

УДК 616-092

# Возрастные изменения показателей variability сердечного ритма и спектральных показателей variability артериального давления в диапазоне 20–90 лет

Панкова Н.Б.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии».

125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

**Целью** нашей работы стало описание половозрастных особенностей показателей variability сердечного ритма (СР), систолического и диастолического артериального давления (АДс и АДд), а также чувствительности барорефлекса (ЧБР).

**Методы:** спироартериокардиограмма, позволяющая регистрировать все перечисленные показатели у каждого человека одновременно. В исследовании приняли участие 1559 человек (1119 женщин и 440 мужчин), в возрасте 20-90 лет. Весь возрастной интервал был разбит на 10 диапазонов по 7 лет.

**Результаты.** Показано, что большинство изученных параметров изменяются с возрастом. Для женщин было характерно линейное снижение частоты пульса при возрастании АДс, у мужчин такие закономерности не обнаружены. Для показателей variability СР у обоих полов описана U-образная динамика: снижение с последующим возрастанием показателей SDNN (отражающего сбалансированность автономной регуляции) и общей мощности спектра, с минимумом в 55–76 лет; возрастание в самых старших возрастных группах (после 62 лет) связанных с вагусной активностью RMSSD, pNN50, и мощности диапазона HF; возрастание с последующим снижением стресс-индекса и вклада в спектр variability СР диапазона VLF. Показано, что в возрастном диапазоне 34–55 лет у мужчин в спектре variability СР был выше относительный вклад LF, у женщин – наоборот, HF, с соответствующими величинами отношения LF/HF.

Выявлена зависимость от возраста, сходно у мужчин и женщин, спектральных показателей variability АД: при отсутствии возраст-зависимой динамики общей мощности спектров variability как АДс, так и АДд, обнаружено перераспределение относительной мощности разных диапазонов – линейное возрастание вклада диапазона VLF, и снижение после 55 лет вклада диапазона LF в спектрах variability АДс и АДд.

По амплитудным показателям барорефлекса минимальные величины зафиксированы у обоих полов в возрастном диапазоне 62–69 лет.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о снижении с возрастом (после 55 лет) относительного вклада в регуляцию сердечно-сосудистой системы симпатических влияний, при возрастании представленности нейрогенных вагусных и гуморальных компонентов. Величины изученных показателей в различных половозрастных выборках могут быть взяты за основу при их нормировании в прикладных целях.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система; variability сердечного ритма; variability артериального давления; барорефлекс.

**Для цитирования:** Панкова Н.Б. Возрастные изменения показателей variability сердечного ритма и спектральных показателей variability артериального давления в диапазоне 20–90 лет. Патогенез. 2022; 20(1): 52-62

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2022.01.52-62

**Для корреспонденции:** Панкова Наталия Борисовна, e-mail: nbpankova@gmail.com

**Финансирование.** Исследование не имеет спонсорской поддержки

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила:** 04.02.2022

## Age-related changes in heart rate variability and spectral parameters of blood pressure variability in the range of 20–90 years

Pankova N.B.

Institute of General Pathology and Pathophysiology,  
Baltiyskaya St. 8, Moscow 125315, Russian Federation

**The aim** of this study was to describe the age and sex characteristics of heart rate variability (HR), systolic and diastolic blood pressure (sBP and dBP), as well as baroreflex sensitivity (BRS).

**Methods:** Spiroarteriocardiorhythmography recorded all reported indicators for each person. The study included 1559 people (1119 women and 440 men) aged 20-90 yrs. The age interval was divided into 10 ranges of 7 yrs each.

**Results.** Most of the measured variables changed with age. Women had a linear decrease in HR with an increase in BP, but this pattern was not found in men. In both sexes, HR variability had a U-shaped dynamics, i.e., a decrease followed by an increase in SDNN. This reflected the balance of autonomic regulation and total spectrum power, with a minimum at 55–76 yrs. After 62 yrs, an increase in SDNN was observed in the oldest age groups that was associated with vagal activity RMSSD, pNN50, and HF band power. This increase was followed by a decrease in the stress index and the contribution to the HR spectrum of the VLF range. For men aged 34–55 years, the relative contribution of LF to the HR variability spectrum was greater, but in women the contribution of HF was greater. There were corresponding gender effects on values of the LF/HF ratio.

*The dependence on age of spectral indicators of BP variability was equal in men and women. In the absence of age-dependent changes of the total power of the variability spectra of both sBP and dBP, a redistribution of the relative power of different ranges was found. There was a linear increase in the contribution of the VLF range, and a decrease after 55 yrs in the contribution of the LF range to the variability spectra of sBP and dBP.*

*According to the amplitude indicators of baroreflex, the minimum values were recorded for both sexes in the range of 62-69 yrs.*

**Conclusion.** *The results indicate a decrease with age after 55 years in the relative contribution of sympathetic influences to regulation of the cardiovascular system that was associated with an increase in the representation of neurogenic vagal and humoral components. The values of the measured indicators in different sexes and ages can be applied in practice as a basis for their normalization.*

**Key words:** *the cardiovascular system; heart rate variability; blood pressure variability; baroreflex.*

**For citation:** Pankova N.B. [Age-related changes in heart rate variability and spectral parameters of blood pressure variability in the range of 20–90 years]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2022; 20(1): 52-62 (in Russian)

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2022.01.52-62

**For correspondence:** Pankova Nataliya Borisovna, e-mail: nbpankova@gmail.com

**Funding.** The study had no sponsorship.

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

**Received:** 04.02.2022

## Введение

Показатели variability сердечного ритма (СР) достаточно часто используют в качестве маркёров функционального состояния как собственно сердечно-сосудистой системы, так и систем её автономной регуляции [1, 2]. Возможность оценки variability СР заложена в программное обеспечение фитнес-браслетов и других гаджетов с аналогичным функционалом, вошедших в обиход в последние годы, на фоне роста интереса к здоровому образу жизни [3]. Однако в среде непрофессиональных пользователей этим, по сути, медицинским оборудованием, остро встает вопрос нормирования получаемых числовых показателей — что относится к диапазону половозрастной нормы, а что требует, как минимум, обращения к специалисту.

Существует несколько подходов к классификации показателей variability СР. Чаще всего их подразделяют на статистические, геометрические, и спектральные. Из статистических показателей обычно используют рассчитываемые по массиву кардиоинтервалов (R-R интервалов) SDNN, RMSSD и pNN50 [1, 4]. SDNN — стандартное отклонение полного массива величин длительности R-R интервалов, отражающее баланс симпатических и парасимпатических влияний на СР. Показатели RMSSD (квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов) и pNN50 (доля в % количества пар последовательных R-R интервалов, различающихся более чем на 50 мс, от общего количества кардиоинтервалов за весь период записи) связывают с парасимпатическими влияниями.

Геометрические методы основаны на расчёте моды распределения кардиоинтервалов (наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряду значение R-R интервала) и амплитуды моды (доля кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в % к объёму выборки). На основе геометрических показателей variability СР рассчитываются т.н. показатели Бавеского — ИН, ИВР, ПАПР, ВПР [1]. Чаще всего используют ИН — индекс напряжения регуляторных систем, или стресс-индекс, который, по мнению автора,

отражает степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными. ИВР — индекс вегетативного равновесия, указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического звеньев вегетативной регуляции СР. ПАПР — показатель адекватности процессов регуляции, отражает соответствие между активностью симпатического отдела автономной нервной системы и ведущим уровнем функционирования синусового узла. ВПР — вегетативный показатель ритма, позволяет судить об автономном (вегетативном) балансе: чем меньше величина ВПР, тем в большей степени вегетативный баланс смещен в сторону ваготонии.

К спектральным показателям variability СР относятся ТР (Total Power, суммарная мощность спектра в диапазоне 0–0,4 Гц), VLF и VLF% (Very Low Frequencies, абсолютная и относительная мощность диапазона очень низких частот, 0–0,04 Гц), LF и LF% (Low Frequencies, абсолютная и относительная мощность диапазона низких частот, 0,04–0,15 Гц), HF и HF% (High Frequencies, абсолютная и относительная мощность диапазона высоких частот, 0,15–0,40 Гц). На основе спектральных показателей variability СР рассчитывают индексы: отношение LF/HF (вегетативный, или автономный баланс) и индекс централизации (HF+LF)/VLF. Принято [1, 4, 5], что ТР коррелирует с общим уровнем активности регуляторных систем. Мощность диапазона HF связана с дыхательными волнами, и коррелирует с уровнем активности парасимпатического звена вегетативной регуляции. Мощность диапазона LF отражает барорефлекторные влияния и уровень симпатической активности в регуляции СР. Спектральную мощность диапазона VLF связывают с активностью гуморальных регуляторных систем и психоэмоциональными влияниями.

Для анализа variability СР используют записи ЭКГ длительностью 5 мин [2, 4]. Однако в последние годы показана принципиальная возможность анализа и более коротких записей, особенно в немедицинских целях, например, в фитнесе [6]. При этом допустимая минимальная длительность записи различна для раз-

ных показателей. Так, для оценки частоты сердечных сокращений (ЧСС) достаточно 10 с, для оценки HF и SDNN – 30 с, рNN50 – 60 с, LF и отношения LF/HF – 90 с, RMSSD и VLF – 270 с. Безусловно, математический аппарат позволяет для расчёта показателей variability CP использовать и более короткие записи, однако надёжность их оценки при этом существенно снижается.

Достаточно давно было показано, что показатели variability CP не постоянны в возрастном аспекте, и имеют характерные черты у мужчин и женщин [7–11]. Так, обнаружено, что с возрастом снижаются такие спектральные показатели, как TP, LF, HF, а также отношение LF/HF [8, 12]. Для статистических показателей описано линейное снижение с возрастом величины SDNN, и U-образный характер для возрастной динамики связанных с парасимпатическими влияниями RMSSD и рNN50 [11–13].

Для женщин, по сравнению с мужчинами, в целом характерны более высокие показатели ЧСС при более низких значениях SDNN, более низкие величины TP, с более высоким относительным вкладом диапазона HF, и, соответственно, более низким вкладом диапазона LF, что отражается и в более низких величинах отношения LF/HF [9]. Однако эти особенности проявляются не во всех возрастных диапазонах: более высокие величины HF у женщин отмечены в возрастном диапазоне 40–49 лет, тогда как более высокие показатели LF% и отношения LF/HF у мужчин – в возрасте 40–59 лет [7]. Кроме того, наблюдается U-образная картина возрастной динамики RMSSD и рNN50 с минимумом между 60 и 69 годами для обоих полов, хотя у женщин значения выше, чем у мужчин [13].

Сложнее с оценкой variability артериального давления (АД). В литературе под этим понятием практически всегда рассматривают изменения однократно измеренных показателей АД (часто проведённых аускультативным методом) за длительные временные периоды: в течение месяца, недели, дня, за время приёма у врача. Оценка variability АД в режиме beat-to-beat доступна только при наличии технической возможности непрерывной регистрации АД, и потому не столь распространена. Вероятно, поэтому и работ, обосновывающих физиологический смысл спектральных параметров variability АД не так много, и касаются они исключительно систолического АД (АДс) [14]. Предполагается, что диапазон HF, связанный с дыханием, может отражать и уровень активности эндотелиального NO, но для вычленения данного компонента необходимо проводить пробы с контролируемым дыханием. Есть доказательства того, что диапазон LF отражает симпатическую и миогенную модуляцию тонуса сосудов. По современным представлениям, базирующимся на данных нейровизуализации, в головном мозге существует морфофункциональное образование, называемое «sympathetic connectome», определяющее супрабульбарные влияния на АД [15], чьи влияния также

коррелируют с мощностью диапазона LF в спектре variability АДс.

Сложнее интерпретировать variability диастолического АД (АДд). Клиницисты признают прогностическую важность как АДс, так и АДд, и выделяют особый физиологический смысл у каждого из компонентов. Принято, что АДд в большей степени отражает сопротивление стенки артерий.

Однако систематических данных о половозрастной динамике показателей variability АД, как систолического, так и диастолического, в литературе мы не нашли.

Сопряжение CP и АД можно оценить по различным показателям барорефлекторной регуляции [16]. При этом можно оценивать как амплитудные показатели (прямые и непрямые измерения чувствительности барорефлекса – ЧБР), так и фазовую синхронизацию [17]. Для данной группы показателей, как и для variability CP, также описана возрастная динамика.

Целью нашей работы стало описание половозрастных особенностей показателей variability CP, АДс и АДд, а также ЧБР, полученных методом спиреокардиографии, когда у каждого человека одновременно регистрируют все перечисленные показатели.

## Материалы и методы исследования

В анализ взяты результаты оценки спиреокардиограмм 1559 человек в возрасте от 20 до 90 лет. Весь возрастной период (70 лет) был разбит на 10 диапазонов длительностью по 7 лет. Численность выборок представлена в **табл. 1**. В связи с малочисленностью выборок в самой старшей возрастной группе, для анализа результатов мы объединили выборки 76,1–83,0 и 83,1–90,0 лет.

Участие в исследовании было основано на информированном согласии обследуемых лиц. Соответствие исследования международному (в том числе Хельсинкской декларации в редакции 2013 г.) и российскому законодательству о правовых и этических принципах проведения научных исследований с участием человека подтверждено решением Комитета по этике Института общей патологии и патофизиологии, протокол № 4, 02.09.2019. Все испытуемые были практически здоровы, измерения проводили в основном в рабочее время, в медицинском кабинете предприятий или на рабочем месте (например, в образовательных организациях), за исключением незначительного числа людей из самых старших возрастных категорий, которые были обследованы в условиях санаторно-курортного лечения.

Изучение показателей сердечно-сосудистой системы проводили с помощью прибора спиреокардиограф (ООО «ИНТОКС», г. Санкт-Петербург, Россия). Прибор позволяет проводить одновременную непрерывную регистрацию ЭКГ в 1-м стандартном отведении (с последующей оценкой variability CP), пальцевого АД методом фотоплетизмографии с после-



дующей оценкой variability АДс и АДд, а также показателей дыхания с использованием ультразвукового датчика регистрации воздушного потока (при надежной спирометрической маске, опционно). Помимо этого, предусмотрена оценка величины ЧБР (в мс/мм рт.ст.): 1) прямым измерением спонтанного барорефлекса в моменты когерентности СР и АДс в дыхательном цикле; 2) по альфа-индексу – соотношению мощностей диапазона LF в спектрах variability СР и АДс:  $\alpha\text{-индекс} = (\text{LF}(\text{СР})/\text{LF}(\text{АДс}))^{1/2}$ .

Регистрацию показателей сердечно-сосудистой системы проводили в положении сидя, длительность регистрации составляла 2 мин.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0. По результатам проверки выборок на нормальность распределения по критерию Шапиро–Уилка использовали непараметрические критерии. Межгрупповые сравнения (между мужчинами и женщинами) проводили по критерию Манна–Уитни. Для оценки связей показателей с возрастом рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена. Для оценки соответствия выявленной возрастной динамики показателей квадратичной (U-образной) зависимости использовали метод множественной регрессии.

## Результаты исследования и обсуждение

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что большинство изученных параметров коррелируют с возрастом (табл. 2). Так, у женщин снижается ЧСС, но возрастает АДс. В спектральных показателях variability СР у женщин выявлено снижение ТР и относительного вклада в общую мощность диапазонов LF и HF при возрастании вклада VLF. В статистических и геометрических показателях выявлено снижение SDNN при возрастании остальных индексов. Аналогичные сдвиги были характерны для спектральных показателей variability АДс и АДд, при снижении ЧБР.

У мужчин мы не выявили возрастной динамики основных показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС и АД), однако обнаружили у них более высокие показатели ЧСС (в возрасте 41–62 года) при более высоких величинах АДс и АДд (в возрасте 20–48 лет) (рис. 1). Динамика показателей variability СР и АД у мужчин была близка к таковой у женщин (табл. 2).

В целом линейная динамика показателей variability СР и АД свидетельствует о снижении с возрастом уровня нейрогенной автономной регуляции сердечно-сосудистой системы, при повышении вклада гуморальной и психоэмоциональной составляющих. Однако оказалось, что для части показателей variability характерна U-образная зависимость от возраста (табл. 3): проверка статистической гипотезы о наличии квадратичной зависимости величины показателя от возраста подтвердилась для ЧСС, АДс, ряда спектральных показателей variability СР, а также для относитель-

ной мощности диапазонов LF в спектрах variability АДс и АДд, статистических показателей variability СР и ЧБР.

При отсутствии различий между мужчинами и женщинами мы обнаружили минимальные величины ТР в возрастном диапазоне 55–76 лет, с возрастанием показателя в более старших возрастных группах (рис. 2). При этом вклад в общую variability диапазона VLF именно в эти годы был максимальным, с дальнейшим снижением.

Возраст-зависимое снижение относительной мощности диапазонов LF и HF, а также отношения LF/HF несколько различалось у мужчин и женщин (рис. 3). Так, в возрастном диапазоне 34–55 лет у мужчин был выше относительный вклад низких частот (LF), у женщин – наоборот, высоких частот (HF), с соответствующими величинами отношения LF/HF.

В целом это совпадает с результатами более ранних публикаций [7, 9]. Однако мы впервые выявили U-образный характер изменения относительной мощности диапазона HF, связанного с уровнем парасимпатических влияний, с возрастанием её величины после 60 лет. И у мужчин для отношения LF/HF уровень ошибки второго рода (бета), превышающий 5%, не позволяет отвергать гипотезу о наличии U-образной зависимости данного показателя от возраста.

Результаты анализа ряда геометрических индексов Баевского (ИБР, ПАПР, ВПР) и статистических показателей variability СР (табл. 2, рис. 4) согласуются в данными других авторов о возрастании в зрелом возрасте показателей, связанных с парасимпатическими влияниями (RMSSD и pNN50) [11–13].

Однако, в отличие от данных коллег, у показателя SDNN, отражающего автономный баланс [11], мы выявили не линейное снижение с возрастом, а так-

Таблица 1

Численность выборок разного возраста и пола

Возраст	Пол	
	женщины	мужчины
20,1–27,0	65	61
27,1–34,0	106	68
34,1–41,0	199	75
41,1–48,0	271	71
48,1–55,0	262	70
55,1–62,0	135	40
62,1–69,0	46	26
69,1–76,0	23	15
76,1–83,0	10	10
83,1–90,0	2	4
Всего	1119	440
	1559	

Коэффициенты корреляции (R) между показателями variability CP и АД и возрастом испытуемых

Показатель	Женщины			Жужчины		
	<i>n</i>	<i>R</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>R</i>	<i>p</i>
Базовые показатели сердечно-сосудистой системы						
ЧСС	1119	<b>-0,173</b>	<b>&lt;0,001*</b>	440	-0,020	0,672
АДс	1111	<b>0,186</b>	<b>&lt;0,001*</b>	433	-0,015	0,752
АДд	1111	1,017	0,559	433	-0,077	0,106
Спектральные показатели variability CP						
TP	1119	<b>-0,410</b>	<b>&lt;0,001*</b>	440	-0,451	<b>&lt;0,001*</b>
VLF	1119	<b>-0,213</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>440</b>	<b>-0,349</b>	<b>&lt;0,001*</b>
LF	1119	<b>-0,416</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>440</b>	<b>-0,469</b>	<b>&lt;0,001*</b>
HF	1119	-0,380	<b>&lt;0,001*</b>	440	-0,406	<b>&lt;0,001*</b>
VLF%	1119	<b>0,252</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>440</b>	<b>0,222</b>	<b>&lt;0,001*</b>
LF%	1119	<b>-0,130</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>440</b>	<b>-0,190</b>	<b>&lt;0,001*</b>
HF%	1119	<b>-0,121</b>	<b>&lt;0,001*</b>	440	-0,062	0,189
LF/HF	1119	0,027	0,358	440	-0,028	0,547
Статистические и геометрические показатели variability CP						
ИВР	770	<b>0,249</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	0,270	<b>&lt;0,001*</b>
ПАПР	770	<b>0,199</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	<b>0,244</b>	<b>&lt;0,001*</b>
ВПР	770	<b>0,139</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	<b>0,210</b>	<b>&lt;0,001*</b>
ИН	771	<b>0,210</b>	<b>&lt;0,001*</b>	405	0,252	<b>&lt;0,001*</b>
SDNN	770	<b>-0,338</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	<b>-0,351</b>	<b>&lt;0,001*</b>
RMSSD	770	<b>-0,140</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	<b>-0,147</b>	<b>0,003*</b>
pNN50	770	<b>0,158</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>405</b>	<b>0,113</b>	<b>0,022*</b>
Спектральные показатели variability АДс						
TP	1108	0,049	0,097	433	0,077	0,109
VLF	1108	<b>0,086</b>	<b>0,004*</b>	433	0,091	0,058
LF	1108	0,020	0,516	433	0,002	0,967
HF	1108	0,009	0,769	433	0,077	0,112
VLF%	1108	<b>0,070</b>	<b>0,020*</b>	433	0,059	0,218
LF%	1108	-0,036	0,223	<b>433</b>	<b>-0,114</b>	<b>0,017*</b>
HF%	1108	-0,059	0,051	433	0,007	0,880
Спектральные показатели variability АДд						
TP	1111	-0,043	0,149	433	0,016	0,730
VLF	1111	0,021	0,479	433	0,089	0,063
LF	1111	<b>-0,122</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>433</b>	<b>-0,117</b>	<b>0,015*</b>
HF	1111	<b>-0,080</b>	<b>0,008*</b>	433	-0,008	0,868
VLF%	1111	<b>0,099</b>	<b>0,001*</b>	<b>433</b>	<b>0,166</b>	<b>0,001*</b>
LF%	1111	<b>-0,134</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>433</b>	<b>-0,241</b>	<b>&lt;0,001*</b>
HF%	1111	<b>-0,067</b>	<b>0,026*</b>	433	-0,010	0,833
Показатели барорефлекторной регуляции CP						
Альфа-индекс	1108	<b>-0,397</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>433</b>	<b>-0,469</b>	<b>&lt;0,001*</b>
ЧБР	758	<b>-0,422</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>398</b>	<b>-0,452</b>	<b>&lt;0,001*</b>

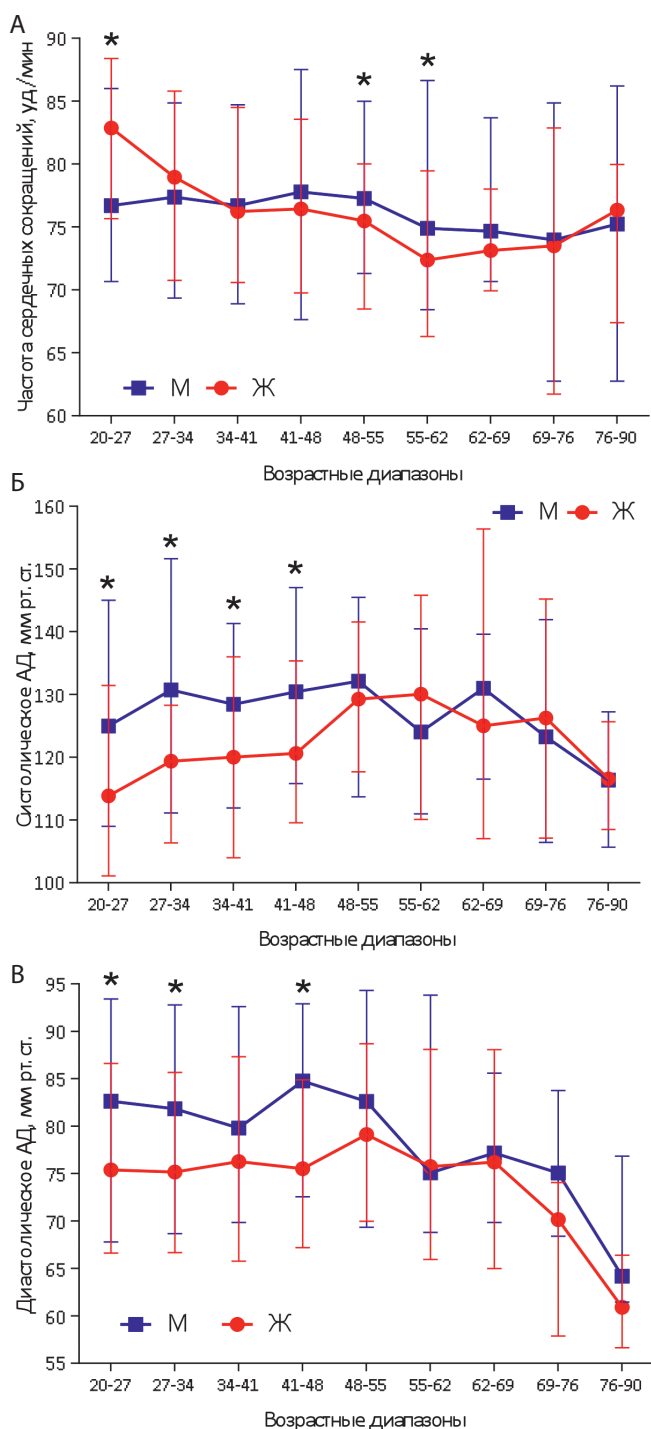
Примечание: расшифровку названия показателей см. в тексте; статистически значимые коэффициенты корреляции выделены жирным шрифтом, статистически значимый уровень отмечен \*.

же квадратичную зависимость, с минимумом в 69 лет (рис. 5, А).

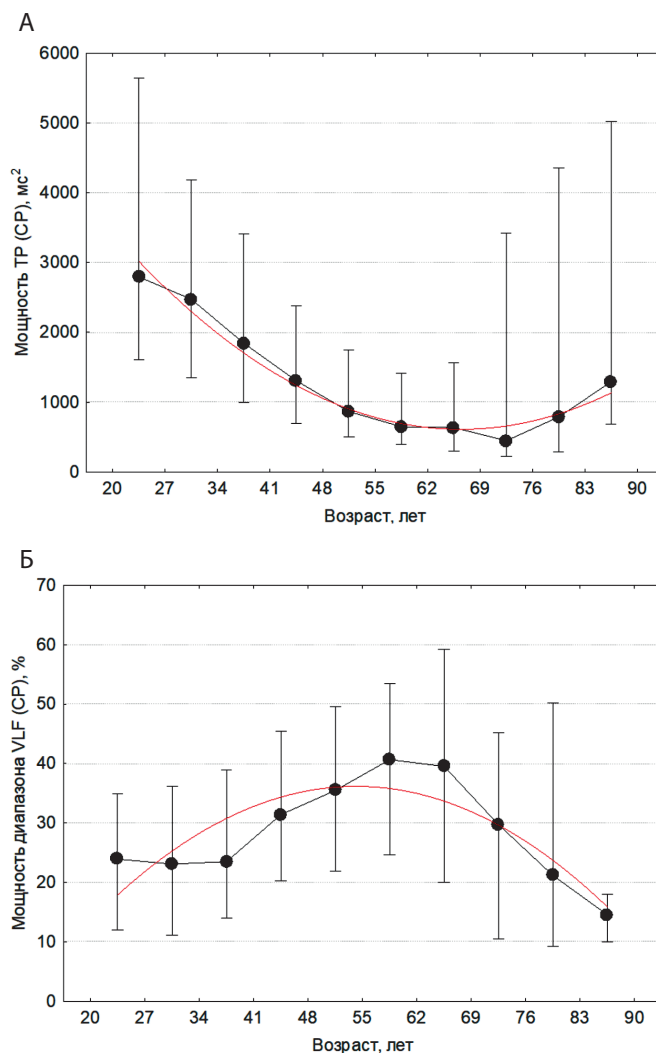
Аналогичный характер возраст-зависимых изменений обнаружен и для ИН – геометрического показателя variability CP (рис. 5, Б). В норме ИН колеблется в пределах 80–150 у.е. [1]. Незначительная эмоциональная или физическая нагрузка увеличивает ИН

в 1,5–2 раза, у больных с постоянным напряжением регуляторных систем (психический стресс, недостаточность кровообращения) ИН в покое равен 400–600 у.е., у больных с острым инфарктом миокарда ИН в покое достигает 1000–1200 у.е. В нашем исследовании данный показатель не различался статистически значимо у женщин и мужчин, и наибольшие его величины зарегистрированы в возрастном диапазоне 48–76 лет, как и относительной мощности диапазона VLF спектра CP (рис. 2, Б), отражающей, в том числе, влияние психоэмоциональных факторов.

Аналогичную U-образную зависимость от возраста мы обнаружили для показателей, характеризующих сопряжение CP и АД – артериальный барорефлекс. Мы не выявили различий между мужчинами и женщинами по величинам альфа-индекса и ЧБР кроме самого раннего возрастного диапазона: у молодых мужчин этот показатель был выше (рис. 6). Минимальные амплитудные характеристики барорефлекса зафиксиро-



**Рис. 1.** Возрастная динамика основных показателей сердечно-сосудистой системы у мужчин (М) и женщин (Ж). А – ЧСС, Б – АДс, В – АДд. Статистическая значимость различий между мужчинами и женщинами (по критерию Манна–Уитни): \* –  $p < 0.05$ .



**Рис. 2.** Возрастная динамика общей мощности спектра variability CP (А) и относительной мощности диапазона VLF (Б). Красная линия обозначает статистический (регрессионный) тренд изменений (квадратичная зависимость).

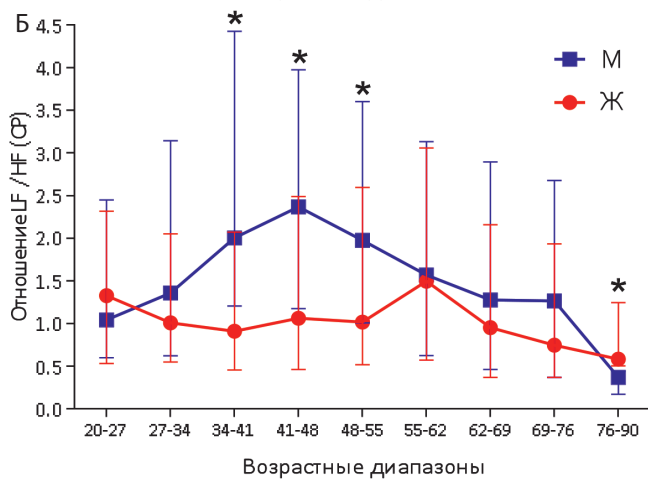
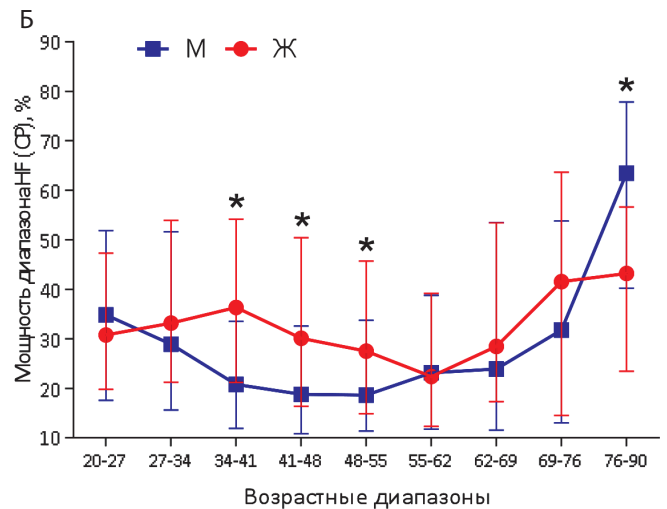
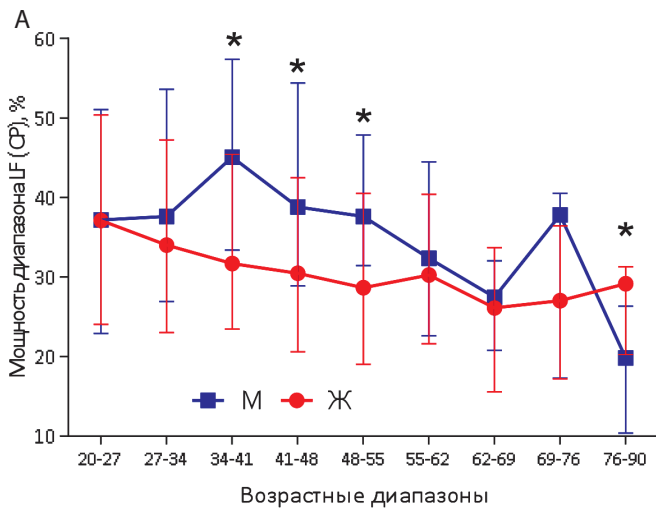


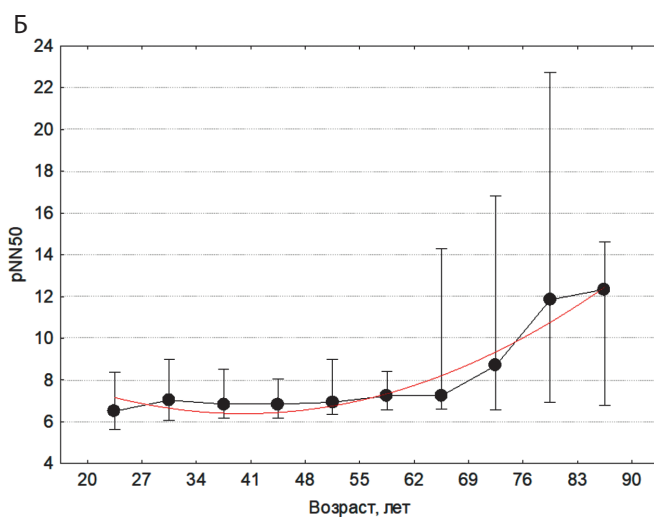
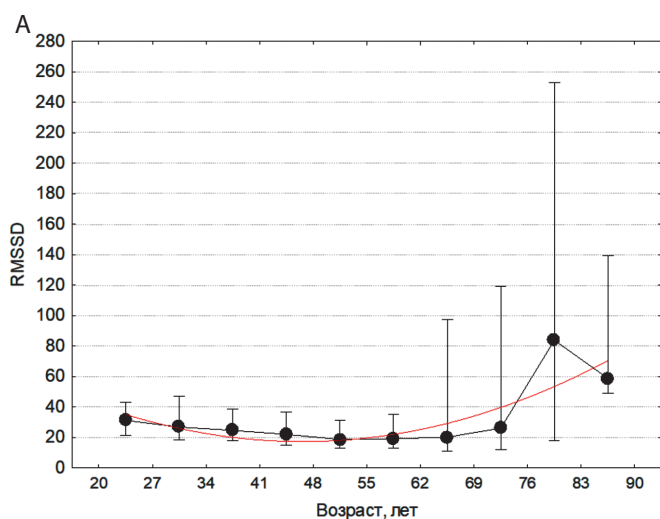
Рис. 3. Возрастная динамика относительной мощности диапазонов LF (А), HF (Б) и отношения LF/HF (В) в спектре вариальности СР. Обозначения статистической значимости – как на рис. 1.

Таблица 3

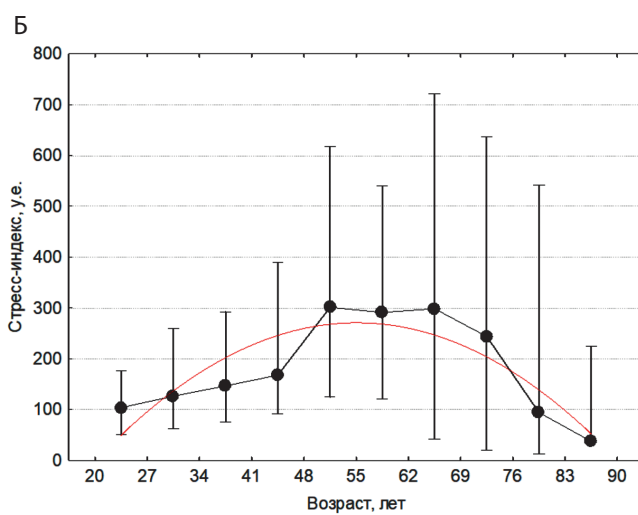
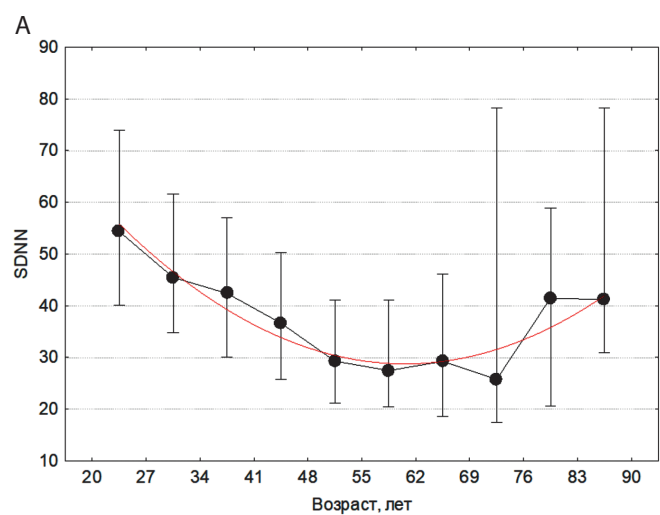
Результаты статистической проверки гипотезы о квадратичной зависимости показателей вариальности СР и АД от возраста

Показатель	Женщины				Мужчины			
	<i>n</i>	<i>F</i> (1, <i>n</i> -2)	<i>p</i>	<i>Beta</i>	<i>n</i>	<i>F</i> (1, <i>n</i> -2)	<i>p</i>	<i>beta</i>
ЧСС	1119	<b>29,774</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,160</b>	440	0,200	0,654	-0,020
АДс	1111	<b>29,810</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,162</b>	433	0,666	0,414	-0,040
TP (CP)	1119	<b>7,785</b>	<b>0,005*</b>	<b>-0,080</b>	440	<b>6,962</b>	0,010*	-0,100
VLF (CP) %	1119	<b>61,020</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,228</b>	440	<b>15,995</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,188</b>
LF (CP) %	1119	<b>28,716</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,160</b>	440	0,542	0,461	0,035
HF (CP) %	1119	<b>7,621</b>	<b>0,005*</b>	<b>-0,080</b>	440	<b>26,465</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,240</b>
LH/HF	1119	0,013	0,909	0,000	440	0,357	0,244	<b>-0,060</b>
ИИ	771	<b>17,393</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,149</b>	405	<b>20,064</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,218</b>
SDNN	770	<b>27,887</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,190</b>	405	<b>13,903</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,180</b>
RMSSD	770	<b>5,737</b>	<b>0,017*</b>	<b>0,118</b>	405	<b>10,047</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,114</b>
pNN50	770	<b>11,023</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,119</b>	405	<b>12,421</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>0,173</b>
LF (АДс) %	1108	<b>4,185</b>	<b>0,041*</b>	<b>-0,060</b>	433	3,143	0,076	<b>-0,090</b>
LF (АДд) %	1111	<b>15,805</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,120</b>	433	<b>15,751</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,190</b>
Альфа-индекс	1108	<b>75,664</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,250</b>	433	<b>77,875</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,390</b>
ЧБР	758	<b>36,805</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,220</b>	398	<b>50,020</b>	<b>&lt;0,001*</b>	<b>-0,330</b>

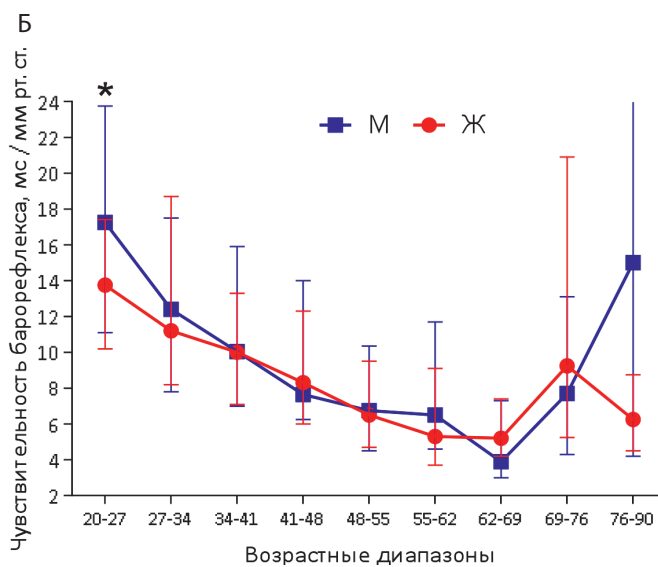
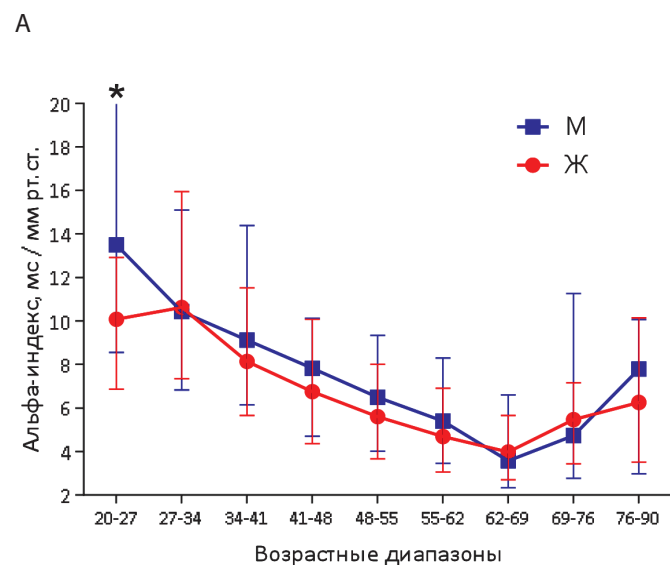
Примечание: расшифровку названия показателей см. в тексте; статистически значимые величины выделены жирным шрифтом, статистически значимый уровень отмечен \*.



**Рис. 4.** Возрастная динамика величин RMSSD (А) и pNN50 (Б). Красная линия обозначает статистический (регрессионный) тренд изменений (квадратичная зависимость).



**Рис. 5.** Возрастная динамика величин SDNN (А) и ИИ (Б). Красная линия обозначает статистический (регрессионный) тренд изменений (квадратичная зависимость).



**Рис. 6.** Возрастная динамика альфа-индекса (А) и ЧБР (Б). Обозначения статистической значимости – как на рис. 1.



ваны в возрастном диапазоне 62–69 лет. Между тем, оценка барорефлекса по синхронизации СР и АД в нагрузочных пробах в качестве точки минимума даёт возраст около 40 лет [17].

Приоритетными данными, полученными в нашем исследовании, является выявленная зависимость от возраста спектральных показателей variability АД. Мы не обнаружили возраст-зависимой динамики общей мощности спектров variability как АДс, так и АДд. Однако мы обнаружили перераспределение относительной мощности разных диапазонов, что отражает изменение относительного вклада разных механизмов регуляции АД в возрастном аспекте. Так, в спектре variability АДс выявлено линейное возрастание абсолютной мощности диапазона VLF (у мужчин – на уровне статистической тенденции,  $p = 0,058$ ), в спектре variability АДд – возрастание относительной мощности данного диапазона (табл. 1). Мы предполагаем, что это может быть связано с усилением гуморальных влияний на АД. Известно, для старших возрастных групп характерны как различного рода метаболические сдвиги, так и ассоциированная с ними высокая вероятность гипертензии [18]. Кроме того, наличие различных патологий у работающих людей, как правило, компенсировано применением лекарственных средств. Однако данный фактор с нашей работе мы не учитывали.

Также мы обнаружили U-образную зависимость от возраста относительной мощности диапазона LF в спектрах variability АДс и АДд (табл. 2), со снижением данных показателей после 55 лет, одинаково у мужчин и женщин (рис. 7). Эти данные предполагают снижение вклада в регуляцию АД нейрогенной составляющей (включая супрабульбарные влияния), что согласуется с описанным ранее феноменом возрастной инволюции симпатической регуляции сердечно-сосудистой системы [19].

При анализе возрастной динамики ряда показателей мы обратили внимание на то обстоятельство, что возрастание величин в старших возрастных диапазонах сопровождается возрастанием дисперсии. Анализ выборок в возрастном диапазоне старше 65 лет показал, что для общей мощности спектра variability СР (рис. 2, А; рис. 8, А), абсолютной мощности диапазона HF в спектре СР (рис. 8, Б) и RMSSD (рис. 4, А; 8, В) было характерно наличие единичных испытуемых с величинами, существенно превышающими  $M+2\sigma$  (выше 95-го перцентиля). У этих людей повышенный уровень активности регуляторных систем обусловлен преобладанием вагусных влияний на сердечно-сосудистую систему, что можно рассматривать как функционально несбалансированное состояние, о чём мы уже писали ранее по результатам балльной (нормированной) оценки на меньшей по объёму выборке [20].

Однако у показателя SDNN, отражающего баланс между симпатическими и парасимпатическими влияниями на СР, распределение было более равномерным, предполагающим наличие широкого диапазона нормальных величин в этом возрастном периоде (рис. 8, Г). По-видимому, в стареющем организме предусмотрен механизм, компенсирующий недостаточность нейрогенных симпатических влияний, и повышающий общую устойчивость системы.

## Заключение

Полученные нами данные согласуются с результатами исследований других научных групп. В целом они свидетельствуют о снижении с возрастом (после 55 лет) относительного вклада в регуляцию сердечно-сосудистой системы симпатических влияний, при возрастании представленности нейрогенных вагусных и гуморальных компонентов.

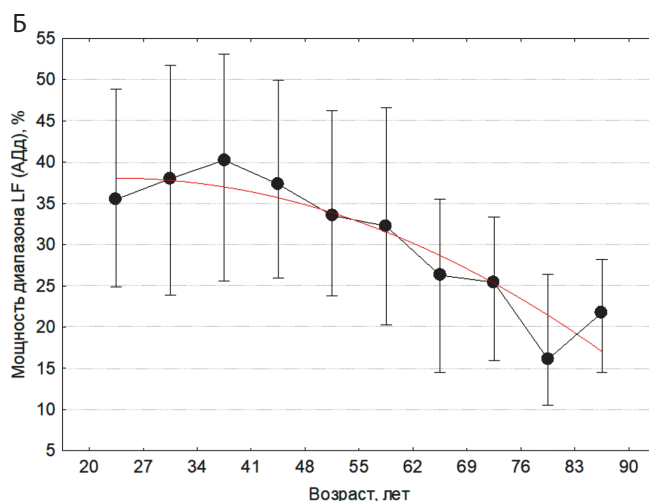
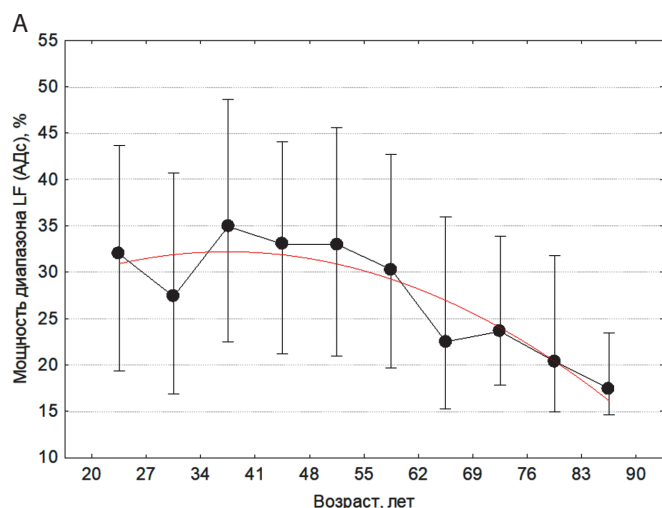
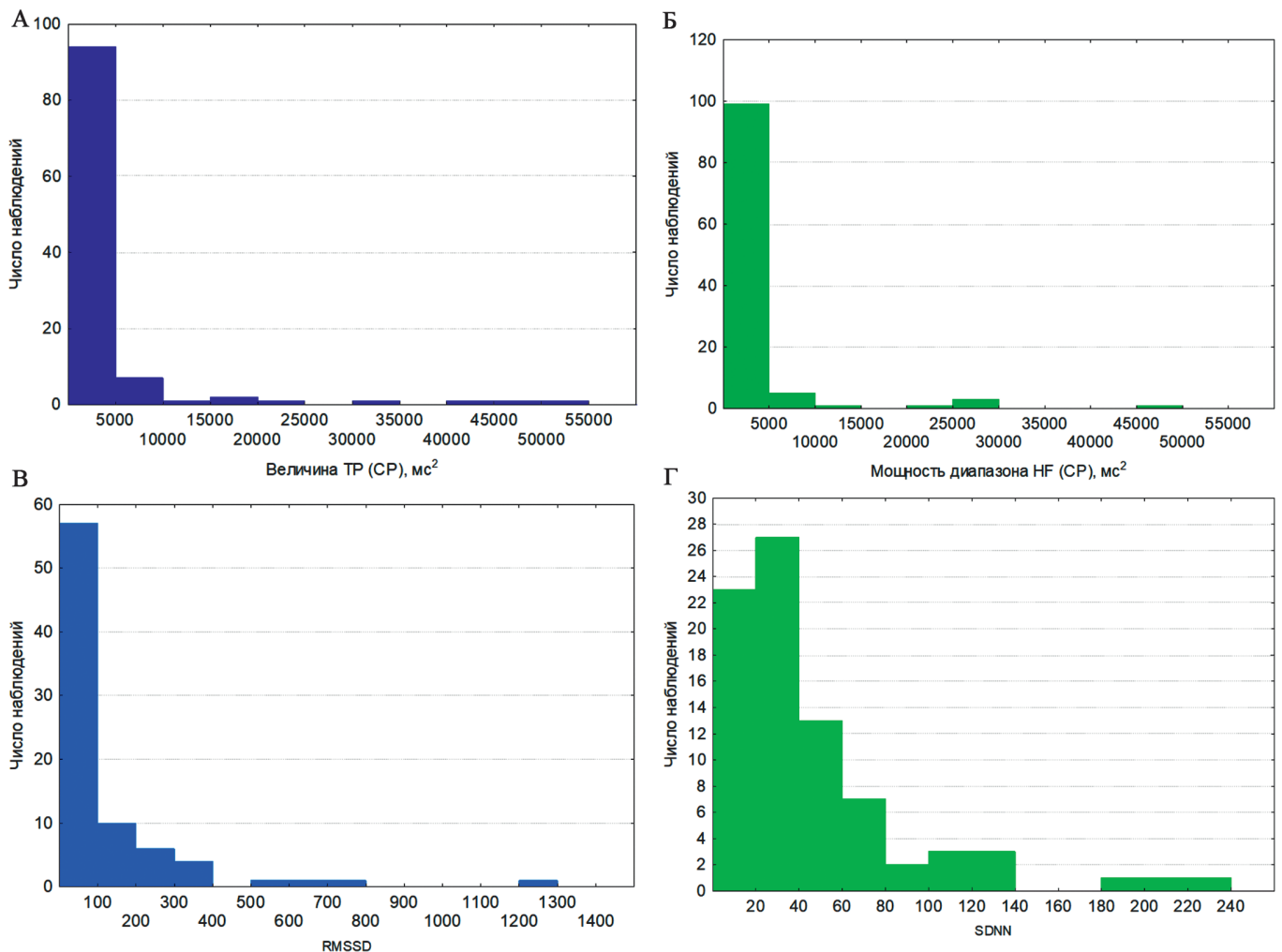


Рис. 7. Возрастная динамика относительной мощности диапазона LF в спектрах variability АДс (А) и АДд (Б). Красная линия обозначает статистический (регрессионный) тренд изменений (квадратичная зависимость).



**Рис. 8.** Распределение величин общей мощности спектра variability CP – TP (А), абсолютной мощности в спектре CP диапазона HF (Б), RMSSD (В) и SDNN (Г) в общей выборке мужчин и женщин старше 65 лет.

Величины изученных показателей в различных по-  
 лозовозрастных выборках могут быть взяты за основу при  
 их нормировании в прикладных целях.

### Список литературы

1. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. *Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе*. М.: Наука, 1984. 221 с.
2. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry*. 2017; 10: 66–76; DOI: 10.12710/cardiometry.2017.10.6676
3. Shaffer F., Meehan Z.M., Zerr C.L. A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Front. Neurosci*. 2020; 14: 594880. DOI: 10.3389/fnins.2020.594880
4. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health*. 2017; 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258
5. Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *J. Intensive Care Soc*. 2020; 21(2): 148–157, DOI: 10.1177/1751143719853744
6. Baek H.J., Cho C.H., Cho J., Woo J.M. Reliability of ultra-short-term analysis as a surrogate of standard 5-min analysis of heart

- rate variability. *Telemed. J. E. Health*. 2015; 21(5): 404–414. DOI: 10.1089/tmj.2014.0104
7. Kuo T.B., Lin T., Yang C.C., Li C.L., Chen C.F., Chou P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *Am. J. Physiol*. 1999; 277(6): 2233–2239. DOI: 10.1152/ajpheart.1999.277.6.H2233
8. Moodithaya S., Avadhany S.T. Gender differences in age-related changes in cardiac autonomic nervous function. *J. Aging Res*. 2012; 2012: 679345. DOI: 10.1155/2012/679345
9. Koenig J., Thayer J.F. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2016; 64: 288–310. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.007
10. Parashar R., Amir M., Pakhare A., Rathi P., Chaudhary L. Age Related Changes in Autonomic Functions. *J. Clin. Diagn. Res*. 2016; 10(3): 11–5. DOI: 10.7860/JCDR/2016/16889.7497
11. Geovanini G.R., Vasques E.R., de Oliveira Alvim R., Mill J.G., Andreão R.V., Vasques B.K., Pereira A.C., Krieger J.E. Age and Sex Differences in Heart Rate Variability and Vagal Specific Patterns – Baependi Heart Study. *Glob. Heart*. 2020; 15(1): 71. DOI: 10.5334/gh.873
12. Zulfiqar U., Jurivich D.A., Gao W., Singer D.H. Relation of high heart rate variability to healthy longevity. *Am. J. Cardiol*. 2010; 105(8): 1181–1185. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.12.022
13. Almeida-Santos M.A., Barreto-Filho J.A., Oliveira J.L., Reis F.P., da Cunha Oliveira C.C., Sousa A.C. Aging, heart rate variability and patterns of autonomic regulation of the heart. *Arch. Gerontol. Geriatr*. 2016; 63: 1–8. DOI: 10.1016/j.archger.2015.11.011

14. Stauss H.M. Identification of Blood Pressure Control Mechanisms by Power Spectral Analysis. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 2007; 34(4): 362–368. DOI: 10.1111/j.1440-1681.2007.04588.x
15. Macefield V.G., Henderson L.A. Identification of the human sympathetic connectome involved in blood pressure regulation. *Neuroimage.* 2019; 202: 116–119, DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.116119
16. Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E.A., Ponikowski P. [Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control]. *Kardiol. Pol.* 2010; 68(8): 951–957. [in Polish]
17. Орлова Е.А., Тарасова О.С., Соськин В.Д., Боровик А.С. Влияние возраста на барорефлекторную синхронизацию артериального давления и частоты сердечных сокращений при пассивной ортопробе. *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2021, 55(1): 46–50. DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-1-46-50
18. S S., Rao M.Y., Aslam S.M. Assessment of Functions of the Autonomic Nervous System in the Elderly with Different Comorbid Factors. *J. Neurosci. Rural Pract.* 2021; 12(1): 80–87. DOI: 10.1055/s-0040-1718854
19. Швалев В.Н., Тарский Н.А. Феномен ранней возрастной инволюции симпатического отдела вегетативной нервной системы. *Кардиология.* 2001; 2: 10–14.
20. Панкова Н.Б., Алчинова И.Б., Яковенко Е.Н., Крганов М.Ю. Представленность разных величин функциональных показателей сердечно-сосудистой системы в возрасте 22–90 лет. *Технологии живых систем.* 2016; 13(7): 16–24.

## References

1. Bayevskiy R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. [Mathematical analysis of changes in heart rate during stress]. Moscow: Nauka, 1984. 221 p. [in Russian]
2. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry.* 2017; 10: 66–76; DOI: 10.12710/cardiometry.2017.10.6676
3. Shaffer F., Meehan Z.M., Zerr C.L. A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Front. Neurosci.* 2020; 14: 594880. DOI: 10.3389/fnins.2020.594880
4. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health.* 2017; 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258
5. Johnston B.W., Barrett-Jolley R., Krige A., Welters I.D. Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *J. Intensive Care Soc.* 2020; 21(2): 148–157, DOI: 10.1177/1751143719853744
6. Baek H.J., Cho C.H., Cho J., Woo J.M. Reliability of ultra-short-term analysis as a surrogate of standard 5-min analysis of heart rate variability. *Telemed. J. E. Health.* 2015; 21(5): 404–414. DOI: 10.1089/tmj.2014.0104
7. Kuo T.B., Lin T., Yang C.C., Li C.L., Chen C.F., Chou P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *Am. J. Physiol.* 1999; 277(6): 2233–2239. DOI: 10.1152/ajpheart.1999.277.6.H2233
8. Moodithaya S., Avadhany S.T. Gender differences in age-related changes in cardiac autonomic nervous function. *J. Aging Res.* 2012; 2012: 679345. DOI: 10.1155/2012/679345
9. Koenig J., Thayer J.F. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2016; 64: 288–310. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.007
10. Parashar R., Amir M., Pakhare A., Rathi P., Chaudhary L. Age Related Changes in Autonomic Functions. *J. Clin. Diagn. Res.* 2016; 10(3): 11–5. DOI: 10.7860/JCDR/2016/16889.7497
11. Geovanini G.R., Vasques E.R., de Oliveira Alvim R., Mill J.G., Andreão R.V., Vasques B.K., Pereira A.C., Krieger J.E. Age and Sex Differences in Heart Rate Variability and Vagal Specific Patterns – Baependi Heart Study. *Glob. Heart.* 2020; 15(1): 71. DOI: 10.5334/gh.873
12. Zulfqar U., Jurivich D.A., Gao W., Singer D.H. Relation of high heart rate variability to healthy longevity. *Am. J. Cardiol.* 2010; 105(8): 1181–1185. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.12.022
13. Almeida-Santos M.A., Barreto-Filho J.A., Oliveira J.L., Reis F.P., da Cunha Oliveira C.C., Sousa A.C. Aging, heart rate variability and patterns of autonomic regulation of the heart. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2016; 63: 1–8. DOI: 10.1016/j.archger.2015.11.011
14. Stauss H.M. Identification of Blood Pressure Control Mechanisms by Power Spectral Analysis. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 2007; 34(4): 362–368. DOI: 10.1111/j.1440-1681.2007.04588.x
15. Macefield V.G., Henderson L.A. Identification of the human sympathetic connectome involved in blood pressure regulation. *Neuroimage.* 2019; 202: 116–119, DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.116119
16. Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E.A., Ponikowski P. [Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control]. *Kardiol. Pol.* 2010; 68(8): 951–957. [in Polish]
17. Орлова Е.А., Тарасова О.С., Соськин В.Д., Боровик А.С. [Influence of age on baroreflex synchronization of arterial pressure and heart rate during passive standing test]. *Авиакосмическая и экологическая медицина [Aerospace and Environmental Medicine].* 2021, 55(1): 46–50. DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-1-46-50 [in Russian]
18. S. S., Rao M.Y., Aslam S.M. Assessment of Functions of the Autonomic Nervous System in the Elderly with Different Comorbid Factors. *J. Neurosci. Rural Pract.* 2021; 12(1): 80–87. DOI: 10.1055/s-0040-1718854
19. Shvalev V.N., Tarskiy N.A. [The phenomenon of early age-related involution of the sympathetic division of the autonomic nervous system]. *Kardiologiya [Cardiology].* 2001; 2: 10–14. [in Russian]
20. Панкова Н.Б., Алчинова И.Б., Яковенко Е.Н., Крганов М.Ю. [The prevalence of the different values of the cardiovascular system functional parameters at the age of 22–90 years]. *Tekhnologii zhivyykh sistem [Living Systems Technologies].* 2016; 13(7): 16–24. [in Russian]

### Сведения об авторах:

Панкова Наталья Борисовна — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <http://orcid.org/0000-0002-3582-817X>