

<https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-2-66-74>

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ПРИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

ТАРАСОВА И. В. *, НИКИТЕНКО М. С.², ТРУБНИКОВА О. А.¹, КУХАРЕВА И. Н.¹, КУПРИЯНОВА Д. С.¹, СОСНИНА А. С.¹, БАРБАРАШ О. Л.¹

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», г. Кемерово, Россия

² ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», г. Кемерово, Россия

Резюме

Цель. Апробация методики оценки психофизиологического состояния оператора при виртуализации рабочего информационного пространства на основе психофизиологических и электроэнцефалографических (ЭЭГ) параметров.

Материалы и методы. В эксперименте приняли участие 10 практически здоровых мужчин-правшей в возрасте от 25 до 45 лет, у которых оценивалось психофизиологическое состояние до, в процессе и по завершении работы в очках виртуальной реальности (ВР). Все участники имели высшее образование, нормальное или скорректированное до нормального зрение и опыт использования компьютера. Исследование психофизиологического состояния включало в себя неврологический осмотр, расширенное психометрическое тестирование с оценкой уровня функциональной подвижности нервных процессов (УФП) (время реакции, частота ошибок, количество пропущенных сигналов), работоспособности головного мозга (РГМ) в режиме «обратной связи» (время реакции, частота ошибок и пропущенные сигналы), оценку функций внимания (количество обработанных знаков на 1-й и 4-й минуте корректурной пробы Бурдона, объем внимания), кратковременной памяти (запоминание предъявляемых визуально 10 слов, 10 чисел и 10 бессмысленных слогов), пространственного восприятия, а также регистрацию многоканальной компьютерной ЭЭГ в состоянии покоя.

Результаты. Обнаружено, что ухудшение пси-

хометрических показателей после когнитивной нагрузки в ВР наблюдается только в наиболее сложных для выполнения заданиях: количество ошибок возросло на 93% в тесте РГМ и на 65% в тесте распределения внимания. Анализ ЭЭГ-данных показал, что после выполнения заданий в ВР у испытуемых мощность биопотенциалов дельта ритма уменьшилась на 28%, тета1 - на 13%, в то время как альфа1 ритм возрос на 96%. Предполагается, что наблюдаемые ЭЭГ-изменения соответствуют паттернам активации коры головного мозга, связанным с выполнением когнитивной нагрузки и возникающим утомлением.

Заключение. Разработанная парадигма экспериментального исследования с определением психофизиологического состояния человека до и после работы испытуемых в ВР показала приемлемую субъективную трудность и переносимость ВР согласно психофизиологическим показателями и может быть использована для целевой группы испытуемых.

Ключевые слова: психометрическое тестирование, ЭЭГ, когнитивная нагрузка, виртуальная реальность, человеко-машинный интерфейс, виртуальное рабочее пространство.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта №20-48-420017.

Для цитирования:

Тарасова И. В., Никитенко М. С., Трубникова О. А., Кухарева И. Н., Куприянова Д. С., Соснина А. С., Барбараш О. Л. Апробация методики оценки психофизиологического состояния оператора при виртуализации рабочего информационного пространства. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2021;6(2): 66-74. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-2-66-74>

*Корреспонденцию адресовать:

Шангина Ольга Анатольевна, 650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, д. 22а, e-mail: shangina@yandex.ru
© Шангина О.А. и др.

ORIGINAL RESEARCH

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHANGES DURING WORKSPACE VIRTUALIZATION

IRINA V. TARASOVA^{1**}, MIKHAIL S. NIKITENKO², OLGA A. TRUBNIKOVA¹, IRINA N. KUKHAREVA¹,
DARIA S. KUPRIYANOVA¹, ANASTASIA S. SOSNINA¹, OLGA L. BARBARASH¹

¹Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

²Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

Aim. To estimate psychophysiological changes during workspace virtualization.

Materials and Methods. We evaluated the psychophysiological profile of 10 healthy right-handed males aged 25 to 45 years before, during and after the working in a virtual reality (VR) headset. All participants had higher education, normal or corrected to normal vision, and were experienced computer users. Psychometric testing included a neurological examination, assessment of functional and feedback-related brain activity (reaction time, errors, and missed signals) and attention span, quantification of processed symbols in the 1st and 4th minutes of Bourdon test, analysis of short-term memory (10 words, 10 numbers and 10 meaningless syllables memorization) and spatial perception, and multi-channel electroencephalography recording in rest.

Results. Deterioration of psychometric indicators after a cognitive load in a VR headset was documented only in the most difficult tasks: the number of errors increased by 93% in the brain performance

test and by 65% in the attention distribution test. The analysis of electroencephalography data showed that the delta rhythm and theta1 rhythm activity decreased by 28 and 13%, respectively, after working in a VR headset as compared to baseline values, while alpha1 rhythm activity increased by 96%. Probably, the observed electroencephalography changes corresponded to the patterns of brain activation associated with cognitive load and the resulting fatigue.

Conclusions. We developed a suitable approach for the psychometric testing before and after working in VR headset, which demonstrated general tolerance and acceptable subjective difficulties to VR load.

Keywords: psychometric testing, electroencephalography, cognitive load, virtual reality, human-machine interface, virtual workspace.

Conflict of Interest

None declared.

Funding

The study was funded by Russian Foundation for Basic Research and Kemerovo Region, project №20-48-420017.

◀ English

For citation:

Irina V. Tarasova, Mikhail S. Nikitenko, Olga A. Trubnikova, Irina N. Kukhareva, Daria S. Kupriyanova, Anastasia S. Sosnina, Olga L. Barbarash. Psychophysiological changes during workspace virtualization. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2021;6(2): 66-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2021-6-2-66-74>

**Corresponding author:

Dr. Irina V Tarasova, 6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation, e-mail: iriz78@mail.ru

© Dr. Irina V. Tarasova et al.

Введение

Исследование влияния виртуальной реальности (ВР) на психофизиологическое состояние человека является в настоящее время особенно актуальным. ВР призвана обеспечить взаимодействие человека с информационной реальностью, максимально приближенной к обычным условиям его учебной или профессиональной деятельности. ВР-технологии являются эффективным средством для решения целого класса организационных и экономиче-

ских задач: когда безопаснее и дешевле осуществить предварительные виртуальные обучение, тренировки, испытания, чем делать это в реальности. Наиболее перспективным представляется ее использование в подготовке и профессиональной деятельности тех специалистов, деятельность которых представляет определенный риск или угрозу их жизни. Предположительно, применение технологий ВР может способствовать ускорению процесса обучения, инструктажа, процесса проекти-

рования и прототипирования объектов, когнитивного тренинга [1-6].

Погружение в виртуальную информационную среду может приводить к ряду отрицательных последствий и зависит от таких факторов, как индивидуальные особенности пользователей систем VR, технические характеристики систем VR, специфика выполняемых задач [7; 8]. Может формироваться зависимость от сверхстимуляции, от предельных раздражителей, сопровождающих применение технологии VR [8; 9].

Исследование влияния VR на психику человека в настоящее время связано преимущественно с влиянием компьютерных игр, где виртуальная среда отличается высокой динамичностью. Влияние VR на человека в статических условиях практически не исследовано. С другой стороны, некоторые авторы [10;11] показали, что непродолжительное пребывание в дидактической VR улучшает характеристики мышления, показатели устойчивости и концентрации внимания, способности к обобщению и классификации, снижает параметры переключения внимания.

Пребывание в VR зачастую сопровождается наблюдением испытуемыми перемещения виртуальной среды, при неподвижности их положения, что создает иллюзию движения собственного тела или перемещения тела человека в пространстве (векцию) [12; 13]. В связи с этим возникает комплекс негативных последствий, таких как головокружение и потеря ориентации в пространстве. Можно предположить, что наблюдение неподвижных объектов испытуемыми в VR не вызовет подобного эффекта. Вместе с тем, есть также исследования, которые показывают, что системы виртуальной и дополненной реальности, содержащие в основном неподвижные текст или графику, могут увеличить количество обрабатываемой мозгом информации [14–17]. Baumeister et al. [18] оценивали показатели когнитивной нагрузки трех технологий дополненной реальности: дисплей на основе проектора, Microsoft HoloLens и Samsung Gear VR с инструкциями на мониторе и обнаружили, что ограничение поля зрения увеличивает когнитивную нагрузку.

Таким образом, одной из непростых задач, стоящих перед исследователями, является измерение показателей психофизиологического состояния человека при пребывании в VR. На эти показатели оказывают влияние многие факторы, в том числе, субъективное восприятие индивидом VR, эмоциональное состояние лич-

ности, участвующей в эксперименте. Поэтому принципиально важным представляется разработка чувствительных и объективных критериев оценки влияния VR на головной мозг. Психофизиологические методы являются наиболее достоверными и эффективными для тестирования этого влияния, поскольку позволяют как в течение, так и после пребывания в VR оценивать физиологические и поведенческие показатели, сопровождающие переживание VR. Одним из методов объективной оценки может быть цифровая электроэнцефалография (ЭЭГ) [3; 12; 19]. Современные многоканальные системы регистрации ЭЭГ позволяют проводить мониторинг спонтанной электрической активности головного мозга с высоким временным и достаточным пространственным разрешением. Обладая высокой чувствительностью к изменениям функционального состояния мозговой активности, показатели ЭЭГ могут быть информативными и применяться для объективного контроля состояния человека при виртуализации рабочего информационного пространства.

Как уже упоминалось ранее, длительное пребывание в VR может способствовать развитию неблагоприятных последствий. В ряде исследований показано, что 20-минутное пребывание в VR возможно без развития симптомов вестибулярной патологии (тошнота, дезориентация, окуломоторные расстройства), однако при условии минималистичного или сценарного (неподвижного) контента VR [8; 20]. В других исследованиях, например, [1; 19] продолжительность сеанса когнитивного тренинга с использованием VR-технологий составляла 60–100 минут, и исследователи ориентировались на субъективную трудность и переносимость процедуры участниками исследования. Безусловно, необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить оптимальное время пребывания человека в VR для выработки безопасных режимов использования.

Цель исследования

Апробация методики оценки психофизиологического состояния оператора при виртуализации рабочего информационного пространства на основе психофизиологических и ЭЭГ параметров.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи была разработана экспериментальная парадигма работы

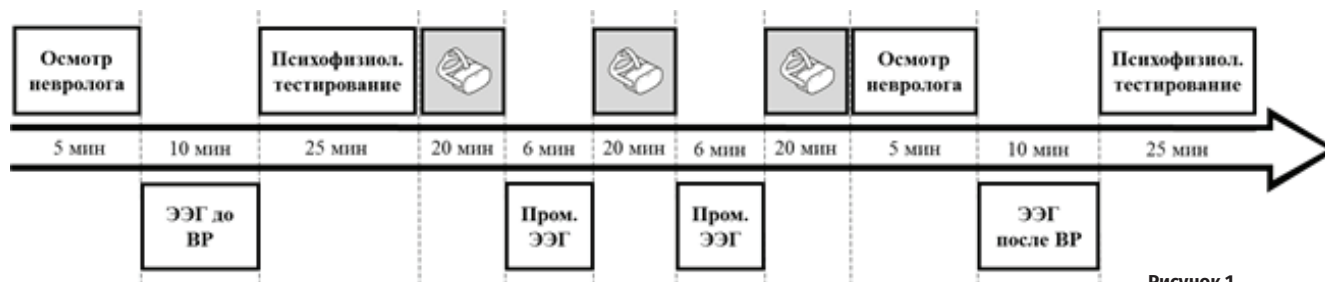


Рисунок 1.

Последовательность и временные рамки проведения исследований.

Figure 1.

Sequence and timeline of psychophysiological measurements.

испытуемых в VR-очках, включающая оценку их психофизиологического состояния до, в процессе работы и по ее завершении (рисунок 1).

В эксперименте приняли участие 10 практически здоровых мужчин-правшей в возрасте от 25 до 45 лет, которые дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Эксперимент был одобрен Локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний». Все участники имели высшее образование и профессиональную занятость на момент обследования.

У всех участников было нормальное или скорректированное до нормального зрение, наличествовал опыт использования компьютерных технологий и отсутствовал какой-либо опыт работы с VR-оборудованием. Женщины были исключены из исследования для устранения влияния фактора пола на изменения нейропсихологических и ЭЭГ параметров при пребывании в VR. Все участники были обследованы с помощью опросника самооценки здоровья Вейтено [21].

Для проведения эксперимента использовалось предустановленное (мануальное) интерфейсное программное обеспечение используемой VR-гарнитуры Oculus Quest и интернет-браузер. Из сторонних приложений использовались бесплатное программное обеспечение для просмотра PDF файлов, VLC медиаплеер для воспроизведения аудио задач и Polaris Office для чтения и анализа некоторых текстовых документов.

Для оценки исходного и постнагрузочного психофизиологического состояния испытуемых при виртуализации рабочего информационного пространства в течение эксперимента последовательно проводился ряд исследований. Первым этапом испытуемый осматривался неврологом с проведением вестибулярных проб для выявления симптомов вестибулярной патологии. Далее, в условиях затемненного, звукоизолированного помещения производилось

исходное ЭЭГ-исследование (до пребывания в VR) в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами в течение 5 минут для каждого состояния, регистрировалась монополярная ЭЭГ в 62 каналах, расположенных в соответствии с международной системой 10-20 с помощью усилителя (Neuvo SynAmps2, Compumedics, Charlotte, NC, USA) и с использованием модифицированной 64-канальной шапочки с Ag/AgCl электродами (QuikCap; Neurosoft, El Paso, TX, США). Электрод-референт был прикреплен к кончику носа, а заземляющий электрод – в центре лба. Электродное сопротивление было <10 кОм.

Следующим этапом проводилась исходная оценка психоэмоционального и когнитивного статуса испытуемых с помощью методик «PSM-25», шкалы психологической стрессоустойчивости «Прогноз» [22] и программного психофизиологического комплекса «Статус ПФ» [23], включающее оценку уровня функциональной подвижности нервных процессов (УФП) (время реакции, частота ошибок, количество пропущенных сигналов), работоспособности головного мозга (РГМ) в режиме «обратной связи» (время реакции, частота ошибок и пропущенные сигналы), оценку функций внимания (количество обработанных знаков на 1-й и 4-й минуте корректурной пробы Бурдона, объем внимания), кратковременной памяти (запоминание предъявляемых визуально 10 слов, 10 чисел и 10 бессмысленных слогов) и пространственного восприятия.

После получения информации об исходном состоянии психофизиологического статуса испытуемый надевал VR-очки и погружался в виртуальное рабочее пространство на 1-ую сессию работы (в течение 20 минут), где производил краткое самостоятельное ознакомление с интерфейсом, характером взаимодействия контроллеров с интерфейсом в процессе управления, после чего приступал к последовательному выполнению присылаемых задач на устный счет, чтение и анализ текста, прослушивание и

анализ голосового задания с составлением и отправкой ответа по каждому из них.

Далее испытуемому без снятия VR-очков производилась первая промежуточная регистрация ЭЭГ в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами продолжительностью по 3 минуты каждое состояние.

Следующий этап исследований – 2-ая сессия работы в VR, продолжительностью 20 минут, в течение которой испытуемый продолжал производить последовательное выполнение новых, поочередно присылаемых задач на устный счет, чтение и анализ текста, прослушивание и анализ голосового задания с составлением и отправкой ответа по каждому из них. При этом последовательно заданий по типам от сессии к сессии менялась. Далее следовала вторая промежуточная регистрация ЭЭГ в VR в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами продолжительностью по 3 минуты каждое состояние.

Третья сессия работы в виртуальном рабочем пространстве также длилась 20 минут и содержала аналогичную деятельность испытуемого по решению новых присылаемых задач.

В конце психофизиологического эксперимента, непосредственно сразу после окончания 3-ей 20 минутной сессии и снятия VR-очков каждый испытуемый проходил осмотр невролога на выявление любой неврологической симптоматики, вестибулярных расстройств. Следом производилось ЭЭГ исследование в состоянии покоя с закрытыми и открытыми глазами в течение 5 минут для каждого состояния и расширенное выходное нейрофизиологическое тестирование, включающее те же тестовые методики, что и на входе в исследование, за исключением тестов кратковременной памяти (в связи с малой вариабельностью их результатов на протяжении коротких интервалов времени). Повтор оценки уровня стресса производился по методике «PSM-25». Результаты испытаний были введены в протоколы отдельно для каждого испытуемого:

1. Краткое заключение по результатам шкалы психологической стрессоустойчивости «Прогноз».
2. Краткое заключение по результатам входного и выходного тестирования уровня стресса по методике «PSM-25».
3. Краткий отчет о неврологическом осмотре испытуемого после пребывания в виртуальном рабочем пространстве и выполнения когнитивных задач.

4. Расшифровка и постобработка ЭЭГ данных индивидуально для каждого испытуемого в динамике после пребывания в виртуальном рабочем пространстве и выполнения когнитивных задач.
5. Заключение по результатам расширенного входного и выходного нейрофизиологического тестирования.

Также проводился анализ индивидуальных изменений нейропсихологических и ЭЭГ показателей для каждого участника исследования. Процент относительных изменений показателей рассчитывался по формуле: (исходное значение показателя для каждого испытуемого - послеоперационное значение показателя для каждого испытуемого)/исходное значение для каждого испытуемого*100%.

Результаты и обсуждение

Установлено, что после когнитивной нагрузки в условиях VR с помощью методов психометрического тестирования и регистрации ЭЭГ выявлены как положительные, так и отрицательные изменения психофизиологического статуса испытуемых (**таблица 1**). Обнаружено, что при тестировании уровня функциональной подвижности нервных процессов в среднем на 24% снизилось количество пропущенных сигналов по сравнению с исходными показателями, при отсутствии снижения скорости реакции и незначительно увеличении количества ошибок (на 10%). Вместе с тем при выполнении теста работоспособности головного мозга установлено, что у обследованных лиц в среднем количество ошибок возросло на 93%, при этом скорость реакции не изменилась, а количество пропущенных сигналов возросло на 15% по сравнению с исходными показателями. По сравнению с исходными данными объем внимания не изменился. При анализе показателей распределения внимания обнаружено, что показатель истощаемости внимания (количество переработанных знаков на 4-й минуте пробы Бурдона) снизился на 26%, однако на 65% возросло количество ошибок, и итоговый коэффициент внимания увеличился только на 10%. Вместе с тем возрос показатель пространственного восприятия – на 53%.

Повтор оценки уровня стресса производился по методике «PSM-25» и не выявил значимых изменений по сравнению с исходными значениями.

Показатель / Indicator	До работы в очках VR / Before using the VR headset, mean and standard deviation	После работы в очках VR / After using the VR headset, mean and standard deviation	Процент инд. изменений / Average percent of changes
<i>Уровень функциональной подвижности нервных процессов / Functional brain activity</i>			
Скорость реакции, мс / Reaction time, ms	381,1 ± 25,83	364,9 ± 19,52	4,08
Количество ошибок, n / Errors, n	24,5 ± 4,33	26,1 ± 4,84	-7,91
Количество пропущенных сигналов, n / Missed signals, n	14,0 ± 4,62	10,5 ± 6,54	24,16
<i>Работоспособность головного мозга / Brain performance</i>			
Скорость реакции, мс / Reaction time, ms	362,9 ± 21,95	359,4 ± 28,60	1,01
Количество ошибок, n / Errors, n	138,9 ± 52,68	164,2 ± 35,63	-92,70
Количество пропущенных сигналов, n / Missed signals, n	61,3 ± 40,54	52,9 ± 33,54	-15,03
<i>Объем внимания, балл / Attention span, score</i>	8,5 ± 2,07	8,2 ± 1,62	1,02
<i>Распределение внимания (корректирующая проба Бурдона (КП)) / Bourdon test</i>			
Количество переработанных знаков / Processed symbols			
на 1-й минуте, n / at 1th min, n	152,7 ± 28,06	155,3 ± 37,62	-3,21
на 4-й минуте, n / at 4th min, n	156,4 ± 52,43	176,1 ± 45,88	-25,73
Коэффициент внимания КП, балл / Attention rate, score	53,8 ± 18,98	58,0 ± 33,84	-10,07
Количество ошибок, n / Errors, n	10,2 ± 4,32	12,4 ± 7,01	-64,77
<i>Образная память, n / Visual memory, n</i>	9,4 ± 0,84	9,3 ± 0,67	0,5
<i>Пространственное восприятие, балл / Spatial perception, score</i>	24,4 ± 9,72	32,7 ± 6,04	-52,88
<i>Количество запомненных чисел, n / Memorized numbers, n</i>	5	-	-
<i>Количество запомненных слогов, n / Memorized meaningless syllables, n</i>	4	-	-
<i>Количество запомненных слов, n / Memorized words, n</i>	7	-	-

Таблица 1.

Показатели нейрорепсихологического тестирования в группе операторов (n=10) до и после проведения эксперимента по виртуализации рабочего информационного пространства.

Table 1.

Psychometric indicators before and after workspace virtualization (n = 10).

Как можно видеть из представленных результатов, ухудшение психометрических показателей наблюдается только в наиболее сложных для выполнения заданиях (работоспособность головного мозга и распределение внимания). Тогда как показатель пространственного восприятия после пребывания в виртуальной среде улучшается.

При рассмотрении изменений ЭЭГ показателей до и после проведения эксперимента по виртуализации рабочего информационного пространства установлено, что у обследованной группы испытуемых в среднем мощность биоэлектрических потенциалов дельта ритма уменьшилась на 28%, тета1 - на 13 %, в то время как тета2 и альфа1 ритмы увеличились на 12% и 96%, соответственно, по сравнению с исходными значениями. Можно отметить также, что мощность биоэлектрических потенциалов альфа2 ритма снизилась всего на 5%. Бета1-активность увеличилась на 10%, а бета2 уменьшилась на 9% (таблица 2).

Проведенные ранее исследования, использовавшие ЭЭГ метод для оценки мозговых

коррелятов когнитивной нагрузки, сообщают, что увеличение количества обрабатываемой информации и связанное с ним утомление сопровождается увеличением мощности тета-диапазона и уменьшением мощности в альфа-диапазоне [24; 25]. Другие исследования показали, что при выполнении многозадачной деятельности мощность альфа-диапазона может увеличиваться [26; 27]. Можно предполагать, что наблюдаемые нами ЭЭГ-изменения у испытуемых после погружения в VR соответствуют паттернам активации коры головного мозга, связанным с выполнением когнитивной нагрузки и возникающим утомлением.

Дальнейшее применение разработанной парадигмы работы испытуемых с VR-программами с оценкой их психофизиологического состояния до, в процессе работы и по ее завершении подразумевает формирование контрольной группы, условия работы которой будут идентичными, за исключением погружения в VR. Аналогичные задачи испытуемые контрольной группы будут выполнять с

Таблица 2.

Изменения суммарной мощности биопотенциалов ЭЭГ ритмов в состоянии покоя с закрытыми глазами в группе операторов (n=10) до и после проведения эксперимента по виртуализации рабочего информационного пространства.

Table 2.

Changes in electroencephalography rhythm activity at rest with closed eyes before and after workspace virtualization (n = 10)

Показатель, мкВ ² /Гц Indicator, μV ² /Hz	До работы в очках VR / Before using the VR headset, mean and standard deviation	После работы в очках VR / After using the VR headset, mean and standard deviation	Процент инд. изменений / Average percent of changes
Дельта ритм (0-4 Гц) / Delta rhythm (0-4 Hz)	7,4 ± 2,14	5,3 ± 1,91	27,78
Тета1 ритм (4-6 Гц) / Theta1 rhythm (4-6 Hz)	4,0 ± 1,74	3,4 ± 1,41	13,41
Тета2 ритм (6-8 Гц) / Theta2 rhythm (6-8 Hz)	4,0 ± 2,10	4,8 ± 3,26	-12,13
Альфа 1 ритм (8-10 Гц) / Alpha1 rhythm (8-10 Hz)	13,3 ± 12,00	23,4 ± 26,63	-96,12
Альфа 2 ритм (10-13 Гц) / Alpha2 rhythm (10-13 Hz)	22,5 ± 18,48	17,1 ± 9,78	4,64
Бета 1 ритм (13-20 Гц) / Beta1 rhythm (13-20 Hz)	1,3 ± 0,63	1,4 ± 0,7	-9,37
Бета 2 ритм (20-30Гц) / Beta2 rhythm (20-30 Hz)	0,5 ± 0,20	0,48 ± 0,15	8,58

использованием планшета или ноутбука. При этом будут созданы условия для сравнения деятельности человека-оператора в условиях VR и без нее, что позволит определить влияние VR на его психофизиологическое состояние.

Заключение

Разработанная парадигма экспериментального исследования с определением психофизиологического состояния человека до и после когнитивной нагрузки (решения испытуемыми задач на устный счет, чтение и анализ текста, прослушивание и анализ голосового задания) в

очках VR показала приемлемую субъективную трудность и переносимость виртуальной среды согласно данным расширенного психометрического тестирования и ЭЭГ-параметрам. Предложенная методика оценки психофизиологического состояния при воздействии VR может быть использована для целевой группы испытуемых для дальнейшего изучения особенностей работы мозга при их погружении в среду VR, а также сравнения с контрольной группой испытуемых, повторяющих схему эксперимента без погружения в VR, работая на персональном компьютере.

Литература:

- Liao YY, Chen IH, Lin YJ, Chen Y, Hsu WC. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial. *Front Aging Neurosci.* 2019;(11):162. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00162>
- Aromaa S, Väättänen A, Aaltonen I, Goriachev V, Helin K, Karjalainen J. Awareness of the real-world environment when using augmented reality head-mounted. *Appl Ergon.* 2020;88:103145. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103145>
- Ansado J, Chasen C, Bouchard S, Iakimova G, Northoff G. How brain imaging provides predictive biomarkers for therapeutic success in the context of virtual reality cognitive training. *Neurosci Biobehav Rev.* 2020;S0149-7634(20)30421-8. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.05.018>
- Кузьмина А.С. Виртуальная реальность как средство безопасного контакта с травмирующей реальностью в психотерапии. *Вестник РУДН. Серия : Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2014;(3):77-82.
- Indovina P, Barone D, Gallo L, Chirico A, De Pietro G, Giordano A. Virtual reality as a distraction intervention to relieve pain and distress during medical procedures: a comprehensive literature review. *Clin J Pain.* 2018;34(9):858-877. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000599>
- Ahmadpour N, Randall H, Choksi H, Gao A, Vaughan C, Poronnik P. Virtual reality interventions for acute and chronic pain management. *Int J Biochem Cell Biol.* 2019;(114):105568. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2019.105568>
- Kourtesis P, Collina S, Doumas LAA, MacPherson SE. Technological competence is a pre-condition for effective implementation of virtual reality head mounted displays in human neuroscience: a technological review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2019;(13):342. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00342>
- Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, Keage HAD, Rizzo A, Loetscher T. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2020;(14):96. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>
- Смысллова О.В., Войскунский А.Е. Киберзаболевание в системах виртуальной реальности: феноменология и методы измерения. *Психологический журнал.* 2019;40(4):85-94. <https://doi.org/10.31857/S020595920005473-6>
- Селиванов В.В., Селиванова Л.Н. Взаимодействие личности и виртуальной реальности при работе с краткосрочными программами. *Психология когнитивных процессов.* 2018;(7):156-169.
- Селиванов В.В. Теория мышления как процесса: экспериментальное подтверждение. *Экспериментальная психология.* 2019;12(1):40-42. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2019120104>
- Ковалев А.И., Меньшикова Г.Я. Векция в виртуальных средах: психологические и психофизиологические механизмы формирования. *Национальный психологический журнал.* 2015;4(20):91-104 [Kovalev AI, Menshikova GJa. Vection in virtual environments: psychological and psychophysiological mechanisms. *National psychological journal.* 2015;4(20):91-104. <https://doi.org/10.11621/npj.2015.0409>
- Nite S. *VR/AR enterprise insider: guidebook for virtual reality and XR.* Modu XR, 2020; p.151.
- Millais P, Jones SL, Kelly R. *Exploring data in virtual reality : Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18.* 2018. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188537>
- Cavallo M, Dolakia M, Havlena M, Ocheltree K, Podlaseck M. Immersive insights: a hybrid analytics system for collaborative exploratory data analysis. *VRST.* 2019;11(9):1-12. <https://doi.org/10.1145/3359996.3364242>
- Schwarz F, Fastenmeier W. Visual advisory warnings about hidden

- dangers: Effects of specific symbols and spatial referencing on necessary and unnecessary warnings. *Appl Ergon.* 2018;72:25-36. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.05.001>
17. Wang CH, Tsai NH, Lu JM, Wang MJ. Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Appl Ergon.* 2019;77:58-69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>
 18. Baumeister J, Ssin SY, ElSayed NAM, Dorrian J, Webb DP, Walsh JA, Simon TM, Irlitti A, Smith RT, Kohler M, Thomas BH. Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2017;23(11):2378-2388. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2735098>
 19. Thapa N, Park HJ, Yang JG, Son H, Jang M, Lee J, Kang SW, Park KW, Park H. The effect of a virtual reality-based intervention program on cognition in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial. *J Clin Med.* 2020;9(5):1283. <https://doi.org/10.3390/jcm9051283>
 20. Dużmańska N, Strojny P, Strojny A. Can simulator sickness be avoided? a review on temporal aspects of simulator sickness. *Front Psychol.* 2018;9:2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>
 21. Войтенко В.П. *Здоровье здоровых: Введение в санологию.* Киев: Здоровье, 1991.
 22. *Психодиагностика стресса: практикум.* Сост. Р.В. Куприянов, Ю.М. Кузьмина. Казань: КНИТУ. 2012; 212.
 23. Иванов В.И., Литвинова Н.А., Березина М.Г. Автоматизированный комплекс для индивидуальной оценки индивидуально-типологических свойств и функционального состояния организма человека «СТАТУС ПФ». *Валеология.* 2004;(4):70-73.
 24. Wascher E, Rasch B, Sängler J, Hoffmann S, Schneider D, Rinkenauer G, Heuer H, Gutberlet I. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biol Psychol.* 2014;96:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>
 25. Puma S, Matton N, Paubel PV, Raufaste É, El-Yagoubi R. Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. *Int J Psychophysiol.* 2018;123:111-120. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.10.004>
 26. Borghini G, Astolfi L, Vecchiato G, Mattia D, Babiloni F. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neurosci Biobehav Rev.* 2014;(44):58-75. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
 27. Käthner I, Wriessnegger SC, Müller-Putz GR, Kübler A, Halder S. Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface. *Biol Psychol.* 2014;(102):118-129. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.014>

References:

1. Liao YY, Chen IH, Lin YJ, Chen Y, Hsu WC. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial. *Front Aging Neurosci.* 2019;(11):162. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00162>
2. Aromaa S, Väättänen A, Aaltonen I, Goriachev V, Helin K, Karjalainen J. Awareness of the real-world environment when using augmented reality head-mounted. *Appl Ergon.* 2020;88:103145. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103145>
3. Ansado J, Chasen C, Bouchard S, Iakimova G, Northoff G. How brain imaging provides predictive biomarkers for therapeutic success in the context of virtual reality cognitive training. *Neurosci Biobehav Rev.* 2020;S0149-7634(20)30421-8. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.05.018>
4. Kuzmyna A.S. Vyrtnalnaja realnost kak sredstvo bezopasnogo kontakta s travmyrujushhej realnostju v psyhoterapyi. *Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series : Ecology and life safety.* 2014;(3):77-82. (In Russ.).
5. Indovina P, Barone D, Gallo L, Chirico A, De Pietro G, Giordano A. Virtual reality as a distraction intervention to relieve pain and distress during medical procedures: a comprehensive literature review. *Clin J Pain.* 2018;34(9):858-877. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000599>
6. Ahmadpour N, Randall H, Choksi H, Gao A, Vaughan C, Poronnik P. Virtual reality interventions for acute and chronic pain management. *Int J Biochem Cell Biol.* 2019;(114):105568. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2019.105568>
7. Kourtesis P, Collina S, Dumas LAA, MacPherson SE. Technological competence is a pre-condition for effective implementation of virtual reality head mounted displays in human neuroscience: a technological review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2019;(13):342. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00342>
8. Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, Keage HAD, Rizzo A, Loetscher T. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci.* 2020;(14):96. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>
9. Smyslova OV. Vojskusknij AE. Cybersickness in virtual reality: phenomenology and measurement. *Psikhologicheskij zhurnal.* 2019;40(4):85-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S020595920005473-6>
10. Selivanov VV, Selivanova LN. Interaction of personality and virtual reality during working with short-term programs. *Psikhologiya kognitivnykh protsessov.* 2018;(7):156-169 (In Russ.).
11. Selivanov VV. The theory of thinking as a process: an experimental confirmation. *Experimental psychology (Russia).* 2019;12(1):40-42 (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2019120104>
12. Kovalev AI, Menshikova GJa. Vection in virtual environments: psychological and psychophysiological mechanisms. *National psychological journal.* 2015;4(20):91-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/npj.2015.0409>
13. Nite S. *VR/AR enterprise insider: guidebook for virtual reality and XR.* Modu XR, 2020; p.151.
14. Millais P, Jones SL, Kelly R. *Exploring data in virtual reality : Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18.* 2018. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188537>
15. Cavallo M, Dolakia M, Havlena M, Ocheltree K, Podlaseck M. Immersive insights: a hybrid analytics system for collaborative exploratory data analysis. *VRST.* 2019;11(9):1-12. <https://doi.org/10.1145/3359996.3364242>
16. Schwarz F, Fastenmeier W. Visual advisory warnings about hidden dangers: Effects of specific symbols and spatial referencing on necessary and unnecessary warnings. *Appl Ergon.* 2018;72:25-36. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.05.001>
17. Wang CH, Tsai NH, Lu JM, Wang MJ. Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Appl Ergon.* 2019;77:58-69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>
18. Baumeister J, Ssin SY, ElSayed NAM, Dorrian J, Webb DP, Walsh JA, Simon TM, Irlitti A, Smith RT, Kohler M, Thomas BH. Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2017;23(11):2378-2388. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2735098>
19. Thapa N, Park HJ, Yang JG, Son H, Jang M, Lee J, Kang SW, Park KW, Park H. The effect of a virtual reality-based intervention program on cognition in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial. *J Clin Med.* 2020;9(5):1283. <https://doi.org/10.3390/jcm9051283>
20. Dużmańska N, Strojny P, Strojny A. Can simulator sickness be avoided? a review on temporal aspects of simulator sickness. *Front Psychol.* 2018;9:2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>
21. Voytenko VP. *Zdorov'e zdorovykh: Vvedenie v sanologiyu.* Kiev : Zdorov'e, 1991. (In Russ.).
22. *Psikhodiagnostika stressa : praktikum.* Sost. RV Kupriyanov, YuM Kuz'mina. Kazan : KNITU. 2012; 212 (In Russ.).
23. Ivanov VI, Litvinova NA, Berезина MG. Avtomatizirovanny kompleks dlya individual'noy otsenki individual'no-tipologicheskikh svoystv i funktsional'nogo sostoyaniya organizma cheloveka «STATUS PF». *Journal of Health and Life Sciences.* 2004;(4):70-73. (In Russ.).
24. Wascher E, Rasch B, Sängler J, Hoffmann S, Schneider D, Rinkenauer G, Heuer H, Gutberlet I. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biol Psychol.* 2014;96:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>
25. Puma S, Matton N, Paubel PV, Raufaste É, El-Yagoubi R. Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. *Int J Psychophysiol.* 2018;123:111-120. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.10.004>
26. Borghini G, Astolfi L, Vecchiato G, Mattia D, Babiloni F. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neurosci Biobehav Rev.* 2014;(44):58-75. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
27. Käthner I, Wriessnegger SC, Müller-Putz GR, Kübler A, Halder S. Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface. *Biol Psychol.* 2014;(102):118-129. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.014>

Сведения об авторах

Тарасова Ирина Валерьевна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание статьи.

ORCID: 0000-0002-6391-0170

Никитенко Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории угольного машиностроения ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, д. 18).

Вклад в статью: концепция и дизайн исследования, получение и анализ данных, утверждение окончательной версии публикации.

ORCID: 0000-0001-8752-1332

Трубникова Ольга Александровна, доктор медицинских наук, заведующая лабораторией нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: концепция и дизайн исследования, утверждение окончательной версии публикации.

ORCID: 0000-0001-8260-8033

Кухарева Ирина Николаевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала.

ORCID: 0000-0002-6813-7017

Куприянова Дарья Сергеевна, лаборант-исследователь лаборатории нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: сбор и обработка материала, статистическая обработка.

ORCID: 0000-0002-9750-5536

Соснина Анастасия Сергеевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: сбор и обработка материала, статистическая обработка.

ORCID: 0000-0001-8908-2070

Барбараи Ольга Леонидовна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6).

Вклад в статью: концепция и дизайн исследования, критический анализ интеллектуального содержания, утверждение окончательной версии публикации.

ORCID: 0000-0002-4642-3610

Статья поступила: 28.04.2021г.

Принята в печать: 29.05.2021г.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

Authors

Dr. Irina V. Tarasova, MD, DSc, Leading Researcher, Laboratory of Neurovascular Research, Department of Clinical Cardiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study; performed the statistical analysis; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0002-6391-0170

Dr. Mikhail S. Nikitenko, PhD, Research Fellow, Laboratory of Coal Mining Machinery, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (18, Sovetskyy Prospekt, Kemerovo, 650000, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study; collected the data.

ORCID: 0000-0001-8752-1332

Dr. Olga A. Trubnikova, MD, DSc, Head of the Laboratory for Neurovascular Research, Department of Clinical Cardiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study.

ORCID: 0000-0001-8260-8033

Dr. Irina N. Kukhareva, MD, PhD, Research Fellow, Laboratory for Neurovascular Research, Department of Clinical Cardiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study; collected the data.

ORCID: 0000-0002-6813-7017

Ms. Daria S. Kupriyanova, Research Assistant, Laboratory for Neurovascular Research, Department of Clinical Cardiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: collected the data; performed the data analysis.

ORCID: 0000-0002-9750-5536

Dr. Anastasia S. Sosnina, MD, PhD, Research Fellow, Laboratory for Neurovascular Research, Department of Clinical Cardiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: collected the data; performed the data analysis.

ORCID: 0000-0001-8908-2070

Prof. Olga L. Barbarash, MD, DSc, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Executive Officer, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study.

ORCID: 0000-0002-4642-3610

Received: 28.04.2021

Accepted: 29.05.2021

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.