

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Работа выполнена в ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»

Научный руководитель: **Федорова Елена Юрьевна**
доктор биологических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Мельников Андрей Александрович** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»

Лукманова Наталия Борисовна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник сектора развития адаптивной физической культуры и спорта инвалидов ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физической культуры»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Волгоградская государственная академия физической культуры»

Защита диссертации состоится «28» февраля 2025г. в 13³⁰ ч. на заседании диссертационного совета 35.2.016.03 на базе ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана» по адресу: 420029, РТ, г. Казань, ул. Сибирский Тракт, 35.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана» и на сайте <http://www.kazanveterinary.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г. и размещен на сайтах: <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru> и <http://www.kazanveterinary.ru>

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор ветеринарных наук

Юлия Вадимовна Ларина

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы. Современное общество характеризуется высокими темпами цифровизации (N.P.G. Rutten et al., 2012; В.Г. Халин и соавт., 2018; И.В. Чернов и соавт., 2021). В рамках динамично развивающихся высоких технологий, в сфере образования все большую популярность набирает иммерсивный подход в обучении (Е.В. Гордеева и соавт., 2021; Г.С. Котов 2021), который подразумевает использование технологий виртуальной и дополненной реальности (Ю.В. Корнилов, 2019).

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 (О.А. Залата и соавт., 2020).

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 (S. Bayraktar, 2001; S.A. Safavynia et al., 2012; M. Bonde et al., 2014; Z. Merchant et al., 2014; V.D. Clark et al., 2016; О.А. Залата и соавт., 2020), в параллели с этим в работе Makransky G. et al. сообщалось, что глубокая иммерсия способствовала повышению когнитивной нагрузки, способствуя снижению результативности. 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 (L.H. Ho et al., 2019; M.J. Kim et al., 2019).

Как отмечалось ранее, мультимодальный сенсорный поток, предъявляемый в VR, способен значимо изменять функциональные состояния физиологических систем в процессе пребывания человека в иммерсивной среде (A. Rovira et al., 2009; В.В. Косоногов и соавт., 2022; И.А. Розанов и соавт., 2024;) 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 психофизиологического типа один и тот же вид деятельности приводит к различным физиологическим эффектам (С.В. Шутова и соавт., 2013; П.А. Байгужин и соавт., 2017; Ю.П. Игнатова и соавт., 2019). Ставя во внимание данный факт, предполагается, что эффективность иммерсивного обучения

может зависеть от условий виртуальной среды, подбор которых необходимо осуществлять согласно психофизиологическому типу занимающихся.

Цель исследования и задачи: физиологическое обоснование особенностей пострурального 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 пострурального 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 пострурального 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 пострурального 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.

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ 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 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. Направление и объем исследования представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Направление и объем исследования

На первом этапе исследования двигательная тренировка с однородными условиями виртуальной среды была реализована с помощью портативных очков виртуальной реальности Oculus Quest 2 (Meta, США), а также сценария «Beat Saber».

На втором этапе исследования двигательная тренировка с различными условиями виртуальной среды реализована посредством инфракрасного сенсора Microsoft Kinect (Microsoft, США), а также сценария «Kinect Sports».

Критериями оценивания эффективности деятельности при двигательных тренировках в виртуальной среде определены:

- Баллы, набранные исследуемым в рамках сценария «Beat Saber»;
- Количество побед над виртуальным оппонентом в сценарии «Kinect Sports», в рамках девятинедельного тренировочного курса.

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 ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Психофизиологический скрининг студентов по выявлению характера нейродинамических процессов

По результатам 7-и разовых визитов для оценки функциональной подвижности ЦНС исследуемые были распределены следующим образом (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты психофизиологического скрининга по оценке функциональной подвижности центральной нервной системы 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; представители промежуточного типа ЦНС (n=44) покинули исследование ввиду менее выраженного воздействия условий виртуальной среды на показатели функционального состояния. 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

По результатам внутригруппового анализа динамики показателей функционального состояния ЦНС добровольцев в ответ на двигательную тренировку в виртуальной среде посредством теста простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) были получены данные, свидетельствующие о том, что статистически значимые изменения произошли только в группе ВП.

Динамика показателей ПЗМР, полученная в рамках психофизиологической оценки, указывает на то, что воздействие двигательной тренировки в виртуальной среде на показатели функционального состояния ЦНС представителей группы ВП характеризуется статистически значимым ухудшением таких показателей как: СВР, СКО и количество ошибок (табл. 2).

Таблица 2 – Динамика (внутригрупповая) показателей простой зрительно-моторной реакции до и после двигательной тренировки в виртуальной среде

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)

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 число точных реакций (ЧТР) (рис. 2).

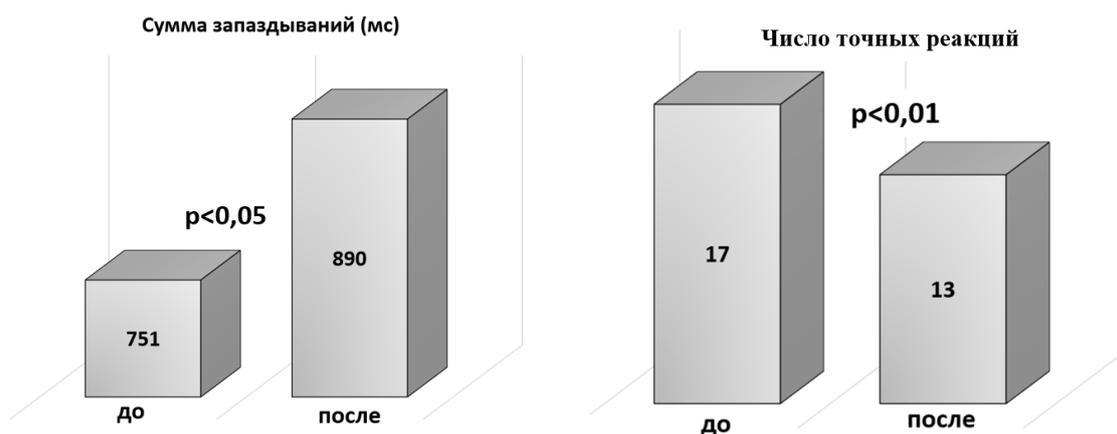


Рисунок 2 – Изменение показателей «сумма запаздываний» (мс) и число «точных реакций» в реакции на движущийся объект до и после двигательной тренировки в виртуальной реальности в группе «выраженная подвижность» (t-критерий Стьюдента)

Динамика показателей РДО, полученная только в группе ВП, также показывает, что представители данной группы замедлились в рамках осуществления пространственно-временного рефлекса и ухудшили свои результаты в таком показателе как точность реакции.

Негативный характер динамики показателей ПЗМР и РДО, могут являться свидетельством наличия 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.

Рассматривая феномен утомления на центральном уровне добровольцев группы ВП, 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.

3.2.2 Оценка variability сердечного ритма

В результате оценки фоновых значений до двигательной тренировки в виртуальной среде и данных оценки variability сердечного ритма (BCP) сразу же после нее в группе ВП было зафиксировано статистически значимое увеличение показателя относительной мощности LF%. В группе ВИ, напротив, зафиксирован статистически значимый рост показателя HF%, который отражает повышение активности парасимпатической нервной системы (табл. 3)

Таблица 3 – Динамика (внутригрупповая) показателей спектрального анализа variability сердечного ритма до и после двигательной тренировки в виртуальной среде

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)

3.2.3 Оценка субъективных ощущений после воздействия двигательной тренировки в иммерсивной среде

Данные BCP, отражающие повышенную активность симпатического отдела ВНС, также подкрепляются результатами межгруппового статистического анализа показателей субъективных ощущений студентов по шкале simulator sickness questionnaire (SSQ) после двигательной тренировки в виртуальной среде. Так, между группами ВП и ВИ после двигательной тренировки в виртуальной среде наблюдалась значимость различий по таким субъективным ощущениям как: напряжение глаз, сухость во рту, а также потливость (табл. 4).

Таблица 4 – Сравнительный межгрупповой анализ данных шкалы simulator sickness questionnaire после погружения в виртуальную среду

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)

Все вышеперечисленные субъективные ощущения были более выражены у представителей подвижного типа ЦНС и, согласно классической литературе, соответствуют повышенной активности симпатического отдела ВНС.

Отсутствие статистически значимых изменений показателей функционального состояния ЦНС представителей инертного типа 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 (табл. 2). Данное обстоятельство также подкрепляется результатами спектрального анализа ВСР и показателями субъективных ощущений студентов после сенсорных воздействий условий виртуальной среды при двигательной тренировке по шкале SSQ.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что воздействие двигательной тренировки в виртуальной среде у представителей подвижного типа ЦНС сопровождалось более напряженной адаптацией к ее условиям, что и повлекло дальнейшее ухудшение показателей функционального состояния 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 бы оказать значительное воздействие на рост активности симпатического отдела ВНС и последующее ухудшение показателей функционального состояния ЦНС участников группы ВП, однако также не стоит недооценивать и вклад аудиальной стимуляции. Поскольку выбранный сценарий двигательной тренировки в ВР 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, где указывалось, что рефлекторная активность ЦНС в ответ на различные музыкальные стили и ритмы неодинакова, а стили, которые характеризуются тяжестью и

перегруженностью инструментов могут вызывать выраженное напряжение регуляторных систем. 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 показателей функционального состояния ЦНС добровольцев в группе ВП. Актуализируя необходимость дифференцировки условий виртуальной среды в зависимости от функциональной подвижности ЦНС занимающихся иммерсивной двигательной тренировкой.

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

При реализации второго этапа 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 желая продолжить 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 (рис. 3), из них 15 человек мужского пола, 25 женского. Медиана возраста участников составила 20 лет.

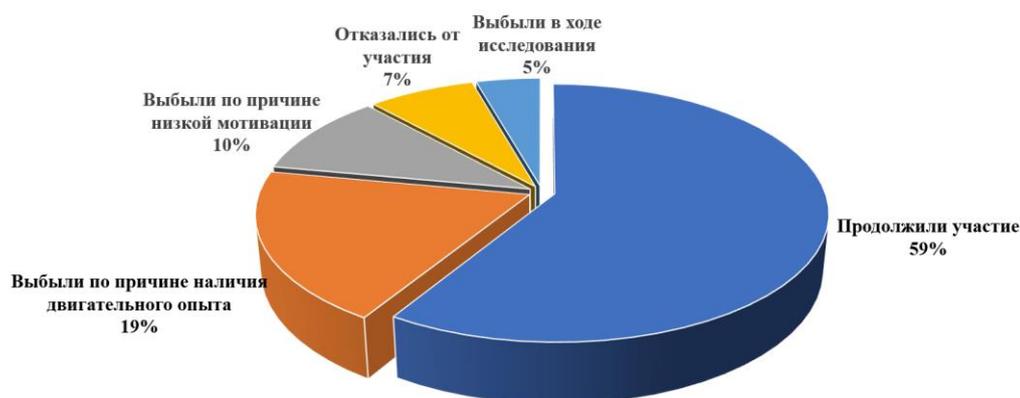


Рисунок 3 – Процентное соотношение участников, продолживших участие в исследовании и выбывших из него по разным причинам

Протокол двигательных тренировок в виртуальной среде, разработанный согласно результатам первого этапа настоящего исследования, представлен на рисунке 4.

Экспериментальная группа	Контрольная группа
<p><u>Подвижный тип ЦНС рекомендовано:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Более низкий уровень; сложности; - Менее выраженный сенсорный стимул; - Меньшая моторная плотность; - Более слабый виртуальный оппонент. 	<p><u>Более высокий уровень сложности для всех участников группы исследования</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Более выраженный сенсорный стимул; - Большая моторная плотность; - Более сильный виртуальный оппонент;
<p><u>Инертный тип ЦНС рекомендовано:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Более высокий уровень сложности; - Более выраженный сенсорный стимул; - Большая моторная плотность; - Более сильный виртуальный оппонент. 	

Рисунок 4 – Протокол иммерсивной двигательной тренировки с различными условиями виртуальной среды

3.3.1 Оценка функции постурального баланса

Результаты стабилметрической оценки в экспериментальной (ЭГ) и контрольной (КГ) группах исследования до и после эксперимента представлены в таблицах 5 -8, пробы Бондаревского в таблице 9.

Таблица 5 – Динамика показателя «площадь статокинезиограммы» (глаза открыты/закрыты) до и после тренировочного курса

Группа	До/после	Показатели стабیلοграфии	
		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 6 – 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 7 – 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 8 – 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 (W-критерий Уилкоксона)

Таблица 9 – Динамика показателей устойчивости по пробе Бондаревского до и после тренировочного курса

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)

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 (табл. 5); скорость ОЦД (мм^2), глаза открыты\закрыты (табл. 6); показателя затраченной работы (Дж), глаза закрыты (табл. 7), а также статистически значимое увеличение показателя стабильности (%), глаза открыты\закрыты (табл. 8). Результаты статистической обработки внутри групп исследования до и после эксперимента 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 виртуальной среды при полимодальном воздействии ВР при совершенствовании функции постурального баланса.

Внутригрупповой анализ результатов пробы Бондаревского до и после эксперимента показал, что статистически значимые изменения, указывающие на улучшение поддержания равновесия в одноопорном положении, произошли как в группе ЭГ, так и в группе КГ (табл. 9), 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. Наличие более выраженных значений результатов пробы Бондаревского в группе ЭГ и отсутствие значимых изменений по стабилограмме 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.

3.3.2 Оценка качества 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 виртуальной среде сценария «Beat Saber» можно считать количество набранных очков за одну сессию.

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 ВИ (табл. 10).

Таблица 10 – 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)

Дальнейший межгрупповой анализ результатов 2 серии позволил установить, что добровольцы группы ВИ статистически значимо увеличили свои показатели в сравнении с добровольцами группы ВП (табл. 11).

Таблица 11 – Межгрупповой анализ 2-й 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)

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 ВСР, а также данных шкалы SSQ.

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, как следствие, в конечном итоге снижать эффективность работы ЦНС, а, следовательно, и текущего вида деятельности.

Кроме того, статистическая обработка, позволила выявить взаимосвязь между увеличением показателя СВР после 2 серии двигательной тренировки в виртуальной среде и снижением качества деятельности (рис. 5).

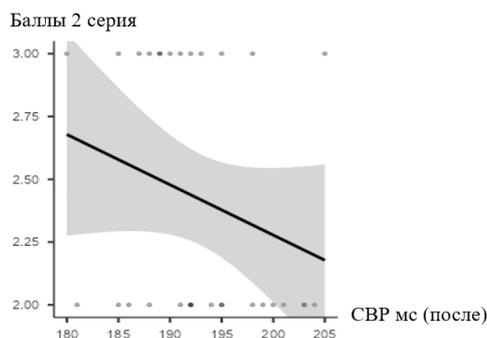


Рисунок 5 – Результаты корреляционного анализа между показателем эффективности двигательной тренировки в виртуальной среде (в баллах) и показателя среднего времени реакции в простой зрительно-моторной реакции (после).

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 в сценарии «Kinect Sports» было определено количество побед в рамках соревновательной деятельности. Межгрупповой статистический анализ после эксперимента показал, что ЭГ и КГ статистически значимо различаются по суммам побед в таких сценариях как боулинг и настольный теннис (табл. 12).

Таблица 12 – 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)

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 постурального баланса, более оптимальный процесс адаптации, а, следовательно, и более эффективное становление новых нейронных связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе 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. Также показано, что эффективность совершенствования функции постурального баланса у студентов, занимающихся двигательной тренировкой в различных условиях виртуальной среды, зависит от функциональной подвижности ЦНС.

Критериями качества деятельности студентов при двигательных тренировках в VR 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.

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 эффективности 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.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшие работы по данной тематике предполагают расширенное изучение физиологических механизмов иммерсивного обучения на примерах освоения профессий различного рода, принятия решений в экстремальных ситуациях, оценки качества иммерсивных образовательных программ, а также эффективности подготовки спортсменов в рамках фиджитал-спорта.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных Перечнем ВАК Минобрнауки РФ

1. Котов-Смоленский, А. М. Тренировка функции сохранения равновесия при низких показателях физической подготовленности средствами виртуальной реальности / А. М. Котов-Смоленский, А. С. Клочков, А. Е. Хижникова // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 4-10.
2. Влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на психофизиологические параметры и функцию равновесия в пожилом возрасте / А. Е. Хижникова, А. С. Клочков, А. М. Котов-Смоленский [и др.] // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 292-302.
3. Котов-Смоленский, А. М. Функциональные возможности ЦНС как маркер эффективности тренировочного процесса в единоборствах / А. М. Котов-Смоленский, Е. Ю. Федорова, А. В. Скотникова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2022. – Т. 212, № 10. – С. 206-210.
4. Функциональное состояние ЦНС как показатель необходимости профилактики режима дня при отсутствии должного уровня двигательной активности / А. М. Котов-Смоленский, Е. Ю. Федорова, А. Ю. Казаков, М. Ф. Захарова // Психология и педагогика спортивной деятельности. – 2022. – Т. 63, № 3-4. – С. 94-98.
5. Котов-Смоленский, А. М. Особенности изменения показателей функционального состояния центральной нервной системы в ответ на условия виртуальной среды в зависимости от характера нейродинамических процессов / А. М. Котов-Смоленский, Е. Ю. Федорова // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – 2024. – Т. 54, № 2. – С. 57-68.
6. Котов-Смоленский, А. М. Влияние иммерсивной двигательной тренировки на функцию постурального баланса у студентов с различным психофизиологическим типом / А. М. Котов-Смоленский // Вестник МГПУ «Естественные науки». – 2024. – Т. 56, № 4. – С. 22–42.

7. Котов-Смоленский, А.М. Изменчивость показателей функционального состояния центральной нервной системы при занятиях иммерсивной двигательной тренировкой / А.М. Котов-Смоленский, Е.Ю. Федорова // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 4. – С. 76-84.

Статьи, опубликованные в других изданиях

8. Котов-Смоленский, А. М. Виртуальная реальность в системе дистанционного образования: особенности, перспективы, реалии / А. М. Котов-Смоленский // Студенческий научный форум - 2020: сборник трудов научно-практической конференции со Всероссийским участием, Москва, 28 ноября 2020 года / АНО «Институт профессионального развития персонала», научный журнал «Вопросы профессионального развития персонала». – Москва: Институт профессионального развития персонала, 2020. – С. 66-72.

9. Федорова, Е. Ю. Тренировки в виртуальной среде как метод реализации элективных курсов по физической культуре» / Е. Ю. Федорова, А. М. Котов-Смоленский // Большая конференция МГПУ: сборник тезисов: в 3 т., Москва, 28–30 июня 2023 года / Московский городской педагогический университет. Том 1. – Москва: Издательство ПАРАДИГМА, 2023. – С. 185-188.

Публикации, индексируемые в Scopus/ Web of Science

10. Особенности динамики показателей функционального состояния центральной нервной системы при когнитивно-моторной тренировке в виртуальной среде / А. М. Котов-Смоленский, Л. В. Соколова, А. А. Зимин [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 31-38.

Патенты

11. Патент № 2781120 С1 Российская Федерация, МПК А61Н 1/00. Способ реабилитационных мероприятий у пациентов с нарушением статического и динамического равновесия: № 2021136742: заявл. 13.12.2021: опубл. 05.10.2022 / А. Е. Хижникова, А. С. Клочков, А. М. Котов-Смоленский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научный центр неврологии".

12. Патент № 2781674 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/11, А61В 5/16, А61Н 1/00. Способ двигательной реабилитации неврологических пациентов в виртуальной реальности посредством многопользовательской тренировки с учетом психологического профиля пациента: № 2021134527: заявл. 25.11.2021: опубл. 17.10.2022 / А. С. Клочков, А. Е. Хижникова, А. М. Котов-Смоленский [и др.]; заявитель Публичное акционерное общество "Сбербанк России".