

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ У МУЖЧИН С РАЗНЫМ ТИПОМ РЕАКТИВНОСТИ СИМПАТИЧЕСКОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Скорлупкин Д.А.¹, Голубева Е.К.¹, Ярченкова Л.Л.¹

¹ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: sk_dmit96@mail.ru

Постуральные изменения инициируют развитие комплекса вегетативных реакций, характер которых во многом определяется реактивностью симпатического отдела вегетативной нервной системы. Количественную оценку симпатических и парасимпатических влияний ВНС позволяет дать анализ вариабельности сердечного ритма. Целью работы явилось изучение вариабельности ритма сердца при постуральных изменениях у мужчин в зависимости от реактивности симпатической нервной системы. В исследовании приняли участие 50 мужчин в возрасте 18-20 лет, имеющих I группу здоровья. Использовали следующие постуральные изменения: активный ортостаз, пассивный ортостаз и пассивный антиортостаз. Тип симпатической реактивности определяли по изменению частоты сердечных сокращений при выполнении ортостатической пробы. Были выявлены испытуемые с нормальным и гиперсимпатическим типом реактивности. ЭКГ регистрировали с помощью АПК «Полиспектр» («Нейрософт», Иваново) в течение 5 минут до и после постуральных изменений. Активный и пассивный ортостаз вызывает возбуждение симпатического отдела вегетативной нервной системы. Изменения более выражены у лиц с гиперсимпатическим типом реагирования. При нормальной симпатической реактивности пассивный антиортостаз сопровождается увеличением парасимпатических влияний на ритм сердца. У мужчин с гиперсимпатическим типом реагирования антиортостаз инициирует активацию симпатической системы.

Ключевые слова: вегетативная нервная система, вариабельность ритма сердца, активный ортостаз, пассивный ортостаз, пассивный антиортостаз.

FEATURES OF HEART RATE VARIABILITY WITH POSTURAL CHANGES IN MEN WITH DIFFERENT TYPES OF REACTIVITY OF THE SYMPATHETIC NERVOUS SYSTEM

Skorlupkin D.A.¹, Golubeva E.K.¹, Yarchenkova L.L.¹

¹Ivanovo State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ivanovo, e-mail: sk_dmit96@mail.ru

Postural changes initiate the development of a complex of autonomic reactions, the nature of which is largely determined by the reactivity of the sympathetic part of the autonomic nervous system. A quantitative assessment of the sympathetic and parasympathetic effects of ANS allows an analysis of heart rate variability. The aim of the work was to study the variability of the heart rate in postural changes in men, depending on the reactivity of the sympathetic nervous system. The study involved 50 men aged 18-20 years who have group I health. The following postural changes were used: active orthostasis, passive orthostasis and passive antiorthostasis. The type of sympathetic reactivity was determined by the change in heart rate during the orthostatic test. Subjects with normal and hypersympathetic types of reactivity were identified. ECG was recorded with the help of APC "Polyspectr" ("Neurosoft", Ivanovo) for 5 minutes before and after postural changes. Active and passive orthostasis causes excitation of the sympathetic part of the autonomic nervous system. The changes are more pronounced in individuals with a hypersympathetic type of response. With normal sympathetic reactivity, passive antiorthostasis is accompanied by an increase in parasympathetic effects on the heart rhythm. In men with a hypersympathetic type of response, antiorthostasis initiates activation of the sympathetic system.

Keywords: autonomic nervous system, heart rate variability, active orthostasis, passive orthostasis, passive antiorthostasis.

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы при различных положениях тела в пространстве является важным индикатором активации адаптационных механизмов. Основные развивающиеся гемодинамические эффекты, такие как изменение деятельности

сердца, состояния сосудистого тонуса, связаны с перераспределением кровотока под влиянием гравитационного поля Земли [1]. Ответная реакция на постуральные воздействия опосредована деятельностью ЦНС и происходит с участием центрального и вегетативного контуров системной регуляции деятельности сердца, управляющих его ритмом [2]. При этом характер и степень проявления приспособительных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы во многом зависит от индивидуальных особенностей реактивности вегетативной нервной системы человека (ВНС) [3]. Реактивность отражает способность нервной системы перестроить механизмы нервной и гуморальной регуляции для адаптации к воздействующим раздражителям. Оптимальная гемодинамика при постуральных воздействиях поддерживается преимущественно за счет возбуждения симпатoadренальной системы, что зависит от особенностей возбудимости симпатических вегетативных центров. Количественную оценку вклада симпатических и парасимпатических влияний в процесс развития адаптационных реакций на постуральные изменения позволяет дать анализ variability сердечного ритма (BCP). Интерпретацию BCP чаще всего осуществляют методом анализа его спектрального состава на основании быстрого преобразования Фурье. В зависимости от частоты колебаний спектр сигнала BCP распределяется в диапазоне высокочастотной (HF), низкочастотной (LF), сверхнизкочастотной (VLF) и ультранизкочастотной (ULF) мощности, которые отражают степень активности вегетативных нейрогуморальных механизмов регуляции сердечной деятельности. Анализ временных параметров BCP позволяет учесть изменчивость продолжительности промежутков электрокардиограммы между соседними R-R зубцами. При этом усиление симпатических влияний на регуляцию сердечного ритма проявляется сокращением временных параметров, тогда как активация парасимпатической системы – их увеличением [4; 5]. В ряде случаев традиционных методов спектрального и временного анализа недостаточно для оценки активности кардиальных механизмов, модулирующих ритм сердца, вследствие чего применяются методы нелинейной оценки BCP, которые позволяют определить особенности корреляции параметров сигнала [6].

Целью исследования явилось изучение variability ритма сердца при постуральных изменениях у мужчин в зависимости от реактивности симпатической нервной системы.

Материал и методы исследования. В работе приняли участие 50 мужчин-добровольцев в возрасте 18-20 лет, имеющих I группу здоровья. Протокол исследования утвержден этическим комитетом Ивановской государственной медицинской академии. Перед началом работы все испытуемые дали письменное информированное согласие на участие. В качестве постуральных изменений использовали активный ортостаз, пассивный

ортостаз (угол наклона 25°) и пассивный антиортостаз (угол наклона 15°). ВСР регистрировали с помощью аппаратно-программного комплекса «Поли-Спектр» (ООО «Нейрософт», г. Иваново) в течение 5 минут в горизонтальном положении, а также в течение 5 минут после смены положения тела [7].

Изменение функционального состояния ВНС при постуральных изменениях оценивали по динамике временных, спектральных, геометрических и расчетных показателей ВСР по сравнению с их значениями в горизонтальном положении. Также производили сравнительную оценку величины отклонения (Δ) параметров ВСР при постуральных изменениях у испытуемых с разным типом симпатической реактивности. Определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин.), минимальную продолжительность кардиоинтервала ($R-R_{\min}$, мс), среднюю продолжительность кардиоинтервала (RRNN, мс), стандартное отклонение NN-интервалов (SDNN, мс), квадратный корень из средней суммы квадратов разностей между соседними NN-интервалами (RMSSD, мс), количество последовательных кардиоинтервалов, различающихся более чем на 50 мс (pNN50, %), среднее значение общей мощности спектра ВСР (TP_{av} , $мс^2/Гц$), сверхнизкочастотный компонент спектра ВСР (VLF, $мс^2$), низкочастотный компонент спектра ВСР (LF, $мс^2$), высокочастотный компонент спектра ВСР (HF, $мс^2$), долю сверхнизкочастотного компонента спектра (VLF, %), долю низкочастотного компонента спектра (LF, %), долю высокочастотного компонента спектра (HF, %), симпатовагальный индекс (LF/HF, у.е.), медиану (Me , мс), вегетативный показатель ритма (ВПР, у.е.), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, у.е.), длину «облака» скаттерограммы (ell_L , мс), ширину «облака» скаттерограммы (ell_w , мс), отношение длины «облака» скаттерограммы к её ширине (L/w , у.е.), площадь скаттерограммы (ell_S , $мс^2$) [8, 9]. Эпоха анализа 5-минутной ЭКГ до и после исследуемых постуральных изменений составила 400-450 кардиоциклов.

Реактивность симпатической нервной системы оценивали по особенностям изменения частоты сердечных сокращений в ортостатической пробе. При увеличении ЧСС в диапазоне от 6 до 24 ударов в минуту тип реактивности характеризовали как нормальный, при увеличении более чем на 24 удара – как гиперсимпатический, при увеличении менее чем на 6 ударов – как асимпатический [10].

Статистическую обработку полученных результатов производили с помощью электронных таблиц Excel и программы Statistica. Нормальность распределения определяли с использованием критерия Шапиро-Уилка. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента и непараметрических критериев Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ среднестатистических результатов исследования показал, что активный ортостаз у всех испытуемых вызывает уменьшение функциональной активности парасимпатического отдела ВНС, о чем свидетельствует снижение мощности спектра в диапазоне высоких частот и его доли в общей мощности спектра ВСР. Также наблюдается уменьшение показателя рNN50, стандартного отклонения значений кардиоинтервалов и квадратного корня из средней суммы квадратов разностей между соседними N-N интервалами (табл. 1).

Таблица 1

Вариабельность сердечного ритма при активном ортостазе у мужчин (M±m)

Показатель	Горизонтальное положение (n=50)	Активный ортостаз (n=50)	Показатель	Горизонтальное положение (n=50)	Активный ортостаз (n=50)
HF, мс ²	2973,86±527,19	480,84±163,32 *(p<0,0001)	LF, %	27,26±1,59	49,44±2,01 *(p<0,0001)
HF, %	39,72±2,30	14,24±1,40 *(p<0,0001)	LF/HF, у.е.	1,04±0,19	5,11±0,48 *(p<0,0001)
рNN50, %	35,19±2,84	4,65±0,92 *(p<0,0001)	ПАПР, у.е.	39,82±2,15	74,77±3,89 *(p<0,0001)
SDNN, мс	72,27±3,18	46,23±2,55 *(p<0,0001)	ЧСС, уд./мин.	65,44±1,38	92,91±1,74 *(p<0,0001)
RMSSD, мс	76,55±4,61	25,78±2,88 *(p<0,0001)	RRNN, мс	937,55±19,66	657,96±13,32 *(p<0,0001)

Примечание: * – статистически значимые различия с параметрами ВСР в горизонтальном положении (p≤0,05).

Активность симпатического отдела при ортостазе, напротив, возрастает, что подтверждается увеличением доли компонента низких частот в общей мощности спектра и смещением симпатовагального индекса в сторону симпатических влияний. Также отмечается увеличение показателя адекватности процессов регуляции, указывающего на повышение генераторной активности синоатриального узла проводящей системы сердца, что сопровождается увеличением ЧСС и укорочением продолжительности кардиоцикла [11]. На активацию симпатической системы указывает уменьшение «облака» скаттерограммы (рис. 1), площадь которой в горизонтальном положении составляет 12585,43±1447,31 мс². При активном ортостазе ell_S уменьшается до 3263,17±410,28 мс² (p<0,0001).

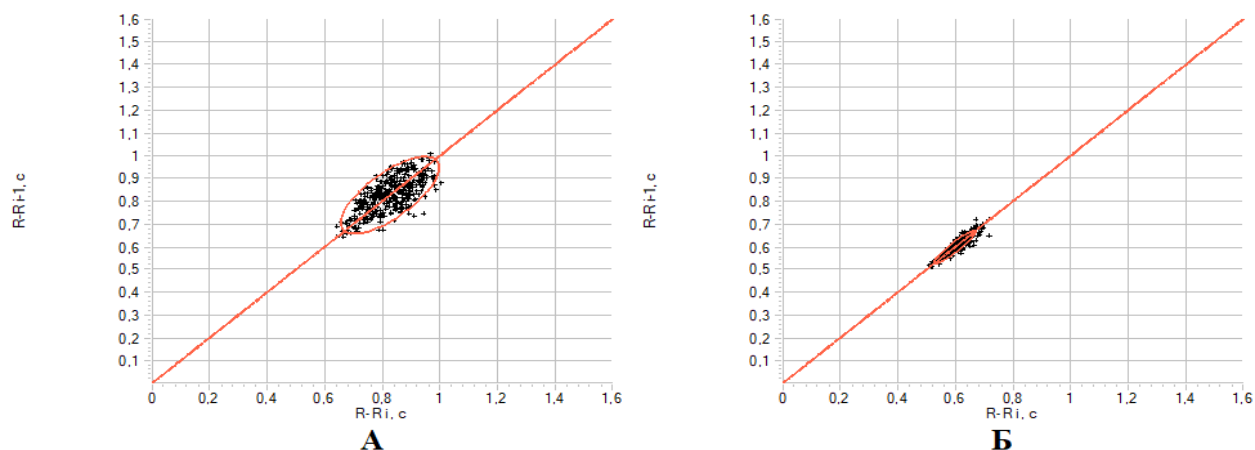


Рис. 1. Изменение скаттерограммы при активном ортостазе:

А – горизонтальное положение; Б – активный ортостаз

При пассивном ортостазе у испытуемых также происходит возбуждение симпатического отдела ВНС на фоне снижения функциональной активности парасимпатической системы [12]. Это подтверждается уменьшением доли мощности спектра в диапазоне высоких частот и увеличением доли мощности спектра в диапазоне сверхнизких частот (табл. 2). Кроме того, за счет возрастания мощности спектра в диапазоне низких частот и уменьшения высокочастотного компонента отмечается увеличение симпатовагального индекса, свидетельствующее о преобладании симпатического эффекта на сердечный ритм. На уменьшение вагусного влияния указывает уменьшение значения рNN50, что сопровождается укорочением R-Rmin и увеличением отношения длины «облака» скаттерограммы к её ширине.

Таблица 2

Вариабельность сердечного ритма при пассивном ортостазе у мужчин (M±m)

Показатель	Горизонтальное положение (n=50)	Пассивный ортостаз (n=50)	Показатель	Горизонтальное положение (n=50)	Пассивный ортостаз (n=50)
HF, %	42,69±2,21	33,68±2,41 *(p=0,00004)	LF/HF, y.e.	0,76±0,08	1,34±0,23 *(p=0,01)
VLF, %	30,79±2,24	38,02±2,46 *(p=0,001)	pNN50, %	37,35±2,75	31,73±2,69 *(p=0,004)
LFnorm, y.e.	39,40±1,95	47,42±2,53 *(p=0,002)	R-Rmin, мс	730,04±17,92	695,64±18,08 *(p=0,03)
HFnorm, y.e.	60,78±1,97	52,58±2,53 *(p=0,002)	L/w, y.e.	1,77±0,09	2,18±0,10 *(p=0,00002)

Примечание: * – статистически значимые различия с параметрами ВСР в горизонтальном положении (p≤0,05).

При пассивном антиортостазе отсутствуют достоверные изменения среднестатистических значений временных и спектральных параметров. Анализ геометрических показателей позволил выявить увеличение площади скаттерограммы, отражающей вариативность кардиоинтервалов, прежде всего за счет увеличения её ширины (рис. 2), что в свою очередь говорит о смещении вегетативного баланса в сторону парасимпатических влияний. В положении лёжа ell_w равен $91,04 \pm 8,02$ мс, а при пассивном антиортостазе значение данного показателя увеличивается до $96,72 \pm 8,94$ мс ($p=0,03$).

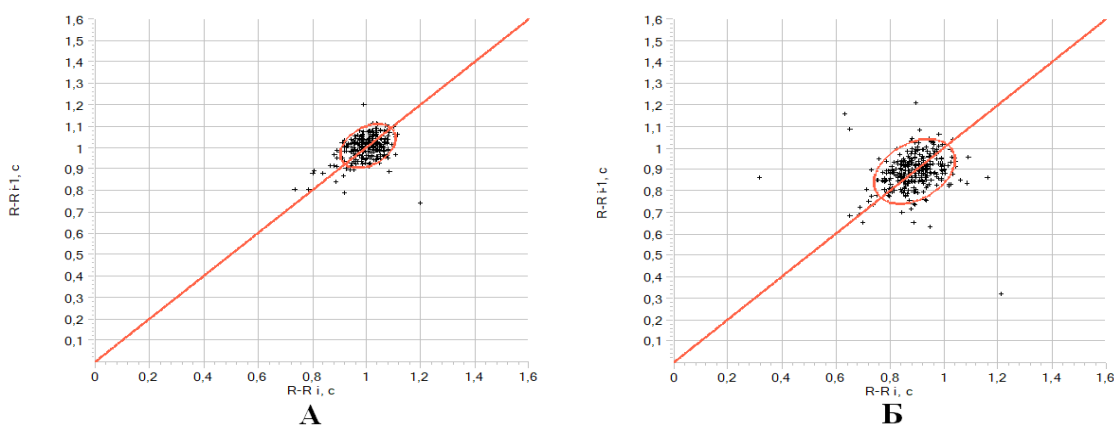


Рис. 2. Изменение скаттерограммы при пассивном антиортостазе:

А – горизонтальное положение; Б – пассивный антиортостаз

По результатам изменения частоты сердечных сокращений в ортостатической пробе были выявлены две группы испытуемых: с нормальной реактивностью (21 человек) и с гиперсимпатической реактивностью ВНС (29 человек). Активный ортостаз у испытуемых с гиперсимпатической реактивностью вызывает большее укорочение минимального и среднего значения кардиоинтервала, а также более выраженное увеличение частоты сердечных сокращений, чем у испытуемых с нормальной симпатической реактивностью ВНС (табл. 3). Кроме того, у испытуемых с гиперсимпатическим типом реагирования более выражено увеличение симпатовагального индекса, показателя адекватности процессов регуляции и отношения длины «облака» скаттерограммы к его ширине. Описанные изменения свидетельствуют о большей степени возбуждения симпатического отдела ВНС у этой группы испытуемых.

Таблица 3

Отклонение показателей ВСР при активном ортостазе у мужчин с разной реактивностью симпатической системы ($M \pm m$)

Показатель	Нормальный тип (n=21)	Гиперсимпатический тип (n=29)
$\Delta R-R_{min}$, мс	- 61,14±40,13	- 200,87±22,01 #($p=0,005$)
$\Delta RRNN$, мс	- 220,43±16,95	- 321,00±14,47 #($p<0,0001$)
$\Delta ЧСС$, уд./мин.	+ 19,76±0,81	+ 32,93±1,11 #($p<0,0001$)
$\Delta LF/HF$, у.е.	+ 2,78±0,70	+ 4,97±0,73 #($p=0,03$)

Δ ПАПР, у.е.	+ 18,09±4,91	+ 46,76±3,83 # (p<0,0001)
Δ L/w, у.е.	+ 1,83±0,24	+ 3,04±0,29 # (p=0,002)

Примечание: # – статистически значимые различия параметров ВСР у испытуемых с гиперсимпатическим и нормальным типом реактивности (p≤0,05).

Пассивный переход в ортостатическое положение также вызывает более выраженную активацию симпатического отдела ВНС у студентов с гиперсимпатической реактивностью. Это подтверждается большим приростом ЧСС и более выраженным уменьшением средней продолжительности кардиоинтервала. О повышенной активности симпатического отдела у лиц с гиперсимпатическим типом реагирования также свидетельствует более значительное уменьшение медианы и ширины «облака» скаттерограммы, на что указывает индекс L/w, у.е. (табл. 4).

Таблица 4

Отклонение показателей ВСР при пассивном ортостазе у мужчин с разной реактивностью симпатической системы (M±m)

Показатель	Нормальный тип (n=21)	Гиперсимпатический тип (n=29)
Δ ЧСС, уд./мин.	+ 0,73±0,42	+ 3,17±0,56 # (p=0,001)
Δ RRNN, мс	- 12,67±5,81	- 48,21±7,54 # (p=0,001)
Δ Me, мс	- 0,01±0,006	- 0,04±0,007 # (p=0,003)
Δ L/w, у.е.	+ 0,12±0,09	+ 0,61±0,12 # (p=0,002)

Примечание: # – статистически значимые различия параметров ВСР у испытуемых с гиперсимпатическим и нормальным типом реактивности (p≤0,05).

Пассивное антиортостатическое положение вызывает активацию парасимпатических механизмов регуляции деятельности сердца у испытуемых с нормальной симпатической реактивностью [13]. Об этом свидетельствует увеличение среднего значения общей мощности спектра ВСР, а также снижение вегетативного показателя ритма (табл. 5). У испытуемых с гиперсимпатическим типом реактивности, напротив, происходит активация симпатической системы, что подтверждается уменьшением среднего значения общей мощности спектра ВСР и увеличением вегетативного показателя ритма.

Таблица 5

Отклонение показателей ВСР при пассивном антиортостазе у мужчин с разной реактивностью симпатической системы (M±m)

Показатель	Нормальный тип (n=21)	Гиперсимпатический тип (n=29)
Δ TPav, мс ² /Гц	+ 3,65±1,64	- 1,39±1,45 # (p=0,03)
Δ ВПР, у.е.	- 0,46±0,31	+ 0,33±0,25 # (p=0,05)

Примечание: # – статистически значимые различия параметров ВСР у испытуемых с нормальным типом и гиперсимпатическим типом реактивности (p≤0,05).

Выводы. Таким образом, как активный, так и пассивный ортостаз сопровождаются возбуждением симпатического отдела вегетативной нервной системы. При пассивном антиортостазе наблюдается тенденция к увеличению активности парасимпатического отдела ВНС. У мужчин с гиперсимпатическим типом реагирования при активном и пассивном ортостазе степень возбуждения симпатического отдела более выражена, чем при нормальной симпатической реактивности. Пассивный антиортостаз сопровождается возбуждением симпатического отдела у испытуемых с гиперсимпатическим типом и парасимпатического отдела – у испытуемых с нормальной симпатической реактивностью.

Список литературы

1. Гафарова Э.А., Гасанова И.Х., Верченко И.А., Кирсанова Н.В. Влияние гравитационных перегрузок на различные органы и системы // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 5-4(10). С. 17-20.
2. Шутов А.Б., Мацканюк А.А., Корней К.В. Роль центрального и автономного контуров в регуляции сердечного ритма при выполнении ортостатической пробы // Инновационная наука. 2020. № 6. С. 147-157.
3. Штаненко Н.И., Брель Ю.И., Будько Л.А. Особенности вегетативной реактивности при проведении ортостатической пробы у спортсменов в зависимости от направленности тренировочного процесса // Проблемы здоровья и экологии. 2017. № 3 (53). С. 58-63.
4. Алейникова Т.В. Вариабельность сердечного ритма (обзор литературы) // Проблемы здоровья и экологии. 2012. № 1 (31). С. 17-23.
5. Соколова И.В. Пульсовая гемодинамика и электрокардиография. Методы и алгоритмы диагностики сердечно-сосудистой системы. М.: Издательство «Перо». 2021. 264 с.
6. Борисенко Т.Л., Снежицкий В.А., Фролов А.В. Клиническое значение нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18. № 3. С. 223-229.
7. Куринов Э.Ю., Лесова Е.М. Изменение баланса различных влияний на сердечный ритм при разных положениях тела в пространстве // Известия Российской военно-медицинской академии. 2018. Т. 37. № 1. С. 379-381.
8. Горбачева А.К., Ковалева А.В., Сухова А.В., Федотова Т.К. Показатели вариабельности сердечного ритма в структуре общей конституции как алгоритма адаптации

к современной антропогенной среде (пилотное исследование) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2021. № 1. С. 42-53.

9. Kwon O., Jeong J., Kim H.B., Kwon I.H., Park S.Y., Kim J.E., Choi Y. Electrocardiogram Sampling Frequency Range Acceptable for Heart Rate Variability Analysis. Healthcare Informatics Research. 2018. vol. 24. no. 3. P. 198-206.

10. Волынская Е.В., Пажетных Т.В. Изучение функционального состояния студенток с вегетативно-сосудистой дистонией, занимающихся адаптивной физической культурой // Научно-методическое обеспечение физического воспитания и спортивной подготовки студентов: материалы Международной научно-практической онлайн-конференции (Республика Беларусь, г. Минск, 28 января 2021 г.). Минск: БГУ, 2021. С. 339-342.

11. Горохова Т.В., Сетко Н.П., Бейлина Е.Б. Особенности variability сердечного ритма как методы количественной оценки адаптационных резервов организма рабочих, занятых на подземных работах // Оренбургский медицинский вестник. 2022. Т.10. № 38. С. 65-69.

12. Thomas B., Claassen N., Becker P., Viljoen M. Validity of Commonly Used Heart Rate Variability Markers of Autonomic Nervous System Function. Neuropsychobiology. 2019. vol. 78. no. 1. P. 14-26.

13. Митев А.А., Урусова М.С., Янушко А.Г. Изменение показателей сердечного ритма под влиянием антиортостатической нагрузки // Известия Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 2. № 1. С. 112-114.