

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА

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

DOI: 10.25881/20728255_2021_16_2_80

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр
им. Н.И. Пирогова», Москва

Резюме. Проведено одноцентровое контролируемое сравнительное интервенционное проспективное исследование, целью которого была оценка безопасности и эффективности применения технологий виртуальной реальности у пациентов, перенесших ишемический инсульт для восстановления двигательной функции верхней конечности в раннем восстановительном периоде в сравнении с традиционными методами реабилитации.

Объектом данного исследования стали 212 пациентов с нарушением мозгового кровообращения, постинсультным парезом в верхней конечности и давностью заболевания от 3-х недель до 6 месяцев. Оценка эффективности производилась с помощью шкал: модифицированный Френчай тест, шестибальная шкала оценки мышечной силы, тест для оценки двигательной функции руки, шкала оценки двигательной функции, шкала Fugl-Meyer, модифицированная шкала Эшворта. Нежелательные явления отмечались менее, чем у 10% пациентов и оценивались ими как лёгкие. Функции верхней конечности восстанавливались лучше в основной группе.

Ключевые слова: виртуальная реальность, верхний парез, инсульт, инерционные сенсоры.

Введение

Одной из ведущих причин, приводящих к нетрудоспособности и значительному ограничению функциональных возможностей пациентов, является инсульт. При этом ВОЗ прогнозирует увеличение количества инсультов в Европейских странах более чем на 400 тыс. в год к 2025 г. [1]. Такие изменения неизбежно приведут к возросшей потребности в специализированной реабилитации, особенно учитывая факт, что почти треть пациентов после инсульта требует постоянной посторонней помощи для обеспечения нормальной жизнедеятельности. Это также связано с недостаточным восстановлением базовых двигательных функций верхней конечности — способности достигать удаленный объект, захватывать его и манипулировать им, а также координировать движения обеих верхних конечностей. Для обеспечения нормальной межсуставной координации движений верхней конечности и последовательной активации вовлеченных мышечных групп требуется не только их сопоставимая сила, но и нормальный мышечный тонус. В случае инсульта не всегда возможно полностью восстановить утраченную мышечную силу или спастичность, поэтому выработка компенсаторных паттернов движения необходимо проводить в условиях максимально приближенным к реальной жизни пациентов с конкретной функциональной целью для активного участия пациента. Контроль правильности выполнения заданий и требуемых усилий может быть достигнут с помощью интерактивной об-

THE CLINICAL EFFICACY OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN RESTORING FUNCTIONAL ABILITIES OF THE UPPER LIMB AFTER STROKE

Slepnyova N.I.*, Daminov V.D., Novak E.V., Karpov O.E.

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. The aim of the current study is to assess the safety and efficacy of an intervention in virtual reality that use an inertial multisensory system and self-learning algorithms to promote the recovery of functions of upper extremities among post-stroke patients. The research is a controlled clinical trial conducted at Pirogov center.

Overall, 212 patients fulfilled the inclusion criteria with upper limb paresis, 3 to 6 months after the stroke. The efficacy was evaluated using Modified Frenchay Test for upper limbs, six-point scale used to grade muscle strength, Action Research Arm Test, Motor Assessment Scale, Fugl-Meyer Assessment, Modified Ashworth Scale. The adverse reactions were assessed by a self-report and revealed that less than 10% of patients experience some discomfort but graded it as mild. Functional recovery of the upper limb was significantly improved in the study group.

Keywords: Virtual reality, upper extremity paresis, stroke, inertial sensors.

ратной связи [2–5]. Современные технологии, такие как роботизированная механотерапия с биологической обратной связью и виртуальная реальность (VR), активно развиваются в данном направлении. С помощью VR также создается индивидуальное рабочее пространство под функциональные возможности пациента и конкретные реабилитационные цели. Авторы мета-анализа исследований с применением VR в 2015 г. сделали заключение, что VR способна повышать мотивацию пациента благодаря наличию мощной сенсорной связи с пациентом и используется как независимая методика в индивидуальной программе реабилитации, так и как составляющая других комплексных методик [3].

Программы VR могут копировать объективную реальность в виде различных виртуальных сред (ВС), например, квартира или дом, магазин, метро, улица, парк и т.д., а также создавать адаптированные воображаемые ВС, где пациент будет способен взаимодействовать с данными средами как в привычном для него режиме, так и в измененных условиях [4–6].

В 2019 г. в РФ в рамках оказания высокотехнологичной медицинской помощи начал применяться новый метод нейрореабилитации после перенесенного инсульта и черепно-мозговой травмы при нарушении двигательных и когнитивных функций, а именно, «восстановительное лечение с применением комплекса мероприятий в комбинации с виртуальной реальностью» (Постановление Правительства РФ от 10.12.2018 N 1506 (ред. от 12.04.2019)

* e-mail: slepnyovani@pirogov-center.ru

О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2019 год и на плановый период 2020 и 2021 годов).

Накоплен опыт работы на действующем аппаратно-программном мультимедийном комплексе для дистанционно-контролируемой реабилитации пациентов с использованием технологий ВР «Девирта» (Регистрационное удостоверение РЗН 2019/9218 от 13.11.2019). Это линейка технологий виртуальной и дополненной реальности и целый ряд программных решений с методологией их клинического применения для реабилитации пациентов всех профилей на всех 3-х этапах медицинской реабилитации в условиях стационара, поликлиники и в домашних условиях.

Это позволило реализовать новые решения для реабилитации, обладающие возможностью адаптации к индивидуальным особенностям различных категорий пациентов и позволяющие создавать индивидуальные восстановительные программы, основанные на анализе данных и технологиях машинного обучения и искусственного интеллекта. Качественная обратная связь, обеспечиваемая надежной и точной системой тренинга, дает возможность точной и полной регистрации данных для оценки и анализа прогресса пациента в ходе реабилитации.

В настоящее время получены данные об успешном применении технологий виртуальной реальности в нейропсихологической реабилитации пациентов после острых нарушений мозгового кровообращения, черепно-мозговых травм, а также при рассеянном склерозе [7–9]. При этом существует два основных направления, в которых это возможно: диагностика и собственно восстановление пострадавших функций [10–15].

Однако, в доступной литературе мы не нашли убедительных данных о преимуществе применения технологий ВР в отношении восстановления функции верхней конечности у пациентов в ранние сроки ишемического инсульта. Поэтому целью нашего исследования стала оценка эффективности применения технологий ВР у пациентов, перенесших ишемический инсульт для восстановления двигательной функции верхней конечности в раннем восстановительном периоде в сравнении с традиционными методами реабилитации.

Методология

Объектом данного исследования стали 212 пациентов с нарушением мозгового кровообращения, постинсультным парезом верхней конечности и давностью заболевания от 3-х недель до 6 месяцев. Предмет исследования — двигательная функция верхней конечности пациентов, перенесших инсульт на фоне применения технологий ВР с системой захвата движений на базе инерциальных сенсоров.

Критерии включения:

- парез верхней конечности (лёгкой и средней степени) после ишемического или геморрагического инсульта;

- давность до 6 месяцев на момент включения;
- возраст 25–75 лет.

Критерии невключения:

- эпилепсия;
- эндогенные психические расстройства;
- декомпенсированные хронические заболевания;
- выраженное снижение слуха и зрения.

Критерии исключения:

- наличие выраженных двигательных, чувствительных и нейропсихологических (памяти, внимания, регуляции произвольной деятельности, апраксии, планирования, зрительного восприятия, сенсорная афазия) нарушений, препятствующих взаимодействию с системой ВР.

Критерии выбывания:

- повторный инсульт;
- обострение хронических заболеваний;
- инфекционные осложнения.

Всем пациентам в 1-е, 10-е и 20-е сутки проводилась оценка функционального состояния при помощи следующих шкал:

1. Оценка уровня бытовой активности по индексу Бартел (Barthel ADL Index);
2. Индекс мобильности Ривермид (RMI — Rivermead Mobility Index);
3. Модифицированная шкала Рэнкина;
4. Визуальная аналоговая шкала (VAS — Visual Analogue Scale).

А также оценка функции верхней конечности при помощи шкал и тестов:

1. Модифицированный Френчай тест (MFT — Modified Frenchay Test);
2. Шестибальная шкала оценки мышечной силы (L. Mc. Peak, 1996 М. Вейсс, 1986);
3. Тест для оценки двигательной функции руки (Action Research Arm Test, ARAT);
4. Шкала оценки двигательной функции (Motor Assessment Scale, MAS);
5. Шкала Fugl-Meyer (Fugl-Meyer Assessment, FMA);
6. Модифицированная шкала Эшворта (Ashworth, MAS — Modified Ashworth Scale).

Инструментальная диагностика

Электроэнцефалография (ЭЭГ) с функциональными пробами (ФП)

Запись электроэнцефалограммы проводилась на приборе «Нейрон-Спектр-64» (Нейрософт) до погружения в ВР и сразу после для исключения эпилептиформной активности в 1-е, 10-е и 21-е сутки исследования.

Мониторирование артериального давления (АД)

Проводилось во время занятия на аппарате SCHILLER AG до погружения в ВР и сразу после для исключения выраженного повышения и снижения артериального давления в 1-е, 10-е и 21-е сутки исследования.

Холтеровское мониторирование электрокардиограммы (ЭКГ)

Проводилось в течение суток на аппарате BTL-08 HOLTEN H100 до погружения в ВР и сразу после для исключения нарушений сердечного ритма и ишемии миокарда в 1-е, 10-е и 21-е сутки исследования.

Комплексная диагностика зрения

Комплексная диагностика зрения в 1-е и 20-е сутки исследования перед погружением в ВР включала в себя авторефрактометрию, проверку остроты зрения на проекторе знаков, пневмотонометрию, скрининговую оценку состояния переднего отрезка глаза, осмотр глазного дна, определение расстояния между зрачками, оценку цветоощущения.

Статистический анализ

Программный пакет для статистического анализа «Statistica 12.6» (Dell Technologies Inc.). Использование описательного статистического анализа двух групп.

Дизайн исследования**Программы реабилитации**

Пациенты обеих групп получали стандартную программу реабилитации (Таблица 1) в течение 21 суток. Различие между двумя группами состояло в реабилитационных программах, направленных на восстановление двигательной функции паретичной верхней конечности:

1. В основной группе пациенты погружались в ВС, в которой выполняли упражнения для верхней конечности;
2. В контрольной группе пациенты получали занятия на роботизированном реабилитационном комплексе для функциональной терапии верхних конечностей Armeo®Power.

Табл. 1. Программа реабилитации

Процедура	Описание	Длительность и периодичность
Индивидуальная лечебная гимнастика	Индивидуальные занятия соответствующие двигательному дефициту	30–40 мин. ежедневно
Индивидуальная механотерапия	Тренажёр МотоМед (Германия) в активно-пассивном режиме для верхних и нижних конечностей	20–30 мин. ежедневно
Магнитотерапия	Аппарат Маг-Эксперт (Германия) по программе «Парез» на паретичные конечности	15 мин. ежедневно
Электростимуляция	Аппарат COMBI по программе «Электростимуляция Русская» на паретичные конечности	10 мин. ежедневно
Массаж	Массаж паретичной конечности	15 мин. ежедневно
Основная группа		
Занятие погружением в ВР	Реабилитация на АПК ИНВИРТО	20–30 мин. ежедневно
Контрольная группа		
Роботизированная механотерапия	Занятия на Armeo®Power.	20–30 мин. ежедневно

Описание вмешательства с ВР

Для погружения в ВР применялся «Комплекс аппаратно-программного ВР для реабилитации пациентов с ограничениями объема двигательных и когнитивных функций «ИНВИРТО».

Базовая комплектация «Комплекса аппаратно-программного ВР для реабилитации пациентов с ограничениями объема двигательных и когнитивных функций «ИНВИРТО» представлена следующими составляющими:

- 1) серверный компьютер с установленными ОС Linux Ubuntu 18.04 LTS, а также предустановленными базой данных, HTTP, Web и прокси сервером;
- 2) клиентский компьютер для ВР стенда с установленными ОС Windows, Steam VR;
- 3) шлем виртуальной реальности HTC Vive Pro;
- 4) две базовые станции Steam VR 2.0;
- 5) трекеры для отслеживания движений HTC Vive Tracker (n = 13 шт.);
- 6) монитор;
- 7) стойка для размещения ВР оборудования;
- 8) стойка для поддержания вертикальной позы пациента и страховки от падения.

Процедура погружения в ВР

Погружение происходило в специально оборудованном кабинете в положении «стоя» или «сидя» при

Табл. 2. Динамика показателей функционального состояния пациента и функции верхней конечности в основной и контрольной группах в различные сроки реабилитации

Название	Сроки	1-е сутки		20-е сутки	
		Основная	Контрольная	Основная	Контрольная
Оценка уровня бытовой активности по индексу Бартел (Barthel ADL Index)		80,40±3,88	80,56±4,02	89,11±4,47*	81,20±5,12
Опросник оценки качества жизни (EQ-5D)		58,03±7,58	56,11±5,54	79,87±10,61*	61,09±7,82
Визуальная аналоговая шкала боли ВАШ (VAS — Visual Analogue Scale)		4,61±0,18	4,72±0,23	3,05±0,11*	4,32±0,19
Модифицированный Френчай тест (MFT — Modified Frenchay Test)		2,60±0,07	2,48±0,11	3,91±0,12*	2,76±0,09
Шестибалльная шкала оценки мышечной силы (L. Mc. Peak, 1996; M. Вейсс, 1986)		3,11±0,32	3,31±0,24	3,78±0,29	3,82±0,39
Тест для оценки двигательной функции руки (Action Research Arm Test, ARAT)		39,28±7,58	44,30±6,82	54,80±5,89*	48,90±7,24
Шкала Fugl-Meyer (Fugl-Meyer Assessment, FMA)		50,20±7,26	53,40±6,49	61,82±3,83*	57,22±5,91
Модифицированная шкала Эшворта (Ashworth, MAS — Modified Ashworth Scale)		1,52±0,14	1,58±0,09	1,14±0,15	1,27±0,16

необходимости. Перед погружением пациент получал инструкции по использованию программно-аппаратного комплекса — меню программы, кнопки навигации. Каждый пациент был обучен стоп-жесту для вызова специалиста и незамедлительного выхода из ВР. Проводилось тестовое погружение в ВР с отработкой «стоп-жеста» под контролем специалиста до тех пор, пока пациент полностью усвоит использование программы и продемонстрирует уверенное пользование, а также подбирает комфортные для себя параметры громкости звука и расстояния между глазами и от глаз до линз. Контролеры фиксировались на теле пациента, в специальных точках фиксации. Выполнение игровых двигательных задач выполнялось с использованием контролеров в обеих руках пациента.

Пациенту назначался ежедневный курс активных двигательных занятий в ВР во второй половине дня. Время погружения составляло 20–30 мин. Во время сеансов специалист зала ВР контролировал процесс погружения и выполнения двигательных заданий, отслеживая технические неисправности (зависание ВР среды, искажения изображения и другие), а также поведение и «стоп-жесты» пациентов во время погружения. Любые выявляемые изменения вносились в журнал учёта процедур и в индивидуальную карту пациента.

После выхода из ВР пациент оставался под наблюдением специалиста в течение 10 минут прежде, чем покинуть зал ВР. После выхода из ВР пациент должен был зафиксировать появившиеся нежелательные эффекты во время пребывания в виртуальной среде в форме учёта нежелательных явлений. Инструктором производилось измерение пульса, частоты дыханий, артериального давления до и сразу после погружения в виртуальную реальность с внесением данных в форму учёта.

Результаты

Под воздействием ВР функциональные исходы были лучше. Так, оценка уровня бытовой активности по индексу Бартел, показала достоверно значимый ($p < 0,05$) прирост значений пациентов основной группы на 20-е сутки реабилитации. У пациентов группы контроля так же отмечены положительные изменения уровня бытовой активности, не являющиеся достоверно значимыми.

На выраженность болевого синдрома реабилитационные мероприятия повлияли в различной степени, болевой синдром в паретичной руке снизился к концу курса в обеих группах, но под действием ВР это снижение достигло достоверной значимости по Визуальной аналоговой шкале боли (Таблица 2).

Мышечный тонус в паретичной конечности имел тенденцию к нормализации у пациентов обеих групп без четкого межгруппового различия, не достигая статистически значимых ($p < 0,05$) показателей по Модифицированной шкале Эшворта (Таблица 2).

Мышечная сила в руке у пациентов обеих групп на 20-е сутки реабилитации незначительно увеличилась по данным Шестибалльной шкалы оценки мышечной силы (L. Mc. Peak, 1996 M. Вейсс, 1986).

При этом показатели тестов и шкал, отражающих функционирование верхней конечности, претерпели более значимые изменения.

Так, двигательные навыки при проведении Модифицированного Френчай-теста, достоверно значимо ($p < 0,05$) улучшились только у пациентов основной группы. Тест для оценки двигательной функции руки ARAT и Шкала Fugl-Meyer так же показали преимущество реабилитации в условиях ВР.

Нежелательные явления в виде общего дискомфорта, головокружения, усиления потоотделения и трудностей в концентрации внимания на занятии отмечены у 8 пациентов основной группы. В группе контроля подобные жалобы отмечены у 7 пациентов (Таблица 3). Все вышеперечисленные жалобы у пациентов обеих групп носили кратковременный характер и не помешали продолжению реабилитации.

Физиологические параметры пациента — пульс, АД, дыхание, фиксируемые инструктором до процедуры, во время процедуры и после процедуры существенно не менялись. Лишь у 2-х пациентов отмечалась тахикардия, сопряженная с потоотделением и общим дискомфортом. В обоих случаях симптоматика купировалась самостоятельно в течение 2–3 минут.

Это подтвердилось и при мониторинговании артериального давления и электрокардиографии: мониторинг ЭКГ позволил исключить нарушения сердечного ритма

Табл. 3. Частота нежелательных реакций и явлений в основной и контрольной группах

Жалобы	Основная	Контрольная	Примечания
Общий дискомфорт	2	3	Продолжили занятие
Усталость	0	1	Продолжили занятие
Головная боль	0	1	Продолжили занятие
Напряжение глаз	0	0	
Сложность сфокусировать взгляд	1	0	Продолжили занятие
Усиление слюноотделения	0	0	
Усиление потоотделения	1	0	Продолжили занятие
Тошнота	0	0	
Трудно сконцентрироваться	2	1	Продолжили занятие
Тяжесть в голове	0	0	
Нечёткость зрения	0	0	
Головокружение с открытыми глазами	2	1	Продолжили занятие
Головокружение с закрытыми глазами	0	0	
Вращение пространства вокруг	0	0	
Дискомфорт в животе	0	0	

и ишемию миокарда у пациентов в процессе курса реабилитации в условиях ВР, показатели частоты сердечных сокращений были в пределах допустимых значений. Значения АД менялись не более чем на 15% от исходных значений.

Электроэнцефалография

Запись ЭЭГ, проводимая в 1-е, 10-е и 21-е сутки исследования до сеанса реабилитации в условиях ВР, во время проведения сеанса реабилитации в условиях ВР и после проведения сеанса реабилитации в условиях ВР, не выявила ни у одного из пациентов эпилептиформной или медленно-волновой активности. Пробы открывания глаз и пробы с гипервентиляцией существенно не изменили характер ЭЭГ.

Комплексная диагностика зрения

Комплексная диагностика зрения в 1-е и 20-е сутки показала отсутствие каких-либо значимых изменений авторефрактометрии, остроты зрения, внутриглазного давления и цветоощущения. Состояние переднего отрезка глаза, глазного дна под воздействием ВР так же не показали значимых изменений.

Обсуждения

Эффективность технологий ВР с системой захвата движений на базе инерциальных сенсоров в процессе восстановления функции руки у пациентов после вероятно объясняется следующим. Взаимодействия пациента с виртуальным миром можно рассматривать как непре-

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

Преимуществами ВР при сравнении с традиционными техниками можно считать [1]:

1. Возможность адаптировать сценарии под нужды конкретного пациента в соответствии с его ожиданиями и возможностями.
2. Простота в повторении конкретных виртуальных сценариев необходимое количество раз с настраиваемыми стимулами.
3. Привлекательность для пациентов: некоторые пациенты рассматривают новые технологии как более эффективные, что повышает их приверженность терапии.

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

Заключение

Включение технологий ВР с системой захвата движений на базе инерциальных сенсоров в программу реабилитации позволят ускорить процесс восстановления двигательной функции верхней конечности у пациентов, перенесших инсульт в равной или большей степени в сравнении с традиционными методами реабилитации без выраженных нежелательных реакций.

Предложенная методология для программно-аппаратного комплекса ВР с системой захвата движений на базе инерциальных сенсоров для коррекции двигательных нарушений у больных с постинсультным парезом верхней конечности может быть рекомендована в качестве базовой методики для более широкого применения в нейрореабилитации.

Применение в программном обеспечении технологий искусственного интеллекта может позволить подбирать целенаправленные упражнения для верхней конечности пациента, изначально исходя из его функциональных возможностей, минимизируя степень участия специалиста в этом процессе.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В., Мухаметова Д.А., Слепнева Н.И. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. — 2020. — Т15. — №1. — С. 89-98. [Karpov OE, Daminov VD, Novak EV, Muxametova DA, Slepnyova NI. Virtual reality technologies in medical rehabilitation as an example of modern health informatization. Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2020; 15(1): 89-98. (In Russ).]
2. Котельникова А.В., Погонченкова И.В., Даминов В.Д., Кукшина А.А., Лазарева Н.И. Виртуальная реальность в коррекции болевого синдрома у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями крупных суставов и позвоночника // Вестник восстановительной медицины. — 2020. — Т96 — № 2. — С. 41-48. [Kotelnikova AV, Pogonchenkova IV, Daminov VD, Kukshina AA, Lazareva NI. Virtual reality in the correction of pain syndrome in patients with degenerative-dystrophic joints and spine diseases. Bulletin of rehabilitation medicine. 2020; 2(96): 41-48. (In Russ).]
3. Aida J Chau B, Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury. NeuroRehabilitation. 2018; 441-448.
4. Hoffman HG, Patterson DR, Carrougher GJ. Use of virtual reality for adjunctive treatment of adult burn pain during physical therapy: A controlled study. Clin. J. Pain. 2000; 16: 244-250.
5. Hui-Ting Lin, Yen-I Li, Wen-Pin Hu, Chun-Cheng Huang, Yi-Chun Du. A Scoping Review of The Efficacy of Virtual Reality and Exergaming on Patients of Musculoskeletal System Disorders. Journal of Clinical Medicine. 2019; 8(6): 791.
6. Черникова Л.А. Восстановительная неврология: Инновационные технологии в нейрореабилитации. М.: Медицинское информационное агентство. — 2016. — С. 344. [Chernikova LA, Restorative neurology: Innovative technologies in neurorehabilitation. M.: Medical Information Agency. 2016: 344. (In Russ).]
7. Maria Grazia Maggio Desirée Latella, Giuseppa Maresca, Francesca Sciarrone, Alfredo Manuli, Antonino Naro, Rosaria De Luca, Rocco Salvatore Calabrò Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: An overview. Journal of Neuroscience Nursing. 2019: 101-105.
8. Maria Grazia Maggio Margherita Russo, Marilena Foti Cuzzola, Massimo Destro, Gianluca La Rosa, Francesco Molonia, Placido Bramanti, Giuseppe Lombardo, Rosaria De Luca, Rocco Salvatore Calabrò Virtual reality in multiple sclerosis rehabilitation: A review on cognitive and motor outcomes. Journal of Clinical Neuroscience. 2019: 106-111.
9. Maria Grazia Maggio Rosaria De Luca, Francesco Molonia, Bruno Porcari, Massimo Destro, Carmela Casella, Ramona Salvati, Placido Bramanti, Rocco Salvatore Calabrò Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: A narrative review on the emerging use of virtual reality. Journal of Clinical Neuroscience. 2019: 1-4.
10. Waddell KJ, Birkenmeier RL, Bland MD, Lang CE, An exploratory analysis of the self-reported goals of individuals with chronic upper-extremity paresis following stroke. Disability and rehabilitation. 2016; 38(9): 853-7.
11. Wakkal G, Veerbeek JM, van Wegen EE, Wolf SL. Constraint-induced movement therapy after stroke. Lancet Neurol. 2015; 14(2): 224-34.
12. Schroeder R. Virtual Worlds Research: Past, Present & Future. Journal of Virtual Worlds Research. 2008.
13. Laver K, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation: an abridged version of a Cochrane review. Eur J Phys Rehabil Med. 2015; 51(4): 497-506.
14. Хижникова А.Е., Клочков А.С., Котов-Смоленский А.М., Супонева Н.А., Черникова Л.А. Виртуальная реальность как метод восстановления двигательной функции руки //Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2016. — Т10. — №3. — С. 5-13. [Khizhnikova AE, Klochkov AS, Kotov-Smolensky A M, Suponeva NA, Chernikova LA. Virtual reality as a method of restoring the motor function of the hand. Annals of Clinical and Experimental Neurology. 2016; 10(3): 5-13. (In Russ).]
15. Zanier ER, Zoerle T, Di Lernia D, Riva G. Virtual Reality for Traumatic Brain Injury. Frontiers in Neurology. 2018: 345.