

Департамент образования и науки города Москвы
Государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования города Москвы
«МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Котов-Смоленский Артем Михайлович

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ПОДВИЖНОСТИ НЕРВНЫХ ПРОЦЕССОВ У СТУДЕНТОВ
В УСЛОВИЯХ ИММЕРСИВНОГО ОБУЧЕНИЯ**

1.5.5. Физиология человека и животных

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель –
доктор биологических наук,
доцент Федорова Елена Юрьевна

Москва – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1 Сенсомоторная интеграция и ее проявление при регуляции позы	11
1.2 Подходы по оценке функциональных состояний центральной нервной системы при погружении в иммерсивную среду	19
1.3 Физиологические основы воздействия технологий виртуальной реальности на функциональное состояние центральной нервной системы занимающихся	25
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1 Общая характеристика организации исследования	34
2.2 Методы и методики исследования	37
2.2.1 Психофизиологическая оценка	37
2.2.2 Оценка вариабельности сердечного ритма	39
2.2.3 Оценка субъективных ощущений после воздействия двигательной тренировки в иммерсивной среде	40
2.2.4 Характеристика двигательной тренировки в виртуальной среде с однородными условиями для студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы	40
2.2.5 Оценка функции постурального баланса	42
2.2.6 Психологический скрининг студентов по выявлению уровня мотивации и тревожности перед началом тренировочного курса совершенствования функции постурального баланса в виртуальной среде	45
2.2.7 Характеристика двигательной тренировки в виртуальной среде с различными условиями для студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы	45
2.2.8 Оценка качества деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде	48
2.2.9 Статистическая обработка полученных результатов	50

3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ _____	52
3.1 Психофизиологический скрининг студентов по выявлению характера нейродинамических процессов _____	52
3.2 Оценка воздействия двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния центральной нервной системы студентов в зависимости от характера нейродинамических процессов _____	53
3.2.1 Психофизиологическая оценка _____	53
3.2.2 Оценка variability сердечного ритма _____	60
3.2.3 Оценка субъективных ощущений после воздействия двигательной тренировки в иммерсивной среде _____	64
3.3 Оценка функции постурального баланса у занимающихся двигательной тренировкой в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы _____	67
3.3.1 Результаты психологического скрининга студентов по выявлению уровня тревожности и мотивации перед началом тренировочного курса совершенствования функции постурального баланса в виртуальной среде _____	67
3.3.2 Оценка функции постурального баланса _____	73
3.4 Оценка качества деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы _____	75
4 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ _____	83
4.1 Воздействие двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния центральной нервной системы занимающихся в зависимости от характера нейродинамических процессов _____	83
4.2 Эффективность совершенствования функции постурального баланса студентов при двигательной тренировке с различными условиями виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы _____	88

4.3 Качество деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы _____	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ _____	95
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ _____	99
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ _____	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ _____	102
ПРИЛОЖЕНИЯ _____	116

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы. Современное общество характеризуется высокими темпами цифровизации [55; 58; 106]. В рамках динамично развивающихся высоких технологий, в сфере образования все большую популярность набирает иммерсивный подход в обучении [6; 21], который подразумевает использование технологий виртуальной и дополненной реальности [23].

Эффективность использования технологий виртуальной реальности (VR) как инструмента иммерсивного обучения на сегодняшний день является спорным вопросом, поскольку в литературе наблюдается ограниченное количество эмпирических данных, касающихся изучения психологических и физиологических эффектов от пребывания в виртуальной среде, что, в свою очередь, ставит под сомнение ее образовательную ценность [14].

Главные особенности VR заключаются в достижении состояния глубокого погружения, высокой интерактивности, а также мультимодального воздействия виртуальной среды на организм погруженного пользователя. Совокупный эффект от пребывания в VR способен оказывать значимое воздействие как на эмоциональную сферу, так и на функциональное состояние ведущих физиологических систем организма человека. Работы по изучению особенностей виртуальной среды показывают, что VR может оказывать достаточно противоречивое влияние на усвоение нового жизненного опыта и результаты иммерсивного обучения. Так, например, было показано, что предъявление обучающего материала с низким уровнем погружения позволяет получить более лучшие результаты выполнения когнитивных тестов [14; 69; 70; 73; 96; 107], в параллели с этим в работе Makransky G. et al. сообщалось, что глубокая иммерсия способствовала повышению когнитивной нагрузки, способствуя снижению результативности [93]. В других работах, напротив, было показано, что VR вводит занимающихся в состояние присутствия, при котором отмечается повышенный

уровень вовлеченности, положительных эмоций, мотивации и глубокой проработки образовательного контента [81; 86].

Как отмечалось ранее, мультимодальный сенсорный поток, предъявляемый в VR, способен значимо изменять функциональные состояния физиологических систем в процессе пребывания человека в иммерсивной среде [24; 44; 95; 104]. Не вызывает сомнений, что центральная нервная система (ЦНС) играет ключевую роль в процессах, связанных с обучением и решением когнитивных задач. Рядом исследователей показано, что в зависимости от функциональной подвижности ЦНС один и тот же вид деятельности приводит к различным физиологическим эффектам [2; 16; 62]. Ставя во внимание данный факт, предполагается, что эффективность иммерсивного обучения может зависеть от условий виртуальной среды, подбор которых необходимо осуществлять согласно функциональной подвижности ЦНС занимающихся.

Цель исследования и задачи: физиологическое обоснование особенностей постурального баланса в зависимости от подвижности нервных процессов у студентов при двигательной тренировке в иммерсивной среде.

Для реализации цели научных исследований были поставлены следующие задачи:

1. Оценить воздействие двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния центральной нервной системы студентов в зависимости от характера нейродинамических процессов;
2. Выявить особенности функции постурального баланса у студентов при двигательной тренировке в различных условиях виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы;
3. Оценить качество деятельности студентов, занимающихся двигательной тренировкой в условиях виртуальной среды, и обосновать его зависимость от функциональной подвижности центральной нервной системы.

Научная новизна. Показано, что двигательная тренировка, реализованная в виртуальной среде, оказывает различное воздействие на показатели функционального состояния ЦНС в зависимости от ее функциональной подвижности.

Выявлено, что эффективность иммерсивного обучения у студентов, на примере совершенствования функции постурального баланса, зависит от характера нейродинамических процессов ЦНС занимающихся. Двигательная тренировка в условиях иммерсивного погружения более эффективна, если подбор условий виртуальной среды осуществляется с учетом функциональной подвижности центральной нервной системы.

Показано, что качество деятельности студентов при двигательной тренировке в условиях виртуальной среды определяется способностью эффективно сопоставлять пространственно-временные характеристики виртуальных событий, что значимо влияет на точность и скорость решения двигательных задач, а также способностью эффективно выполнять двигательные действия в пространстве в рамках нейромышечной координации.

Теоретическая и практическая значимость. Проведенные исследования позволили теоретически обосновать механизмы влияния двигательной тренировки в виртуальной среде на показатели функционального состояния центральной нервной системы в зависимости от ее функциональной подвижности. В работе также представлено физиологическое обоснование эффективности совершенствования функции постурального баланса в иммерсивной среде в зависимости от характера нейродинамических процессов.

Разработанные практические рекомендации по проведению иммерсивных двигательных тренировок в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы студентов внедрены в учебный процесс ГАОУ ВО МГПУ в рамках элективного курса по физической культуре «адаптивная физическая культура».

Разработанные протоколы по планированию условий иммерсивной среды в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы могут быть использованы как для двигательного обучения в виртуальной реальности, так и освоения различных профессий, носящих экстремальный характер и требующих высоких затрат в реальной среде.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Пребывание в виртуальной среде в условиях более выраженной сенсорной стимуляции приводит к развитию ранних процессов утомления на центральном уровне у студентов с подвижным типом центральной нервной системы.

- Использование виртуальной реальности в качестве эффективного инструмента иммерсивного обучения требует дифференцировки условий виртуальной среды согласно функциональной подвижности центральной нервной системы студентов.

- Моделирование различных условий виртуальной среды в зависимости от подвижности нервных процессов студентов более эффективно при двигательной тренировке функции постурального баланса, чем иммерсивное обучение в однородных условиях.

Методология и методы исследования. Предметом исследования являлись особенности совершенствования функции постурального баланса при двигательной тренировке в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы.

Методологической основой исследования явились труды И.П. Павлова о свойствах центральной нервной системы, а также труды В.Д. Небилицына, Б.М. Теплова, В.М. Русалова, Е.П. Ильина в области изучения зависимости качества какой-либо деятельности от ее функциональных особенностей.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность полученных результатов определяется логичностью и адекватностью выбранных методов, четкой постановкой цели, задач, использованием в работе современных и

проверенных методов инструментальной оценки, а также применением актуальных методов статистического анализа.

Апробация результатов исследования. Результаты научной работы представлены и обсуждены на: 4-м Российском конгрессе с международным участием «Физическая и реабилитационная медицина» (Москва, 2020 г.), XIII Международном конгрессе «Нейрореабилитация 2021» (Москва, 2021 г.), V научно-практической (III всероссийской) конференции молодых ученых «Шаг в науку» (Москва, 2021 г.) 6-м Российском конгрессе с международным участием «Физическая и реабилитационная медицина» (Москва, 2022 г.), VI научно-практической (IV всероссийской) конференции молодых ученых «Шаг в науку» (Москва, 2022 г.), XV Международном конгрессе «Нейрореабилитация 2023» (Москва, 2023 г.), Ежегодной IV Республиканской научно-практической конференции НОУ «Медико-социальный институт Таджикистана» на тему: «Стратегия развития медицинской и социальной науки в Республике Таджикистан, опыт, проблемы и пути её решения» (Душанбе, 2024 г.), V Международной научно-практической конференции «Физиология человека» (Чебоксары, 2024 г.) VI Всероссийской конференции с международным участием «Интегративная физиология» (Санкт-Петербург, 2024 г.); доложены, обсуждены и одобрены на открытом обсуждении диссертационного исследования на заседании департамента образовательного проектирования института естествознания и спортивных технологий ГАОУ ВО МГПУ (Москва, 2024 г.).

Личный вклад автора. Осуществлен научно-теоретический анализ исследуемой проблемы особенностей воздействия иммерсивного обучения на различные физиологические системы занимающихся. Разработана и организована опытно-экспериментальная деятельность по изучению эффективности иммерсивного обучения в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы студентов на примере совершенствования функции постурального баланса. Полученные данные интерпретированы, результаты исследования обобщены, а также внедрены в образовательный процесс ГАОУ ВО

МГПУ в рамках элективного курса по физической культуре «адаптивная физическая культура».

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 2 патента, 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, из которых 1 статья опубликована в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 128 страницах компьютерного текста, состоит из введения, обзора литературы, материала и методов исследований, результатов собственных исследований, обсуждения результатов собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, обозначений и сокращений, списка литературы, который включает 113 источников, в том числе 49 зарубежных; приложений. Работа иллюстрирована 9 рисунками и 32 таблицами.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Сенсомоторная интеграция и ее проявление при регуляции позы

На сегодняшний день известно, что в основе процессов обучения лежат пластические перестройки в головном мозге (ГМ). Мнение, высказанное Рамон-и-Кахалем, о формировании нервных связей в детском возрасте с последующей их модификацией (накоплением жизненного опыта) под влиянием факторов окружающей среды сегодня находит свое подтверждение в современных исследованиях [41]. Основой пластических перестроек ГМ является процесс, который носит название сенсомоторная интеграция.

Под сенсомоторной интеграцией понимается процесс, при котором происходит накопление сенсорной информации, с последующей ее обработкой и формированием поведенческой реакции [54; 112]. Возможность ориентироваться в большом потоке сенсорных сигналов во многом определяет эффективность взаимодействия человека с окружающей средой. В процессе жизнедеятельности человек научается правильно анализировать поступающую информацию, вырабатывая наиболее адекватное двигательное поведение [10].

Функциональная организация ГМ подразумевает наличие как двигательных центров, так и зон, ответственных за сенсорное восприятие окружающей среды, однако рассматривать процессы сенсомоторной интеграции строго необходимо в их тесной связи. В целом функционирование сенсомоторной системы выражается в постоянном сравнении полученного результата с ожидаемым и внесение последующих коррективов в движение, если это требуется. Если индивидуум сталкивается с ситуацией, когда ему необходимо выполнить новое движение или же при его выполнении возникает, так называемый, сенсорный конфликт, то это приводит к прекращению выполнения двигательной программы [113]. Несмотря на это, сенсомоторная система обладает высоким нейропластическим потенциалом [10], а динамический характер предвосхищения результатов служит эффективным механизмом достижения и закрепления оптимального двигательного поведения.

Механизмы функции поддержания равновесия являются предметом изучения специалистов в области физиологии движений, не теряющим своей высокой актуальности уже более века. Оценка постуральной устойчивости впервые была введена в практику М. Ромбергом в 1861 году [7].

Изучением физиологических механизмов, обеспечивающих сохранение позы в пространстве, занимались такие видные ученые как Рудольф Магнус и Чарльз Шеррингтон [60], дальнейший осязаемый вклад в развитие теоретической основы такого научного направления как постурология внесли труды И.Ф. Цион об изучении уха как органа ориентации во времени и пространстве, а также труды Н.А. Бернштейна, в которых впервые были даны четкие формулировки такому понятию как «обратная связь», которая играет ключевую роль в процессе сохранения равновесия [108]. Также особого внимания заслуживают труды группы отечественных ученых под руководством В.С. Гурфинкеля и иностранных исследователей из группы Л.М. Нашнера [7].

Термин «постуральный баланс» определяется способностью человека к эффективному контролю вертикального положения в пространстве при статических и динамических двигательных действиях, а также при внешних воздействиях окружающей среды [7]. Для описания модели регуляции позы (в частности позных отклонений) используют, так называемую, модель перевернутого маятника. Позные колебания, согласно ряду специалистов, изучающих данный вопрос, определяются как подпороговые стимулы для вестибулярной сенсорной системы и контролируются проприоцептивным чувством и зрительным анализатором [7].

Для компенсации внешних возмущений, в рамках регуляции постурального баланса выделяют две основные стратегии: так называемую, «голеностопную стратегию» (ankle strategy) и «тазобедренную стратегию» (hip strategy) [7]. Так, в рамках голеностопной стратегии, компенсация внешних (медленных) возмущений происходит посредством изменений взаимоположения (угла) костей голеностопного сустава, а внешние возмущения быстрого характера или позный

контроль в условиях узкой опоры, подразумевают активацию синергии тройного сгибания, сопровождающуюся активацией мышц сгибателей тазобедренного сустава.

Становление двигательных «штампов» позного контроля осуществляется еще в период раннего детства и подразумевает формирование мышечных синергий, которые будут участвовать в регуляции позы в пространстве. Так, например, голеностопная стратегия при поддержании равновесия подразумевает последовательную экстензию мышц стопы, а также мышечных групп голени и мышц, приводящих в движение бедренную кость [7], это, в свою очередь, приводит к вращательным движениям тела относительно голеностопного сустава, наряду с невыраженным вращением таких суставов, как коленный и тазобедренный. Трехзвенная модель (или тазобедренная стратегия) осуществляется за счет флексии тазобедренного сустава, препятствуя вращению тела в шейном отделе и в области лодыжки, при этом паттерн движения учитывает активацию шейных мышц, мышц пресса живота, а также разгибателей коленного сустава. Из вышесказанного следует, что регуляция позного контроля учитывает активацию большого количества мышц и мышечных групп (спины, живота, бедра, колена, голени и стопы). При этом одним из основных «постуральных датчиков», наиболее чувствительных к изменению гравитационного градиента в организме человека принято считать *m. soleus* [8; 91].

Понятие «поза» можно охарактеризовать как привычное вертикальное положение тела индивида в пространстве, что проявляется попеременной активностью мышц (преимущественно экстензоров), за счет чего и обеспечивается управление общим центром масс (ОЦМ). Мышечные группы, ответственные за регуляцию позы, характеризуются вовлечением в работу двигательных единиц, устойчивых к утомлению, а также имеющих низкий порог активации. Мышечные волокна таких мышц и мышечных групп способны преодолевать длительные статические нагрузки, попутно осуществляя низкие по силе сокращения [7].

Проявление тонуса мышц, ответственных за регуляцию позы, характеризуется нейромышечным чувством, в котором можно выделить как собственно мышечный, так и невральные компоненты. Первый компонент характеризуется механическими свойствами мышечного волокна, в первую очередь таким качеством как его упругость. Вторым компонентом имеет прямую зависимость от безусловно-рефлекторной деятельности ЦНС, возникающей в ответ на механическое воздействие внешних сил на мышечное волокно (например, растяжение), вследствие чего можно наблюдать, так называемый «рефлекторный тонус» [59].

Вклад анализаторной функции организма в эффективное поддержание вертикальной позы играет одну из основных ролей, особо важен вклад работы зрительного и вестибулярного анализаторов, а также проприоцептивного чувства. Еще одним важнейшим «постуральным датчиком» принято считать височно-нижнечелюстной сустав, дисфункция работы которого способна приводить к серьезным проблемам полого контроля [7]. Подробное понимание вышеописанных механизмов было получено благодаря ряду научных трудов [71; 78; 100], а в работе Peterka R.J. дано заключение, что главенствующей из трех этих систем является именно проприоцептивная [99].

Вклад интегративной деятельности ЦНС в регуляцию постурального баланса носит особо выраженный характер, контроль позы в пространстве осуществляется на спинальном, стволовом, а также корковом уровнях, путем обработки мультимодальной информации, поступающей от сенсорных систем организма [7]. Также изучены механизмы, отражающие активацию мышечных групп, ответственных за регуляцию позы при изучении функционального баланса (движений, имеющих смысл и двигательную структуру, а также сохранения позы при условиях, провоцирующих падения) [84; 85], однако до сих пор не полностью понятны физиологические механизмы взаимодействия сигналов от сенсорных систем в ЦНС, а также системы центральной и эфферентной регуляции постурального контроля.

Эволюционно способность к поддержанию вертикальной позы является одной из важнейших для человека, что также актуализирует обязательное участие в данном процессе высшей нервной деятельности [80], учитывающей автономную регуляцию при наличии качественной обратной связи [1]. Эффективность взаимодействия человека и окружающей среды в рамках постурального баланса связаны не только с качеством зрительной, вестибулярной и проприоцептивной афферентации, характеризующих эту автономию как в покое, так и в движении [1], но и четкостью внутренних ощущений о карте-схеме собственного тела, задействованием интеллектуальных функций о строении, размере и динамичных процессов, происходящих в окружающей среде [20].

Согласно одному из обзоров [1], участие зрительного анализатора в позном контроле выражается в оценке величины и скорости колебательных движений, данный факт является отражением того, что при нарушении стационарности видимого окружения роль зрительной афферентации увеличивается. Это указывает на то, что зрительный вход для регуляции постурального контроля имеет более выраженное значение, нежели вестибулярный или проприоцептивный. Очевидно, что зрительные влияния реализуются за счет регуляции жесткости мышечно-суставного аппарата (прежде всего в суставах нижних конечностей) [19] и опосредуются изменением тонуса целевых мышц и мышечных групп, то есть в ответ на выраженную зрительную стимуляцию, отражающую нестабильность в пространстве, происходит активация опорных мышц. Однако, в работе Б.Н. Сметанина и соавт. было показано, что наличие зрительной афферентации не играет главенствующую роль в регуляции позы, а осуществляет модулирующие функции качества устойчивости [51]. Объяснением данному феномену могут служить механизмы обратной связи и упреждающий контроль, выражающийся в возможности человека предвосхищать характер будущих изменений и заблаговременно подстраиваться под них, что демонстрирует важный вклад когнитивного компонента в зависимость позного контроля от зрительной афферентации.

При рассмотрении роли вестибулярной афферентации в изучении механизмов сенсомоторной интеграции при регуляции позы наибольшее количество обзореваемых исследований указывает на ее участие в когнитивных и эмоциональных функциях. На вопрос как модуляция вестибулярных сигналов оказывает влияние на мысленные и пространственные образы или обработку числовой информации отвечает работа Falconer C.J. et al. [77], а также исследования, проведенные в условиях микрогравитации [79]. В результатах этих исследований отражено, что изменения вестибулярной афферентации сопровождаются сменой настроения, а также тактильных и болевых ощущений [1].

Изучая роль проприоцептивного чувства при поддержании постурального баланса, Ю.П. Иваненко и соавт. использовали варьирование направлений подвижности опоры в совокупности с вибрацией мышц голени у испытуемых, находившихся на качающейся платформе в сагиттальном, фронтальном или сразу обоих направлениях [83]. В результате чего постуральные реакции можно было наблюдать только на тех опорах, которые обеспечивали устойчивость в сагиттальном направлении. Таким образом, было предположено, что направление постуральной нестабильности оказывает влияние на проприоцепторы голеностопных мышц исключительно в сагиттальном направлении.

Гиподинамия, статичная работа в неэргономичных условиях, психоэмоциональные перегрузки являются главенствующими факторами в развитии функциональной дезорганизации мышечного тонуса [108], точно также как это происходит при ослаблении опорной платформы на ноги, что в конечном итоге приводит к ухудшению постурального контроля [1]. Также роль опорной афферентации подтверждается работой К.А. Шарло и соавт., где проводились исследования сухой иммерсии, а также эксперименты над животными [59].

Несмотря на изученность феномена сенсомоторной интеграции и тренируемости постуральных мышц [75], остается и ряд вопросов, отражающий отсутствие понимания запуска мышечных реакций, которые противостоят позной нестабильности в естественных условиях. Также остается не понятным и то

обстоятельство, почему при выполнении когнитивных или психомоторных задач происходит не снижение, а увеличение постуральной устойчивости [102].

Вклад тактильных ощущений по сравнению со зрительной и вестибулярной афферентацией имеет менее доминирующее значение в процессе регуляции позы, однако, в последнее время роль тактильных сигналов также вызывает интерес у исследователей. В работе Кожиной Г.В. и соавт. было показано, что контроль позы сопровождается изменениями данных стабิโลграммы без модулирующего воздействия проприоцепции, зрительных или вестибулярных рецепторов [18]. По результатам исследования удалось установить, что легкое прикосновение пальца или предплечья снижает количество колебательных движений, даже при условии того, что силы такого прикосновения недостаточно для стабилизации индивидуума. Данное обстоятельство может выступать предположением того, что тактильные ощущения могут консолидироваться с потоком другой сенсорной информации в ЦНС, снабжая ее дополнительной пространственной ориентацией при регуляции позы.

Человек – существо прямоходящее и для эффективного взаимодействия с окружающей средой ему необходимо поддерживать вертикальную позу. Предполагается, что в процессе длительной эволюции произошло преобразование нижней конечности, а большой палец ноги стал играть ключевую роль в опорной афферентации [1].

Актуальность исследования опорной афферентации обусловлена рядом работ, в которых показан значительный ее вклад в изучение клеточных реакций постуральных мышц. В работе Amirova L.E. et al., показано, что устранение опоры на ноги приводит к деактивации пула медленных моторных единиц, что в последствии проявляется в избирательной инактивации, атонии и последующей мышечной атрофии [66]. Также отсутствие опоры приводит к снижению защитных механизмов и снижению активности АМФ-активируемой протеинкиназы, которая является триггером восстановительных процессов и играет ключевую роль в регуляции сигнальных путей, которые определяют метаболические, структурные и

функциональные изменения в волокнах скелетных мышц, когда они не используются. [111].

Огромный интерес в изучении психоэмоционального состояния при сохранении постурального баланса обуславливается тем, что в регуляции эмоций, настроения, аффективных функций, а также позного контроля участвуют одни и те же зоны ГМ [89; 98; 99]. К примеру, в работе Azevedo et al. была зафиксирована меньшая амплитуда раскачиваний на стабильной платформе, а также увеличение показателя, индексирующего жесткость мышц, у добровольцев, которым предъявлялись неприятные снимки (спортивных травм), по сравнению с теми, кто наблюдал приятные или нейтральные изображения [67].

Немалое значение в понимании нормальной физиологии позной активности вносят клинические случаи и исследования. Так, сравнительное исследование пациентов, перенесших инсульт с различной полушарной локализацией, выявило, что правополушарные нарушения влекут за собой более выраженную дисфункцию в рамках поддержания равновесия, а также демонстрируют более низкую динамику к обучению произвольного контроля позы тела в пространстве [12].

На сегодняшний день основным методом оценки постурального баланса является стабилметрическое исследование, которое реализуется с помощью специальной силовой тензоплатформы, персонального компьютера и программного обеспечения. Сущность метода заключается в регистрации положения проекции общего центра тяжести на площадь опоры [25].

Стабилметрический метод позволяет исследовать способность поддержания постурального баланса, рассматривая ее с позиции одной из двигательных функций организма [26]. Современные программные обеспечения в рамках стабилметрических исследований позволяют производить большое количество замеров в единицу времени (секунду), благодаря чему при оценке особенностей постурального баланса специалист может полагаться на объективность полученных данных. К основным показателям стабилограммы относят следующие: площадь статокинезиограммы, скорость общего центра

давления, которые отражают амплитуду раскачиваний обследуемого и скорость колебательных движений соответственно. Помимо этого, некоторые программные обеспечения предлагают дополнительные параметры, которые могут быть использованы специалистами для интерпретации данных в рамках оценки функции равновесия. К таким показателям, например, относят «показатель стабильности», а также «показатель затраченной работы», который, собственно, не отражает количество энергозатрат, а является, своего рода, интегральным значением [9].

Таким образом, постуральный контроль является сложной функцией, которая осуществляется посредством переработки огромного потока различной сенсорной информации в ЦНС с последующей активацией постуральных мышц. Вклад каждой из физиологических систем, участвующих в регуляции позы, во многом определяет качество взаимодействия индивидуума с окружающей средой.

Также при разработке протоколов для исследования функции постурального контроля необходимо учитывать, что параметры его оценки имеют тесную взаимосвязь с осуществлением когнитивных функций различного рода, эмоциональным состоянием и условиями внешней среды.

1.2 Подходы по оценке функциональных состояний центральной нервной системы при погружении в иммерсивную среду

Качество реализации какой-либо деятельности человеком напрямую зависит от функциональных возможностей его ЦНС, которые обозначаются таким понятием как «индивидуально-типологические особенности».

Термин «индивидуально-типологические особенности ЦНС» также можно охарактеризовать как особенности нейродинамических процессов. К таким особенностям И.П. Павлов относил [42]: силу и слабость нервной системы, определяющуюся способностью противостоять развитию процессов утомления в рамках длительной монотонной деятельности; подвижность и инертность нервных процессов, характеризующихся способностью эффективно переключаться с одного

вида деятельности на другой или осуществлять несколько видов деятельности одновременно; преобладание процессов возбуждения/торможения или сбалансированное их протекание, проявляющееся в способности эффективно поддерживать произвольное внимание длительное время.

В последствии идеи И.П. Павлова развивали известные советские ученые В.Д. Небылицын и Б.М. Теплов, в своих трудах они разделяли свойства нейродинамических процессов на первичные и вторичные [36; 37; 50]. К первичным они относили силу, подвижность, динамичность и лабильность нервной системы. Ко вторичным преобладание возбуждения\торможения или их сбалансированное протекание в отдельном сочетании с каждым из первичных свойств ЦНС. В последствии к вышеперечисленным свойствам ЦНС добавляется еще одно - «активированность», характеризуемое как уровень неспецифической активации [48; 49]. В.М. Русалов также добавил к уже двум существующим уровням свойств нервных процессов третий - «уровень свойств целого мозга», отражающий функциональные интегральные параметры нервных процессов в целом мозге. Современная точка зрения Е.П. Ильина базируется на представлениях Н.Е. Введенского и П.К. Анохина, настаивавших на том, что в ЦНС существует только один процесс - возбуждение, запускающий как возбуждающие, так и тормозящие системы [17]. Е.П. Ильин отказывается от ряда свойств нервных процессов, фактически возвращаясь к классической схеме, ранее предложенной И.П. Павловым. Однако, в своих трудах Е.П. Ильин анализировал и возбуждение, и торможение, а не возбудительные и тормозные реакции [17].

В последние годы все большую популярность набирает процесс цифровизации обучения и образовательных процессов. Одним из трендов современности является иммерсивный подход в обучении. Термин «иммерсия» (от англ. immersion) отражает такое понятие как погружение или полное погружение. Согласно ряду авторов [14; 53; 58] иммерсивный подход в обучении подразумевает использование технологий виртуальной и дополненной реальности, которые, ввиду

своих особенностей, способны оказывать значимое воздействие на состояние занимающихся.

Ключевой особенностью виртуальной среды является развитие такого психического состояния как «эффект присутствия», когда человек понимая, что все происходящее в иммерсионной среде не является реальным, тем не менее, отдает приоритет виртуальным событиям [96; 110]. При этом степень доверия пользователя к происходящему напрямую зависит от силы сенсорного стимула и качества виртуальной среды.

Особого внимания заслуживают негативные эффекты, которые могут проявляться при погружении в иммерсивную среду. Данный феномен получил название «motion sickness» или киберболезнь [72; 92].

Механизмы киберболезни на сегодняшний день изучены недостаточно, однако, мнение о том, что киберболезнь является заболеванием, сменилось на ее изучение с позиции естественного физиологического ответа организма на пребывание в иммерсионной среде. Изначально физиологическую теорию возникновения киберболезни сравнивали с морской болезнью, поскольку в обоих случаях наблюдается нарушение работы сенсорных систем [57]. При описании морской болезни в основу положено предположение, что существуют филогенетические реакции на отравление организма, которые проявляются в комплексной реакции организма, состоящей из различных сенсорных реакций, таких как зрительные, вестибулярные и иные. Интеграция данных сенсорных реакций имеет своей целью создание единой физиологической системы дальнего обнаружения отравления и избавления организма от содержимого желудка как защитной реакции. Нарушение в получаемых зрительной и вестибулярной системами сигналов при морской болезни расценивается организмом как возможное отравление, что ведет к появлению таких симптомов как тошнота, рвота и иное.

Существует также теория постуральной неустойчивости, которая сейчас активно обсуждается в аспекте киберболезни. Связана она с таким явлением, как

вестибулярно-сенсорный конфликт. Вестибулярно-сенсорный конфликт может возникать в моменты, когда информационный поток иммерсионной среды, поступающий приоритетно по каналам зрительной и аудиальной обратной связи, имеет рассогласования с кинестетическими ощущениями человека [57]. Это становится причиной покачиваний, компенсаторных движений со стороны головы и туловища при динамическом аудиально-визуальном ряде. В зависимости от силы сенсорного стимула возможны падения на устойчивой поверхности, резкие головокружения, тошнота и другие проявления киберболезни.

Причиной проявления киберболезни может также являться качество иммерсивной среды [72; 92]. Если визуальный ряд, предъявляемый пользователю, будет иметь задержки, то это может послужить причиной развития неприятных ощущений при погружении в иммерсивную среду, также стоит взять во внимание эффект мерцания, который способен приводить к ощущениям головокружения и тошноты.

Сегодня, для того чтобы избежать искажения результатов исследования, вследствие наличия признаков киберболезни, можно использовать специальные шкалы и опросники, позволяющие установить субъективный дискомфорт после пребывания в иммерсионной среде. Для таких целей в 1993 году Робертом Кеннеди был разработан опросник «Simulator sickness questionnaire» (SSQ), который в последствии был переведен на русский язык и прошел культурную адаптацию [34]. В работе Меньшиковой и соавт. была предпринята попытка оценки субъективных ощущений после погружения студентов с различным двигательным опытом в систему виртуальной реальности CAVE (a cave automatic virtual environment), по результатам исследования удалось установить, что SSQ является чувствительным инструментом оценки воздействия иммерсивной среды на состояние человека в зависимости от его рода деятельности [34].

Важным преимуществом иммерсивного обучения является возможность моделирования эмоциональных состояний, поскольку они оказывают значительное влияние на усвоение нового жизненного опыта. Эмоции являются мощным

мотивационным компонентом обучения, так как задействуют те зоны мозга, которые эволюционно ответственны за процессы выживания [82]. Эмоциональный окрас деятельности способен оказывать значимое влияние на процессы формирования памятного следа, модулируя избирательность внимания, повышая мотивационный компонент [110].

В одной из работ по сравнительной оценке виртуальной среды с различными уровнями мультимедиа изучалась динамика психоэмоциональных состояний студентов [14]. Результаты исследования позволили заключить, что добровольцы, погружавшиеся в иммерсионную среду, не демонстрируют отрицательной динамики по таким показателям как: индекс позитивных эмоций, ситуативная тревожность, самочувствие, активность и настроение. Тогда как воздействие линейного вида мультимедиа проявлялось статистически значимым увеличением ситуативной тревожности в другой группе исследования.

Помимо психоэмоциональных состояний особый интерес вызывают физиологические изменения организма занимающихся в ответ на пребывание в виртуальной среде, способные оказать значительное влияние на качество процесса обучения. Ведущей физиологической системой, ответственной за восприятие и усвоение жизненного опыта является ЦНС, поэтому оценка воздействий иммерсивной среды на изменение показателей ее функционального состояния может значительно расширить понимание механизмов взаимодействия человека с виртуальной реальностью.

Сегодня одним из наиболее эффективных и часто используемых инструментальных методов оценки динамики показателей функционального состояния ЦНС является метод регистрации сенсомоторных реакций (СМР). Данный подход базируется на условно-рефлекторной деятельности и позволяет оценивать наиболее важные характеристики процессов, протекающих в ЦНС обследуемых. Метод сенсомоторных реакций может быть использован в качестве оценки изменения функциональных состояний ЦНС в ответ на воздействие различных факторов [2; 52].

Согласно большинству исследователей, общее время СМР включает в себя два основных компонента. Первый компонент - латентный период, в рамках которого происходит поступление сенсорной информации, ее обработка в корковых и подкорковых представительствах головного мозга с последующим принятием решения, а также время достижения нервным импульсом целевой мышцы. Второй компонент - собственно, моторный ответ, то есть выполнение какого-либо двигательного акта исполнительным органом [16].

Существующая сегодня классификация СМР включает в себя различные типы инструментальных тестов, в зависимости от типа сигнала и анализатора, на который этот сигнал воздействует. Так, можно выделить зрительно-моторные, слухо-моторные, тактильные и обонятельные виды реакций, каждая из которых может быть как простой, так и сложной [16; 22; 29]. Особенности простой СМР заключаются в реагировании на сигнал каждый раз одним и тем же способом (например, движение пальца, надавливающего на кнопку). Сложная СМР предъявляет условия необходимости дифференцирования сигналов и последующий выбор поведенческой деятельности в соответствии с раздражителем. Сложные СМР включают в себя дифференцировочные реакции (когда индивид должен реагировать лишь на определенный раздражитель, при этом игнорируя все остальные), а также реакции выбора (когда испытуемый реагирует на один стимул одним способом и иным способом на другие) [39].

Использование метода СМР в рамках определения индивидуально-типологических особенностей ЦНС позволяет оценить степень выраженности подвижности или инертности нервных процессов, стабильность выполнения моторных реакций (указывающих на степень концентрации внимания), склонность индивида к допущению ошибок в рамках условно-рефлекторной деятельности, а также получить информацию о функциональном состоянии ЦНС в конкретный момент времени. Помимо этого, в рамках оценки пространственно-временного рефлекса (например, реакция на движущийся объект) можно выявить преобладание возбуждительно\тормозного процесса или их сбалансированное

протекание, что в совокупности с вышеперечисленными характеристиками позволяет специалисту получить более развернутую информацию о характере нейродинамических процессов конкретного индивида. Особенности приборов инструментальной оценки делают метод СМР достаточно пригодным для использования в различных условиях окружающей среды, что позволяет получить результаты при оценке динамики показателей функциональных состояний ЦНС.

В тематических работах, посвященных оценке работоспособности ЦНС студентов неспортивных профилей, в различных условиях обучения и образовательной среды представлена информация, отражающая важность учета подвижности нервных процессов индивидуума при планировании учебной нагрузки [2], динамики показателей функциональных состояний ЦНС в годовом цикле обучения [64], экспресс оценки текущего состояния ЦНС [22].

Несмотря на интенсивно растущую популярность иммерсивного подхода в обучении, менее разработанной, на сегодняшний день, остается проблема психологической и физиологической оценки занимающихся, погруженных в виртуальную среду [14]. Не вызывает сомнений, что накопление эмпирических данных о воздействии условий виртуальной среды на изменение показателей функциональных состояний ЦНС в дальнейшем позволит определить ценность иммерсивного обучения, а также физиологически обосновать формирование определенных условий виртуальной реальности в зависимости от подвижности нервных процессов конкретного пользователя.

1.3 Физиологические основы воздействия VR-технологий на функциональное состояние центральной нервной системы занимающихся

На сегодняшний день технологии виртуальной реальности (VR) широко применяются в различных отраслях человеческой деятельности. Однако, ввиду особенностей виртуальных сред вызывать у пользователя определенные психологические и физиологические изменения, актуализируется вопрос,

связанный с накоплением и систематизацией данных о физиологических эффектах, возникающих у человека при погружении в иммерсивную среду.

Согласно одному из тематических обзоров [44] эффекты, возникающие при погружении в виртуальную среду, условно, можно разделить на: сенсомоторные, психоэмоциональные, когнитивные и физиологические.

Сенсомоторные эффекты связывают с «эффектом присутствия», который возникает посредством воздействия зрительной, аудиальной и другими видами стимуляции, осуществляемых посредством программных комплексов VR. В этой связи, у пользователя могут возникать определенные состояния, характеризующиеся отрывом от реального мира (дереализация). Известны как сенсомоторные (например, изменения ощущения чувства времени, болевой чувствительности), так и когнитивные (изменение количества и качества мыслей, невозможность воссоздания образа, и т. п.), а также эмоциональные (отношение к другим людям, восприятие окружающей действительности и искусства, выраженность чувств и др.) проявления дереализации [44].

Проявление психоэмоциональных эффектов при погружении в виртуальную среду характеризуется изменением выраженности эмоциональных реакций человека. В ряде работ, получены убедительные данные об оптимизации психоэмоционального состояния добровольцев при воздействии на них в VR стимулов релаксационной направленности — в мимических проявлениях отмечено увеличение доли нейтральной компоненты и снижение уровня возбуждения [45; 46; 105].

Сведения о положительном воздействии VR на психоэмоциональную сферу также подкрепляется работами по профилактике повышенного уровня тревожности. Оценка посредством опросников Спилбергера—Ханина и шкалы тревожности Бека свидетельствовали о снижении уровня тревожности под воздействием событий, предъявляемых в виртуальной среде [31].

Влияние пребывания в виртуальной среде на когнитивные функции характеризуется повышением концентрации внимания, активизации оперативной

памяти и интеллектуального потенциала занимающихся. Данная группа эффектов регистрировалась посредством дискурсивного анализа речи добровольцев, фиксируемых до и после сеансов ВР на основе самоотчетов. В двух модельных экспериментах в самоотчетах обследуемых обнаружено статистически значимое снижение удельного веса речевых ошибок и слов-паразитов, что является одним из проявлений эффективных психорегулирующих воздействий [45; 46; 105]. Полученные данные также согласуются с другой работой, о положительных физиологических эффектах под влиянием ВР [3]. Отдельно стоит выделить полученное в этих исследованиях статистически значимое улучшение показателей креативности при применении ВР дидактической направленности.

Несомненно, погружение в виртуальную среду сопровождается мультимодальным воздействием на сенсорные системы человека, что приводит не только к развитию у него эффекта присутствия, но и формированию сложной функциональной системы, а также возникновению определенных психических образов. Формированию психического образа предшествуют три последовательных этапа [44]: досознательный, или сенсорно-перцептивный; сознательный, или уровень представлений; послесознательный, или вербально-логический. Следовательно, при погружении в виртуальную среду у занимающихся сначала формируется тактическое «погружение», связанное с ориентировочным рефлексом в иммерсивной среде, затем — «стратегическое» погружение, обусловленное целенаправленной деятельностью в виртуальной среде. В конце же происходит формирование «повествовательного» погружения, когда виртуальная среда воспринимается как событие, имеющее начало, сюжет и конечную цель.

Согласно одной из работ, проявление физиологических эффектов после пребывания в виртуальной реальности, полученных посредством метода актиграфии, проявляются изменением характера двигательной активности пользователя, характеризующихся повышением или понижением ее объема в

зависимости от типа стимуляции в ВР. Также получены данные, свидетельствующие об изменении качества сна [44].

Дальнейшие перспективы в исследовании данного направления предполагают использование таких методов, как полисомнография, ЭЭГ, биохимический анализ (например, определение уровней глюкозы в крови и кортизола в слюне).

Отдельный интерес представляют исследования по изучению работы сердечно-сосудистой системы, с регистрацией кардиограммы, пульса, вариабельности сердечного ритма до, во время и после сеанса ВР. Появляются заслуживающие внимания данные о динамике вариабельности сердечного ритма, например, у учащихся во время занятий в виртуальной реальности [4]. Подобные работы могут иметь определенную ценность для специалистов в области физического воспитания и спорта высших достижений, нормальной и спортивной физиологии.

Исследования психоэмоциональной сферы показывают, что ВР может вызывать самые разнообразные эмоции, в том числе и настолько сильные, что их классифицируют как состояние стресса. Ввиду этой особенности большое внимание уделяется изучению влияния негативных стимулов виртуальной среды на страх и чувство присутствия в ВР [24]. Способность ВР симулировать экстремальные условия эффективно используется для профилактики фобий [68]. Подобные исследования могут служить примерами ценности ВР как метода воздействия на функциональное состояние.

В работе, посвященной регистрации физиологических изменений функционирования вегетативной нервной системы, здоровым добровольцам экспериментальной группы предлагалось совершить поездку в виртуальном лифте на вершину высокого здания, тогда как в контрольной группе, поездка на лифте осуществлялась без предъявления образов высоты [94]. В результате в экспериментальной группе наблюдалось выраженное увеличение кожной проводимости, частоты сердечных сокращений (ЧСС), самоотчетных стресса и тревоги, а также повышение уровня кортизола после исследования.

Большое значение при иммерсивном обучении имеет степень владения виртуальным телом. В работе по исследованию владения виртуальным телом разделили добровольцев на 2 группы: для одной виртуальное тело находилось в удобном положении, совпадающем с истинным положением испытуемого, для второй группы виртуальное тело находилось в неуклюжем, неудобном положении [24]. В результате чего, в группе с виртуальным телом в неудобном положении были зафиксированы более высокие показатели самоотчётного стресса, увеличение ЧСС с меньшей вариабельностью и худшее выполнение когнитивных тестов.

В исследовании стрессовых воздействий виртуальной высоты исследуемым предлагалось пройти по узкой доске. Помимо контрольного обычного выполнения этого задания, в одном условии они делали это в виртуальной среде на высоте роста или на высоте небоскреба [24]. В условиях погружения в виртуальную среду регистрировалось значимое увеличение ЧСС, времени реакции и количества ошибок по сравнению с выполнением задачи в реальной среде. Также при сравнении показателей ЧСС между VR сессиями, было зафиксировано статистически значимое увеличение в сценарии, где предъявлялась высота небоскреба.

Фадеевым и соавт. было обнаружено, что виртуальная среда, симулирующая экстремальные аттракционы и состояние полета способствует активации симпатической нервной системы и снижению активности парасимпатической нервной системы [76]. В результате чего, регистрация биоэлектрической активности ГМ характеризуется уменьшением мощности альфа-волн электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и, наоборот, активация реакции избегания сопровождается увеличением мощности альфа-волн ЭЭГ.

Метод регистрации ЭЭГ также использовали для исследования деятельности специалистов строительной сферы в условиях VR. В ходе эксперимента добровольцы выполняли стрессогенные задачи, такие как управление краном и прокладка труб [65]. Уровень стресса и дезадаптации регистрировались в уменьшении тета-ритма и отрицательном индексе фронтальной α -симметрии.

Однако по ходу обучающего процесса наблюдалось смещение индекса в положительный полюс.

Возможность создания любой ситуации в рамках виртуального сценария также актуализирует возможность изучать поведенческие реакции индивидуума в экстремальных условиях. В одной из работ изучалось поведение человека в толпе, симулированной при помощи VR. Добровольцы были погружены в сценарии, обусловленные стрессовыми компонентами (пожарная тревога или непосредственно пожар) и различной долей бегущих в одну сторону виртуальных персонажей. Добровольцам было необходимо в кратчайший срок принять решение: следовать за группой или искать выход самостоятельно [101]. Как результат исследования - увеличение доли бегущих к выходу виртуальных людей приводило к увеличению попыток следовать за группой. Ценность результатов данной работы отражается в том, что в ней проявляется модель поведения большинства людей при возникновении экстремальных ситуаций, следовательно виртуальные среды могут быть использованы в рамках иммерсивного обучения действий в критических ситуациях.

В работе Clifford et al. использовался виртуальный самолет пожарной службы для выполнения обучающих полетов. В ходе исследования при регистрации вариабельности сердечного ритма обнаружилось, что уровень стресса пожарных летчиков одинаково высок как при иммерсионном полете, так и при настоящих учебных полетах. Результаты исследования вскрывают определенный потенциал применения технологий VR для физиологической адаптации специалистов экстремальных профессий к осуществлению деятельности в реальных условиях [74].

Таким образом, многочисленные работы показывают, что VR может быть эффективно использована как стрессогенный фактор. Важно, что повышение уровня стресса было показано не только на основании данных самоотчета участников, но и физиологическими изменениями работы вегетативной нервной

системы с помощью гемодинамических показателей, кожной проводимости, уровня адреналина в крови.

Кроме того, наличие стрессовых воздействий было показано с использованием мозговых коррелятов стресса. Такая характеристика ВР, как высокая экологическая валидность, позволяет использовать ее в физиологии экстремальных ситуаций (в том числе для обучения профессионалов). Вызываемые ВР эмоции достаточно сильны для того, чтобы качественно исследовать поведенческие реакции.

В литературе накоплен опыт работ, в которых технологии ВР используются как инструмент снижения стресса. Известно, что различные природные образы могут использоваться с целью психорегулирующих воздействий, что отражается не только на субъективном уровне, но и на биоэлектрической активности мозга, уровне кортизола, ЧСС, кожной проводимости [24; 87]. На сегодняшний день продолжаются исследования в области изучения психорегулирующих воздействий виртуальной среды, в частности для военной, медицинской и промышленной отраслей и т.д.

Так, например, изучалось психорегулирующее воздействие восприятия виртуальных панорам, изображающих разнообразие природных видов. Оценка физиологических воздействий иммерсионной среды подразумевала регистрацию гемодинамических показателей, концентрации амилазы в слюне и субъективного отражения настроения [24]. По результатам исследования наилучшее психорегулирующее воздействие оказывали сценарии, в которых присутствовали водоемы, тогда как лесные ландшафты вызывали лишь некоторое снижение показателей стресса.

В похожем исследовании изучали психорегулирующее воздействие ВР на учителей и медицинских работников ($n = 121$). Добровольцев поделили на 3 группы: экспериментальная получала курс психорегулирующих воздействий в виртуальной среде (просматривая виды моря и т.д.), вторая группа проходила курс когнитивной поведенческой терапии, третья ожидала помощи в дальнейшем [24].

В результате исследования было установлено, что только в экспериментальной группе произошло снижение уровня тревожности и значимо улучшился навык эмоциональной поддержки.

В одной из работ изучалось влияние аудиальной поддержки при предъявлении образов виртуальной природы на скорость восстановительных процессов после стрессогенных воздействий. Для создания стрессовых воздействий использовался «Трирский виртуальный социальный стресс-тест» [97]. Психорегулирующее воздействие оказывалось посредством двух виртуальных природных сред (лес с воздействием звуков природы и без них) и одном контрольном состоянии, не содержащем ни изображений леса, ни звуков природы. В ходе эксперимента регистрировались данные электрокардиограммы, уровень кортизола и оценка стресса на уровне самоотчетов [24]. Результаты исследования свидетельствовали, что добавление звукового сопровождения живой природы к визуальному ряду позволяет ускорить восстановительные процессы.

Использование виртуальной среды также применялось и для изучения влияния обстановки рабочего помещения в качестве психорегулирующих воздействий. Первоначально 100 здоровых добровольцев погружались в ВР в условиях грязного шумного офиса, в котором им предлагались когнитивные тесты, в качестве стресс-фактора. Далее выборку делили на 4 группы: одна группа была погружена в обстановку кабинета без окна и растений, вторая – в обстановку кабинета с красивым видом из окна, третья – в обстановку кабинета с растениями, последняя – в обстановку кабинета и с растениями, и с красивым видом из окна. В рамках оценки степени психорегулирующих воздействий в различных условиях ВР у добровольцев проводилось измерение гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и кожной проводимости [109]. 2 группы, погруженные в условия виртуальной среды с добавлением природных элементов (растения, растения + вид из окна), показали статистически значимо лучшее психорегулирующее воздействие по сравнению с группой, погруженной в среду обычного кабинета.

В работе Li et al. VR использовалась для исследования влияния яркости как фактора психорегулирующих воздействий. В качестве повышения уровня стресса использовалось специальное арифметическое задание. Далее выборка делилась на группы исследования для просмотра виртуальных сценариев с панорамой лесных массивов с шестью различными уровнями яркости [90]. По показателям кожной проводимости, ЧСС и уровня тревожности авторам удалось сделать заключение, что оптимальное психорегулирующее воздействие происходит при средней яркости (близкой солнечному свету), по сравнению с высокими или низкими уровнями.

Перспективность VR как инструмента психорегулирующих воздействий подтверждается внушительным количеством исследований, в дальнейшем использование виртуальных сред может рассматриваться как массовый метод психофизиологической разгрузки на рабочих местах, а также как метод терапевтических воздействий при более сложных случаях. Отдельные особенности виртуальной среды, способные вызывать состояние глубокого погружения, имеют определенный потенциал для применения в рамках иммерсивного подхода в обучении, а возможность гибко менять условия VR открывает возможности для использования технологии в различных сферах деятельности человека. Тем не менее, остается ряд дискуссионных вопросов, отражающих противоречивые данные наличия физиологических эффектов (как положительных, так и отрицательных), способных оказывать значимое влияние как на время пребывания пользователя в VR, так и на качество процесса обучения в иммерсивной среде. Данное обстоятельство несомненно требует продолжения дальнейших исследований, направленных на оценку воздействия виртуальных сред на параметры физиологических состояний занимающихся.

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Общая характеристика организации исследования

Исследование было реализовано на базе научно-исследовательского центра института естествознания и спортивных технологий ГАОУ ВО «Московский Городской Педагогический Университет» (МГПУ).

Всего в исследовании приняло участие 112 практически здоровых студента ГАОУ ВО МГПУ неспортивного профиля обучения: из них 49 студентов мужского пола и 63 студента женского пола, медиана возраста участников составила 20 [19,5; 21,5] лет.

Исследование проведено в соответствии с юридическими и этическими принципами хельсинской декларации. Каждый из участников данного исследования подписал информированное согласие для участия в экспериментальной деятельности.

Для решения первой задачи исследования на начальном этапе было проведено психофизиологическое тестирование участников (n=112) с целью определения функциональной подвижности нервной системы и дальнейшего формирования групп исследования.

Двигательная тренировка в иммерсивной среде была реализована с помощью портативных очков виртуальной реальности Oculus Quest 2 (Meta, США).

Оценка воздействия двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния ЦНС занимающихся в зависимости от характера нейродинамических процессов проводилась посредством аппаратного психофизиологического тестирования.

Для получения дополнительных сведений о состоянии исследуемых, способных оказать влияние на показатели функционального состояния ЦНС, также был использован аппаратный метод оценки вариабельности сердечного ритма (BCP) и опросник «Simulator Sickness Questionnaire» (SSQ).

При решении второй и третьей задач настоящего исследования (с учетом отсутствия сформированных двигательных навыков, способных оказать значимое влияние в рамках иммерсивного обучения, уровня мотивации в значениях «средний» или «выше среднего», а также желания продолжать участие в исследовании) из 68 участников (с подвижным и инертным типом ЦНС) всего было отобрано 43 добровольца, в последствии размер выборки сократился до количества 40 участников, ввиду исключения 3 добровольцев по причине систематических отсутствий на занятиях (рисунок 1), из них 15 человек мужского пола, 25 женского. Медиана возраста участников составила 20 [19;21] лет.

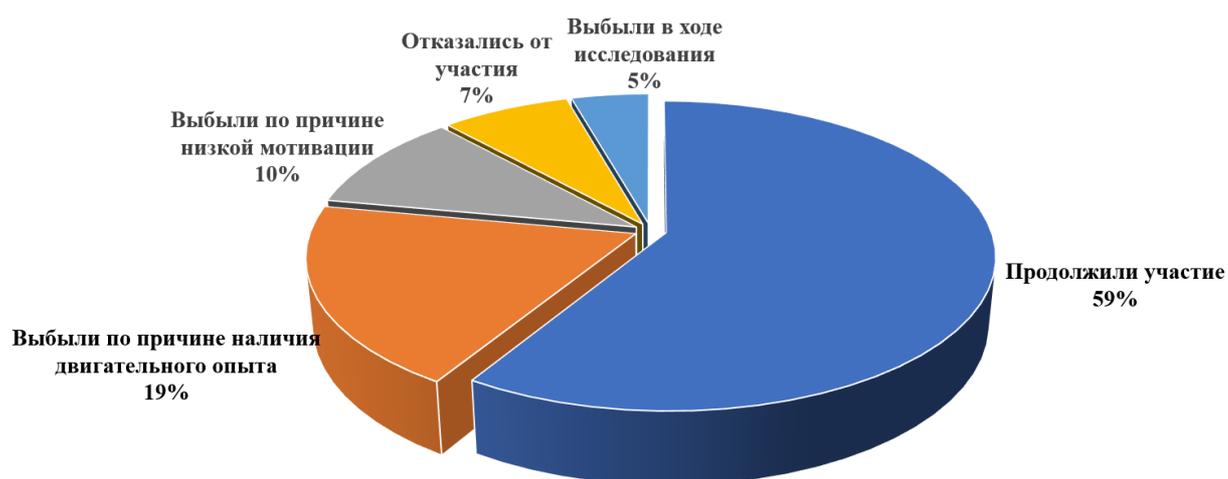


Рисунок 1 – Процентное соотношение участников, продолживших участие в исследовании и выбывших из него по разным причинам

Формирование экспериментальной (ЭГ) и контрольной (КГ) групп исследования при решении второй и третьей задач проведено посредством рандомизации добровольцев (онлайн рандомайзер) на основе данных, полученных в рамках ранее проведенного психофизиологического скрининга.

Выявление особенностей функции постурального баланса у занимающихся двигательной тренировкой в различных условиях виртуальной среды в

зависимости от подвижности нервных процессов реализовано посредством стабилметрической платформы и пробы Бондаревского.

Оценка психоэмоциональной сферы участников исследования в ходе решения второй и третьей задач была произведена с помощью методики Ч. Спилбергера по выявлению личностной и ситуативной тревожности, а также методике «Оценки психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения, комфортности».

Двигательная тренировка с различными условиями виртуальной среды проводилась с помощью комплекса ВР на базе инфракрасного сенсора Microsoft Kinect (Microsoft, США) и блоков из вспененного материала (для создания большей неустойчивости).

Определение качества деятельности студентов производилось путем бальной оценки результатов двигательной тренировки в иммерсивной среде.

Оценка качества деятельности студентов при двигательной тренировке с различными условиями виртуальной среды определялось количеством победных сессий для каждого отдельно взятого добровольца во всех сценариях, представленных в описании исследования.

С целью исключения факторов, способных оказать значимое влияние на конечные результаты исследования проводился опрос добровольцев на предмет отсутствия\наличия опыта погружения в ВР, а также двигательного опыта, представленного в сценарии Kinect Sports в рамках экспериментальной деятельности. Также учитывалось наличие медицинской справки, подтверждающей принадлежность студента к первой группе здоровья.

Критерии включения и невключения в исследование представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии включения/невключения в исследование

Критерии включения:	Критерии неключения:
<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие опыта погружения в виртуальную среду; • Наличие медицинской справки, подтверждающей принадлежность к первой группе здоровья 	<ul style="list-style-type: none"> • наличие неприятных ощущений в процессе занятий; • наличие двигательного опыта, способного оказать влияние на результаты исследования; • отказ от дальнейшего участия в исследовании

2.2 Методы и методики исследования

2.2.1 Психофизиологическая оценка

Оценка функциональной подвижности нервной системы участников исследования, в рамках психофизиологического скрининга, проводилась с помощью теста ПЗМР на аппарате НС-«Психотест» (Нейрософт, Россия).

Согласно общепринятым рекомендациям в психофизиологических исследованиях [17; 30], оценочные мероприятия подобного рода необходимо проводить многократно. Учитывая данный факт, была проведена оценка, включающая в себя семиразовые визиты, в течение двух недель (4 раза на первой и 3 раза на второй неделе), по результатам которой обследованные добровольцы были отнесены к подвижному, промежуточному или инертному типу ЦНС согласно нормативным показателям, представленным в методическом руководстве НС-«Психотест» [30]. В дальнейшем добровольцы с выраженной подвижностью (ВП) и выраженной инертностью (ВИ) были распределены в соответствующие группы исследования.

Поскольку результаты при регистрации ПЗМР в различные фазы овариально-менструального цикла у девушек и женщин могут отличаться [63; 103], регистрация ПЗМР у добровольцев женского пола проводилась в фазу предполагаемой овуляции (14 день) и лютеиновую фазу (21 день), когда параметры ПЗМР относительно однородны. Сведения о текущей фазе ОМЦ получены со слов участниц исследования в ходе устного опроса.

Помимо скрининговых мероприятий аппаратное психофизиологическое тестирование использовалось для оценки воздействия двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния ЦНС занимающихся в зависимости от характера нейродинамических процессов. С этой целью, до начала двигательной тренировки в иммерсивной среде и сразу же после нее, использовался тест ПЗМР и методика «Реакция на движущийся объект» (РДО).

Простая моторная реакция представляет собой простейший акт условно-рефлекторной деятельности в ответ на какой-либо раздражитель [13; 16; 38; 39; 40; 61]. ПЗМР является разновидностью простых моторных реакций, в основе которой лежит двигательное реагирование после предъявления светового сигнала.

В регистрации ПЗМР применялся полноцветный пульт управления с двумя кнопками и световым индикатором красного цвета (зрительно-моторный анализатор). Количество предъявления световых сигналов для каждого добровольца составляло 70 стимулов.

Для статистической обработки были отобраны следующие показатели ПЗМР: среднее время реакции (СВР); стандартное квадратичное отклонение (СКО); общее количество ошибок.

В дополнение к ПЗМР использовалась методика РДО. Количество предъявлений движущегося объекта равнялось 50.

Для анализа результатов РДО использовались такие показатели как: сумма опережений/запаздываний; число точных реакций (ЧТР), энтропия.

Регистрация сенсомоторных реакций производилась в утренние часы, в тихом, затемненном помещении.

2.2.2 Оценка variability сердечного ритма

С целью получения дополнительной информации о физиологических процессах, способных оказывать воздействие на показатели функционального состояния ЦНС (при двигательной тренировке в иммерсивной среде) проводилась регистрация ВСР на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», Россия).

Устройство «Варикард» позволяет оценивать variability сердечного ритма. Под variability понимается свойство биологических процессов, связанных с приспособительной деятельностью организма к изменяющимся условиям окружающей среды.

Оценка на аппаратном комплексе «Варикард» проводилась с целью:

- Получения фоновых значений, отражающих функциональное состояние физиологических систем, обеспечивающих регуляцию сердечного ритма;
- Оценки динамики показателей функционального состояния физиологических систем, обеспечивающих регуляцию сердечного ритма, в ответ на двигательную тренировку в иммерсивной среде.

Для дальнейшей обработки результатов оценки на аппарате «Варикард» использовались показатели спектрального анализа (HF%, LF%, VLF%), изменение которых, согласно литературным данным [56], может служить дополнительным источником информации, отражающим текущее функциональное состояние обследуемого.

2.2.3 Оценка субъективных ощущений после воздействия двигательной тренировки в иммерсивной среде

В дополнение к инструментальным методикам, направленным на оценку изменений параметров функционального состояния ЦНС на двигательную тренировку в иммерсивной среде, использовалась специальная шкала-опросник «Simulator sickness questionnaire» (SSQ).

Опрос по SSQ проводится непосредственно сразу после погружения в виртуальную среду. Шкала содержит 18 вопросов по выявлению качественных ощущений, которые могут интерпретироваться как различные состояния организма, возникающие вследствие пребывания в виртуальной среде. Шкала подразумевает бальную оценку от 0 – не ощущаю, до 3 баллов – сильное ощущение.

2.2.4 Характеристика двигательной тренировки в виртуальной среде с однородными условиями для студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы

Для реализации иммерсивной двигательной тренировки использовали виртуальные очки «Oculus Quest 2» (Meta, США).

Устройство выполнено в форме очков, которые закрепляются на голове пользователя посредством специальных ремней.

Для проведения двигательной тренировки в иммерсивной среде использовался виртуальный сценарий «Beat Saber». Beat Saber является виртуальным сценарием, погружаясь в который, пользователь должен управлять специальными световыми мечами (синего и красного цвета) и выполнять специфические задачи, содержащие двигательные и когнитивные задачи (рисунок 2 и 3).



Рисунок 2 – Выполнение задач сценария: иммерсивная среда



Рисунок 3 – Выполнение задач сценария: реальная среда

К таким задачам относятся:

- Рассечение виртуальных кубов синего и красного цвета световым мечом аналогичного цвета;

- Рассечение виртуальных кубов в определенном месте (на каждом кубе место рассечения помечается специальной белой стрелкой);
- Рассечение кубов в такт ударных инструментов музыкального сопровождения сценария.

Таким образом, двигательная тренировка в иммерсивной среде, реализуемая в рамках сценария «Beat Saber», представляет собой сложно-структурированную когнитивно-моторную деятельность, а необходимость разбивать кубы в такт музыке, представляет собой ритмический праксис.

Сила сенсорного стимула (условия) виртуальной среды сценария «Beat Saber» подразумевает различные уровни сложности: легкий, средний, тяжелый и очень тяжелый, включающие такие компоненты как скорость и количество вылетающих кубов, искусственные виртуальные помехи, стиль и скорость музыкального сопровождения.

Двигательная тренировка в иммерсивной среде в обеих группах исследования подразумевала следующие условия виртуальной среды:

- Нормальный уровень сложности;
- Предъявление за одну сессию 195 виртуальных кубов;
- Длительность 1 сессии – 2 минуты 44 секунды;
- Скорость музыкального сопровождения – 175 ударов в минуту;
- Стиль музыкального сопровождения – Drum'n'Bass.

Всего, в рамках исследования, каждый доброволец провел 2 полноценных виртуальных сессии, суммарно 5 минут 28 секунд.

2.2.5 Оценка функции постурального баланса

Для выявления особенностей функции постурального баланса у занимающихся двигательной тренировкой в различных условиях виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности ЦНС (до и после

экспериментальной деятельности) использовалась стабилметрическая платформа «Ромберг» (Неврокор, Россия).

Стабило-платформа состоит из основной платформы, четырех тензорезистентных датчиков давления, аналого-цифрового преобразователя, микроконтроллера.

Стабило-платформа представляет собой плоский модуль, работа которого направлена на определение реакции опоры устройства согласно распределению массы тела и координат центра давления на опорную поверхность, расположившегося на ней испытуемого.

Для инструментальной оценки на стабиллоплатформе использовалась стойка по европейскому типу (с открытыми и закрытыми глазами, по 20 секунд каждая), где обследуемый, условно, принимает положение «пятки вместе носки врозь».

Данное положение преимущественно используется специалистами из европейских стран, от других методов постановки стоп оно отличается достаточным удобством для обследуемого, а также большей естественностью позы.

Для дальнейшего статистического анализа использованы следующие показатели: площадь статокинезиограммы (глаза открыты\закрыты), скорость общего центра давления (ОЦД) (глаза открыты\закрыты), показатель затраченной работы (глаза открыты\закрыты), показатель стабильности (глаза открыты\закрыты).

В дополнении к инструментальному методу стабилметрического исследования использовалась проба Бондаревского, подразумевающая необходимость принятия специальной позы и дальнейшего ее поддержания в одноопорном положении (рисунок 4).

Методика выполнения пробы подразумевает:

- определение опорной ноги;

- дальнейшее принятие одноопорного положения, при этом руки располагаются на поясе, стопа не опорной ноги располагается на коленном суставе опорной ноги, после чего выполняется наружная ротация берда;
- по команде исследователя испытуемый закрывает глаза.



Рисунок 4 – Проба Бондаревского.

Цель пробы заключается в том, чтобы как можно дольше без выраженных колебательных движений сохранять устойчивость позы. Как только исследуемый компенсирует потерю равновесия за счет наклона или компенсаторного шага, исследование прекращается. Проба Бондаревского оценивается в секундах.

2.2.6 Психологический скрининг студентов по выявлению уровня мотивации и тревожности перед началом тренировочного курса совершенствования функции постурального баланса в виртуальной среде

Для оценки уровня тревожности использовалась методика Ч. Спилбергера в адаптации Ю.Л. Ханина.

Методика направлена на оценку личностной и ситуативной тревожности (СТ) респондента (Приложение 1). Показатель ситуативной тревожности, отражает уровень тревожности респондента на момент тестирования.

Методика использована для отражения психоэмоционального состояния участников исследования на момент начала и конца экспериментальной деятельности.

Для статистической обработки использовался показатель СТ, поскольку его динамика могла оказать влияние на конечные результаты исследования.

Для определения уровня мотивации применялась методика «Оценки психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения и комфортности» (Курганского-Немчина).

Методика предназначена для оценки различных составляющих психоэмоционального состояния респондента, в конечном итоге, позволяя получить информацию об общем его состоянии (Приложение 2).

Методика использована для оценки уровня мотивации участников исследования перед началом тренировочного курса совершенствования функции постурального баланса студентов в виртуальной среде.

2.2.7 Характеристика двигательной тренировки в виртуальной среде с различными условиями для студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы

Для создания двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды (иммерсивного обучения) студентов с различной

функциональной подвижностью ЦНС использовалась игровая консоль X-Box 360 с поддержкой инфракрасного сенсора для захвата движений Microsoft Kinect (Microsoft, США). Сенсор Kinect способен осуществлять захват важнейших анатомических ориентиров человека и в специальном программном обеспечении выстраивать модель человеческого тела, что позволяет взаимодействовать с виртуальной средой посредством двигательной активности, а также контролировать свои движения в режиме реального времени.

Также для обеспечения условий виртуальной среды, инициирующих двигательную активность, использовался виртуальный сценарий Kinect Sports. Kinect Sports включает в себя популярнейшие во всем мире виды спорта, такие как дартс, бокс, футбол, легкая атлетика, волейбол, настольный теннис, лыжный спорт, боулинг и т.д. Сценарий разработан таким образом, что пользователю необходимо выполнять ряд движений, имитирующих спортивную технику конкретного вида спорта, ввиду чего обуславливается определенная физическая нагрузка и наличие тренировочного эффекта.

Одним из преимущественных отличий Kinect от полнопогружной VR является возможность моделирования педагогических условий окружающей среды.

Статодинамический характер движений при погружении в Kinect Sports позволяет целенаправленно воздействовать на вестибулярную-сенсорную систему, а возможность моделирования внешних условий способна повысить степень воздействия.

В данном исследовании, в дополнение к событиям сценариев Kinect Sports, (для создания большей неустойчивости) испытуемый располагался на специальных гимнастических подушках из вспененного материала (рисунок 5).



Рисунок 5 – Двигательная тренировка в виртуальной среде (сценарий Kinect Sports) в условиях повышенной неустойчивости

Двигательная тренировка с различными условиями виртуальной среды студентов с различной функциональной подвижностью ЦНС подразумевала курс обучения в течение 9 недель по 3 раза в неделю.

Из различных сценариев, представленных в Kinect Sports, были отобраны сценарии, которые характеризовались продолжительностью воздействия (длительность одной сессии не менее 2 минут), а также выраженным статодинамическим характером осуществляемой двигательной деятельности: сценарий «Боулинг» (для левой и правой руки); сценарий «Бокс»; сценарий «Настольный теннис»; сценарий «Пляжный волейбол».

Руководствуясь результатами экспериментальной деятельности при решении первой задачи настоящей работы, для групп исследования был разработан следующий протокол:

1. Для представителей экспериментальной группы с подвижным типом ЦНС допустимо:

- Более низкий уровень сложности виртуального сценария: более слабый сенсорный стимул; меньшая моторная плотность; более слабый виртуальный оппонент.
2. Для представителей экспериментальной группы с инертным типом ЦНС допустимо:
- Более высокий уровень сложности виртуального сценария: более выраженный сенсорный стимул; большая моторная плотность; более сильный виртуальный оппонент.
3. Для представителей контрольной группы с подвижным и инертными типами ЦНС:
- Более высокий уровень сложности виртуального сценария: более выраженный сенсорный стимул; большая моторная плотность; более сильный виртуальный оппонент.
4. Длительность каждой сессии составляла 30 минут для всех групп исследования:
- Сценарий боулинг для левой и правой руки (7 минут);
 - Сценарий бокс (7 минут);
 - Отдых (2 минуты);
 - Сценарий настольный теннис (7 минут);
 - Сценарий пляжный волейбол (7 минут).

2.2.8 Оценка качества деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде

Оценка качества деятельности в виртуальном сценарии «Beat saber» осуществляется за счёт набора игровых баллов, которые предъявляются пользователю после каждой игровой сессии (рисунок 6).

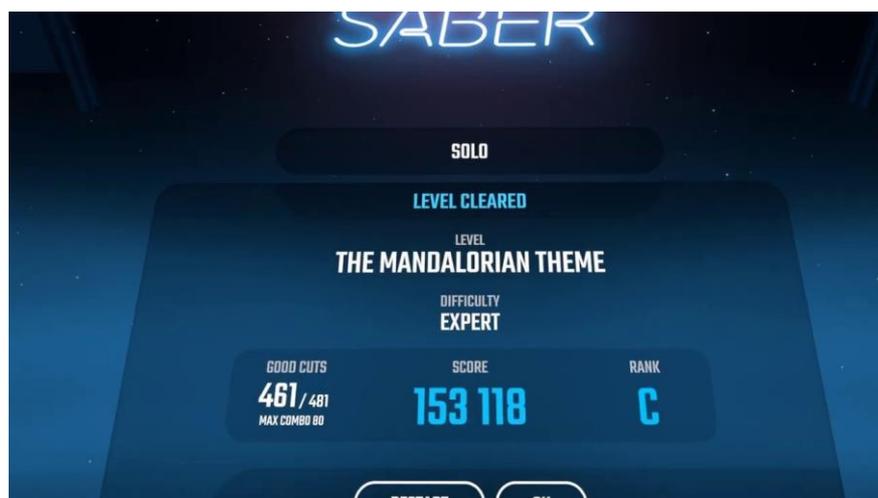


Рисунок 6 – Пример оценки качества деятельности в иммерсивной среде: сценарий «Beat Saber»

Итоговое количество баллов зависит как от успешности рассеечения виртуальных кубов, так и избегания посторонних виртуальных предметов.

Максимально возможное количество баллов, которое можно набрать за одну виртуальную сессию зависит от выбора композиции, сложности музыкального рисунка, а также уровня сложности самого сценария.

В виртуальном сценарии, который был выбран для настоящего исследования, максимально возможным количеством являлось 150 000 игровых баллов. Однако, ввиду высокой вариабельности результатов, для более понятного отражения критериев эффективности двигательной тренировки в иммерсивной среде было принято решение выделить 3 равномерных диапазона (по 50 000 игровых баллов) и присвоить им ранговые значения от 1 (минимальные значения) до 3 баллов (максимальные значения).

Таким образом, показатели, отражающие эффективность двигательной тренировки в иммерсивной среде, в рамках экспериментальной деятельности, выглядели следующим образом:

- баллы, набранные в диапазоне от 0 до 50 000 – 1 балл;
- Баллы, набранные в диапазоне от 50 000 до 100 000 – 2 балла;
- Баллы, набранные в диапазоне от 100 000 до 150 000 – 3 балла.

Поскольку двигательная тренировка в сценарии «Kinect sports» подразумевала наличие виртуального соперника, то эффективность деятельности отражалась в количестве одержанных побед.

Девятинедельный курс двигательных тренировок (по 3 раза в неделю) с различными условиями виртуальной среды суммарно подразумевал 27 визитов. За каждый визит пользователь проводил 1 матч по боулингу, 2 схватки по боксу, 1 партию в настольный теннис и 2 партии в пляжном волейболе.

Таким образом, произведя расчет потенциального числа победных сессий, были получены критерии оценки эффективности двигательных тренировок с различными условиями виртуальной среды, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2- Критерии качества деятельности при двигательной тренировке в разных условиях виртуальной среды в рамках девятинедельного курса

Сценарий Kinect Sports	
Название двигательного сценария	Количество побед за девятинедельный курс
Боулинг	от 0 до 27
Бокс	от 0 до 54
Настольный теннис	от 0 до 27
Пляжный волейбол	от до 54

2.2.9 Статистическая обработка полученных результатов

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Jamovi v. 2.3 (www.Jamovi.org).

Критерий Шапиро – Уилка применялся для проверки нормальности распределения признаков.

Статистический анализ данных, с учетом их параметрического характера, проводился посредством t-критерия Стьюдента. Обработка данных

непараметрического характера проводилась посредством критериев Манна-Уитни и Уилкоксона.

Для выявления взаимосвязей между результатами двигательной тренировки в виртуальной среде и параметрами функционального состояния ЦНС использовали коэффициент корреляции Спирмена.

При проверке всех гипотез в качестве уровня значимости был принят $p < 0,05$.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Качество результатов, представленных по итогам первого и второго этапов исследования и их достоверность, обеспечены протоколами и дизайном исследования, высокой технологичностью инструментов, использованных в экспериментальной части, современностью аппаратных устройств в рамках инструментальной оценки, применением стандартизированных методов статистического анализа данных, а также соответствием данной работы общепринятым принципам научных исследований в области физиологии человека и животных.

3.1 Психофизиологический скрининг студентов по выявлению характера нейродинамических процессов

Обработка результатов психофизиологического скрининга проводилась согласно нормативным показателям, представленным в методическом руководстве аппарата НС-«Психотест» [30].

Так, согласно выбранной методике регистрации ПЗМР, обследуемые, у которых в динамике измерений было преимущественно зарегистрировано СВР ниже показателя 193 мс относили к добровольцам с выраженной подвижностью нервных процессов. Обследуемых с показателем выше 233 мс к добровольцам с выраженной инертностью нервных процессов. Всех, кто продемонстрировал показатель СВР в диапазоне 193-233 мс к испытуемым с промежуточным типом ЦНС (таблица 3).

Таблица 3 – Психофизиологический скрининг по оценке характера нейродинамических процессов у участников исследования (n=112)

Функциональная подвижность ЦНС	Количество представителей (человек)
Выраженная подвижность (193мс и менее)	31
Промежуточный тип (193-233мс)	44
Выраженная инертность (233мс и более)	37

Таким образом, после психофизиологического скрининга для дальнейшего участия в исследовании были отобраны испытуемые (n=68) с наиболее выраженной подвижностью (ВП) и инертностью (ВИ) нервных процессов. В группу ВП вошли добровольцы в количестве 31 человека, из них 12 мужского и 19 женского пола. В группу ВИ вошли 37 человек, из них 19 мужского и 18 женского пола.

3.2 Оценка воздействия двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния центральной нервной системы студентов в зависимости от характера нейродинамических процессов

3.2.1 Психофизиологическая оценка

Результаты фоновых значений ПЗМР, а также ее показатели после двигательной тренировки в ВР у добровольцев группы ВП представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Фоновые значения простой зрительно-моторной реакции у добровольцев группы выраженная подвижность

Пол исследуемого	Среднее время реакции (мс)	Стандартное квадратичное отклонение (мс)	Количество ошибок
м	180	24	3
м	192	40	1
ж	173	37	2
ж	193	38	1
ж	195	46	2
ж	184	47	0
м	179	58	1
ж	192	49	2
м	190	31	2
ж	183	57	1
м	174	37	0
ж	189	30	1
ж	191	29	1
ж	192	40	3
м	189	36	4
м	190	51	2
ж	187	36	1
м	189	36	1
ж	189	28	0
ж	176	45	3
ж	189	40	3
ж	181	34	4
ж	187	35	1
м	193	34	3
ж	178	44	5
м	169	34	2
ж	182	47	1
м	185	37	3
ж	192	47	0
ж	187	37	0
м	193	35	1

Таблица 5 – Показатели простой зрительно-моторной реакции у добровольцев группы выраженная подвижность после двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Среднее время реакции (мс)	Стандартное квадратичное отклонение (мс)	Количество ошибок
м	192	40	8
м	192	44	3
ж	187	43	5
ж	195	46	0
ж	192	43	3
ж	190	39	2
м	188	48	0
ж	199	48	1
м	189	49	1
ж	191	45	3
м	185	41	2
ж	188	29	0
ж	195	43	6
ж	193	46	1
м	189	37	4
м	198	41	3
ж	201	43	3
м	185	48	1
ж	203	39	2
ж	181	47	1
ж	194	46	3
ж	180	45	2
ж	192	50	1
м	191	49	3
ж	205	44	6
м	186	41	2
ж	200	40	5
м	195	43	5
ж	204	54	3
ж	198	41	1
м	203	52	4

Результаты фоновых значений ПЗМР, а также ее показатели после двигательной тренировки в ВР у добровольцев группы ВИ представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Фоновые значения простой зрительно-моторной реакции у добровольцев группы выраженная инертность.

Пол исследуемого	Среднее время реакции (мс)	Стандартное квадратичное отклонение (мс)	Количество ошибок
м	237	69	0
ж	234	66	1
ж	258	91	1
м	247	75	0
м	235	58	2
м	239	62	0
м	235	51	0
ж	236	68	2
м	277	76	0
ж	239	64	0
ж	260	83	1
м	255	60	2
м	236	68	3
ж	246	80	2
м	250	60	0
ж	240	77	0
ж	259	89	0
м	240	98	0
м	256	68	2
м	291	78	7
ж	262	65	1
м	251	103	1
ж	242	92	1
м	251	93	2
ж	233	66	0
ж	239	97	0
ж	234	79	8
ж	239	86	1
ж	260	95	2
м	250	101	2
ж	243	93	3
м	292	87	0
ж	261	58	2
м	235	65	3
ж	260	77	0
м	253	78	1
м	288	64	1

Таблица 7 – Показатели простой зрительно-моторной реакции у добровольцев группы выраженная инертность после двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Среднее время реакции (мс)	Стандартное квадратичное отклонение (мс)	Количество ошибок
м	235	65	2
ж	234	77	3
ж	255	110	3
м	240	74	1
м	237	82	2
м	234	68	0
м	237	60	1
ж	240	74	0
м	300	132	0
ж	237	27	0
ж	265	73	1
м	249	77	1
м	243	69	2
ж	252	66	1
м	251	74	1
ж	249	79	0
ж	255	50	1
м	246	73	0
м	250	80	0
м	285	71	1
ж	267	59	0
м	240	53	6
ж	238	66	1
м	258	65	2
ж	239	69	0
ж	235	70	2
ж	238	57	4
ж	246	61	3
ж	252	66	1
м	259	118	0
ж	247	69	4
м	280	79	0
ж	265	67	0
м	240	65	2
ж	264	61	0
м	244	78	0
м	279	63	6

По результатам внутригруппового анализа по оценке изменения параметров функционального состояния ЦНС добровольцев в ответ на двигательную

тренировку в виртуальной среде посредством теста ПЗМР были получены данные, свидетельствующие о том, что статистически значимые изменения произошли только в группе ВП (таблица 8).

Таблица 8 - Динамика показателей простой зрительно-моторной реакции до и после двигательной тренировки в виртуальной среде внутри групп исследования

Группа	Серия	Показатели простой зрительно-моторной реакции		
		СВР	СКО	Ошибки
Выраженная подвижность (n=31)	1	186±16,8	39±18,1	1,77±1,9
	2	193±26,6*	44±14,9**	2,84±1,9*
Выраженная инертность (n=37)	1	250±16,1	76,8±14,1	1,38±1,1
	2	251±15,8	71,5±17,9	1,38±1,2

Примечание: *- $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$ (W-критерий Уилкоксона)

Обращаясь к данным таблицы можно видеть, что в группе ВП статистически значимо увеличились: показатель СВР, отражающий скорость реагирования на зрительный стимул; показатель СКО, отражающий стабильность выполнения реакции (или степень уравновешенности нервной системы); показатель общего количества ошибок.

Анализ результатов РДО показал, что статистически значимые изменения наблюдались только в группе ВП. Так, статистически значимо увеличился показатель сумма запаздываний (мс), а также значимо снизился показатель ЧТР (рисунок 7 и 8).

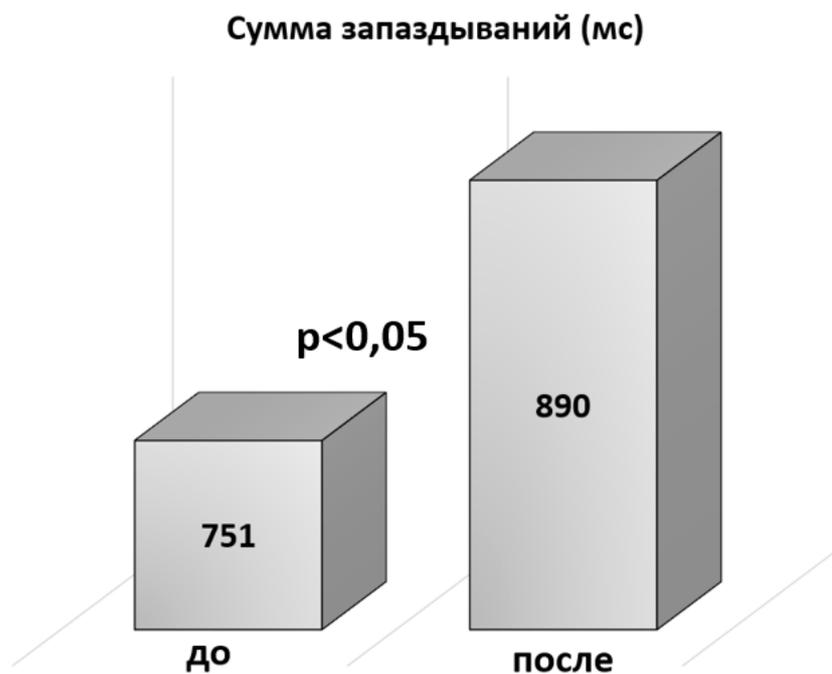


Рисунок 7 - Изменение показателя сумма запаздываний (мс) в реакции на движущийся объект до и после двигательной тренировки в виртуальной реальности в группе выраженная подвижность (t-критерий Стьюдента)

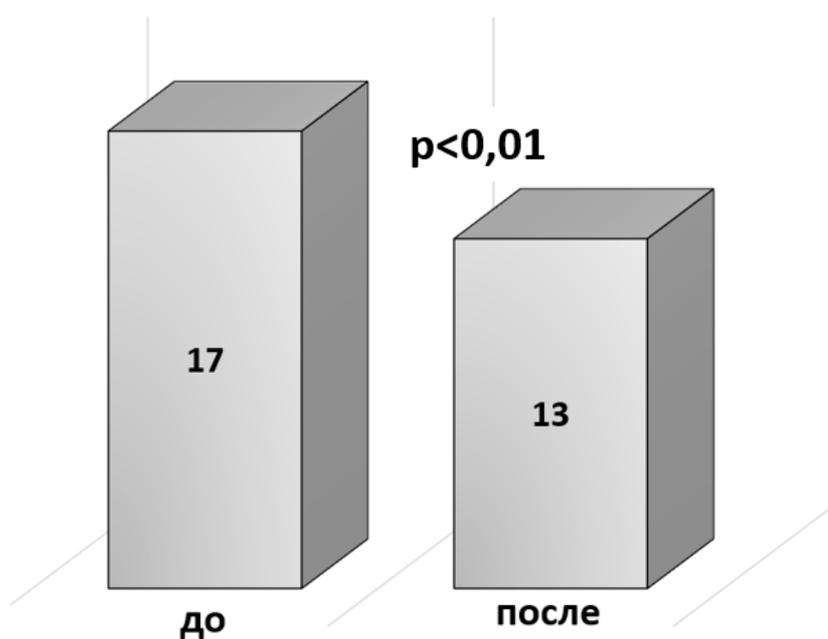


Рисунок 8 - Изменение показателя число точных реакций в реакции на движущийся объект до и после двигательной тренировки в виртуальной реальности в группе выраженная подвижность (t-критерий Стьюдента)

3.2.2 Оценка вариабельности сердечного ритма

Результаты фоновых значений оценки ВСР, а также ее показатели после двигательной тренировки в ВР у добровольцев группы ВП представлены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Фоновые значения показателей оценки вариабельности сердечного ритма у добровольцев группы выраженная подвижность до двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Тип ЦНС	HF % (до)	LF% (до)	VLF% (до)
м	ВП	14,6	65,3	20,1
м	ВП	29,1	54,9	16
ж	ВП	35,9	50,3	13,8
ж	ВП	24,9	32	43,1
ж	ВП	33,7	49,9	14,01
ж	ВП	15,6	66	18,4
м	ВП	49,5	34,7	15,8
ж	ВП	28,7	32,5	18,2
м	ВП	69,4	27,2	3,4
ж	ВП	43,4	46,3	10,3
м	ВП	35,3	20,7	15,4
ж	ВП	27,8	33,3	23,2
ж	ВП	24,2	44,5	18
ж	ВП	46,6	44,2	9,2
м	ВП	25,3	37,1	37,6
м	ВП	34,6	45,3	20
ж	ВП	18,8	43,8	37,4
м	ВП	39,2	49,3	11,6
ж	ВП	21,7	61,6	16,8
ж	ВП	35,9	50,3	13,8
ж	ВП	24,9	32	43,1
ж	ВП	33,7	49,9	14,01
ж	ВП	15,6	66	18,4
м	ВП	49,5	34,7	15,8
ж	ВП	28,7	32,5	18,2
м	ВП	69,4	27,2	3,4
ж	ВП	35,3	20,7	15,4
м	ВП	27,8	33,3	23,2
ж	ВП	24,2	44,5	18
ж	ВП	46,6	44,2	9,2

Таблица 10 – Показатели вариабельности сердечного ритма у добровольцев группы выраженная подвижность после двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Тип ЦНС	HF % (после)	LF% (после)	VLF% (после)
м	ВП	14,6	44,5	40,9
м	ВП	17,8	66,9	15,3
ж	ВП	21	72	7
ж	ВП	8,1	46,3	46,5
ж	ВП	28,8	59,3	13,2
ж	ВП	19,9	66,5	13,6
м	ВП	38,4	51,1	10,5
ж	ВП	25,3	64,8	15,4
м	ВП	36,6	49,7	13,8
ж	ВП	57,5	30,6	11,9
м	ВП	32,2	49,9	20,8
ж	ВП	25,1	53,7	25,5
ж	ВП	23,1	57,6	17,5
ж	ВП	38,3	45,9	15,8
м	ВП	31,6	47,3	21,1
м	ВП	26,5	67,6	5,9
ж	ВП	26,8	45	28,2
м	ВП	18,3	76	5,6
ж	ВП	31,1	61	7,9
ж	ВП	21,3	72	8,1
ж	ВП	8,1	46,3	46,5
ж	ВП	28,8	59,3	13,2
ж	ВП	19,9	66,5	13,6
м	ВП	38,4	51,1	10,5
ж	ВП	25,3	64,8	15,4
м	ВП	36,6	49,7	13,8
ж	ВП	32,2	49,9	20,8
м	ВП	25,1	53,7	25,5
ж	ВП	23,1	57,6	17,5
ж	ВП	38,3	45,9	15,8

Результаты фоновых значений оценки ВСР, а также ее показатели после двигательной тренировки в ВР у добровольцев группы ВИ представлены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Фоновые значения показателей вариабельности сердечного ритма у добровольцев группы выраженная инертность до двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Тип ЦНС	HF % (до)	LF% (до)	VLF% (до)
м	ВИ	34	43,3	17,7
ж	ВИ	21	57,2	21,8
ж	ВИ	24,8	49,5	25,7
м	ВИ	40,1	39,1	20,8
м	ВИ	14,1	65,2	20,7
м	ВИ	19,4	43,2	16
м	ВИ	21,1	72,2	7,1
ж	ВИ	18,1	71,6	10,3
м	ВИ	47,8	42,9	9,3
ж	ВИ	18,4	39,9	19,8
ж	ВИ	17,4	29,6	52,9
м	ВИ	24,3	37,3	12,3
м	ВИ	18,3	42,2	19,8
ж	ВИ	20,9	72,4	6,7
м	ВИ	12	62,1	25,9
ж	ВИ	60,2	25,8	13,9
ж	ВИ	40,1	39,1	20,8
м	ВИ	12,3	52,1	25,9
м	ВИ	33,1	34,5	17,7
м	ВИ	19,4	43,2	16
ж	ВИ	21,2	72,1	7,4
м	ВИ	18,1	71,6	10,3
ж	ВИ	47,8	42,9	9,3
м	ВИ	34	43,3	17,7
ж	ВИ	21	57,2	21,8
ж	ВИ	24,8	49,5	25,7
ж	ВИ	69,4	27,2	3,4
ж	ВИ	53,3	61,2	13,2
ж	ВИ	47,8	42,9	8,5
м	ВИ	18,4	39,9	16,8
ж	ВИ	17,4	29,6	30,9
м	ВИ	24,3	37,5	12,3
ж	ВИ	18,3	48,2	19,8
м	ВИ	20,9	71,5	6,7
ж	ВИ	12	65,1	25,9
м	ВИ	60,2	23,8	13,9

Таблица 12 – Показатели вариабельности сердечного ритма у добровольцев группы выраженная инертность после двигательной тренировки в виртуальной реальности

Пол исследуемого	Тип ЦНС	HF % (после)	LF% (после)	VLF% (после)
м	ВИ	34	43,3	17,7
ж	ВИ	21	57,2	21,8
ж	ВИ	24,8	49,5	25,7
м	ВИ	40,1	39,1	20,8
м	ВИ	14,1	65,2	20,7
м	ВИ	19,4	43,2	16
м	ВИ	21	72	7
ж	ВИ	18,1	71,6	10,3
м	ВИ	47,8	42,9	9,3
ж	ВИ	18,4	39,9	19,8
ж	ВИ	17,4	29,6	52,9
м	ВИ	24,3	37,3	12,3
м	ВИ	18,3	42,2	19,8
ж	ВИ	20,9	72,4	6,7
м	ВИ	12	62,1	25,9
ж	ВИ	60,2	25,8	13,9
ж	ВИ	40,1	39,1	20,8
м	ВИ	12,3	52,1	25,9
м	ВИ	33,1	34,5	17,7
м	ВИ	19,4	43,2	16
ж	ВИ	21	72	7
м	ВИ	18,1	71,6	10,3
ж	ВИ	47,8	42,9	9,3
м	ВИ	34	43,3	17,7
ж	ВИ	21	57,2	21,8
ж	ВИ	24,8	49,5	25,7
ж	ВИ	69,4	27,2	3,4
ж	ВИ	53,3	61,2	13,2
ж	ВИ	47,8	42,9	8,5
м	ВИ	18,4	39,9	16,8
ж	ВИ	17,4	29,6	30,9
м	ВИ	24,3	37,5	12,3
ж	ВИ	18,3	48,2	19,8
м	ВИ	20,9	71,5	6,7
ж	ВИ	12	65,1	25,9
м	ВИ	60,2	23,8	13,9

Статистическая обработка показателей спектрального анализа ВСР внутри групп исследования позволила установить, что в группе ВИ наблюдалось выражено значимое увеличение показателя LF%, тогда как в группе ВИ статистически значимо увеличился показатель HF% (таблица 13).

Таблица 13 – Динамика показателей спектрального анализа variability сердечного ритма до и после двигательной тренировки в виртуальной среде внутри групп исследования

Группа	Серия	Показатели спектрального анализа в рамках оценки variability сердечного ритма		
		HF%	LF%	VLF%
Выраженная подвижность (n=31)	1	33±13,9	43,2±13,1	18,5±9,6
	2	29,9±12,5	55,4±10,5**	18,6±11,3
Выраженная инертность (n=37)	1	28,8±15,2	48,5±14,6	17,4±9,1
	2	37,3±15,9*	44,0±13,6	18,3±7,8

Примечание: *-p<0,05; **-p<0,01 (W-критерий Уилкоксона)

Статистически значимое увеличение показателей спектрального анализа в обеих группах исследования указывает на абсолютно разное проявление рефлекторной активности физиологических систем, обеспечивающих регуляцию сердечного ритма. Увеличение показателя HF% свидетельствует о росте парасимпатических влияний у представителей группы ВИ после двигательной тренировки в иммерсивной среде, тогда как в группе ВП значимый прирост в показателе LF% указывает на рост активности симпатической нервной системы, что может рассматриваться как более стрессовое восприятие условий виртуальной среды.

3.2.3 Оценка субъективных ощущений после воздействия двигательной тренировки в иммерсивной среде

Результаты опросника SSQ добровольцев группы ВП после двигательной тренировки в ВР представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Данные опроса simulator sickness questionnaire в группе выраженная подвижность после двигательной тренировки в виртуальной среде

Пол исследуемого	Тип ЦНС	Головная боль	Напряжение глаз	Сухость во рту	Потливость
М	ВП	0	0	2	1
М	ВП	1	2	2	0
Ж	ВП	0	0	0	0
Ж	ВП	1	3	0	3
Ж	ВП	0	0	3	0
Ж	ВП	0	0	0	3
М	ВП	0	2	0	2
Ж	ВП	1	0	2	0
М	ВП	0	2	0	3
Ж	ВП	0	1	2	0
М	ВП	0	0	0	2
Ж	ВП	0	0	1	0
Ж	ВП	1	0	0	2
Ж	ВП	0	0	1	2
М	ВП	1	1	1	0
М	ВП	0	0	1	1
Ж	ВП	0	0	0	1
М	ВП	0	0	2	0
Ж	ВП	1	2	0	1
Ж	ВП	0	0	0	3
Ж	ВП	0	2	2	0
Ж	ВП	0	2	3	2
Ж	ВП	0	0	0	0
М	ВП	1	0	1	3
Ж	ВП	0	1	1	0
М	ВП	0	0	0	2
Ж	ВП	0	3	1	0
М	ВП	0	0	2	3
Ж	ВП	1	2	0	3
Ж	ВП	0	1	2	2
М	ВП	0	1	1	1

Результаты опросника SSQ добровольцев группы ВИ после двигательной тренировки в ВР представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Данные опроса simulator sickness questionnaire в группе выраженная инертность после двигательной тренировки в виртуальной среде

Пол исследуемого	Тип ЦНС	Головная боль	Напряжение глаз	Сухость во рту	Потливость
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	0	1	2	1
ж	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	2
ж	ВИ	0	1	1	0
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	2	0	0	0
ж	ВИ	0	0	1	1
м	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	0	0	1	0
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	0	1	0	0
ж	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	1	0	2	2
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	3
ж	ВИ	0	0	1	0
м	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	0	1	0	2
ж	ВИ	0	0	0	0
ж	ВИ	1	0	0	0
ж	ВИ	0	0	1	0
ж	ВИ	0	0	0	0
м	ВИ	0	0	0	1
ж	ВИ	0	0	0	0

По результатам межгруппового анализа показателей шкалы SSQ, отражающей субъективные ощущения человека после двигательной тренировки в виртуальной среде, наблюдались статистически значимые различия по таким показателям как напряжение глаз, сухость во рту и потливость. (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительный анализ данных шкалы simulator sickness questionnaire после погружения в виртуальную среду между группами исследования

Группа	Показатели субъективных ощущений после сенсорного воздействия условий виртуальной среды по шкале SSQ			
	Головная боль	Напряжение глаз	Сухость во рту	Потливость
Выраженная подвижность (n=31)	0,2±0,04	0,8±0,03**	0,9±0,08**	1,29±0,09**
Выраженная инертность (n=37)	0,1±0,03	0,1±0,04	0,4±0,06	0,378±0,07

Примечание: ** - $p < 0,01$ (U-критерий Манна-Уитни)

Статистически значимые различия между группами ВП и ВИ по таким показателям как напряжение глаз, сухость во рту, потливость также может свидетельствовать о том, что у представителей подвижного типа ЦНС в рамках срочной адаптации к сенсорному воздействию условий виртуальной среды наблюдается повышенная активность симпато-адреналовой системы, что, в свою очередь, может вызывать более выраженную напряженность в работе физиологических систем обеспечивающих конкретный вид деятельности.

3.3 Оценка функции постурального баланса у занимающихся двигательной тренировкой в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы

3.3.1 Результаты психологического скрининга студентов по выявлению уровня тревожности и мотивации перед началом тренировочного курса совершенствования функции постурального баланса в виртуальной среде

Результаты оценки уровня тревожности в ЭГ до и после тренировочного курса представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Оценка ситуативной тревожности по методике Ч. Спилбергера в экспериментальной группе до и после тренировочного курса

Пол участника (м/ж)	Тип ЦНС	Ситуативная тревожность (баллы, до)	Ситуативная тревожность (баллы, после)
Ж	ВИ	32	38
Ж	ВИ	52	46
Ж	ВИ	38	31
Ж	ВП	30	28
Ж	ВИ	27	30
Ж	ВП	48	45
Ж	ВИ	50	53
М	ВИ	43	40
Ж	ВП	48	35
Ж	ВИ	44	42
Ж	ВП	29	33
Ж	ВИ	25	27
М	ВИ	48	45
Ж	ВИ	44	41
Ж	ВИ	50	46
Ж	ВП	52	49
Ж	ВИ	39	30
М	ВП	46	42
М	ВП	40	46
М	ВИ	35	31

Таким образом, по результатам оценки уровня тревожности по методике Ч. Спилбергера по показателю уровень СТ, до начала тренировочного курса, участники экспериментальной группы распределились следующим образом:

- 4 добровольца с низким СТ;
- 8 добровольцев со средним СТ;

- 8 добровольцев с высоким СТ.

После проведенного тренировочного курса были зафиксированы следующие результаты:

- 4 добровольца с низким СТ;
- 11 добровольцев со средним СТ;
- 5 добровольцев с высоким СТ.

Результаты оценки уровня тревожности в КГ до и после тренировочного курса представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Оценка ситуативной тревожности по методике Ч. Спилбергера в контрольной группе до и после тренировочного курса

Пол участника (м/ж)	Тип ЦНС	Ситуативная тревожность (баллы, до)	Ситуативная тревожность (баллы, после)
Ж	ВП	30	29
Ж	ВИ	52	49
Ж	ВИ	44	45
Ж	ВИ	36	32
Ж	ВП	43	46
Ж	ВП	41	48
Ж	ВП	35	31
Ж	ВИ	46	46
Ж	ВИ	37	35
М	ВИ	51	57
М	ВИ	31	30
Ж	ВИ	45	44
Ж	ВП	55	50
Ж	ВП	50	46
Ж	ВП	38	30
М	ВИ	29	27
М	ВП	51	55

М	ВП	33	30
М	ВП	30	31
М	ВП	49	45

Из таблицы 8 можно видеть, что участники КГ по показателю СТ до тренировочного курса распределились следующим образом:

- 3 добровольца с низким СТ;
- 10 добровольцев со средним СТ;
- 7 добровольцев с высоким СТ.

Изменение показателя СТ после тренировочного курса в КГ представлено ниже:

- 5 добровольцев с низким СТ;
- 7 добровольцев со средним СТ;
- 8 добровольцев с высоким СТ.

Межгрупповой статистический анализ показателя СТ до начала тренировочного курса позволил установить, что группы исследования не имели статистически значимых различий ($p > 0,05$).

Внутригрупповой анализ показателя СТ до и после тренировочного курса также позволил выявить отсутствие статистически значимых изменений как в ЭГ, так и в КГ ($p > 0,05$).

По результатам межгруппового анализа показателя СТ после тренировочного курса статистически значимых различий между группами исследования также установлено не было ($p > 0,05$).

Результаты оценки психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения и комфортности по методике Курганского-Немчина представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Оценка психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения и комфортности в группах исследования до тренировочного курса

Пол исследуемого	Тип ЦНС	ПА	И	ЭТ	Н	К	Общее состояние
м	ВП	8	5	8	17	10	35
ж	ВИ	15	11	5	13	11	50
ж	ВИ	7	8	9	9	6	42
ж	ВИ	9	12	10	17	14	49
ж	ВП	10	12	10	18	16	55
ж	ВИ	15	11	14	12	4	43
м	ВИ	13	12	8	15	8	47
м	ВИ	15	10	8	8	6	52
ж	ВИ	13	13	14	8	11	65
ж	ВИ	8	15	5	14	6	41
ж	ВИ	14	12	11	8	15	66
ж	ВИ	4	8	4	17	11	31
ж	ВИ	10	11	6	8	9	49
ж	ВП	9	17	7	16	5	44
ж	ВП	7	10	9	17	12	52
м	ВП	11	13	9	6	4	52
ж	ВП	13	8	7	13	12	50
ж	ВИ	6	9	4	8	7	39
ж	ВИ	10	11	15	14	15	58
ж	ВИ	12	14	7	8	6	52
ж	ВП	12	10	11	12	13	55
ж	ВП	6	12	5	9	2	50
ж	ВП	11	8	6	9	11	48
м	ВИ	8	8	7	10	8	42
ж	ВИ	11	10	10	12	10	50
ж	ВИ	7	10	7	11	9	43
ж	ВП	13	14	11	10	12	57
ж	ВИ	9	9	8	11	8	44

ж	ВИ	11	13	10	9	13	59
ж	ВИ	16	9	9	11	11	55
м	ВП	10	13	9	10	8	48
м	ВП	9	13	7	11	6	45
м	ВП	13	9	10	11	6	48
м	ВП	11	9	7	13	9	44
м	ВИ	14	12	10	11	8	54
м	ВП	11	8	8	11	10	47
м	ВП	10	9	8	11	10	47
м	ВИ	8	7	17	10	14	58
м	ВП	13	13	10	12	7	52

Оценка по методике Курганского-Немчина проводилась с целью отбора участников с должным уровнем мотивации для дальнейшей экспериментальной деятельности. После серии проведенных опросов распределение участников исследования по показателю «общее состояние» средний уровень или выше среднего выглядело следующим образом:

- 13 добровольцев с показателем «выше среднего»;
- 27 добровольцев с показателем «средний».

Результаты случайного распределения студентов с различной функциональной подвижностью ЦНС по группам исследования в зависимости от пола представлено в таблице 20.

Таблица 20 – Соотношение студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы в группах исследования после случайного распределения

Группа	Количество добровольцев с выраженной подвижностью		Количество добровольцев с выраженной инертностью	
	М	Ж	М	Ж
ЭГ (n=20)	4	4	5	7
КГ (n=20)	3	7	2	8

3.3.2 Оценка функции пострурального баланса

Результаты стабилметрической оценки в группах исследования до и после тренировочного курса представлены в таблицах 21, 22, 23 и 24.

Таблица 21 – Динамика показателя «площадь статокинезиограммы» (глаза открыты/закрыты) до и после тренировочного курса

Группа	До/после	Показатели стабิโลграфии	
		Площадь СКГ (мм ² , глаза открыты)	Площадь СКГ (мм ² , глаза закрыты)
ЭГ	до	57,1±13,6	70,1±15,4
	после	30,1±11,8**	58,2±11,5**
КГ	до	58,6±11,5	70,8±10,9
	после	54,5±16,5	66,3±18,1

Примечание: **-p<0,01 (W-критерий Уилкоксона)

Таблица 22 – Динамика показателя «скорость общего центра давления» (глаза открыты/закрыты) до и после тренировочного курса

Группа	До/после	Показатели стабиллографии	
		Скорость ОЦД (мм ² , глаза открыты)	Скорость ОЦД (мм ² , глаза закрыты)
ЭГ	до	28,3±5,2	32,2±4,3
	после	23,3±5,6*	28,9±3,8*
КГ	до	30,2±6,8	30,6±4,4
	после	28,3±5,1	28,3±5,1

Примечание: *-p<0,05 (W-критерий Уилкоксона)

Таблица 23 – Динамика показателя затраченной работы (глаза открыты/закрыты) до и после тренировочного курса

Группа	До/после	Показатели стабиллографии	
		Показатель затраченной работы (Дж, глаза открыты)	Показатель затраченной работы (Дж, глаза закрыты)
ЭГ	до	28,3±5,2	32,2±4,3
	после	28,9±3,8	26,4±3,3*
КГ	до	29,2±6,8	30,6±4,4
	после	28,5±5,1	29,6±5,6

Примечание: *-p<0,05 (W-критерий Уилкоксона)

Таблица 24 – Динамика показателя стабильности % (глаза открыты/закрыты) до и после тренировочного курса

Группа	До/после	Показатели стабиллографии	
		Показатель стабильности % (глаза открыты)	Показатель стабильности % (глаза закрыты)
ЭГ	до	94,1±14,1	93,2±10,8
	после	96,1±11,1**	95,9±11,1*
КГ	до	94,8±12,6	93,7±11,5
	после	94,5±11,4	94,5±12,4

Примечание: *-p<0,05; **-p<0,01 (W-критерий Уилкоксона)

Таким образом, статистическая обработка результатов стабิโลграфического исследования показала, что статистически значимые изменения характеризовались снижением всех показателей исключительно в ЭГ, отражая положительную динамику в рамках эффективности поддержания постурального баланса.

Результаты внутригруппового анализа показателей пробы Бондаревского в группах исследования представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Динамика показателей устойчивости по пробе Бондаревского до и после тренировочного курса в группах исследования

Группа	До/после	Результаты пробы Бондаревского (с)
ЭГ	до	3,7±1,5
	после	6,9±2,2**
КГ	до	3,1±1,1
	после	4,2±1,2*

Примечание: *-p<0,05; **-p<0,01 (W-критерий Уилкоксона)

Из представленной таблицы можно видеть, что положительные статистически значимые изменения произошли в обеих группах исследования, однако наиболее выражены они были в группе ЭГ.

3.4 Оценка качества деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы

Результаты бальной оценки двигательной тренировки в ВР в группе ВП представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Бальная оценка двигательной тренировки в виртуальной среде в группе выраженная подвижность

Пол исследуемого	Баллы 1-я серия	Баллы 2-я серия
м	3	3
м	3	2
ж	3	3
ж	2	3
ж	1	2
ж	2	3
м	2	3
ж	1	2
м	3	3
ж	2	2
м	2	3
ж	2	2
ж	1	2
ж	2	3
м	3	3
м	3	3
ж	2	2
м	2	2
ж	2	2
ж	2	2
ж	2	2
ж	3	3
ж	2	2
м	3	3
ж	2	3
м	1	2
ж	1	2
м	1	2
ж	2	2
ж	2	2
м	1	2

Результаты бальной оценки двигательной тренировки в ВР в группе ВИ представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Бальная оценка двигательной тренировки в виртуальной среде в группе выраженная инертность

Пол исследуемого	Баллы 1-я серия	Баллы 2-я серия
м	2	3
ж	1	2
ж	3	3
м	2	2
м	3	3
м	2	3
м	2	3
ж	2	2
м	2	3
ж	2	3
ж	1	2
м	2	3
м	2	3
ж	1	1
м	1	2
ж	2	3
ж	3	3
м	2	2
м	3	3
м	3	3
ж	3	3
м	1	2
ж	2	3
м	2	2
ж	2	3
ж	3	3
ж	2	3
ж	2	3
ж	3	3
м	2	3
ж	3	3
м	2	2
ж	3	3
м	2	3
ж	3	3
м	2	3
м	2	3

По результатам внутригруппового анализа показателей эффективности двигательной тренировки в виртуальной среде было установлено, что

статистически значимое увеличение между 1 и 2 сериями произошло в обеих группах исследования, однако, более выраженный эффект наблюдался в группе ВИ (таблица 28).

Таблица 28 – Внутригрупповой анализ показателей эффективности двигательной тренировки в виртуальной среде у студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы

Группа	Серия двигательной тренировки в виртуальной среде	Оценка эффективности (в баллах)
Выраженная подвижность (n=31)	1	2,1±0,7
	2	2,4±0,5*
Выраженная инертность (n=37)	1	2,1±0,6
	2	2,7±0,5**

Примечание: -*p<0,05; **p<0,01 (W-критерий Уилкоксона)

По результатам межгруппового анализа показателей эффективности 1 серии двигательной тренировки в виртуальной среде у студентов с различной функциональной подвижностью ЦНС статистически значимой разницы не наблюдалось (p>0,05).

Результаты межгруппового анализа показателей эффективности 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде у студентов с различной функциональной подвижностью ЦНС представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Межгрупповой анализ 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде у студентов с различной функциональной подвижностью центральной нервной системы

Группа	Серия двигательной тренировки в виртуальной среде	Оценка эффективности (в баллах)
Выраженная подвижность (n=31)	2	2,4±0,5
Выраженная инертность (n=37)	2	2,7±0,5*

Примечание: *-p<0,05 (U-критерий Манна-Уитни)

Таким образом, после 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде наблюдалось статистически значимое различие по количеству набранных баллов в пользу добровольцев группы ВИ.

По результатам корреляционного анализа в группе ВП была обнаружена отрицательная корреляция ($r = -0,282$) между показателем СВР (после) и количеством баллов, набранных во 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде (рисунок 9), отражающая взаимосвязь между увеличением СВР у представителей подвижного типа ЦНС и снижением эффективности в рамках двигательной тренировки в виртуальной среде.

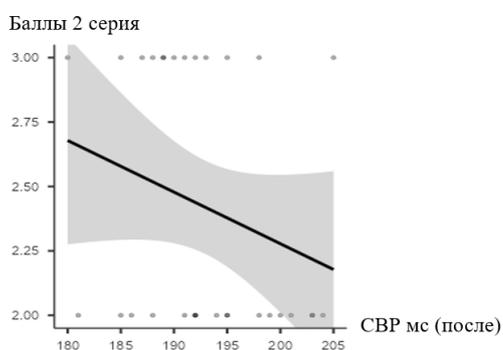


Рисунок 9 – Результаты корреляционного анализа между показателем эффективности двигательной тренировки в виртуальной среде (в баллах) и показателя среднего времени реакции в простой зрительно-моторной реакции (после).

Статистически значимые различия, полученные в рамках межгруппового анализа 2 серии двигательной тренировки в иммерсивной среде, показывают, что представители группы ВП хуже справились с двигательной задачей виртуального сценария, нежели представители группы ВИ. Снижение качества деятельности участников группы ВП также имеет статистически значимую взаимосвязь с ухудшением такого показателя как СВР при выполнении теста ПЗМР.

Результаты победных серий ЭГ и КГ в рамках тренировочного курса представлены в таблице 30 и 31 соответственно.

Таблица 30 – Победные серии в экспериментальной группе в рамках тренировочного курса в каждом из виртуальных сценариев

Пол исследуемых	Боулинг	Бокс	Настольный теннис	Пляжный волейбол
ж	23	39	15	27
ж	21	41	20	43
ж	19	37	23	35
ж	20	34	16	39
ж	25	47	19	32
м	24	38	22	29
ж	22	44	18	44
ж	23	40	20	41
ж	21	47	16	35
ж	19	36	21	21
м	20	51	18	27
ж	23	37	24	38
ж	24	43	21	49
ж	23	33	22	40
ж	21	42	17	34
м	24	38	19	29
м	26	46	21	28
м	20	48	18	37
м	23	41	21	43
м	22	36	23	47

Таблица 31 – Победные серии в контрольной группе в рамках тренировочного курса в каждом из виртуальных сценариев

Пол исследуемых	Боулинг	Бокс	Настольный теннис	Пляжный волейбол
ж	19	37	14	26
ж	21	39	19	31
ж	18	32	21	34
ж	17	34	17	37
ж	21	37	16	33
ж	19	40	19	38
ж	22	33	23	31
ж	19	41	16	28
ж	18	36	15	35
м	22	48	18	40
м	20	42	19	41
ж	21	33	17	32
ж	21	37	16	33
ж	20	44	18	38
ж	18	31	21	29
м	21	38	18	34
м	23	34	17	35
м	17	30	14	32
м	20	46	19	30
м	19	41	22	31

По результатам межгруппового статистического анализа показателей эффективности двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды, отраженного в количестве побед участников для каждого отдельно взятого сценария в рамках девятинедельного тренировочного курса было зафиксировано статистически значимое различие в пользу добровольцев ЭГ (таблица 32).

Таблица 32 – Межгрупповой анализ показателей эффективности двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды в рамках девятинедельного тренировочного курса

Сценарии Kinect Sports	Количество побед в виртуальном сценарии (ЭГ)	Количество побед в виртуальном сценарии (КГ)
Боулинг	22,1±1,9*	19,8±1,7
Бокс	40,9±5	37,6±5,1
Настольный теннис	19,7±2,5*	17,9±2,5
Пляжный волейбол	35,9±7,5	33,4±3,9

Примечание: *-p<0,05 (t-критерий Стьюдента)

4 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Воздействие двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на показатели функционального состояния центральной нервной системы занимающихся в зависимости от характера нейродинамических процессов

Динамика показателей простой зрительно-моторной реакции, полученная в рамках психофизиологической оценки, указывает на то, что воздействие двигательной тренировки в виртуальной среде на показатели функционального состояния ЦНС представителей группы «выраженная подвижность» характеризуется статистически значимым ухудшением таких показателей как: среднее время реакции, стандартное квадратичное отклонение и количество ошибок (таблица 8).

Как уже указывалось ранее, показатель среднее время реакции отражает скорость реагирования на зрительный стимул, показатель стандартное квадратичное отклонение отражает стабильность выполнения реакции (или степень уравновешенности нервной системы), показатель суммарного количества ошибок может свидетельствовать об уровне концентрации внимания тестируемого и в целом отражать качество текущего вида деятельности.

Статистически значимые изменения показателей реакция на движущийся объект, полученные только в группе «выраженная подвижность», также показывают, что представители данной группы замедлились в рамках осуществления пространственно-временного рефлекса, а также ухудшили свои результаты в таком показателе как число точных реакций.

Негативный характер динамики показателей простой зрительно-моторной реакции и реакции на движущийся объект, могут являться свидетельством развития первичных признаков утомления ЦНС. В свою очередь, наличие признаков утомления на центральном уровне может неблагоприятно сказаться на

ее работоспособности и в конечном итоге способствовать снижению качества формирования новых нервных связей и влиять на качество текущего вида деятельности [42].

Рассматривая феномен утомления на центральном уровне добровольцев группы «выраженная подвижность», можно предположить, что его наличие является следствием увеличения активности симпатического отдела ВНС в ответ на сенсорную стимуляцию виртуальной среды совместно с двигательной активностью, что может явиться причиной более напряженной адаптации представителей подвижного типа ЦНС к условиям виртуальной среды.

С целью изучения вклада выраженной активации симпатического отдела ВНС в снижение работоспособности ЦНС проводилась оценка показателей спектрального анализа variability сердечного ритма.

Согласно литературным данным, спектральный анализ variability сердечного ритма позволяет оценить абсолютную и относительную активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, а также регулятивное воздействие гуморальных факторов [56]. Спектральный анализ variability сердечного ритма позволяет обнаружить периодические составляющие variability сердечного ритма [56]. В графическом виде частотный спектр периодических колебаний представляется в виде спектрограммы. Спектрограмму принято делить на 3 диапазона: высокочастотные колебания (HF), низкочастотные колебания (LF), очень низкочастотные колебания (VLF).

В результате оценки фоновых значений до двигательной тренировки в виртуальной среде и данных variability сердечного ритма сразу же после нее в группе «выраженная подвижность» было зафиксировано статистически значимое увеличение показателя относительной мощности LF% (таблица 13). Этот показатель отражает влияние активности симпатического отдела ВНС на сердечный ритм [56]. Его значения могут возрастать при различных стрессовых воздействиях на организм, например, при умеренной физической или ментальной

нагрузке. В группе «выраженная инертность», напротив, зафиксирован статистически значимый рост показателя HF%, который отражает повышение активности парасимпатической нервной системы. Увеличение этого показателя могло быть вызвано увеличением частоты и глубины дыхательных движений [11].

Данные повышенной активности симпатического отдела ВНС также подкрепляются результатами межгруппового статистического анализа показателей субъективных ощущений студентов по simulator sickness questionnaire после двигательной тренировки в виртуальной среде.

Так, между группами «выраженная подвижность» и «выраженная инертность» после двигательной тренировки в виртуальной среде наблюдалась значимость различий по таким субъективным ощущениям как: напряжение глаз, сухость во рту, а также потливость (таблица 16). Все вышеперечисленные субъективные ощущения были более выражены у представителей подвижного типа ЦНС и, согласно классической литературе, соответствуют повышенной активности симпатического отдела ВНС.

Также существует гипотеза, что генерализованная симпатическая активность задается осциляторной системой, располагающейся в нейрональных структурах мозгового ствола [56], поэтому значимое увеличение относительной мощности LF диапазона (LF%) может представляться как более выраженная активность центральных механизмов регуляции сердечного ритма в ответ на стрессовые воздействия внешней среды. Поэтому можно также предположить, что повышенная активность центральных механизмов регуляции сердечного ритма могла стать одним из факторов, оказавших влияние на снижение функционального состояния ЦНС испытуемых с выраженной функциональной подвижностью ЦНС.

Отсутствие статистически значимых изменений показателей функционального состояния ЦНС представителей инертного типа ЦНС в рамках психофизиологической оценки может свидетельствовать о том, что воздействие двигательной тренировки в виртуальной среде не повлекло за собой напряженной работы физиологических систем при адаптации к ее условиям (таблица 4). Данное

обстоятельство также подкрепляется результатами спектрального анализа variability сердечного ритма и показателями субъективных ощущений студентов после сенсорных воздействий условий виртуальной среды по шкале simulator sickness questionnaire (таблица 13 и 16).

Таким образом, можно сделать заключение о том, что воздействие двигательной тренировки в виртуальной среде у представителей подвижного типа ЦНС сопровождалось более напряженной адаптацией к двигательной тренировке в виртуальной среде, что и повлекло дальнейшее ухудшение показателей функционального состояния их ЦНС.

Рассматривая особенности виртуальной среды, стоит отметить, что они представляют собой полимодальный сенсорный поток, который предъявляется пользователю по различным каналам обратной связи. С этими процессами параллельно выполнялась и умеренная физическая нагрузка. Не вызывает сомнений, что основной афферентной связью при взаимодействии с внешней средой является зрение и именно зрительные стимулы, наряду с высокой моторной плотностью тренировки, могли оказать значительное воздействие на рост активности симпатического отдела ВНС и последующее ухудшение параметров функционального состояния ЦНС участников группы «выраженная подвижность», однако также не стоит недооценивать и вклад аудиальной стимуляции. Поскольку выбранный сценарий двигательной тренировки в VR включал в себя достаточно интенсивное музыкальное сопровождение, то вклад аудиального сенсорного потока мог оказать значимое воздействие на работоспособность добровольцев с подвижным типом ЦНС. В литературе представлены работы, посвященные изучению воздействия различных стилей музыки и ее ритмических рисунков на функциональные состояния ЦНС [61]. Так, например, в тематических работах указывалось, что рефлекторная активность ЦНС в ответ на различные музыкальные стили и ритмы неодинакова [32; 33], а стили, которые характеризуются тяжестью и перегруженностью инструментов могут вызывать выраженное напряжение регуляторных систем [5].

С учетом того, что композиция в рамках музыкального сопровождения двигательной тренировки в ВР относилась к высоко ритмичному стилю «Drum'n'Bass» (с темпом 175 ударов в минуту), сочеталась с высокой моторной плотностью, а также сопрягалась с необходимостью задействовать такие высшие психические функции как внимание, память и планирование, то можно предположить, что комбинация вышеперечисленных факторов могла стать причиной повышенной активности симпатического отдела ВНС, с последующим ухудшением параметров функционального состояния ЦНС добровольцев в группе «выраженная подвижность».

Другой причиной снижения функциональных состояний ЦНС в группе ВП мог стать высокий уровень тревожности у испытуемых. С точки зрения физиологии такая типологическая особенность ЦНС как тревожность рассматривается с позиции наличия устойчивого очага возбуждения в коре больших полушарий и подкорковых представительствах головного мозга, что может лежать в основе развития неэкономного расходования энергетических ресурсов, приводящего к более ранним процессам, связанных с утомлением на центральном уровне [28; 40]. Также повышенный уровень тревожности может являться фактором, влияющим на скорость функциональных перестроек в ЦНС и влиять на снижение когнитивных функций, что оказывает особое воздействие на показатели работоспособности ЦНС [41].

Результаты оценки воздействия двигательной тренировки в виртуальной среде на показатели функционального состояния ЦНС показали, что для эффективного погружения в виртуальную реальность требуется дифференцировка условий ее среды в зависимости от подвижности нервных процессов.

4.2 Эффективность совершенствования функции постурального баланса студентов при двигательной тренировке с различными условиями виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы

Выявление психоэмоционального состояния студентов перед началом оценки эффективности двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды позволило установить ряд добровольцев с низким уровнем мотивации. Известно, что низкий уровень мотивации участников исследования способен оказать значительное воздействие на конечный результат их деятельности [35]. В связи с чем, респонденты, продемонстрировавшие низкий уровень мотивации, были исключены из дальнейшего исследования.

Учитывая особенности такой типологической характеристики ЦНС как тревожность, наряду с оценкой уровня мотивации, также была проведена оценка показателя «ситуативная тревожность».

Распределение добровольцев в зависимости от уровня «ситуативной тревожности» в группах исследования было однородным, поскольку проведенный статистический анализ показал отсутствие статистически значимых различий между группами и внутри групп исследования до и после тренировочного курса. Опираясь на данный факт, можно заключить, что полученные статистически значимые различия при оценке воздействия двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды в долгосрочной перспективе не зависели от уровня тревожности участников ЭГ и КГ.

Оценка эффективности совершенствования функции постурального баланса при двигательной тренировке с различными условиями виртуальной среды осуществлялась с помощью стабилметрического исследования и пробы Бондаревского.

По результатам внутригруппового анализа показателей стабилметрического исследования, были получены статистически значимые изменения только в ЭГ.

Так, было зафиксировано значимое снижение следующих показателей: площадь статокинезиограммы (мм^2), глаза открыты\закрыты (таблица 21); скорость общего центра давления (мм^2), глаза открыты\закрыты (таблица 22); показателя затраченной работы (Дж), глаза закрыты (таблица 23), а также статистически значимое увеличение показателя стабильности (%), глаза открыты\закрыты (таблица 24).

Вышеуказанные параметры согласно литературе, посвященной методу стабиметрического исследования, указывают на компоненты стабิโลграфии, изменения которых могут свидетельствовать об улучшении или ухудшении координационных способностей обследуемого в рамках функции поддержания равновесия [15; 25; 26; 88].

Показатель «площадь статокинезиограммы» является, своего рода, показателем амплитуды раскачивания обследуемого, располагающегося на силовой платформе [27].

Показатель «скорость общего центра давления» учитывает среднюю скорость колебательных движений испытуемого на тензоплатформе в течение всего периода [27].

Показатель затраченной работы (Дж) не является прямым показателем оценки энергетического ресурса, затрачиваемого в ходе проявления физических кондиций, а скорее рассматривается как интегральный показатель и (в отличие от двух предыдущих) его ценность заключается в том, что он учитывает не только длину и средние величины скорости статокинезиограммы, но и ее сложную форму, отражая тем самым, насколько легко или сложно испытуемому было поддерживать вертикальную позу [9].

Показатель стабильности (%) может быть использован как эффективный критерий оценивания постурального баланса в рамках костно-мышечной патологии при проведении функциональных проб на силовой платформе и указывать на значимость взаиморасположения отдельных суставных звеньев

(например, в области челюстно-лицевых суставов) на перестроение стратегии поддержания постурального баланса в целом [47].

В тематической литературе также указано, что уменьшение показателей «площадь статокинезиограммы», «скорость общего центра давления», «затраченной работы» и напротив увеличение «показателя стабильности» свидетельствуют об улучшении функции поддержания вертикального положения [43].

Результаты статистической обработки внутри групп исследования до и после тренировочного курса показывают, что значимые изменения, которые произошли в ЭГ носят положительный характер и свидетельствуют, об улучшении функции постурального баланса посредством двигательных тренировок с различными условиями виртуальной среды, учитывающими функциональную подвижность ЦНС студентов.

Отсутствие каких-либо изменений в контрольной группе (КГ), подтверждают гипотезу о необходимости дифференцировки условий в виртуальной среде при полимодальном воздействии ВР на функцию постурального баланса.

Внутригрупповой анализ результатов пробы Бондаревского до и после тренировочного курса показал, что статистически значимые изменения, указывающие на улучшение поддержания равновесия в одноопорном положении, произошли как в группе ЭГ, так и в группе КГ (таблица 25), однако более выраженный результат наблюдался у добровольцев группы ЭГ.

Данный факт может объясняться с позиции особенностей виртуальных сценариев, в ходе которых поддержание одноопорного положения было одной из наиболее часто используемых стратегий, погруженного в виртуальную среду.

Так, виртуальные сценарии боулинг, бокс, пляжный волейбол, предусматривали частое смещение ОЦМ в сторону опорной ноги для эффективного решения задачи виртуального сценария.

Наличие более выраженных значений результатов пробы Бондаревского в группе ЭГ и отсутствие значимых изменений по стабิโลграмме в группе КГ могут

быть проявлением более фундаментальных процессов, регистрация которых возможна лишь на инструментальном уровне с возможностью фиксации большого количества различных показателей эффективности поддержания постурального баланса в единицу времени.

4.3 Качество деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальной среде в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы

Одним из критериев оценивания качества деятельности студентов при двигательной тренировке в виртуальном сценарии «Beat Saber» можно считать количество набранных очков за одну сессию.

Количество набранных очков напрямую зависит, насколько эффективно пользователь осуществляет двигательную задачу, в которую входит:

- Рассечение куба как можно ближе к его центру по направлению удара;
- Интенсивность рассечения (датчики контролера отслеживают пространственно-временные характеристики);
- Количество разбитых виртуальных кубов (чем больше их разбито, тем больше очков);
- Избегание виртуальных предметов, мешающих эффективному выполнению двигательной задачи сценария.

Таким образом, количество набранных очков является, своего рода, внутренним интегральным показателем, отражающим насколько эффективно действовал тот или иной пользователь в виртуальной среде.

Ввиду высокой вариабельности и для упрощения статистической обработки, количество очков, набранных в определенных диапазонах, были переведены в бальную оценку:

- От 0 до 50 000 – 1 балл;
- От 50 000 до 100 000 – 2 балла;

- От 100 000 до 150 000 – 3 балла.

По результатам внутригруппового анализа между 1 и 2 сериями погружений статистически значимые различия наблюдались в обеих группах исследования, однако более выражены они были в группе «выраженная инертность».

Дальнейший межгрупповой анализ результатов 2 серии позволил установить, что добровольцы группы «выраженная инертность» статистически значимо увеличили свои показатели в сравнении с добровольцами группы «выраженная подвижность».

Полученные данные свидетельствуют о более эффективной двигательной тренировке в виртуальной среде для представителей инертного типа ЦНС.

Что касается добровольцев с выраженной функциональной подвижностью, то сниженный конечный результат двигательной тренировки в виртуальной среде согласуется с данными психофизиологического исследования, оценки вариабельности сердечного ритма, а также данных шкалы simulator sickness questionnaire. Методы оценки, использованные в настоящем исследовании, позволили установить, что воздействие неадекватно подобранных условий виртуальной среды, в которой реализуется двигательная тренировка, способно приводить к напряженной адаптации и, в конечном итоге, снижать эффективность работы представителей подвижного типа ЦНС, а, следовательно, и качества текущего вида деятельности.

К тому же, при статистической обработке, была выявлена взаимосвязь между увеличением показателя СВР после 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде и снижением показателя качества деятельности в виртуальной среде.

Опираясь на все вышесказанное, можно заключить, что количество набранных очков, переведенных в бальную оценку, может являться чувствительным критерием оценивания качества деятельности при двигательной тренировке в однородных условиях виртуальной среды в зависимости от подвижности нервных процессов.

Согласно результатам, полученным при решении первой задачи настоящего исследования, двигательные тренировки с различными условиями виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности ЦНС студентов предоставлялись участникам ЭГ. Так, для добровольцев с выраженной функциональной подвижностью ЦНС (для более эффективной адаптации) условия виртуальной среды были упрощены, тогда как в контрольной группе они были одинаковы для всех.

Двигательная тренировка с различными условиями виртуальной среды была реализована в виртуальном сценарии Kinect Sports, представляющим собой имитацию различных видов спорта, в которой подразумевается соревновательная деятельность. Учитывая данный факт, одним из критериев оценивания качества деятельности при двигательной тренировке студентов в сценарии «Kinect Sports» выступало количество побед в рамках соревновательной деятельности.

Поскольку воздействие тренировок в «Kinect Sports», в основном, велось на функцию постурального баланса, отбор сценариев также подразумевал преимущественно статодинамический характер двигательной деятельности. Ввиду этих особенностей из представленных в сценарии активностей были отобраны такие как боулинг, бокс, настольный теннис и пляжный волейбол.

Продолжительность двигательных тренировок подразумевало девятинедельный курс (3 раза в неделю), что суммарно соответствовало 27 визитам. В каждый визит ввиду продолжительности сценария каждый пользователь успевал провести:

- Одну партию в боулинг;
- Две партии в бокс;
- Одну партию в настольный теннис;
- Две партии в пляжный волейбол.

Таким образом, получалось, что суммарно за боулинг пользователь мог максимально получить 27 побед, за бокс 54, за настольный теннис 27 и за пляжный волейбол также 54 победы. Количество побед в каждом отдельно взятом

виртуальном сценарии, отражающее качество текущего вида деятельности, легло в основу критериев оценивания эффективности двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды.

Межгрупповой статистический анализ после тренировочного курса показал, что ЭГ и КГ статистически значимо различаются по суммам побед в таких сценариях как боулинг и настольный теннис (таблица 32). Данный факт подтверждает, что двигательная тренировка с различными условиями виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности ЦНС более эффективна, нежели однородные условия для представителей инертного и подвижного типов ЦНС, где никаких значимых изменений зафиксировано не было. Эффективность таких тренировок также подтверждается результатами стабилметрического исследования, в котором положительная значимость различий была получена исключительно в ЭГ, что указывает на более выражено положительное воздействие двигательной тренировки на функцию пострурального баланса, более оптимальный процесс адаптации, а следовательно, и более эффективное становление новых нейронных связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящем исследовании путем инструментальной оценки показано, что эффективность иммерсивной двигательной тренировки зависит от функциональной подвижности ЦНС студентов, актуализируя дифференцировку условий виртуальной среды согласно характеру нейродинамических процессов.

Результаты, полученные в ходе оценки воздействия двигательной тренировки, реализованной в виртуальной среде, на динамику показателей функционального состояния ЦНС занимающихся в зависимости от характера нейродинамических процессов отражали наличие различных физиологических эффектов в группах исследования.

В данной работе оценка динамики показателей функционального состояния ЦНС в ответ на двигательную тренировку в ВР проводилась посредством теста ПЗМР и РДО в рамках инструментальной психофизиологической оценки. Так, было показано, что представители подвижного типа ЦНС в сравнении представителями инертного типа демонстрируют статистически значимое ухудшение показателей функционального состояния ЦНС в ответ на двигательную тренировку в иммерсивной среде.

В качестве дополнительных методов оценки также использовалась инструментальная методика оценки ВСР и шкала SSQ. По результатам статистической обработки показателей ВСР было выявлено, что у представителей подвижного типа ЦНС статистически значимо увеличился показатель, характерный для преобладания центральных механизмов регуляции сердечного ритма, отражающий повышенную активность симпатической нервной системы и указывающий на истощение функциональных резервов организма, что, в свою очередь, могло лечь в основу развития первичных признаков утомления на центральном уровне. Значимое повышение активности симптоадреналовой системы в группе «выраженная подвижность» также наблюдалось и по результатам

шкалы «simulator sickness questionnaire», подтверждая результаты оценивания регуляции сердечного ритма.

Таким образом, было показано, что для более эффективной иммерсивной двигательной тренировки у представителей подвижного типа ЦНС требуется дифференцировка условий виртуальной среды, учитывающая менее выраженный сенсорный стимул, более легкое аудиальное сопровождение, более легкого виртуального оппонента.

Результаты настоящей работы также показывают, что эффективность совершенствования функции постурального баланса у студентов, занимающихся двигательной тренировкой в различных условиях виртуальной среды, зависит от функциональной подвижности ЦНС.

С этой целью использовалось стабилметрическое исследование, с помощью которого была получена положительная статистически значимая динамика показателей устойчивости только в группе, где была предусмотрена дифференцировка условий виртуальной среды для занимающихся согласно их функциональной подвижности ЦНС. Данные стабิโลграммы также подкреплены статистически значимым улучшением показателей пробы Бондаревского.

Критериями качества деятельности студентов при двигательных тренировках в ВР может выступать как количественная оценка внутри самих игровых сценариев, так и подсчет победных серий в рамках соревновательной деятельности, что проявляется в качественном сопоставлении пространственно-временных характеристик в рамках решения двигательных задач в условиях полной иммерсии и управлении 3D аватаром в дополненной реальности. Подтверждением вышесказанному можно считать статистически значимые различия результатов двигательных тренировок в ВР между группами исследования, полученные в ходе выполнения настоящей работы. Найденная отрицательная взаимосвязь между увеличением СВР индивидуума и снижением качества его деятельности в условиях ВР, также может отражать зависимость эффективности двигательной тренировки от подвижности нервных процессов.

Ценность настоящей работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для эффективного использования технологий виртуальной реальности в иммерсивном обучении различной направленности.

Как показывает современная практика, такое обучение может быть высоко востребованным в таких сферах человеческой деятельности как медицина, строительство, гражданская и военная авиация, различные виды экстремальной деятельности.

Особое внимание также стоит уделить сфере физического воспитания, оздоровительной физической культуре и спорту, где высокую популярность сегодня набирает такое направление как фиджитал-спорт.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Двигательная тренировка, реализованная в виртуальной среде, оказывает различное воздействие на показатели функционального состояния ЦНС студентов в зависимости от ее функциональной подвижности. Представители подвижного типа ЦНС демонстрируют статистически значимое снижение показателей в простой зрительно-моторной реакции и в реакции на движущийся объект ($p < 0,05$), что также сопровождается увеличением активности симпатической нервной системы по результатам оценки вариабельности сердечного ритма и опросника SSQ ($p < 0,05$). Представители инертного типа ЦНС, напротив, демонстрируют отсутствие какой-либо динамики исследуемых показателей.
2. Особенности функции постурального баланса у студентов при двигательной тренировке в различных условиях виртуальной среды зависят от функциональной подвижности их ЦНС. Двигательная тренировка постурального баланса с дифференцировкой условий виртуальной среды в зависимости от подвижности нервных процессов способствовала статистически значимой положительной динамике показателей устойчивости по стабилметрической оценке, а также пробе Бондаревского

($p < 0,05$), тогда как виртуальная тренировка в однородных условиях своей эффективностью не показала.

3. Качество деятельности студентов при двигательной тренировке в условиях виртуальной среды определяется способностью эффективно сопоставлять пространственно-временные характеристики виртуальных событий, что значимо влияет на точность и скорость решения двигательных задач, а также способностью эффективно выполнять двигательные действия в пространстве в рамках нейромышечной координации. У студентов с подвижным типом ЦНС установлена тенденция отрицательной корреляции ($r = -0,282$) между качеством деятельности при двигательной тренировке в виртуальной среде и временем быстроты реакции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для планирования условий иммерсивного обучения рекомендуется проведение психофизиологического скрининга, направленного на оценку функциональной подвижности ЦНС. Чувствительным показателем такой оценки является среднее время реакции (СВР). Для определения выраженной подвижности или выраженной инертности необходимо руководствоваться методическим пособием конкретного аппарата психофизиологической оценки.
2. При планировании двигательных тренировок в виртуальной среде для представителей подвижного типа ЦНС рекомендованы:
 - менее выраженная сенсорная стимуляция (если это коммерческие сценарии, то более легкий уровень виртуального сценария);
 - менее ритмичное музыкальное сопровождение, которое не содержит компьютерной обработки, связанной с перегрузом музыкального инструмента;
 - более слабый VR оппонент (если используется коммерческий виртуальный сценарий, то выбирается более легкий игровой уровень).
3. При планировании двигательных тренировок в виртуальной среде для представителей инертного типа ЦНС допустимы:
 - более выраженная сенсорная стимуляция (если это коммерческие сценарии, то более сложный уровень виртуального сценария);
 - более ритмичная музыка, допустимы более тяжелые композиции;
 - более сильный VR оппонент (если используется коммерческий виртуальный сценарий, то выбирается более сложный игровой уровень).
4. Для более выраженного эффекта двигательных тренировок, при использовании систем дополненной реальности с 3D аватаром, условия реальной среды можно обогащать различным спортивным инвентарем

(например, платформами из вспененного материала для создания условий большей неустойчивости).

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. ВР – виртуальная реальность
2. ВИ – выраженная инертность нервных процессов
3. ВП – выраженная подвижность нервных процессов
4. ГМ – головной мозг
5. И – интерес
6. К – комфортность
7. Н – напряженность
8. ОЦМ – общий центр масс
9. ОМЦ – оварияльно-менструальный цикл
10. ПА – психическая активация
11. ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция
12. Площадь СКГ – площадь статокинезиограммы
13. РДО – реакция на движущийся объект
14. СВР – среднее время реакции
15. СМР – сенсомоторная реакция
16. Скорость ОЦД – скорость общего центра давления
17. СТ – ситуативная тревожность
18. ЦНС – центральная нервная система
19. ЭТ – эмоциональный тонус

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базанова, О. М. Исследования психофизиологических показателей постурального контроля. Вклад российской научной школы. Часть I / О. М. Базанова, А. В. Ковалева // Физиология человека, 2022. – Т. 48, № 2. – С. 113–136.
2. Байгужин, П.А. Функциональное состояние центральной нервной системы при воздействии слабоструктурированной информации / П.А. Байгужин, Д.З. Шибкова // Человек. Спорт. Медицина, 2017. – №4. – С. 32–42.
3. Барабанщиков, В.А. Психические состояния и креативность субъекта в дидактической VR-среде различной иммерсивности / В.А. Барабанщиков, В.В. Селиванов // Экспериментальная психология, 2022. –Т. 15. – № 2. С. 4–19
4. Бахчина, А.В. Динамика вариабельности сердечного ритма у учащихся во время занятия в виртуальной реальности / А.В. Бахчина, И.В. Стрижова // Экспериментальная психология, 2022. – Т. 15. – № 2. – С. 59–69.
5. Гавриленко, Т.Ю. Влияние раздражения слухового анализатора на параметры сердечно-сосудистой системы с позиций теории хаоса-самоорганизации / Т.Ю. Гавриленко, Т.В. Поскина, Д.А. Сидоренко, А.Ю. Васильева, Ярмухаметова В.Н. // Вестник новых медицинских технологий: электронный журнал, 2013. – №1. – С.3.
6. Гордеева, Е.В. Цифровизация в образовании / Е.В. Гордеева, Ш.Г. Мурадян, А.С. Жажоян // Экономика и бизнес: теория и практика, 2021. – №4 – 1. – С.112–115.
7. Грибанов, А.В. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А.В. Грибанов, А.К. Шерстенникова // Журнал медико-биологических исследований, 2013. – №4 – С. 20–29.

8. Григорьев, А.И. Скелетная мышца в безопорном мире / А.И. Григорьев, Б.С. Шенкман // Вестн. рос. Академии наук, 2008. – № 4. – Т. 78. – С. 337–345.
9. Гроховский, С.С. Метод интегральной оценки эффективности регуляции позы человека / С.С. Гроховский, О.В. Кубряк // Медицинская техника, 2018. – №2. – С. 49–52
10. Дамулин, И.В. Сенсомоторная интеграция в норме и после перенесенного инсульта / И.В. Дамулин // Consilium Medicum, 2018. – № 20 – Т.2. – С. 63–68.
11. Дони́на, Ж.А. Реакция дыхания на гиперкапнический стимул в антиортостатическом положении / Ж.А. Дони́на, Н.П. Александрова // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова, 2010. – Т. 96. – № 11. – С. 87–94.
12. Жаворонкова, Л.А. Интегрирующая роль произвольного позного контроля при реабилитации больных с черепно-мозговой травмой / Л.А. Жаворонкова, А.В. Жарикова, О.А. Максакова // Журнал Высшей нервной деятельности, 2011. – Т. 61. – № 1. – С. 24–33.
13. Зайцев, А.В. Возрастная динамика времени реакции на зрительные стимулы / А.В. Зайцев, В.И. Лупандин, О.Е. Сурнина // Физиология человека, 1999. – Т. 25. – №6. – С. 34–37.
14. Залата, О.А., Оценка восприятия образовательного контента на различных уровнях мультимедиа / О.А. Залата, Ю.А. Еременко // Интеграция образования, 2020. – Т.101. – №4. – С. 678–689.
15. Иванова, Г.Е. Формирование консенсуса специалистов в применении стабилотрии и биоуправления по опорной реакции / Г.Е. Иванова, Е.В. Исакова, И.В. Кривошей, С.В. Котов, О.В. Кубряк // Вестник восстановительной медицины, 2019. – №1.– С. 16–21.
16. Игнатов, Ю. П. Зрительно-моторные реакции как индикатор функционального состояния центральной нервной системы / Ю.П.

- Игнатова, И.И. Макарова, К.Н. Яковлева, А.В. Аксенова // Ульяновский медико-биологический журнал, 2019. – №3. – С. 38–52.
17. Ильин, Е.П. Дифференциальная психофизиология / И.П. Ильин // – СПб.: Питер, 2001. – С.454.
18. Кожина, Г.В. Влияние пассивного тактильного контакта руки на поддержание вертикальной позы человека / Г.В. Кожина, Ю.С. Левик, А.К. Попов, Б.Н. Сметанин // Физиология человека, 2017. – Т. 43. – № 4. – С. 70–77.
19. Кожина, Г.В. Зрительно-моторная адаптация у здоровых людей при стоянии в условиях дестабилизации виртуального зрительного окружения / Г.В. Кожина, Ю.С. Левик, А.К. Попов, Б.Н. Сметанин // Физиология человека, 2018. – Т. 44. – № 5. – С. 30.
20. Кожина, Г.В. Поддержание вертикальной позы при многократном повторении проб в условиях дестабилизации виртуального зрительного окружения / Г.В. Кожина, Ю.С. Левик, А.К. Попов, Б.Н. Сметанин // Физиология человека, 2019. – Т. 45. – № 5. – С. 66–74.
21. Котов, Г.С. Иммерсивный подход в образовании: возможности и проблемы реализации / Г.С. Котов // Проблемы современного педагогического образования, 2021. – №73-1. – С. 179–181.
22. Корельская, И.Е. Экспресс оценка состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой зрительно-моторной реакции / И.Е. Корельская, А.А. Кузнецов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. – №8-2. – С. 194–197.
23. Корнилов, Ю.В. Иммерсивный подход в образовании / Ю.В. Корнилов // АНИ: педагогика и психология, 2019. – Т.26. –№1. – С.174–178
24. Косоногов, В.В. Обзор психофизиологических и психотерапевтических исследований стресса с помощью технологий виртуальной реальности / В.В. Косоногов, К.В. Ефимов, З.К. Рахманкулова, И.А. Зябрева // Журнал высшей нервной деятельности, 2022. –Т.72. – №4. – С. 487–503.

25. Кубряк, О.В. Как техника предшествует науке (на примере силовых платформ) / О.В. Кубряк // Гуманитарный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – № 2. – С. 1–13.
26. Кубряк, О.В. О критичности врача: междисциплинарный подход / О.В. Кубряк, Н.Г. Багдасарьян, М.Ю. Герасименко, В.Н. Краснов, Е.В. Кулябина, Д.Г. Подвойский, С.А. Трущелёв // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены, 2019. – № 6. – С. 295–313.
27. Кубряк, О.В. Практическая стабилметрия. Статические двигательнo-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции. Учебно-методическое пособие / О.В. Кубряк, С.С. Гроховский // Москва, Маска, 2012. – 88 С.
28. Куимова, Н.Н. Взаимосвязь тревожности и стиля поведения подростков в конфликтной ситуации / Н.Н. Куимова, Ю.А. Григошина // Современное образование, 2018. – № 2. – С. 40–50.
29. Лисова, Н.А. Особенности сенсомоторного реагирования студентов с различными темпераментальными характеристиками / Н.А. Лисова, Н.Д. Наливайко // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. – Т.44. – №2-3. – С. 19–21.
30. Мантрова, И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике / И.Н. Мантрова // ООО «Нейрософт», Иваново), 2008. – С. 216.
31. Маринова, М.М. Влияние VR-среды на уровень тревожности / М.М. Маринова // Экспериментальная психология, 2022. – Т.15. – № 2. – С. 49–58.
32. Матохина, А.А. Исследование влияния классической музыки на функциональное состояние людей различных профессий / А.А. Матохина // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ «Грани познания», 2013. – №2 (22). – С. 69–72.

33. Матохина, А.А. Оценка изменения функционального состояния подростков под воздействием музыки различных стилей в условиях профильного летнего лагеря / А.А. Матохина // Научное обозрение. Биологические науки, 2015. – № 1. – С. 109–109.
34. Меньшикова, Г.Я. Векция в виртуальных средах: психологические и психофизиологические механизмы формирования / Г.Я. Меньшикова, А.И. Ковалев // Национальный психологический журнал, 2015. – Т.20. – № 4. – С. 91–104.
35. Мещеряков, С.П. Влияние мотивации на результаты студентов при оценке их физической подготовленности / С.П. Мещеряков, Н.В. Зырянова, Н.В. Титушина, Л.Д. Мещерякова // Ученые записки университета Лесгафта, 2021. – Т.192. – №2. – С. 195–202.
36. Небылицын, В.Д. Основные свойства нервной системы человека / В.Д. Небылицын // М.: Просвещение, 1976. – С.382.
37. Небылицын, В.Д. / В.Д. Небылицын // Психофизиологические исследования индивидуальных различий, М.: Наука, 1986. – С.358.
38. Нехорошкова, А. Н. Особенности зрительно-моторных реакций детей 8-11 лет с высоким уровнем тревожности / А.Н. Нехорошкова, А.В. Грибанов // Экология человека, 2011. – №5. – С.43-48.
39. Нехорошкова, А. Н. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (обзор) / А.Н. Нехорошкова, А.В. Грибанов, И.С. Депутат // Журнал медико-биологических исследований, 2015. – №1. – С. 38–48.
40. Николаева, Е.Н. Физиологическая оценка состояния центральной нервной системы студентов в период учебной деятельности / Е.Н. Николаева, О.Н. Колосова // Наука и образование, 2017. – №3. – С. 96-100.
41. Николаева, Е.И. Специфика сенсомоторной интеграции у дошкольников, посещающих и не посещающих дополнительные занятия / Е.И. Николаева, И.А. Фомина // Российский гуманитарный журнал, 2017. – №3. – С. – 223–229.

42. Павлов, И.П. Избранные сочинения / И.П. Павлов //акад. Павлов; [отв. ред.: О. Шестова; вступ. ст. А.Л. Мясникова], Москва: Эксмо, 2015. – С.733.
43. Путенкова, Л.Ю. Компьютерная стабилметрия - объективный метод оценки активности функциональной системы поддержания равновесия у человека / Л.Ю. Путенкова, Ю.В. Миронов, В.М. Остапенко, Л.П. Нарезкина // Вестник Смоленской государственной медицинской академии, 2002. – №3. – С.30–32.
44. Розанов, И.А. Проблемы и решения в методологии изучения психофизиологических эффектов виртуальной реальности / И.А. Розанов, А.В. Иванов, Р.Х. Абдюханов, К.С. Шишенина // Экспериментальная психология, 2024. – Т.17. – № 1. – С. 76–85.
45. Розанов, И.А. Опыт применения виртуальной реальности для психологической коррекции в экспериментах с моделированием стрессоров космического полета / И.А. Розанов, А.В. Иванов, О.О. Рюмин, Ю.А. Бубеев // Методология современной психологии. Вып. 16 / Под ред. В.В. Козлова, А.В. Карпова, В.А. Мазилова, В.Ф. Петренко. М.; Ярославль: ЯрГУ, ЛКИИСИ РАН, МАПН, 2022. – С. 333–344.
46. Розанов, И.А. Психологическая поддержка на основе виртуальной реальности в эксперименте с трехсуточной «сухой» иммерсией / И.А. Розанов, П.Г. Кузнецова, А.О. Савинкина, Д.М. Швед, О.О. Рюмин О.О, Е.С. Томиловская, В.И. Гущин // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2022. – Т.56. – № 1. – С. 55–61.
47. Романов, А.С. Оценка стабилметрических параметров у пациентов с повышенным стиранием зубов. / А.С. Романов, В.Г. Морозов, П.Н. Гелетин, М.Д. Чернышева Российский стоматологический журнал, 2018. – Т.5. – № 22. – С. 242-244.
48. Русалов, В.М. Психология и психофизиология индивидуальных различий: некоторые итоги и ближайшие задачи системных исследований / В.М. Русалов // Психологический журнал, 1994. – №5. – С.37–44.

49. Русалов, В. М. Темперамент в структуре индивидуальности человека. Дифференциально-психофизиологические и психологические исследования / В. М. Русалов // «Когито-Центр», 2012. – С. 528
50. Теплов, Б.М. Экспериментальное изучение свойств нервной системы у человека / Б.М. Теплов, В.Д. Небылицын // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 1963. – Т. 13, – №5. – С. 3–46.
51. Сметанин, Б.Н. Влияние размера объекта, обеспечивающего зрительную обратную связь, на поддержание вертикальной позы человека / Б.Н. Сметанин, Ю.С. Левик, Г.В. Кожина, А.К. Попов // Физиология человека, 2020. – Т. 46. – № 6. – С. 108.
52. Соколова, Л. В. Динамика показателей функционального состояния центральной нервной системы спортсменов-единоборцев 12-14 лет / Л.В. Соколова, С.А. Сунцов // Журнал медико-биологических исследований, 2015. – №4. – С.99–106.
53. Уварина, Н. В. Анализ перспективы применения иммерсивных технологий в системе подготовки офицеров российской армии / Н.В. Уварина, А.В. Полковников // Современная высшая школа: инновационный аспект, 2020. – Т.50. – №4. С. 10–19.
54. Федорук, А.С. Роль движения в формировании сенсомоторной интеграции / А.С. Федорук // Электронный научно-практический журнал «Молодежная наука: тенденции развития», 2019. – Т.10. – № 1. – С. 26-34.
55. Халин, В.Г. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски / В.Г. Халин, Г.В. Чернова // Управленческое консультирование, 2018. – Т.118. – №10 С. 46–63.
56. Ходырев, Г. Н. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей variability сердечного ритма (обзор литературы) / Г.Н. Ходырев, С.В. Хлыбова, В.И. Циркин, С.Л. Дмитриева // Вятский медицинский вестник, 2011. – №3-4. – С. 60–70.

57. Хороших, П.П. Иммерсивные образовательные среды: психофизиологический аспект / П.П. Хороших, А.А. Сергиевич, Т.А. Баталова // Психология и психотехника, 2021. – №1. – С. 78–88.
58. Чернов, И.В. Цифровизация как тенденция развития современного общества: специфика научного дискурса / И.В. Чернов // Гуманитарий Юга России, 2021. – №1. – С. 121–132.
59. Шарло, К.А. Механизмы поддержания экспрессии медленного миозина в волокнах постуральной мышцы при стимуляции опорных афферентов на фоне гравитационной разгрузки / К.А. Шарло, И.Д. Львова, С.А. Тыганов, Б.С. Шенкман // Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова, 2019. – Т. 105. – № 12. – С. 1561–1570.
60. Шеррингтон, Ч. Рефлекторная деятельность спинного мозга / Ч. Шеррингтон // Москва ; Ленинград : Биомедгиз, 1935 ([М.] : 16 тип. треста "Полиграфкнига") – С.268.
61. Шутова, Н.В. Структурно-динамический подход к использованию музыки в воздействии на личность / Н.В. Шутова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Социология, 2009. – №3-2. – С. 282–288.
62. Шутова, С. В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С.В. Шутова, И.В. Муравьева // Вестник российских университетов. Математика, 2013. – №5–3. – С.2831–2840.
63. Шутова, С. В. Биоритмологические особенности сенсомоторного реагирования у девушек / С.В. Шутова, В.Н. Чичук, Ю.М. Копченкина // Актуальные проблемы медицины, 2011. – Т.99. – №4. – С. 35–41.
64. Ярославцева, И.В. Экспресс-диагностика функционального состояния ЦНС (на примере диагностики ФС ЦНС учащихся высшего учебного заведения) / И.В. Ярославцева, И.Н. Гутник, И.А. Конопак, А.Н. Гусев, И.А. Черевикова // Экспериментальная психология. 2018, – Т. 11. – № 2. – С. 110–120.

65. Abu, Hasan R. Workplace Mental State Monitoring during VR-Based Training for Offshore Environment. / Hasan R. Abu, S. Sulaiman, N.N. Ashykin, M.N. Abdullah, Y. Hafeez, S.S.A. Ali // *Sensors*, 2021. – V.14. – №21. – P.2–16.
66. Amirova, L.E. Sharp Changes in Muscle Tone in Humans Under Simulated Microgravity / L.E. Amirova, I.V. Rukavishnikov, A.A. Saveko, A. Peipsi, E.S. Tomilovskaya // *Frontiers of Physiology*, 2021. –V. 12. – P. 1–12.
67. Azevedo, T.M. A freezing- like posture to pictures of mutilation / T.M. Azevedo, E. Volchan, L.A. Imbiriba, E.C. Rodrigues, J.M. Oliveira, L.F. Oliveira, L.G. Lutterbach, C.D. Vargas // *Psychophysiology*, 2005. – V. 42. – № 3. – P. 255-260.
68. Balan, O. An investigation of various machine and deep learning techniques applied in automatic fear level detection and acrophobia virtual therapy / O. Balan, G. Moise, A. Moldoveanu, M. Leordeanu, F. Moldoveanu // *Sensors*, 2020. – №20. – P.2–28.
69. Bayraktar, S. A Meta-Analysis of the Effectiveness of Computer-Assisted Instruction in Science Education / S. Bayraktar // *Journal of Research on Technology in Education*, 2001– V.34. – №1. – P.173–188.
70. Bonde, M. Improving Biotech Education through Gamified Laboratory Simulations / M. Bonde, G. Makransky, J. Wandall, M. Larsen M. Morsing, H Jarmer, M Sommer // *Nature Biotechnology*, 2014. – V.32. – №7. – P.694–697.
71. Cenciarini, M. Stimulus-Dependent Changes in the Vestibular Contribution to Human Postural Control / M. Cenciarini, R.J. Peterka // *Journal of Neurophysiology*, 2006. – V. 95. – P. 2733–2750.
72. Chardonnet, J-R. Features of the postural sway signal as indicators to estimate and predict visually induced motion sickness in virtual reality / J-R. Chardonnet, M.A. Mirzaei, F. Merienne // *Internet Journal Human–Computer Interaction*, 2017. – V. 33. – №10. P. 771–785.

73. Clark, B.D. Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis /B.D. Clark, E.E. Tanner-Smith, S.S. Killingsworth // Review of Educational Research, 2016. – V. 86. – №1. – P.79–122.
74. Clifford, R.M. Creating a stressful decision, making environment for aerial firefighter training in virtual reality / R.M. Clifford, S. Jung, S. Hoermann, M. Billingham, R.W. Lindeman // IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 2019. – P. 181–189.
75. Drozdova-Statkeviciene, M. The beneficial effects of acute strength training on sway activity and sway regularity in healthy older men: Evidence from a posturography study / M. Drozdova-Statkeviciene, V.J. Cesnaitienė, O Levin, L. Pauwels, K. Pukenas, W.F. Helsen, F. Staes, N. Masiulis // Neuroscience Letters, 2021. – V. 749. – P. 135718.
76. Fadeev, K.A. Too real to be virtual: Autonomic and EEG responses to extreme stress scenarios in virtual reality / K.A. Fadeev, A.S. Smirnov, O.P. Zhigalova, P.S. Bazhina, A.V. Tumialis, K.S. Golokhvast // Behavioural Neurology, 2020. – V.2020. – P. 1-11.
77. Falconer, C.J. Balancing the mind: vestibular induced facilitation of egocentric mental transformations / C.J. Falconer, F.W. Mast // Journal of Experimental Psychology, 2012. – V. 59. – № 6. – P. 332–339.
78. Goodworth, A.D. Contribution of Sensorimotor Integration to Spinal Stabilization in Humans / A.D. Goodworth, R.J. Peterka // Journal of Neurophysiology, 2009. – V. 102. – P. 496–512.
79. Grabherr, L. Mental ownbody and body-part transformations in microgravity / L. Grabherr L, F. Karmali, S. Bach, K. Indermaur, S. Metzler, F.W. Mast // Journal of Vestibular Research, 2007. – V. 17. – № 5-6. P. 279–287.
80. Guillaud, E. Locomotion and dynamic posture: neuro-evolutionary basis of bipedal gait / E. Guillaud, P. Seyres, G. Barriere, V. Jecko, S.S. Bertrand, J.R. Cazalets // Clinical Neurophysiology, 2020. – V. 50. – № 6. – P. 467–477.

81. Ho, L.H. Research on 3D Painting in Virtual Reality to Improve Students' Motivation of 3D Animation Learning / L.H. Ho, H. Sun H, T.H. Tsai // Sustainability. 2019. – V.11. – №6. – P. 1605.
82. Immordino-Yang, M.H. The Norton Series on the Social Neuroscience of Education. Emotions, Learning, and the Brain: Exploring the Educational Implications of Affective Neuroscience / M.H. Immordino-Yang // W. W. Norton & Company, 2016. – P. 1974.
83. Ivanenko, Y.P. The direction of postural instability affects postural reactions to ankle muscle vibration in humans / Y.P. Ivanenko, I.A. Solopova, Y.S. Levik // Neuroscience Letters, 2000. – V. 292. –№ 2. – P. 103–106.
84. Kavanagh, J.J. Lumbar and Cervical Erector Spinae Fatigue Elicit Compensatory Postural Responses to Assist in Maintaining Head Stability During Walking / J.J. Kavanagh, S. Morrison, R.S. Barrett // Journal of Applied Physiology, 2006. – V. 101. – P. 1118–1126.
85. Kavounoudias, A. Foot Sole and Ankle Inputs Contribute Jointly to Human Erect Posture Regulation / A. Kavounoudias, R. Roll, J.P. Roll // Journal of Physiology, 2001. – V. 53. – P. 869–878.
86. Kim, M.J. A Hedonic Motivation Model in Virtual Reality Tourism: Comparing Visitors and Non-Visitors / M.J. Kim, C.M. Hall // International Journal of Information Management, 2019. – V. 46. – P. 236-249.
87. Kim, H. Effect of Virtual Reality on Stress Reduction and Change of Physiological Parameters Including Heart Rate Variability in People With High Stress: An Open Randomized Crossover Trial / H. Kim, D.J. Kim, S. Kim, W.H. Chung, K.A. Park, J.D. Kim, D. Kim, M. Kim, K. Kim, H.J. Jeon // Frontiers in Psychiatry, 2021. – V.12. – P. 614539.
88. Lafond, D. Intrasession Reliability of Center of Pressure Measures of Postural Steadiness in Healthy Elderly People / D. Lafond, H. Corriveau, R. Hebert R, F. Prince // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2004. – V. 85. – № 6. – P. 896–901.

89. Lee, E. Effect of university students' sedentary behavior on stress, anxiety, and depression / E. Lee, Y. Kim // *Perspectives in Psychiatric Care*, 2019. – V. 55. – № 2. – P. 164–169.
90. Li, C. Effects of brightness levels on stress recovery when viewing a virtual reality forest with simulated natural light / C. Li, C Sun, M Sun, Y. Yuan, P. Li. // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020. – V.56. – P. 126865.
91. Loram, D. Human Postural Sway Results from Frequent, Ballistic Bias Impulses by Soleus and Gastrocnemius / D. Loram, K. Maganaris, M. Lakie // *Journal of Physiology*, 2005. – V. 564. – P. 295–311.
92. Lou, R. Reducing Cybersickness by Geometry Deformation / R. Lou, J-R. Chardonnet // *IEEE Virtual Reality*, 2019. – P. 1058–1059.
93. Makransky, G. Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes more Presence but Less Learning / G. Makransky, T.S. Terkildsen, R.E. Mayer // *Learning and Instruction*, 2019. – V.60. – P. 225–236.
94. Martens, M.A. It feels real: physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory / M.A. Martens, A. Antley, D. Freeman, M. Slater, P.J. Harrison, E.M. Tunbridge // *Journal of Psychopharmacology*, 2019. – V.33. – P. 1264–1273.
95. Masci, J. Multimodal similarity-preserving hashing / J. Masci, M.M. Bronstein, A.M. Bronstein, J. Schmidhuber // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2014. – V. 36. – №4, – P. 824–830.
96. Merchant, Z. Effectiveness of Virtual Reality-Based Instruction on Students' Learning Outcomes in K-12 and Higher Education: A Meta-Analysis / Z. Merchant, E. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, T. Davis // *Computers & Education*, 2014. – V. 70. – P. 29-40.
97. Montero-Lopez, E. A virtual reality approach to the Trier Social Stress Test: Contrasting two distinct protocols / E. Montero-López, A. Santos-Ruiz, M.C. Garcia-Rios, R. Rodriguez-Blazquez, M. Perez-Garcia, M.I. Peralta-Ramírez // *Behavior Research methods*, 2016. – V.48. – P. 223–232.

98. Murri, M.B. Instrumental assessment of balance and gait in depression: A systematic review /M.B. Murri, F. Triolo, A. Coni, C. Tacconi, E. Nerozzi, A. Escelsior, M. Respino, F. Neviani, M. Bertolotti, K. Bertakis, L. Chiari, S. Zanetidou, M. Amore // *Psychiatry Research*, 2020. –V. 284. – P. 112687.
99. Peterka, R.J. Dynamic Regulation of Sensorimotor Integration in Human Postural Control / R.J. Peterka, P.J. Loughlin // *Journal of Neurophysiology*, 2004, – V. 91. – P. 410–423.
100. Redfern, M.S. Cognitive Influences in Postural Control of Patients with Unilateral Vestibular Loss / M.S. Redfern, M.E. Talkowski, J.R. Jennings, J.M. Furman // *Gait & Posture*, 2004. – V. 19. – P. 105–114.
101. Rios, A. Follower behavior under stress in immersive VR / A. Rios, A. Pelechano // *Virtual Reality*, 2020. – V.24. – P. 683–694.
102. Roma, E. Influence of age on postural control during dual task: a centre of pressure motion and electromyographic analysis / E. Roma, S. Gobbo, V. Bullo, F. Spolaor, Z. Sawacha, F. Duregon, G. Bianchini, E. Doria, C.L. Alberton, D.S. Bocalini, L. Cugusi, A. Di Blasio., A. Ermolao, M. Bergamin // *Aging Clinical and Experimental Research*, 2021. – V.34. –№1. – P. 137-149
103. Ronca, F. Attentional, anticipatory and spatial cognition fluctuate throughout the menstrual cycle: Potential implications for female sport / F. Ronca, J.M. Blodgett, G. Bruinvels, M. Lowery, M. Raviraj, G. Sandhar, N. Symeonides, C. Jones, M. Loosemore, P.W. Burgess // *Neuropsychologia*, 2024. – P. 108909.
104. Rovira, A. The use of virtual reality in the study of people’s responses to violent incidents / A. Rovira, D. Swapp, B. Spanlang, M. Slater // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2009. – V.59. – №3. – P. 1–10.
105. Rozanov, I. Applications of methods of psychological support developed for astronauts for use in medical settings / I. Rozanov, O. Ryumin, O. Karpova, D. Shved, A. Savinkina, P. Kuznetsova, N. Diaz Rey, K. Shishenina, V. Gushin // *Frontiers of Physiology*, 2022. – V.13. – P. 926597

106. Rutten, N.P.G. The Learning Effects of Computer Simulations in Science Education / N.P.G. Rutten, W. van Joolingen, T.J. van der Veen // *Computers & Education*, 2012. – V. 58. – №1. – P. 136-153.
107. Safavynia, S.A. Task-level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations / S.A. Safavynia, L.H. Ting // *Journal of Neurophysiology*, 2012. – Vol. – 107. – P. 159–177.
108. Shenkman, B.S. Cellular Responses of Human Postural Muscle to Dry Immersion / B.S. Shenkman, I. B. Kozlovskaya // *Frontiers in Physiology*, 2019. – V. 10. – P. 187.
109. Shute, V. Assessment for Learning in Immersive Environments. In *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education* / V. Shute, S. Rahimi, B. Emihovich // Springer: Cham, Switzerland, 2017. – P. 71–87
110. Tyng Chai, M. The Influences of Emotion on Learning and Memory / M. Tyng-Chai, U. Amin Hafeez, N.M. Saad Mohamad, S. Malik Aamir // *Frontiers in Psychology*, 2017. – V.8. – P.1454.
111. Vilchinskaya, N.A. AMPActivated Protein Kinase as a Key Trigger for the Disuse-Induced Skeletal Muscle Remodeling / N.A. Vilchinskaya, I. I. Krivoi, B.S. Shenkman // *International Journal of Molecular Science*, 2018. – V. 19. – № 11. – P. 3558.
112. Wasaka, T. Sensorimotor Integration. In: *Magnetoencephalography. From Signals to Dynamic Cortical Networks* / T. Wasaka, R. Kakigi // S Supek, CJ Aine (eds.). Berlin, Heidelberg: Springer- Verlag, 2014. – P. 727–742.
113. Yin, J. Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A betweensubjects experiment in virtual reality / J. Yin, J. Yuan, N. Arfaei, P.J. Catalano, J.G. Allen, J.D. Spengler // *Environment International*, 2020. – V.136. – P. 105427.

Методика Ч. Д. Спилбергера на выявление личностной и ситуативной тревожности (адаптирована на русский язык Ю.Л. Ханиным)

Инструкция: прочитайте каждое из приведенных ниже предложений и зачеркните цифру в соответствующей графе справа в зависимости от того, как вы себя чувствуете в данный момент. Над вопросами долго не задумывайтесь, поскольку правильных и неправильных ответов нет.

Бланк 1. Шкала ситуативной тревожности (СТ)

№	Суждение	Нет, это не так	Пожалуй, так	Верно	Совершенно верно
1	Я спокоен	1	2	3	4
2	Мне ничто не угрожает	1	2	3	4
3	Я нахожусь в напряжении	1	2	3	4
4	Я внутренне скован	1	2	3	4
5	Я чувствую себя свободно	1	2	3	4
6	Я расстроен	1	2	3	4
7	Меня волнуют возможные неудачи	1	2	3	4
8	Я ощущаю душевный покой	1	2	3	4
9	Я встревожен	1	2	3	4
10	Я испытываю чувство внутреннего удовлетворения	1	2	3	4
11	Я уверен в себе	1	2	3	4
12	Я нервничаю	1	2	3	4
13	Я не нахожу себе места	1	2	3	4
14	Я взвинчен	1	2	3	4
15	Я не чувствую скованности, напряженности	1	2	3	4
16	Я доволен	1	2	3	4
17	Я озабочен	1	2	3	4
18	Я слишком возбужден, и мне не по себе	1	2	3	4
19	Мне радостно	1	2	3	4
20	Мне приятно	1	2	3	4

Бланк 2. Шкала личностной тревожности (ЛТ)

№	Суждение	Никогда	Почти никогда	Часто	Почти всегда
1	У меня бывает приподнятое настроение	1	2	3	4
2	Я бываю раздражительным	1	2	3	4
3	Я легко могу расстроиться	1	2	3	4
4	Я хотел бы быть таким же удачливым, как и другие	1	2	3	4
5	Я сильно переживаю неприятности и долго не могу о них забыть	1	2	3	4
6	Я чувствую прилив сил, желание работать	1	2	3	4
7	Я спокоен, хладнокровен и собран	1	2	3	4
8	Меня тревожат возможные трудности	1	2	3	4
9	Я слишком переживаю из-за пустяков	1	2	3	4
10	Я бываю вполне счастлив	1	2	3	4
11	Я все принимаю близко к сердцу	1	2	3	4
12	Мне не хватает уверенности в себе	1	2	3	4
13	Я чувствую себя беззащитным	1	2	3	4
14	Я стараюсь избегать критических ситуаций и трудностей	1	2	3	4
15	У меня бывает хандра	1	2	3	4
16	Я бываю доволен	1	2	3	4
17	Всекие пустяки отвлекают и волнуют меня	1	2	3	4
18	Бывает, что я чувствую себя неудачником	1	2	3	4
19	Я уравновешенный человек	1	2	3	4
20	Меня охватывает беспокойство, когда я думаю о своих делах и заботах	1	2	3	4

Ключ к ответам:

Ситуативная тревожность					Личностная тревожность				
СТ	Ответы				ЛТ	Ответы			
№	1	2	3	4	№	1	2	3	4
1	4	3	2	1	1	4	3	2	1
2	4	3	2	1	2	1	2	3	4
3	1	2	3	4	3	1	2	3	4
4	1	2	3	4	4	1	2	3	4
5	4	3	2	1	5	1	2	3	4
6	1	2	3	4	6	4	3	2	1
7	1	2	3	4	7	4	3	2	1
8	4	3	2	1	8	1	2	3	4
9	1	2	3	4	9	1	2	3	4
10	4	3	2	1	10	4	3	2	1
11	4	3	2	1	11	1	2	3	4
12	1	2	3	4	12	1	2	3	4
13	1	2	3	4	13	1	2	3	4
14	1	2	3	4	14	1	2	3	4
15	4	3	2	1	15	1	2	3	4
16	4	3	2	1	16	4	3	2	1
17	1	2	3	4	17	1	2	3	4
18	1	2	3	4	18	1	2	3	4
19	4	3	2	1	19	4	3	2	1
20	4	3	2	1	20	1	2	3	4

Интерпретация результатов

При анализе результатов надо иметь в виду, что общий итоговый показатель по каждой из подшкал может находиться в диапазоне от 20 до 80 баллов. При этом, чем выше итоговый показатель, тем выше уровень тревожности (ситуативной или личностной).

При интерпретации показателей можно использовать следующие ориентировочные оценки тревожности.

Обработка результатов

- Ситуационная тревожность (СТ) = (Кол-во баллов за ответы на вопросы: 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 17, 18) – (Кол-во баллов за ответы на вопросы: 1, 2, 5, 8, 10, 11, 15, 16, 19, 20) + 50 баллов

- Личностная тревожность (ЛТ) = (Кол-во баллов за ответы на вопросы: 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20) – (Кол-во баллов за ответы на вопросы: 1, 6, 7, 10, 13, 16, 19) + 35 баллов

Подведение результатов

- До 30 баллов — у Вас низкая степень тревожности
- От 31 до 45 баллов — у Вас средняя степень тревожности
- От 46 баллов и более — у Вас высокая степень тревожности

Методика диагностики психической активации, интереса, эмоционального тонуса, напряжения и комфортности (по Курганскому-Немчину)

Возраст: методика предназначена для людей старше 14 лет без ограничений по образовательным, социальным и профессиональным признакам и рассчитана на неоднократное обследование одних и тех же лиц, учитывая динамичность психических состояний. Значимые данные по процедуре разработке и стандартизации методики отсутствуют.

Инструкция: оцените свое психическое состояние в данный момент по каждому из признаков, указанных на бланке. Обведите кружком соответствующую цифру от 0 до 3 в левой или в правой половине каждой строки в зависимости от выраженности признака.

Бланк опросника

самочувствие хорошее	3	2	1	0	1	2	3	самочувствие плохое
активный	3	2	1	0	1	2	3	пассивный
рассеянный	3	2	1	0	1	2	3	внимательный
радостный	3	2	1	0	1	2	3	грустный
усталый	3	2	1	0	1	2	3	отдохнувший
беззаботный	3	2	1	0	1	2	3	озабоченный
медлительный	3	2	1	0	1	2	3	быстрый
сосредоточенный	3	2	1	0	1	2	3	отвлекающийся
плохое настроение	3	2	1	0	1	2	3	хорошее настроение
бодрый	3	2	1	0	1	2	3	вялый
спокойный	3	2	1	0	1	2	3	раздраженный
желание отдохнуть	3	2	1	0	1	2	3	желание работать
полный сил	3	2	1	0	1	2	3	обессиленный
соображать трудно	3	2	1	0	1	2	3	соображать легко
безучастный	3	2	1	0	1	2	3	увлеченный
напряженный	3	2	1	0	1	2	3	расслабленный
выносливый	3	2	1	0	1	2	3	утомленный
равнодушный	3	2	1	0	1	2	3	взволнованный
возбужденный	3	2	1	0	1	2	3	сонливый
довольный	3	2	1	0	1	2	3	недовольный

Обработка и интерпретация результатов

Обработка результатов проводится с помощью ключей для оценки конкретных психических состояний. В ключах в первой колонке находится номер признака (порядковый номер состояния в бланке), далее – рейтинговая шкала из бланка и присуждаемое за каждый ответ количество баллов. Например, признак № 5 – это

состояния «усталый – отдохнувший». Если испытуемый оценил свое состояние в 3 балла ближе к полюсу «усталый», то получает оценку в 7 баллов, если в 2 балла – то 6 и т. д. Если он, напротив, оценил свое состояние ближе к полюсу «отдохнувший» в 3 балла, то ответу присуждается 1 балл, если в 2 балла – то 2 и т. д.

Оценка психической активации:

№ признака	Баллы, присуждаемые за ответы в бланке						
	3	2	1	0	1	2	3
5	7	6	5	4	3	2	1
10	1	2	3	4	5	6	7
12	7	6	5	4	3	2	1

Оценка интереса:

№ признака	Баллы, присуждаемые за ответы в бланке						
	3	2	1	0	1	2	3
3	7	6	5	4	3	2	1
8	1	2	3	4	5	6	7
15	7	6	5	4	3	2	1

Оценка эмоционального тонуса:

№ признака	Баллы, присуждаемые за ответы в бланке						
	3	2	1	0	1	2	3
1	1	2	3	4	5	6	7
4	1	2	3	4	5	6	7
14	7	6	5	4	3	2	1

Оценка напряжения:

№ признака	Баллы, присуждаемые за ответы в бланке						
	3	2	1	0	1	2	3
12	1	2	3	4	5	6	7
16	7	6	5	4	3	2	1
18	1	2	3	4	5	6	7

Оценка комфортности:

№ признака	Баллы, присуждаемые за ответы в бланке						
	3	2	1	0	1	2	3
6	1	2	3	4	5	6	7
9	7	6	5	4	3	2	1
20	1	2	3	4	5	6	7

Баллы, набранные испытуемым, суммируются по каждой шкале. Полученные таким образом данные заносятся в протокол исследования:

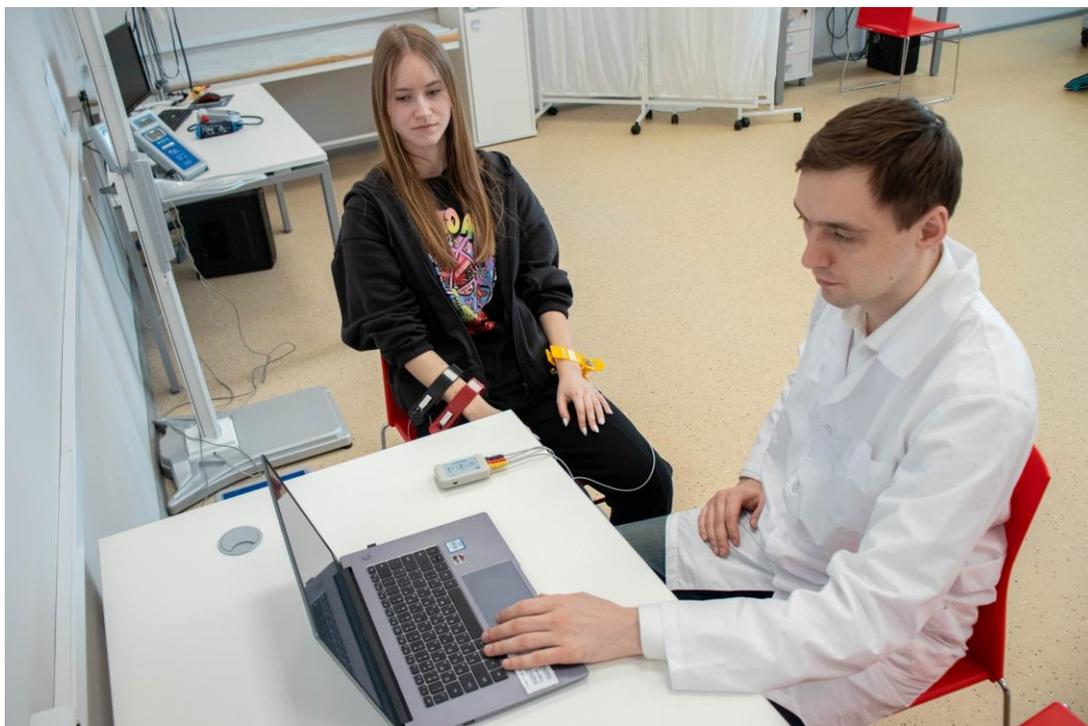
Бланк протокола

Психическое состояние	Оценка, баллы	Степень выраженности
Психическая активация		
Интерес		
Эмоциональный тонус		
Напряжение		
Комфортность		

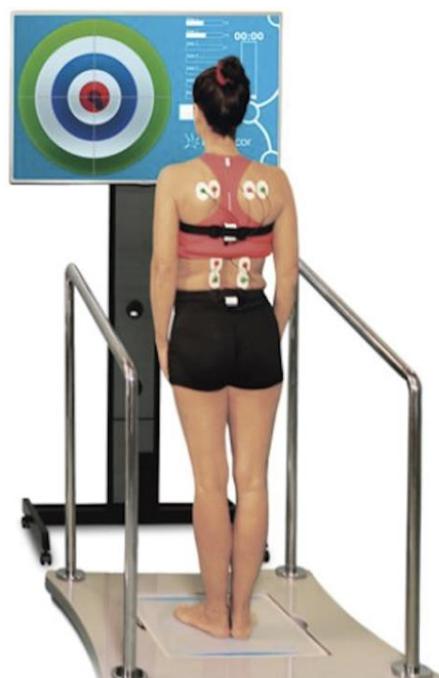
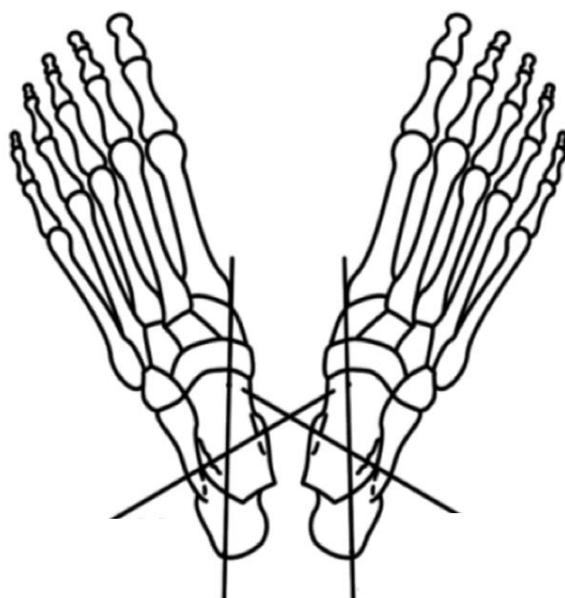
Протокол шкалы оценки субъективных ощущений пребывания в иммерсионной среде «Simulator sickness questionnaire» (SSQ)

	Не ощущаю	Незначительно	Умеренно	Сильно
Чувство дискомфорта				
Утомление				
Головная боль				
Напряжение глаз				
Сложность фокусировки				
Повышение слюноотделения				
Сухость во рту				
Потливость				
Тошнота				
Сложность концентрации				
«Тяжёлая голова»				
Зрение расплывается				
Головокружение при открытых глазах				
Головокружение при закрытых глазах				
Ощущение вращения окружающего мира				
Боль в животе				
Отрыжка				
Др. ощущения				

Оценка вариабельности сердечного ритма в ходе исследования



Пример постановки стоп по европейскому типу на стабилметрической платформе



**Двигательная тренировка в ВР с использованием инфракрасного сенсора
Microsoft Kinect**



**Двигательная тренировка в ВР с полным погружением, с использованием VR
Ius Quest**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 781 674**⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
A61B 5/11 (2006.01)
A61B 5/16 (2006.01)
A61H 1/00 (2006.01)
G06T 7/20 (2006.01)
G06T 15/00 (2011.01)
G09B 19/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A61B 5/11 (2022.05); A61B 5/16 (2022.05); A61H 1/00 (2022.05); G06T 7/20 (2022.05); G06T 15/00 (2022.05); G09B 19/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021134527, 25.11.2021
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.11.2021
Дата регистрации:
17.10.2022
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 25.11.2021
(45) Опубликовано: 17.10.2022 Бюл. № 29
Адрес для переписки:
117997, Москва, ул. Вавилова, 19, ПАО
Сбербанк, Правовой департамент

(72) Автор(ы):
Клочков Антон Сергеевич (RU),
Хижникова Анастасия Евгеньевна (RU),
Котов-Смоленский Артем Михайлович (RU),
Ивлева Екатерина Сергеевна (RU),
Супонева Наталья Александровна (RU),
Пирадов Михаил Александрович (RU),
Козлов Максим Александрович (RU),
Храмцов Алексей Михайлович (RU),
Пацера Александр Игоревич (RU),
Крыга Денис Владимирович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Публичное акционерное общество "Сбербанк
России" (ПАО Сбербанк) (RU)
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2645604 C1, 26.02.2018. RU
2751977 C1, 21.07.2021. RU 2655200 C1,
24.05.2018. EA 37467 B1, 31.03.2021. EP 3299003
A1, 28.03.2018. DE 102013112317 A1, 13.05.2015.

RU 2 781 674 C 1

RU 2 781 674 C 1

(54) СПОСОБ ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ТРЕНИРОВКИ С УЧЕТОМ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПАЦИЕНТА

(57) Реферат:
Изобретение относится к медицине, в частности к неврологии, и может быть использовано для двигательной реабилитации неврологических пациентов. Двигательную реабилитацию неврологических пациентов проводят в виртуальной реальности посредством использования беспроводных портативных шлемов виртуальной реальности. При этом пациентов погружают в общую иммерсионную виртуальную среду, в которой несколько пациентов присутствуют в одном виртуальном тренировочном зале, видят виртуальные изображения друг друга, выполняют командные упражнения посредством игровых сценариев, имитирующих адаптированные спортивные и

бытовые игры в виде многопользовательского режима с кооперативным взаимодействием либо многопользовательского режима с соревновательным взаимодействием. Причем предварительно для подбора объема тренировок в упражнениях игровых сценариев перед их началом пациенты проходят калибровочную тренировочную сессию. При этом оценивают у них объемы движений в руках путем их выполнения в разные стороны - вправо, влево, вверх и вниз, а также возможность выполнения захвата путем нажатия кнопок на контроллере. Каждый игровой сценарий настраивают под характерный для пациента тип взаимодействия, который определяют тестированием по

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 781 120** (13) **C1**

(51) МПК
A61H 1/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A61H 1/00 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2021136742, 13.12.2021

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
13.12.2021

Дата регистрации:
05.10.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 13.12.2021

(45) Опубликовано: 05.10.2022 Бюл. № 28

Адрес для переписки:
125367, Москва, Волоколамское ш., 80,
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Научный центр
неврологии"

(72) Автор(ы):
Хижникова Анастасия Евгеньевна (RU),
Клочков Антон Сергеевич (RU),
Котов-Смоленский Артем Михайлович (RU),
Фукс Анна Антоновна (RU),
Зимин Алексей Алексеевич (RU),
Супонева Наталья Александровна (RU),
Пирадов Михаил Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Научный центр
неврологии" (ФГБНУ НЦН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2626912 C1, 02.08.2017. RU
2760484 C1, 25.11.2021. RU 2758631 C1,
01.11.2021. БАУЛИНА О. В. и др. Применение
мультипараметрической биологической
обратной связи в спортивной медицине // *Биотехносфера*. 2014. N. 3 (33). С. 50-52.

(54) Способ реабилитационных мероприятий у пациентов с нарушением статического и динамического равновесия

(57) Реферат:

Изобретение относится к области медицины, в частности к неврологии и может быть использовано для персонализированного подхода к выбору методов реабилитации. Реабилитационные мероприятия у пациентов с нарушением статического и динамического равновесия осуществляют путем проведения комбинированной тренировки. При этом перед проведением комбинированной тренировки по скорости простой слухо-моторной реакции (ПЗМР) путем нажатия на кнопку «Да» или «Нет» в ответ на звуковой стимул и по клинической шкале баланса Берг (БЕРГ) путем стаблометрического анализа регистрации положения и колебаний проекции общего центра массы тела на опору при помощи датчиков, встроенных в платформу, оценивают

выраженность нарушений статического и динамического равновесия. При значении БЕРГ более 45 баллов, а ПЗМР менее 222,5 мс оценивают выраженность нарушений как легкие и выбирают реабилитационные мероприятия для комбинированной тренировки в виде комплекса упражнений для тренировки устойчивости, направленной на профилактику нарушений статического и динамического равновесия. При значении БЕРГ менее 45 баллов, а ПЗМР более 222,5 мс - оценивают нарушения как выраженные и выбирают реабилитационные мероприятия в виде курса комбинированной тренировки скорости реакции по системе виртуальной реальности на базе бесконтактного инфракрасного сенсора Microsoft Kinect. Способ обеспечивает улучшение навыков поддержания

RU 2 781 120 C1

RU 2 781 120 C1


 Утверждаю
 Проректор ГАОУ ВО МГУСиТ,
 д.п.н., доцент
 М.С. Леонтьева
 «12» ноября 2023 г.

АКТ
 о внедрении результатов диссертационной работы Котова-Смоленского Артема Михайловича на соискание ученой степени кандидата биологических наук на тему «Особенности постурального баланса в зависимости от подвижности нервных процессов у студентов в условиях иммерсивного обучения» в практику

№ п/п	Наименование внедрения	Год разработки	Объект и место внедрения	Эффект от внедрения
1	2	3	4	5
1.	Внедрено в образовательный процесс по направлению подготовки 49.03.02 Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья (адаптивная физическая культура), профиль Адаптивная физическая культура и адаптивный спорт	2024	Разработанные протоколы проведения иммерсивных двигательных тренировок в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы студентов внедрены в учебный процесс в рамках реализации дисциплины Б1. В11.01 Педагогическое физкультурно-спортивное совершенствование	Повышение эффективности физического воспитания за счет возможности дозирования интенсивности тренировок на фоне усиления обратной сенсорной связи и создания индивидуального виртуального пространства для обучающихся с ОВЗ.

И.о. заведующего кафедрой
 физиологии спорта и
 физического воспитания
 ГАОУ ВО МГУСиТ,
 д.б.н., профессор


 В.Н. Пушкина

«12» ноября 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и учебно-методической работе

МБУ ИЦО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ

им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Зарецкая Т.Н.



2023 г.

**Акт внедрения
результатов диссертационного исследования
Котова-Смоленского Артема Михайловича «Особенности постурального
баланса в зависимости от подвижности нервных процессов у студентов в
условиях иммерсивного обучения»
по специальности 1.5.5 - «Физиология человека и животных».**

Методологические подходы диссертационного исследования Котова-Смоленского А.М. на тему «Особенности постурального баланса в зависимости от подвижности нервных процессов у студентов в условиях иммерсивного обучения», представленного на соискание ученой степени кандидата биологических наук, внедрены в учебный процесс аккредитационно-симуляционного центра Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации и используются при организации и проведении подготовки к первичной специализированной аккредитации врачей-специалистов по различным специальностям.

Заведующий аккредитационно-симуляционным центром
МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
ФМБА России

А.В. Симаков

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор института естествознания
и спортивных технологий

ГАОУ ВО МГПУ,

доктор социологических наук

А.Э. Страдзе

2024 г.



Акт внедрения

Разработанные в рамках диссертационного исследования Котова-Смоленского Артема Михайловича на тему: «Особенности постурального баланса в зависимости от подвижности нервных процессов у студентов в условиях иммерсивного обучения» практические рекомендации по проведению иммерсивных двигательных тренировок в зависимости от функциональной подвижности центральной нервной системы студентов рекомендованы к внедрению в учебный процесс ГАОУ ВО МГПУ в рамках элективного курса по физической культуре «адаптивная физическая культура» с целью повышения эффективности физического воспитания студентов, имеющих отклонения в состоянии здоровья.

Начальник департамента организации
физического воспитания и безопасности
жизнедеятельности института естествознания
и спортивных технологий ГАОУ ВО МГПУ
кандидат педагогических наук, доцент

Д.В. Мальцев