

ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
ГОРОДА МОСКВЫ «МОСКОВСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ, ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ И СПОРТИВНОЙ
МЕДИЦИНЫ ДЕПАРТАМЕНТА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ»
(ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ
доктор медицинских наук И.В. Погонченкова



_____ 2023 г.

**Методика применения мультисенсорного тренажера «ReviVR»
(«РЕВАЙВЕР») в медицинской реабилитации пациентов с
нарушением функций ходьбы и равновесия после перенесенного
ишемического инсульта**

Методическое пособие

Москва - 2023

Авторы-составители:

Погонченкова Ирэна Владимировна – д.м.н., доцент, директор ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ, главный внештатный специалист по медицинской реабилитации и санаторно-курортному лечению ДЗМ.

Турова Елена Арнольдовна – д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ.

Рассулова Марина Анатольевна – д.м.н., профессор, первый заместитель директора, главный научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ.

Костенко Елена Владимировна – д.м.н., Заведующий филиалом №7, главный научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ.

Кашежев Алим Гумарович – к.м.н., старший научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ.

Лутохин Глеб Михайлович – к.м.н., старший научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ.....	7
ПОСТИНСУЛЬТНЫЕ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ...	8
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ.....	9
ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ.....	11
ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ	12
КРИТЕРИИ ОТБОРА ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ТРЕНАЖЕРА «ReviVR» («РЕВАЙВЕР») В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОГО ИНСУЛЬТА	14
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕДУР МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ТРЕНАЖЕРА «ReviVR» («РЕВАЙВЕР»).....	15
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24
ЛИТЕРАТУРА.....	25

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АД	- артериальное давление
БОС	- биологическая обратная связь
ВР	- виртуальная реальность
ИИ	- ишемический инсульт
МР	- медицинская реабилитация
ОРИТ	- отделение реанимации и интенсивной терапии
ССЗ	- сердечно-сосудистые заболевания
ЦИ	- церебральный инсульт
ЦНС	- центральная нервная система
HADS	- Hospital Anxiety and Depression Scale, Госпитальная шкала тревоги и депрессии
MAS	- Modified Ashworth Scale, Модифицированная шкала Эшворта
MoCA	- The Montreal Cognitive Assessment, Монреальская шкала оценки когнитивной функции
MRCS	- Medical Research Council Scale, шкала британского комитета медицинских исследований количественной оценки мышечной силы
mRS	- The Modified Rankin Score, Модифицированная шкала Рэнкина

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) представляют одну из важнейших медико-социальных проблем. Среди ССЗ в последние годы ведущее место занимает церебральный инсульт (ЦИ), как правило, сопровождающийся выраженными и стойкими неврологическими нарушениями.

Заболеваемость ЦИ в настоящее время составляет 3,45 случая на 1000 населения в год (у лиц трудоспособного возраста – 1,3). Смертность от инсульта, по разным данным, варьирует в диапазоне от 1,75 до 2,8 случаев на 1000 населения в год (у лиц трудоспособного возраста – 0,41). Уровень летальности в первые 30 дней после ЦИ составляет 34,6 % (у лиц трудоспособного возраста – 20,2 %, при повторном инсульте – 40 %). С 2001 года по настоящее время в Российской Федерации (РФ) смертность вследствие ишемического инсульта (ИИ) возросла с 19,8 до 21,9 %. Частота повторного инсульта составляет, по данным разных авторов, от 20 до 40%.

Инсульт является ведущей причиной первичной инвалидизации населения во всем мире. Так, до 31% больных, перенесших ЦИ, нуждаются в постоянной посторонней помощи, 20% не могут самостоятельно передвигаться. В настоящее время в России проживает свыше 1 млн человек, перенесших ЦИ, из них третью часть составляют лица трудоспособного возраста, к труду же возвращается только каждый четвертый больной.

Помимо медико-социальных аспектов, рост заболеваемости ЦИ имеет значительные негативные экономические последствия. В РФ прямые расходы на лечение одного больного, перенесшего инсульт, составляют около 127 тысяч рублей в год, что превышает по стоимости прямые расходы на лечение одного больного, перенесшего инфаркт миокарда, в 5,8 раза. Таким образом, общая сумма прямых расходов, связанных с лечением пациентов, перенесших инсульт, составляет 63,4 млрд рублей. Непрямые расходы составляют около 304 млрд рублей в год.

Физиологической основой восстановления функций при повреждении нервной системы является активация различных видов нейропластичности. Концепция структурно-системной организации мозга Андрианова О.С. (1983) гласит, что деятельность мозга обеспечивается проекционными, ассоциативными, интегративно-пусковыми и лимбико-ретикулярными системами, имеющими свои специфические функции. Проекционные системы обеспечивают анализ и переработку соответствующей по модальности информации. Ассоциативные системы связаны с анализом и синтезом различных возбуждений. Интегративно-пусковые системы синтезируют возбуждения различных модальностей, окончательно трансформируя афферентные влияния в качественно новую форму деятельности, направленную на скорейший выход

возбуждений на периферию. Лимбико-ретикулярные системы обеспечивают энергетические, мотивационные и эмоционально-вегетативные реакции.

Нейропластичность согласуется с принципами структурно-функциональной организации мозга:

1. Принцип пространственной и временной дисперсии возбуждений одной модальности, идущих по различным каналам данной сенсорной системы.

2. Принцип пространственной и временной дисперсии эфферентных возбуждений, распространяющихся за пределами данной сенсорной системы.

3. Принцип подразделения связей на моно- и полипроекционные (так, существуют не только прямые связи таламуса с корой, но и опосредованные, через базальные ганглии).

4. Принцип перекрытия проекций афферентных влияний на различных уровнях ЦНС с другими видами сенсорных посылок.

5. Принцип функциональной многозадачности структур мозга.

6. Принцип смены доминирующего участия одной системы мозга на другую в процессе формирования какого-либо вида интегративной деятельности.

7. Принцип упорядоченного взаимодействия определенных систем мозга в реализации более сложных форм поведенческих реакций.

В настоящее время более значительная роль в восстановлении нарушенных функций при поражении первичных моторных зон и пирамидных трактов отводится зонам, расположенным от первичной моторной коры более дистально – а именно премоторной коре, обладающей рядом свойств, позволяющих ей взять на себя функцию первичной моторной коры при ее повреждении. Это прежде всего высокая способность к изменению ее нейронов при обучении, прямые проекции пирамидных клеток V слоя на спинальные интернейроны и α -мотонейроны, наконец, соматотопическая организация, аналогичная таковой у первичной моторной коры.

В целом в основе реорганизации функций нервной системы лежат такие факторы, как полисенсорная функция нейрона и нейронального пула, иерархичность структур мозга и спраутинг – проращение и дальнейшее анастомозирование нервных волокон.

Концепция нейропластичности занимает центральное место в нейрореабилитации. В то же время нейропластические процессы участвуют и в формировании патологических симптомов, таких как спастичность, повышенная рефлекторная активность и хронический болевой синдром. В связи с этим одной из важнейших задач современной нейрореабилитации является изучение возможности

адекватного управления нейропластическими процессами с помощью различных средств.

Комплексный реабилитационный подход предполагает начало мероприятий с самых ранних сроков заболевания для достижения значимого восстановления утраченных функций в будущем. Одной из важнейших задач медицинской реабилитации (МР) при инсульте является вертикализация пациента и восстановление способности к передвижению. В последнее время большое внимание уделяется использованию виртуальной реальности (ВР) как метода реабилитации. Использование ВР как инструмента многократной и натуралистичной демонстрации сцен взаимодействия с объектами реального мира может влиять на межкортикальные взаимодействия с целью их активации или торможения как в моторной, так и в премоторной областях (Léonard, Tremblay, 2006; Laver et al., 2017). Между затылочными, лобными и теменными долями существуют обширные корково-корковые связи, которые активируются при обработке зрительной, моторной и проприоцептивной информации (Dum, 2005; Borra, Luppino, 2017). Имеются данные о том, что значительное количество нейронов в моторной, премоторной и теменной областях модулируется визуальной информацией (Caldara et al., 2004; Ertelt et al., 2007), а движения виртуального аватара обнаруживают общие теменно-лобные связи. Таким образом, ранее полученные данные свидетельствуют о том, что зрительная стимуляция (в условиях ВР) и физическое воздействие на пораженные конечности способствуют повышению эффективности двигательной реабилитации больных с острым нарушением мозгового кровообращения.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ

Мультисенсорная стимуляция – стимуляция мультисенсорных систем с помощью стимулов различных сенсорных систем (зрительной, тактильной, проприоцептивной, слуховой и пр.), с целью увеличения и расширения одновременной афферентации, что оказывает модулирующее влияние на процессы сенсомоторной интеграции и адаптивной нейропластичности.

Виртуальная реальность (ВР, англ. virtual reality, VR) представляет собой созданную совокупностью компьютерных технологий искусственную окружающую среду, воспринимаемую человеком через органы чувств (зрение, слух, реже обоняние и осязание), что вызывает у пользователя(ей) ощущение присутствия в среде, отличной от той, в которой они в действительности находятся, и которое позволяет «взаимодействовать» с этой средой и «погружаться» в нее натуралистическим образом (Ralph Schroeder, 1996).

ПОСТИНСУЛЬТНЫЕ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ

Наиболее инвалидизирующими последствиями инсульта являются двигательные нарушения, приводящие к стойкой дезадаптации пациента, утрате навыков самообслуживания и необходимости постоянной помощи ухаживающих лиц. Среди нарушений, влияющих на способность к самообслуживанию, центральное место занимают именно нарушения ходьбы и равновесия, связанные как со снижением силы и нарушением координации в паретичных конечностях, так и с нарушением функционирования зрительного и вестибулярного анализаторов и их взаимодействия. Существенный вклад в нарушения биомеханики ходьбы, помимо снижения силы в нижней конечности, вносят чувствительные нарушения, в частности, проприоцептивная афферентация от мышц нижней конечности и подошвы. В первую очередь от дезафферентации страдают гравитационно-зависимые мышцы, особенно в условиях иммобилизации пациента.

Современная концепция МР пациентов, перенесших инсульт, предполагает начало мероприятий в первые сутки после инсульта, в том числе в отделении интенсивной терапии (ОРИТ). На первом этапе реабилитации в ОРИТ проводятся ранняя вертикализация пациента, постуральная коррекция и тренировки нижних конечностей в пассивном режиме, в том числе и с помощью роботизированных систем, для предотвращения риска развития сердечно-сосудистых и дыхательных осложнений.

Для коррекции нарушений ходьбы и равновесия в настоящий момент широко применяются различные роботизированные приборы (экзоскелеты) и стабилоплатформы с биологической обратной связью (БОС), показавшие свою эффективность в рандомизированных исследованиях.

По прогнозам экспертов, к 2050 году частота инсультов только в Европе увеличится на 30 % за счет старения населения. Роботизированные аппараты могут помочь обеспечить качественную помощь пациентам после инсульта за счет поддержания необходимой интенсивности занятий.

Тем не менее, для пациентов в ранние сроки после перенесенного инсульта активные занятия с применением этих методов могут быть противопоказаны, особенно при наличии ортостатической гипотензии или других состояний, препятствующих вертикализации пациента, поэтому разрабатываются и внедряются более щадящие методы реабилитации. С учетом особенностей этой категории пациентов методом выбора являются пассивные реабилитационные тренажеры с возможностью применения у лежачих пациентов. При этом они должны легко переноситься и иметь достаточно

низкий порог вхождения для пациента. Помимо классических пассивных методик, таких как массаж или пассивная механотерапия нижних конечностей, применяются более современные методики, в том числе включающие ВР и системы с БОС.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ

В настоящее время при оценке функции баланса используются следующие методы: клинический, оценочные шкалы, инструментальные методы (стабилометрия). Обследование пациентов с нарушением функции равновесия и ходьбы включает общесоматический и неврологический осмотр, оценку мышечной силы и мышечного тонуса, исследование нарушений равновесия и ходьбы, нейропсихологические методы исследования, оценку функциональной независимости и качества жизни с использованием унифицированных тестов, шкал и опросников.

Исследование мышечной силы, мышечного тонуса

Шкала британского комитета медицинских исследований количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Scale, MRCS) предназначена для исследования силы мышц. Интерпретация результатов: отсутствие признаков движения при попытке произвольного напряжения мышцы (плегия) - 0 баллов; ощущение напряжения при попытке произвольного движения (грубый парез) - 1 балл; движение в полном объеме в условиях разгрузки (выраженный парез) - 2 балла, движение в полном объеме при действии силы тяжести (умеренный парез) - 3 балла; движение в полном объеме при действии силы тяжести и при небольшом внешнем противодействии (легкий парез) - 4 балла; движение в полном объеме при действии силы тяжести и максимального внешнего противодействия (отсутствие пареза) - 5 баллов (Приложение 1).

Модифицированная шкала Эшворта (Modified Ashworth Scale, MAS). Оценка мышечного тонуса проводится в положении пациента лежа на спине в расслабленном состоянии. При исследовании мышцы-сгибателя конечности придают положение наибольшего сгибания, затем ее максимально разгибают за 1 секунду. При исследовании мышцы-разгибателя конечности придают положение наибольшего разгибания, затем ее максимально сгибают за 1 секунду. Интерпретация результатов: 0 - Мышечный тонус не повышен; 1 - Легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения и быстрого расслабления мышцы или минимального сопротивления в конце пассивного сгибания или разгибания; 1+ - Легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения мышцы с минимальным сопротивлением при продолжении пассивного движения (менее половины амплитуды); 2 - Более выраженное повышение мышечного тонуса, ощущаемое во время выполнения почти всего пассивного движения; при этом

пораженный(е) сегмент(ы) конечности легко поддаются движению; 3 - Значительное повышение мышечного тонуса, пассивные движения затруднены; 4 - Пораженный(е) сегмент(ы) неподвижны при сгибании или разгибании (Приложение 2).

Оценка нарушений ходьбы

Шкала оценки результативности (производительности) двигательной активности (Performance Oriented Mobility Assessment, ПОМА или Tinetti test, ТТ) включает в себя оценку и равновесия, и ходьбы (М.Е. Tinetti, 1986). Параметры равновесия оценивали по шкале от 0 до 2 баллов, где 0 - «невозможно выполнить», 1 - «выполняется неверно», а 2 - «норма». Тесты на ходьбу оценивали в 0 («невыполнимо») или 1 балл («норма»). Максимальная оценка ходьбы - 12 баллов, равновесия - 16 баллов, всего теста - 28 баллов. Интерпретация результатов: равновесие + ходьба = <19 - высокий риск падения; равновесие + ходьба = 19-24 - средний риск падения; равновесие + ходьба = 25-28 - низкий риск падения (Приложение 3).

Шкала равновесия Берг (the Berg Balance Scale, BBS) была разработана Katherine Berg в 1989 г., является клиническим тестом, оценивающим равновесие и функциональную мобильность по результатам выполнения 14 заданий. В исследованиях была определена корреляционная связь шкалы Берг с индексом Бартел, подшкалой равновесия Тинетти и скоростью ходьбы. Для исследования использовали следующее оборудование: линейка, два стула (один с подлокотниками, один без), степ-платформа, секундомер, 4.5 метра свободного пространства. Каждое задание оценивали по пятибалльной шкале от 0 (неспособность выполнить задание) до 4 (норма). Максимальный суммарный балл - 56. Интерпретация результата: 41-56 - низкий риск падения; 21-40 - средний риск падения; 0-20 - высокий риск падения (Приложение 4)

Оценка мобильности и функциональной независимости пациента в повседневной жизни

Модифицированная шкала Рэнкина (The Modified Rankin Score, mRS). Универсальная шкала для оценки функциональной независимости и инвалидизации. Шкала была впервые использована для описания у пациентов с инсультом. Что выясняется у пациента для оценки по mRS:

1. Имеет ли пациент какие-либо симптомы заболевания?
2. Имеет ли пациент какие-либо нарушения вследствие заболевания?
3. Что умел делать пациент до заболевания, что он не может делать в результате заболевания? Если пациент до заболевания (когда был здоров) не мог выполнять какие-то действия, которые он не может выполнять сейчас (например, вождение автомобиля, приготовление пищи), то это не считается как ограничение вследствие заболевания.

4. Может ли пациент самостоятельно вернуться на прежнюю работу?
5. В чем нужна помощь пациенту в быту?
6. Как долго больной может оставаться дома один?
7. Может ли пациент самостоятельно передвигаться?
8. Может ли пациент сам себя обслуживать?

По результатам опроса подсчитываются баллы. 0 – нет симптомов заболевания, нет ограничения жизнедеятельности. 1 – отсутствие существенных нарушений жизнедеятельности, способен выполнять обычные повседневные обязанности. 2 – легкое нарушение жизнедеятельности; не способен выполнять некоторые прежние обязанности. 3 – умеренное нарушение жизнедеятельности; потребность в некоторой помощи, но ходит самостоятельно. 4 – выраженное нарушение жизнедеятельности, не способен ходить без посторонней помощи, справляться со своими физиологическими потребностями без посторонней помощи. 5 – грубое нарушение жизнедеятельности, прикован к постели, потребность в постоянной помощи медицинского персонала. 6 – смерть больного (Приложение 5).

Индекс мобильности Ривермид (Rivermead mobility index) является тестом, оценивающим не только ходьбу, но и подвижность больного. Значение индекса соответствует баллу, присвоенному вопросу, на который врач дает положительный ответ в отношении пациента. Значение индекса мобильности Ривермид может варьироваться от 0 (пациент не способен самостоятельно выполнять произвольные движения) до 15 баллов (возможность пробежать 10 метров за 4 секунды) (Приложение 6).

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Мультисенсорная стимуляция – сочетанное или комплексное применение стимулов, воздействующих на несколько анализаторов сенсорной системы: слуховой, зрительный, вестибулярный, тактильный и другие. Одновременная афферентация по нескольким сенсорным системам формирует целостную картину необходимого движения, что создает благоприятные условия для восстановления нарушенных функций.

Одной из сенсорных систем в терапии нарушений функции ходьбы является проприоцептивная. Механическая стимуляция подошвенной поверхности у пациентов с нарушениями функции ходьбы различной этиологии применяется достаточно давно. Разработанная И.Б. Козловской еще в 70-х годах XX века теория опорной афферентации нашла свое практическое применение в МР пациентов с нарушениями ходьбы и равновесия. Рецепторный аппарат подошвы благодаря воздействию, имитирующему

шаговые движения, стимулирует процесс восстановления движений нижней конечности и поддерживает позно-тонические рефлексы при поражении проводящих путей в головном мозге, особенно в условиях недостаточной нисходящей стимуляции. Для уменьшения негативного влияния отсутствия гравитации и последующей атрофии гравитационно-зависимых мышц используется подошвенная стимуляция, показавшая свою эффективность в ряде исследований.

Логичным продолжением развития технологии стало включение стимуляции звуковой и зрительной сенсорных систем, что позволяет активировать систему зеркальных нейронов, активно участвующих в восстановлении нарушений движений вследствие поражения ЦНС. Для реализации мультисенсорной стимуляции у пациентов, перенесших инсульт, применяется технология ВР. Именно «погружение» пациента в виртуальную среду позволяет в полной мере реализовать динамические нейрокогнитивные образы – принципиально новую стратегию, обеспечивающую мультисенсорную афферентацию и сенсомоторную интеграцию.

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Виртуальная реальность (ВР, англ. virtual reality, VR) представляет собой созданную техническими средствами искусственную окружающую среду, воспринимаемую человеком через органы чувств (зрение, слух, реже обоняние и осязание). Таким образом, ВР-технологиям по определению свойственна мультисенсорная стимуляция, способная запускать процессы функциональной перестройки корковых связей головного мозга.

Технологической основой ВР является компьютерное моделирование, которое в сочетании с ускоренной трехмерной визуализацией позволяют реалистично отображать на экране сцену, движение и все взаимодействия внутри сцены, в том числе и с участием пользователя. Для минимального взаимодействия с ВР достаточно монитора и компьютерной мыши (джойстика). В более технологичных системах применяются виртуальные шлемы с дисплеями (HMD), в частности, шлемы со стереоскопическими очками, и устройства 3D-ввода, например, мышь с дистанционно управляемым курсором или «цифровые перчатки», обеспечивающие тактильную обратную связь с пользователем.

Все применяемые на сегодняшний день ВР-технологии могут быть разделены на пассивные, когда не происходит интерактивного взаимодействия с виртуальной средой, и активные, когда пользователь манипулирует «аватаром» (образом своего тела) или

конкретными объектами внутри виртуальной сцены с использованием того или иного вида обратной связи.

VR-технологии применяются достаточно успешно в комплексной реабилитации пациентов и на сегодняшний день признаны перспективным методом, позволяющим повысить результативность реабилитационного процесса. В настоящее время они чаще всего используются в нейрореабилитации (после черепно-мозговых и позвоночно-спинномозговых травм, а также инсульта).

Несомненными достоинствами этой технологии являются возможность достижения большей интенсивности тренировок и создание индивидуального виртуального пространства для каждого больного в соответствии с его двигательными особенностями, а также взаимодействие с виртуальными объектами внутри этих пространств.

Основная особенность VR-технологии – это иллюзия присутствия пользователя в смоделированной компьютером среде, которое называют дистанционным присутствием. Ощущение дистанционного присутствия в меньшей степени зависит от того, насколько естественно выглядят изображения среды, чем от того, как реалистично воспроизводятся движения и насколько убедительно VR-модель реагирует при взаимодействии с пользователем. Если пользователь располагает более чувствительными (погруженными) устройствами ввода, например, цифровыми перчатками и виртуальными шлемами, то модель обеспечивается достаточным количеством данных, чтобы надлежащим образом реагировать на такие действия пользователя как поворот головы или даже движение глаз.

Благодаря быстрой обратной связи VR позволяет пациентам сразу увидеть результаты своих усилий, что оказывает выраженное благотворное влияние на психологическое состояние и мотивацию пациента. Обратная связь-подкрепление может быть получена как в процессе решения задач, так и после выполнения задания, в виде визуального, слухового, а иногда и тактильного подкрепления.

Некоторые исследования показали, что воздействие на моторные зоны коры позволяет реструктурировать нейронные связи и восстанавливать поврежденные области мозга, отвечающие за сенсомоторную и поведенческую активность. Тренажером, сочетающим все перечисленные принципы, является аппаратно-программный комплекс «ReviVR» («РЕВАЙВЕР»).

**КРИТЕРИИ ОТБОРА ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ
МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ТРЕНАЖЕРА «ReviVR» («РЕВАЙВЕР») В
МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ
ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ И РАВНОВЕСИЯ ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОГО
ИНСУЛЬТА**

Показания

1. Код диагноза по МКБ: I63.0; I63.1; I63.2; I63.4; I63.5; I63.8
2. Возраст пациента: 20–75 лет
3. Клиническая характеристика: Пациенты с нарушениями функции ходьбы и равновесия в остром и раннем восстановительном периодах ИИ
4. Характеристика функции нижней конечности: выраженность пареза мышц нижней конечности 0–4 балла по MRCS; спастичность 2 балла и менее по MAS
5. Характеристика функции мобильности: 5 баллов и более по шкале мобильности Ривермид
6. Нейropsychологические функции: когнитивная функция 27 и более баллов по MoCA; аффективные нарушения менее 11 баллов по HADS
7. Домены МКФ, связанные нарушением функции ходьбы и равновесия:

Домены активности:

- d415.1-4 Поддержание положения тела
- d420.1-4 Перемещение тела
- d429.1-4 Изменение и поддержание положения тела
- d450.1-4 Ходьба
- d460.1-4 Передвижение в различных местах
- d469.1-4 Ходьба, передвижение и относящаяся к ним активность

Домены функции:

- b260.1-4 Проприоцептивная функция
- b730.1-4 Функция мышечной силы
- b735.1-4 Функция мышечного тонуса
- b760.1-4 Контроль произвольных двигательных функций
- b770.1-4 Функции стереотипа походки

Противопоказания

1. Тяжесть состояния больного по неврологическому или соматическому статусу, не позволяющая провести реабилитационное мероприятие
2. Нарушения сознания
3. Слепота на один или оба глаза или выраженное нарушение зрения
4. Трофические нарушения кожи нижних конечностей
5. Отсутствие нижней конечности вследствие ампутации
6. Анкилозы, фиксированные контрактуры, деформирующий артроз 3-4 ст, артрит/синовит, состояние после операций эндопротезирования, артропластики суставов нижних конечностей

7. Несросшиеся переломы костей нижних конечностей
8. Нестабильность (подвывихи и вывихи) в суставах ног
9. Выраженная мышечная спастичность (3 и более баллов по шкале Эшворта)
10. Выраженная моторная или сенсорная афазия или выраженные когнитивные нарушения (менее 27 баллов по MoCA), не позволяющие пациенту понимать и выполнять инструкции
11. Выраженные аффективные нарушения (11 и более баллов по HADS)
12. Любое заболевание, включая психическое заболевание или эпилепсию, которое может повлиять на безопасность пациента
13. Злоупотребление алкоголем или наркотиками в течение последних 12 месяцев
14. Лечение ботулотоксином типа А или В в течение предшествующих 6 месяцев до включения в исследование
15. Хирургическое вмешательство в течение предшествующих 6 месяцев до включения в исследование; например, операции на брюшной полости, спине, ногах или коленях

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕДУР МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИСЕСОРНОГО ТРЕНАЖЕРА «ReviVR» («РЕВАЙВЕР»)

Описание методики

Аппаратно-программный комплекс «ReviVR» («Ревайвер») (АПК) – тренажер пассивной реабилитации пациентов с нарушениями движений в нижних конечностях вследствие различных заболеваний (регистрационное удостоверение № РЗН 2021/15373 от 23.09.2021г.).

В комплект АПК входят системный блок с монитором и шлемом виртуальной реальности, сандалии с пневмокамерами на нижние конечности с компрессором для создания давления, а также программное обеспечение.

В процессе занятия пациент погружается в виртуальную среду посредством шлема виртуальной реальности и совершает «прогулку» в ней. Синхронно с движением аватара в моделированной среде осуществляется пневмокомпрессия подошвы по 4 точкам для каждой стопы, что создает ощущение движения и перемещения веса тела и точки опоры на стопу, имитирующих шаги.

Тактильная обратная связь позволяет пациенту зафиксировать касание объекта и даёт возможность выполнять действия, аналогичные таковым у здорового человека. Это дает пациенту ощущение завершенности выполняемого в VR движения несмотря на то, что конечность может лишь незначительно двигаться или не двигаться вовсе. Восстановление активных движений в конечностях с использованием VR происходит за

счет активизации вторичных моторных центров и ассоциативных зон коры головного мозга для формирования новых моторных паттернов, позволяющих активировать те или иные группы мышц для выполнения успешного и запланированного движения.



Рисунок 1. Мобильная стойка с системным блоком и монитором и прибор для создания давления с пневматическим модулем сенсорного воздействия на стопы



Рисунок 2. Шлемы виртуальной реальности

Занятие проводится в кабинете лечебной физической культуры. Во время процедуры пациент находится в положении сидя для восстановления движений в нижних конечностях.

В проекции подошвенных поверхностей стоп устанавливаются по четыре пневмоманжеты на каждую подошвенную поверхность. Запускается программа, демонстрирующая пациенту парковую зону, где он может перемещаться по дорожкам для прогулки. На первоначальном этапе пациент движется в пассивном состоянии, т.е. не регулирует направление и скорость движения. При этом каждый виртуальный шаг пациента синхронизирован с последовательным раздуванием пневмоманжет той же стороны, что дает пациенту тактильное ощущение контакта с дорожкой для прогулки в VR.

Перед надеванием шлема VR пациента инструктируют о необходимости сохранения неподвижности для исключения риска травм, за исключением движений головы. При надевании шлема глаза пациента должны быть закрыты. При использовании иммерсивной VR возможно развитие специфического кинетоза, проявляющегося головокружением, тошнотой и в тяжелых случаях рвотой, о чем также необходимо сообщить пациенту. При возникновении любых неприятных ощущений пациент должен немедленно сообщить об их развитии медицинскому персоналу. Медицинский работник должен незамедлительно снять шлем VR и оказать помощь при необходимости.

Всего проводится 10 занятий продолжительностью 15–20 минут. В программном обеспечении АПК присутствует 6 различных виртуальных сцен, расположенных в порядке усложнения экспозиции, увеличения предметов и сложности ландшафта: стадион, спортивный зал, озеро, водопад, улица, Луна (рисунок 3–9). Общий принцип выбора сцены состоит в индивидуальном подборе и постепенном увеличении сложности от занятия к занятию. Для обучения и понимания концепции виртуальной реальности рекомендуется начинать реабилитационный курс со сцен «Стадион» или «Спортивный зал».

Порядок проведения процедуры мультимодальной стимуляции в виртуальной реальности:

Алгоритм проведения занятия:

1. Перед проведением занятия производится измерение АД и ЧСС;
2. Подбор размера сандалий с пневмокамерами и их плотная фиксация на стопах;
3. Инструктаж пациента;
4. Надевание шлема VR;
5. Настройка виртуальной среды;
6. Реабилитационное занятие в течение 10–15 минут и контроль развития нежелательных явлений;

7. Снятие шлема VR;
8. Повторное измерение АД и ЧСС и фиксация информации о самочувствии пациента.

STOP-сигналы для прекращения тренировок с использованием сенсорной перчатки с БОС:

1. Жалобы пациента на головокружение и тошноту
2. Повышение или снижение артериального давления
3. Нарастание мышечного тонуса в тренируемой конечности
4. Жалобы пациента на утомление и усталость

ИНСТРУКТАЖ ПАЦИЕНТА

Перед надеванием шлема VR пациенту разъясняют о необходимости сохранения неподвижности для исключения риска травм, за исключением движений головы. При надевании шлема глаза пациента должны быть закрыты. При использовании иммерсивной VR возможно развитие специфического кинетоза, проявляющегося головокружением, тошнотой и в тяжелых случаях рвотой, о чем также необходимо сообщить пациенту. При возникновении любых неприятных ощущений пациент должен немедленно сообщить об их развитии медицинскому персоналу. Медицинский работник должен незамедлительно снять шлем VR и оказать помощь при необходимости.

НАСТРОЙКА ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ

Перед проведением занятия необходимо выбрать и настроить виртуальную сцену, аватар и дублера. Дублер - это персонаж, за которым пациент следует в виртуальной среде, что увеличивает иммерсивность и комплаентность пациента, однако в течение курса можно отключить эту функцию.

ВЫБОР СЦЕНЫ

В программном обеспечении АПК присутствует 6 различных виртуальных сцен, расположенных в порядке усложнения экспозиции, увеличения предметов и сложности ландшафта: стадион, спортивный зал, озеро, водопад, улица, Луна (рисунок 3–9). Общий принцип выбора сцены состоит в индивидуальном подборе и постепенном увеличении сложности от занятия к занятию. Для обучения и понимания концепции VR рекомендуется начинать реабилитационный курс со сцен «Стадион» или «Спортивный зал». Пациенту должно быть комфортно находиться в виртуальной сцене, поэтому использовать более сложные пространства, а именно «Улица» или «Луна», для пациентов с когнитивными нарушениями не рекомендуется.

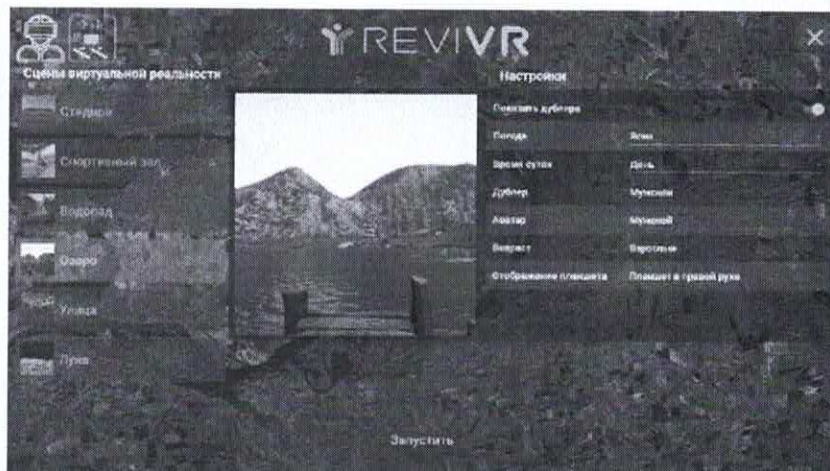


Рисунок 3. Интерфейс настройки сцены



Рис. 4. Виртуальная сцена «Стадион»

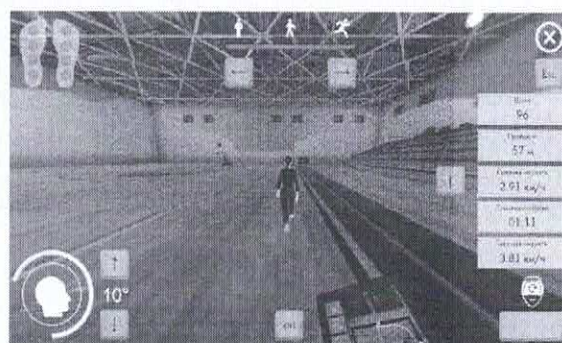


Рис. 5. Виртуальная сцена «Спортивный зал»

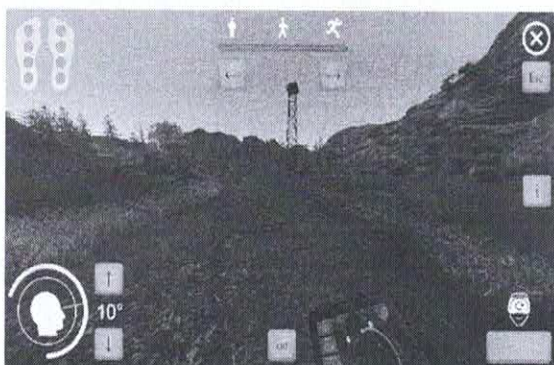


Рис. 6. Виртуальная сцена «Озеро»

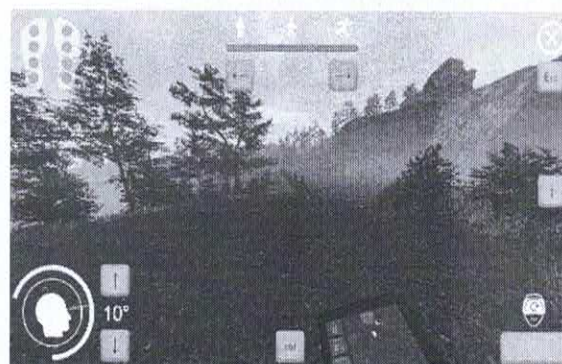


Рис. 7. Виртуальная сцена «Водопад»



Рис. 8. Виртуальная сцена «Улица»



Рис. 9. Виртуальная сцена «Луна»

НАСТРОЙКА ПОЛА АВАТАРА

После выбора сцены необходимо настроить пол и возраст аватара для более полного погружения пациента в виртуальную среду (рисунок 10,11).



Рис. 10. Настройка пола аватара



Рис. 11. Настройка возраста аватара

НАСТРОЙКА ВРЕМЕНИ СУТОК

В меню настройки программного обеспечения АПК необходимо установить время суток в виртуальной среде: утро, день, вечер и ночь (рисунок 12–15). По умолчанию выставляется дневное время. Различия между ними обусловлены количеством и источником света в виртуальной сцене. Для инициации занятий у пациентов в острой стадии ишемического инсульта следует подбирать время суток с более высоким световым потоком с последующим переходом на менее освещенные сцены при необходимости.

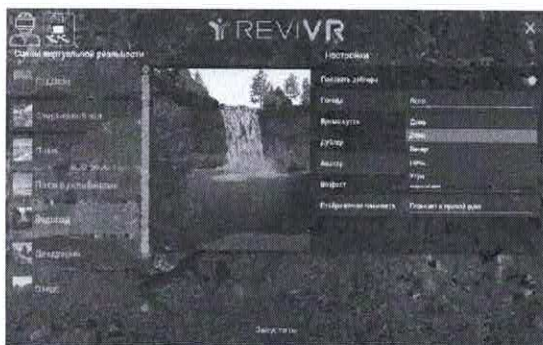


Рис. 12. Интерфейс выбора времени суток.

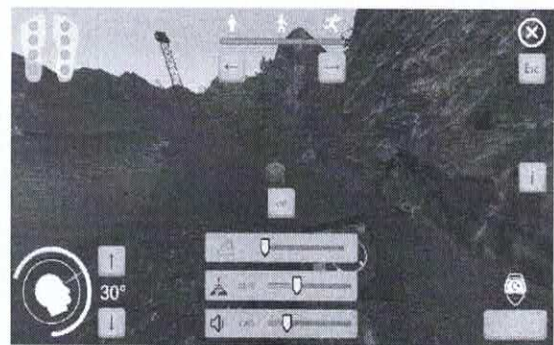


Рис. 13. Время суток «День».

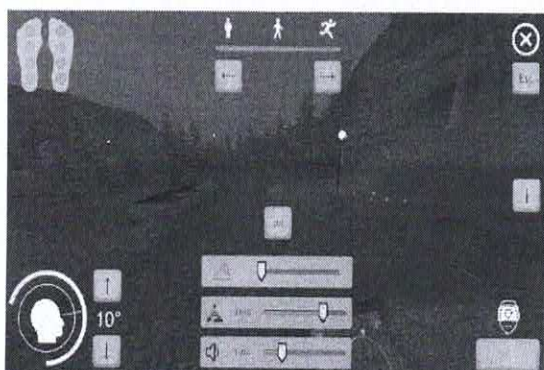


Рис. 14. Время суток «Вечер».

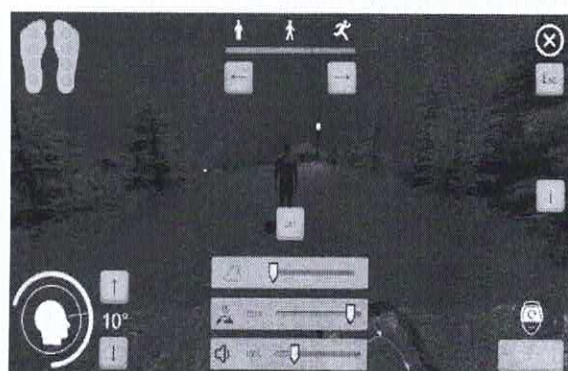


Рис. 15. Время суток «Ночь».

НАСТРОЙКА ПОГОДЫ

В виртуальной среде реализована возможность изменять погодные условия с постепенным ухудшением видимости. Предусмотрено 7 градаций – от безоблачного неба до сильного снега (рисунок 16-19). Для инициации упражнений рекомендуется ясная погода с последующим усложнением в процессе курса в случае переносимости пациентом.



Рис. 16. Интерфейс выбора погоды

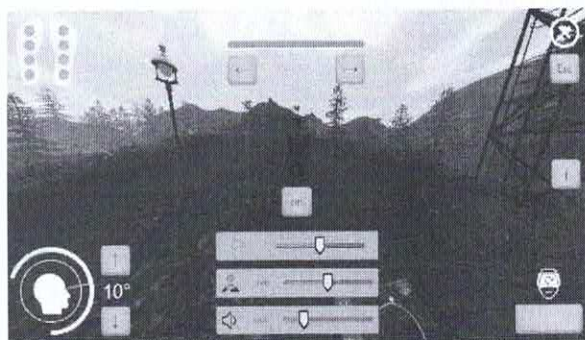


Рис. 17. Погода «Дождь (сильный дождь)»

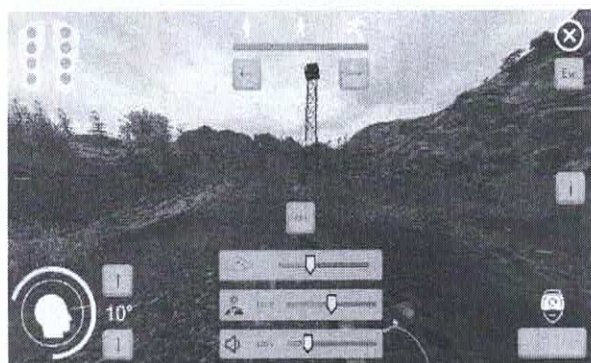


Рис. 18. Погода «Облачно (очень облачно)»



Рис. 19. Погода «Снег (сильный снег)»

НАСТРОЙКА СКОРОСТИ ХОДЬБЫ

Скорость перемещения в виртуальной среде настраивается более гибким образом в соответствии с возможностями пациента (рисунок 20). Рекомендуется начинать с небольшой скорости и повышать ее до комфортной для пациента во избежание укачивания.

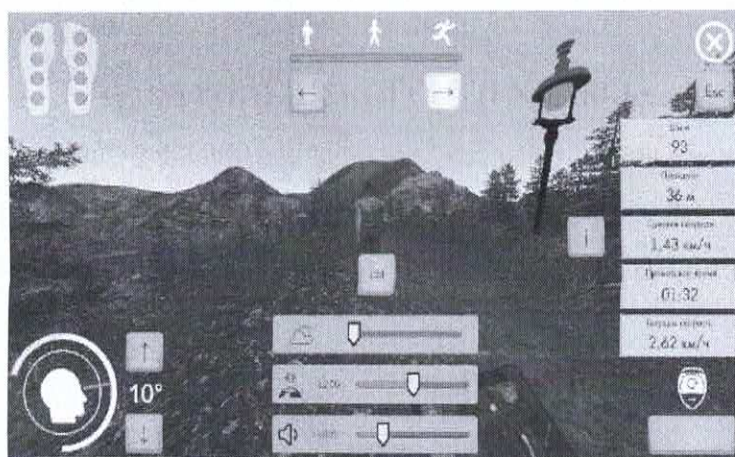


Рисунок 20. Настройка скорости ходьбы аватара

НАСТРОЙКА ПЛАНШЕТА

Во время проведения занятия пациент может получить информацию о текущих параметрах ходьбы с помощью планшета в руке аватара (рисунок 21).

Помимо этого, реализована настройка отображения виртуальной сцены относительно головы пациента, так как занятия могут проводиться и у лежачих пациентов, и необходимо соотносить актуальную точку зрения с видом от лица аватара. Относительное положение головы пациента необходимо настроить перед проведением занятия.

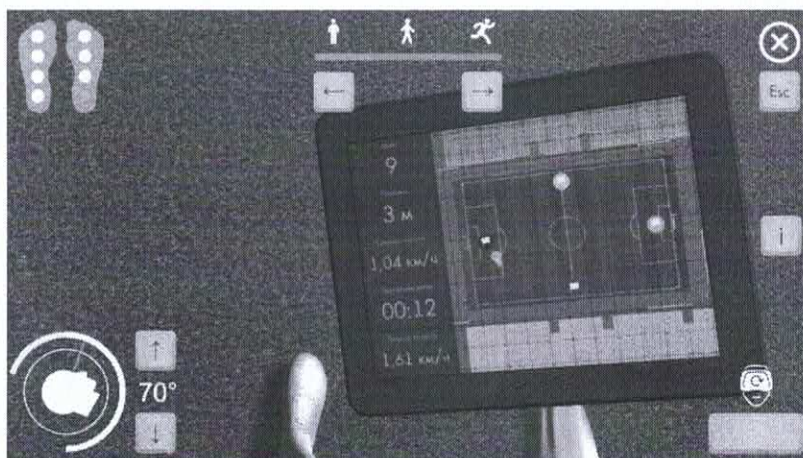


Рисунок 21. Планшет в виртуальной среде и наклон головы до 70 градусов

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

С целью оценки эффективности мультисенсорной стимуляции в VR для восстановления мобильности нами было обследовано 56 пациентов, перенесших ИИ, разделенных на 2 равные группы, сопоставимые по полу, возрасту и тяжести инсульта. В основной группе в дополнение к стандартной программе МР проводились занятия на тренажере ReviVR, в группе сравнения проводилась только стандартная МР. Для оценки эффективности реабилитационных мероприятий использовались Шкала британского комитета медицинских исследований количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Scale, MRCS) и индекс мобильности Ревермид (Rivermead mobility index (по F.M.Collen 1991). В качестве статистических методов оценки достоверности полученных изменений при сравнении исследуемой группы и группы сравнения использовались описательные методы статистики, а также непараметрические методы при сравнении независимых выборок (критерий Манна-Уитни).

В обеих группах отмечено улучшение показателей ходьбы и равновесия и степени самообслуживания по данным различных шкал и клинико-неврологической оценки. При

этом было выявлено достоверное различие между исследуемыми группами в снижении степени выраженности пареза нижней конечности и в улучшении мобильности.

Медианный прирост силы мышц нижней конечности согласно Шкале британского комитета медицинских исследований количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Scale, MRCS) в основной группе составил 0,7 баллов [0,4-1,0] (Me[Q1-Q3]), в группе сравнения - 0,4 балла [0,2-0,7] (Me[Q1-Q3]), $p=0,021$ (критерий Манна-Уитни). Прирост силы в основной группе был в среднем почти в 2 раза выше, чем в группе сравнения (рисунок 22).

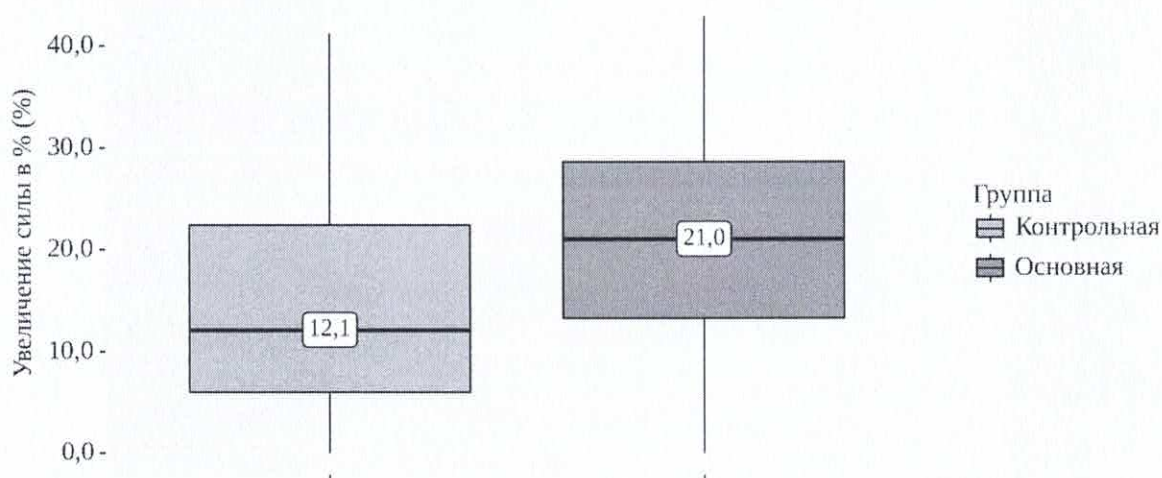


Рис. 22. Динамика силы мышц нижней конечности, %.

Степень мобильности пациентов оценивалась с помощью индекса Ривермид. В основной группе прирост составил 3 балла (с 7,0 до 10,0), в группе сравнения – 1,5 балла (с 6,5 до 8,0), различия статистически достоверны ($p=0,041$) (критерий Манна-Уитни) (рисунок 23).

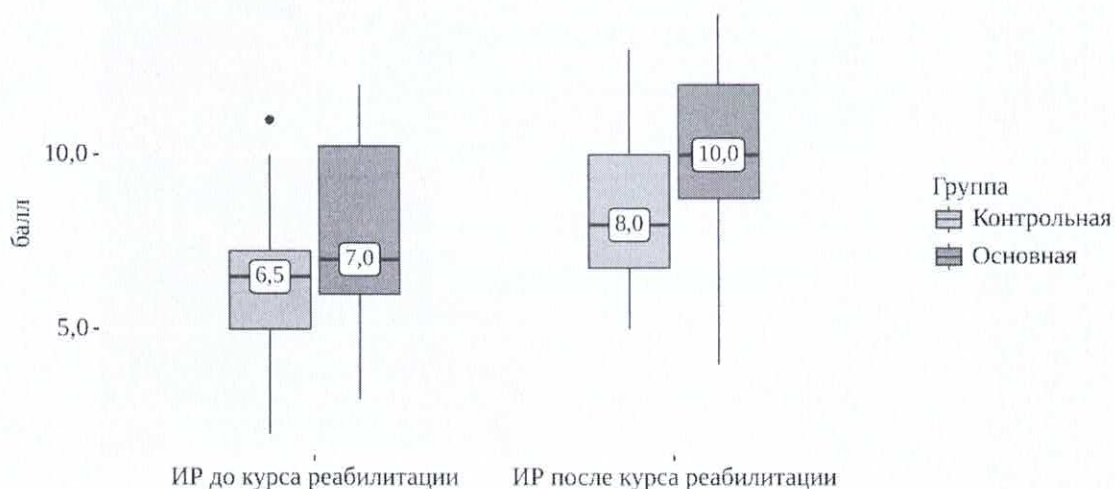


Рис. 23. Динамика индекса мобильности Ривермид в исследуемых группах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение мультисенсорной стимуляции с помощью программно-аппаратного комплекса «ReviVR» позволяет повысить эффективность реабилитационных мероприятий у пациентов в остром и раннем восстановительном периодах ИИ. Полученные результаты показали более выраженное увеличение силы в паретичной нижней конечности и улучшение мобильности пациентов согласно индексу мобильности Ривермид.

Сочетанное воздействие подошвенной стимуляции, активирующей опорную афферентацию, и аудиовизуальной стимуляции в виртуальной среде, задействующей систему зеркальных нейронов, может использоваться в качестве дополнительного метода МР у пациентов, перенесших ИИ. Мультисенсорная стимуляция в виртуальной среде хорошо переносится пациентами, имеет низкий порог вхождения и может применяться в ранние сроки после перенесенного инсульта, в том числе и у маломобильных пациентов. За время наблюдения нежелательных явлений, связанных с мультисенсорной стимуляцией, зафиксировано не было.

В течение последних 10 лет проведен ряд исследований, посвященных восстановлению движений нижних конечностей, с использованием ВР и роботизированной механотерапии (Lee et al., 2014; Xiang et al., 2014; Givon et al., 2015; Ko et al., 2015; Song and Park, 2015; Gibbons et al., 2016; Lo et al., 2017; Darbois et al., 2018; Clark et al., 2019). Авторы отмечают повышение эффективности реабилитации при использовании адьювантной терапии. Оценивая результаты аналогичных исследований и собственные результаты, можно предположить, что это влияние обусловлено активацией нейропластичности, опосредованной зрительными, сенсорными и когнитивными межкорковыми взаимодействиями. Вовлечение пациента в виртуальную среду и использование игрового компонента при реабилитации нижних конечностей значительно улучшают двигательную функцию. Полученные результаты согласуются с выводами о том, что пациенты отождествляют виртуальные нижние конечности с собственными (Shokur et al., 2016), что оказывает положительное влияние на процессы нейропластичности и, соответственно, на восстановление двигательных функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 / V.L. Feigin, B.A. Stark, C.O. Johnson, G.A. Roth et al. // *The Lancet Neurology*. — 2021. — № 20. — P. 795–820.
2. Технологии виртуальной и дополненной реальности в здравоохранении / Е. И. Аксенова, С. Ю. Горбатов. – М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2021. — 40 с.
3. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения / О.Э. Карпов, В.Д. Даминов, Э.В. Новак, Д.А. Мухаметова, Н.И. Слепнева // *Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова*. М., 2020. — №15. — С. 89–98.
4. Современные аспекты патофизиологии нарушений ходьбы у пациентов после инсульта и особенности их реабилитации / С.Е. Хатькова, Е.В. Костенко, М.А. Акулов, В.П. Дягилева и др. // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. Спецвыпуски. – М., 2019–№ 119. — С. 43–50.
5. Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: systematic review and meta-analysis / I.J. de Rooij, I.G. van de Port, J.G. Meijer // *Physical therapy & rehabilitation journal*. — 2016. — № 96. — P. 1905–1918.
6. Применение методов комплексной проприоцептивной коррекции в восстановлении двигательных функций у больных инсультом / С.Б. Шварков, Е.Ю. Титова, З.М. Мизиева, О.С. Матвеева, А.Н. Бобровская // *Клиническая практика*. — 2011. — № 2. — С. 3–8.
7. NOS-dependent effects of plantar mechanical stimulation on mechanical characteristics and cytoskeletal proteins in rat soleus muscle during hindlimb suspension / S.A. Tyganov, E.P. Mochalova, I.Y. Melnikov, I.M. Vikhlyantsev, A.D. Ulanova et al. // *The FASEB journal*. – 2021. – №35. – e21905.
8. Медико-экономическая оценка оказания стационарной помощи при мозговом инсульте (обзор литературы) / Т.А. Прокаева, Г.Ф. Жигаев, Е.М. Прокаев, М.П. Рябов, А.С. Николаев // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2015. – №2. – С. 122–125.
9. Corticomotor facilitation associated with observation, imagery and imitation of hand actions: a comparative study in young and old adults. / G. Léonard, F. Tremblay // *Exp. Brain Res*. – 2006. – №177. – P. 167–175.
10. Virtual reality for stroke rehabilitation / K.E. Laver, B. Lange, S. George, J.E. Deutsch, G. Saposnik, M. Crotty // *Cochrane Database Syst. Rev*. – 2017. – Vol. 11. CD008349.
11. Frontal lobe inputs to the digit representations of the motor areas on the lateral surface of the hemisphere / R.P. Dum // *J. Neurosci*. – 2005. – №25. – P. 1375–1386.

12. Functional anatomy of the macaque temporo-parieto-frontal connectivity / E. Borra, G. Luppino // *Cortex*. – 2017. – №97. – P. 306–326.
13. Actual and mental motor preparation and execution: a spatiotemporal ERP study / R. Caldara, M.-P. Deiber, C. Andrey, C.M. Michel, G. Thut, C.-A. Hauert // *Exp. Brain Res.* – 2004. – №159. – P. 389–399.
14. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke / D. Ertelt, S. Small, A. Solodkin, C. Dettmers, A. McNamara, F. Binkofski et al. // *Neuroimage*. – 2007. – №36. – P. 164–173.
15. Augmented reality-based postural control training improves gait function in patients with stroke: randomized controlled trial / C.-H. Lee, Y. Kim, B.-H. Lee // *Hong Kong Physiother. J.* – 2014. – №32. – P. 51–57.
16. Virtual reality-enhanced body weight-supported treadmill training improved lower limb motor function in patients with cerebral infarction / X. Xiang, M. Yu-Rong, Z. Jiang-li, L. Le, X. Guang-Qing, H. Dong-Feng // *Chin. J. Tissue Eng. Res.* – 2014. – №18:1143.
17. Video-games used in a group setting is feasible and effective to improve indicators of physical activity in individuals with chronic stroke: a randomized controlled trial / N. Givon, G. Zeilig, H. Weingarden, D. Rand // *Clin. Rehabil.* – 2015. – №30. – P. 383–392.
18. Effect of space balance 3D training using visual feedback on balance and mobility in acute stroke patients / Y. Ko, H. Ha, Y.-H. Bae, W. Lee // *J. Phys. Ther. Sci.* – 2015. – №27. – P. 1593–1596.
19. Effect of virtual reality games on stroke patients' balance, gait, depression, and interpersonal relationships / G.B. Song, E.C. Park // *J. Phys. Ther. Sci.* – 2015. – №27. – P. 2057–2060.
20. Effectiveness of robotic assisted rehabilitation for mobility and functional ability in adult stroke patients / K. Lo, M. Stephenson, C. Lockwood // *JBI Database Syst. Rev. Implement. Rep.* – 2017. – №15. – P. 3049–3091.
21. Do robotics and virtual reality add real progress to mirror therapy rehabilitation? A scoping review / N. Darbois, A. Guillaud, N. Pinsault // *Rehabil. Res. Pract.* – 2018. – P. 1–15.
22. Evaluating the use of robotic and virtual reality rehabilitation technologies to improve function in stroke survivors: a narrative review / W.E. Clark, M.J. Sivan, R. O'Connor // *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.* – 2019. – Vol. 6.
23. Assimilation of virtual legs and perception of floor texture by complete paraplegic patients receiving artificial tactile feedback. / S. Shokur, S. Gallo, R.C. Muioli, A.R.C. Donati, E. Morya, H. Bleuler et al. // *Sci. Rep.* – 2016. – Vol.6.