

И. И. НОВИКОВ, В. П. КИЦЫШИН, В. В. САЛУХОВ,
П. В. СУРЖИКОВ

Устойчивость параметров суточной вариабельности сердечного ритма как паттерн функционального состояния немодифицируемых факторов ее формирования

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6
E-mail: iinow2000@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.09.24 г.; принята к печати 31.01.25 г.

Резюме

Введение. В вариабельности сердечного ритма (ВСР) вследствие ритмически протекающих процессов прослеживаются устойчивые циклические колебания, которые к настоящему времени широко регистрируются в технологиях длительного мониторинга сердечного ритма. Представляется интересным, возможно ли применение данных ВСР, полученных методом холтеровского мониторирования (ХМ) ЭКГ, для оценки немодифицируемого индивидуального состояния сердечной реактивности. **Цель.** Поиск доказательств наличия в стандартных условиях поведения человека устойчивого паттерна вариабельности сердечного ритма на протяжении суток, обусловленного набором стойких рефлексий, индивидуально сформированных в процессе онтогенеза. **Материалы и методы.** В исследование включено 20 практически здоровых лиц мужского пола полужакрытого коллектива в возрасте 18–19 лет, которым проводилось суточное ХМ ЭКГ. Обследуемые были распределены на 2 группы с одинаковой средней частотой сердечных сокращений (ЧСС) за сутки ($n=10$): группа 1 – лица с высокой ВСР и группа 2 – лица с низкой ВСР. Изучаемые параметры ВСР анализировались двукратно с интервалом между исследованиями 4 года. **Результаты.** При схожих значениях среднего R-R-интервала за сутки разница числовых параметров ВСР между группами сохранялась как в начале, так и в конце исследования. Показатели ВСР (SDNN, SDANN, rMSSD, pNN50) были стабильно выше в группе 1 ($p<0,01$). Спектральный анализ выявил значимо более высокие уровни LF и HF у лиц с высокой ВСР ($p<0,01$), тогда как VLF преобладал в группе 2 ($p<0,01$). Внутригрупповые показатели ВСР не продемонстрировали статистически значимых различий с течением времени – SDNN ($p_1=0,06$, $p_2=0,11$), SDANN ($p_1=0,06$, $p_2=0,17$), rMSSD ($p_1=0,06$, $p_2=0,07$) и pNN50 ($p_1=0,14$, $p_2=0,09$), это позволяет выдвинуть предположение о существовании стойких во времени паттернов ВСР. Установлены признаки достоверного снижения общей мощности показателей ВСР ($p<0,05$) у обследованных лиц в генеральной выборке ($n=20$) за исследуемый период (50 месяцев) при отсутствии изменения параметров средних значений ЧСС и индекса LF/HF (1,4–1,5, $p=0,08$), что исключает изменение вегетативного баланса как причину снижения ВСР. **Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют в пользу существования устойчивого паттерна ВСР наряду со снижением реактивности системы с течением времени из-за изменения функционального состояния сосудистого рецепторного поля.

Ключевые слова: электрокардиограмма, холтеровское мониторирование ЭКГ, вариабельность сердечного ритма, частота сердечных сокращений, вегетативная нервная система

Для цитирования: Новиков И. И., Кицышин В. П., Салухов В. В., Суржиков П. В. Устойчивость параметров суточной вариабельности сердечного ритма как паттерн функционального состояния немодифицируемых факторов ее формирования. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2025;24(2):35–42. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-2-35-42>.

I. I. NOVIKOV, V. P. KITSYSHIN, V. V. SALUKHOV,
P. V. SURZHIKOV

Stability of Parameters of Daily Heart Rate Variability as a Pattern of the Functional State of Unmodifiable Factors of its Formation

Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia
6, Academica Lebedeva str., Saint Petersburg, Russia, 194044
E-mail: iinow2000@gmail.com

Received 25.09.24; accepted 31.01.25

Summary

Introduction. Heart rate variability (HRV) due to rhythmically occurring processes exhibits stable cyclical fluctuations, which are now widely recorded in long-term heart rate monitoring technologies. It seems interesting whether it is possible to use HRV

data obtained by Holter monitoring (HM) of ECG to assess the non-modifiable individual state of cardiac reactivity. *Aim.* Search for evidence of the presence, under standard conditions of human behavior, of a stable pattern of heart rate variability throughout the day, caused by a set of stable reflections, individually formed during the process of ontogenesis. *Materials and methods.* The study included 20 practically healthy male subjects of a semi-closed group aged 18–19 years, who underwent daily HM ECG. The subjects were divided into 2 groups with the same average heart rate (HR) per day ($n=10$): group 1 – subjects with high HRV and group 2 – subjects with low HRV. The studied HRV parameters were analyzed twice with an interval of 4 years between studies. *Results.* Despite similar 24-hour mean RR interval values between groups, significant differences in HRV parameters persisted both at baseline and study end. HRV indices (SDNN, SDANN, rMSSD, pNN50) remained consistently higher in Group 1 ($p<0.01$). Spectral analysis revealed significantly elevated LF and HF components in high-HRV subjects ($p<0.01$), whereas VLF predominance was observed in Group 2 ($p<0.01$). Intragroup HRV parameters showed no statistically significant temporal variations: SDNN ($p_1=0.06$, $p_2=0.11$), SDANN ($p_1=0.06$, $p_2=0.17$), rMSSD ($p_1=0.06$, $p_2=0.07$), and pNN50 ($p_1=0.14$, $p_2=0.09$), suggesting the existence of persistent HRV patterns over time. The general study population ($n=20$) demonstrated significant reduction in total HRV power ($p<0.05$) during the 50-month observation period, while maintaining stable heart rate values and LF/HF ratio (1.4–1.5, $p=0.08$). These findings exclude autonomic balance alterations as the cause of HRV decline. *Conclusions.* The obtained results indicate the existence of a stable HRV pattern along with a decrease in the reactivity of the system over time due to changes in the functional state of the vascular receptor field.

Keywords: electrocardiogram, ECG holter monitoring, heart rate variability, heart rate, autonomic nervous system

For citation: Novikov I. I., Kitsyshin V. P., Salukhov V. V., Surzhikov P. V. Stability of Parameters of Daily Heart Rate Variability as a Pattern of the Functional State of Unmodifiable Factors of its Formation. Regional hemodynamics and microcirculation. 2025;24(2):35–42. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2025-24-2-35-42>.

Введение

На длительность конкретного (мгновенного) R-R-интервала влияет большое количество внутренних и внешних факторов (рис. 1) [1]. Несмотря на это, при сохранении определенной степени энтропии, в вариабельности сердечного ритма (BCP) прослеживаются определенные устойчивые циклические колебания вследствие ритмически протекающих процессов: автономно функционирующих рефлексов, смены режима активности (покой-физическая нагрузка, умственный процесс), чередования приемов пищи, циркадного ритма (сон-бодрствование), в ночное время – смены фаз сна и т. д. [2, 3].

К настоящему времени разработаны и широко используются показатели циклической BCP, указывающие преимущественно на функциональное состояние вегетативной нервной системы (ВНС), регулирующей выраженность и характер вариабельности вследствие формирующегося при определенных условиях баланса между симпатическими и парасимпатическими влияниями на сердце [4–6]. Большая часть технологий исследований основана на регистрации BCP в покое, на довольно коротких временных интервалах [7–9]. Крайне редко при трактовке полученных данных ведется речь об оценке состояния периферического звена внутрисистемной рефлексии, базисном и генетически детерминированном механизме автономной регуляции, формирующем устойчивые ритмические колебания длительности R-R-интервалов. Вегетативные рефлексy в виде простых и сложных рефлекторных дуг играют важную роль в формировании афферентного звена регуляции, морфологической основой которого является состояние барорецепторного и механорецепторного полей определенных анатомических зон [10, 11].

Современные технологии длительной, суточной, регистрации динамики сердечного ритма предоставляют обширный массив данных для обработки и анализа в клинической и научной практике. Среди них важной составляющей анализа являются временные и спектральные характеристики BCP, широко применяемые для той же оценки состояния ВНС [12, 13]. Однако подходы к трактовке получаемых результатов

недостаточно стандартизированы, в основном из-за объективных причин. По данным холтеровского мониторингирования (ХМ) в нормальных физиологических диапазонах функционирования человека существует определенная отчетливая закономерность динамики BCP: повышение частоты сердечных сокращений приводит к снижению мощности высокочастотных составляющих и повышению низкочастотных; при очень высоком ритме мощность колебательного спектра резко снижается вплоть до его исчезновения; в горизонтальном положении, в покое, особенно в ночное время сна, отмечается достаточно большое количество вариантов циклической и нециклической изменчивости R-R-интервалов, от ригидного ритма до одновременного появления широкого спектра частот колебаний. В то же время смена поведенческой активности ведет к проявлению широкого спектра нестационарных процессов, затрудняющих интерпретацию, и только при стабилизации состояния формируется определенная спектральная модель вариабельности [14].

Вследствие математического преобразования обрабатываемой выборки R-R-интервалов формируются частотные спектры разной плотности [15, 16]. Высокочастотная составляющая (high frequency – HF) – колебания ЧСС при частоте 0,15–0,40 Гц. Мощность в этом диапазоне связана по большей части с дыхательными движениями и отражает вагусный контроль сердечного ритма. Низкочастотные колебания 1-го порядка (LF – low frequency) – часть спектра в диапазоне 0,04–0,15 Гц. Они имеют смешанное происхождение, однако преимущественное влияние на мощность в этом диапазоне оказывает барорефлекторная модуляция вегетативных влияний на сердце. Ультранизкочастотные колебания (VLF – very low frequency) – часть спектра в диапазоне частот менее 0,04 Гц, отражающая симпатические и другие гуморальные влияния [17, 18].

Является очевидным, что в результате последовательных этапов онтогенеза у человеческого индивидуума формируется устойчивый паттерн сердечно-сосудистой реактивности, выражающийся, например, в индивидуальной форме изменчивости BCP в ответ

на разнообразные постоянно возникающие раздражители. Физиологически это должно выражаться в проявлении стабильного спектра колебательных частот ВСР на стандартные типы поведения: покой – физическая нагрузка, уровень физической нагрузки, изменения психоэмоционального состояния, реакция на приемы пищи, бодрствование – сон, индивидуальные особенности сна или, например, в зависимости от положения тела лежа, сидя, стоя [19, 20]. Изменения положения тела ведут к стереотипному каскаду рефлекторных действий, стабилизация в той или иной позиции также формирует соответствующую модель циклических реакций со стороны сердечно-сосудистой системы в целом, и хронотропной функции сердца в частности [21].

Представляется интересным, возможно ли использовать данные ВСР, полученные методом ХМ ЭКГ, для оценки немодифицируемого индивидуального состояния сердечной реактивности.

Цель работы – поиск доказательств наличия в стандартных условиях поведения человека устойчивого паттерна вариабельности сердечного ритма на протяжении суток, обусловленного набором стойких рефлексов, индивидуально сформированных в процессе онтогенеза.

Материалы и методы исследования

В данном проспективном исследовании приняли добровольное участие специально отобранные лица мужского пола ($n=20$) в возрасте 18–19 лет, которым двукратно проводилось суточное ХМ ЭКГ с интервалом между исследованиями 4 года (февраль 2018 года – 1-й этап, апрель 2022 года – 2-й этап).

Специфика условий отбора заключалась в следующем. На предварительном, первом этапе, из 116 обследованных методом ХМ ЭКГ были выбраны лица с крайними по значению параметров показателями суточной ВСР (максимальными и минимальными, высоким уровнем и низким уровнем вариабельности). Затем из этих групп были отобраны лица с одинаковыми значениями среднесуточной ЧСС с целью исключения влияния факторов физиологического сопряжения уровня ЧСС с ВСР. В результате сформировались 2 группы по 10 человек в каждой: группа 1 – лица с высокой ВСР и группа 2 – лица с низкой ВСР, с одинаковой средней ЧСС за сутки соответственно. Обследуемые были разделены на группы по медиане параметров (см. ниже) SDNN ($Me=239,0$) и RMSSD ($Me=60,6$) из генеральной совокупности ($n=20$) на 1-м этапе исследования.

Участники, являясь членами полужакрытого коллектива, на всем протяжении исследования вели практически идентичный режим труда и отдыха: шестичасовые учебные занятия в интервале между 09:00 и 15:00; среднее время сна – 7 (стандартное отклонение (CO) 0,5) часов в сутки; умеренная физическая активность (утренние физические зарядки, занятия по физической подготовке, самостоятельные физические упражнения) в среднем в течение 270 (CO 40) минут в неделю. Одинаковыми были и условия быта – проживание в общежитии гостиничного типа, единообразный сбалансированный трех-



Рис. 1. Различные факторы, влияющие на вариабельность сердечного ритма (адаптировано из: Tiwari R., Kumar R., Malik S., Raj T., Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. Curr Cardiol Rev. 2021)

Fig. 1. Various factors influencing heart rate variability (adapted from: Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. Curr Cardiol Rev. 2021)

разовый рацион питания. Лица, принявшие участие в исследовании, в среднем 1 раз в год переносили острую респираторную вирусную инфекцию легкого течения. Следует отметить, что исследование выполнено в период пандемии COVID-19. Участники проходили ежегодную вакцинацию для профилактики коронавирусной инфекции, вызываемой вирусом SARS-CoV-2, с формированием иммунитета к нему (по данным определения антител к вирусу SARS-CoV-2: IgM <1,0 Ед/мл; IgG >10,0 Ед/мл).

Антропометрические данные (рост, вес, индекс массы тела, обхват талии, обхват бедер, отношение обхвата талии к обхвату бедер, обхват шеи) и параметры гемодинамики (систолическая и диастолическая функции, определяемые путем ультразвукового исследования сердца, артериальное давление) не демонстрировали статистически значимых различий между группами обследуемых на временном интервале между 1-м и 2-м этапами. По данным медицинских обследований участники исследования были признаны практически здоровыми.

Суточная вариабельность сердечного ритма анализировалась с помощью программно-аппаратного комплекса суточного мониторирования ЭКГ «Валента» (компания «НЕО», Санкт-Петербург, Россия, версия программного обеспечения 1.4.18.84) с использованием 3-канальных носимых регистраторов МН-02-8 для длительной (24-часовой) записи ЭКГ, позволяющих оценивать статистические и частотные показатели ВСР на различных временных промежутках. Принципиально значим режим дня обследуемых, в который велась регистрация ЭКГ: он был сопоставим как у разных обследуемых, так и у одного и того же обследуемого на 1-м и 2-м этапах. Запись ЭКГ начиналась в 15:00 и длилась 24 часа. В течение данного периода

Таблица 1

Сравнительные данные среднесуточных (холтеровское мониторирование, 24 часа) параметров ВСР в группах обследуемых с высокой и низкой вариабельностью сердечного ритма

Table 1

Comparative data on average daily HRV (holter monitoring, 24 hours) parameters in groups of subjects with high and low heart rate variability

Параметр ВСР	Период	Значение параметров, Ме [IQR]		p-критерий значимости различий (U-критерий Манна–Уитни)
		Группа 1	Группа 2	
Mean RR, сутки мс	1-й этап	862,0 [846,0; 883,0]	815,0 [786,0; 841,0]	p=0,06
	2-й этап	851,5 [821,0; 930,0]	840,0 [816,0; 852,0]	p=0,49
SDNN, мс	1-й этап	260,5 [240,3; 265,1]	186,0 [182,3; 189,5]	p<0,01
	2-й этап	217,4 [211,7; 243,2]	160,1 [152,5; 197,8]	p=0,01
SDANN, мс	1-й этап	233,4 [221,6; 252,3]	170,6 [168,2; 176,0]	p<0,01
	2-й этап	212,9 [186,9; 231,3]	147,6 [135,6; 175,1]	p=0,03
rMSSD, мс	1-й этап	77,8 [60,6; 107,7]	40,4 [36,1; 51,9]	p=0,01
	2-й этап	68,7 [60,9; 72,9]	42,2 [34,0; 44,1]	p<0,01
pNN50 %	1-й этап	31,9 [26,6; 43,6]	16,3 [11,9; 21,4]	p<0,01
	2-й этап	31,2 [26,6; 33,3]	16,4 [10,6; 18,4]	p<0,01

были исключены физические нагрузки; приемы пищи осуществлялись в 20:00 (ужин), 08:00 (завтрак) и 14:30 (обед), время сна составляло 8 часов (астрономический временной период с 22:00 до 06:00), рабочий период (учебные занятия) с 09:00 до 14:30.

Для оценки и сравнения суточной ВСР в динамике использовались следующие статистические показатели: RMSSD (квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов NN), pNN50 % (доля последовательных интервалов, различие между которыми превышает 50 мс), SDNN (стандартное отклонение величин нормальных интервалов R-R), SDANN (стандартное отклонение средних значений интервалов R-R, рассчитанных по 5-минутным отрезкам в течение всей записи за определенный период времени. Спектральные показатели, отражающие паттерны реактивности ритма, анализировались на временных участках в строго определенном диапазоне ЧСС при стационарных условиях пребывания исследуемых. Выделялись и сравнивались в идентичные периоды суток отрезки длительностью 45–60 мин на частотах ритма сердца 88–90 уд./мин (в утренние часы) и 70–72 уд./мин (в дневные часы). Параметры рассчитывались в условных единицах, отражающих отношение (%) мощности частотного спектра определенной плотности (мсек²) к общей мощности спектра (мсек²). Для высокочастотных колебаний (HF, high frequency) – в границах от 0,15 до 0,4 Гц, низкочастотных колебаний (LF, low frequency) – в границах от 0,04 до 0,15 Гц, ультранизкочастотных колебаний (VLF, very low frequency) – в границах от 0 до 0,04 Гц соответственно. Спектральные показатели ВСР также рассчитывались за сутки, в том числе и показатель общей мощности спектра (TP), мсек².

Числовые параметры сравнивались методами описательной статистики с дальнейшим применением

методов количественного и качественного анализа. Анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Statistica 12 (StatSoft, Inc. США).

Так как данные в большинстве случаев не подчинялись нормальному распределению, для количественной характеристики переменных определялись медиана (Me) и межквартильный размах МКР (Q1; Q3). Для измерения статистической значимости в независимых выборках применялись U-критерий Манна–Уитни (Mann–Withney) и критерий знаков (Sign test). Во всех методах статистического анализа критический уровень значимости p принимался равным 0,05. Критерий Вилкоксона (Wilcoxon) применялся для сравнения количественных признаков в двух связанных выборках.

Результаты исследования и их обсуждение

С целью соблюдения рабочего условия по необходимости отсутствия различий между параметрами среднесуточных ЧСС в группах был выполнен сравнительный анализ частоты ритма с помощью W-критерия Вилкоксона. Медиана ЧСС в начале исследования в группе 1 составила 68,5 уд./мин при межквартильном размахе от 67 до 70 уд./мин, в конце исследования – 69 (МКР: 65; 72) уд./мин (p=0,68). В группе 2 также не отмечались статистически значимые различия в частоте сердечных сокращений – медианный уровень составил 72 уд./мин, коридор распределения значений интерквартильного интервала был заключен между 70 и 75 уд./мин на 1-м этапе исследования и 70 (МКР: 69; 72) уд./мин на 2-м этапе (p=0,21). Сравнительный анализ значений ЧСС между группами 1 и 2 также не выявил статистически значимых различий (p=0,06 и p=0,54 между обследуемыми с высокой и низкой ВСР на первом и втором этапах диагностики).

Таблица 2

Сравнительные данные об устойчивости параметров суточного мониторинга сердечного ритма у обследуемых групп

Table 2

Comparative data on the stability of 24-hour heart rate monitoring parameters in the examined groups

Параметр ВСР	Группа обследуемых	Значение показателей, Ме [IQR]		p-критерий значимости различий (p – Wilcoxon matched pair test)
		1-й этап	2-й этап	
Mean RR, мс	Группа 1	862,0 [846,0; 883,0]	851,5 [821,0; 930,0]	p1=0,54
	Группа 2	815,0 [786,0; 841,0]	840,0 [816,0; 852,0]	p2=0,21
SDNN, мс	Группа 1	260,5 [240,3; 265,1]	217,4 [211,8; 243,2]	p1=0,06
	Группа 2	186,0 [182,3; 189,5]	160,1 [152,5; 197,8]	p2=0,11
SDANN, мс	Группа 1	233,4 [221,6; 252,3]	212,9 [186,9; 231,3]	p1=0,06
	Группа 2	170,6 [168,2; 176,0]	147,6 [135,6; 175,1]	p2=0,17
rMSSD, мс	Группа 1	77,8 [60,6; 107,7]	68,7 [60,9; 72,9]	p1=0,06
	Группа 2	40,4 [36,1; 51,9]	42,2 [34,0; 44,1]	p2=0,07
pNN50 %	Группа 1	31,9 [26,6; 43,6]	31,1 [26,6; 33,3]	p1=0,14
	Группа 2	16,3 [11,9; 21,4]	16,4 [10,7; 18,4]	p2=0,09

Наличие значимых различий в группах между основными статистическими показателями ВСР за сутки представлено в табл. 1. При схожих значениях среднего R-R-интервала за сутки (Mean RR) разница числовых параметров ВСР между группами сохранялась как в начале, так и в конце исследования.

При сравнении показателей ВСР за сутки в группе 1 (p_1 -критерий значимости) и группе 2 (p_2 -критерий значимости), после повторного (через 50 месяцев) проведения исследования, оказалось, что параметры SDNN ($p_1=0,06$, $p_2=0,11$), SDANN ($p_1=0,06$, $p_2=0,17$), rMSSD ($p_1=0,06$, $p_2=0,07$) и pNN50 ($p_1=0,14$, $p_2=0,09$) не продемонстрировали статистически значимых различий (табл. 2).

Таким образом, при относительно устойчивых внутригрупповых показателях ВСР, сохраняющих черты повторяемости на протяжении длительного периода (4 года), наблюдаются также устойчивые, межгрупповые отличия в значениях параметров variability ритма. Выявленные особенности позволяют выдвинуть предположение о существовании стойких во времени паттернов ВСР, которые обусловлены не только физиологическим состоянием сердечно-сосудистой системы и систем ее регуляции вследствие влияния факторов внешней и внутренней среды, образа жизни, но и рядом немодифицируемых причин, сформированных в процессе становления организма (онтогенеза).

Анализ динамики состояния общей спектральной мощности (табл. 3) в генеральной совокупности ($n=20$), выполненный методом расчета критерия знаков Вилкоксона (Wilcoxon matched pair test) и теста знаков (Sign test), показал признаки достоверного снижения статистических показателей ВСР у обследованных лиц за исследуемый период (50 месяцев) при отсутствии изменения параметров средних значений ЧСС. Полученные данные подтверждают многочисленные исследования, указывающие

на постепенное снижение ВСР с возрастом [22–27]. Следует лишь отметить, что данный тренд начинает формироваться уже в молодом возрасте, причем без признаков повышения симпатикотонии, которая считается наиболее частой ведущей причиной снижения мощности колебаний. Об отсутствии изменений вегетативного баланса свидетельствовал среднесуточный расчетный индекс LF/HF, показавший оптимальное соотношение парасимпатического и симпатического звеньев ВНС – 1,5 (МКР: 0,9; 1,8) на первом этапе и 1,4 (МКР: 1,0; 1,7) на втором этапе, $p=0,08$. Поскольку речь не идет об изменении баланса в активности ВНС (центральный уровень регуляции), причиной данного достоверного изменения может быть уменьшение реактивности периферического (афферентного или эфферентного) звена регуляции.

В рамках представленной части исследования для изучения данной гипотезы на 2-м этапе был проведен сравнительный анализ (U-критерий Манна–Уитни (Mann–Withney)) спектральных параметров ВСР на определенных стационарных временных участках с фиксированными диапазонами ЧСС.

При медианном значении ЧСС в обеих группах 88–89 уд./мин ($p=0,94$) низкочастотные колебания (LF) у лиц с максимальной выраженностью ВСР находились на уровне 2454 (МКР: 1840; 3067) мсек² в абсолютных значениях и 44,2 (МКР: 38,8; 45,5) % в относительных; в группе лиц с минимальной выраженностью ВСР – 748 (МКР: 561; 935) мсек² и 23,1 (МКР: 22,2; 24,4) % соответственно ($p<0,01$).

При сравнении групп по уровню спектра высокочастотной плотности у лиц с меньшей вариабельностью сердечного ритма определялся статистически значимо более низкий уровень HF ($p=0,02$). В первой группе медианное значение HF составило 1310 мсек² (26,7 % от общей мощности спектра), при межквартильном размахе от 982 до 1637 мсек² (от 20,0 до 29,7 % в относительных единицах измерения).

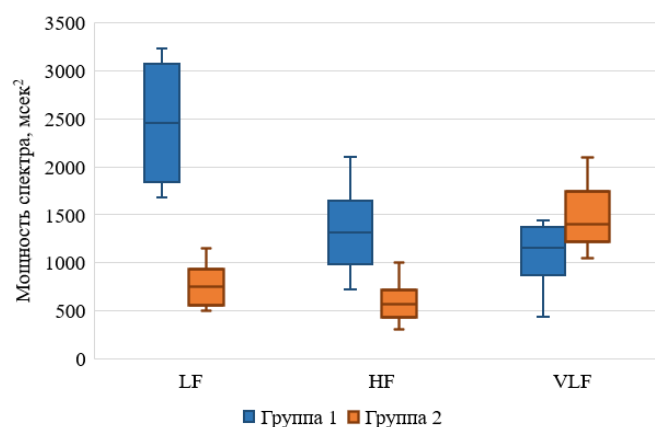
Таблица 3

Динамика показателей вариабельности сердечного ритма в генеральной совокупности обследуемых лиц (n=20) за исследуемый период

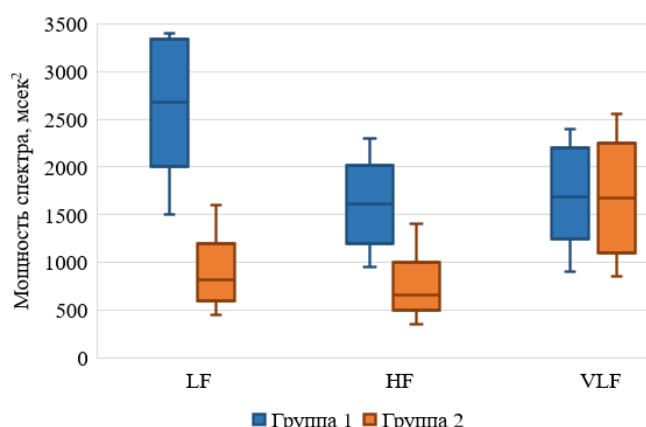
Table 3

Dynamic indicators of heart rate variability in the general population of examined subjects (n=20) over the study period

Параметр ВСР	Период	Значение параметров, Ме [IQR]	p-критерий значимости различий (p_w – Wilcoxon matched pair test; p_s – Sign test)
Mean RR, мс	1-й этап	846,0 [791,0; 875,0]	$p_w=0,25$ $p_s=0,36$
	2-й этап	849,0 [816,0; 898,0]	
SDNN, мс	1-й этап	239,0 [186,0; 261,6]	$p_w=0,01$ $p_s=0,01$
	2-й этап	211,8 [160,0; 236,8]	
SDANN, мс	1-й этап	210,3 [170,6; 239,3]	$p_w=0,02$ $p_s=0,02$
	2-й этап	186,9 [139,8; 223,1]	
rMSSD, мс	1-й этап	60,6 [40,4; 92,5]	$p_w \leq 0,01$ $p_s \leq 0,01$
	2-й этап	51,5 [42,3; 69,3]	
pNN50 %	1-й этап	25,2 [16,3; 33,5]	$p_w=0,04$ $p_s=0,04$
	2-й этап	21,7 [16,5; 31,3]	
TP, мсек ²	1-й этап	28930,0 [26578,0; 29745,0]	$p_w \leq 0,01$ $p_s \leq 0,01$
	2-й этап	26573,0 [23449,0; 29745,0]	
HF, мсек ²	1-й этап	4602,0 [2033,0; 5564,0]	$p_w \leq 0,01$ $p_s \leq 0,01$
	2-й этап	3467,0 [1981,0; 5103,0]	
LF, мсек ²	1-й этап	5640,0 [3398,0; 7103,0]	$p_w \leq 0,01$ $p_s \leq 0,01$
	2-й этап	4501,0 [1579,0; 5147,0]	
VLF, мсек ²	1-й этап	17467,0 [11231,0; 22016]	$p_w \leq 0,01$ $p_s \leq 0,01$
	2-й этап	15481,0 [9147,0; 21305,0]	
LF/HF	1-й этап	1,5 [0,9; 1,8]	$p_w=0,08$ $p_s=0,09$
	2-й этап	1,4 [1,0; 1,7]	



а



б

Рис. 2. Сравнительный анализ спектральных параметров ВСР в группах обследуемых на выделенных участках кардиоинтервалограмм одинаковой длительности и в одни и те же периоды суток. Медианное значение ЧСС: а – 88,5 (МКР: 85; 92) и 89 (МКР: 88; 91), $p=0,944$; б – 70,2 (МКР: 67,6; 73,5) и 71 (МКР: 68,4; 74,3), $p=0,803$ – для групп 1 и 2

Fig. 2. Comparative analysis of spectral parameters of HRV in groups of subjects in the selected areas of carointervalograms of the same duration and during the same periods of the day. Median heart rate: а – 88.5 (IQR: 85; 92) and 89 (IQR: 88; 91), $p=0.944$; б – 70.2 (IQR: 67.6; 73.5) and 71 (IQR: 68.4; 74.3), $p=0.803$ – for groups 1 and 2

Во второй группе медиана HF была равна 570 мсек² (18,9 %) при значениях первого и третьего квартилей, равных соответственно 425 мсек² (8,0 %) и 712 мсек² (24,3 %).

В сравниваемых группах отмечались статистически значимые различия в уровне ультранизкочастотных колебаний, значения которых оказались выше в группе 2 ($p<0,01$). Значения медиан VLF в данных

группах находились на уровне 1149 (МКР: 861; 1436) мсек² (27,8 %) и 1397 (МКР: 1047; 1746) мсек² (47,6 %) соответственно.

При значениях ЧСС – 70,2 (МКР: 67,6; 73,5) и 71 (МКР: 68,4; 74,3), $p=0,81$ в группах 1 и 2 соответственно отмечались аналогичные статистически значимые различия в спектральных показателях ВСР (рис. 2).

Выводы

Сохранение на протяжении длительного периода значимых различий между статистическими показателями суточной вариабельности сердечного ритма у здоровых лиц молодого возраста позволяет предположить существование устойчивого паттерна, обусловленного онтогенетически сформировавшимися немодифицируемыми факторами.

Несмотря на короткий временной промежуток между этапами исследования, реактивность системы снижается (отражение этого – значимая динамика статистических и спектральных параметров ВСР), что может быть связано с такими причинами, как изменения в функциональном состоянии сосудистого рецепторного поля, афферентной и эфферентной передачи импульса в рефлекторных дугах регуляции ЧСС и артериального давления.

Заключение

Актуальность проблемы, отраженной в вышеизложенных выводах, наталкивает на дальнейшее проведение исследований с использованием дополнительных методов инструментальной диагностики, таких как сфигмоманометрия, активная ортостатическая и клиностатическая пробы, технологии непрерывного мониторингирования артериального давления.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare that they have no conflict of interest.

Литература / References

1. Tiwari R, Kumar R, Malik S, et al. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Curr Cardiol Rev.* 2021;17(5):e160721189770. <https://doi.org/10.2174/1573403X16999201231203854>.
2. Новиков И. И., Степаненко И. А. Влияние регулярных физических тренировок на вариабельность сердечного ритма у здоровых мужчин молодого возраста // Известия Российской военно-медицинской академии. 2022. Т. 41, № S2. С. 310–312. [Novikov I.I., Stepanenko I.A. The effect of regular physical training on heart rate variability in healthy young men. *Russian Military Medical Academy Reports.* 2022;41(S2):310-312. (In Russ.)].
3. Степаненко И. А., Салухов В. В., Кицышин В. П., и др. Конституциональные и нейрогуморальные показатели в диагностике преждевременных сердечных сокращений у здоровых лиц старшего подросткового возраста // Медицинский биомедицинский журнал. 2018. Т. 19. С. 705–720. [Stepanenko I.A., Salukhov V.V., Kitsyshin V.P., et al. Constitutional and neurohumoral features in the premature cardiac contractions diagnostics in healthy individuals of later adolescence. *Medline.ru. Russian biomedical journal.* 2018;19:705-720. (In Russ.)].

4. Mejía-Mejía E, Budidha K, Abay TY, et al. Heart Rate Variability (HRV) and Pulse Rate Variability (PRV) for the Assessment of Autonomic Responses. *Front Physiol.* 2020;11:779. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00779>.

5. Stepanenko I, Novikov I, Mihailidou A, et al. The effect of regular physical training on heart rate variability in healthy male volunteers. *European Journal of Preventive Cardiology.* 2022;29(1):369-370. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac056.260>.

6. Shaffer F, Meehan ZM. An Undergraduate Program with Heart: Thirty Years of Truman HRV Research. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2022;47(4):317–326. <https://doi.org/10.1007/s10484-022-09543-5>.

7. Taoum A, Bisiaux A, Tilquin F, et al. Validity of Ultra-Short-Term HRV Analysis Using PPG-A preliminary Study. *Sensors (Basel).* 2022;22(20):7995. <https://doi.org/10.3390/s22207995>.

8. Liang D, Wu S, Tang L, et al. Short-Term HRV Analysis Using Nonparametric Sample Entropy for Obstructive Sleep Apnea. *Entropy (Basel).* 2021;23(3):267. <https://doi.org/10.3390/e23030267>.

9. Ortega E, Bryan CYX, Christine NSC. The Pulse of Singapore: Short-Term HRV Norms. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2024;49(1):55-61. <https://doi.org/10.1007/s10484-023-09603-4>.

10. Ramachandran H, Butlin M, Quinn B, et al. Comparison of frequency-based techniques for assessment of baroreceptor sensitivity and heart rate variability. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017:3985-3988. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037729>.

11. Pinna GD, Maestri R, La Rovere MT. Assessment of baroreflex sensitivity from spontaneous oscillations of blood pressure and heart rate: proven clinical value? *Physiol Meas.* 2015;36(4):741-753. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/4/741>.

12. Cygankiewicz I, Zareba W. Heart rate variability. *Handb Clin Neurol.* 2013;117:379-393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00031-6>.

13. Кучмин А. Н., Голиус О. А., Шустов С. Б., Кицышин В. П. Частота и характер нарушений сердечного ритма по данным суточного мониторингирования у здоровых военнослужащих молодого возраста // Военно-медицинский журнал. 2010. Т. 331, № 4. С. 13–19. [Kuchmin A.N., Golius O.A., Shustov S.B., Kitsishin V.P. Frequency and nature of cardiac rhythm disturbances according to daily monitoring data in healthy young military personnel. *Military Medical Journal.* 2010;331(S4):13-19. (In Russ.)].

14. Hayano J, Yuda E. Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability. *J Physiol Anthropol.* 2019;38(1):3. <https://doi.org/10.1186/s40101-019-0193-2>.

15. Hayano J, Yuda E. Assessment of autonomic function by long-term heart rate variability: beyond the classical framework of LF and HF measurements. *J Physiol Anthropol.* 2021. Nov 30;40(1):21. <https://doi.org/10.1186/s40101-021-00272-y>.

16. Miki Y, Suzuki Y, Watanabe E, et al. Long-range correlations in amplitude variability of HF and LF components of heart rate variability. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2016:6218-6221. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7592149>.

17. Kumar P, Das AK, Halder S. Statistical heart rate variability analysis for healthy person: Influence of gender and body posture. *J Electrocardiol.* 2023;79:81-88. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2023.03.011>.

18. Saboul D, Pialoux V, Hautier C. The breathing effect of the LF/HF ratio in the heart rate variability measurements of athletes. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(1):282-288. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.691116>.

19. Ma Y, Chang MC, Litrownik D, et al. Day-night patterns in heart rate variability and complexity: differences with age and cardiopulmonary disease. *J Clin Sleep Med*. 2023;19(5):873-882. <https://doi.org/10.5664/jcsm.10434>.
20. Miyagi T, Yamazato M, Nakamura T, et al. Power spectral analysis of heart rate variability is useful as a screening tool for detecting sympathetic and parasympathetic nervous dysfunctions in Parkinson's disease. *BMC Neurol*. 2022;22(1):339. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02872-2>.
21. Abry P, Wendt H, Jaffard S, et al. Methodology for multifractal analysis of heart rate variability: from LF/HF ratio to wavelet leaders. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010:106-109. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626124>.
22. Zhang J. Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *J Manipulative Physiol Ther*. 2007;30(5):374-349. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2007.04.001>.
23. Martinello L, Romão FG, Godoy MF, et al. Study of autonomic modulation by non-linear analysis of heart rate variability in different age groups and analysis of health status, disease and risk of death in dogs. *Pol J Vet Sci*. 2023;26(4):581-590. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2023.148278>.
24. Geovanini GR, Vasques ER, de Oliveira Alvim R, et al. Age and Sex Differences in Heart Rate Variability and Vagal Specific Patterns - Baependi Heart Study. *Glob Heart*. 2020;15(1):71. <https://doi.org/10.5334/gh.873>.
25. Kumral D, Schaare HL, Beyer F, et al. The age-dependent relationship between resting heart rate variability and functional brain connectivity. *Neuroimage*. 2019;185:521-533. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.027>.
26. Суржигов П. В., Кицышин В. П., Варавин Н. А., Новиков И. И. Функциональная и лабораторная диагностика возрастной ангиопатии // Современные проблемы науки и образования. 2024. № 4. С. 97. [Surzhikov PV, Kitsishin VP, Varavin NA, Novikov II. Functional and laboratory diagnostics of age-related angiopathy. *Modern problems of science and education*. 2024;4:97. <https://doi.org/10.17513/spno.33573>. (In Russ.)].
27. Parashar R, Amir M, Pakhare A, et al. Age Related Changes in Autonomic Functions. *J Clin Diagn Res*. 2016;10(3):CC11-5. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16889.7497>.

Информация об авторах

Новиков Илья Игоревич – слушатель ординатуры по специальности «Терапия», Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0002-7581-5867, SPIN-код: 8213-0277, e-mail: iinow2000@gmail.com.

Кицышин Виктор Петрович – д-р мед. наук, профессор 1-й кафедры и клиники (терапии усовершенствования врачей) имени академика Н. С. Молчанова, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0002-7797-5952, SPIN-код: 5733-0983, e-mail: viktor.kitsyshin@yandex.ru.

Салухов Владимир Владимирович – д-р мед. наук, профессор, начальник 1-й кафедры и клиники (терапии усовершенствования врачей) имени академика Н. С. Молчанова, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0000-0003-1851-0941; SPIN-код: 4531-6011; e-mail: vlasaluk@yandex.ru.

Суржигов Павел Владимирович – канд. мед. наук, преподаватель 1-й кафедры (терапии усовершенствования врачей) имени академика Н. С. Молчанова, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, ORCID: 0009-0001-8413-0069; SPIN-код: 1120-6325; e-mail: vmeda_70@mail.ru.

Authors information

Novikov Ilya I. – Residency Student in the Specialty «Therapy», Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0002-7581-5867, e-mail: iinow2000@gmail.com.

Kitsyshin Viktor P. – Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician Molchanov 1st Department and Clinic (Advanced Medical Training Therapy), Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0002-7797-5952, e-mail: viktor.kitsyshin@yandex.ru.

Salukhov Vladimir V. – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head, Academician Molchanov 1st Department and Clinic (Advanced Medical Training Therapy), Military Medical Academy named, Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0003-1851-0941, e-mail: vlasaluk@yandex.ru.

Surzhikov Pavel V., Cand. (PhD) Sc. (Med.), Lecturer, Academician Molchanov 1st Department and Clinic (Advanced Medical Training Therapy), Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0009-0001-8413-0069, e-mail: vmeda_70@mail.ru.