

УДК 612.8

DOI: 10.25688/2076-9091.2024.54.2.05

Котов-Смоленский Артем Михайлович¹,
Федорова Елена Юрьевна²

^{1,2} *Московский городской педагогический университет,
Россия, Москва*

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ОТВЕТ НА УСЛОВИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В статье рассматривается динамика показателей функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) в ответ на особенности виртуальной среды, в которой реализована когнитивно-моторная деятельность.

В исследовании приняли участие 50 здоровых добровольцев. Посредством психофизиологических скрининговых мероприятий и центильного анализа, для дальнейшей реализации эксперимента, были получены две группы исследования — «выраженная подвижность нервных процессов» ВПНП ($n = 14$) и «выраженная инертность нервных процессов» ВИНП ($n = 13$). Оценка экспериментальной деятельности производилась с помощью метода регистрации сенсомоторных реакций: использовались простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР) и реакция на движущийся объект (РДО). Также применялся метод инструментальной оценки частоты сердечных сокращений (ЧСС). Статистическая обработка проводилась с помощью критериев Уилкоксона и Манна – Уитни, статистически значимыми считали показатели, достигшие значения $p < 0,05$.

В рамках оценки экспериментальной деятельности были получены статистически значимые результаты ($p < 0,05$), указывающие на ухудшение функционального состояния ЦНС в ответ на условия виртуальной среды (в которой был реализован нагрузочный тест) у добровольцев группы ВПНП.

Результаты настоящего исследования указывают на необходимость моделирования условий виртуальной среды, в которой реализуется когнитивно-моторная деятельность, в зависимости от особенностей нейродинамической организации сенсомоторных реакций.

Ключевые слова: виртуальная реальность, сенсорное воздействие, сенсомоторные реакции, функциональное состояние центральной нервной системы, когнитивно-моторная деятельность

UDC 612.8

DOI: 10.25688/2076-9091.2024.54.2.05

Kotov-Smolensky Artem Mikhailovich¹,
Fedorova Elena Yurievna²

^{1,2} *Moscow City University,
Russia, Moscow*

FEATURES OF CHANGES IN INDICATORS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM IN RESPONSE TO THE CONDITIONS OF THE VIRTUAL ENVIRONMENT DEPENDING ON THE NATURE OF NEURODYNAMIC PROCESSES

Abstract. The article examines the dynamics of indicators of the functional state of the central nervous system (CNS) in response to the features of the virtual environment in which cognitive-motor activity is implemented.

50 healthy volunteers took part in the study. Through psychophysiological screening measures and centile analysis, for the further implementation of the experiment, two groups of studies were obtained: «pronounced mobility of nervous processes» VPNP ($n = 14$) and «pronounced inertia of nervous processes» VINP ($n = 13$). The evaluation of the experimental activity was performed by means of the method of recording sensorimotor responses: simple visual-motor response and moving object response were used. The instrumental heart rate (HR) estimation method was also applied. Statistical processing was carried out using the Wilcoxon and Mann – Whitney criteria; indicators that reached the $p < 0.05$ value were considered statistically significant.

As part of the evaluation of the experimental activity, statistically significant results were obtained ($p < 0.05$) indicating a deterioration in the functional state of the CNS in response to the conditions of the virtual environment (in which the exercise test was implemented) in the volunteers of the VPNP group.

The results of the present study indicate the need to model the conditions of the virtual environment in which cognitive-motor activity is realized, depending on the features of the neurodynamic organization of sensorimotor reactions.

Keywords: virtual reality, sensory impact, sensorimotor reactions, functional state of the central nervous system, cognitive-motor activity

Введение

Цифровизация современного общества стремительно развивается [3]. Сегодня деятельность человека теснейшим образом связана с использованием высокотехнологичных устройств, что призвано оптимизировать или улучшить результат деятельности человека.

Одной из таких технологий является виртуальная реальность (VR). Ввиду технических возможностей виртуальной среды формировать иллюзию правдоподобия [6], погруженный в VR пользователь способен достигать психофизиологического состояния, которое носит название «эффект присутствия» [7–9].

В рамках таких состояний человек не только верит в то, что происходит в виртуальном мире, но и испытывает влияние мультимодального сенсорного потока, способного оказать значимое физиологическое воздействие на организм. В отдельных трудах было продемонстрировано, что сенсорное воздействие VR может оказывать анальгезирующее воздействие при серьезных ожогах [5, 10], снижать болевые ощущения при хронических состояниях [4, 11], однако у авторов не было полного понимания механизмов, отражающих связи индивидуальных физиологических особенностей организма исследуемых с положительным или негативным сенсорным влиянием VR. Одной из таких индивидуальных особенностей могла являться функциональная организация ЦНС. В связи с этим изучение изменения показателей работоспособности ЦНС в ответ на условия виртуальной среды (в которой реализуется какой-либо вид деятельности), в зависимости от характера нейродинамических процессов, делает актуальным проведение настоящего исследования.

Цель исследования: оценить динамику показателей функциональных состояний ЦНС в ответ на условия виртуальной среды, в которой реализована когнитивно-моторная деятельность.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе лаборатории возможностей человека Института естествознания и спортивных технологий МГПУ. В нем приняли участие 50 здоровых добровольцев зрелого возраста.

Исследование было одобрено этической комиссией института. Каждый участник исследования перед началом эксперимента получил подробное описание особенностей экспериментальной деятельности, после чего были подписаны информированные согласия.

Инструментальная оценка

Для оценки особенностей нейродинамической организации сенсомоторных реакций в качестве скрининговых мероприятий, а также для оценки экспериментальной деятельности использовался аппарат психофизиологической инструментальной оценки УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (Медиком, Таганрог, Россия). В рамках применения аппарата «Психофизиолог» были использованы: тест простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), а также тест реакции на движущийся объект (РДО).

Тест ПЗМР

Для оценки функциональной подвижности нервных процессов и динамики показателей функциональных состояний ЦНС использовался тест ПЗМР, который представляет собой элементарную произвольную реакцию человека в ответ на зрительный стимул.

Для анализа теста ПЗМР отбирались следующие показатели: среднее время реакции (СВР), стандартное квадратичное отклонение (СКО), суммарное количество ошибок, количество упреждающих реакций, уровень активации ЦНС.

Тест РДО

Тест РДО представляет собой сложный пространственно-временной рефлекс, использование которого предназначено для определения сбалансированности тормозных и возбуждающих процессов ЦНС. В основе данного теста можно диагностировать функциональное состояние ЦНС, сенсомоторную деятельность, развитие утомления и переутомления, уровень тренированности и степень точности двигательных действий.

Для анализа теста РДО отбирались такие показатели, как: число точных реакций, число нормальных реакций (ЧНР), количество запаздываний, количество опережений, сумма запаздываний, сумма опережений.

Оценка частоты сердечных сокращений

С целью определения интенсивности двигательной нагрузки, в течение нагрузочного теста и по его окончании, проводилась регистрация показателей ЧСС с помощью фитнес-браслета Mi Smart Band 5 (Xiaomi, Китай). Для дальнейшего анализа реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку отбирались показатели ЧСС, которые были зарегистрированы сразу же по окончании когнитивно-моторной деятельности в ВР.

Проводник в виртуальную среду

Для погружения в виртуальную среду использовались очки виртуальной реальности «Oculus Quest» (Meta, США, Калифорния) — портативное устройство, позволяющее пользователям погружаться в условия виртуального мира. Особенность данной версии очков заключается в отсутствии проводов и необходимости коммутации с дополнительными цифровыми устройствами. С помощью Oculus Quest создание условий для погружения в виртуальную среду занимает несколько минут. Для корректной работы с технологией необходимо стабильное интернет-соединение, а также наличие свободного пространства.

Взаимодействие с виртуальной средой в рамках полного погружения может осуществляться несколькими путями:

1. Использование технологии hand tracking — взаимодействие со средой посредством отслеживания специальными датчиками движений кистей рук, что позволяет управлять и манипулировать виртуальными предметами, имитируя различные виды хватов (шарообразный, цилиндрический, щипковый). Однако отсутствие тактильных ощущений в рамках сенсорной обратной связи может снижать качество погружения в виртуальное пространство, что необходимо брать во внимание при изучении характера сенсорных воздействий ВР.

2. Использование специальных контроллеров, которые с помощью комбинации кнопок позволяют моделировать управление виртуальной кистью, взаимодействовать и манипулировать виртуальными предметами и событиями в виртуальной среде. Наличие контроллеров позволяет получать сенсорный отклик в процессе выполняемых движений, что также может сказаться на качестве ощущений пребывания в виртуальной среде.

Для реализации экспериментальной деятельности был выбран метод взаимодействия с виртуальной средой посредством контроллеров.

Виртуальный нагрузочный тест

Нагрузочные мероприятия в виртуальной среде проводились с использованием коммерческого виртуального сценария Beat Saber, который подразумевает осуществление двигательной деятельности под ритмическое музыкальное сопровождение. Особенность нагрузочного теста заключается в том, что помимо выполнения двигательных задач пользователь параллельно задействует такие высшие психические функции, как целенаправленное разделенное внимание, программирующий контроль, а также выполнение двойной задачи, что в совокупности требует вовлечения в работу множества структур ЦНС.

Сила сенсорного стимула в сценарии Beat Saber регулируется посредством изменения его уровня сложности. Так, сложные уровни сценария могут характеризоваться более перегруженной музыкальной композицией и усложненным ритмическим рисунком, большим количеством визуальных событий и потенциальных двигательных действий, что, в свою очередь, будет оказывать более выраженное влияние на ведущие анализаторы, обеспечивающие взаимодействие с виртуальной средой.

Добровольцам обеих групп в рамках сенсорного воздействия были предоставлены одни и те же условия виртуальной среды на уровне сложности «нормальный»:

- стиль музыки drum 'n' bass (175 уд/мин);
- количество виртуальных кубов, предъявляемых за одну сессию, — 195;
- две полноценные сессии погружения в VR по 2 минуты 48 секунд каждая.

В качестве речевых инструкций исследуемым предлагалось выполнять высокоамплитудные двигательные действия верхними конечностями.

Статистическая обработка результатов исследования

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Jamovi version 2.4.7. Вычисляли медиану (Me) и интерквартильный размах 25–75 (LQ–HQ). Достоверность различий оценивали с помощью критерия Уилкоксона и критерия Манна – Уитни. При проверке всех гипотез в качестве уровня значимости был принят уровень $p < 0,05$.

Результаты исследования

По результатам теста ПЗМР, в рамках предварительного скрининга, на выборке в 50 человек были получены результаты, отражающие достаточно высокую вариабельность показателя СВР (табл. 1).

Таблица 1

Результаты теста простой зрительно-моторной реакции, отражающие показатель «среднее время реакции»

Тест ПЗМР: среднее время реакции (мс, $n = 50$)	
Среднее отклонение	219,900
Стандартное отклонение	19,2293
25 %	207,000
Медиана	216,500
75 %	232,500

На начальном этапе математического анализа была проведена первичная статистическая обработка для выявления средних величин и интерквартильного размаха показателя СВР в тесте ПЗМР, с целью определения функциональной подвижности нервных процессов. В итоге были получены следующие результаты: у 14 добровольцев — подвижный тип ЦНС, у 13 — инертный тип ЦНС, у 23 — промежуточный тип ЦНС (рис. 1).

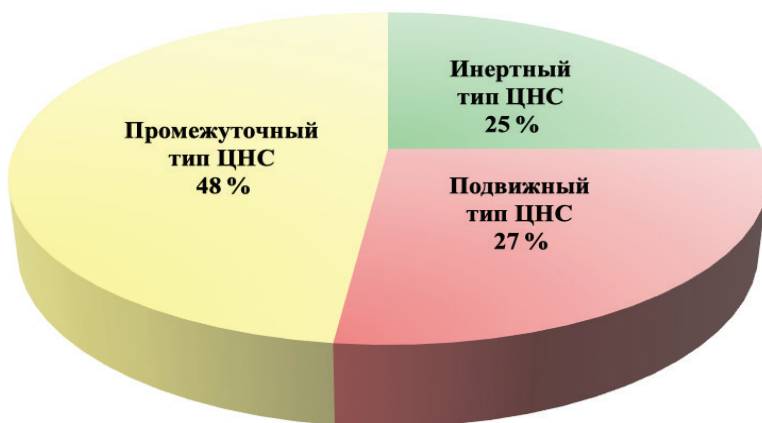
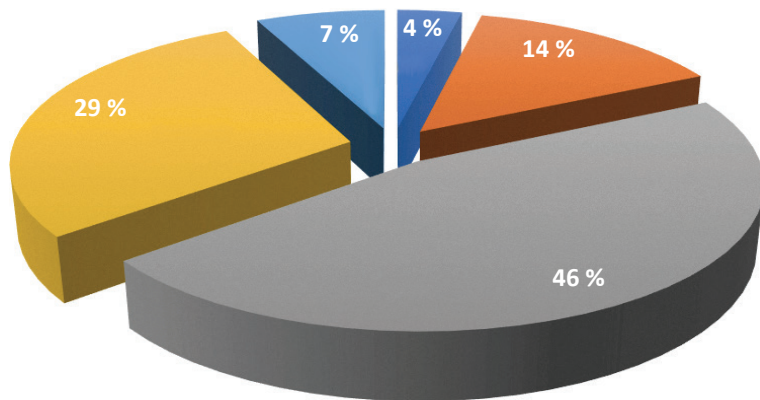


Рис. 1. Процентное соотношение обследованных ($n = 50$) в зависимости от выраженности функциональной подвижности нервных процессов

С целью получения более выраженного физиологического эффекта дальнейшее формирование групп исследования производилось посредством отбора представителей подвижного и инертного типов ЦНС. Так, группу с выраженной подвижностью нервных процессов (ВПНП) составили 14 добровольцев с показателем СВР < 207 мс, а группу с выраженной инертностью нервных процессов (ВИНП) — 13 исследуемых со значением СВР $> 232,5$ мс.

Результаты оценки средних величин ЧСС после нагрузочного теста

Оценка ЧСС после нагрузочного теста в ВР показала достаточно высокую вариабельность показателя в зависимости от индивидуальных особенностей испытуемых (рис. 2).



Примечание: 4 % — <120 уд/мин; 7 % — >150 уд/мин; 14 % — 120 > 130 уд/мин; 29 % — 130 > 140 уд/мин; 46 % — 140 > 150 уд/мин.

Рис. 2. Процентное соотношение показателей ЧСС добровольцев обеих групп исследования ($n = 27$) после нагрузочного теста в ВР

Определение средних величин ЧСС после двигательной нагрузки в виртуальной среде позволило установить, что для группы ВПНП медиана показателя составила 140 уд/мин, тогда как для группы ВИНП медиана достигла значений 141 уд/мин (табл. 2).

Таблица 2

Результаты показателей ЧСС, отражающие реакцию организма на нагрузочный тест в ВР

Оценка ЧСС после нагрузочного теста в ВР в группах исследования		
Показатели	ВПНП	ВИНП
Среднее отклонение	138	138
Стандартное отклонение	8,78	9,52
25 %	133	132
Медиана	140	141
75 %	145	145
<i>p</i> -value	$p = 0,854$	

Дальнейший межгрупповой анализ показателей ЧСС после нагрузочного теста в ВР позволил установить, что статистически значимых различий в группах испытуемых не наблюдалось.

Результаты теста простой зрительно-моторной реакции

По результатам внутригруппового анализа теста ПЗМР до и после нагрузочного теста в ВР достоверные изменения произошли только в группе ВПНП.

Так, наблюдалось статистически значимое увеличение показателя СКО, а также статистически значимое снижение показателя «уровень активации ЦНС». В группе ВИНП достоверных изменений между показателями теста ПЗМР сравниваемых до и после нагрузочного теста в виртуальной среде не наблюдалось (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты внутригруппового анализа показателей теста ПЗМР
до и после эксперимента**

Группы исследования	Показатели	До (Me)	После (Me)	<i>p</i> -value
ВПНП (<i>n</i> = 14)	СВР (мс)	202,5	206	0,184
	СКО (мс)	36	49	0,009
	Уровень активации ЦНС (ye)	4	3,5	0,019
ВИНП (<i>n</i> = 13)	СВР (мс)	239	239	0,879
	СКО (мс)	41	50,5	0,615
	Уровень активации ЦНС (ye)	3	3	0,793

Результаты теста «реакция на движущийся объект»

По результатам внутригруппового анализа показателей теста РДО (до и после нагрузочных мероприятий в ВР) статистически значимые изменения, как и в тесте ПЗМР, наблюдались исключительно в группе ВПНП. Так, было обнаружено статистически значимое увеличение показателя ЧНР, а также статистически значимое снижение показателя «сумма опережений» (рис. 3).

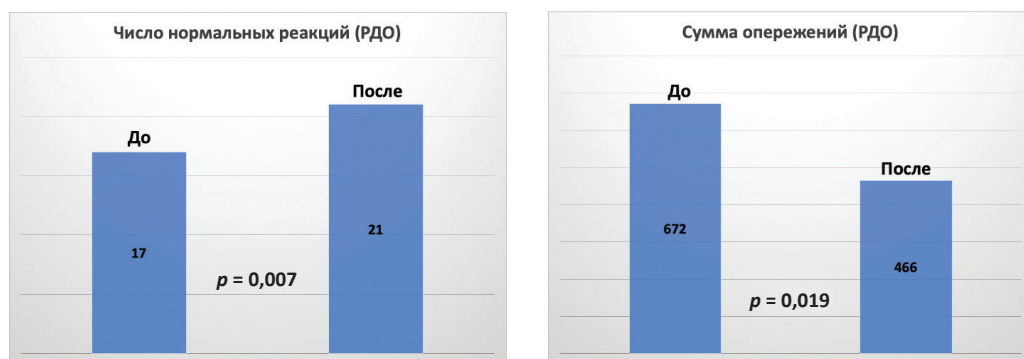


Рис. 3. Динамика показателей теста РДО в группе ВП до и после когнитивно-моторной деятельности в виртуальной среде

Статистически значимое изменение показателя ЧНР в тесте РДО в группе ВПНП имеет взаимосвязь с достоверным снижением показателя «сумма опережений», что может расцениваться как более выраженное влияние тормозного процесса в ЦНС обследуемых после когнитивно-моторной деятельности

в условиях виртуальной среды. Данное обстоятельство также подкрепляется результатами теста ПЗМР, где статистически значимо увеличился показатель СКО и достоверно снизился показатель «уровень активации ЦНС».

Наблюдаемые изменения вероятно являются следствием процесса срочной адаптации к нагрузочным мероприятиям в виртуальной среде и ее сенсорным воздействиям. Ухудшение функциональных состояний ЦНС представителей группы ВПНП характеризуется наличием первичных признаков утомления на центральном уровне, что может влиять на снижение качества формирования новых нервных связей. Очевидно, наличие признаков утомления в ЦНС может явиться следствием более выраженной напряженной работы регуляторных механизмов в рамках адаптации к условиям виртуальной среды и в конечном счете снижать качество какой-либо деятельности представителей группы ВПНП в ВР.

Визуальный сенсорный поток

Учитывая особенности сенсорного воздействия виртуальной среды на функциональное состояние ЦНС в группе ВПНП, особое внимание стоит уделить визуальной стимуляции, поскольку основное сенсорное восприятие виртуальной среды осуществлялось посредством зрительной функции. Опираясь на данный факт можно предположить, что количество зрительной сенсорной информации в совокупности с организацией двигательной деятельности и решением когнитивных задач могли явиться следствием снижения функционального состояния ЦНС в предоставленных условиях виртуальной среды у исследуемых с подвижным типом ЦНС. Очевидно, что в рамках зрительного восприятия условий виртуальной реальности необходим подбор ее условий посредством регулировки уровня сложности в зависимости от особенностей нейродинамической организации сенсомоторных реакций. Условия виртуального сценария могут моделироваться посредством изменения: скорости визуальных событий, количества и сложности когнитивных задач, сложности виртуального оппонента (если таковой подразумевается).

Интенсивность нагрузки двигательной деятельности в ВР

Стоит также взять во внимание, что нагрузочный тест в ВР подразумевал двигательную деятельность определенной интенсивности. Можно было бы предположить, что вклад в ухудшение функционального состояния ЦНС в группе ВПНП могла внести излишняя двигательная активность в рамках ВР-теста. Однако регистрация показателей ЧСС, отражающих реакцию на нагрузку, показала, что большинство исследуемых (89 %, см. рис. 2) работали преимущественно в пульсовой зоне от 120 до 145 уд/мин, что можно классифицировать как нагрузку умеренной интенсивности. Более того, отсутствие статистически значимых различий средних величин ЧСС после эксперимента между ВПНП и ВИНП указывает на адекватный подбор интенсивности двигательных действий нагрузочного теста в ВР, поскольку в ВИНП ухудшения функционального состояния ЦНС не наблюдалось.

Аудиальный сенсорный поток

Еще одной особенностью виртуальной среды и нагрузочного теста, способных оказать значимое влияние на ухудшение функционального состояния ЦНС в группе ВПНП, могла стать аудиальная стимуляция. Поскольку нагрузочный тест в ВР подразумевал выполнение определенных двигательных действий под музыкальное сопровождение, то сама музыка виртуального сценария могла явиться фактором, в основе которого лежал механизм развития первичных признаков утомления на центральном уровне у исследуемых группы ВПНП. Известно, что музыка способна оказывать разное физиологическое воздействие на функциональное состояние ЦНС в зависимости от жанра, скорости, а также индивидуально-типологических особенностей слушателя. Так, например, было выявлено, что музыка, содержащая перегруженные гитары с выраженным акцентом ударных инструментов, может приводить к более напряженной работе регуляторных систем, тогда как спокойная классическая музыка, напротив, оптимизирует их работу [1, 2].

В настоящей работе, при реализации нагрузочного теста в ВР, виртуальный сценарий содержал музыкальное сопровождение с выраженно-быстрым ритмическим рисунком (ударные инструменты в стиле drum 'n' bass), скорость 175 уд/мин. Подобный музыкальный стиль вполне мог стать причиной, в рамках которой рефлекторный ответ ЦНС представителей подвижного типа характеризовался наличием первичных признаков утомления ЦНС. Очевидно, что при подборе условий виртуальной среды, помимо зрительного сенсорного потока, необходим учет вклада аудиальной стимуляции, способной влиять на изменения функциональных состояний ЦНС.

Заключение

Результаты настоящего исследования показывают, что в зависимости от характера нейродинамических процессов сенсорная стимуляция в виртуальной реальности (при неадекватном подборе условий среды) может служить фактором, приводящим к развитию первичных признаков утомления на центральном уровне, что в конечном счете будет влиять на качество реализуемой в ВР деятельности.

Зарегистрированные в группе ВПНП показатели, отражающие функциональное состояние ЦНС, свидетельствуют о необходимости дифференциации условий виртуальной среды в зависимости от характера нейродинамических процессов.

При интенсивности двигательной нагрузки в ВР в зоне умеренной физиологической мощности необходим учет визуальной и аудиальной стимуляции виртуальной среды, которые должны носить облегченный характер для представителей подвижного типа ЦНС.

Дальнейшие перспективы исследования

Фактором, лимитирующим более широкое понимание физиологических процессов в группе ВПНП, является отсутствие оценки такой типологической особенности ЦНС, как тревожность, а также влияние музыкального стиля на процессы регуляции сердечного ритма.

В литературе накоплено достаточное количество данных о том, что как тревожность, так и напряженная регуляция сердечного ритма способны оказывать значимое влияние на поведенческие реакции индивида и, как следствие, снижать качество приспособительной деятельности.

Опираясь на вышесказанное, в рамках дальнейшей разработки исследуемой проблемы видится необходимым изучить влияние на качество приспособительных реакций в виртуальной среде такой типологической особенности, как тревожность, и выраженной напряженности сердечного ритма.

Список источников

1. Матохина А. А. Исследование влияния классической музыки на функциональное состояние людей различных профессий // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ «Грани познания». 2013. № 2 (22). С. 69–72. URL: <http://grani.vspu.ru/files/publics/1367241239.pdf>
2. Матохина А. А. Оценка изменения функционального состояния подростков под воздействием музыки различных стилей в условиях профильного летнего лагеря // Научное обозрение. Биологические науки. 2015. № 1. С. 109–109. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14904&ysclid=lubiafekla573593894>
3. Чернов И. В. Цифровизация как тенденция развития современного общества: специфика научного дискурса // Гуманитарий Юга России. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-kak-tendentsiya-razvitiya-sovremennogo-obschestva-spetsifika-nauchnogo-diskursa/viewer>
4. Mallari B. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis / B. Mallari, E. K. Spaeth, H. Goh, B. S. Boyd // J Pain Res. 2019. № 12. P. 2053–2085. DOI: 10.2147/JPR.S200498
5. Pourmand A. Virtual reality as a clinical tool for pain management / A. Pourmand, S. Davis, A. Marchak et al. // Curr Pain Headache Rep. 2018. № 22 (8). P. 1–6. DOI: 10.1007/s11916-018-0708-2
6. 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. № 3 (59). P. 1–10. DOI: 10.3389/neuro.08.059.2009
7. Schubert T. W. A new conception of spatial presence: Once again, with feeling // Communication Theory. 2009. № 19 (2). P. 161–187. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2009.01340.x>
8. Skarbez R. A preliminary investigation of place illusion and plausibility illusion // IEEE Virtual Reality (VR) Doctoral Consortium. 2015. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Plausibility-illusion-in-virtual-environments-Skarbez/bca896b4f64f55550676af-2829be1a08aafc15ba>

9. Skarbez R. A Psychophysical Experiment Regarding Components of the Plausibility Illusion / R. Skarbez, S. Neyret, F. P. Brooks et al. // *IEEE Trans Vis Comput Graph*. 2017. № 23 (4). P. 1369–1378. DOI: 10.1109/TVCG.2017.2657158
10. Spiegel B. Virtual reality for management of pain in hospitalized patients: a randomized comparative effectiveness trial / B. Spiegel, G. Fuller, M. Lopez et al. // *PLoS One*. 2019. № 14 (8). P. 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0219115
11. Tack C. Virtual reality and chronic low back pain // *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2019. № 20. P. 1–9. DOI: 10.1080/17483107.2019.1688399

References

1. Matokhina A. A. Study of the influence of classical music on the functional state of people in various professions // *Electronic scientific and educational journal of VGSPU «Edges of knowledge»*. 2013. № 2 (22). P. 69–72. (In Russ.). URL: <http://grani.vspu.ru/files/publics/1367241239.pdf>
2. Matokhina A.A. Assessment of changes in the functional state of teenagers under the influence of music of various styles in a specialized summer camp // *Scientific Review. Biological Sciences*. 2015. № 1. P. 109–109. (In Russ.). URL: <https://science-education.ru/article/view?id=14904&ysclid=lubiafekla573593894>
3. Chernov I. V. Digitalization as a trend in the development of modern society: the specifics of scientific discourse // *Humanitarian of the South of Russia*. 2021. № 1. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-kak-tendentsiya-razvitiya-sovremennogo-obschestva-spetsifika-nauchnogo-diskursa/viewer>
4. Mallari B. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis / B. Mallari, E. K. Spaeth, H. Goh, B. S. Boyd // *J Pain Res*. 2019. № 12. P. 2053–2085. DOI: 10.2147/JPR.S200498
5. Pourmand A. Virtual reality as a clinical tool for pain management / A. Pourmand, S. Davis, A. Marchak et al. // *Curr Pain Headache Rep*. 2018. № 22 (8). P. 1–6. DOI: 10.1007/s11916-018-0708-2
6. 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. № 3 (59). P. 1–10. DOI: 10.3389/neuro.08.059.2009
7. Schubert T. W. A new conception of spatial presence: Once again, with feeling // *Communication Theory*. 2009. № 19 (2). P. 161–187. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2009.01340.x>
8. Skarbez R. A preliminary investigation of place illusion and plausibility illusion // *IEEE Virtual Reality (VR) Doctoral Consortium*. 2015. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Plausibility-illusion-in-virtual-environments-Skarbez/bca896b4f64f5550676af2829be1a08aafc15ba>
9. Skarbez R. A Psychophysical Experiment Regarding Components of the Plausibility Illusion / R. Skarbez, S. Neyret, F. P. Brooks et al. // *IEEE Trans Vis Comput Graph*. 2017. № 23 (4). P. 1369–1378. DOI: 10.1109/TVCG.2017.2657158
10. Spiegel B. Virtual reality for management of pain in hospitalized patients: a randomized comparative effectiveness trial / B. Spiegel, G. Fuller, M. Lopez et al. // *PLoS One*. 2019. № 14 (8). P. 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0219115
11. Tack C. Virtual reality and chronic low back pain // *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2019. № 20. P. 1–9. DOI: 10.1080/17483107.2019.1688399