

Региональные особенности вариабельности сердечного ритма у молодых жителей различных климатогеографических зон Российской Федерации

Инесса Владиславовна Аверьянова

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

Аннотация. Северо-Восток и Арктический регион Российской Федерации (Северо-Запад), несмотря на общую принадлежность к северным широтам, отличаются значительной вариабельностью климатических параметров, что, несомненно, требует комплексного изучения механизмов физиологической адаптации. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) является высокочувствительным маркером активности автономной нервной системы, отражающим динамическое взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов в регуляции сердечно-сосудистой деятельности. Это делает данный метод ценным инструментом для оценки адаптационных резервов организма и позволяет выявлять функциональные изменения в условиях воздействия различных факторов, включая климатогеографические особенности региона проживания. **Целью** настоящего исследования явилось изучение региональных особенностей нейровегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы на основе анализа параметров ВСР у жителей различных природно-климатических зон: Северо-Востока (г. Магадан), Северо-Запада (г. Мурманск) в сравнении с контрольной группой из средней полосы России (г. Ульяновск, г. Москва). **Материал и методы.** В исследование были включены 299 обследуемых 17–21 года, из которых 119 юношей уроженцы Северо-Востока России, 72 юноши – жители Северо-Западного региона России и 108 юношей – представители средней полосы России. У всех обследуемых в состоянии покоя (положение сидя) проводилась запись и анализ параметров вариабельности сердечного ритма с использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард». **Результаты.** Установлено, что проживание в условиях Заполярья способствует снижению вегетативных функций, что обусловлено уменьшением активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и сдвигом в область доминирования симпатической активации. У уроженцев северо-восточного региона большинство показателей вариабельности сердечного ритма находилось в пределах оптимальных физиологических диапазонов, при этом часть параметров указывала на повышенную парасимпатическую активность. Контрольная группа (юноши средней полосы) демонстрировала нормотонический вегетативный статус, исключающий значимые адаптационные изменения регуляторных механизмов. **Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о формировании регион-специфичных диапазонов функциональной нормы, детерминированных особенностями природно-климатических условий. Выявленные закономерности позволяют рассматривать параметры вариабельности сердечного ритма в качестве информативных и значимых физиологических маркеров при воздействии климатогеографических факторов, характерных для различных регионов России.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, юноши, Север, Арктика, средняя полоса России

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2025-22-3-109-117>

Region-specific heart rate variability observed in young male residents of different climatic and geographical zones of the Russian Federation

Inessa V. Averyanova

Scientific Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

Abstract. Background. Despite belonging to the northern latitudes, the Northeast of the Russian Federation and its Arctic (Northwest) region show a significant climatic variability, which undoubtedly requires a comprehensive study in terms of the mechanisms of physiological adaptation. Heart rate variability (HRV) is a highly sensitive marker of autonomic nervous system activity since it reflects the dynamic interaction of sympathetic and parasympathetic factors in regulating cardiovascular performance, which allows quantitatively assessing the body adaptation reserves and identifying functional changes under various influences including specific features of the climate and geography of the region. **Objective.** The research comparatively analysed HRV parameters in residents of different natural and climatic zones of Russia: Northeast (the city of Magadan), Northwest (the city of Murmansk), and the baseline (control) group from Central Russia (the cities of Ulyanovsk and Moscow) with the further studying region-related neuro autonomic regulation of cardiovascular system. **Material and Methods.** Two hundred and ninety-nine male volunteers participated in the survey: 119 people aged 17–21 from the Northeast of Russia, 72 people from Russia's Northwest and 108 young men from Central Russia. Resting (sitting position) heart rate variability parameters were recorded and analysed using the Varicard hard & software unit. **Results.** It was found that living in the Polar region contributes to reducing autonomic functions owing to a decrease in the activity

of the parasympathetic part of the autonomic nervous system and a shift to the sympathetic activation dominance. In residents of the northeastern region, heart rate variability parameters were observed to be mainly within the optimal physiological ranges, with some parameters indicating increased parasympathetic activity. The control group (Central Russia) demonstrated normotonic autonomic status that excluded significant adaptation changes in regulatory mechanisms. **Conclusion.** The study results allowed us to conclude of the region-specific ranges of the functional norm that is forming under the influence of the natural and climatic conditions. The revealed regularities contributed to considering the parameters of heart rate variability as informative and significant physiological markers reflecting different climatic impacts that people experience in different regions of Russia.

Keywords: heart rate variability, young men, North, Arctic, Central Russia

Изучение адаптационных реакций человека в высокоширотных условиях приобретает особую актуальность в контексте активного освоения Арктической зоны Российской Федерации. Физиологическое обоснование стратегий адаптации необходимо для минимизации негативных последствий воздействия экстремальных факторов среды на организм, что имеет ключевое значение для обеспечения работоспособности и здоровья населения в условиях реализации государственных программ развития данного стратегического региона [1]. В настоящее время анализ variability сердечного ритма является одним из ключевых неинвазивных методов в физиологии, который позволяет количественно оценивать регуляторные механизмы сердечно-сосудистой системы. Данный подход предоставляет ценную информацию о состоянии автономной (вегетативной) нервной системы, отражая динамическое взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов в контроле синусового узла [2], а также широко известен как эффективный и ценный инструмент для оценки вегетативной регуляции сердца [3]. Variability сердечного ритма (ВСР) в первую очередь обусловлена нелинейным взаимодействием эфферентного положительно-хронотропного влияния симпатической нервной системы, отрицательного хронотропного влияния парасимпатической нервной системы, собственной активности клеток-пейсмекеров сердца, а также внутренних и внешних не нейронных факторов, которые отражают контекстно-зависимую психонейроэндокринную модуляцию контроля сердечно-сосудистой системы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к организму [4]. С этой целью различные показатели ВСР во временной, частотной и/или нелинейной областях широко используются в качестве маркеров сердечно-сосудистого здоровья человека и стратификации риска [5].

Также известно, что вегетативная нервная система регулирует различные функции организма и в сочетании с эндокринной и иммунной системами она поддерживает гомеостаз организма, регулируя физиологическую активность в ответ на изменения как во внутренней, так и во внешней среде [6]. В целом ВСР служит биомаркером состояния здоровья: более низкие значения ВСР указывают на аномальную адаптацию, связанную с недостаточностью вегетативной нервной системы, в то время как более высокие значения указывают на эффективную адаптацию и оптимальное функционирование вегетативных механизмов [7]. Оптимальный уровень ВСР в организме отражает здоровое функционирование

и присущую ему способность к саморегуляции, адаптивности или жизнестойкости [8]. Стоит отметить, что variability сердечного ритма (ВСР) служит высокочувствительным маркером динамической перестройки вегетативного баланса в ответ на действие экзогенных факторов, в том числе климатогеографических условий [9].

Проблема оптимизации адаптационных процессов и поддержания гомеостаза у человека в условиях климата Северо-Востока и арктических территорий Северо-Запада России представляет значительный интерес для физиологии, что, несомненно, требует учета региональной климатической специфики. Несмотря на общую принадлежность к одному географическому понятию «Север» – Северо-Восток и Северо-Запад России демонстрируют существенные различия по своим климатическим характеристикам, что не всегда можно объяснить различной широтностью данных регионов [10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение региональных особенностей нейровегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы на основе анализа variability сердечного ритма у жителей различных природно-климатических зон России – Северо-Востока (г. Магадан), Северо-Запада (г. Мурманск) в сравнении с контрольной группой из средней полосы России (г. Ульяновск, г. Москва).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках экспедиционных исследований, проведенных в Научно-исследовательском центре «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук с целью оценки функциональных резервов организма жителей различных климатогеографических регионов России в осенне-зимний период 2024 года осуществлен комплексный анализ параметров variability сердечного ритма у представителей юношеского возраста (17–21 год), относящихся к европеоидной популяции (1–3 поколения).

Локации проведения научно-исследовательских работ: Северо-Восток (Дальний Восток, г. Магадан), Северо-Запад (Арктическая зона Российской Федерации, г. Мурманск) и средняя полоса России (умеренно-континентальная зона – г. Ульяновск, г. Москва).

Исследования проведены в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013). До включения в исследование у всех обследуемых было получено письменное информированное согласие. Протокол

исследования одобрен локальным этическим комитетом федерального государственного бюджетного учреждения науки НИЦ «Арктика» ДВО РАН (заключение № 002/021 от 26.11.2021).

Критерии включения в исследование: мужской пол, юношеский период онтогенеза, отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья, наличие информированного согласия. Все лица, вошедшие в выборку, являлись постоянными жителями исследуемого региона.

Для регистрации показателей variability сердечного ритма использовали комплекс «Варикард» (ООО Институт внедрения новых медицинских технологий РАМЕНА, Россия) с программным обеспечением «ISCIM 6.1» У обследуемых регистрировали показатели variability сердечного ритма во временной и частотной областях: $MxDMn$, мс – разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, или вариационный размах; $RMSSD$, мс – квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов; Mo , мс – мода; $AMo50$, мс – амплитуда моды; $pNN50$, мс – число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в % у общему числу кардиоинтервалов; $SDNN$, мс – стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов; SI , усл. ед. – стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем); TP , $мс^2$ – суммарная мощность спектра временных значений R-R интервалов сердечного ритма. HF , $мс^2$ – мощность спектра высокочастотного компонента variability сердечного ритма в диапазоне 0,4–0,15 Гц (дыхательные волны); LF , $мс^2$ – мощность спектра низкочастотного компонента variability сердечного ритма в диапазоне 0,15–0,04 Гц (сосудистые волны); VLF , $мс^2$ – мощность спектра очень низкочастотного компонента variability ритма сердца в диапазоне 0,04–0,015 Гц. Также анализировался индекс централизации (IC, усл. ед.) и индекс симпатовагального баланса (LF/HF , усл. ед.).

Скорость потребления кислорода VO_2 (мл/мин) определяли с помощью метабологафа Спиролан-М (Ланамедика, Россия). Измерение артериального давления проводилось с использованием автоматического тонометра Nesei DS-1862 (Nihon Seimitsu Sokki Co., Ltd., Япония). Регистрировались следующие параметры: систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.).

Статистический анализ результатов исследования проводили стандартными методами математической статистики в программе «Statistica 7.0» (StatSoft, США). Нормальность распределения количественных показателей оценивали с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде

медианы (Me) и межквартильного размаха [Q_1 ; Q_3], а параметрических – как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). Сравнение независимых выборок проводили с применением непараметрического U-критерия Манна – Уитни. При множественном сравнении для выборок с нормальным распределением был использован параметрический однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Далее, для выявления статистически значимых различий между конкретными группами нами был использован апостериорный анализ с помощью теста для множественных сравнений Шеффе. Статистически значимым считалось значение $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий объем выборки составил 299 обследуемых в возрасте от 17 до 21 года, сопоставимых по социально-демографическим (студенческий статус) и физиологическим критериям (регламентированная двигательная активность в рамках учебной программы), из которых 119 юношей – уроженцы Северо-Востока России ($19,5 \pm 0,2$) года, ИМТ – ($23,0 \pm 0,4$) $кг/м^2$, 72 юноши – жители Северо-Западного региона России ($19,4 \pm 0,2$) года, ИМТ – ($23,1 \pm 0,4$) $кг/м^2$ и 108 юношей – представители средней полосы России ($19,7 \pm 0,3$) года и ИМТ – ($23,1 \pm 0,5$) $кг/м^2$.

В табл. представлены основные показатели variability сердечного ритма, а также сердечно-сосудистой системы у юношей, проживающих в различных регионах страны. Из приведенных данных видно, что в выборке юношей Северо-Западного региона в регуляции кардиоритма отмечается снижение активности парасимпатической составляющей вегетативной регуляции при возрастании роли симпатического звена, на что указывают статистически более высокие, чем у юношей Северо-Востока и средней полосы России, значения $AMo50$, SI , LF/HF при меньших числовых величинах $MxDMn$, $RMSSD$, $pNN50$, $SDNN$, Mo .

Полученные данные указывают на то, что для группы уроженцев Северо-Востока Российской Федерации, напротив, были характерны значимо более высокие величины $MxDMn$, $RMSSD$, $pNN50$, $SDNN$, Mo , что является отражением доминирования тонуса блуждающего нерва в регуляции сердечного ритма. Медианные величины основных характеристик variability сердечного ритма в исследуемой выборке юношей из средней полосы России находились в пределах, соответствующих нормотоническому типу регуляции кардиоритма. Анализ спектрально-волновых характеристик ВСР также указывает на усиление вклада парасимпатической составляющей в нейровегетативной обеспеченности в деятельности сердечно-сосудистой системы в выборке уроженцев Северо-Востока России.

Показатели вариабельности сердечного ритма и некоторые характеристики сердечно-сосудистой системы у юношей различных климатогеографических зон Российской Федерации

Анализируемый показатель	Локация научно-исследовательских работ $Me (Q_1; Q_3)/M \pm m$			Уровень значимости различий p		
	Северо-Запад России, $n = 72$ (1)	Северо-Восток России, $n = 119$ (2)	Средняя полоса РФ, $n = 108$ (3)	1–2	2–3	1–3
ЧСС, уд./мин	82,0 (74,0; 90,0)	72,5 (66,2; 82,2)	78,0 (71,0; 82,5)	<0,001	<0,05	<0,01
MxDMn, мс	216,0 (179,3; 253,5)	275,0 (203,0; 387,0)	241,0 (185,0; 314,8)	<0,001	<0,05	<0,01
RMSSD, мс	27,6 (18,4; 39,2)	42,9 (33,2; 61,1)	32,1 (25,4; 44,0)	<0,001	<0,001	<0,01
pNN50, %	5,7 (1,6; 16,9)	17,4 (8,7; 35,9)	9,6 (4,6; 21,2)	<0,001	<0,001	<0,01
SDNN, мс	41,8 (35,6; 50,9)	55,9 (40,1; 78,1)	48,5 (36,2; 60,7)	<0,001	<0,05	<0,01
Mo, мс	705,5 (647,5; 771,0)	808,0 (726,0; 905,0)	736,5 (684,5; 831,3)	<0,001	<0,001	<0,01
AMo, мс	46,6 (41,0; 57,0)	41,8 (27,1; 52,7)	41,2 (34,1; 55,2)	<0,01	=0,38	<0,01
SI, усл. ед.	153,1 (102,4; 213,2)	90,3 (44,9; 169,6)	111,5 (65,7; 220,5)	<0,001	<0,05	<0,01
TP, мс ²	1682,8 (1274,6; 2539,8)	2775,5 (1176,0; 4742,8)	2306,8 (1321,0; 3458,8)	<0,001	<0,05	<0,001
HF, мс ²	346,4 (200,7; 714,5)	884,4 (355,3; 1376,7)	612,2 (308,6; 816,1)	<0,001	<0,05	<0,001
LF, мс ²	883,8 (523,8; 1366,8)	1140,4 (586,3; 2019,7)	1121,0 (696,1; 1734,1)	<0,01	=0,68	<0,01
VLF, мс ²	328,1 (154,9; 483,8)	371,7 (243,1; 921,7)	435,3 (227,1; 777,4)	<0,01	<0,05	<0,01
LF/HF, усл. ед.	2,8 (1,2; 4,4)	1,5 (0,9; 2,8)	2,1 (1,3; 3,1)	<0,01	<0,05	<0,05
IC, усл. ед.	3,7 (2,1; 5,8)	2,4 (1,4; 3,9)	3,2 (1,9; 4,5)	<0,01	<0,01	=0,15
САД, мм рт. ст.	124,3 $\pm$ 1,4	124,5 $\pm$ 1,1	124,4 $\pm$ 1,2	=0,89	=0,95	=0,94
ДАД, мм рт. ст.	72,6 $\pm$ 0,9	75,1 $\pm$ 0,8	75,8 $\pm$ 0,8	<0,05	=0,533	<0,01

Анализ показателей артериального давления свидетельствует об отсутствии различий по САД, тогда как средние значения ДАД в группе юношей Северо-Западного региона проживания были на значимую величину ниже относительно сверстников Северо-Восточного региона и средней полосы России.

Результаты настоящего исследования демонстрируют проявление региональных особенностей вегетативного статуса у жителей северных территорий, выражающиеся в формировании различных паттернов вегетативного баланса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что у юношей северо-восточного региона в регуляции сердечного ритма возрастает степень влияния парасимпатического звена, что проявляется значимым увеличением MxDMn, SDNN, RMSSD, pNN50, Mo, TP и HF и снижением SI и соотношения LF/HF. Напротив, у уроженцев северо-западного региона зафиксирована обратная динамика исследуемых параметров, указывающая на доминирование симпатического отдела вегетативной нервной системы в модуляции сердечного ритма.

Стоит отметить, что снижение стандартного отклонения интервалов (SDNN) ниже порогового значения (45–50 мс) является значимым маркером дисфункции вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы. Данный феномен отражает выраженное напряжение компенсаторных механизмов, сопровождающееся активацией вышележащих (центральных) уровней

управления сердечным ритмом и угнетением автономного (вагусного) контура регуляции [11]. Подобные изменения ассоциированы с повышенным риском развития кардиоваскулярной патологии, что подчеркивает прогностическую значимость данного параметра вариабельности сердечного ритма. Согласно результатам настоящего исследования, оптимальные значения SDNN были характерны только для группы юношей Северо-Востока России.

Показатель RMSSD отражает дисперсию частоты сердечных сокращений от сердцебиения к сердцебиению и является основным параметром, количественно оценивающим краткосрочные изменения, опосредованные парасимпатической активностью блуждающего нерва, что делает его одним из наиболее чувствительных маркеров вагусного влияния на сердечную деятельность [12]. Показано, что данный показатель возрастал в ряду от выборки юношей северо-западного региона проживания к уроженцам средней полосы со значимо более высоким числовым значениям у представителей Северо-Востока России. Установлено, что pNN50 тесно коррелирует с активностью ПНС [13], значимо более высокие показатели которого были также характерны для уроженцев Северо-Востока России, а более низкие – для юношей Северо-Западного региона.

Значимо более высокие показатели Mo были отмечены в выборке Северо-Восточного региона, тогда

как более высокие медианные величины АМо были зафиксированы у уроженцев Заполярья.

Величина SI отражает не столько увеличение активности только лишь симпатической нервной системы, сколько общий сдвиг вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной системы над парасимпатической [14]. Полученные данные указывают на то, что значимо более высокие значения SI, превышавшие физиологический диапазон нормотонии (70–140 усл. ед.) и отражающие сдвиг вегетативного баланса в область симпатического доминирования, были характерны для юношей Северо-Западного региона. Уроженцам Северо-Востока и средней полосы России были свойственны медианные значения SI, соответствующие нормотонии. Однако следует отметить, что в выборке молодых людей северо-восточной выборки наблюдалась тенденция к смещению показателей к нижней границе референсного диапазона, что указывает на умеренное преобладание парасимпатических влияний.

Общая мощность (TP) – это сумма всех компонентов спектральной плотности мощности (VLF, LF и HF), которая отражает общую вариативность сердечного ритма в течение всего периода записи [15]. TP, наряду с HF, является эффективным показателем в частотной области для оценки эффективности работы, адаптации к тренировкам и восстановления устойчивости при физиологических и психологических нагрузках [16]. Значимо более высокие величины мощности общего спектра (TP) в группе уроженцев Северо-Востока России были обусловлены вкладом высокочастотного компонента, который превышал аналогичный показатель в группе уроженцев средней полосы на 44 %, а относительно представителей северо-западного региона – на 155%.

Стоит отметить, что в настоящее время показатель HF, рассматриваемый как маркер вагусной активности [17], ассоциируется с синусовой аритмией, при этом физиологическая роль данного феномена заключается в поддержании оптимального газового состава крови и эффективного газообмена, достигаемого за счет синхронизации перфузии (кровоснабжения) с частотой сердечных сокращений (ЧСС) [18]. Кроме того, установлена ассоциация между HF-компонентом кардиоритма и скоростью потребления кислорода, что подчеркивает его значимость в оценке функционального состояния кардиореспираторной системы в целом [19]. Полученные нами данные согласуются с этими выводами: в частности, у юношей Северо-Востока России зарегистрированы значимо более высокие показатели скорости потребления кислорода ($292,2 \pm 4,68$ мл/мин) по сравнению с их сверстниками из Заполярья ($262,5 \pm 9,63$ мл/мин; $p < 0,01$, а также с представителями аналогичной возрастной группы из средней полосы России ($272,6 \pm 10,6$ мл/мин, $p < 0,05$).

Также стоит отметить, что показатели ВСР в частотной области представляют собой отдельные ветви ВНС: на мощность LF-диапазона влияют как симпатическая, так и парасимпатическая нервная системы, а также барорецепторы (то есть контроль артериального давления) [20]. В состоянии покоя (например, во время сна) LF-диапазон отражает барорефлекс, а не симпатическую иннервацию сердца [20]. Стоит отметить, что значимо низкие значения LF-компонента в спектре ВСР, ассоциированные с уровнем артериального давления [21], были характерны для молодых людей Северо-Запада России, что в полной мере сопоставимо с более низкими средними значениями диастолического артериального давления лишь у представителей данной выборки.

Колебания очень низкой частоты (VLF) представляют собой наиболее медленные компоненты спектра variability сердечного ритма (ВСР). Физиологические механизмы, лежащие в основе VLF-колебаний, остаются предметом дискуссий, однако экспериментальные данные указывают на их связь с эфферентной симпатической активностью, регулирующей периферический вазомоторный тонус и терморегуляторные процессы [20, 21]. Кроме того, существенную роль играют нейрогуморальные факторы, включая активность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС), а также модулирующее влияние эндотелиальных (оксид азота) и кардиальных (предсердный натрийуретический пептид) медиаторов, наряду с катехоламинами [20, 22].

Также имеются данные, что стрессовые реакции модулируют амплитуду и частоту VLF [23, 24], в данном контексте повышенные значения VLF у юношей средней полосы России относительно групп сравнения могут отражать более выраженное влияние урбанизированного стресса по сравнению с другими регионами.

На преобладание парасимпатической регуляции у жителей северо-восточной выборки указывают также и низкие величины отношения низкочастотной к высокочастотной составляющей (LF/HF) спектра кардиоритма, а также величина индекса централизации относительно сверстников из других локаций исследования.

У обследуемых юношей средней полосы (контрольная группа) были зафиксированы показатели, соответствующие нормотонии, что указывает на отсутствие значимых адаптационных изменений вегетативной регуляции.

В целом, более высокая ВСР связана с преобладанием парасимпатической нервной системы (экономичным функционированием), а более низкая ВСР связана с усилением симпатической и/или ослаблением парасимпатической регуляции сердца для мобилизации энергетических ресурсов [25].

Полученные нами данные согласуются с результатами предыдущих исследований, согласно которым подростки – уроженцы Заполярья характеризуются более выраженной симпатикотонией по сравнению с представителями аналогичной возрастной группы из средних широт, а также других приполярных регионов. Данное состояние вегетативной регуляции проявляется статистически значимым повышением индекса напряжения (SI), отражающего активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, а также снижением вариабельности сердечного ритма (TP), что свидетельствует о снижении парасимпатических влияний [26].

Также стоит отметить, что совокупность урбанистических факторов, характерных для северных городов, включая повышенный уровень шумового загрязнения и светового смога (избыточное, рассеянное и направленное вверх искусственное освещение в ночное время), оказывает дополнительное активирующее влияние на симпатический отдел вегетативной нервной системы, что подтверждается данными исследования студентов-медиков, прибывших в Арктический регион, у которых зафиксировано статистически значимое увеличение индекса напряжения (SI) [27].

По мнению ряда авторов [14], преобладание тонуса симпатической нервной системы над тонусом парасимпатической играет существенную роль в обеспечении биоэнергетических процессов субстратами, особенно в трофическом обеспечении мышечной деятельности. Указывается и тот факт, что более успешную адаптацию к северному стрессу обеспечивает именно преобладание симпатических влияний над парасимпатическими, а индивидуальная переносимость разных видов стресса, вероятно, определяется индивидуальными особенностями баланса центральных и вегетативных центров [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, настоящее исследование формирует новые представления об адаптационных перестройках у жителей-северян, которые проявляются в формировании различных паттернов перестроек нейровегетативного статуса, несмотря на проживание в северных условиях. Результаты исследования позволили установить выраженные региональные отличия в вегетативном обеспечении регуляции сердечно-сосудистой системы у лиц, длительно проживающих в условиях Севера. Установленные изменения проявляются в виде контрастных вегетативных паттернов, что отражает особенности адаптации к экстремальным климатогеографическим условиям.

Полученные данные свидетельствуют о том, что проживание в условиях Заполярья приводит к формированию региональных особенностей в вегетативном обеспечении и регуляции сердечно-сосудистой

системы, проявляющихся в сдвиге в область доминирования симпатического отдела вегетативной нервной системы. В условиях Северо-Востока России, напротив, природно-климатические факторы приводят к формированию вегетативного профиля с преобладанием парасимпатической активации ВНС.

На основании проведенных исследований установлено, что показатели вариабельности сердечного ритма достаточно информативно отражают адаптационные перестройки в ответ на воздействие факторов внешней среды. Полученные результаты свидетельствуют о формировании регион-специфичных диапазонов функциональной нормы, детерминированных особенностями природно-климатических условий. Выявленные закономерности позволяют рассматривать параметры вариабельности сердечного ритма в качестве высокоинформативных физиологических маркеров при воздействии климатогеографических факторов, характерных для различных географических регионов России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гридин Л.А. Адаптационные реакции человека в условиях Крайнего Севера. *Политика и общество*. 2015;10(130):1353–1362. doi: 10.7256/1812-8696.2015.10.15173.
2. Витязева Т.А., Михеев А.А. Обзор методов исследования вариабельности сердечного ритма. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2024;27(4):87–95. doi: 10.18127/j15604136-202404-12.
3. Damoun N., Amekran Y., Taiek N., Hangouche A.J.E. Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global cardiology science & practice*. 2024;1(4):e202435. doi: 10.21542/gcsp.2024.35.
4. Gronwald T., Schaffarczyk M., Reinsberger C., Hoos O. Heart rate variability: methods and analysis in sports medicine and exercise science. *German Journal of Sports Medicine*. 2024;75(3):113–118. doi: 10.5960/dzsm.2024.595.
5. Ernst G., Watne L.O., Frihagen F., Wyller T.B., Dominik A., Rostrup M. Low Heart Rate Variability Predicts Stroke and Other Complications in the First Six Postoperative Months After a Hip Fracture Operation. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021;8:640970. doi: 10.3389/fcvm.2021.640970.
6. Roura S., Álvarez G., Solà I., Cerritelli F. Do manual therapies have a specific autonomic effect? An overview of systematic reviews. *PLoS One*. 2021;16(12):e0260642. doi: 10.1371/journal.pone.0260642.
7. De Souza Filho L.F.M., de Oliveira J.C.M., Ribeiro M.K.A., Moura M.C., Fernandes N. D., De Sousa M.G.A. et al. Evaluation of the autonomic nervous system by analysis of heart rate variability in the preterm infants. *BMC Cardiovascular Disorders*. 2019;19(1):1–6. doi: 10.1186/s12872-019-1166-4.
8. McCraty R. Following the Rhythm of the Heart: HeartMath Institute's Path to HRV Biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2022;47(4):305–316. doi: 10.1007/s10484-022-09554-2.

9. Fatisson J., Oswald V., Lalonde F. Influence diagram of physiological and environmental factors affecting heart rate variability: an extended literature overview. *Heart International*. 2016;11(1); e32–e40. doi: 10.5301/heartint.5000232.

10. Попкова В.А. Анализ изменения эндокринного профиля жителей города Архангельска в течение 20 лет. *Современные проблемы науки и образования*. 2019;6;159. doi:10.17513/spno.29398.

11. Флейшман А.Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: Нелинейные феномены в клинической практике. *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. 2011;19(3);179–183.

12. Shaffer F., McCraty R., Zerr C.L. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*. 2014; 5;1040. doi:10.3389/fpsyg.2014.01040.

13. Umetani K., Singer D. H., McCraty R., Atkinson M. Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *Journal of the American College of Cardiology*. 1998;31;593–601. doi: 10.1016/s0735-1097(97)00554-8.

14. Агаджанян Н.А., Батоцыренова Т.Е., Северин А.Е., Семенов Ю.Н., Сушкова Л.Т., Гомбоева Н.Г. Сравнительные особенности variability сердечного ритма у студентов, проживающих в различных природно-климатических регионах. *Физиология человека*. 2007;33(6);66–70.

15. Vigo D.E., Siri L.N., Cardinali D.P. Psychiatry and Neuroscience Update. *Heart Rate Variability: A tool to explore autonomic nervous system activity in health and disease*. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2019. P. 113–126. doi: 10.1007/978-3-319-95360-1_10.

16. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5;35–48. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258.

17. Grossman P., Wilhelm F.H., Spoerle M. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology*. 2004;287 (2); 29. doi: 10.1152/ajpheart.00825.2003.

18. Menuet C., Ben-Tal A., Linossier A., Allen A.M., Machado B.H., Moraes D.J.A. et al. Redefining respiratory sinus arrhythmia as respiratory heart rate variability: an international Expert Recommendation for terminological clarity. *Nature Reviews Cardiology*. 2025;6. doi: 10.1038/s41569-025-01160-z.

19. Perini R., Orizio C., Baselli G., Cerutti S., Veicsteinas A. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*. 1990;61;143–148. doi: 10.1007/bf00236709.

20. Sammito S., Thielmann B., Klusmann A., Deußen A., Braumann K.M., Böckelmann I. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2024;13,19(1);15. doi: 10.1186/s12995-024-00414-9.

21. Stephenson M.D., Thompson A.G., Merrigan J.J., Stone J.D., Hagen J.A. Applying Heart Rate Variability to Monitor

Health and Performance in Tactical Personnel: A Narrative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;31,18(15);8143. doi: 10.3390/ijerph18158143.

22. Damoun N., Amekran Y., Taiek N., Hangouche A.J.E. Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global cardiology science & practice*. 2024;4(4): e202435. doi: 10.21542/gcsp.2024.35.

23. 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.

24. Kember G.C., Fenton G.A., Armour J.A., Kalyaniwalla N. Competition model for aperiodic stochastic resonance in a Fitzhugh-Nagumo model of cardiac sensory neurons. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*. 2001;63(4):041911. doi: 10.1103/physreve.63.041911.

25. Agorastos A., Mansueto A. C., Hager T., Pappi E., Gardikioti A., Stiedl O. Heart Rate Variability as a Translational Dynamic Biomarker of Altered Autonomic Function in Health and Psychiatric Disease. *Biomedicine*. 2023;30,11(6):1591. doi: 10.3390/biomedicine11061591.

26. Кривоногова Е.В., Демин Д.Б., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В. Варианты реактивности вегетативной регуляции ритма сердца у молодых людей на кратковременное общее воздушное охлаждение. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2019;16(2);140–146. doi: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-140-146.

27. Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А. Новоселы на Европейском Севере: физиолого-гигиенические аспекты. Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 2012. 284 с.

REFERENCES

1. Gridin L.A. Human adaptive reactions in the conditions of the Far North. *Politika i obshchestvo = Politics and society*. 2015;10(130):1353–1362. (In Russ.) doi: 10.7256/1812-8696.2015.10.15173.

2. Vitjazeva T.A., Miheev A.A. Review of methods for studying heart rate variability. *Biomedicinskaja radioelektronika = Biomedical radio electronics*. 2024;27(4):87–95. (In Russ.) doi: 10.18127/j15604136-202404-12.

3. Damoun N., Amekran Y., Taiek N., Hangouche A.J.E. Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global cardiology science & practice*. 2024;1(4):e202435. doi: 10.21542/gcsp.2024.35.

4. Gronwald T., Schaffarczyk M., Reinsberger C., Hoos O. Heart rate variability: methods and analysis in sports medicine and exercise science. *German Journal of Sports Medicine*. 2024;75(3);113–118. doi: 10.5960/dzsm.2024.595.

5. Ernst G., Watne L.O., Frihagen F., Wyller T.B., Dominik A., Rostrup M. Low Heart Rate Variability Predicts Stroke and Other Complications in the First Six Postoperative

Months After a Hip Fracture Operation. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021;8:640970. doi: 10.3389/fcvm.2021.640970.

6. Roura S., Álvarez G., Solà I., Cerritelli F. Do manual therapies have a specific autonomic effect? An overview of systematic reviews. *PLoS One*. 2021;16(12):e0260642. doi: 10.1371/journal.pone.0260642.

7. De Souza Filho L.F.M., de Oliveira J.C.M., Ribeiro M.K.A., Moura M.C., Fernandes N.D., De Sousa M.G.A. et al. Evaluation of the autonomic nervous system by analysis of heart rate variability in the preterm infants. *BMC Cardiovascular Disorders*. 2019;19(1):1–6. doi: 10.1186/s12872-019-1166-4.

8. McCraty R. Following the Rhythm of the Heart: HeartMath Institute's Path to HRV Biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2022;47(4):305–316. doi: 10.1007/s10484-022-09554-2.

9. Fatisson J., Oswald V., Lalonde F. Influence diagram of physiological and environmental factors affecting heart rate variability: an extended literature overview. *Heart International*. 2016;11(1):e32–e40. doi: 10.5301/heartint.5000232.

10. Popkova V.A. Analysis of changes in the endocrine profile of Arkhangelsk residents over the course of 20 years. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2019;6:159. (In Russ.) doi: 10.17513/spno.29398.

11. Fleishman A.N. Heart rate variability and slow hemodynamic oscillations: nonlinear phenomena in clinical practice. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Prikladnaya nelineinaya dinamika = IZVESTIYA VUZ. APPLIED NONLINEAR DYNAMICS*. 2011;19(3):179–183. (In Russ.).

12. Shaffer F., McCraty R., Zerr C.L. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*. 2014; 5:1040. doi:10.3389/fpsyg.2014.01040.

13. Umetani K., Singer D. H., McCraty R., Atkinson M. Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *Journal of the American College of Cardiology*. 1998;31:593–601. doi: 10.1016/s0735-1097(97)00554-8.

14. Agadzhanjan N.A., Batocyrenova T.E., Severin A. E., Semenov Ju. N. Comparative features of heart rate variability among students living in different natural and climatic regions. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2007;33(6):66–70. (In Russ.).

15. Vigo D.E., Siri L.N., Cardinali D.P. Psychiatry and Neuroscience Update. *Heart Rate Variability: A tool to explore autonomic nervous system activity in health and disease*. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany: 2019. P. 113–126. doi: 10.1007/978-3-319-95360-1_10.

16. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5:35–48. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258.

17. Grossman P., Wilhelm F.H., Spoerle M. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity.

American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology. 2004;287 (2); 29. doi: 10.1152/ajpheart.00825.2003.

18. Menuet C., Ben-Tal A., Linossier A., Allen A.M., Machado B.H., Moraes D.J.A. et al. Redefining respiratory sinus arrhythmia as respiratory heart rate variability: an international Expert Recommendation for terminological clarity. *Nature Reviews Cardiology*. 2025;6. doi: 10.1038/s41569-025-01160-z.

19. Perini R., Orizio C., Baselli G., Cerutti S., Veicsteinas A. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*. 1990;61:143–148. doi: 10.1007/bf00236709.

20. Sammito S., Thielmann B., Klusmann A., Deußen A., Braumann K.M., Böckelmann I. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2024;13,19(1);15. doi: 10.1186/s12995-024-00414-9.

21. Stephenson M.D., Thompson A.G., Merrigan J.J., Stone J.D., Hagen J.A. Applying, Heart Rate Variability to Monitor Health and Performance in Tactical Personnel: A Narrative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;31,18(15);8143. doi: 10.3390/ijerph18158143.

22. Damoun N., Amekran Y., Taiek N., Hangouche A.J.E. Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Global cardiology science & practice*. 2024;4(4): e202435. doi: 10.21542/gcsp.2024.35.

23. Pankova N.B. Age-related changes in heart rate variability and spectral blood pressure variability in the range of 20-90 years. *Patogenez = Pathogenesis*. 2022;20(1);52–62. (In Russ.) doi: 10.25557/2310-0435.2022.01.52-62.

24. Kember G.C., Fenton G.A., Armour J.A., Kalyaniwalla N. Competition model for aperiodic stochastic resonance in a Fitzhugh-Nagumo model of cardiac sensory neurons. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*. 2001;63(4):041911. doi: 10.1103/physreve.63.041911.

25. Agorastos A., Mansueto A. C., Hager T., Pappi E., Gardikioti A., Stiedl O. Heart Rate Variability as a Translational Dynamic Biomarker of Altered Autonomic Function in Health and Psychiatric Disease. *Biomedicines*. 2023;30,11(6):1591. doi: 10.3390/biomedicines11061591.

26. Krivonogova E.V., Demin D.B., Krivonogova O.V., Poskotinova L.V. Variants of autonomous nervous regulation of heart rhythm in young people during shortterm whole-body cold air exposure. *Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science*. 2019;16(2);140–146. doi: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-140-146.

27. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennyh A. A. Novosjoly na Evropejskom Severe. New settlers in the European North. Physiological and hygienic aspects. Arkhangelsk; Publishing House of SSMU, 2012. 285 p. (In Russ.).

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

Информация об авторе

И.В. Аверьянова – доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией, главный научный сотрудник Лаборатории физиологии экстремальных состояний, Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия; Inessa1382@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 19.08.2025; принята к публикации 20.08.2025.

Competing interests. The author declares that they have no competing interests.

Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural network.

Information about the author

I.V. Averyanova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory, Chief Researcher of the Laboratory of Physiology of Extreme Conditions, Scientific Research Center “Arctic” of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia; Inessa1382@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>

The article was submitted 16.05.2025; approved after reviewing 19.08.2025; accepted for publication 20.08.2025.