Научная статья
УДК 616.839
DOI 10.35266/2949-3447-2024-2-11

(cc) BY

РЕАКТИВНОСТЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Алексей Евгеньевич Ким[1]✉, Евгений Борисович Шустов[2], Василий Николаевич Цыган[3], Алексей Викторович Лемещенко[4], Ирина Вячеславовна Борисова[5]

[1, 3, 4, 5]Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова Министерства обороны РФ, Санкт-Петербург, Россия
[2]Научно-клинический центр токсикологии имени академика С. Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия
[1]alexpann@mail.ru✉, https://orcid.org/0000-0003-4591-2997
[2]shustov-msk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5895-688X
[3]vn-t@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1199-0911
[4]lav_1981@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6786-2332
[5]borisova_iv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-5360-1233

Аннотация. Цель – оценить вклад реактивности вегетативной нервной системы в полирезистентность организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды. Гипоксия создавалась путем подъема добровольцев в барокамере на высоту 4 500 м, гипертермия – воздействием нагревающего микроклимата (+40°, влажность 60–70 %). Для оценки особенностей вегетативной регуляции использовалась методика спектрального анализа ритма сердца при 5-минутной непрерывной регистрации ЭКГ. Выявлены закономерные изменения частот и амплитуд ведущих пиков Фурье-анализа вариативности сердечного ритма, свидетельствующих о резкой активации в неблагоприятных условиях внешней среды активности диэнцефальных центров вегетативной регуляции и эндокринных периферических влияний. Активность центров парасимпатической регуляции или ослаблялась, или не проявляла существенной динамики. Выявлены корреляционные связи изменений параметров спектрального анализа ритма сердца с основными показателями состояния ЦНС, гемодинамики и легочной вентиляции у здоровых добровольцев при воздействии гипоксии или гипертермии, что позволяет рассматривать реактивность вегетативной регуляции в качестве модифицирующего фактора резистентности организма к экстремальным воздействиям.

Ключевые слова: вегетативная регуляция, гипертермия, гипоксия, полирезистентность, спектральный анализ ритма сердца, реактивность, экстремальные воздействия

Шифр специальности: 3.3.3. Патологическая физиология.

Для цитирования: Ким А. Е., Шустов Е. Б., Цыган В. Н., Лемещенко А. В., Борисова И. В. Реактивность вегетативной нервной системы при неблагоприятных воздействиях // Вестник СурГУ. Медицина. 2024. Т. 17, № 2. С. 82–88. DOI 10.35266/2949-3447-2024-2-11.

Original article

REACTIVITY OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM UNDER ADVERSE EFFECTS

Aleksey E. Kim[1]✉, Evgeniy B. Shustov[2], Vasily N. Tsygan[3], Aleksey V. Lemeschenko[4], Irina V. Borisova[5]

[1, 3, 4, 5]Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia
[2]Golikov Research Clinical Center of Toxicology under the Federal Medical Biological Agency, Saint Petersburg, Russia
[1]alexpann@mail.ru✉, https://orcid.org/0000-0003-4591-2997
[2]shustov-msk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5895-688X
[3]vn-t@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1199-0911
[4]lav_1981@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6786-2332
[5]borisova_iv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-5360-1233

Abstract. The study aims to determine how the reactivity of the autonomic nervous system contributes to the body's multidrug resistance to adverse environmental effects. Volunteers were subjected to hypoxia simulation in an altitude chamber at 4 500 m and hyperthermia simulation by being exposed to a heating microclimate (40°, humidity 60–70 %). A spectral analysis of heart rhythm was used during a 5-minute

continuous ECG recording to assess the characteristics of autonomic regulation. Regular changes in the frequencies and amplitudes of the leading peaks of the Fourier analysis of heart rate variability were revealed, indicating a rapid onset of the activity of the diencephalic centers of autonomic regulation and endocrine peripheral influences under adverse environmental conditions. The activity of parasympathetic regulation centers either was reduced or did not show significant dynamics. The study detected correlations between changes in the parameters of the spectral analysis of the heart rhythm and the main indicators of the state of the central nervous system, hemodynamics, and pulmonary ventilation in healthy volunteers exposed to hypoxia or hyperthermia. Thus, it is possible to consider the reactivity of autonomic regulation as a modifying factor in the body's resistance to extreme effects.

Keywords: autonomic regulation, hyperthermia, hypoxia, multidrug resistance, spectral analysis of heart rhythm, reactivity, extreme effects

Code: 3.3.3. Pathophysiology.

For citation: Kim A. E., Shustov E. B., Tsygan V. N., Lemeshchenko A. V., Borisova I. V. Reactivity of the autonomic nervous system under adverse effects. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2024;17(2):82–88. DOI 10.35266/2949-3447-2024-2-11.

ВВЕДЕНИЕ

Активное промышленное освоение аридной и арктической зон, подводного мира и космического пространства повышает значимость научных исследований, связанных с прогнозированием и коррекцией переносимости лицами трудоспособного возраста комплекса неблагоприятных факторов внешней среды и производственных условий. Важно подчеркнуть, что в современном мире у работников, выполняющих задачи профессиональной деятельности, могут отмечаться особенности в состоянии здоровья, существенным образом не сказывающиеся на количественных и качественных характеристиках результатов труда в обычных условиях, но существенно влияющие на них в условиях неблагоприятных воздействий в силу формирующегося феномена взаимного отягощения [1]. В связи с этим особую значимость приобретает такая характеристика организма, как полирезистентность к экстремальным воздействиям, характеризующая повышенный уровень устойчивости к типовым стрессорам профессиональной деятельности, таким как предельно переносимая физическая нагрузка, боевой стресс, гипоксия, воздействие нагревающего или охлаждающего микроклимата, статокинетических и гравитационных нагрузок и др.

Необходимо отметить, что при решении рабочих задач по различным направлениям профессиональной деятельности отмечаются ситуации одновременного воздействия нескольких экстремальных факторов физической природы. Например, в условиях горно-пустынной местности – комплексное воздействие гипертермии и умеренной гипоксии [2], полярники в Антарктиде сталкиваются с одновременным воздействием гипотермии и умеренной гипоксии [3]. Воздействие высотной гипоксии и низких температур отмечается у военнослужащих горных спецподразделений, у альпинистов, особенно на высотах более 3 500 м над уровнем моря, при разгерметизации кабин самолетов во время полета. Кроме того, к «группе риска» относятся представители таких специальностей, как спасатели, работающие в условиях техногенных катастроф и стихийных бедствий в изолирующем снаряжении, у которых к воздействию гипертермии и измененной газовой среды добавляется гипоксии физической нагрузки и т. д. Важно отметить, что во всех случаях такого комплексного воздействия может развиваться синдром взаимного отягощения, существенно ухудшающий состояние и функциональные возможности человека.

На современном этапе развития науки актуальными задачами практической медицины труда становится комплексная оценка, прогнозирования и повышения полирезистентности организма человека. Эти задачи в течение многих лет решались в Военно-медицинской академии, сотрудниками которой был накоплен большой фактический материал, изложенный в различных монографиях, руководствах, научных статьях и докладах. Однако практически все они посвящены воздействию отдельных экстремальных факторов, что было обусловлено необходимостью решения конкретных прикладных задач, связанных с экстремальными воздействиями на человека, развитием авиакосмических, глубоководных, полярных работ, и являются продолжением работ в области физиологии экстремальных воздействий, начатых в конце 20-х гг. академиком Л. А. Орбели.

Как показали многочисленные исследования, переносимость специализированных проб (гипоксических, гипертермических, гипотермических, статокинетических, проб на перегрузки и др.) у практически здоровых добровольцев (к которым относятся, в том числе военнослужащие, спасатели, космонавты и акванавты) не может быть спрогнозирована по показателям фонового функционального состояния [4–7]. Вероятно, это может быть связано с тем, что у этого контингента лиц значения основных физиологических, психофизиологических, иммунологических и метаболических показателей находятся в диапазоне референсных значений, и в комфортных для организма условиях не являются предикторами активности компенсаторно-приспособительных и адаптационных реакций. Именно поэтому в ситуациях отбора лиц для последующей эффективной профессиональной деятельности возникает необходимость проведения таких проб.

К основным показателям, определяющим переносимость специальной пробы определенного экстремального воздействия, относятся две груп-

пы дескрипторов – базовых и модифицирующих. Базовые дескрипторы описывают выраженность ключевых для конкретного воздействия типовых патологических процессов, в наибольшей степени характеризующих состояние организма человека при соответствующем воздействии. К базовым дескрипторам относятся длительность переносимости пробы (объединяет темпы развития субъективной неблагоприятной симптоматики и способность воли человека к их преодолению), уровень сатурации крови (объединяет возможности кислородтранспортной системы организма и потока утилизации кислорода), температура ядра тела (объединяет реакции теплопродукции и тепловыведения, характеризует температурную стабильность метаболических процессов). Модифицирующие дескрипторы в основном учитывают компоненты функционального состояния, которые могут повлиять на базовые дескрипторы либо существенным образом вызывать резкое снижение уровня функционирования основных физиологических и метаболических систем организма, его самочувствия, состояния здоровья или характеристик профессиональной деятельности. К ним относятся баланс симпатической и парасимпатической иннервации, гиперреактивность функциональных систем, гипермобилизация функциональных резервов организма на дополнительно предъявляемую нагрузку, ортостатическая неустойчивость, заторможенность нервных процессов, уровень развития силовых показателей скелетных мышц.

Цель – оценка вклада реактивности вегетативной нервной системы в полирезистентность организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве метода количественной оценки характеристик вегетативной нервной системы был выбран спектральный анализ вариабельности ритма сердца, основанный на Фурье-преобразованиях ритмограммы, записанной по значениям RR-интервалов при длительной (не менее 5 минут) записи ЭКГ. Данный метод позволяет охарактеризовать особенности вегетативной регуляции значениями частот и амплитуд базовых пиков спектрограммы, характеризующих активность диэнцефальных центров, надпочечников, симпатических и парасимпатических структур по их вкладу в вариативность ритма сердца. Механизмы формирования и особенности интерпретации основных пиков в спектрограмме при анализе вариативности ритма сердца у здоровых людей и при различной патологии сердечно-сосудистой и дыхательной систем к настоящему времени достаточно хорошо изучены [8–16].

Технически регистрация ЭКГ и проведение спектрального анализа вариативности кардиоритма в ходе исследования осуществлялось с использованием аппаратного комплекса «ВНС-Микро» (Нейрософт, Россия). Анализируемыми показателями были [17, 18] общая спектральная мощность (TP), нормированные и ненормированные значения спектральной мощности по диапазонам V-частот. О преобладании симпатических влияний над парасимпатическими судили по индексу LF|HF.

Спектральный анализ ритма сердца у здоровых добровольцев во время проведения пробы на переносимость неблагоприятных воздействий проводился при воздействии умеренной гипоксии и гипертермии. В условиях гипотермии из-за выраженной холодовой дрожи, отмечавшейся у всех добровольцев на пике гипотермии, проведение такого анализа было невозможным [19, 20].

Гипобарическая гипоксия создавалась подъемом испытателей-добровольцев в климатическом комплексе «TABAY» на высоту 4 500 м. Продолжительность гипоксического воздействия составляла 2 часа, в конце которого осуществлялась 5-минутная запись ЭКГ в D-S отведении по Нэбу в состоянии покоя в положении сидя. Состояние гипертермии формировалось путем пребывания испытателей-добровольцев в климатическом комплексе «TABAY» при температуре воздуха +40 °С, влажности 60–70 % и скорости движения воздуха 0,5 м/с в одежде с теплозащитой 1 кло при регулярном контроле самочувствия, уровня теплоощущений и ректальной температуры. Регистрация ЭКГ для спектрального анализа ритма сердца осуществлялась при достижении прироста ректальной температуры на 1 °С.

Для оценки состояния центральной нервной системы регистрировались показатели самооценки состояния бланковыми методами, характеристики сенсомоторных реакций при проведении хронорефлексометрии. Также регистрировались показатели гемодинамики с определением показателей систолического и диастолического давления по Короткову, ударного и минутного объемов кровообращения, периферического сосудистого сопротивления, функциональных резервов гемодинамики по стандартным гемодинамическим индексам. Для условий гипертермии дополнительно проводилась оценка теплового состояния организма по динамике ректальной температуры, скорости влагопотерь, двухступенчатая велоэргометрическая проба переносимости физических нагрузок в варианте теста PWC170, напряжение респираторной системы по динамике МОД, а также эндокринной регуляции по значениям содержания кортизола и инсулина в плазме крови сразу после прекращения теплового воздействия.

В работе было выполнено обследование 10 практически здоровых добровольцев-мужчин в возрасте 20–25 лет, проходящих специализированный отбор и подготовку для будущей профессиональной деятельности в экстремальных условиях. Каждый из обследуемых проходил запись ЭКГ трижды: в комфортных условиях, в условиях умеренной гипоксии и в условиях гипертермии. Интервал времени между обследованиями составлял 7–10 дней, что позволяло исключить следовое влияние предшествовавших воздействий. Статистическая обработка полученных результатов проводилась в процессоре таблиц Excel for Windows с применением специализированного пакета прикладных программ анализа данных методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализа (ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воздействие умеренной гипоксии существенным образом влияло на особенности вегетативной регуляции организма человека (рис. 1). Визуальный анализ различий спектрограмм в ответ на гипоксическое воздействие показал усиление влияния диэнцефаль-

ных центров вегетативной регуляции (повышение амплитуды пика медленных волн нулевого порядка), расщепление пика эндокринной регуляции (медленные волны второго порядка) на пики ренин-ангиотензиновой и надпочечниковой регуляции, снижение частоты ритма секреции ренина и нарастание амплитуды ритма, сопряженного с секрецией адреналина. Частота ритма медленных волн первого порядка, характеризующих секрецию норадреналина в симпатических постганглионарных волокнах, несколько снижалась. Ритм высокочастотных дыхательных волн, отражающих активность парасимпатических вегетативных структур, визуально мало отличался от нормоксических условий.

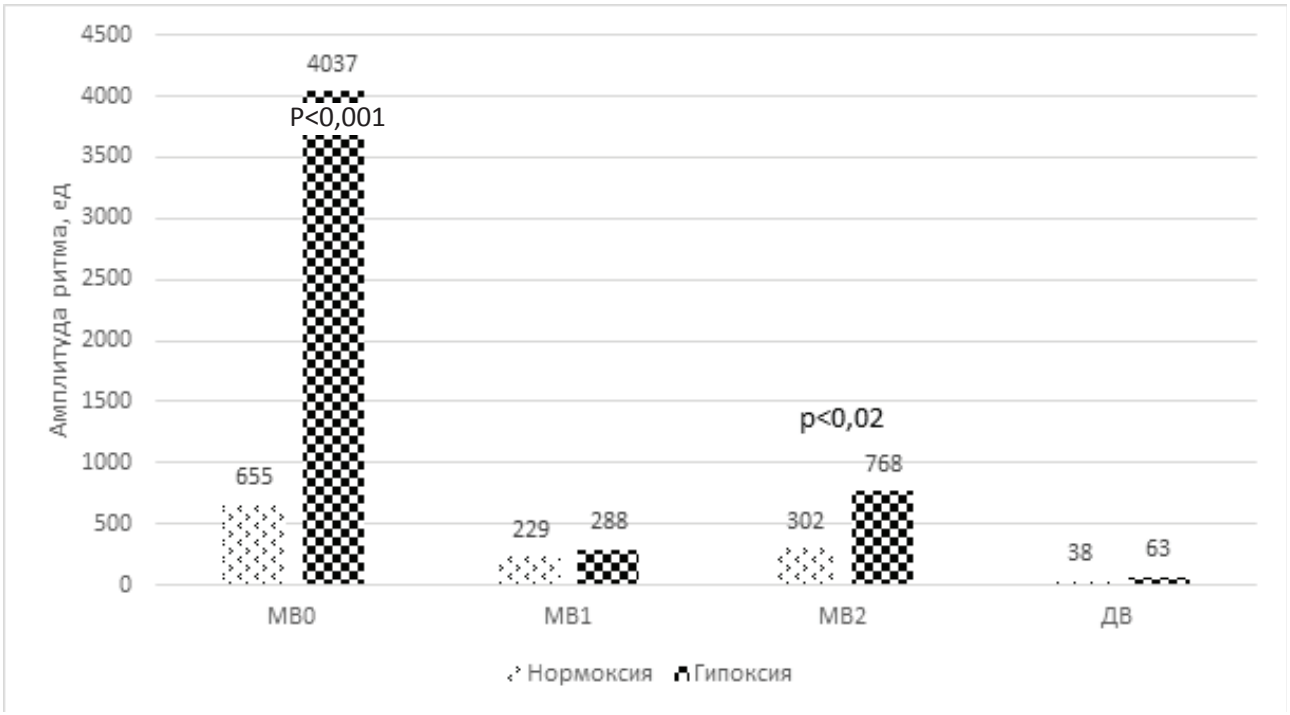

Рис. 1. Влияние гипоксии на амплитуды ритмов спектрограмм кардиоритма по диапазонам частот (средние по группам)
Примечание: уровень значимости различий оценивался по F-критерию дисперсионного анализа. Составлено авторами.

Дисперсионный факторный анализ показал, что умеренная гипоксическая гипоксия, соответствующая высоте 4 500 м, существенно влияет на такие показатели спектрального анализа, как амплитуды медленных волн нулевого порядка (повышение в 6 раз, коэффициент детерминации 0,71, уровень значимости < 0,001) и медленных волн второго порядка (более чем в 2 раза, коэффициент детерминации 0,17, уровень значимости p = 0,02). Кроме того, под влиянием гипоксии происходило снижение частот медленных волн первого (с 0,108 до 0,09 Гц, коэффициент детерминации 0,14, уровень значимости p = 0,03) и второго (с 0,058 до 0,033 Гц, коэффициент детерминации 0,36, уровень значимости < 0,001) порядков. Необходимо обратить внимание на то, что ранее в клинических и физиологических исследованиях роль изменений частоты пиков спектром не анализировалось, и интерпретация выявленных сдвигов пока не разработана.

Особенности вегетативной регуляции у практически здоровых людей, выявляемые методом спектрального анализа вариабельности ритма сердца, могут быть существенными для прогноза резистентности к гипоксическому воздействию умеренной интенсивности. Так, корреляционный анализ показал, что у лиц с исходно (в условиях нормоксии) более высокими значениями амплитуды медленноволновых ритмов нулевого порядка и, соответственно, более высоким вкладом диэнцефальных центров в вегетативную регуляцию, гипоксическое воздействие переносится легче. Для них характерно более высокие значения бодрости, интереса к работе, меньшее количество соматических жалоб, снижение латентных периодов как простых, так и сложных сенсомоторных реакций, увеличение стабильности реакций. Состояние гемодинамики в условиях гипоксии у таких лиц характеризуется меньшим напряжением (более низкий уровень минутного объема кровообращения), но при этом будет отмечаться умеренная гипервентиляция.

Более высокие значения в условиях нормоксии частоты и амплитуды ритмов медленных волн первого порядка, характеризующих активность постганглионарных симпатических волокон, обеспечит в условиях гипоксии более стабильную динамику систолического и диастолического давления при физической нагрузке, однако при этом может наблюдаться ухудшение показателей сенсомоторных реакций и самооценки состояния.

Высокие значения в условиях нормоксии амплитуды медленных волн второго порядка, характеризующих секрецию адреналина надпочечниками, позволяет прогнозировать в условиях умеренной гипоксии возможное ухудшение переносимости физических нагрузок и операторской работоспособности (увеличение латентного периода сложных зрительно-моторных реакций). На психоэмоциональную сферу влияния могут быть разнонаправленными: у лиц с более высокими значениями частоты надпочечни-

ковых ритмов в условиях гипоксии может отмечаться эйфорическая реакция, в то время как у лиц с более высокими значениями амплитуд данных ритмов – снижение бодрости, настроения, внимания, интереса к работе.

Интересен тот факт, что показатели парасимпатических ритмов (дыхательные волны) в условиях нормоксии практически не имели значимых корреляционных связей с показателями функционального состояния и работоспособности человека в условиях умеренной гипоксии.

В условиях воздействия нагревающего микроклимата отмечается более выраженная, чем при воздействии умеренной гипоксии стимуляция всех звеньев симпатадреналовой системы – диэнцефальных структур мозга, постганглионарных симпатических волокон – надпочечникового звена, при этом активность ритмов более высокочастотного диапазона, характеризующая активность парасимпатического звена регуляции ритма сердца в среднем по группе не менялась, хотя у отдельных испытателей она резко ослабевала (рис. 2).

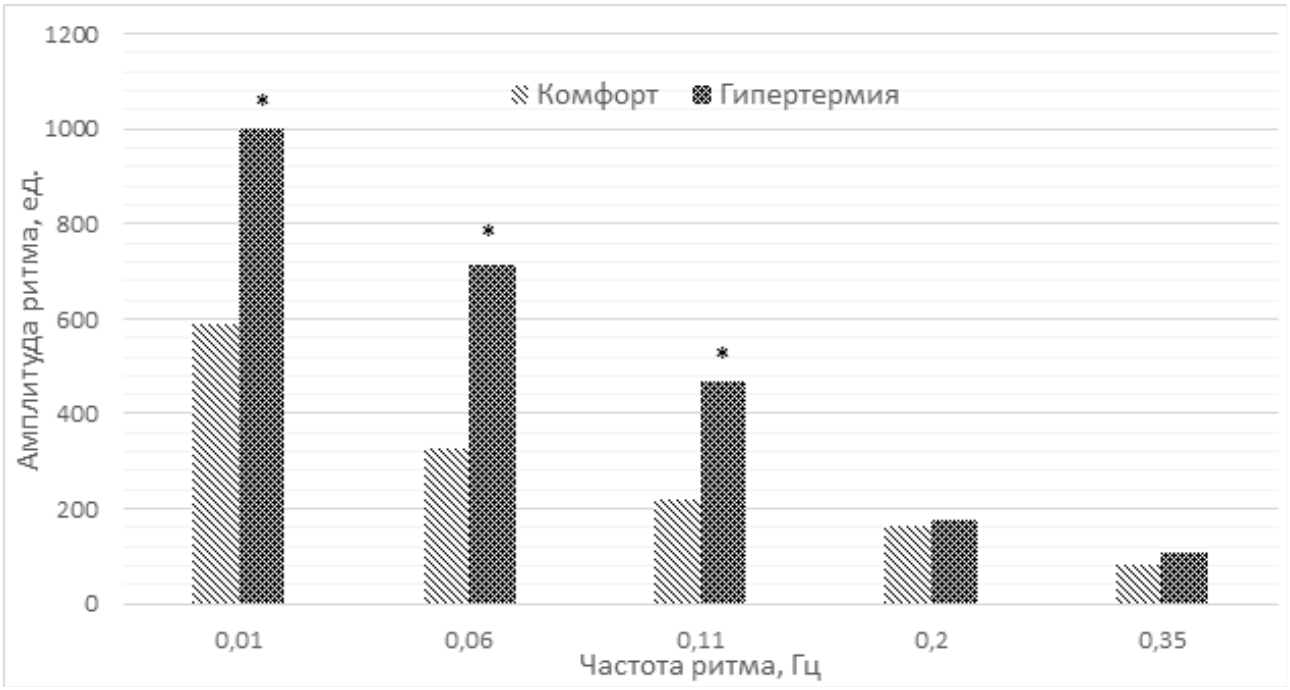

Рис. 2. Амплитуды спектра ритма сердца по частотам в термокомфортных условиях и при гипертермии (средние по группам)
Примечание: * – различия между группами достоверны, p < 0,05 по критерию метода точной вероятности Фишера. Составлено авторами.*

Эти результаты хорошо согласуются с динамикой некоторых показателей эндокринной регуляции, для которых отмечено характерное для развития теплового стресса повышение уровня кортизола в крови (с 437 ± 37 до 1 056 ± 48 нмоль/л, p < 0,0001).

Состояние сердечно-сосудистой системы в условиях гипертермии характеризовалось выраженной симпатической активацией. Так, вегетативный индекс Кердо увеличивался более чем на 160 единиц, что закономерно приводило к росту ЧСС с 73 до 163 уд/мин для состояния покоя (при том, что на дозированную физическую нагрузку в условиях гипертермии дополнительного прироста ЧСС не отмечалось), ударного объема на 52 %, минутного объема кровообращения в 2,7 раза. В условиях гипертермии отмечалось увеличение потребности миокарда в кислороде (индекс Робинсона увеличился в 3 раза) и снижению его функциональных резервов (индекс Квааса увеличился в 1,5 раза). Отмечалось выраженное расширение сосудов (общее периферическое сопротивление снижалось на 50 %, диастолическое артериальное давление в среднем снижалось на 11 мм рт. ст., систолическое – на 15 мм рт. ст.).

Анализ в полярных группах показал, что преобладание в термокомфортных условиях парасимпатических влияний более характерно для группы лиц со сниженной термоустойчивостью, в то время как для термоустойчивых лиц более характерным является сбалансированный тип вегетативной регуляции. Об этом свидетельствуют достоверные различия между группами в отношении таких показателей, зарегистрированных в термокомфортных условиях, как вегетативный индекс Кердо (–7 и +5 усл. ед. соответственно, p = 0,02), минутный объем кровообращения в покое (4,54 и 5,11 л/мин соответственно, p = 0,04), общее периферическое сопротивление сосудов кровотоку в покое (1 612 и 1 449 ед. соответственно, p = 0,08).

Дисперсионный анализ показал, что преобладающие влияния парасимпатической регуляции в термокомфортных условиях, проявляющиеся в более низких значениях ЧСС в состоянии покоя, а также более высокие исходные значения ректальной температуры до начала теплового воздействия, объема легочной вентиляции и систолического артериального давления менее благоприятны для переносимости последующего теплового воздействия. Обращает на себя внимание тот факт, что группа добровольцев с высокими показателями физической работоспособности по тесту PWC170 характеризуется более низкими оценками переносимости тепловой пробы. Оптимальным может считаться сбалансированный уро-

вень регуляторных влияний, так как при этом показатели переносимости тепловой пробы соответствуют в среднем повышенному или среднепопуляционному уровню переносимости гипертермии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные материалы позволяют заключить, что как избыточно высокая, так и избыточно низкая реактивность вегетативной нервной системы на неблагоприятные воздействия внешней среды может рассматриваться как неблагоприятный модифицирующий фактор в комплексной оценке полирезистентности организма. Оптимальной может считаться умеренная реактивность при сбалансированном типе регуляции вегетативных функций, так как она в большей степени присуща лицам с повышенным уровнем устойчивости организма к воздействию как гипоксии, так и гипертермии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков В. С., Сороко С. И., Шустов Е. Б. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция : моногр. СПб. : Политехника-принт, 2018. 548 с.
2. Ким А. Е., Шустов Е. Б., Лемещенко А. В. и др. Гипоксия и гипертермия как факторы коморбидности у военнослужащих в горно-пустынной местности // Военно-медицинский журнал. 2021. Т. 342, № 12. С. 56–63. DOI 10.52424/00269050_2021_342_12_56.
3. Ким А. Е., Шустов Е. Б., Лемещенко А. В. и др. Патофизиологические основы формирования дезадаптаций в условиях высокогорья и полярных зон // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 3. С. 215–222. DOI 10.17816/brmma71182.
4. Ганапольский В. П., Авдюшенко С. А., Гринчук С. С. и др. Влияние гипоксических тренировок и фармакокоррекции на физическую работоспособность и автономную регуляцию у альпинистов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 5. С. 77–84. DOI 10.21687/0233-528X-2019-53-5-77-84.
5. Мясников А. А., Зверев Д. П., Шитов А. Ю. и др. Состояние сердечно-сосудистой системы человека при различных уровнях внутрисосудистого декомпрессионного газообразования после повторных воздействий повышенного давления воздуха // Экология человека. 2008. № 6. С. 19–23.
6. Шелепов А. М., Смагулов Н. К., Мухаметжанов А. М. и др. Экстремальные ситуации и психогенные факторы военно-профессиональной деятельности // Фундаментальные исследования. 2013. № 7–1. С. 225–228.
7. Rizzo L., Thompson M. W. Cardiovascular adjustments to heat stress during prolonged exercise // The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2018. Vol. 58, no. 5. P. 727–743. DOI 10.23736/S0022-4707.17.06831-1.
8. Бань А. С., Парамонова Н. А., Загородный Г. М. и др. Анализ взаимосвязи показателей вариабельности ритма сердца // Военная медицина. 2010. Т. 17, № 4. С. 21–24.
9. Новиков Е. М., Стеблецов С. В., Ардашев В. Н. и др. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (обзорная статья) // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2019. № 4. С. 81–89. DOI 10.26269/4t6g-mx35.
10. Котельников С. А., Давыденко В. Ю., Одинак Н. М. Использование спектрального анализа ритма сердца для диагностики заболеваний нервной системы // Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий : материалы междунар. симпозиума. М., 1999. С. 162–163.
11. Шевченко А. Ю. Сравнительная характеристика основных параметров вариабельности ритма сердца у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ярославль : ЯГПУ им. К. Д. Ушинского, 2006. 18 с.

REFERENCES

1. Novikov V. S., Soroko S. I., Shustov E. B. Desadaptation states of man to exposure to extreme conditions and their correction. Monograph. St. Petersburg: Politekhnika-print; 2018. 548 p. (In Russ.).
2. Kim A. E., Shustov E. B., Lemeshchenko A. V. et al. Hypoxia and hyperthermia as factors of comorbidity in military personnel in mountainous desert areas. *Military-Medical Magazine*. 2021;342(12):56–63. DOI 10.52424/00269050_2021_342_12_56. (In Russ.).
3. Kim A. E., Shustov E. B., Lemeshchenko A. V. et al. Pathophysiological bases of maladjustment formation in high mountains and polar zones. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(3):215–222. DOI 10.17816/brmma71182. (In Russ.).
4. Ganapolsky V. P., Avdiushenko S. A., Grinchuk S. S. et al. Effect of hypoxic training and pharmaceutical correction on physical performance and autonomic regulation in mountaineers. *Aerospace and Envirionmental Medicine*. 2019;53(5):77–84. DOI 10.21687/0233-528X-2019-53-5-77-84. (In Russ.).
5. Myasnikov A. A., Zverev D. P., Shitov A. Yu. et al. Condition of the cardio-vascular system of a human being under different levels of the decompressed gas formation after repeated influence of the increased air pressure. *Human Ecology*. 2008;(6):19–23. (In Russ.).
6. Shelepov A. M., Smagulov N. K., Mukhametzhanov A. M. et al. Extreme situations and pscychogenic factors of military professional activities. *Fundamental Research*. 2013;(7–1):225–228. (In Russ.).
7. Rizzo L., Thompson M. W. Cardiovascular adjustments to heat stress during prolonged exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2018;58(5):727–743. DOI 10.23736/S0022-4707.17.06831-1.
8. Ban A. S., Paramonova N. A., Zagorodnyi G. M. et al. Analiz vzaimosviazi pokazatelei variabelnosti ritma serdtsa. *Voennaia meditsina*. 2010;17(4):21–24. (In Russ.).
9. Novikov E. M., Stebletsov S. V., Ardashev V. N. et al. ECG-based investigation methods: Heart rate variability and dispertion mapping (Literature review). *Kremlin Medicine Journal*. 2019;(4):81–89. DOI 10.26269/4t6g-mx35. (In Russ.).
10. Kotelnikov S. A., Davydenko V. Yu., Odinak N. M. Ispolzovanie spektralnogo analiza ritma serdtsa dlia diagnostiki zabolevanii nervnoi sistemy. In: *Proceedings of the International Simposium "Kompiuternaia elektrokardiografiia na rubezhe stoletii"*. Moscow; 1999. p. 162–163. (In Russ.).
11. Shevchenko A. Yu. Sravnitelnaia kharakteristika osnovnykh parametrov variabelnosti ritma serdtsa u sportsmenov s raznoi napravlennostiu trenirovochnogo protsessa. Extended abstract of Cand. Sci. (Biology) Thesis. Yaroslavl: Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky; 2006. 18 p. (In Russ.).

12. Rompelman O., Coenen A. J., Kitney R. I. Measurement of heart-rate variability: Part 1 – Comparative study of heart-rate variability analysis methods // Medical & Biological Engineering & Computing. 1977. Vol. 15, no. 3. P. 233–239. DOI 10.1007/BF02441043.
13. Гурбич Д. В. Вариабельность ритма сердца как показатель степени участия центрального звена иерархической системы формирования ритма сердца : автореф. дис. … канд. мед. наук. Краснодар : Кубан. гос. мед. ун-т, 2009. 21 с.
14. Ким А. Е., Цыган В. Н., Кудряшов В. С. Применение спектрального анализа ритма для оценки динамики функционального состояния и работоспособности единоборцев // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2020. Т. 39, № S2. С. 110–111.
15. Алейникова Т. В. Вариабельность сердечного ритма (обзор литературы) // Проблемы здоровья и экологии. 2012. № 1. С. 17–23. DOI 10.51523/2708-6011.2012-9-1-3.
16. Tiwari R., Kumar R., Malik S. et al. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability // Current Cardiology Reviews. 2021. Vol. 17, no. 5. P. e160721189770. DOI 10.2174/1573403x16999201231203854.
17. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. Иваново : Иван. гос. мед. акад., 2002. 288 с.
18. Скворцов В. В., Тумаренко А. В., Орлов О. В. Нейроциркуляторная дистония: актуальные вопросы диагностики и лечения // Лечащий врач. 2008. № 5. С. 12–17.
19. Белощенко Д. В., Башкатова Ю. В., Мирошниченко И. В. и др. Проблема статистической неустойчивости кардиоинтервалов в получаемых подряд выборках неизменного гомеостаза в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 1. С. 36–42.
20. Коннов Д. Ю., Коннова Т. Ю., Лукьянов С. А. и др. Изменения ритма сердца и дыхания при острой общей холодовой травме // Общая реаниматология. 2015. Т. 11, № 3. С. 16–23. DOI 10.15360/1813-9779-2015-3-16-23.

12. Rompelman O., Coenen A. J., Kitney R. I. Measurement of heart-rate variability: Part 1 – Comparative study of heart-rate variability analysis methods. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 1977;15(3):233–239. DOI 10.1007/BF02441043.
13. Gurbich D. V. Variabelnost ritma serdtsa kak pokazatel stepeni uchastiia tsentralnogo zvena ierarkhicheskoi sistemy formirovaniia ritma sertsa. Extended abstract of Cand. Sci. (Medicine) Thesis. Krasnodar: Kuban State Medical University; 2009. 21 p. (In Russ.).
14. Kim A. E., Tsygan V. N., Kudryashov V. S. The use of spectral analysis of rhythm to assess the dynamics of the functional state and performance of athletes. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2020;39(S2):110–111. (In Russ.).
15. Alejnikova T. V. Heart rate variability (literature review). *Health and Ecology Issues*. 2012;(1):17–23. DOI 10.51523/2708-6011.2012-9-1-3. (In Russ.).
16. Tiwari R., Kumar R., Malik S. et al. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Current Cardiology Reviews*. 2021;17(5):e160721189770. DOI 10.2174/1573403x16999201231203854.
17. Mikhailov V. M. Variabelnost ritma serdtsa: opyt prakticheskogo primeneniia metoda. Ivanovo: Ivanovo State Medical Academy; 2002. 288 p. (In Russ.).
18. Skvortsov V. V., Tumarenko A. V., Orlov O. V. Neirotsirkuliatornaia distoniia: aktualnye voprosy diagnostiki i lecheniia. *Lechashchi vrach*. 2008;(5):12–17. (In Russ.).
19. Beloshchenko D. V., Bashkatova Yu. V., Miroshnichenko I. V. et al. Problem of statistical instability in samples of RR intervals recorded consecutively during constant homeostasis in conditions of the Russian North. *Journal of New Medical Technologies*. 2017;24(1):36–42. (In Russ.).
20. Konnov D. Yu., Konnova T. Yu., Lukyanov S. A. et al. Changes in heart rhythm and breathing in acute systemic injury due to cold. *General Reanimatology*. 2015;11(3):16–23. DOI 10.15360/1813-9779-2015-3-16-23. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
А. Е. Ким – кандидат медицинских наук, доцент.
Е. Б. Шустов – доктор медицинских наук, профессор.
В. Н. Цыган – доктор медицинских наук, профессор.
А. В. Лемещенко – кандидат медицинских наук, преподаватель.
И. В. Борисова – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
A. E. Kim – Candidate of Sciences (Medicine), Docent.
E. B. Shustov – Doctor of Sciences (Medicine), Professor.
V. N. Tsygan – Doctor of Sciences (Medicine), Professor.
A. V. Lemeshchenko – Candidate of Sciences (Medicine), Lecturer.
I. V. Borisova – Candidate of Sciences (Medicine), Senior Researcher.