



# ДИНАМИКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У УЧАЩИХСЯ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**БАХЧИНА А.В.**

*Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН «ИП РАН»),  
г. Москва, Российская Федерация; Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского  
(ФГАОУ ВО «ННГУ»), г. Нижний Новгород, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-1165>, e-mail: [nastyia18-90@mail.ru](mailto:nastyia18-90@mail.ru)*

**СТРИЖОВА И.В.**

*Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-3900>, e-mail: [irinaswift1112@mail.ru](mailto:irinaswift1112@mail.ru)*

В статье приводятся результаты исследования динамики характеристик variability сердечного ритма в процессе обучения в условиях виртуальной реальности высшего уровня и за монитором компьютера. Непрерывная динамика сердечного ритма учащихся старших классов и студентов младших курсов (N=16, 8 — женского пола, 8 — мужского пола, возраст — от 18 до 22) регистрировалась в покое (сидя, в тишине, с закрытыми глазами) и при проведении двух коротких занятий по биологии и математике в разных условиях. После обучающих программ (занятий) учащимся предлагались тестовые вопросы по прослушанным материалам и анкета субъективной оценки информации занятия по степени новизны, сложности, понятности материала и пр. Показано, что динамика функционального состояния не отличается между уроками, степень активации и напряжения по показателям ВСР одинаково возрастала при занятии в виртуальной реальности и за монитором компьютера, по сравнению с фоном. При этом после работы в обучающих программах в виртуальной реальности ученики продемонстрировали большее количество правильных ответов на тестовые вопросы и оценивали информацию в них как более новую и сложную, по сравнению с уроками за монитором компьютера. Сделан вывод об эффективности применения технологий виртуальной реальности в образовании, так как учащиеся демонстрируют более высокие результаты при том же уровне напряжения и активности.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, обучение, variability сердечного ритма.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации № 073-00110-22-02 от 08.04.2022 «Влияние технологий виртуальной реальности высшего уровня на психическое развитие в юношеском возрасте».

**Благодарности.** Автор благодарит за помощь в сборе данных для исследования С. Павлову.

**Для цитаты:** Бахчина А.В., Стрижова И.В. Динамика variability сердечного ритма у учащихся во время занятия в виртуальной реальности // Экспериментальная психология. 2022. Том 15. № 2. С. 59—69.  
DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150205>



# STUDENTS' DYNAMICS OF HEART RATE VARIABILITY DURING VIRTUAL REALITY CLASS

**ANASTASIA V. BAKHCHINA**

*Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; National Research University  
Nizhny Novgorod State University Named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-1165>, e-mail: [ivanov@yandex.ru](mailto:ivanov@yandex.ru)

**IRINA V. STRIZHOVA**

*Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-3900>, e-mail: [irinastwift1112@mail.ru](mailto:irinastwift1112@mail.ru)

The article presents the results of a study of the dynamics of the characteristics of heart rate variability in the learning process in high-level virtual reality and behind a computer monitor. The continuous dynamics of the heart rate of senior and junior students (N=16, 8 – female, 8 – male, age from 18 to 22) was recorded at rest (sitting, in silence, with eyes closed) and during two short lessons in biology and mathematics in different conditions. After the training programs (classes), students were offered test questions on the materials they had listened to and a questionnaire for the subjective assessment of the lesson information in terms of the degree of novelty, complexity, clarity of the material, etc. It was shown that the dynamics of the functional state does not differ between lessons, the degree of activation and tension in terms of HRV increased equally when practicing in virtual reality and behind a computer monitor compared to the background. At the same time, after working in training programs in virtual reality, the students demonstrated a greater number of correct answers to test questions and evaluated the information in them as newer and more complex, compared to the lessons at the computer monitor. The conclusion is made about the effectiveness of the use of virtual reality technologies in education, as students demonstrate higher results with the same level of tension and activity.

**Keywords:** virtual reality, training, heart rate variability.

---

**Funding.** The study was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education of the Russian Federation No. 073-00110-22-02 dated 04/08/2022 “The impact of high-level virtual reality technologies on mental development in adolescence”.

**Acknowledgements.** The authors are grateful for assistance in data collection S. Pavlova.

**For citation:** Bakhchina A.V., Strizhova I.V. Students' Dynamics of Heart Rate Variability during Virtual Reality Class. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2022. Vol. 15, no. 2, pp. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150205> (In Russ.).

## Введение

В последнее десятилетие активно развиваются технологии виртуальной реальности (ВР) для решения научных, педагогических и промышленных задач. Это связано как с технологическим цифровым прогрессом, так и с потребностью в использовании новых методов: в науке — для визуального представления сформированных моделей, в медицине — для ускорения реабилитации и повышения эффективности терапии, в образовании — для более реалистичного и интересного представления материала [17].

Во многих работах было показано, что в ВР можно формировать различные эмоциональные состояния, в том числе и настолько сильные по шкале «Arousal», что их классифицируют как состояние стресса. Так, например, в исследовании Фельнхофер и др.



в VR помещали участников в пять сцен общественного парка и в большинстве случаев наблюдали соответствующие сильные гнев и тревогу [9]. При этом в среде VR можно наблюдать и обратную динамику состояния человека — снижение уровня стресса. Например, Пискош Д. и Чуб М. изучали динамику субъективного уровня стресса и болевых ощущений у детей при заборе крови из вены при взаимодействии с VR средой [13]. Экспериментальная группа детей в процессе играла в компьютерную игру с помощью VR, а контрольная — нет. В результате опроса в экспериментальной группе наблюдались достоверно более низкие субъективные оценки уровня стресса и боли. Кроме эффектов снижения субъективного уровня стресса за счет смещения фокуса внимания показаны и возможности уменьшения стресса по объективным физиологическим показателям с помощью VR. Например, в исследовании Волицки и др. пробовали снижать предоперационный стресс в выборке онкобольных детей [20]. В экспериментальной группе дети рассматривали панорамы зоопарка в VR, в контрольной выборке отсутствовали воздействия VR. В результате частота сердечных сокращений была ниже в экспериментальной группе детей.

Такие возможности VR при погружении индивида в новую среду демонстрируют эффективное использование и в обучении. Например, Клиффорд с соавторами разработали среду виртуального пожарного самолета для обучения специалистов [8]. Они оценивали уровень стресса пожарных летчиков с помощью показателей variability сердечного ритма. Показано, что по оценкам вегетативной регуляции сердечного ритма уровень стресса участников не отличался между условиями VR и настоящих учебных полетов. Технология VR была эффективно использована для обучения медицинского персонала, участвовавшего в борьбе с пандемией COVID-19 [12]. Авторы исследования оценивали уровень освоения материала у испытуемых экспериментальной группы, прошедших курс в VR, и контрольной, освоивших ту же информацию в виде презентаций и брошюр.

Данное исследование было посвящено оценке состояния и уровня стресса у школьников старших классов и студентов младших курсов при обучении в VR. Для этого во время эксперимента у учащихся регистрировали динамику сердечного ритма.

Вариабельность сердечного ритма (BCP) — это изменчивость временных расстояний между соседними циклами сердечных сокращений (RR-интервалов). Методика измерения BCP относительно проста в применении и неинвазивна, а потому подходит для использования в экспериментах с участием людей. Благодаря этим особенностям методики количество медицинских, физиологических и психофизиологических исследований с применением анализа BCP выросло в несколько раз за последние два десятилетия. В результате этих исследований, выполняемых на основе модели нейровисцеральной интеграции [18], двухконтурной модели нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма [2], поливагальной теории [15], была сформулирована система физиолого-медицинских интерпретаций BCP [11; 19]. В основном интерпретация BCP проводится в терминах функциональных состояний как специфических режимов энергообеспечения организма. В данном случае на основании параметров BCP определяется статус организма по шкале адаптивности (большая/меньшая адаптивность или более/менее ресурсозатратный режим) или стресса [2; 3]. Другой вариант предполагает описание относительной активности отдельных физиологических структур, участвующих в управлении/регуляции сердечного ритма, а именно парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы [2; 5; 7]. Так, применяя спектральный анализ, вычисляются мощность



низкочастотных колебаний ВСР (НЧ, 0,04–0,15 Гц), которая интерпретируется как активность симпатической нервной системы, и мощность высокочастотных колебаний ВСР (ВЧ, 0,15–0,6 Гц), которая интерпретируется как индикатор активности парасимпатической нервной системы; коэффициент НЧ/ВЧ отражает соотношение симпатических и парасимпатических воздействий на сердце. При этом динамика ВСР рассматривается как сумма этих воздействий. При стрессе наблюдается рост НЧ/ВЧ при одновременном снижении общей спектральной мощности колебаний RR-интервалов (ОМ, 0,01–1,6 Гц). Несмотря на то, что данные интерпретации являются предметом активной научной дискуссии, показатели ВСР давно используются как надежные и объективные индикаторы вегетативной регуляции сердечного ритма. В данном исследовании показатели ВСР учащихся сравнивались за периоды фона перед занятиями, занятия в ВР, занятия за монитором компьютера.

## Процедура исследования

### *Схема проведения эксперимента*

На первом этапе участники исследования проходили инструктаж и первичный опрос на наличие хронических и/или острых заболеваний, аспектов образа жизни, которые могут влиять на динамику показателей ВСР.

Далее участникам надевали датчик регистрации сердечного ритма. Датчик Zephyr Bio-Harness крепится к эластичному поясу, в который вшиты два тканевых электрода. Пояс крепится на тело человека таким образом, чтобы электроды располагались в 1-м и 2-м грудных отведениях. Размер пояса устанавливается таким образом, чтобы испытуемому было комфортно и при этом различные движения не влияли на положение пояса. Пакетная передача данных от датчика к мобильному устройству производится по беспроводному протоколу — BluetoothSPP 2,4ГГц. Регистрация динамики сердечного ритма участников проводилась непрерывно все время эксперимента.

Далее участники работали в программах: одни — в ВР со шлемом Vive, другие — за монитором компьютера. Последовательность тем обучающих программ (биология и математика) и условий их проведения (ВР и монитор компьютера) контрбалансировались в выборке. Длительность занятий составляла 10 мин. После каждого занятия участникам предлагалось заполнить короткую анкету с 5 открытыми вопросами по прослушанной теме с инструкцией: «Ответьте на нижеприведенные вопросы. Если Вы не знаете ответа, просто пропустите вопрос», — а также оценить «урок» по стандартной семибальной шкале (-3 — +3): «Насколько новой для Вас была информация в “уроке”», «Насколько интересной для Вас была информация в “уроке”», «Насколько трудно для Вас было воспринимать информацию в “уроке”», «Насколько понятной для Вас была информация в “уроке”». Перед и после каждого занятия участники сидели с закрытыми глазами, в тишине 5 минут для регистрации динамики сердечного ритма в состоянии покоя.

### *ВР программы и оборудование*

Для занятий использовали две ВР-программы: по математике «Теорема о трех перпендикулярах» и биологии «Синтез белка», — которые сгенерированы в мультиплатформенном приложении для создания 3D-изображений Unity. Для программ характерны высокая анимация, интерактивность; средняя продолжительность погружения — 10 мин. В про-



граммах предусмотрено текстовое и звуковое сопровождение. Разработанные программы позволяют реализовать все основные параметры виртуальной среды: 1) создание средствами программирования трехмерных изображений объектов, максимально приближенных к реальным; 2) возможность анимации (симуляция действий предметов и пользователя); 3) интерактивность (действия субъекта, например, его движения, изменение наклона головы, меняют изображение предмета и др.); 4) эффект присутствия (presence) (ощущение «реальности» видимых информационных объектов и аватаров) [1; 6].

Предъявление ВР-программ осуществлялось через шлемы Vive. В Vive используется Full HD-экран OLED, разрешение общее: 2880×1600, на каждый глаз: 1440×1600; частота обновления — 90 Гц; угол обзора — 110°. Изображение — четкое и контрастное, проекция изображения осуществляется на все поле зрения. Низкое время отклика (2 мс) и высокая частота обновления матрицы позволили существенно сократить размытость и дрожание изображения при резких движениях. Этот шлем способен отслеживать не только ориентацию в пространстве, но также наклоны в стороны, вперед/назад, вверх/вниз, передвижение человека. Изображение проецируется на все поле зрения. Шлем работает при сопровождении ресурса Steam в Интернете. Быстрое передвижение в ВР-ситуации реализуется с помощью двух контроллеров (флайстиков): пользователь направляет из флайстика луч в зону виртуальной сцены, субъект оказывается в этой точке.

### ***Регистрация динамики сердечного ритма***

Беспроводная регистрация сердечного ритма проводилась с использованием датчика Zephyr (HxM BT), программы «HR-reader» [4] и сервиса событийно связанной телеметрии сердечного ритма [14]. Фиксировались моменты начала и окончания каждого занятия, фона в покое. Характеристики сердечного ритма оценивались за периоды каждого занятия и фона.

### ***Анализ variability сердечного ритма***

Обработка RR-интервалов и расчеты ВСР были выполнены с использованием библиотеки Python с открытым исходным кодом neurokit 2.0.1 [10]. Полученные последовательности RR-интервалов были предварительно обработаны перед переходом к анализу с целью выбора последовательностей, свободных от артефактов. Последовательности с аномальными ударами и любыми артефактами (эктопические ритмы, артефакты движения и кашель) были исключены из анализа.

Для характеристики ВСР по анализируемым последовательностям RR-интервалов проводили вычисление выборочной энтропии (SampEn) по стандартному алгоритму [16] с входными параметрами:  $m = 2$  (размерность вложения),  $r = 0,2 * \sigma$  («фильтрующий фактор»). SampEn является характеристикой «внутреннего порядка» временной последовательности RR-интервалов и математически отражает вероятность обнаружения в последовательности двух соседних векторов, отличающихся при переходе из пространства размерностью  $m$  в пространство размерностью  $m+1$ . Иначе говоря, SampEn последовательности тем выше, чем больше в ней присутствуют неодинаковые изменения. Ситуациям стресса характерно снижение SampEn. С помощью периодограммного метода Ломба—Скаргла, согласно принятым рекомендациям и стандартам, оценивались следующие спектральные характеристики ВСР: суммарная мощность спектра колебаний последовательности RR-интервалов (TP,  $ms^2$ ); мощность спектра колебаний последовательно-



сти RR-интервалов в диапазоне низких частот (0,04–0,15 Гц) (LF, мс<sup>2</sup>); мощность спектра колебаний последовательности RR-интервалов в диапазоне высоких частот (0,15–0,6 Гц) (HF, мс<sup>2</sup>); соотношение мощностей спектра в диапазонах низких и высоких частот (индекс вегетативного баланса) (LF/HF). Для ситуаций стресса характерно возрастание индекса вегетативного баланса на фоне снижения общей мощности спектра ВСР. Дополнительно для последовательностей RR-интервалов вычисляли среднее значение RR-интервалов (mean\_rr, мс), их стандартное отклонение (SDNN, мс) и корень квадратный разностей соседних RR-интервалов (RMSSD, мс). Снижение этих трех показателей типично для ситуаций напряжения и стресса.

### ***Статистический анализ***

Для статистического анализа полученных данных использовали библиотеку Python с открытым исходным кодом SciPy. Для сравнения переменных (показателей ВСР, ответов участников на анкеты) в двух условиях (BP и монитор компьютера) использовали критерий Уилкоксона (для сравнения двух выборок) и критерий Фридмана (для сравнения трех выборок). Во всех статистических оценках достоверными считали различия при уровне  $p \leq 0,05$ .

### ***Участники исследования***

Выборку исследования составили молодые люди (8 — девушки, 8 — юноши); средний возраст — 19 лет (мин. = 18, макс. = 22), студенты, гуманитарного направления подготовки и школьники общеобразовательного учреждения г. Москвы. Все участники дали информированное письменное согласие на участие в исследовании. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией 1975 года, пересмотренной в 2013 году.

## **Результаты**

### ***Различия уроков по характеристикам ВСР учащихся***

Было проведено сравнение показателей ВСР между периодами первого фона и занятий, а также между уроками в BP и за монитором компьютера. Параметры распределений и результаты статистического сравнения представлены на рис. 1. В динамике показателей ВСР учащихся во время эксперимента наблюдались достоверное снижение среднего значения RR-интервалов, ВСР по показателям SDNN, RMSSD, SampEn, TP и рост ИВБ между периодами первого фона и каждого из занятий — за монитором компьютера и в BP. Между периодами занятий в разных условиях достоверных отличий не наблюдалось ни по одному из показателей ВСР.

Такая динамика показателей ВСР закономерно отражает активацию и напряжение учащихся во время уроков. Это связано с вовлечением субъекта в задачи урока, ростом когнитивной нагрузки. Признаков острого стресса во время занятий в динамике показателей ВСР у участников не обнаружено. Из-за отсутствия достоверных различий между разными условиями проведения занятий нельзя утверждать, что среда BP в образовательных задачах формирует более активное или напряженное состояние субъекта.

Средние значения RR-интервалов и показатели ВСР — SDNN, RMSSD, TP — достоверно возрастали в периодах фона от начала к концу эксперимента ( $p < 0,05$ , критерий Фридмана). Это означает нормализацию состояния учащихся в покое после работы в обучающих программах к исходному уровню с дополнительной компенсацией.

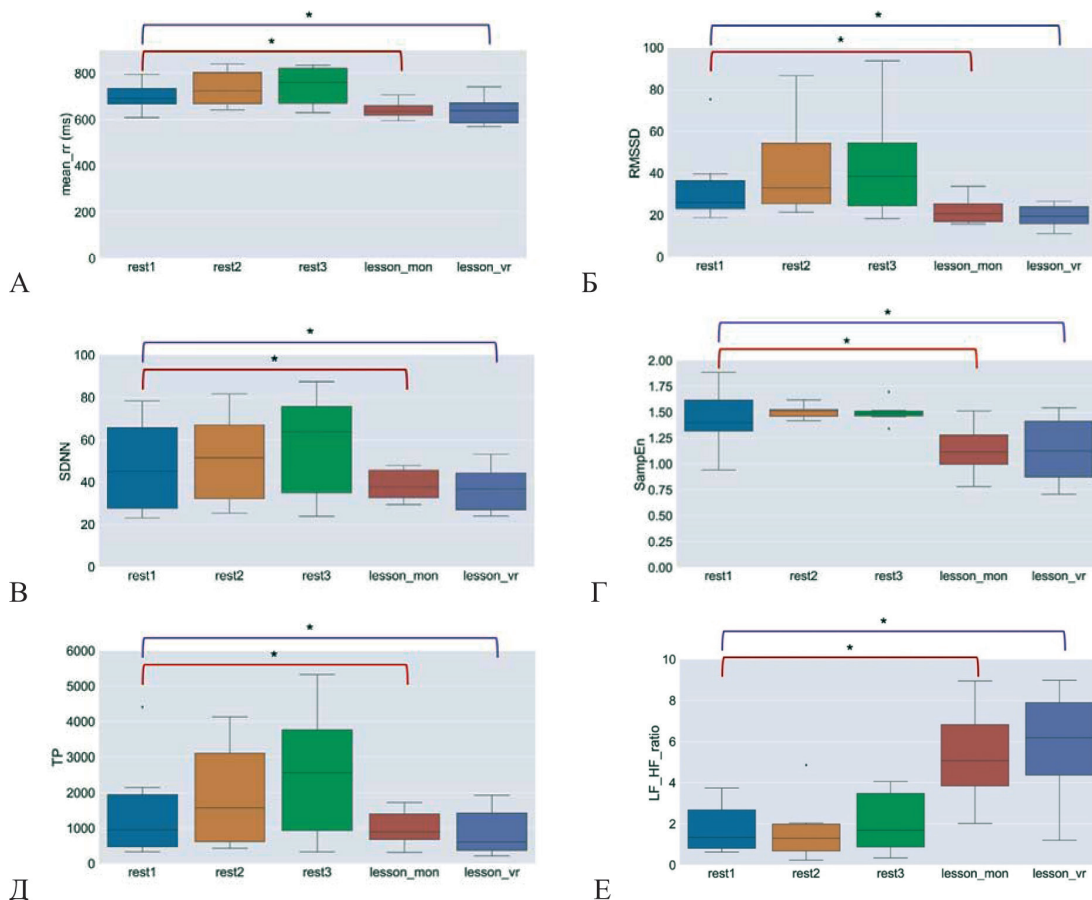


Рис. 1. Динамика показателей ВСП:

А – среднее значение RR-интервалов; Б – RMSSD; В – SDNN; Г – SampEn; Д – TP; Е – LF/HF; их медиана, квантили, мин., макс., в пяти стадиях эксперимента (rest – период фоновой записи в покое, сидя с закрытыми глазами, в начале эксперимента (1), после первого занятия (2) и после второго занятия – в конце эксперимента (3), lesson\_mon – период «урока» за монитором компьютера, lesson\_vr – период «урока» в VR); «\*» –  $p < 0,05$ , критерий Уилкоксона

### Различия уроков по субъективным отчетам учащихся в анкетах

Было проведено сравнение ответов участников на тестовые вопросы в конце каждого занятия и субъективных оценок содержания занятий уроков. Результаты сравнения представлены в табл.1. Выявлено, что после занятий в VR количество правильных ответов на тестовые вопросы было достоверно выше, чем после занятий за монитором компьютера. При этом по оценкам новизны информации занятия в VR оценивались как занятия с меньшей новизной, чем занятия за монитором. Однако сложность воспринимаемой информации по субъективным оценкам после занятий VR была выше.

Таким образом, субъективное восприятие занятий в зависимости от условий их проведения (VR/монитор) отличалось по новизне и сложности воспринимаемой информации. Однако это не отражалось в объективных показателях состояния человека – в динамике показателей ВСП.



Таблица 1

**Описательные статистики (значения медианы и квартилей) ответов на анкету участников исследования после уроков в ВР и за монитором компьютера и статистика критерия Уилкоксона**

Разделы анкеты после урока	ВР			за монитором			W	p
	Ме-диана	1-й квар-тиль	3-й квар-тиль	Ме-диана	1-й квар-тиль	3-й квар-тиль		
% правильных ответов	0,73	0,47	0,95	0,66	0,60	0,78	11	0,05
Новизна информации	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	13	0,04
Заинтересованность	1,50	-0,50	2,00	1,00	-0,50	1,75	9	0,07
Сложность информации	2,00	1,25	2,75	0,00	-1,00	1,75	12	0,04
Понятность информации	-0,50	-1,00	0,75	-1,00	-1,00	1,25	8	0,1

### Обсуждение результатов

В результате экспериментального определения влияния краткосрочных ВР-программ на адаптационный потенциал пользователя, оцениваемый по показателям ВСР, показано, что уровень активации и напряжения у учащихся не различается между занятиями в ВР и за мониторами компьютеров. Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют, что при работе в дидактической ВР высшего уровня в шлемах Vive (высокая иммерсивность) состояние учащегося изменяется с той же амплитудой, что и при соответствующей активности, реализуемой в ВР за монитором компьютера (средняя иммерсивность). Таким образом, экспериментальное исследование с использованием технологии событийно связанной телеметрии ритма сердца [4] позволило установить, что дидактические и развивающие программы в ВР высшего уровня не снижают адаптационный потенциал и не ухудшают вегетативное обеспечение деятельности учащихся старших классов общеобразовательных школ и младших курсов педагогических вузов.

Учащиеся продемонстрировали большее количество правильных ответов на тестовые вопросы после занятия в ВР и оценивали их как содержащие более новую и сложную информацию. Возможно, это связано с тем, что средства ВР, в отличие от традиционных педагогических средств и двухмерного аналога ВР за монитором, предоставляют для субъекта целостные, трехмерные образы тех или иных объектов и явлений с возможностью изучать их с различных сторон (ракурсов) – активно взаимодействовать. Субъект лучше осознает представленные объекты и процессы, а понятия о них формируются более осознанными, углубленными, расширенными. Эффективность ВР-программ при влиянии на процесс обучения детерминирована успешным моделированием 3D объектов, высокой анимацией, интерактивностью, изначально заложенных в содержание ВР высшего уровня.

Таким образом, ВР является эффективным средством для представления новой информации и имеет положительные перспективы для применения в области образования без сдвига адаптационного потенциала пользователя в большей степени, чем компьютерная реальность на мониторе.

### Выводы

Результаты, полученные в ходе проведения экспериментального исследования, позволяют говорить о том, что динамика функционального состояния учащихся при обуче-





нии в ВР не отличается от таковой при занятиях за монитором компьютера. На основании этого заключения сделаны следующие выводы.

1. Работа в обучающих ВР-программах не формирует дезадаптивных состояний у учащихся.

2. Обучение в ВР-программах демонстрирует большую эффективность по тестовым ответам учащихся по сравнению с обучением за монитором компьютера.

### **Литература**

1. Аникина В.Г., Хозе Е.Г., Стрижова И.В. Динамика психических состояний обучающихся, осваивающих дидактические ВР-программы с использованием технологий виртуальной реальности // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 4. С. 123–141. DOI: 10.17759/exppsy.2021140407
2. Биевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика // Клиническая информатика и телемедицина. 2004. Том 1. № 1. С. 54–64.
3. Машин В.А. К вопросу классификации функциональных состояний человека // Экспериментальная психология. 2011. Том 4. № 1. С. 40–56.
4. Полевая С.А., Рунова Е.В., Некрасова М.М., Федотова И.В., Ковальчук А.В., Бакхина А.В., Шишалов И.С., Парин С.Б. Телеметрические и информационные технологии в диагностике функционального состояния спортсменов // Современные технологии в медицине. 2012. № 4. С. 94–98.
5. Рунова Е.В., Григорьева В.Н., Бакхина А.В., Парин С.Б., Шишалов И.С., Кожевников В.В., Некрасова М.М., Каратушина Д.И., Григорьева К.А., Полевая С.А. Вегетативные корреляты произвольных отображений эмоционального стресса // Современные технологии в медицине. 2013. Том 5. № 4. С. 69–77.
6. Селиванов В.В. Психические состояния личности в дидактической vr-среде // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 1. С. 20–28. DOI: 10.17759/exppsy.2021000002
7. Borell E., Langbein J., Despres G., Hensen S., Letierrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Minero M., Mohr E., Prunier A., Valance D., Veissier I. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals — a review // Physiology and behavior. 2007. № 92. P. 293–316.
8. Clifford R.M., Jung S., Hoermann S., Billinghamurst M., Lindeman R.W. Creating a stressful decision making environment for aerial firefighter training in virtual reality // IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). 2019. P. 181–189.
9. Felnhofner A., Kothgassner O. D., Schmidt M., Heinzle A. K., Beutl L., Hlavacs H., Kryspin-Exner I. Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios // International Journal of Human-Computer Studies. 2015. № 82. P. 48–56.
10. Makowski D., Pham T., Lau Z.J., Brammer J. C., Lespinasse F., Pham H. NeuroKit2: a python toolbox for neurophysiological signal processing // Behav. Res. Methods. 2021. № 53. P. 1689–1696. DOI: 10.3758/s13428-020-01516-y
11. Malik M., Bigger J.T., Camm A.J., Kleiger R.E., Malliani A., Moss A.J., Schwartz P.J. Heart rate variability Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix) // European Heart Journal. 1996. № 17. P. 354–381.
12. Pallavicini F., Orena E., di Santo S., Greci L., Caragnano C., Ranieri P., Vuolato C., Pepe A., Veronese G., Dakanalis A., Rossini A., Caltagirone C., Clerici M., Mantovani F. MIND-VR: Design and Evaluation Protocol of a Virtual Reality Psychoeducational Experience on Stress and Anxiety for the Psychological Support of Healthcare Workers Involved in the COVID-19 Pandemic // Front in Virtual Reality. 2021. № 2: e620225.
13. Piskorz J., Czub M. Effectiveness of a virtual reality intervention to minimize pediatric stress and pain intensity during venipuncture // Journal for Specialists in Pediatric Nursing. 2018. № 23: e12201.
14. Polevaya S.A., Eremin E.V., Bulanov N.A., Bakhchina A.V., Kovalchuk A.V., Parin S.B. Event-related telemetry of heart rhythm for personalized remote monitoring of cognitive functions and stress under conditions of everyday activity // Modern technologies in medicine. 2019. Vol. 11. № 1. P. 109–115.
15. Porges S.W. The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior // Physiology and Behavior. 2003. № 79. P. 503–513.



16. Richman J.S., Moorman J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000. № 278. P. 2039–2049. DOI: 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039
17. Slobounov S.M., Ray W., Johnson B., Slobounov E., Newell K.M. Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study // *International Journal of Psychophysiology.* 2015. № 95. P. 254–260.
18. Thayer J.F., Lane R.D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation // *J. Affect. Disord.* 2000. № 61. P. 201–216.
19. von Borell E., Langbein J., Després G., Hansen S., Leterrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Minero M., Mohr E., Prunier A., Valance D., Veissier I. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review // *Physiology & Behavior.* 2007. № 92. P. 293–316.
20. Wolitzky K., Fivush R., Zimand E., Hodges L., Rothbaum B.O. Effectiveness of virtual reality distraction during a painful medical procedure in pediatric oncology patients // *Psychology and Health.* 2005. № 20. P. 817–824.

## References

1. Anikina V.G., Hoze E.G., Strizhova I.V. Dinamika psichicheskikh sostoyanij obuchayushchih, osvivaivayushchih didakticheskie VR-programmy s ispol'zovaniem tekhnologij virtual'noj real'nosti // *Ekspierimental'naya psichologiya.* 2021. V. 14. № 4. P. 123–141. DOI: 10.17759/exppsy.2021140407 (In Russ.).
2. Baevskij R.M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma: istoriya i filosofiya, teoriya i praktika // *Klinicheskaya informatika i telemedicina = Modern technologies in medicine.* 2004. V. 1. № 1. P. 54–64. (In Russ.).
3. Mashin V.A. K voprosu klassifikacii funkcional'nyh sostoyanij cheloveka // *Ekspierimental'naya psichologiya = Experimental psychology.* 2011. V. 4. № 1. P. 40–56. (In Russ.).
4. Polevaya S.A., Runova E.V., Nekrasova M.M., Fedotova I.V., Koval'chuk A.V., Bahchina A.V., SHishalov I.S., Parin S.B. Telemetricheskie i informacionnye tekhnologii v diagnostike funkcional'nogo sostoyaniya sportsmenov // *Sovremennye tekhnologii v medicine = Modern technologies in medicine.* 2012. № 4. P. 94–98. (In Russ.).
5. Runova E.V., Grigor'eva V.N., Bahchina A.V., Parin S.B., SHishalov I.S., Kozhevnikov V.V., Nekrasova M.M., Karatushina D.I., Grigor'eva K.A., Polevaya S.A. Vegetativnye korrelyaty proizvol'nyh otobrazhenij emocional'nogo stressa // *Sovremennye tekhnologii v medicine = Modern technologies in medicine.* 2013. V. 5. № 4. P. 69–77. (In Russ.).
6. Selivanov V.V. Psichicheskie sostoyaniya lichnosti v didakticheskoy vr-srede // *Ekspierimental'naya psichologiya.* 2021. V. 14. № 1. P. 20–28. DOI: 10.17759/exppsy.2021000002 (In Russ.).
7. Borell E., Langbein J., Despres G., Hensen S., Leterrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Minero M., Mohr E., Prunier A., Valance D., Veissier I. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – a review // *Physiology and behavior.* 2007. № 92. P. 293–316.
8. Clifford R.M., Jung S., Hoermann S., Billingham M., Lindeman R.W. Creating a stressful decision making environment for aerial firefighter training in virtual reality // *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR).* 2019. P. 181–189.
9. Felnhofe A., Kothgassner O. D., Schmidt M., Heinzle A. K., Beutl L., Hlavacs H., Kryspin-Exner I. Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios // *International Journal of Human-Computer Studies.* 2015. № 82. P. 48–56.
10. Makowski D., Pham T., Lau Z.J., Brammer J. C., Lespinasse F., Pham H. NeuroKit2: a python toolbox for neurophysiological signal processing // *Behav. Res. Methods.* 2021. № 53. P. 1689–1696. DOI: 10.3758/s13428-020-01516-y
11. Malik M., Bigger J.T., Camm A.J., Kleiger R.E., Malliani A., Moss A.J., Schwartz P.J. Heart rate variability Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix) // *European Heart Journal.* 1996. № 17. P. 354–381.
12. Pallavicini F., Orena E., di Santo S., Greci L., Caragnano C., Ranieri P., Vuolato C., Pepe A., Veronese G., Dakanalis A., Rossini A., Caltagirone C., Clerici M., Mantovani F. MIND-VR: Design and Evaluation



Protocol of a Virtual Reality Psychoeducational Experience on Stress and Anxiety for the Psychological Support of Healthcare Workers Involved in the COVID-19 Pandemic // *Front in Virtual Reality*. 2021. № 2: e620225.

13. Piskorz J., Czub M. Effectiveness of a virtual reality intervention to minimize pediatric stress and pain intensity during venipuncture // *Journal for Specialists in Pediatric Nursing*. 2018. № 23: e12201.

14. Polevaya S.A., Eremin E.V., Bulanov N.A., Bakhchina A.V., Kovalchuk A.V., Parin S.B. Event-related telemetry of heart rhythm for personalized remote monitoring of cognitive functions and stress under conditions of everyday activity // *Modern technologies in medicine*. 2019. V. 11. № 1. P. 109–115.

15. Porges S.W. The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior // *Physiology and Behavior*. 2003. № 79. P. 503–513.

16. Richman J. S., Moorman J. R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000. № 278. P. 2039–2049. DOI: 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039

17. Slobounov S.M., Ray W., Johnson B., Slobounov E., Newell K.M. Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study // *International Journal of Psychophysiology*. 2015. № 95. P. 254–260.

18. Thayer J.F., Lane R.D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation // *J. Affect. Disord.* 2000. № 61. P. 201–216.

19. von Borell E., Langbein J., Després G., Hansen S., Letierrier C., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Minero M., Mohr E., Prunier A., Valance D., Veissier I. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review // *Physiology & Behavior*. 2007. № 92. P. 293–316.

20. Wolitzky K., Fivush R., Zimand E., Hodges L., Rothbaum B.O. Effectiveness of virtual reality distraction during a painful medical procedure in pediatric oncology patients // *Psychology and Health*. 2005. № 20. P. 817–824.

### **Информация об авторах**

*Бахчина Анастасия Владимировна*, кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН «ИП РАН»), г. Москва, Российская Федерация; научный сотрудник лаборатории психофизиологической диагностики функциональных состояний, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского (ФГАОУ ВО «ННГУ»), г. Нижний Новгород, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-1165>, e-mail: [nastyua18-90@mail.ru](mailto:nastyua18-90@mail.ru)

*Стрижова Ирина Викторовна*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей психологии Института экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-3900>, e-mail: [irinaswift1112@mail.ru](mailto:irinaswift1112@mail.ru)

### **Information about the authors**

*Anastasiia V. Bakhchina*, PhD in Psychology, Research Assistant, Laboratory of psychophysiology named after V.B. Shvirkov, Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Research Assistant, Laboratory of psychophysiological diagnostics of functional states, National Research University Nizhny Novgorod State University Named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-1165>, e-mail: [nastyua18-90@mail.ru](mailto:nastyua18-90@mail.ru)

*Irina V. Strizhova*, PhD in Pedagogics, Associate Professor Chair of General Psychology, Institute of Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-3900>, e-mail: [irinaswift1112@mail.ru](mailto:irinaswift1112@mail.ru)

Получена 11.02.2022

Received 11.02.2022

Принята в печать 01.06.2022

Accepted 01.06.2022