

© Спицин А.П., Колодкина Е.В., Першина Т.А., Бяков И.С., 2020

УДК 612.13: 612.1436796

Функциональное состояние студентов медицинского вуза по данным анализа вариабельности сердечного ритма и центральной гемодинамики

А.П. Спицин, Е.В. Колодкина, Т.А. Першина, И.С. Бяков

ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России,
ул. К. Маркса, д. 112, г. Киров, 610998, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний в молодом возрасте – ключевой фактор в сохранении здоровья взрослых и увеличении продолжительности их жизни. *Цель исследования:* определение возможности использования показателей вариабельности сердечного ритма в качестве маркера прогнозирования риска развития сердечно-сосудистой патологии у практически здоровых лиц молодого возраста. *Материал и методы исследования.* В исследовании приняли участие 63 студента (21 юноша и 42 девушки) в возрасте 18–23 лет (средний возраст $20,0 \pm 0,15$ года). Методом кардиоритмографии, регистрации артериального давления, расчета ударного и минутного объема, периферического сосудистого сопротивления выполнена комплексная оценка деятельности сердечно-сосудистой системы у студентов медицинского вуза. *Результаты и обсуждение.* Установлены различия как в структуре сердечного ритма, так и в корреляционных связях между отдельными составляющими сердечного ритма, а также в связях показателей сердечного ритма с интегральными показателями гемодинамики. Различия вариабельности кардиоритма и гемодинамики, по всей вероятности, связаны с исходным типом вегетативной регуляции. *Выводы.* Оценка вегетативной регуляции сердечного ритма в сочетании с исследованием гемодинамики позволит определить предрасположенность к развитию сердечно-сосудистых заболеваний у данной категории лиц.

Ключевые слова: гемодинамика, сердечный ритм, вариабельность сердечного ритма, корреляция.

Для цитирования: Спицин А.П., Колодкина Е.В., Першина Т.А., Бяков И.С. Функциональное состояние студентов медицинского вуза по данным анализа вариабельности сердечного ритма и центральной гемодинамики // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 1 (322). С. X–X. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-322-1-X-X>

The Functional State of Students of a Medical University according to the Analysis of Heart Rate Variability and Central Hemodynamics

A.P. Spitsin, E.V. Kolodkina, T.A. Pershina, I.S. Byakov

Kirov State Medical University, 112 Karl Marx Street, Kirov, 610998, Russian Federation

Abstract: *Introduction.* Prevention of cardiovascular diseases in young people is a key factor of adults' health care and increase of their life. *The purpose of the current investigation* was to use indicators of variability of heart rate as a marker of prognosis of risks of cardiovascular pathology in practically healthy young people. *Materials and methods of investigation.* 63 students (21 young males and 41 young females) at the age of 18–23 years (median age: 20.0 ± 0.15 years) were involved in the investigation by means of cardiorythmography, registration of blood pressure, calculation of striking power and minute volume, and peripheral vascular resistance. Complex evaluation of the cardiovascular system of medical students of higher medical schools was performed. *Results and discussion.* Differences in the structure of heart rates as well as rates in correlative connections of heart rhythm between separate rhythms as well as connections of indicators of heart rates with integral indicators of hemodynamics are thought to be connected with the primary type of vegetative regulation. *Conclusions.* Evaluation of vegetative regulation of heart rhythm in combination with vegetative of hemodynamics allows to determine predisposition to development of cardiovascular diseases in the above mentioned people.

For citation: Spitsin AP, Kolodkina EV, Pershina TA, Byakov IS. The Functional State of Students of a Medical University according to the Analysis of Heart Rate Variability and Central Hemodynamics. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya.* 2020; 1(322): X–X. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-322-1-X-X>

Information about the authors: Spitsin A.P., <http://orcid.org/0000-0002-0942-6361>.

Введение. В настоящее время окружающая среда, образ жизни людей претерпевают значительные изменения, что оказывает негативное влияние на состояние здоровья человека, его адаптационные возможности [1].

Сердечно-сосудистая система рассматривается в экологической физиологии и физиологии труда как важный индикатор адаптационных реакций организма [2]. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний в молодом возрасте – ключевой фактор в сохранении здоровья взрослых и увеличении продолжительности их жизни [3].

Современный процесс обучения в вузе сопровождается увеличением объема воспринимаемой информации, получаемой при использовании компьютерных средств и телекоммуникационных сетей. Это приводит к сокращению времени активного отдыха, повышению доли статической нагрузки, а также может сопровождаться снижением резервных возможностей сердечно-сосудистой системы [4].

В настоящее время все более доступны современные компьютеризированные методы

оценки функционального состояния организма, позволяющие быстро, объективно и с высокой точностью определить искомые показатели. Одним из таких методов является изучение вариабельности сердечного ритма [5].

Цель исследования – определить возможности использования показателей вариабельности сердечного ритма в качестве маркера прогнозирования риска развития сердечно-сосудистой патологии у практически здоровых лиц молодого возраста.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 63 студента (21 юноша и 42 девушки) в возрасте 18–23 лет (средний возраст $20,0 \pm 0,15$ года). Процедура проведения исследования соответствовала этическим медико-физиологическим нормам: обследуемые в письменном виде давали добровольное согласие на участие в исследовании и при желании на любом этапе могли отказаться от него. Частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое и диастолическое артериальное давление (АД) крови измеряли манометром Omron 705IT по общепринятой методике. Критерии установления границ нормального АД базировались

на рекомендациях АСС и АНА по артериальной гипертензии 2017 г.

Типы вегетативной регуляции определяли в состоянии покоя на основании значений $MxDMn$, SI , TP , где диапазон нормотонии соответствовал для $MxDMn$ от 200 до 300 мс, SI – от 70 до 140 усл. ед., для TP – 1000–2000 мс² [6]. Студенты были распределены на 2 группы: в первую группу вошли студенты, а у которых длительность RR -интервалов составляла 700–800 мс, а во вторую группу – студенты с длительностью RR -интервалов от 801 до 900 мс. Обе группы были сопоставимы по возрасту включенных в них студентов. Для изучения показателей центральной и регионарной гемодинамики определяли: ударный объем крови ($УО$, мл); минутный объем крови ($МОК$, л/мин); ударный индекс, позволяющий более точно оценить систолический выброс сердца, соотносимый с индивидуальными антропометрическими особенностями; сердечный индекс ($СИ$, л/мин/м²), унифицированный, наиболее информативный показатель для оценки функционального состояния левого желудочка и типа гемодинамики; общее периферическое сопротивление сосудов ($ОПСС$, $дин \cdot с^{-1} \cdot см^{-5}$), являющееся одним из основных факторов, определяющих колебания артериального давления и отражающих постнагрузку на левый желудочек. Изменение этого показателя имеет направленность, прямо противоположную значению $СИ$, и также характеризует тип центральной гемодинамики; удельное периферическое сопротивление сосудов ($УПСС$) имеет то же клиническое значение, что и $ОПСС$, но более точно отражает резистивность сосудистого русла по отношению к антропометрическим параметрам организма.

Кардиоритмограмма регистрировалась по стандартной методике в течение 5–10 мин. В дальнейшем рассчитывали временные стандартизированные характеристики динамического ряда ЧСС; среднеквадратичное отклонение последовательных RR -интервалов ($SDNN$, мс); стандартное отклонение разности последовательных RR -интервалов ($RMSSD$, мс); частоту последовательных RR -интервалов с разностью более

50 мс ($pNN50$, %); амплитуду моды ($АМо$, %); индекс напряжения; показатель адекватности процессов регуляции ($ПАПР$, баллы). Условные обозначения показателей variability сердечного ритма представлены в соответствии с международными стандартами оценки variability сердечного ритма и используемыми ориентировочными нормативами [7]. Далее на основе проведения спектрального анализа variability сердечного ритма рассчитывали и анализировали частотные параметры: общую мощность спектра (TP), мощности в высокочастотном (HF , 0,16–0,4 Гц), низкочастотном (LF , 0,05–0,15 Гц) и очень низкочастотном (VLF , < 0,05 Гц) диапазонах. Кроме того, вычисляли коэффициент LF/HF , отражающий баланс симпатических и парасимпатических регуляторных влияний на сердце.

Результаты обрабатывались с применением непараметрических методов математической статистики с использованием стандартных пакетов программного обеспечения Excel MS Office-2003 и Statistica Advanced 10 for Windows RU. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей (табл. 1, 2), а параметрических – как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). Корреляционный анализ проводился по методу Спирмена. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Сравнительное исследование сердечно-сосудистой системы у обследованных студентов выявило определенные различия в интегральных показателях гемодинамики и корреляционных взаимосвязях между ними в зависимости от длительности RR -интервалов (табл. 1). Исследуемая группа значимо различались по ЧСС. Исследуемые группы не различались ни по росту, ни по массе тела. Также не выявлено значимых различий по уровню систолического и диастолического АД. Исследуемые группы значимо различались по ЧСС (см. табл. 1). В большом количестве исследований ритм работы сердца рассматривается как один из важнейших показателей сердечно-сосудистой системы [8].

Таблица 1. Показатели центральной гемодинамики у студентов в зависимости от среднего значения RR -интервалов в состоянии покоя, Me ($P25$ – $P75$)

Table 1. Central hemodynamic parameters in senior students depending on the average value of RR intervals at rest, Me ($P25$ – $P75$)

Показатель / Indices	Длительность кардиоинтервалов (мс) / RR intervals, ms		p
	700–800 (n = 25)	801–900 (n = 38)	
Рост, см / Height, cm	166,0 (156,0–169,0)	168,0 (163,0–171,0)	0,28
Вес, кг / Weight, kg	54,0 (49,0–61,0)	55,0 (51,0–63,0)	0,69
АД систолическое, мм рт. ст. / Systolic BP, mmHg	112,0 (110,0–115,0)	116 (106,0–118,0)	0,41
АД диастолическое, мм рт. ст. / Diastolic BP, mmHg	71,0 (67,0–72,0)	66,0 (63,0–71,0)	0,38
ЧСС, уд./мин / Heart rate, beats/min	78,0 (76,0–84,0)	72,0 (68,0–73,0)	0,0000
ПД, мм рт. ст. / Pulse pressure, mmHg	42,5 (40,0–44,0)	45,0 (40,0–51,0)	0,44
УО, мл / Stroke volume, ml	66,1 (62,8–67,5)	67,9 (63,0–73,3)	0,14
СрГД, мм рт. ст. / AHP, mmHg	84,3 (80,7–85,7)	83,3 (78,3–87,3)	0,8
МОК, мл/мин / MVBC, ml/min	5174,4 (4898,0–5552,0)	4896,0 (4526,0–4984,0)	0,01
СИ, л/мин / Cardiac index, l/min	3,7 (3,27–4,38)	3,39 (2,9–3,74)	0,08
ОПСС, $дин \cdot с \cdot см^{-5}$ / $TPVR$, $dyn \cdot s \cdot cm^{-5}$	1257,9 (1215,0–1381,0)	1387,9 (1291,0–1468,0)	0,06
ДП, усл.ед. / Double product, conventional units	86,6 (84,4–95,76)	80,2 (74,8–84,7)	0,002
УПСС, $дин \cdot с^{-1} \cdot см^{-5}$ / $SPVR$, $dyn \cdot s \cdot cm^{-5}$	21,5 (18,7–26,1)	23,9 (21,3–28,0)	0,09

Примечание: n – количество испытуемых; p – различия между группами; АД – артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ПД – пульсовое давление; УО – ударный объем крови; СрГД – среднее гемодинамическое давление; МОК – минутный объем крови; СИ – сердечный индекс; ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов; ДП – двойное произведение; УПСС – удельное периферическое сопротивление сосудов.

Note: n – the number of subjects; p – differences between groups; BP – blood pressure; AHP – average hemodynamic pressure; MVBC – minute volume of blood circulation $TPVR$ – total peripheral vascular resistance; $SPVR$ – specific peripheral vascular resistance.

При анализе гемодинамических показателей в состоянии покоя установлено, что исследуемые группы не различались по значениям пульсового давления, ударного объема крови, среднего гемодинамического давления, но в то же время минутный объем крови был значимо больше в 1-й группе ($5204 \pm 97,76$ мл против $4803 \pm 80,15$; $p = 0,01$). Отметим, что минутный объем крови является интегральной характеристикой кровообращения и направлен на обеспечение метаболических потребностей организма [9]. Можно предположить, что основной вклад в величину минутного объема крови в 1-й группе вносит ЧСС. Следует отметить, что по должным значениям ЧСС группы не различались: $69 \pm 0,9$ – в 1-й группе и $68,8 \pm 0,65$ – во 2-й. На увеличение механической работы сердца в 1-й группе также указывают и более высокие значения двойного произведения (см. табл. 1.) Двойное произведение, как известно, увеличивается с ростом нагрузки и коррелирует с миокардиальным потреблением кислорода и в покое составляет 70–80 у. е. [10]. На более низкие значения МОК во 2-й группе также определенное влияние может оказывать и более высокое, по сравнению с 1-й группой, общее периферическое сопротивление сосудов (см. табл. 1). Действительно, в 1-й группе фактическое удельное периферическое сопротивление составляло $99,9 \pm 1,96\%$ от должного значения, а во 2-й – $125,3 \pm 4,09\%$ соответственно.

Анализ вариабельности сердечного ритма показал, что временные и спектральные показатели у испытуемых различаются в зависимости от средней величины RR-интервалов. Полученные данные могут быть связаны с изменениями в работе

системы регуляции, поскольку принято считать, что ЧСС является суммарным результатом симпатических и парасимпатических, гуморальных влияний, опосредованных через синусовый узел. Не было отмечено существенных различий в величине SDNN. Показатель SDNN, как известно, является интегральным, отражая сбалансированность влияния двух сегментарных отделов АНС либо доминирующее воздействие на синоатриальный пейсмейкер сердца и сердечно-сосудистую систему в целом одного из них. Как показали результаты исследования, более низкие значения RMSSD в 1-й группе, отражающего разность значений последовательных пар кардиоинтервалов и не содержащего медленноволновых составляющих сердечного ритма, свидетельствует об усилении симпатического влияния вегетативной нервной системы (табл. 2). RMSSD, как правило, считается маркером парасимпатической активности [11]. Показатель pNN50%, характеризующий степень преобладания парасимпатического звена регуляции, был достоверно больше во 2-й группе. Первая группа (RR-700–800 мс) также отличается увеличением доли гуморально-метаболических и симпатических влияний на сердечный ритм. На это указывают более высокие значения АМо, индекса напряжения, LF/HF, LFnu по сравнению со 2-й группой (см. табл. 2). Общая мощность спектра (TP), отражающая суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм, различалась не достоверно, хотя абсолютные значения были больше во 2-й группе (см. табл. 2). Величины общей мощности (Total) и высокочастотная составляющая спектра (HF) находятся в прямой зависимости от преобладания

Таблица 2. Временные и спектральные показатели сердечного ритма у студентов в зависимости от среднего значения RR-интервалов в состоянии покоя, Ме (P25–P75)

Table 2. Temporal and spectral indicators of heart rate in senior students depending on the average value of RR-intervals at rest, Me (P25–P75)

Показатель/ Indices	Длительность кардиоинтервалов (мс) / RR intervals, ms		p
	700–800 (n = 25)	801–900 (n = 38)	
RRNN, мс	771,6 (715,6–785,4)	838,9 (824,0–883,0)	0,0000
SDNN, мс	44,1 (37,3–51,6)	47,2 (42,7–79,2)	0,12
rMSSD, мс	35,3 (26,6–43,54)	54,7 (34,4–69,7)	0,022
pNN50, мс	6,59 (2,52–10,74)	15,6 (5,6–19,6)	0,048
АМо, %	40,9 (33,3–45,0)	37,5 (26,0–43,9)	0,21
Si, ед.	114,9 (79,0–157,3)	79,0 (42,8–109,8)	0,05
TP, мс ²	5296,0 (2995,0–9255,0)	6768,0 (5047,0–16719,0)	0,12
VLF, мс ²	1337,9 (12,72–2084,0)	2197,0 (1870,0–5119,0)	0,009
LF, мс ²	3378,0 (836,0–5982,0)	2378,0 (1172,0–5033,0)	0,96
HF, мс ²	1004,8 (787,4–1973,0)	2687,0 (1493,0–5088,0)	0,01
VLF, %	24,8 (18,5–42,5)	37,5 (25,1–42,5)	0,41
LF, %	43,2 (28,2–66,9)	31,5 (20,6–40,3)	0,05
HF, %	26,5 (13,7–32,8)	30,4 (25,5–43,8)	0,04
LF/HF	1,9 (0,76–4,9)	1,0 (0,51–1,53)	0,038
LFnu, ед.	65,9 (43,0–83,0)	50,8 (33,7–60,4)	0,048
HFnu, ед.	34,0 (16,9–56,9)	49,2 (39,6–66,3)	0,038
ИАЦ, ед.	0,96 (0,8–2,3)	0,66 (0,5–1,51)	0,1
ИЦ, ед.	2,78 (2,0–6,3)	2,3 (1,28–2,91)	0,04

Примечание: n – количество испытуемых; p – различия между группами; RRNN – среднее значение продолжительности RR интервала; SDNN – среднее квадратичное отклонение последовательных RR-интервалов; rMSSD – стандартное отклонение разности последовательных RR-интервалов; pNN50 – частота последовательных RR-интервалов с разностью более 50 мс; АМо – количество кардиоинтервалов, соответствующих диапазону мода (%); Si – стресс-индекс; TP – общая мощность спектра; VLF – мощность в очень низкочастотном диапазоне; LF – мощность в низкочастотном диапазоне; HF – мощность в высокочастотном диапазоне; LF/HF – коэффициент баланса симпатических и парасимпатических регуляторных влияний; LFnu – нормализованная мощность в диапазоне низких частот; HFnu – нормализованная мощность в диапазоне высоких частот; ИАЦ – индекс активации подкорковых центров; ИЦ – индекс централизации.

Note: n – the number of subjects; p – differences between groups; RRNN – the average value of the RR interval duration, ms; SDNN – standard deviation of consecutive RR intervals, ms; rMSSD – standard deviation of the difference of consecutive RR intervals, ms; pNN50 – frequency of consecutive RR intervals with a difference of more than 50 ms, ms; АМо – the number of RR intervals corresponding to the mode range, %; Si – stress index, units; TP – total power of the spectrum, ms²; VLF – very low frequency; LF – low frequency; HF – high frequency; LF/HF – balance coefficient of sympathetic and parasympathetic regulatory influences; LFnu – normalized power in the low frequency range, units; HFnu – normalized power in the high frequency range, units; IAC – index of activation of subcortical centers, units; IC – index of centralization, units.

парасимпатических влияний на вариабельность сердечного ритма [12]. При оценке отдельных уровней регуляции сердечного ритма с использованием временных и спектральных составляющих кардиоинтервалограммы обнаружены следующие различия (см. табл. 2).

Абсолютные значения VLF и HF были значимо больше в 2-й группе, а по величине LF группы не различались. Умеренное преобладание высокочастотного компонента в спектре у ваго- и нормотоников согласуется с положением об адаптационно-трофическом защитном действии блуждающих нервов на сердце, при этом парасимпатическое воздействие является одним из факторов индивидуальной устойчивости здорового организма к действию неблагоприятных факторов [13]. В то же время в вегетативном профиле спектра в 1-й группе отмечается значительное преобладание LF-домена ($46,8 \pm 5,91\%$), что указывает на высокую активность вазомоторного центра и симпатических влияний. Данные изменения свидетельствуют о некотором увеличении активности автономного уровня регуляции сердечного ритма с увеличением вклада низкочастотного компонента, что отражает усиление влияния симпатoadренальной системы с преимущественно гуморально-метаболическими влияниями на сердечный ритм в группе с RR от 700 до 800 мс. Физиологическая природа показателя LF до сих пор не может считаться окончательно установленной. По мнению одних авторов [14], низкочастотная составляющая является маркером симпатической эфферентации. Другие авторы [15] считают, что значение LF-компоненты обеспечивается как симпатическими, так и парасимпатическими модуляциями ритма сердца. На преобладание тонических симпатических влияний на сердечную деятельность в 1-й группе также указывает достоверно больший коэффициент LF/HF, характеризующий вагосимпатический баланс. Значения соотношения LF/HF, не отличающиеся существенно от единицы, свидетельствуют об относительном балансе тонических симпатических и парасимпатических влияний на сердечную деятельность во 2-й группе [7].

Обращают на себя внимание различия в системе корреляционных взаимосвязей между временными и спектральными показателями сердечного ритма в группах. Суммарные данные взаимных корреляций показателей вариабельности сердечного ритма представлены в табл. 3. Выявлены сильные достоверные корреляции ЧСС с большинством спектральных показателей сердечного ритма, но более сильные связи прослеживаются во 2-й группе. Следует заметить, что у больных с артериальной гипертензией ни один из показателей вариабельности сердечного ритма не имеет достоверных корреляционных связей с ЧСС, что, по-видимому, обусловлено другими механизмами регуляторных влияний на ритм сердца [16].

При анализе показателей временной области выявлено, что показатель SDNN имеет сильную положительную корреляционную связь с показателями RMSSD, TP, LF, hF. Наибольшую связь этот показатель имел с общей мощностью в спектральном анализе (TP), что объясняется аналогичной сущностью этих двух показателей. Данный факт представляет особый интерес, учитывая, что SDNN имеет

наибольшую доказательную базу с точки зрения оценки фатального риска у пациентов кардиологического профиля [17, 18]. Таким образом, можно считать, что доказательность SDNN в значительной мере может быть использована применительно к коррелируемым с ним показателям вариабельности сердечного ритма.

Представляет интерес тот факт, что в исходном состоянии маркеры парасимпатической нервной системы (SDNN, rMSSD, и pNN50) имеют сильные связи не только с HF, но и с LF (табл. 3), особенно во 2-й группе. В то же время маркеры симпатической нервной системы во 2-й группе (AMo, Si) имеют значимые отрицательные связи с мощностью как LF-, так HF-волн. Эти данные подтверждают мнение об общности происхождения HF-и LF-волн [19–21]. В 1-й группе корреляционная связь AMo с HF была незначимой. Также не было в этой же группе и связи pNN50 с LF (см. табл. 3). Отсутствовали достоверные связи (VLF%, LF% и даже HF%) с SDNN, хотя корреляционная связь VLF, LF с SDNN в данной группе была значимой. Также обращают на себя внимание различия в группах в корреляционных связях AMo (маркера симпатической нервной системы) с VLF и LF (см. табл. 3). Вполне закономерно наличие положительных корреляционных связей значений мощности HF-волн с параметрами SDNN, rMSSD и pNN50 и отрицательных связей с маркерами симпатической нервной системы: AMo и Si во 2-й группе. В 1-й группе не выявлены достоверные связи SDNN с VLF%, LF%, HF% и индексом централизации в отличие от 2-й группы. Это указывает на то, что значительный удельный вес в регуляции сердечного ритма в данной группе принадлежит симпатическому отделу автономной нервной системы. Это также подтверждается отрицательными корреляционными связями rMSSD с AMo и Si (см. табл. 3). Между TP и индексом централизации во 2-й группе выявлена высокая отрицательная взаимосвязь, что свидетельствует о меньшем вовлечении гуморальных и подкорковых структур в процессы регуляции ритма сердца ($r = -0,42$; $p = 0,019$).

Корреляционный анализ выявил достоверные различия между показателями сердечно-сосудистой системы и вариабельности сердечного ритма в зависимости от длительности RR-интервалов. Сильные отрицательные значимые связи между RRNN и систолическим АД, диастолическим АД и СрГД обнаружены только в 1-й группе. Не выявлено значимых корреляционных связей между RRNN и ПД, УОК, ударным индексом, МОК, СИ, ОПСС ни в 1-й, ни во 2-й группах. Наличие сильной положительной связи между SDNN и УОК может указывать на значительную роль ударного объема крови в приросте МОК. Сильная отрицательная связь между RRNN и двойным произведением, выявленная только в 1-й группе, подтверждает это предположение. Маркеры парасимпатической нервной системы (SDNN, rMSSD) имели положительные сильные связи с УОК и МОК также только в 1-й группе. Следует заметить, что у больных с артериальной гипертензией ни один из показателей вариабельности сердечного ритма не имеет достоверных корреляционных связей с ЧСС, что, по-видимому, обусловлено другими механизмами регуляторных влияний на ритм сердца [11]. Вместе с этим маркеры

Таблица 3. Взаимные корреляции параметров variability ритма сердца в зависимости от среднего значения RR-интервалов в состоянии покоя

Table 3. Cross-correlations of heart rate variability parameters depending on the average value of RR intervals at rest

Показатель/ Indices	Длительность кардиоинтервалов (мс)/ RR intervals, ms			
	RRNN = 700 – 800 (n = 23)		RRNN = 801 – 900 (n = 38)	
	r	p	r	p
RRNN – IC	-0,71	0,046	-0,42	0,07
RRNN – TP	0,93	0,00002	0,96	0,00000
RRNN VLF, %	0,57	0,06	-0,47	0,041
RRNN – LF	0,75	0,008	0,79	0,00005
RRNN – HF	0,8	0,003	0,97	0,0000
SDNN – AMo	-0,95	0,0000	-0,95	0,0000
SDNN – SI	-0,99	0,0000	-0,99	0,0000
SDNN – TP	0,93	0,00002	0,96	0,0000
SDNN – VLF%	-0,4	0,21	-0,49	0,031
SDNN – LF%	0,19	0,50	-0,51	0,027
SDNN – HF%	-0,08	0,81	0,67	0,002
SDNN – IC	0,08	0,81	-0,67	0,002
SDNN – VLF	0,81	0,002	0,42	0,07
SDNN – LF	0,87	0,004	0,86	0,00002
SDNN – HF	0,52	0,1	0,91	0,0000
SDNN – VLF, %	-0,3	0,37	-0,55	0,01
rMSSD – AMo	-0,89	0,0002	-0,86	0,00002
rMSSD – SI	-0,84	0,001	-0,91	0,0000
rMSSD – TP	0,85	0,0009	0,91	0,0000
rMSSD – VLF	0,64	0,035	0,39	0,09
rMSSD – LF	0,63	0,038	0,69	0,0012
rMSSD – HF	0,7	0,01	0,98	0,0000
rMSSD – HF, %	-0,14	0,68	0,67	0,01
rMSSD – VLF, %	-0,54	0,08	-0,58	0,009
rMSSD – IC	0,13	0,68	-0,57	0,01
pNN50 – AMo	-0,73	0,01	-0,84	0,00005
pNN50 – SI	-0,75	0,007	-0,86	0,00002
pNN50 – TP	0,74	0,008	0,85	0,00004
pNN50 – VLF	0,5	0,07	0,26	0,27
pNN50 – LF	0,45	0,16	0,66	0,002
pNN50 – HF	0,79	0,003	0,96	0,0000
pNN50 – HF, %	0,29	0,38	0,65	0,003
pNN50 – VLF, %	-0,41	0,19	-0,65	0,002
pNN50 – IC	-0,15	0,64	-0,65	0,003
AMo – SI	0,94	0,00001	0,94	0,000000
AMo – TP	-0,93	0,00004	-0,88	0,0000
AMo – VLF	-0,8	0,003	-0,41	0,08
AMo – LF	-0,95	0,000005	-0,78	0,001
AMo – HF	-0,41	0,2	-0,86	0,00002
AMo – HF, %	0,45	0,1	-0,37	0,11
AMo – LF, %	-0,69	0,018	-0,06	0,74
AMo – VLF, %	0,5	0,1	0,48	0,033

симпатической нервной системы (AMo и SI) имели сильные достоверные связи с УОК и МОК, а также положительную связь AMo с ОПСС только в 1-й группе (табл. 4). Индекс напряжения (SI) имел сильные отрицательные значимые связи с пульсовым давлением, УОК, МОК только в 1-й группе. Обращают на себя внимание сильные корреляционные связи высокочастотных, низкочастотных и очень низкочастотных волн спектра variability ритма с ПД, УОК, МОК только в 1-й группе. В этой же группе выявлена негативная связь LF-составляющей спектра с ОПСС. Возможно, включение большого количества внутрисистемных взаимодействий обеспечивает необходимый уровень МОК. Вероятно, высокая активность механизмов регуляции сердечного ритма требует большой пространственно-временной сопряженности. Напротив, во 2-й группе (RR от 801 до 900 мс) выявлена только определенная связь ($r = 0,08$) между VLF

и пульсовым давлением. Такая закономерность корреляционных связей между параметрами variability ритма и системы кровообращения указывает на ведущую роль гемодинамики в регуляции сердечно-сосудистой системы. Ослабление корреляционных связей между показателями гемодинамики и variability ритма наблюдается при артериальной гипертензии [14].

Заключение. Таким образом, разделив изучаемую совокупность по длительности RR-интервалов на 2 группы, мы установили различия как в структуре сердечного ритма, так и в различиях корреляционных связей между отдельными составляющими variability ритма, а также в их связях с интегральными показателями центральной гемодинамики. Временные и спектральные показатели сердечного ритма значимо различаются при длительности RR-интервалов в диапазоне от 700 до 900 мс. Структура сердечного ритма при

длительности RR-интервалов в диапазоне от 701 до 800 мс больше соответствует симпатическому типу регуляции ($vlf = 24,8\%$; $lf = 43,3\%$; $hf = 26,6\%$), а от 801 до 900 мс — нормотоническому ($vlf = 37,5\%$; $lf = 31,5\%$; $hf = 30,4\%$). В состоянии относительного покоя наибольшее количество корреляционных связей между отдельными составляющими сердечного ритма формируются при длительности RR-интервалов в диапазоне от 801 до 900 мс. При этом основные различия у обследуемых отмечены в выраженности низкочастотного (LF) и очень низкочастотного (VLF) составляющих кардиоритма. Высокая достоверность корреляционных коэффициентов между показателями вариационного анализа указывает на соотношение симпатического, парасимпатического и центрального контуров регуляции. В то же время количество корреляционных связей между параметрами variability сердечного ритма и интегральными показателями центральной гемодинамики больше при длительности RR-интервалов в диапазоне от 701 до 800 мс. Очевидно, включение большого количества внутрисистемных связей обеспечивает необходимый уровень МОК, что, вероятно, снижает экономичность функционирования всей системы и, наоборот, меньшее число корреляционных взаимосвязей может отражать их большую адаптивную пластичность и, возможно, адаптивных перестроек при действии экстремальных факторов. Подчеркнем, что наблюдаемые нами различия variability кардиоритма и гемодинамики, по всей вероятности, связаны с исходным типом вегетативной регуляции. Таким образом, параметры сердечного ритма имеют отличительные особенности в зависимости от длительности интервалов, которые, вероятно, обеспечивают оптимальную гемодинамику.

Наше исследование позволило нам предположить, что оценка вегетативной регуляции сердечного ритма в сочетании с исследованием гемодинамики у практически здоровых лиц молодого возраста дает возможность количественно оценить генетические детерминанты состояния автономной нервной системы и позволяет выделить фенотипы предрасположенности к развитию сердечно-сосудистых заболеваний у данной категории лиц, основанную на величинах показателей variability сердечного ритма.

Список литературы

(пп. 5, 7, 11, 12, 17, 18, 20, 21 см. References)

1. Поборский А.Н. Повышение переносимости организмом учащихся комплексного влияния условий обучения и среды // Академический журнал Западной Сибири. 2014. № 4 (53). С. 87–95.
2. Агаджанян Н.А., Нотова С.В. Стресс, физиологические и экологические аспекты адаптации, пути коррекции. Оренбург: Изд-во ПК ГОУ ОГУ, 2009. 187 с.
3. Шупина М.И., Турчинов Д.В. Распространенность артериальной гипертензии и сердечно-сосудистых факторов риска у лиц молодого возраста // Сибирский медицинский журнал. 2011. № 3. С. 152–154.
4. Алферова О.П., Осин А.Я. Особенности вегетативной регуляции и интегрированных показателей адаптивности сердечно-сосудистой системы у подростков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 113.
5. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Особенности сердечно-сосудистой системы и variability кардиоритма у юношей Магаданской области с различными типами гемодинамики // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 40. С. 132–149.
6. Коркушко О.В., Шатило В.Б., Шатило Т.В. Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма на различных этапах индивидуального развития // Физиология человека. 1991. Т. 17. № 2. С. 31.
7. Попова Н.В., Попов В.А., Гудков А.Б. Возможности тепловидения и variability сердечного ритма при прогностической оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2012. № 11. С. 33–37.
8. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. М.: Терра-Спорт, 2001. 520 с.
9. Судаков К.В., Тараканов О.П., Юматов Е.А. Кросс-корреляционный вегетативный критерий эмоционального стресса // Физиология человека. 1995. Т. 21. № 3. С. 87–95.
10. Маркова Е.Н., Николаев Ю.А., Кошелева А.П., Поляков В.Я., Геворгян М.М., Бахтина И.А., Астраханцева Э.Л. Взаимосвязь клинико-функциональных, липидных показателей и качества жизни у больных артериальной гипертензией при применении трансцеребральной импульсной электротерапии и хлоридных натриевых ванн // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-2. С. 310–316.
11. Рябькина Г.В., Соболев А.В. Variability сердечного ритма. М.: СтарКо, 1998. 200 с.
12. Спицин А.П., Першина Т.А., Царев Ю.К. Особенности гемодинамики и сердечного ритма у мужчин с повышенным артериальным давлением в зависимости от сходного вегетативного тонуса и возраста // Успехи геронтологии. 2018. Т. 31. № 2. С. 260–265.
13. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е.Б. Вызванные кожные вегетативные потенциалы (современные представления о механизмах) // Физиология человека. 2000. Т. 26. № 5. С. 79–91.
14. Poborski AN. Increase of tolerance of school students due to complex influence of education and environment. *Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri*. 2014; 53(4):87–95. (In Russian).
15. Agadzhanjan NA, Notova SV. Stress, physiological and environmental aspects of adaptation, ways of correction. Orenburg: Publishing House GOU OGU Publ., 2009. 187 p. (In Russian).
16. Shupina MI, Turchinov DV. Prevalence of arterial hypertension and cardiovascular risk factors in young people. *Sibirskij medicinskij zhurnal*. 2011; 3:152–4. (In Russian).
17. Alferova OP, Osin AY. Peculiarities of vegetative regulation and integrative indicators of adaptation of the cardiovascular system in youthful people. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012; (2):113. (In Russian).
18. Baillard C, Goncalves P, Mangin L, et al. Use of time frequency analysis to follow transitory modulation of the cardiac autonomic system in clinical studies. *Auton Neurosci*. 2001; 90(1-2):24–8. DOI: 10.1016/S1566-0702(01)00263-6
19. Averyanova IV, Maksimov AL. Peculiarities of the cardiovascular system and variability of heart rhythm in youthful boys of Magadan oblast (region) who have different types of hemodynamics. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2017; 40:132–149. (In Russian). DOI: 10.17223/19988591/40/8
20. Bauer A, Malik M, Schmidt G, et al. Heart rate turbulence: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use: International Society for Holter and Noninvasive Electrophysiology Consensus. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 52(17):1353–65. DOI: 10.1016/j.jacc.2008.07.041
21. Korkushko OV, Shatilov VB, Shatilov TV. Vegetative regulation of heart rhythm at different stages of individual development. *Fiziologija cheloveka*. 1991; 17(2):31. (In Russian).
22. Popova NV, Popov VA, Gudkov AB. Possibilities of thermovision and variability of heart rhythm in prognostic evaluation of functional conditions of the cardiovascular system. *Human Ecology*. 2012; (11):33–37. (In Russian).
23. Solodkov AS, Sologub EB. Human physiology. General physiology. Sport physiology. Age physiology. Moscow: Terra-Sport Publ., 2001. 520 p. (In Russian).
24. Agelink MW, Malessa R, Baumann B, et al. Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate. *Clin Auton Res*. 2001; 11(2):99–108. DOI: 10.1007/bf02322053
25. Britton A, Hemingway H. Heart rate variability in healthy populations: correlates and consequences. Chapter 11. In: Malik M, Camm AJ, editors. *Dynamic Electrocardiography*. New York: Blackwell Futura, 2004. P. 90–111. DOI: 10.1002/9780470987483.ch11
26. Sudakov KV, Tarakanov OP, Yumatov EA. Cross corrective vegetative criterion of emotional distress. *Fiziologija cheloveka*. 1995; 21(3):87–95. (In Russian).
27. Markova EN, Nikolayev YA, Kosheleva AP, et al. Interactions of clinical functional and lipid indicators and quality of life in patients with arterial hypertension in case of use of transcerebral impulse electrotherapy and chlorid sodium baths. *Fundamental Research*. 2014; 10-2:310–6. (In Russian).
28. Rjabykina GV, Sobolev AV. Variability of heart rhythm. Moscow: StarKo Publ., 1998. 200 p. (In Russian).
29. Spitsin AP, Pershina TA, Tsarev YK. Peculiarities of hemodynamics and heart rhythm in males with increased arterial pressure depending on similar vegetative tonus and age. *Uspehi gerontologii*. 2018; 31(2):260–5. (In Russian).
30. Buccelletti E, Gilardi E, Scaini E, et al. Heart rate variability and myocardial infarction: systematic literature review and meta-analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2009; 13(4):299–307.
31. Farrell TG, Bashir Y, Cripps T, et al. Risk stratification for arrhythmic events in postinfarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and the signal-averaged electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol*. 1991; 18(3):687–97. DOI: 10.1016/0735-1097(91)90791-7
32. Kotelnikov SA, Nozdrachev AD, Odnak MM, et al. Caused skin vegetative potentials (up-to-day presentations on their mechanisms). *Fiziologija cheloveka*. 2000; 26(5):79–91. (In Russian).
33. Kienzle MG, Ferguson DW, Birkett CL, et al. Clinical, hemodynamic and sympathetic neural correlates of heart rate variability in congestive heart failure. *Am J Cardiol*. 1992; 69(8):761–7. DOI: 10.1016/0002-9149(92)90502-p
34. Koh J, Brown TE, Beightol LA, et al. Human autonomic rhythms: vagal cardiac mechanisms in tetraplegic subjects. *J Physiol*. 1994; 474(3):483–95. DOI: 10.1113/jphysiol.1994.sp020039

Контактная информация:

Спицин Анатолий Павлович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО Кировского ГМУ Минздрава России

e-mail: kf23@kirovgma.ru

Corresponding author:

Anatoliy Spitsin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Pathological Physiology, Kirov State Medical University

e-mail: kf23@kirovgma.ru