshner E.A., Kenyon R.V. Using Immersive Technology for Postural Research and Rehabilitation // Asst. Technol. — 2004. — V. 16. — P. 27–35.

Kim N.G., Yoo C.K., Im J.J. A new rehabilitation training system for postural balance control using virtual reality technology // IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering. — 1999. — V. 7. — P. 482–485.

Kizony R., Raz L., Katz N. et al. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury // J. Rehabil. Res. Dev. — 2005. — V. 42 (5). — P. 595–608.

Knutsson E., Richards C. Different types of disturbed motor control in gait of hemiparetic patients // Brain. — 1979. — V. 102 (2). — P. 405–430.

Koptelova P.O., Perkins J., Ustinova K.I. Effect of optic flow speed on step initiation in older and younger individuals // Review of Psychology Frontier. — 2013. — V. 2. — P. 7–12.

Kuo A.D., Speers R.A., Peterka R.J. et al. Effect of altered sensory conditions on multivariate descriptors of human postural sway // Exp. Brain Res. — 1998. — V. 122 (2). — P. 185–195.

Lamontagne A., Fung J., McFadyen B.J. et al. Modulation of walking speed by changing optic flow in persons with stroke // J. Neuroengineering Rehabil. — 2007. — V. 26 (4). — P. 22.

Levin M.F., Michaelsen S.M., Cirstea C.M. et al. Use of the trunk for reaching targets placed within and beyond the reach in adult hemiparesis // Exp. Brain Res. — 2002. — V. 143 (2). — P. 171–180.

Luo X., Kline T., Fischer H. et al. Integration of augmented reality and assistive devices for post-stroke hand opening rehabilitation // Conf. Proc. IEEE Eng Med Biol Soc. — 2005. — V. 7. — P. 6855–6858.

Marigold D.S., Eng J.J., Tokuno C.D. et al. Contribution of muscle strength and integration of afferent input to postural instability in persons with stroke // *Neurorehabil Neural Repair*. — 2004. — V. 18 (4). — P. 222–229.

Marsden C.D. Neurophysiology. In Stern GN (eds): *Parkinson's disease*. — London: Chapman & Hall, 1990.

Moreira M.C., de Amorim Lima A.M., Ferraz K.M. et al. Use of virtual reality in gait recovery among post stroke patients — a systematic literature review // *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* — 2013. — V. 8 (5). — P. 357–362.

Olney S.J., Griffin M.P., McBride I.D. Temporal, kinematic, and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: a regression approach // *Phys. Ther.* — 1994. — V. 74 (9). — P. 872–885.

Paavola J.M., Oliver K.E., Ustinova K.I. Use of Xbox Kinect gaming console for rehabilitation of an individual with traumatic brain injury: a case report // *J. of Novel Physiotherapies*. — 2013. — V. 3. — P. 129.

Pailhous J., Ferrandez A.M., Fluckiger M. et al. Unintentional modulations of human gait by optical flow // *Behav. Brain. Res.* — 1990. — V. 38 (3). — P. 275–281.

Pietrzak E., Cotea C., Pullman S. Using commercial video games for upper limb stroke rehabilitation: is this the way of the future? // *Top Stroke Rehabil.* — 2014. — V. 21 (2). — P. 152–162.

Piron L., Cenni F., Tonin P. et al. Virtual Reality as an assessment tool for arm motor deficits after brain lesions // *Stud. Health Technol. Inform.* — 2001. — V. 81. — P. 386–392.

Pompeu J.E., Mendes F.A.D., da Silva K.G. et al. Effect of Nintendo Wii (TM)-based motor and cognitive training on activities of daily living in patients with Parkinson's disease: A randomised clinical trial // *Physiotherapy*. — 2012. — V. 98. — P. 196–204.

Rand D., Katz N., Weiss P.L. Evaluation of virtual shopping in the VMall: Comparison of post-stroke participants to healthy control groups // *Disabil. Rehabil.* — 2007. — V. 13. — P. 1–10.

Rand D., Kizony R., Weiss P.L. The Sony PlayStation II EyeToy: low-cost virtual reality for use in rehabilitation // *J. Neurol. Phys. Ther.* — 2008. — V. 32 (4). — P. 155–163.

Rand D., Kizony R., Weiss P.L. VR rehabilitation for all: vivid GX versus Sony playstation II eyetoy. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies. — Oxford, UK, 2004.

Rose F.D., Attree E.A., Brooks B.M. Virtual environments in neuropsychological assessment and rehabilitation // In: *In Virtual Reality in Neuro-Psycho-Physiology* / Ed. G. Riva. — Amsterdam: IOS Press, 1997. — P. 147–155.

Schafer A.Y., Ustinova K.I. Does Use of a Virtual Environment Facilitate Reaching while Standing in Patients with Traumatic Brain Injury? // *J. Neuroeng. Rehabil.* — 2013. — V. 10. — P. 76.

Slijper H., Latash M.L., Rao N. et al. Task-specific modulation of anticipatory postural adjustments in individuals with hemiparesis // *Clin. Neurophysiol.* — 2002. — V. 113 (5). — P. 642–655.

Stelmach G., Phillips J.G. *Motor control in Parkinson's disease*. — New York: Churchill Livingstone, 1992.



*Subramanian S., Knaut L.A., Beaudoin C. et al.* Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation // *J. Neuroengineering Rehabil.* — 2007. — V. 22 (4). — P. 20.

*Sveistrup H.* Motor rehabilitation using virtual reality // *J. Neuroengineering Rehabil.* — 2004. — V. 1 (1). — P. 10.

*Thornton M., Marshall S., McComas J. et al.* Benefits of activity and virtual reality based balance exercise programmes for adults with traumatic brain injury: perceptions of participants and their caregivers // *Brain Inj.* — 2005. — V. 19 (12). — P. 989–1000.

*Trombly C.A., Thayer-Nason L., Bliss G. et al.* The effectiveness of therapy in improving finger extension in stroke patients // *Amer. J. Occup. Ther.* — 1986. — V. 40 (9). — P. 612–617.

*Turolla A., Daud Albasini O.A., Oboe R. et al.* Haptic-based neurorehabilitation in post-stroke patients: a feasibility prospective multicentre trial for robotics hand rehabilitation // *Comput. Math. Methods Med.* — 2013. — V. 2013:895492

*Ustinova K., Knaut L., Laberge P. et al.* The influence of optic flow on gait initiation / *International Society for Gait and Posture.* — USA, Vermont, 2007.

*Ustinova K.I., Perkins J., Leonard W.A. et al.* Virtual reality game-based therapy for treatment of postural and coordination abnormalities secondary to TBI: a pilot study // *Brain Inj.* — 2014. — In press.

*Viau A., Feldman A.G., McFadyen B.J. et al.* Reaching in reality and virtual reality: a comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis // *J. Neuroengineering Rehabil.* — 2004. — V. 1 (1). — P. 11.

*Weiss P.L., Rand D., Katz N. et al.* Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool // *J. Neuroengineering Rehabil.* — 2004. — V. 1 (1). — P. 12.

*Woollacott M.H., Shumway-Cook A.* Changes in posture control across the life span — a systems approach // *Phys. Ther.* — 1990. — V. 70 (12). — P. 799–807.

*Yano H., Kasai K., Saitou H. et al.* Development of a gait rehabilitation system using a locomotion interface // *J. Visualization and Computer Animation.* — 2003. — V. 14. — P. 243–252.

*Yavuzer G., Senel A., Atay M.B. et al.* «Playstation eyetoy games» improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial // *Europ. J. Phys. Rehabil. Med.* — 2008. — V. 44 (3). — P. 237–244.