

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМБАТАНТОВ ПРИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ТЕРАПИИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО СТРЕССОВОГО РАССТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

DOI: 10.17691/stm2024.16.5.04

УДК 159.9:004.946

Поступила 2.03.2024 г.

© Л.Н. Касимова, д.м.н., профессор, зав. кафедрой психиатрии¹;
А.Н. Кузнецов, руководитель лаборатории иммерсивных технологий и дистанционной реабилитации¹;
И.И. Кропинова, лаборант-исследователь лаборатории иммерсивных технологий и дистанционной реабилитации¹; магистрант кафедры психофизиологии факультета социальных наук²;
Д.В. Кузнецов, лаборант-исследователь лаборатории иммерсивных технологий и дистанционной реабилитации¹; магистрант кафедры психофизиологии факультета социальных наук²;
М.Г. Воловик, д.б.н., ведущий научный сотрудник Университетской клиники¹;
М.В. Святогор, к.м.н., доцент кафедры психиатрии¹;
Е.М. Сычугов, ассистент кафедры психиатрии¹;
Г.Ю. Боровской, старший лаборант кафедры психиатрии¹;
М.Е. Халак, к.психол.н., доцент кафедры общей и клинической психологии¹

¹Приволжский исследовательский медицинский университет, пл. Минина и Пожарского, 10/1, Н. Новгород, 603005;

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, проспект Гагарина, 23, Н. Новгород, 603022

Цель исследования — разработка реабилитационной технологии, позволяющей осуществлять контроль психофизиологических маркеров стресса в процессе экспозиционной терапии посттравматического стрессового расстройства у комбатантов с помощью виртуальной реальности (VR).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 69 мужчин: 31 комбатант (средний возраст — 35,61±9,13 года) и 38 здоровых испытуемых — группа контроля (средний возраст — 24,68±5,71 года), не участвовавших в боевых действиях.

Диагностику посттравматического стрессового расстройства проводили с использованием Структурированного клинического диагностического интервью и Миссисипской шкалы.

Предложен оригинальный программно-аппаратный комплекс (ПАК) для экспозиционной терапии в VR. Стимульный материал включал ряд виртуальных сцен: три боевые сцены и одну небоевую.

Для контроля состояния пациента в течение всего сеанса регистрировали вариабельность сердечного ритма. В качестве маркеров стрессогенных ситуаций использовали CS-индекс (С.В. Божокина), а также показатели функционального резерва и степени напряжения регуляторных систем (по Р.М. Баевскому).

Результаты. Выявлено три основных варианта реагирования на предъявляемые в VR сцены с оригинальным контентом. Мы назвали эти варианты «тревожный», «нейтральный» и «инверсный». Предлагаемая методология позволяет осуществлять непрерывный мониторинг психофизиологических параметров в ходе конкретного сеанса и анализировать их динамику на протяжении всего курса терапии.

Для контактов: Михаил Григорьевич Воловик, e-mail: afanassy@mail.ru

Использование расчетных показателей Р.М. Баевского дает возможность классифицировать комбатантов по адаптивному потенциалу в начале и в конце курса экспозиционной терапии в ВР, использовать онлайн-контроль функционального состояния пациента в виртуальной среде и создавать условия для контролируемых информационных воздействий (СS-индекс Божокина).

Предварительные результаты, представленные в работе, перспективны в плане возможности с помощью разрабатываемого ПАК подбирать для каждого типа реакции персонализированную программу реабилитационных мероприятий. Включение в ПАК биологической обратной связи по вариабельности сердечного ритма будет способствовать выработке и закреплению у пациента навыка оперативной самостоятельной коррекции своего состояния.

Ключевые слова: посттравматическое стрессовое расстройство; комбатанты; виртуальная реальность; экспозиционная терапия в виртуальной реальности; вариабельность сердечного ритма; маркеры стресса.

Как цитировать: Kasimova L.N., Kuznetsov A.N., Kropinova I.I., Kuznetsov D.V., Volovik M.G., Svyatogor M.V., Sychugov E.M., Borovskoy G.Y., Khalak M.E. Comprehensive assessment of combatants' psychological and psychophysiological state in exposure therapy of post-traumatic stress disorder using virtual reality. *Sovremennyye tehnologii v medicine* 2024; 16(5): 35, <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.5.04>

English

Comprehensive Assessment of Combatants' Psychological and Psychophysiological State in Exposure Therapy of Post-Traumatic Stress Disorder Using Virtual Reality

L.N. Kasimova, MD, DSc, Professor, Head of Psychiatry Department¹;

A.N. Kuznetsov, Head of Immersive Technologies and Remote Rehabilitation Laboratory¹;

I.I. Kropinova, Research Assistant, Immersive Technologies and Remote Rehabilitation Laboratory¹;

Master's Degree Student, Psychophysiology Department, Faculty of Social Sciences²;

D.V. Kuznetsov, Research Assistant, Immersive Technologies and Remote Rehabilitation Laboratory¹;

Master's Degree Student, Psychophysiology Department, Faculty of Social Sciences²;

M.G. Volovik, DSc, Leading Researcher, University Clinic¹;

M.V. Svyatogor, PhD, Associate Professor, Psychiatry Department¹;

E.M. Sychugov, Teaching Assistant, Psychiatry Department¹;

G.Y. Borovskoy, Senior Laboratory Technician, Psychiatry Department¹;

M.E. Khalak, PhD, Associate Professor, General and Clinical Psychology Department¹

¹Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russia;

²National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Prospekt Gagarina, Nizhny Novgorod, 603022, Russia

The aim of the study was to develop the rehabilitation technology that enables the monitoring of psychophysiological stress markers during exposure therapy of post-traumatic stress disorder in combatants using virtual reality (VR).

Materials and Methods. The study involved 69 men: 31 combatants (mean age — 35.61±9.13 years) and 38 healthy research subjects — a control group (mean age — 24.68±5.71 years) not engaged in active combat.

Post-traumatic stress disorder was diagnosed using Structured Clinical Interview for DSM and Mississippi Scale.

We suggested an original hardware and software system for exposure therapy in VR. Stimulus material included a number of virtual scenes: three combat scenes and a non-combat one.

Heart rate variability was recorded to control a patient's state during the session. As markers of stressogenic situations we used CS-index (suggested by S.V. Bozhokin), as well as the indices of functional reserve and tension degree of the regulatory systems (according to R.M. Baevskiy).

Results. There were revealed three main responses on VR scenes with an original content. The three variants were called as follows: "anxious", "neutral", and "inverse". The suggested methodology enables to continuously monitor psychophysiological parameters during a certain session, and analyze their dynamics within a therapy course.

Using calculated indicators by Baevsky makes it possible to classify combatants by adaptive potential at the beginning and at the end of the exposure therapy course in VR; make use of online-control of a patient's functional state in virtual environment, and create conditions for controlled information influence (CS-index by Bozhokin).

The preliminary results presented in the study are promising regarding the possibility to choose a personalized program of rehabilitation measures for each response type using a developed hardware and software system. Biological feedback on heart rate variability included in hardware and software system will contribute to train and harness a patient's habit of an operative independent correction of the patient's state.

Key words: post-traumatic stress disorder; combatants; virtual reality; virtual reality exposure therapy; heart rate variability; stress markers.

Введение

Одним из перспективных направлений в реабилитационной медицине является экспозиционная терапия с использованием виртуальной реальности (ЭТВР). Это метод применяется в комплексной реабилитации лиц с психическими нарушениями, в частности для лечения посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) [1]. В условиях увеличивающегося числа локальных военных конфликтов возрастает актуальность применения ЭТВР для диагностики и лечения ПТСР у участников боевых действий — комбатантов [2]. Симуляция в виртуальной реальности (VR) значимых событий, ставших причиной боевой психической травмы, позволяет добиться высокого уровня мотивации и вовлеченности пациента в процесс реабилитации. Это способствует успешной десенсибилизации, в том числе в сложных случаях, когда не удалось добиться улучшения с помощью предыдущей терапии [3].

В то же время демонстрируемый в виртуальной среде контент может спровоцировать ухудшение эмоционального и психофизиологического состояния. В связи с этим одной из ключевых задач при использовании VR-технологий является необходимость непрерывного мониторинга показателей функционального состояния пациента [4, 5].

В качестве инструмента оценки динамики вегетативной регуляции в режиме реального времени все чаще используют вариабельность сердечного ритма (BCP). Исследования С.А. Полевой с соавт. [6] доказали достоверность и эффективность разработанного ими метода событийно-связанной телеметрии ритма сердца — информационно-телекоммуникационной технологии для дистанционного мониторинга стрессогенных ситуаций в контексте естественной деятельности. Момент наступления острого стресса автоматически определяется по падению общей мощности спектра BCP (TP) при резком возрастании индекса симпатовагусного баланса (LF/HF) [7]. Обоснование этой зависимости строится на трехкомпонентной теории нейрохимических механизмов стресса, сформулированной С.Б. Париним [8].

Технология непрерывной регистрации BCP, представляющая собой оперативный сбор и анализ данных [9], позволяет своевременно обнаружить условия, требующие незамедлительного вмешательства. Данные BCP, отражающие состояние вегетативной нервной системы, дают возможность оценить адаптационные ресурсы организма и выявить риск формирования и развития хронических заболеваний [10].

Комплексный анализ регистрируемых показателей (в частности, спектральных и статистических показателей BCP) в режиме реального времени способствует выявлению специфичных ранних биомаркеров экстремальных состояний, что в свою очередь обеспечивает контролируемое предъявление информационных стимулов во время ЭТВР. Объективное

измерение степени «погружения» посредством мониторинга функционального состояния является ключом к установлению индивидуального окна толерантности пациента. Регистрируемые параметры ритма сердца позволяют оператору своевременно предоставить пациенту обратную связь об уровне напряжения его регуляторных систем. Благодаря этой информации пациент может временно снизить напряжение, переключившись на физическую или иную активность [11]. Автоматизированная регулировка интенсивности триггеров с помощью биологической обратной связи оптимизирует терапевтический процесс, повышая эффективность лечения и снижая риск потенциальных нарушений или неадаптивных реакций у данной категории пациентов.

Динамика вегетативной регуляции при проведении ЭТВР может оцениваться как в ходе конкретного сеанса, так и на протяжении всей программы реабилитации (на разных ее этапах) пациентов с ПТСР. Очевидно, что детальный анализ особенностей реагирования пациентов на VR-сцены, а также более полное представление об изменениях их состояния позволят создать персонализированные программы реабилитации.

Цель исследования — разработка реабилитационной технологии, позволяющей осуществлять контроль психофизиологических маркеров стресса в процессе экспозиционной терапии посттравматического стрессового расстройства у комбатантов с помощью виртуальной реальности.

Материалы и методы

Выборка. В исследовании приняли участие 69 мужчин: 31 комбатант (средний возраст — $35,61 \pm 9,13$ года) и 38 здоровых испытуемых (средний возраст — $24,68 \pm 5,71$ года), не участвовавших в боевых действиях, — группа контроля.

Исследование одобрено Этическим комитетом Приволжского исследовательского медицинского университета и проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013). Все участники подписали информированное согласие на проведение данного исследования.

Комбатанты самостоятельно заполняли опросник, включающий в себя социодемографические характеристики (пол, возраст, образование, семейное положение и др.) и информацию о боевом опыте.

Диагностику ПТСР проводили с использованием Структурированного клинического диагностического интервью (СКИД) и Миссисипской шкалы для определения степени выраженности адаптационных нарушений в связи с посттравматическим стрессом, полученным в результате участия в боевых действиях.

Диагностику депрессии осуществляли с помощью шкалы депрессии Бека; суицидальный риск оценивали по опроснику суицидального поведения (SBQ).

У 10 комбатантов диагностирован ПТСР по СКИД;

общий балл по Миссисипскому опроснику в этой группе составил более 112, что подтверждает наличие у обследованных выраженных адаптационных нарушений в связи с боевым ПТСР. У 8 комбатантов с ПТСР была диагностирована депрессия (балл по шкале Бека ≥ 10), у 3 человек — высокий риск суицидального поведения.

Программно-аппаратный комплекс. В разработанный прототип программно-аппаратного комплекса (ПАК) входил VR-шлем HTC Vive Focus 3 (HTC Corporation, Тайвань), беспроводной датчик для непрерывной регистрации ВСР Callibri (ООО «Нейротех», Россия), портативный персональный компьютер (основные характеристики: Core i7 12700H, 16Gb, NVIDIA GeForce RTX3070Ti 8Gb). Стимульный материал включал ряд виртуальных сцен, разработанных на основе игрового движка Unreal Engine 5: три боевые сцены и одну небоевую. С помощью оригинального программного обеспечения стимульный материал демонстрировали на экране компьютера и параллельно транслировали в VR-шлем. Программное обеспечение также поддерживало сбор данных ВСР с датчика Callibri и их вывод на экран оператора в реальном времени в виде графиков показателей ВСР: частоты сердечных сокращений и динамического индекса напряжения сердечно-сосудистой системы [12]. Эти графики использовали для контроля уровня стресса испытуемого и корректировки параметров транслируемого стимульного материала.

Методики. Для оценки динамики вегетативной регуляции в процессе всего сеанса непрерывно регистрировали показатели ВСР [9]. Перед началом исследования фиксировали функциональное состояние в покое в положении лежа в течение 5 мин [13]. Затем проводили ортостатическую пробу [14]. После этого испытуемого обучали диафрагмальному дыханию и проводили дыхательную пробу в течение 2 мин [15]. Участников исследования инструктировали о применении в виртуальной сре-

де данного типа дыхания в случае возникновения субъективных стрессовых ощущений. На испытуемого надевали VR-шлем, в котором происходила последовательная демонстрация трех сцен с боевыми действиями, чередовавшихся с небоевой (условно «релаксационной») сценой.

Результаты и обсуждение

Для анализа реакции комбатантов на VR-сцены из показателей ВСР использованы функциональный резерв (ФР) и степень напряжения (СН) регуляторных систем; для оценки функционального состояния — фазовая плоскость с координатами ФР и СН.

В соответствии с классификацией Р.М. Баевского [10] выделяют четыре класса состояний: физиологическая норма, донозологические состояния, преморбидные состояния и патологические состояния (рис. 1).

У комбатантов с установленным на момент исследования диагнозом ПТСР динамика ВСР свидетельствовала о выраженном напряжении регуляторных систем и значительном снижении ФР: такое состояние оценивается как донозологическое либо преморбидное.

По результатам нашей оценки вегетативной регуляции динамика функционального состояния у комбатантов, в отличие от контрольной группы, может быть условно разделена на три типа.

К первому типу относили комбатантов, чье функциональное состояние ухудшалось при просмотре сцен с боевыми действиями. У представителей данной группы отмечена отчетливая дифференциация СН между боевыми и небоевыми сценами: в первом случае показатель увеличивался (ухудшение функционального состояния), во втором — уменьшался (улучшение функционального состояния). В ряде случаев реакция ухудшения возникала во время демонстрации небоевой сцены, что может объясняться

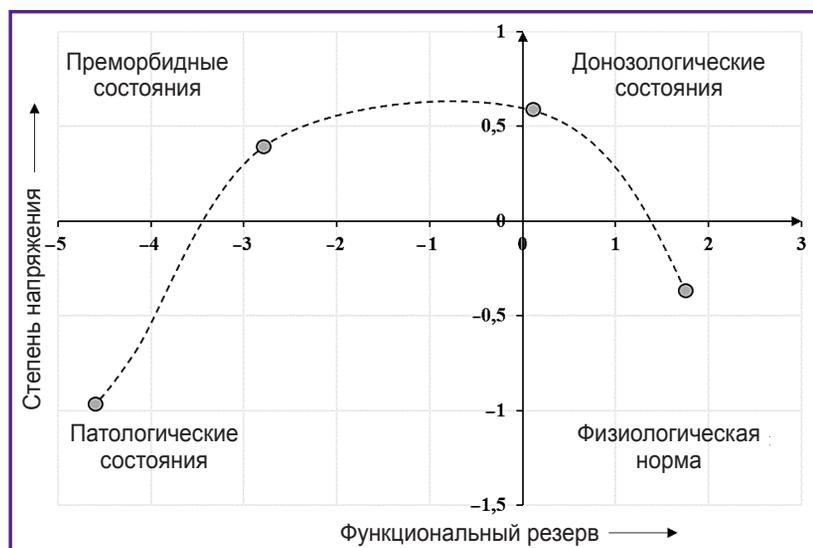


Рис. 1. Схема Р.М. Баевского [1]: пространство функциональных состояний в координатах функционального резерва и степени напряжения регуляторных систем (фазовая плоскость с координатами функционального резерва и степени напряжения и четыре классами состояний)

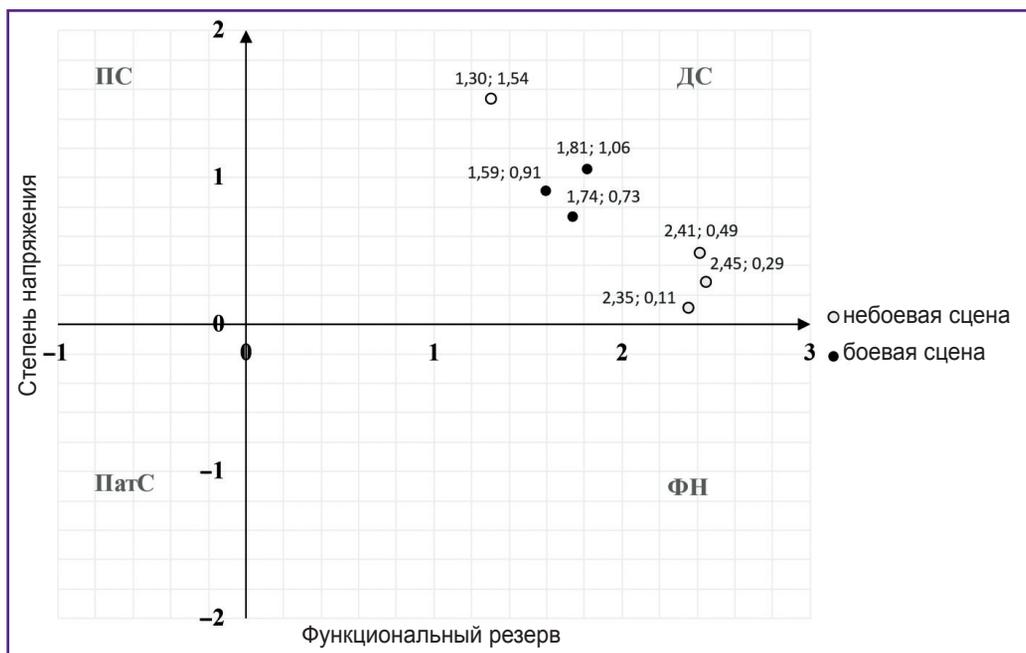


Рис. 2. Динамика функционального состояния и физиологических резервов во время просмотра VR-контента типичного представителя группы «тревожного типа» (ID пациента 27)

Цифры около каждой точки соответствуют ее координатам. ФН — физиологическая норма, ДС — донозологические состояния, ПС — преморбидные состояния, ПатС — патологические состояния

отсроченным проявлением, связанным с влиянием предыдущего сценария, содержащего боевые действия. Условное обозначение данной группы — реакция «тревожного типа» (рис. 2).

Второй тип реагирования характеризовался отсутствием изменений и отчетливой дифференциации функционального состояния при просмотре в VR как боевых сцен, так и небоевой. Условное обозначение данной группы — реакция «нейтрального типа» (рис. 3).

К третьему типу относили комбатантов, у которых в функциональном состоянии отмечено улучшение во время просмотра боевых сцен и ухудшение — во время просмотра небоевой сцены. Условное обозначение данной группы — реакция «инверсного типа» (рис. 4).

Выделение нескольких типов реакции («тревожного», «нейтрального» и «инверсного») у комбатантов на предъявляемый контент не явилось неожиданным и соответствует установленным закономерностям кластеризации как физиологических [16], так и психофизиологических [17] моделей (вариантов) реагирования на стандартизированные условия стимуляции. Это может быть обусловлено онтогенетическими факторами [18] и индивидуальными особенностями пациента, профессиональным и жизненным опытом [19, 20], в том числе — боевым [21], а также выраженностью симптомов ПТСР [22, 23].

В математической модели функциональных состояний используются показатели степени напряженности регуляторных систем и их функционального резерва, рассчитываемые по данным анализа ВСР. Разработанная Р.М. Баевским и соавт. [10] методика оценки адаптационных рисков представляет собой эффективный инструмент для проведения анализа до и после периодов реабилитации. Однако для мониторинга динамических физиологических параметров предпочтительнее методы, способные работать в условиях нестационарности (например, в амбулаторных), что позволяет эффективнее оценивать происходящие изменения в состоянии пациента, особенно в контексте стрессовых воздействий.

Расчетный индекс Card Stress (CS), разработанный С.В. Божокиным [12], показывает изменение ВСР во время нагрузки по сравнению со значениями в покое, позволяя классифицировать функциональные состояния по степени напряжения регуляторных систем. Преимущества этого индекса перед другими методиками обработки вариационной пульсограммы обусловлены повышенной устойчивостью к резким изменениям длительности кардиоинтервалов в условиях воздействия различных психофизиологических контекстов.

Использование CS-индекса позволяет в режиме реального времени мониторировать динамику уровня толерантности к стрессовой нагрузке в

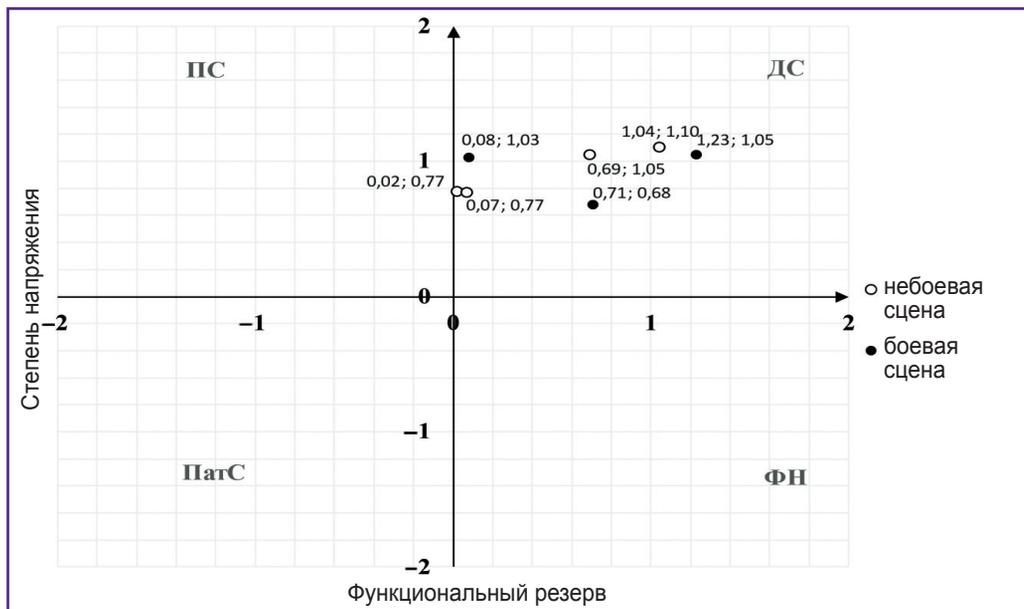


Рис. 3. Динамика функционального состояния и физиологических резервов во время просмотра VR-контента типичного представителя группы «нейтрального типа» (ID пациента 31)

ФН — физиологическая норма, ДС — донозологические состояния, ПС — преморбидные состояния, ПатС — патологические состояния

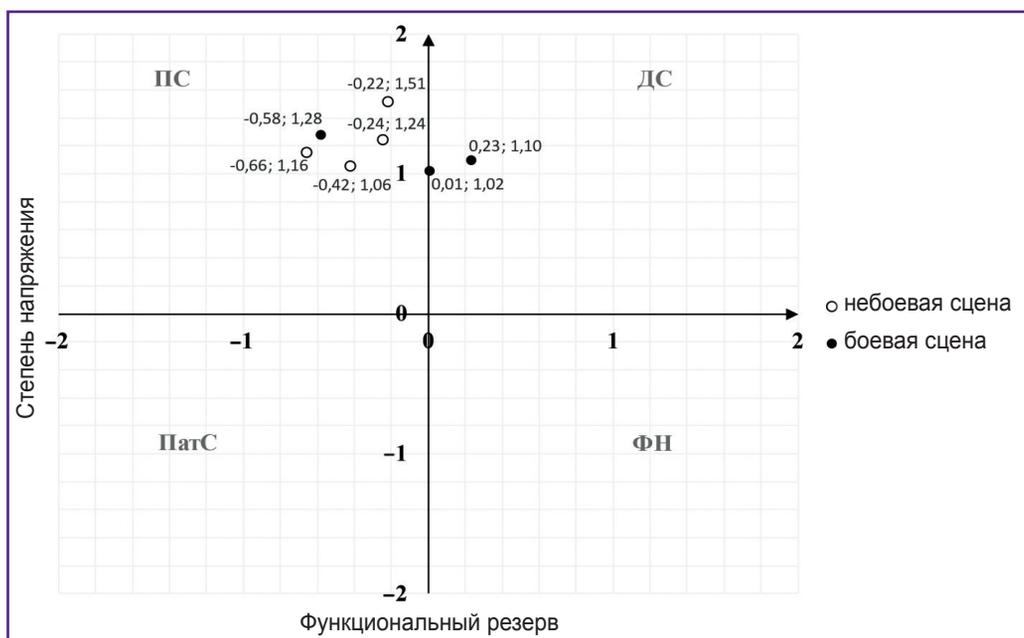


Рис. 4. Динамика функционального состояния и физиологических резервов во время просмотра VR-контента типичного представителя группы «инверсного типа» (ID пациента 18)

ФН — физиологическая норма, ДС — донозологические состояния, ПС — преморбидные состояния, ПатС — патологические состояния

нестационарных условиях (рис. 5). Согласно исследованию [12], пороговыми величинами для дифференциации уровней устойчивости к стрессорам яв-

ляются следующие: высокая толерантность — до 12, средняя — 12–40, низкая — более 40.

В целях упрощения визуальной интерпретации в

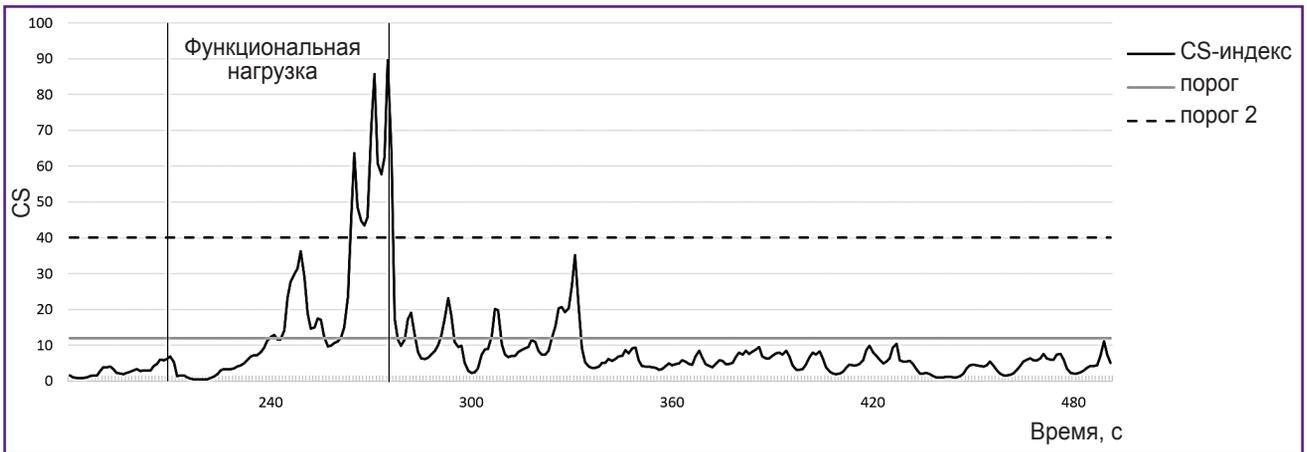


Рис. 5. Вид экспериментальной кривой, отражающей динамику CS-индекса при нагрузке (регистрация с датчика Callibri)

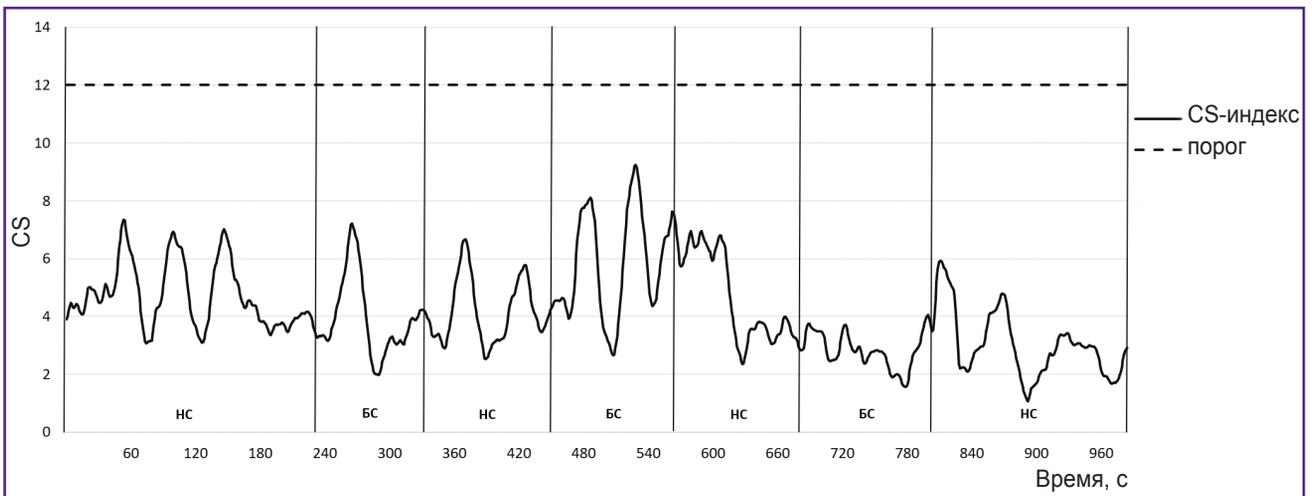


Рис. 6. Отсутствие стрессовой реакции (ID пациента 31)
НС — небоевая сцена; БС — боевая сцена

данном исследовании CS-индекс сглаживался методом скользящего среднего (ширина окна — 20 с, шаг — 1 с).

По результатам анализа CS-индекса установлены различные уровни толерантности к стрессовой нагрузке у комбатантов. Отсутствие превышения порога ($CS < 12$) указывает на низкую степень напряжения регуляторных систем (рис. 6). При повышении порогового значения ($CS > 12$) наблюдается умеренная или высокая степень толерантности к стрессорам (рис. 7).

Более глубокий анализ выявленных режимов реагирования и механизмов их обеспечения является предметом наших продолжающихся исследований. Тем не менее можно констатировать, что боевые сцены провоцируют у комбатантов стрессовые реакции различной степени. Это обусловлено их индивидуальным опытом, давностью психотравмы, адаптивностью регуляторных систем и другими факторами.

Мы полагаем, что CS-индекс в будущем позволит определять, какие из предъявляемых при ЭТВР боевых сцен являются «триггерными» для формирования острой стрессовой реакции каждого конкретного комбатанта.

Ограничения исследования. Ограничения настоящего исследования обусловлены его новизной: измерения проводились у участников боевых действий с использованием ВР, в которой демонстрировался оригинальный контент с боевыми сценами.

Использованные нами методы оценки динамики вегетативной регуляции ранее были апробированы только на выборках здоровых людей: показатели Баевского (ФР и СН) — на космонавтах, с последующей адаптацией на больших выборках других исследуемых контингентов [14]; CS-индекс Божокина — на здоровых добровольцах, в том числе на операторах и спортсменах [12]. Тот факт, что данные методы

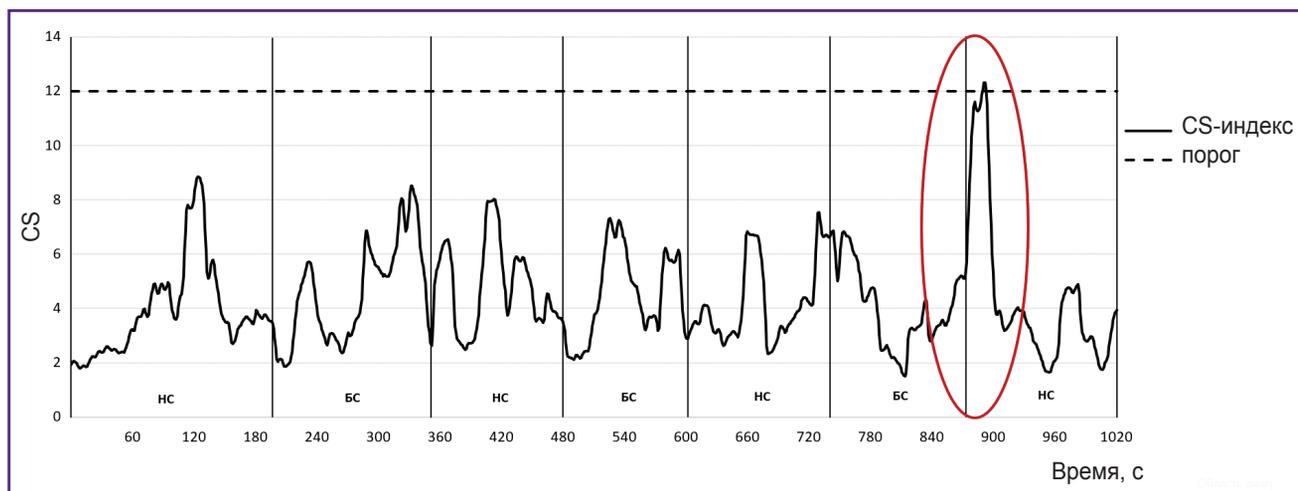


Рис. 7. Отсроченная во времени реакция (проявляется после окончания боевых сценариев в период предъ- явления небоевого сценария) (ID пациента 30)

НС — небоевая сцена; БС — боевая сцена

изначально не были предназначены для оценки функционального состояния и стрессовых реакций у комбатантов, диктует необходимость создания четкого протокола измерений и аргументированной интерпретации данных, а также обязательного увеличения выборки как целевой группы (комбатанты), так и группы контроля с соблюдением критериев включения и исключения из исследования.

Мы протестировали возможность использования показателей ФР и СН для оценки индивидуального типа вегетативной регуляции пациента и состояния его регуляторных систем на момент входа в исследование. CS-индекс применяли для онлайн-оценки динамики функционального состояния в процессе ВР-стимуляции с целью своевременного выявления стрессовых эпизодов. Следует отметить, что показатели ФР и СН могут не коррелировать с ответом на триггерное событие, определяемое с помощью CS-индекса. Это также требует дополнительных исследований.

Разнообразие индивидуальных реакций обусловлено личным опытом (как в боевой, так и в гражданской жизни) и индивидуальными психофизиологическими особенностями человека. Исходя из этого, требует уточнения термин «триггерное событие», под которым мы понимаем отрезок ВР-контента, вызывающий у комбатанта стрессовую реакцию. Запуску энграммы, связанной с травмирующим событием, может способствовать как боевая, так и небоевая сцена, ассоциирующаяся, например, с ненадежностью укрытия конкретного типа или с субъективным восприятием обманчивости тишины. Кроме того, типы реакции у отдельных пациентов нередко проявляются нестабильно. Данный факт в конечном итоге может привести к корректировке нашей предварительной классификации типов реагирования.

Планируется построение терапевтической модели с протоколом применения ЭТВР в виде курса из 10 сеансов. Мы полагаем, что это внесет дополнительные корректировки в анализ данных и значительно улучшит понимание механизмов формирования ПТСР у участников военных конфликтов.

Заключение

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс является оригинальной отечественной технологией, сочетающей в себе возможность одновременного применения экспозиционной терапии и виртуальной реальности в реабилитации комбатантов с посттравматическим стрессовым расстройством. Предлагаемая методология позволяет осуществлять непрерывный мониторинг психофизиологических параметров в ходе конкретного сеанса и анализировать их динамику на протяжении всего курса терапии.

Использование нескольких маркеров стресса дает возможность классифицировать комбатантов по адаптивному потенциалу в начале и в конце курса экспозиционной терапии с использованием виртуальной реальности (подход Баевского); использовать онлайн-контроль функционального состояния пациента в виртуальной среде и создавать условия для контролируемых информационных воздействий (CS-индекс Божкина).

В результате данного исследования выявлено три основных варианта реагирования: «тревожный», «нейтральный» и «инверсный». В перспективе это позволит с помощью программно-аппаратного комплекса подбирать для каждого типа реакции персонализированную программу реабилитационных мероприятий. Включение в программно-аппаратный

комплекс биологической обратной связи по вариабельности сердечного ритма будет способствовать выработке и закреплению у пациента навыка самостоятельной коррекции своего состояния с ориентацией на динамику регистрируемых индивидуальных показателей.

Финансирование. Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Конфликт интересов отсутствует.

Литература/References

1. Фрейзе В.В., Малышко Л.В., Грачев Г.И., Дутов В.Б., Семенова Н.В., Незнанов Н.Г. Перспективы использования технологий виртуальной реальности (VR) в терапии пациентов с психическими расстройствами (обзор зарубежной литературы). *Обзорные психиатрии и медицинской психологии им. В.М. Бехтерева* 2021; 55(1): 18–24, <https://doi.org/10.31363/2313-7053-2021-1-18-24>.
2. Freize V.V., Malyshko L.V., Grachev G.I., Dutov V.B., Semenova N.V., Neznanov N.G. Outlook of applying of virtual reality (VR) technologies in the treatment of patients with mental disorders (review of foreign literature). *Obzrenie psikiatrii i medicinskoj psihologii im. V.M. Bekhtereva* 2021; 55(1): 18–24, <https://doi.org/10.31363/2313-7053-2021-1-18-24>.
3. Volovik M.G., Belova A.N., Kuznetsov A.N., Polevaia A.V., Vorobyova O.V., Khalak M.E. Use of virtual reality techniques to rehabilitate military veterans with post-traumatic stress disorder (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2023; 15(1): 74, <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.08>.
4. Hoppen T.H., Meiser-Stedman R., Kip A., Birkeland M.S., Morina N. The efficacy of psychological interventions for adult post-traumatic stress disorder following exposure to single versus multiple traumatic events: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Lancet Psychiatry* 2024; 11(2): 112–122, [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(23\)00373-5](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(23)00373-5).
5. Шамрей В.К., Марченко А.А., Лобачев А.В., Тарумов Д.А. Современные методы объективизации психических расстройств у военнослужащих. *Социальная и клиническая психиатрия* 2021; 31(2): 51–57.
6. Shamrey V.K., Marchenko A.A., Lobachev A.V., Tarumov D.A. Modern methods of mental disorders objectification in military service. *Social'naa i kliniceskaa psikiatriia* 2021; 31(2): 51–57.
7. Gramlich M.A., Smolenski D.J., Norr A.M., Rothbaum B.O., Rizzo A.A., Andrasik F., Fantelli E., Reger G.M. Psychophysiology during exposure to trauma memories: comparative effects of virtual reality and imaginal exposure for posttraumatic stress disorder. *Depress Anxiety* 2021; 38(6): 626–638, <https://doi.org/10.1002/da.23141>.
8. Polevaya S.A., Eremin E.V., Bulanov N.A., Bakhchina A.V., Kovalchuk A.V., Parin S.B. Event-related telemetry of heart rate for personalized remote monitoring of cognitive functions and stress under conditions of everyday activity. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(1): 109, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.13>.
9. Некрасова М.М., Полевая С.А., Парин С.Б., Шишалов И.С., Бахчина А.В. *Способ определения стресса*. Патент РФ 2531443. 2014.
10. Nekrasova M.M., Polevaya S.A., Parin S.B., Shishalov I.S., Bakhchina A.V. *Method for diagnosing stress*. Patent RU 2531443. 2014.
11. Парин С.Б. Люди и животные в экстремальных ситуациях: нейрохимические механизмы, эволюционный аспект. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Психология* 2008; 2(2): 118–135.
12. Parin S.B. Humans and animals in extreme situations: neurochemistry mechanisms, evolutionary aspect. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Psikhologiya* 2008; 2(2): 118–135.
13. Пермяков С.А., Еремин Е.В., Полевая С.А., Лоскот И.В., Кузнецов Д.В. Программа для ЭВМ «Стресс-Монитор». Государственная регистрация программы для ЭВМ RU 2024611011. *Бюллетень №1*. 17.01.2024.
14. Permyakov S.A., Eremin E.V., Polevaya S.A., Loskot I.V., Kuznetsov D.V. Computer program “Stress-Monitor”. State registration of computer program RU 2024611011. *Bulletin No.1*. January 17, 2024.
15. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М., Чирейкин Л.В. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1). *Вестник аритмологии* 2002; 24: 65–86.
16. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskiy D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleyshman A.N., Medvedev M.M., Chireykin L.V. Analysis of heart rate variability when using various electrocardiographic systems (part 1). *Vestnik aritmologii* 2002; 24: 65–86.
17. Shelke S., Singh R. Understanding biofeedback and its use in psychiatry. *Annals of Indian Psychiatry* 2019; 3(1): 71, https://doi.org/10.4103/aip.aip_13_19.
18. Bozhokin S.V., Shchenkova I.M. Analysis of the heart rate variability using stress tests. *Human Physiology* 2008; 34(4): 461–467, <https://doi.org/10.1134/s0362119708040105>.
19. Bozhokin S.V., Lesova E.M., Samoilov V.O., Tolkachev P.I. Wavelet analysis of nonstationary heart rate variability in a head-up tilt-table test. *Biophysics* 2012; 57(4): 530–543, <https://doi.org/10.1134/s0006350912040033>.
20. Баевский Р.М., Берсенева А.П., Лучицкая Е.С., Слепченкова И.Н., Черникова А.Г. Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей. Методическое руководство к программе медико-экологических исследований в эксперименте «Марс-500». М: «Слово»; 2009; 100 с.
21. Baevskiy R.M., Berseneva A.P., Luchitskaya E.S., Slepchenkova I.N., Chernikova A.G. Otsenka urovnya zdorov'ya pri issledovanii prakticheski zdorovykh lyudey. Metodicheskoe rukovodstvo k programme mediko-ekologicheskikh issledovaniy v eksperimente “Mars-500” [Assessment of health level in the study of practically healthy people. Methodological guide to the program of medical and environmental research in the “Mars-500” experiment]. Moscow: “Slovo”; 2009; 100 p.

15. Bozhokin S.V., Lesova E.M., Samoilov V.O., Tarakanov D.E. Nonstationary heart rate variability in respiratory tests. *Human Physiology* 2018; 44(1): 32–40, <https://doi.org/10.1134/s036211971801005x>.
16. Muller I., Ovadia-Blechman Z., Moyal N., Darchi N., Hoffer O., Halak M., Rabin N. Combining thermal imaging and machine learning to noninvasively characterize palm perfusion during local blood pressure changes. *Biomedical Signal Processing and Control* 2024; 92: 106109, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106109>.
17. Cheng Y.C., Su M.I., Liu C.W., Huang Y.C., Huang W.L. Heart rate variability in patients with anxiety disorders: a systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Clin Neurosci* 2022; 76(7): 292–302, <https://doi.org/10.1111/pcn.13356>.
18. Орехова О.А. Процессы дифференциации, амбивалентности и инверсии эмоций как особенности развития эмоциональной сферы детей разного возраста и пола. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Международные отношения* 2007; 2(2): 43–47.
Orekhova O.A. Processes of differentiation, ambivalence and inversion of emotions as features of the development of the emotional sphere of children of different ages and gender. *Vestnik of Saint Petersburg University. International Relations* 2007; 2(2): 43–47.
19. Leelartapin K., Lapanun W., Kantha S., Tanaka H., Suksom D. Cognitive fatigue in habitual video gamers and non-gamers among military pilots in training. *Physical Activity and Health* 2023; 7(1): 319–331, <https://doi.org/10.5334/пааh.298>.
20. Schuetz M., Gockel I., Beardi J., Hakman P., Dunschede F., Moenk S., Heinrichs W., Junginger T. Three different types of surgeon-specific stress reactions identified by laparoscopic simulation in a virtual scenario. *Surg Endosc* 2008; 22(5): 1263–1267, <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9605-1>.
21. Jovanovic T., Norrholm S.D., Sakoman A.J., Esterajher S., Kozarić-Kovacic D. Altered resting psychophysiology and startle response in Croatian combat veterans with PTSD. *Int J Psychophysiol* 2009; 71(3): 264–268, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.10.007>.
22. Maples-Keller J.L., Rauch S.A.M., Jovanovic T., Yasinski C.W., Goodnight J.M., Sherrill A., Black K., Michopoulos V., Dunlop B.W., Rothbaum B.O., Norrholm S.D. Changes in trauma-potentiated startle, skin conductance, and heart rate within prolonged exposure therapy for PTSD in high and low treatment responders. *J Anxiety Disord* 2019; 68: 102147, <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2019.102147>.
23. Niles A.N., Luxenberg A., Neylan T.C., Inslicht S.S., Richards A., Metzler T.J., Hlavin J., Deng J., O'Donovan A. Effects of threat context, trauma history, and posttraumatic stress disorder status on physiological startle reactivity in gulf war veterans. *J Trauma Stress* 2018; 31(4): 579–590, <https://doi.org/10.1002/jts.22302>.