

УДК 612.1

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОНОМНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ИМИТАЦИИ ПОДЪЕМА НА ВЫСОТУ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ДОБАВОЧНОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

© 2023 г. В. О. Еркудов¹, К. У. Розумбетов², А. П. Пуговкин¹,
А. Т. Матчанов², Н. Б. Панкова³, *

¹ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет МЗ РФ,
Санкт-Петербург, Россия

²Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Нукус, Узбекистан

³ФГБНУ Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии,
Москва, Россия

*E-mail: nbpankova@gmail.com

Поступила в редакцию 26.10.2022 г.

После доработки 20.01.2023 г.

Принята к публикации 21.02.2023 г.

Целью данной работы было изучение показателей variability сердечного ритма (ВСР) в условиях дополнительного дыхательного сопротивления (ДДС), как имитации подъема на высоту, у юношей с разным типом вегетативной регуляции. В исследовании участвовали 715 юношей в возрасте от 19 до 24 лет. Показатели ВСР оценивали методом вариационной пульсометрии (*BioMouse*). Каждый испытуемый проходил два тестирования длительностью 5 мин: фоновое, и в условиях ДДС. Для имитации подъема на высоту (моделирования ДДС) применяли резистивную маску *ETM 2.0*, в трех вариантах высоты: 3000, 9000, 18000 футов. Каждый человек выполнял только одну пробу, высоту подъема ему не сообщали. По результатам фонового тестирования были созданы две группы: группа ОБ — со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (стресс-индекс 25–100 у.е., *VLf* выше 240 мс²), группа ПТ — с умеренным преобладанием парасимпатических (вагусных) влияний (стресс-индекс ниже 25 у.е., *VLf* выше 500 мс²). В фоновом тестировании для группы ОБ были характерны более высокие значения индексов Баевского (индекс вегетативного равновесия — ИВР, вегетативный показатель ритма — ВПР, показатель адекватности процессов регуляции — ПАПР), для группы ПТ — более высокие величины вариационного размаха длительности *R–R* интервалов, *RMSSD*, *SDNN*, *pNN50%*, которые считаются маркерами повышенного тонуса вагуса, и общей мощности спектра ВСР *TP*. В условиях ДДС, без учета высоты моделируемого подъема, в группе ОБ выявлено возрастание показателей, коррелирующих с вагусной активностью: размаха *R–R* интервалов, *RMSSD*, *SDNN*, диапазона *HF* в спектре ВСР, при снижении индексов Баевского (ИВР, ВПР, ПАПР, стресс-индекса). Возрастание спектральных показателей ВСР, ассоциируемых с симпатической активностью (*LF%*) и *TP* достигало уровня статистической значимости только при имитации подъема на высоту 18000 футов. В группе ПТ изменения были противоположно направленными: снижение коррелятов вагусной активности и возрастание показателей симпатического тонуса, без зависимости от высоты подъема. Однако в обеих группах размах *R–R* интервалов в наибольшей степени возрастал на высоте 9000 футов, критичной для развития горной болезни. Различия в автономной регуляции сердечно-сосудистой системы у юношей определяют направление и выраженность сдвигов показателей ВСР при имитации подъема на высоту. В группе ОБ в условиях ДДС при имитации подъема на незначительные высоты возрастают показатели, связываемые с вагусной активностью, при повышении высоты подъема к ним присоединяется возрастание параметров, отражающих симпатический тонус. В группе ПТ предполагаемое повышение симпатического тонуса обнаружено на всех высотах.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, вегетативная регуляция сердечного ритма, дополнительное дыхательное сопротивление.

DOI: 10.31857/S0131164622600793, EDN: XBKPEG

Изучение взаимосвязи механизмов регуляции дыхания и кровообращения при добавочном дыхательном сопротивлении (ДДС) является достаточно давней проблемой и началось с выявления изменения параметров гемодинамики у испытуемых при использовании респираторов [1]. Интерес к данной проблеме многократно возрос в связи с пандемией *COVID-19* и вынужденными для всех санитарно-эпидемическими требованиями длительного ношения защитных лицевых масок [2], которое способствует незначительному повышению концентрации углекислого газа и снижению содержания кислорода в газовой среде легких за счет повторной рециркуляции воздуха после выдоха [3]. Для моделирования таких условий используют резистивную маску *Elevation Training Mask (ETM)*, которая позволяет имитировать затруднения дыхания при подъеме на высоту в целях гипоксически-гиперкапнической тренировки спортсменов [4], тренировки дыхательных мышц [5] и повышения общей выносливости у спортсменов [6–8].

При наблюдении реакций дыхания на ДДС в повторяющихся сериях опытов получены однородные эффекты снижения минутного объема дыхания за счет дыхательного объема, но не частоты дыхания [9]. При этом в современной литературе содержатся противоречивые сведения относительно изменения в таких исследованиях тонуса вегетативной нервной системы (ВНС), определяемого по параметрам вариабельности сердечного ритма (ВСР). С одной стороны, при изучении возрастных и связанных с полом особенностей реакции ВНС на ДДС нами [10, 11] получены ВСР-признаки, характерные для увеличения тонуса центров блуждающего нерва. С другой стороны, существуют работы, в которых либо вообще не наблюдаются изменения ВСР [12], либо описываются ее характеристики, специфичные для увеличения тонуса симпатической нервной системы [13, 14].

Подобную несогласованность полученных результатов частично возможно объяснить разнообразием представленных в литературе способов моделирования ДДС. При создании резистивной нагрузки “трубочным” способом (модель обструкции дыхательных путей) преимущественно наблюдается увеличение симпатического тонуса [13]. При применении “масочного” метода предполагается возникновение затруднения дыхания с использованием резистивной маски (увеличении объема мертвого пространства), с усилением парасимпатического тонуса [10, 11].

Вторая возможная причина — анализ объединенных выборок, включающих испытуемых с разным типом вегетативной регуляции. Учет исходного статуса регуляторных систем показал высокую эффективность при выявлении факторов

риска сердечно-сосудистых заболеваний во время космических полетов [15], в мониторинге тренировочного процесса у спортсменов [16] и изучения особенностей реактивности ВНС у жителей климатически неблагоприятных регионов [17].

Целью данной работы являлось изучение показателей ВСР в условиях дополнительного дыхательного сопротивления (имитации подъема на высоту с использованием резистивной маски) у юношей с разным типом вегетативной регуляции.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие юноши-студенты Каракалпакского государственного университета им. Бердаха (г. Нукус, Узбекистан), на основании договора о сотрудничестве с Санкт-Петербургским государственным педиатрическим медицинским университетом. Всего в исследование были включены результаты 715 чел., в возрасте от 19 до 24 лет.

Включение испытуемых в выборку производили после сбора медицинских данных и краткого физикального обследования. Критерии исключения: хронические заболевания эндокринной, нервной, дыхательной системы и кровообращения (в том числе артериальная гипертензия), аллергические реакции, дефицит или избыток массы тела (*Z-score* индекса массы тела за пределами диапазона $Me \pm 1SD$), стресс-индекс (по Баевскому) выше 100 у.е. (для исключения возможных влияний фонового психоэмоционального напряжения).

Оборудование. Вариационную пульсометрию осуществляли с использованием программно-аппаратного комплекса *BioMouse* (“Биомышь профессиональная КПФ-01”, ЗАО “Нейролаб”, Россия). Возможность оценки параметров ВСР таким методом доказана в целом ряде исследований [18].

Для имитации подъема на высоту (моделирования ДДС) применяли резистивную маску *ETM 2.0 (Training Mask LLC, США)*. Маска используется для имитации затруднений дыхания при подъеме на определенную высоту градуально от 3000 (914.4 м) до 18000 футов (5486.4 м) с шагом в 3000 футов (914.4 м). Данное моделирование осуществляется изменением конфигурации клапанов путем создания ДДС разной степени [6]. В данной работе имитировали подъем на 3000 футов (914.4 м) — у 239 испытуемого, 9000 футов (2743.2 м) — у 235 добровольцев, и 18000 футов (5486.4 м) — у 241 участников исследования. При этом в целях сокращения возможного вклада субъективных реакций испытуемого не уведомляли о степени затруднения дыхания, которая ему будет предъявлена.

Таблица 1. Число испытуемых со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на вариабельность сердечного ритма (ВСР) (ОБ) или с умеренным преобладанием парасимпатических влияний (ПТ) на ВСР в разных сериях исследования

Моделируемая высота подъема	ОБ	ПТ
3000 футов (914.4 м)	175	64
9000 футов (2743.2 м)	179	56
18000 футов (5486.4 м)	167	74
Всего	521	194
	715	

Оцениваемые параметры. Были применены следующие методы анализа ВСР [19–21], с оценкой соответствующих параметров:

– Параметры анализа временной области: средняя частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), средняя длительность кардиоинтервалов ($R-R$ среднее, мс), а также минимальные и максимальные величины длительности $R-R$ интервалов ($R-R$ мин, мс; $R-R$ макс, мс).

– Показатели геометрического анализа ВСР: вариационный размах (ВР) – средняя разница между наибольшими и наименьшими значениями ряда $R-R$ интервалов ($R-R$ размах, мс), мода ряда $R-R$ интервалов (M_o) и амплитуда моды (A_{M_o} , % кардиоинтервалов, соответствующий диапазону моды). На основе геометрических показателей ВСР рассчитывали так называемые “индексы Баевского” [19] – ИН (индекс напряжения регуляторных систем, или стресс-индекс; $ИН = A_{M_o}/2M_o \times ВР$), ИВР (индекс вегетативного равновесия, $ИВР = A_{M_o}/ВР$), ПАПР (показатель адекватности процессов регуляции, $ПАПР = A_{M_o}/A_{M_o}$), ВПР (вегетативный показатель ритма, $ВПР = 1/A_{M_o} \times ВР$).

– Методы статистического анализа ВСР: $RMSSD$ (квадратный корень из суммы разностей последовательности ряда кардиоинтервалов, мс), $SDNN$ (среднеквадратическое отклонение ряда кардиоинтервала, мс), $pNN50\%$ (процентное соотношение соседних $R-R$ интервалов, различающихся минимум на 50 мс, %).

– Частотный (спектральный) анализ ВСР: абсолютная (в $мс^2$) и относительная (в %) мощность высокочастотной (*High Frequency*, HF , 0.40–0.15 Гц), низкочастотной (*Low Frequency*, LF , 0.15–0.04 Гц), очень низкочастотной (*Very Low Frequency*, VLF , 0.04–0.015 Гц), и ультранизкочастотной (*Ultra Low Frequency*, ULF , меньше 0.15 Гц) составляющей спектра, а также суммарная мощность всех компонентов спектра (Total Power, TP , $мс^2$). Учитывая длительность регистрации в 5 мин, мощность диапазона ULF не анализировали.

Дизайн эксперимента. Исследование было начато в октябре 2018 г., а завершено в феврале 2020 г.,

до начала пандемии *COVID-19* в Республике Узбекистан.

Исследование проводили до с 9 до 11 ч утра, спустя 1.5–2 ч после последнего приема пищи, при температуре комфорта с достаточной принудительной конвекцией в теплое время года. Всем испытуемым, после детального ознакомления с предстоящими манипуляциями, проводили фоновую регистрацию параметров ВСР (в состоянии покоя) в положении сидя. Затем в течение 5 мин моделировали условия ДДС, во время которых также проводили запись параметров ВСР.

В течение всего эксперимента у всех добровольцев проводили мониторинг артериального давления (АД) с применением автоматического тонометра *OMRON M6*, (*Automatic Blood Pressure Monitor OMRON model M6*, Япония) и SpO_2 с использованием ручного пульсоксиметра *PRC-MISEMED PRO-PM350* (*Handheld pulse oximeter PRCMISEMED PRO-PM350*, Китай). В случае уменьшения SpO_2 при ДДС на 3–5% (менее 93%) или повышения систолического АД выше 139 мм рт. ст., диастолического – 89 мм рт. ст., измерение прекращали и исключали данного добровольца из исследования. Всего таких испытуемых было 3 чел.

На основании результатов регистрации в покое все испытуемые были разделены на подгруппы в соответствии с типом вегетативной регуляции ВСР по алгоритму [22]. Данный алгоритм был разработан на детской выборке (7–18 лет), а затем успешно апробирован для юношей 16–21 года [23]. Испытуемые с ИН в диапазоне от 25 до 100 у.е. и VLF выше 240 $мс^2$ составили группу со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (группа ОБ), испытуемые с ИН ниже 25 у.е. и VLF выше 500 $мс^2$ – группу с умеренным преобладанием парасимпатических (вагусных) влияний (группа ПТ).

Общая численность выборок представлена в табл. 1. Средний возраст ($M \pm SE$) испытуемых в группе ОБ составил 19.85 ± 0.09 лет, в группе ПТ – 19.82 ± 0.16 лет.

Статистика. Оценка соответствия закону нормального распределения полученных масси-

Таблица 2. Медианные значения показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (ОБ) или с умеренным преобладанием парасимпатических влияний (ПТ)

Показатели	ОБ ($n = 521$)	ПТ ($n = 194$)	p
ЧСС, уд./мин	77.5 (72.6; 84.2)	67.2 (62.6; 71.5)	<0.001
$R-R$ (мин), мс	589 (545; 641)	545 (493; 619)	<0.001
$R-R$ (макс), мс	970 (911; 1048)	1616 (1402; 1655)	<0.001
$R-R$ размах	366 (323; 441)	1045 (804; 1133)	<0.001
Mo	775 (675; 825)	825 (775; 925)	<0.001
AMo	32.6 (28.2; 37.1)	22.4 (18.4; 27.2)	<0.001
ИВР	85.2 (65.9; 109.0)	24.3 (19.3; 32.3)	<0.001
ВПР	3.5 (2.9; 4.2)	1.2 (1.1; 1.5)	<0.001
ПАПР	42.7 (35.5; 50.4)	27.1 (21.3; 33.9)	<0.001
ИН	56.1 (41.3; 72.5)	15.0 (11.4; 20.0)	<0.001
<i>SDNN</i>	65 (56; 75)	176 (113; 261)	<0.001
<i>RMSSD</i>	792 (683; 950)	1435 (1173; 1721)	<0.001
<i>pNN50</i>	8.9 (6.0; 12.8)	22.1 (16.6; 26.9)	<0.001
TP , мс ²	3243 (2802; 3772)	7743 (5847; 9135)	<0.001
VLf , мс ²	614 (509; 775)	2433 (1404; 2957)	<0.001
LF , мс ²	1286 (1090; 1541)	2401 (2001; 2963)	<0.001
HF , мс ²	1113 (927; 1363)	1814 (1491; 2203)	<0.001
VLf , %	19.2 (16.6; 22.7)	29.4 (22.4; 34.9)	<0.001
LF , %	39.4 (35.3; 43.2)	32.6 (28.7; 38.2)	<0.001
HF , %	34.1 (30.1; 38.7)	22.9 (19.2; 31.6)	<0.001
LF/HF	1.17 (0.96; 1.41)	1.37 (1.15; 1.62)	<0.001

Примечание: данные представлены как Me ($Q1$; $Q3$), статистическая значимость межгрупповых различий — по критерию Манна–Уитни. Обозначения показателей см. в разделе “Оцениваемые параметры”.

вов данных с использованием критерия Шапиро–Уилка показала, что критерию нормальности ($p > 0.05$) соответствовали только данные по возрасту. Соответственно, межгрупповые сравнения проводили с использованием непараметрических критериев: для независимых выборок — U -критерий Манна–Уитни, для связанных переменных — парный T -критерий Вилкоксона. Множественные сравнения проводили по H -критерию Краскелла–Уоллиса с последующим медианным тестом. Данные на рисунках представлены в виде медианы и межквартильного размаха. Статистическую значимость изменения ВСР в целом (по всем изученным показателям) оценивали по результатам дискриминантного анализа (алгоритм прямого пошагового анализа). Статистическую значимость фактических дискриминантных функций оценивали при помощи канонического анализа. Расчеты проведены в программе *Statistica 7.0*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение показателей фоновой регистрации, объединенных по всем сериям, выявили стати-

стически значимые межгрупповые различия по всем использованным показателям ВСР (табл. 2).

Дискриминантный анализ также показал наличие значимых межгрупповых различий: *Wilks' Lambda*: 0.210; $F(10, 704) = 265.268$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 1105.84$; $p < 0.001$. При этом значимыми в общей картине различий функционального состояния у испытуемых групп ОБ и ПТ в покое были, помимо ИН (по величине которого проведено разделение на группы), показатели: $R-R$ размах ($F = 281.71$; $p < 0.001$), общая мощность спектра ВСР TP ($F = 45.27$; $p < 0.001$), абсолютная и относительная мощность диапазона HF ($F = 32.98$; $p < 0.001$ и $F = 25.10$; $p < 0.001$ соответственно).

При оценке степени изменения показателей ВСР в условиях ДДС в % по сравнению с фоновой записью (без учета высоты имитируемого подъема) также обнаружили межгрупповые различия по большинству показателей, кроме $R-R$ мин и LF/HF (табл. 3): $R-R$ мин в обеих группах изменялся незначительно, LF/HF в обеих группах значительно снижался. Следует отметить, что изменения большинства показателей ВСР внутри групп в

Таблица 3. Степень изменения (в %) показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) испытуемых со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (ОБ) или с умеренным преобладанием парасимпатических влияний (ПТ) при имитации затруднений дыхания без учета высоты подъема

Показатели	ОБ ($n = 521$)	$p1$	ПТ ($n = 194$)	$p1$	$p2$
ЧСС, уд./мин	0.4 (–3.0; 3.4)	0.880	5.7 (1.1; 16.6)	<0.001	<0.001
$R-R$ (мин), мс	1.5 (–4.1; 5.8)	0.015	0.8 (–6.7; 10.8)	0.096	0.546
$R-R$ (макс), мс	1.0 (–3.8; 8.2)	<0.001	–9.9 (–38.6; 0.2)	<0.001	<0.001
$R-R$ размах	14.5 (–9.2; 150.8)	<0.001	–12.2 (–54.3; 12.9)	<0.001	<0.001
Мо	0.0 (–6.5; 0.0)	<0.001	–5.7 (–10.8; 0.0)	<0.001	<0.001
АМо	–6.1 (–21.0; 9.2)	<0.001	7.8 (–10.8; 35.1)	<0.001	<0.001
ИБР	–8.1 (–36.8; 24.8)	0.009	62.4 (–4.0; 188.0)	<0.001	<0.001
ВПР	0.0 (–19.5; 19.2)	0.924	55.3 (3.0; 154.3)	<0.001	<0.001
ПАПР	–4.0 (–19.1; 11.5)	<0.001	14.5 (–7.3; 46.6)	<0.001	<0.001
ИН	–4.5 (–34.5; 26.0)	0.101	74.7 (5.3; 207.6)	<0.001	<0.001
$SDNN$	5.7 (–10.5; 28.6)	<0.001	–27.1 (–62.4; 0.0)	<0.001	<0.001
$RMSSD$	21.3 (4.5; 43.8)	<0.001	–4.4 (–22.9; 12.5)	0.007	<0.001
$pNN50$	48.6 (12.5; 104.9)	<0.001	0.90 (–23.9; 24.9)	0.733	<0.001
TP , мс ²	9.1 (–7.4; 31.9)	<0.001	–19.6 (–53.4; 5.8)	<0.001	<0.001
VLF , мс ²	–9.9 (–30.3; 19.0)	<0.001	–37.6 (–76.3; 0.0)	<0.001	<0.001
LF , мс ²	–2.7 (–19.3; 28.1)	0.164	–25.7 (–46.4; 3.5)	<0.001	<0.001
HF , мс ²	30.9 (8.9; 57.9)	<0.001	4.2 (–15.3; 21.9)	0.037	<0.001
VLF , %	–16.1 (–30.6; 5.2)	<0.001	–28.8 (–48.8; –2.4)	<0.001	<0.001
LF , %	–10.3 (–20.4; 1.8)	<0.001	3.9 (–9.1; 26.5)	0.003	<0.001
HF , %	21.1 (2.2; 38.2)	<0.001	34.7 (4.1; 100.8)	<0.001	<0.001
LF/HF	–23.6 (–37.6; –2.3)	<0.001	–27.5 (–42.6; –3.5)	<0.001	0.107

Примечание: данные представлены как $Me (Q1; Q3)$, статистическая значимость: $p1$ – внутри групп по парному критерию Вилкоксона, $p2$ – межгрупповые различия по критерию Манна–Уитни. Обозначения показателей см. в разделе “Оцениваемые параметры”.

условиях ДДС были значимыми: в группе ОБ – кроме ЧСС, ВПР, LF (мс²), в группе ПТ – кроме $R-R$ мин и $pNN50$.

Дискриминантный анализ показал наличие значимых межгрупповых различий в реакции на ДДС: $Wilks' \Lambda$: 0.715; $F(12,700) = 23.159$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 235.70$; $p < 0.001$. При этом значимыми в общей картине различий динамики функционального состояния у испытуемых групп ОБ и ПТ при нагрузке были показатели: $R-R$ размах ($F = 16.37$; $p < 0.001$), абсолютная и относительная мощность диапазона HF ($F = 13.90$; $p < 0.001$ и $F = 17.19$; $p < 0.001$ соответственно), относительная мощность диапазона LF ($F = 8.52$; $p = 0.003$), ЧСС ($F = 12.33$; $p < 0.001$) и $pNN50$ ($F = 10.20$; $p = 0.001$). Степень изменения этих показателей в разных группах испытуемых приведена на рис. 1. Важно отметить, что $pNN50\%$, в группе ПТ не изменялся, а степень изменения мощности диапазона HF была ниже, чем в группе ОБ.

Анализ степени изменения показателей ВСР в условиях ДДС в зависимости от высоты подъема

оказал, что в группе ОБ чувствительными оказались показатели $R-R$ размах ($H(2,521) = 156.15$; $p < 0.001$), общая мощность спектра ВСР TP ($H(2,521) = 5.173$; $p = 0.075$), абсолютная мощность диапазона LF ($H(2, 521) = 6.80$; $p = 0.033$). В группе ПТ единственным показателем, изменяющим свою реактивность в зависимости от высоты подъема, оказался $R-R$ размах ($H(2,194) = 37.13$; $p < 0.001$). Следует обратить внимание, что как в группе ОБ, так и в группе ПТ наибольшая степень изменения показателя $R-R$ размах выявлена при имитации на высоту 9000 футов (рис. 2). Показатели LF и TP в группе ОБ возрастали с увеличением высоты подъема.

Дискриминантный анализ выявил различия между группами ОБ и ПТ в условиях моделирования подъема на все три уровня. Так, при имитации подъема на высоту 3000 футов (914.4 м) $Wilks' \Lambda$: 0.644; $F(13,224) = 9.490$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 100.69$; $p < 0.001$. Значимые показатели: $RMSSD$ ($F = 9.85$; $p = 0.002$, значимое возрастание только в группе ОБ), минимальная и максимальная дли-

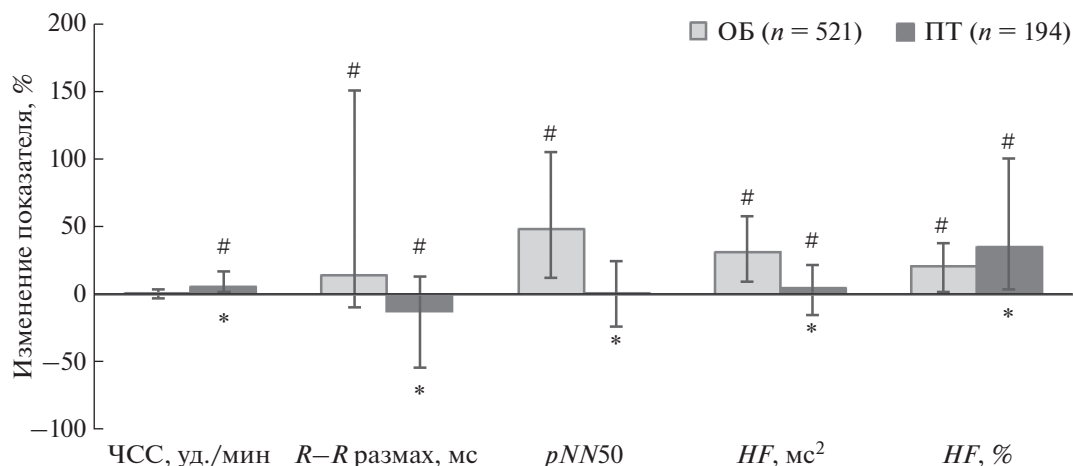


Рис. 1. Степень изменения (в %) значимых по результатам дискриминантного анализа показателей variability сердечного ритма (ВСР) испытуемых со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (ОБ) или с умеренным преобладанием парасимпатических влияний (ПТ) при имитации затруднений дыхания без учета высоты подъема.

Данные представлены как *Me* (*Q1*; *Q3*), статистическая значимость: # – $p < 0.05$ по парному критерию Вилкоксона, * – $p < 0.05$ по критерию Манна–Уитни. Обозначения показателей – см. раздел “Оцениваемые параметры”.

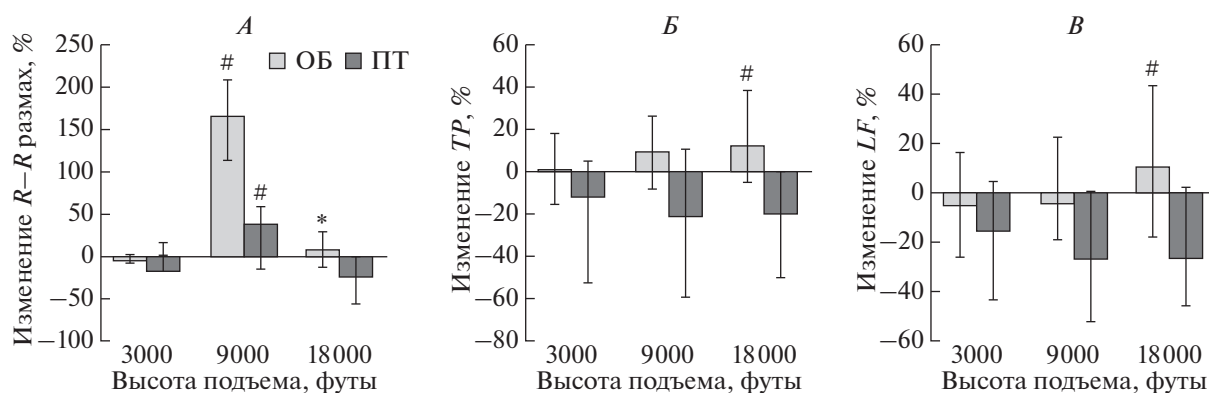


Рис. 2. Степень изменения (в %) значимых по результатам дискриминантного анализа показателей variability сердечного ритма (ВСР) испытуемых со сбалансированным влиянием симпатических и парасимпатических влияний на ВСР (ОБ) или с умеренным преобладанием парасимпатических влияний (ПТ) в условиях имитации подъема на разную высоту.

Данные представлены как *Me* (*Q1*; *Q3*), статистическая значимость: # – отличия от высоты подъема 3000 футов, * – отличия от высоты 9000 футов ($p < 0.05$ по медианному тесту). А – размах длительности межсистолических (*R-R*) интервалов, В – *TP*, В – относительная мощность диапазона *LF*. Обозначения показателей – см. раздел “Оцениваемые параметры”.

тельность *R-R* интервалов ($F = 8.75$; $p = 0.003$ и $F = 9.41$; $p = 0.002$ соответственно, большей степенью изменения в группе ПТ), абсолютная и относительная мощность диапазона *HF* ($F = 5.77$; $p = 0.017$ и $F = 7.36$; $p = 0.007$ соответственно, значимое возрастание только в группе ОБ), абсолютная мощность диапазона *LF* ($F = 8.17$; $p = 0.005$, с большей степенью снижения в группе ОБ).

При имитации подъема на высоту 9000 футов (2743.2 м) *Wilks' Lambda*: 0.636; $F(14, 220) = 9.490$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 102.24$; $p < 0.001$. Значимые показате-

тели: ЧСС ($F = 4.16$; $p = 0.042$ с большей степенью возрастания в группе ПТ), *R-R* размах ($F = 16.92$; $p < 0.001$ с возрастанием только в группе ОБ), общая мощность спектра ВСР *TP* ($F = 4.81$; $p = 0.029$ с возрастанием только в группе ОБ), абсолютная и относительная мощность диапазона *HF* ($F = 6.29$; $p = 0.012$ и $F = 9.24$; $p = 0.003$ соответственно, с возрастанием только в группе ОБ).

При имитации подъема на высоту 18000 футов (5486.4 м) *Wilks' Lambda*: 0.706; $F(9, 223) = 10.283$; $p < 0.001$; $\chi^2 = 78.63$; $p < 0.001$. Значимые показатели: ЧСС ($F = 5.69$; $p = 0.017$ с большей степенью

возрастания в группе ПТ), $R-R$ размах ($F = 3.72$; $p = 0.054$ с возрастанием только в группе ОБ), абсолютная мощность диапазона LF ($F = 3.62$; $p = 0.063$ со снижением в группе ПТ и возрастанием в группе ОБ), относительная мощность диапазона VLF ($F = 3.47$; $p = 0.058$ с большей степенью снижения в группе ПТ).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По мнениям разработчиков методических рекомендаций для клинических исследований, многократно проверенным и эмпирически доказанным, использовать показатели ВСР в оценке состояния организма человека рекомендуется в условиях стационарности — при длительной (не менее 5 мин) регистрации в спокойной обстановке [20]. Однако опыт использования показателей ВСР в спорте, фитнесе и медицине в последние годы показал принципиальную возможность анализа, во-первых, более коротких записей [24], во-вторых — регистрации в условиях проведения нагрузочных проб, во время изменения базовых параметров сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД), при условии, что они происходят достаточно медленно и в незначительном диапазоне амплитуды [11]. Наше исследование проведено с использованием 5-минутных записей, но вторая регистрация проведена во время ДДС, фактически — во время нагрузочной пробы. Длительность второй регистрации также составила 5 мин, а изменения ЧСС, АД и сатурации крови были незначительны. Это позволяет оценить условия регистрации как псевдостационарные, с возможностью оценки результатов методами анализа ВСР.

При формировании экспериментальных групп мы исключили испытуемых с выраженным повышением АД, а также со снижением сатурации кислорода: таких участников исследования оказалось всего трое. Причинами высокой реактивности у них могут быть как индивидуальные особенности кардио-респираторного сопряжения, так и наличие невыявленной патологии, однако их оценка не входила в задачи настоящего исследования.

Также мы выбрали критерием включения в выборку величину ИН не выше 100 у.е. Данный показатель чувствителен к действию психоэмоциональных факторов [19], и в алгоритме типирования спортсменов по особенностям вегетативной регуляции сердечного ритма подгруппы с ИН выше 100 у.е. составляют отдельную группу [22]. Фактически, предпринята попытка оценки роли периферических вегетативных механизмов регуляции деятельности сердца в условиях ДДС, дифференцировано по уровню нагрузки, с минимальным влиянием высших вегетативных центров на кардио-респираторное сопряжение.

Фоновая регистрация показателей ВСР показала ожидаемые статистически значимые различия между группами ОБ и ПТ практически по всем параметрам: для группы ОБ были характерны более высокие значения индексов Баевского, отражающие баланс симпатических и парасимпатических влияний [19], для группы ПТ — более высокие величины вариационного размаха длительности $R-R$ интервалов, $RMSSD$, $SDNN$, $pNN50\%$ и TP , которые считаются маркерами повышенного тонуса вагуса [19–21]. Дискриминантный анализ показал максимальный вес в межгрупповых различиях общей мощности (TP) спектра ВСР, которая была выше в группе ПТ, за счет более высоких значений мощности диапазона HF . Этот факт обычно интерпретируется как более высокий уровень вегетативной активности, с преобладанием вагусных влияний [19–21]. Однако в нашем случае для группы ПТ также оказался характерным более высокий вклад в спектр частот диапазона VLF , при более высоких значениях величины LF/HF . Это вполне согласуется с сомнениями ряда коллег о точности отражения отношением LF/HF автономного баланса [24], особенно в нагрузочных пробах [25], и многоуровневости контроля кардиоритма, который не сводится только к активности симпатической и парасимпатической системам [26], но включает также и активность гипоталамуса и других высших вегетативных центров [27]. Известно, что центральная регуляция висцеральных функций осуществляется гипоталамическими и экстрагипоталамическими структурами, оказывающими прямое (по нервным путям) воздействие на бульбарные симпатическое и парасимпатическое звенья автономной регуляции. Наиболее важным гипоталамическим центром автономной регуляции является паравентрикулярное ядро. Экстрагипоталамические сайты, вовлеченные в автономную регуляцию, можно разделить по их влиянию на разные звенья: в симпатической регуляции участвуют норадреналин-содержащие нейроны дорзальной (голубое пятно) и вентролатеральной (области A5 и A1) частей продолговатого мозга, а также серотонин-содержащие нейроны из ствола и ядер шва. В парасимпатической регуляции участвуют центральное ядро миндалины, дорзальное моторное ядро блуждающего нерва, двойное ядро, ядра шва, периаквадуктальное серое вещество и парабрахияльное ядро. Лимбическая кора, включающая цингулярную, орбитофронтальную, инсулярную и ринальную области, а также гиппокамп, участвуют в работе обоих звеньев автономной регуляции [27, 28], (<https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter03.html>). В контексте нашей работы есть все основания полагать наличие стресс-индуцированных эмоций и психогенных влияний, модулирующих работу

бульбарных центров, что отражается в мощности диапазона *VLF* [29].

В условиях ДДС, без учета высоты моделируемого подъема, в группе ОБ выявлено возрастание вариационного размаха длительности *R–R* интервалов, статистических показателей ВСП (*RMSSD*, *SDNN*), общей мощности спектра ВСП *TP* за счет мощности диапазона *HF*, при снижении индексов Баевского (ИВР, ВПР, ПАПР, ИН). Иными словами — возрастание показателей, коррелирующих с вагусной активностью, и снижение показателей, связываемых с симпатическим тонусом. В группе ПТ изменения были противоположно направленными, а межгрупповые различия — статистически значимыми. Важно отметить, что такой показатель, связываемый с вагусной активностью, как *pNN50%*, в группе ПТ не изменялся, а степень изменения мощности диапазона *HF* была ниже, чем в группе ОБ. По относительной мощности диапазонов спектра ВСП мы увидели, что направленность изменений всех показателей в обеих группах была одинакова (снижение *VLF%* и *LF%*, возрастание *HF%*), но степень выраженности — выше в группе ПТ. Исключение составила величина *LF/HF*, одинаково снижавшаяся в обеих группах.

Таким образом, в условиях моделирования ДДС у юношей с разным исходным типом вегетативной регуляции выявлена разная динамика показателей ВСП: в группе ОБ это признаки активации вегетативной регуляции преимущественно за счет повышения вагусной активности, в группе ПТ — наоборот, снижение общего уровня вегетативной активности, с признаками активации симпатических влияний при снижении влияний высших отделов регуляции, отражаемых в мощности диапазона *VLF*. Тот факт, что важную роль в различиях между группами ОБ и ПТ играют не только сами изменения уровня вагусной активности, но и перераспределение вклада разных отделов регуляции сердечного ритма, подтверждаются результаты дискриминантного анализа.

Известно, что *ETM* и другие подобные устройства способны создавать легкую гиперкапнию/гипоксию во вдыхаемом воздухе [6, 8, 30]. По данным литературы, такие изменения газового состава вдыхаемого воздуха, помимо активации дыхания при участии вагуса, приводят к увеличению симпатического тонуса, активируя пресимпатические нейроны в ростральном отделе вентролатеральной поверхности продолговатого мозга [31].

Дополнительная информация об особенностях регуляции ВСП у юношей с исходно разным вегетативным статусом была получена при анализе имитации подъема на разную высоту. В группе ПТ возрастание вариационного размаха длительности *R–R* интервалов, что считается признаком

повышения вегетативной активности в целом, обнаружено только на высоте 9000 футов (2743.2 м), при снижении этого показателя при более низком и более высоком ДДС; степень изменения других показателей ВСП от высоты не зависела. В группе ОБ вариационный размах длительности *R–R* интервалов также в наибольшей степени возрастал именно на этой высоте, которая считается критичной в развитии горной болезни [32]. Следовательно, можно считать, что важным звеном патогенеза данного состояния может быть повышенный уровень вегетативной активности, развивающийся у спортсменов с разным исходным типом регуляции сердечно-сосудистой системы.

Кроме того, в группе ОБ общая мощность спектра *TP* и относительная мощность диапазона *LF* (обычно интерпретируемая как усиление симпатических влияний) градуально зависели от высоты имитируемого подъема — их возрастание достигло уровня статистической значимости только на максимальной высоте.

Использование дискриминантного анализа позволило показать, что при имитации подъема на высоту 3000 футов значимыми были различия по степени изменения коррелятов вагусной активности. При ДДС, моделирующей подъем на высоту 9000 футов, эти различия остались значимыми, и к ним добавились различия по коррелятам симпатического тонуса. При имитации подъема на высоту 9000 футов остались значимыми различия по коррелятам симпатического тонуса, и к ним присоединились (на уровне тенденции) различия по показателям *LF* и *VLF*, ассоциируемые с активностью высших отделов вегетативной регуляции. Иными словами, увеличение высоты подъема сопровождается повышением уровня вовлекаемых структур управления вегетативной регуляцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что различия в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы у юношей характерны не только для фоновой регистрации, но и определяют направление и выраженность сдвигов показателей ВСП в условиях нагрузочной пробы с ДДС (при имитации подъема на высоту). В группе ОБ в условиях ДДС при имитации подъема на незначительные высоты возрастают показатели, связываемые с вагусной активностью, при повышении высоты подъема к ним присоединяется возрастание параметров, отражающих симпатический тонус. В группе ПТ предполагаемое повышение симпатического тонуса обнаружено на всех высотах.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлений, и одобрены локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного научного учреждения “Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии” (Москва), протокол № 4, 02.09.2019.

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Вклад авторов в публикацию. В.О. Еркудов, К.У. Розумбетов, А.П. Пуговкин, А.Т. Матчанов — разработка концепции и дизайна исследования, подготовка первоначального текста статьи. К.У. Розумбетов, А.Т. Матчанов — сбор данных. В.О. Еркудов, К.У. Розумбетов, А.П. Пуговкин, А.Т. Матчанов, Н.Б. Панкова — анализ и интерпретация результатов. В.О. Еркудов, Н.Б. Панкова — редактирование и утверждение окончательной версии статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Raven P.B., Jackson A.W., Page K. et al. The physiological responses of mild pulmonary impaired subjects while using a “demand” respirator during rest and work // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1981. V. 42. № 4. P. 247.
2. Middleton J.D., Lopes H. Face masks in the covid-19 crisis: caveats, limits, and priorities // BMJ. 2020. V. 369. P. m2030.
3. Özdemir L., Azizoğlu M., Yapıcı D. Respirators used by healthcare workers due to the COVID-19 outbreak increase end-tidal carbon dioxide and fractional inspired carbon dioxide pressure // J. Clin. Anesth. 2020. V. 66. P. 109901.
4. Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Влияние тренировки с использованием дыхательного тренажера Elevation Training Mask 2.0 на функциональный резерв респираторной мускулатуры // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 6. С. 59.
Segizbaeva M.O., Aleksandrova N.P. Effect of the Elevation Training Mask on the functional outcomes of the respiratory muscles // Human Physiology. 2018. V. 44. № 6. P. 656.
5. Porcari J.P., Probst L., Forrester K. et al. Effect of wearing the Elevation Training Mask on aerobic capacity, lung function, and hematological variables // J. Sports Sci. Med. 2016. V. 15. № 2. P. 379.
6. Granados J., Gillum T.L., Castillo W. et al. “Functional” respiratory muscle training during endurance exercise causes modest hypoxemia but overall is well tolerated // J. Strength Cond. Res. 2016. V. 30. № 3. P. 755.
7. Romero-Arenas S., López-Pérez E., Colomer-Poveda D., Márquez G. Oxygenation responses while wearing the elevation training mask during an incremental cycling test // J. Strength Cond. Res. 2021. V. 35. № 7. P. 1897.
8. Gáspari A.F., Carvalho L., Teodoro C.L. et al. Is Elevation Training Mask a strategy to increase lactate clearance through respiratory muscle loading? // J. Strength Cond. Res. 2018. V. 32. № 9. P. e12.
9. Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д. Регуляция дыхания: висцеральная и поведенческая составляющие // Успехи физиологических наук. 2007. Т. 38. № 2. С. 26.
10. Еркудов В.О., Пуговкин А.П. Эффекты добавочного дыхательного сопротивления у подростков с повышенным тонусом симпатической нервной системы // Патогенез. 2019. Т. 17. № 1. С. 82.
Erkudov V.O., Pugovkin A.P. [Effects of additional respiratory resistance in adolescents with increased sympathetic tone] // Patogenez [Pathogenesis]. 2019. V. 17. № 1. P. 82.
11. Панкова Н.Б. Функциональные пробы для оценки состояния здоровых людей по вариабельности сердечного ритма // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99. № 6. С. 682.
Pankova N.B. [Functional tests for the assessment of the healthy people state via using heart rate variability] // Ross. Fiziol. Zh. Im. I.M. Sechenova. 2013. V. 99. № 6. P. 682.
12. Jung H.C., Lee N.H., John S.D., Lee S. The elevation training mask induces modest hypoxaemia but does not affect heart rate variability during cycling in healthy adults // Biol. Sport. 2019. V. 36. № 2. P. 105.
13. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Механизмы общего адаптационного синдрома при действии увеличенного респираторного сопротивления // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т. 6. № 3. С. 29.
Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V. The mechanisms of general adaptation syndrome: influence of increased respiratory resistance // Sports Medicine: Research and Practice. 2016. V. 6. № 3. P. 29.
14. Hermard E., Lhuissier F.J., Pichon A. et al. Exercising in hypoxia and other stimuli: heart rate variability and ventilatory oscillations // Life (Basel). 2021. V. 11. № 7. P. 625.
15. Baevsky R.M., Bennett B.S., Bungo M.W. et al. Adaptive responses of the cardiovascular system to prolonged spaceflight conditions: assessment with Holter monitoring // J. Cardiovasc. Diagn. Proced. 1997. V. 14. № 2. P. 53.
16. Шлык Н.И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе // Наука и спорт: современные тенденции. 2021. Т. 9. № 4. С. 35.
Shlyk N.I. Standards of the variational range of cardio-intervals at rest and during orthostasis challenge with different types of regulation in ski racers in the training process // Science and Sport: Current Trends. 2021. V. 9. № 4. P. 35.
17. Максимов А.Л., Аверьянова И.В. Информативные маркеры состояния кардиогемодинамики у юношей с различными типами вегетативной регуляции в процессе велоэргометрической нагрузки

- субмаксимальной мощности // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 3. С. 61.
- Maksimov A.L., Averyanova I.V. Informative markers of cardiohemodynamic state in young males with different types of autonomic regulation during a submaximal cycle of ergometric exercise // Human Physiology. 2019. V. 45. № 3. P. 283.
18. Natarajan A., Pantelopoulos A., Emir-Farinas H., Natarajan P. Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study // Lancet Digit. Health. 2020. V. 2. № 12. P. e650.
 19. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 221 с.
Baevsky R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. [Mathematical analysis of changes in heart rate during stress]. M.: Nauka, 1984. 221 p.
 20. 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 // Eur. Heart J. 1996. V. 17. № 3. P. 354.
 21. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms // Front. Public Health. 2017. V. 5. P. 258.
 22. Шлык Н.И., Сапожникова Е.Н., Кириллова Т.Г., Семенов В.Г. Типологические особенности функционального состояния регуляторных систем у школьников и юных спортсменов (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 6. С. 85.
Shlyk N.I., Sapozhnikova E.N., Kirillova T.G., Semenov V.G. Typological characteristics of the functional state of regulatory systems in schoolchildren and young athletes (according to heart rate variability data) // Human Physiology. 2009. V. 35. № 6. P. 730.
 23. Шлык Н.И., Зуфарова Э.И. Нормативы показателей вариабельности сердечного ритма у исследуемых 16–21 года с разными преобладающими типами вегетативной регуляции // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2013. № 4. С. 96.
Shlyk N.I., Zufarova E.I. [Qualifying standards of heart rate variability for 16–21 years old testees with different prevalent types of autonomic regulation of heart] // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2013. № 4. P. 96.
 24. Billman G.E. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance // Front. Physiol. 2013. V. 4. P. 26.
 25. Perini R., Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions // Eur. J. Appl. Physiol. 2003. V. 90. № 3–4. P. 317.
 26. La Rovere M.T., Porta A., Schwartz P.J. Autonomic Control of the Heart and Its Clinical Impact. A Personal Perspective // Front. Physiol. 2020. V. 11. P. 582.
 27. Ruffle J.K., Hyare H., Howard M.A. et al. The autonomic brain: Multi-dimensional generative hierarchical modelling of the autonomic connectome // Cortex. 2021. V. 143. P. 164.
 28. Valenza G., Sclocco R., Duggento A. et al. The central autonomic network at rest: Uncovering functional MRI correlates of time-varying autonomic outflow // Neuroimage. 2019. V. 197. P. 383.
 29. Usui H., Nishida Y. The very low-frequency band of heart rate variability represents the slow recovery component after a mental stress task // PLoS One. 2017. V. 12. № 8. P. e0182611.
 30. Панкова Н.Б., Архипова Е.Н., Алчинова И.Б. и др. Сравнительный анализ методов экспресс-оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Вестник восстановительной медицины. 2011. № 6(46). С. 60.
Pankova N.B., Arkhipova E.N., Alchinova I.B. et al. [Comparative analysis of methods for rapid assessment of the functional state of the cardiovascular system] // Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2011. № 6(46). P. 60.
 31. Stuckless T.J.R., Vermeulen T.D., Brown C.V. et al. Acute intermittent hypercapnic hypoxia and sympathetic neurovascular transduction in men // J. Physiol. 2020. V. 598. № 3. P. 473.
 32. Mellor A., Bakker-Dyos J., O'Hara J. et al. Smartphone-Enabled Heart Rate Variability and Acute Mountain Sickness // Clin. J. Sport. Med. 2018. V. 28. № 1. P. 76.

Typological Features of the Heart Rate Autonomic Regulation under Simulating a Rise to a Height by Using Additional Respiratory Resistance

V. O. Erkudov^a, K. U. Rozumbetov^b, A. P. Pugovkin^a, A. T. Matchanov^b, N. B. Pankova^{c, *}

^aSaint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

^bKarakalpak State University named after Berdakh, Nukus, Uzbekistan

^cInstitute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

*E-mail: nbpankova@gmail.com

The aim of this work was to study the indicators of heart rate variability (HRV) under conditions of additional respiratory resistance (ADR), as an imitation of climbing to a height, in young men with different types of autonomic regulation. The study involved 715 young men aged 19 to 24 years. HRV parameters were assessed by the method of variational pulsometry (BioMouse). Each subject passed two tests lasting 5 min: background, and under conditions of DDS. An ETM 2.0 resistive mask was used to simulate climbing (ADS simulation), in three altitudes: 3000, 9000, 18000 feet. Each person performed only one test; the height of the lift was not reported to him. Based on the results of background testing, two groups were created: the OB

group – with balanced sympathetic and parasympathetic influences on HRV (stress index 25–100 c.u., VLF above 240 ms²), the PT group – with a moderate predominance of parasympathetic (vagal) influences (stress index below 25 c.u., VLF above 500 ms²). In the background testing, the OB group was characterized by higher values of the Bayevsky indices (IVR, VPR, PAPR), reflecting the predominance of sympathetic tone, and the PT group had higher values of the variation range of the duration of R–R intervals, RMSSD, SDNN, pNN50%, which are considered markers of increased vagal tone, and the total power of the HRV spectrum TP. Under conditions of ADR, without taking into account the height of the simulated rise, in the OB group, an increase in indicators correlated with vagal activity was revealed: the range of R–R intervals, RMSSD, SDNN, the HF range in the HRV spectrum, with a decrease in the Baevsky indices (IVR, VPR, PAPR, stress index). The increase in spectral measures of HRV associated with sympathetic activity (LF%) and TP reached the level of statistical significance only when simulating an ascent to an altitude of 18000 feet. In the PT group, the changes were oppositely directed: a decrease in correlates of vagal activity and an increase in sympathetic tone, regardless of the height of the lift. However, in both groups, the range of R–R intervals increased the most at 9000 feet, which is critical for the development of mountain sickness. Differences in the autonomic regulation of the cardiovascular system in young men determine the direction and severity of shifts in HRV indicators when simulating a rise to a height. In the OB group under conditions of ADR, when simulating a rise to insignificant heights, the indicators associated with vagal activity increase, with an increase in the height of the rise, an increase in parameters reflecting the sympathetic tone joins them. In the PT group, an expected increase in sympathetic tone was found at all altitudes.

Keywords: heart rate variability, autonomic regulation of heart rate, additional respiratory resistance.