

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678572>

EDN: VGCZVC



Региональная специфика нейровегетативной регуляции на примере Северо-Востока России и Северного Кавказа

В.А. Беляева¹, И.В. Аверьянова²

¹ Институт биомедицинских исследований — филиал Владикавказского научного центра Российской академии наук, с. Михайловское, РСО-Алания, Россия;

² Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Вариабельность сердечного ритма представляет собой высокоинформативный маркер нейровегетативной регуляции сердечно-сосудистой деятельности, а также метод количественной оценки её физиологических изменений, позволяющий анализировать специфику нейровегетативной регуляции, в том числе с учётом влияния климато-географических факторов различных регионов проживания.

Цель. Изучение региональных особенностей, а также различий в вегетативном контроле системы кровообращения на основе показателей вариабельности сердечного ритма у лиц, проживающих в природно-климатических зонах Северо-Востока России (Магадан) и Северного Кавказа (Владикавказ), которые отличаются как по климатическим условиям, так и по рельефу (низменность и низкогорье).

Материалы и методы. Оценивали показатели вегетативной регуляции сердца во временной и частотной областях у 89 юношей, из которых 41 — уроженцы Северо-Восточного региона (Магадан; средний возраст $19,8 \pm 0,5$ года) и 48 — уроженцы Северного Кавказа (Владикавказ; средний возраст $20,8 \pm 0,8$ года). У всех участников анализировали ключевые параметры вариабельности сердечного ритма в состоянии покоя (положение сидя) с использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард». Тип вегетативной регуляции определяли на основании вариационного размаха и индекса напряжения, оцениваемых в состоянии покоя.

Результаты. Полученные результаты позволили установить, что проживание в условиях низкогорья характеризуется снижением вегетативных функций, что связано с уменьшением активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы, смещающим симпатовагальный баланс в относительное состояние симпатической активности. У уроженцев Северо-Восточного региона в условиях низменности большинство параметров вариабельности сердечного ритма соответствовали оптимальным физиологическим диапазонам со смещением ряда параметров в область парасимпатической активности.

Заключение. Проведённые исследования демонстрируют, что параметры вариабельности сердечного ритма отражают региональную специфику нейровегетативной регуляции, формируя характерные для каждой природно-климатической зоны диапазоны функциональной нормы. Эти показатели могут служить объективными маркерами реакции организма на экстремальные экологические факторы, характерные для различных регионов Российской Федерации. Наше исследование дополняет научные данные о смещении вектора нейровегетативной регуляции в область симпатической активации системы кровообращения как компонента адаптации к комбинированным горно-климатическим факторам (Северный Кавказ) и, напротив, формирования компенсаторных механизмов вегетативной регуляции в условиях экстремальных климатических факторов северных территорий, проявляющихся в усилении тонической активности блуждающего нерва.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; климатогеографические факторы; низкогорье; низменность.

Как цитировать:

Беляева В.А., Аверьянова И.В. Региональная специфика нейровегетативной регуляции на примере Северо-Востока России и Северного Кавказа // Экология человека. 2025. Т. 32, № 5. С. 344–352. DOI: 10.17816/humeco678572 EDN: VGCZVC

Рукопись поступила: 15.04.2025

Рукопись одобрена: 27.06.2025

Опубликована online: 10.07.2025

Regional Specificity of Neurovegetative Regulation on the Example of the North-East of Russia and the North Caucasus

Victoria A. Belyayeva¹, Inessa V. Averyanova²

¹ Institute of Biomedical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, North Ossetia-Alania, v. Mikhailovskoye, North Ossetia-Alania, Russia;

² Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Heart rate variability (HRV) is a highly informative marker of neurovegetative regulation of cardiovascular activity, as well as a method for quantitatively assessing its physiological changes, allowing for the analysis of the specifics of neurovegetative regulation, taking into account the influence of climatic and geographic factors of different regions of residence.

AIM: The study of regional characteristics, as well as differences in the autonomic control of the circulatory system based on heart rate variability indicators in individuals living in different natural and climatic zones such as the North-East (Magadan) and the North Caucasus (Vladikavkaz), which differ in both climatic conditions and relief (lowland and low mountain).

METHODS: The indices of the autonomic regulation of the heart were assessed in the time and frequency domains in 89 young men, 41 of whom were born in the North-Eastern region (Magadan) (mean age 19.8 ± 0.5 years) and 48 young men were born in the North Caucasus (Vladikavkaz) with an average age of 20.8 ± 0.8 years. All study participants underwent an analysis of the key parameters of the HRV at rest (sitting position) using the «Varicard» hardware and software complex. The type of autonomic regulation was determined based on the variation range (MxDMn) and stress index (SI), assessed in a state of rest.

RESULTS: The results obtained allowed us to establish that living in low-altitude conditions leads to a decrease in vegetative functions, which was associated with a decrease in the activity of the parasympathetic link of the autonomic nervous system, shifting the sympathovagal balance to a relative state of sympathetic activity. In the natives of the North-Eastern region, in lowland conditions, most of the heart rate variability parameters corresponded to the optimal physiological ranges with a shift of a number of parameters to the area of parasympathetic activity.

CONCLUSION: The conducted studies demonstrate that the heart rate variability parameters reflect the specificity of adaptive restructuring of physiological systems, forming ranges of the functional norm characteristic of each natural and climatic zone. These indicators can serve as objective markers of the body's response to extreme environmental factors characteristic of various regions of the Russian Federation. Our study complements the results of scientific research on the shift of the neurovegetative regulation vector to the area of sympathetic activation of the circulatory system as a component of adaptation to combined mountain climatic factors (North Caucasus) and, conversely, in the formation of compensatory mechanisms of vegetative regulation in conditions of extreme climatic factors of the northern territories, manifested in increased tonic activity of the vagus nerve.

Keywords: heart rate variability; climatic and geographic factors; low-altitude conditions; lowland conditions.

To cite this article:

Belyayeva VA, Averyanova IV. Regional specificity of neurovegetative regulation on the example of the North-East of Russia and the North Caucasus. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(5):344–352. DOI: 10.17816/humeco678572 EDN: VGCZVC

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678572>

EDN: VGCZVC

以俄罗斯东北部与北高加索地区为例，探讨神经植物性调节的区域特性

Victoria A. Belyayeva¹, Inessa V. Averyanova²¹ Institute of Biomedical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, North Ossetia-Alania, v. Mikhailovskoye, North Ossetia-Alania, Russia;² Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

论证。心率变异性是评估心血管自主神经调节功能的高度信息性指标，也是量化其生理变化的有效方法，可用于分析神经植物性调节的区域差异，尤其是在考虑不同地区气候和地理因素影响背景下。

目的。基于心率变异性指标，研究居住在俄罗斯东北部(Magadan)和北高加索(Vladikavkaz)两个在气候条件与地形类型（低地与低山区）方面存在差异的自然气候区域人群，其心血管系统自主神经调节的区域特征及差异。

材料与方法。对89名青年男性的自主神经调节功能进行评估，其中41人为俄罗斯东北部（Magadan）本地居民（平均年龄 19.8 ± 0.5 岁），48人为北高加索（Vladikavkaz）本地居民（平均年龄 20.8 ± 0.8 岁）。在所有受试者中，使用“Varicard”硬件-软件系统，在静息状态（坐位）下测量心率变异性的关键参数。基于静息状态下的变异范围（MxDMn）和应激指数（SI）判断自主神经调节类型。

结果。结果表明，生活在低山区的受试者表现出自主神经功能降低的趋势，主要体现为副交感神经活动下降，植物神经平衡向交感神经激活方向偏移。而东北地区低地居民的心率变异性大多数指标处于最佳生理范围，部分参数呈现出向副交感神经主导方向的偏移。

结论。本研究表明，心率变异性指标可反映自主神经调节的区域特性，形成各自自然气候区的功能性生理参考范围。这些参数可作为机体对俄罗斯不同地区极端环境因子的客观反应标志。我们的研究进一步补充了关于神经自主调节方向偏移的科学资料：在心血管系统中，该偏移表现为向交感神经激活方向移动，作为对复合型山地气候因素（北高加索）的适应性组成部分；相反，在俄罗斯北部地区的极端气候条件下，则形成了以增强迷走神经张力为特征的自主神经调节补偿机制。

关键词：心率变异性；气候地理因素；低山区；低地。

引用本文：

Belyayeva VA, Averyanova IV. 以俄罗斯东北部与北高加索地区为例，探讨神经植物性调节的区域特性. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(5):344–352. DOI: 10.17816/humeco678572 EDN: VGCZVC

收到: 15.04.2025

接受: 27.06.2025

发布日期: 10.07.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время одним из самых популярных во всём мире методов исследования и оценки работы сердца, функционального состояния организма в целом и состояния различных отделов вегетативной нервной системы (ВНС) является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1]. Феномен ВСР, представляющий собой изменение временных интервалов между последующими сердечными сокращениями [2], широко известен как эффективный инструмент для оценки вегетативной регуляции сердца [3, 4]. Классическая интерпретация ВСР включает анализ активности парасимпатического и симпатического отделов ВНС, их баланс и соотношение, а также анализ ряда других связанных параметров [5]. ВСР можно использовать в качестве индекса здоровья и средства для оценки интеграции ВНС и центральной нервной системы [6, 7]. Модель нейровисцеральной интеграции предполагает, что более высокий уровень вагусного контроля сердечной деятельности связан с более эффективной саморегуляцией организма в целом и с более крепким здоровьем в частности [8]. Различные параметры ВСР служат для более детального описания взаимодействия симпатического и парасимпатического звеньев ВНС в регуляции и контроле сердечно-сосудистой системы. По уровню регулирующих механизмов можно судить о функциональных резервах сердечно-сосудистой системы и возможностях адаптации всего организма. ВСР представляет собой высокочувствительный индикатор динамической перестройки вегетативного баланса в ответ на экзогенные воздействия, включая климатогеографические факторы [9].

Характеризуя климатогеографические особенности регионов нашего исследования необходимо отметить, что Магадан ($59^{\circ}34'$ с. ш., $150^{\circ}47'$ в. д.) расположен в умеренном климатическом поясе, в пределах приморской природно-климатической зоны, для которой характерно сочетание морского и муссонного влияния. Климат северной части Северо-Восточного региона, включая большую часть Магаданской области, считается самым суровым на Дальнем Востоке России [10]. Средние температурные показатели отражают выраженную сезонность: январь — $-26,0^{\circ}\text{C}$, июль — $+13,4^{\circ}\text{C}$.

Владикавказ (РСО-Алания) находится в зоне умеренного климата ($43^{\circ}02'$ с. ш., $44^{\circ}39'$ в. д.) с орографическим смягчением за счёт близости горных систем. Средняя температура января составляет $-1,9^{\circ}\text{C}$, июля — $+20,7^{\circ}\text{C}$. Помимо климатических особенностей, важно отметить, что Владикавказ расположен в предгорной зоне Большого Кавказа, в Северо-Осетинской котловине, обрамлённой отрогами Сунженского и Терского хребтов. Рельеф местности характеризуется глубоким расчленением с абсолютными отметками от 600 до 1000 м, при средней высоте около 670 м над уровнем моря, что соответствует низкогорному типу рельефа по современной

геоморфологической классификации. Магадан, расположенный в приморской природно-климатической зоне, отличается низменным рельефом с абсолютными высотами, не превышающими 100 м над уровнем моря. Такие гипсометрические условия формируют специфический комплекс факторов, влияющих на физиологические механизмы адаптации организма человека.

Цель исследования. Изучение региональных особенностей, а также различий в вегетативном контроле системы кровообращения на основе показателей ВСР у лиц, проживающих в природно-климатических зонах Северо-Востока (Магадан) и Северного Кавказа (Владикавказ), которые отличаются как по климатическим условиям, так и по рельефу (низменность и низкогорье).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 89 юношей: 41 — уроженцы Северо-Восточного региона (Магадан; средний возраст $19,8 \pm 0,5$ года), 48 — уроженцы Северного Кавказа (Владикавказ; средний возраст $20,8 \pm 0,8$ года). Исследование проводили в весенний период (апрель, май) 2024 г.

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, характеризовались сопоставимыми условиями жизни (студенты) и режимом двигательной активности (занятия физической культурой в рамках плана образовательного учреждения) и являлись постоянными жителями исследуемого региона.

Для регистрации показателей ВСР использовали комплекс «Варикард» (Россия) и программное обеспечение VARICARD-KARDi, «ИСКИМ-6». У обследуемых регистрировали показатели ВСР во временной и частотной областях: частоту сердечных сокращений (HR, уд./мин), моду (M_0 , мс), разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, или вариационный размах ($MxDMn$, мс), квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD, мс), стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов (SDNN, мс), стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем; SI, усл. ед.), суммарную мощность спектра временных значений R-R интервалов сердечного ритма (TP, мс^2), мощность спектра высокочастотного компонента ВСР в диапазоне 0,4–0,15 Гц (дыхательные волны; HF, мс^2), мощность спектра низкочастотного компонента ВСР в диапазоне 0,15–0,04 Гц (сосудистые волны; LF, мс^2), мощность спектра очень низкочастотного компонента ВСР в диапазоне 0,04–0,015 Гц (VLF, мс^2). Также анализировали индекс централизации (IC, усл. ед.) и показатель активности регуляторных систем (ПАРС, усл. ед.) [11]. У испытуемых определяли тип вегетативной регуляции на основании вариационного размаха ($MxDMn$) и стресс-индекса (SI), оцениваемых в состоянии

покоя. К нормотоникам относили лиц при МхДМп в интервале 200–300 мс, SI — от 70 до 140 усл. ед.; к симпатотоникам — МхДМп ниже указанного интервала, SI — больше 140 усл. ед.; к ваготоникам — МхДМп выше указанного интервала, SI — меньше 70 усл. ед. [12].

Исследование одобрено этическими комитетами Института биомедицинских исследований — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (протокол № 3 от 20.02.2022) и Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук» (заключение № 002/021 от 26.11.2021).

Статистический анализ результатов исследования проводили стандартными методами математической статистики в программе Statistica 7.0. Для проверки нормальности полученных количественных данных использовали тесты Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Анализируемые переменные представлены в виде медианы (Me) и межквартильного диапазона [q25%; q75%]. Уровень значимости различий анализируемых переменных определен с помощью U-критерия Манна–Уитни. Статистически значимым считали значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках исследования осуществлен комплексный анализ показателей вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы на основе оценки временных и частотных параметров ВСР в группах юношей различных регионов проживания: Северо-Восток России (Магадан) и Северный Кавказ (РСО-Алания, Владикавказ). Распределение типов вегетативной регуляции сердечного ритма у юношей, проживающих в различных природно-климатических условиях с существенными градиентами метеопараметров и высоты над уровнем моря, представлены на рис. 1, из которого видно, что у уроженцев Северо-Востока России доля лиц с преобладанием парасимпатических влияний составляет 59,0%; нормотоников — 27,0%; с преобладанием симпатических влияний — 14,0%. Напротив, у уроженцев Северного Кавказа доля ваготоников составляет 20,8%; нормотоников — 29,2%; симпатотоников — 50,0%.

Основные характеристики ВСР, а также межгрупповые уровни значимости различий в выборках юношей, проживающих в различных климатогеографических зонах Российской Федерации, представлены в табл. 1. Полученные данные указывают на то, что из 15 проанализированных характеристик ВСР значимые межгрупповые отличия были зафиксированы по семи показателям, что достаточно наглядно представлено на рис. 2.

Установлено, что в группе юношей Северо-Востока России, по сравнению с выборкой молодых жителей Северного Кавказа, отмечены значимо более высокие

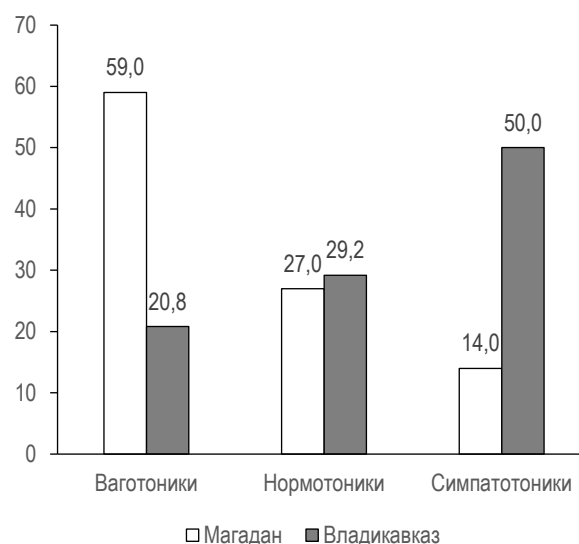


Рис. 1. Распределение типов вегетативной регуляции сердечного ритма у юношей, проживающих в различных природно-климатических зонах: на Северо-Востоке России (Магадан) и на Северном Кавказе (Владикавказ).

Fig. 1. Distribution of types of vegetative regulation HR in young men, living in different natural and climatic zones: the North-East (Magadan) and the North Caucasus (Vladikavkaz).

значения RMSSD ($p=0,043$), pNN50 ($p=0,020$), Mo ($p=0,001$) при более низких показателях SI ($p=0,053$) и HR ($p=0,001$).

Анализ частотных характеристик ВСР между исследуемыми группами выявил, что мощность спектра (TP), отражающая суммарный уровень активности регуляторных систем организма, была ниже в группе юношей Северного Кавказа, что обусловлено снижением вклада HF-составляющей спектра ($p=0,050$).

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам внутригруппового анализа типов вегетативной регуляции сердечного ритма показано долевое распределение лиц с разными типами регуляции. Данный анализ наглядно демонстрирует наличие межгрупповых различий, а именно преобладание симпатических влияний ВСР у юношей, являющихся уроженцами Северного Кавказа (Владикавказ), парасимпатических — у уроженцев Северо-Востока России (Магадан), отражая тем самым популяционные уровни вариабельности ритма в исследуемых половозрастных группах. Анализ полученных данных выявил статистически значимые различия между обеими группами по ряду ключевых параметров ВСР (HR, Mo, RMSSD, pNN50, SI, HF, TP). Результаты исследования свидетельствуют о более выраженном парасимпатическом влиянии на сердечную деятельность у представителей северо-восточной популяции по сравнению с жителями Северо-Кавказского региона. Так, у представителей Северо-Восточного региона отмечена тенденция к большей вариабельности кардиоритма, выражающаяся в величинах общего спектра при возрастании медианных значений RMSSD и pNN50,

Таблица 1. Основные показатели вариабельности сердечного ритма и уровень значимости их различий у юношей в зависимости от климатогеографических условий проживания**Table 1.** Main indicators of heart rate variability and the level of significance of their differences in young men depending on the climatic and geographical conditions of residence

Показатели	Me (q25; q75)		p
	Магаданская область (n=41)	РСО-Алания (n=48)	
HR, уд./мин	74,72 (65,21; 84,38)	85,20 (76,34; 93,48)	0,001
MxDMn, мс	255,00 (203,00; 366,00)	231,00 (182,00; 301,00)	0,114
RMSSD, мс	40,58 (29,73; 64,11)	34,17 (23,36; 49,69)	0,043
pNN50, %	13,58 (7,09; 35,63)	8,35 (2,63; 19,47)	0,020
SDNN, мс	49,20 (38,70; 70,92)	51,33 (41,12; 65,50)	0,955
Mo, мс	808,00 (707,00; 905,00)	688,00 (635,00; 747,00)	0,001
AMo50, мс	43,23 (26,02; 52,66)	49,57 (34,60; 58,95)	0,083
SI, усл. ед.	112,21 (38,77; 165,33)	139,70 (70,46; 232,35)	0,053
TP, мс ²	2481,76 (1510,57; 4874,63)	2107,10 (987,70; 3075,40)	0,050
HF, мс ²	730,25 (401,88; 1348,17)	526,47 (253,84; 844,77)	0,050
LF, мс ²	1151,12 (729,14; 2112,35)	1007,59 (582,80; 1656,63)	0,202
VLF, мс ²	411,46 (255,11; 926,64)	336,36 (149,52; 625,370)	0,105
LF/HF, усл. ед.	1,68 (1,15; 2,61)	1,94 (1,19; 3,02)	0,429
IC, усл. ед.	2,44 (1,72; 3,50)	2,82 (1,61; 4,02)	0,524
ПАРС, усл. ед.	4,00 (3,00; 6,00)	5,00 (4,00; 7,00)	0,135

Примечание. HR — частота сердечных сокращений; MxDMn — разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, или вариационный размах; RMSSD — квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов; pNN50 — число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс, % к общему числу кардиоинтервалов; SDNN — стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов; Mo — мода; AMo — амплитуда моды; SI — стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем); TP — суммарная мощность спектра временных значений R-R интервалов сердечного ритма; HF — мощность спектра высокочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,4–0,15 Гц (дыхательные волны); LF — мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,15–0,04 Гц (сосудистые волны); VLF — мощность спектра очень низкочастотного компонента вариабельности ритма сердца в диапазоне 0,04–0,015 Гц; LF/HF — показатель симпатовагального баланса; IC — индекс централизации; ПАРС — показатель активности регуляторных систем; p — уровень статистической значимости.

в совокупности указывающих на преобладание парасимпатической активности ВНС. Известно, что в состоянии физиологического покоя оптимальная экономизация функций организма и биоэнергетических процессов обеспечивается преобладанием парасимпатических влияний. Обратная зависимость наблюдается при исходной симпатикотонии: повышенный тонус симпатического отдела ВНС коррелирует с функциональным напряжением физиологических систем и снижением резервов адаптации, что ограничивает диапазон возможных компенсаторных реакций при воздействии возмущающих факторов [13].

Показано, что у молодых лиц, уроженцев РСО-Алания, отмечается существенное преобладание HR, IC, SI, а также ПАРС. Полученные данные демонстрируют наличие выраженной вагусной доминанты относительно пониженной симпатической модуляции, наблюдаемой при относительно повышенной общей вариабельности кардиоритма у юношей Северо-Востока России. Данные различия можно интерпретировать как популяционную специфику вегетативного баланса в условиях хронического воздействия

экстремальных климатических факторов северных территорий, проявляющуюся в активации парасимпатических механизмов регуляции сердечной деятельности. Полученные результаты согласуются с данными о влиянии низких температур на ВСР, способствующему снижению симпатической активности и, следовательно, повышению ВСР [14], а также согласуются с нашими ранними результатами, в которых выявленная парасимпатическая активация ВНС направлена на оптимизацию газообмена на фоне напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы в условиях Севера и может свидетельствовать о повышенной холодостойкости [15, 16].

Интерпретация числовых величин индекса ПАРС свидетельствует о том, что для юношей Северо-Восточного региона характерно состояние умеренного напряжения регуляторных систем, тогда как выборке Северного Кавказа свойственно состояние выраженного напряжения регуляторных систем, обусловленного активной мобилизацией симпатико-адреналовой системы и системы «гипофиз-надпочечники» [17–19].

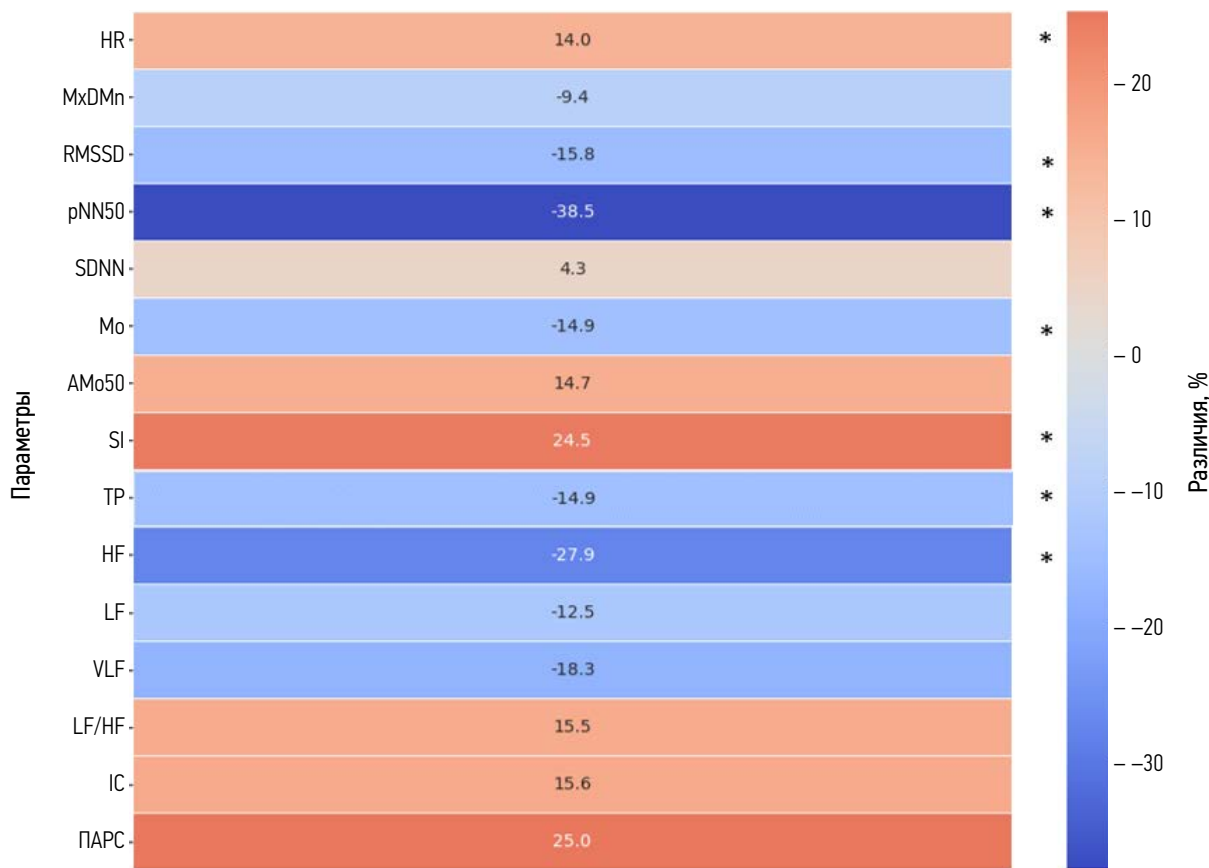


Рис. 2. Межгрупповые различия в показателях вариабельности сердечного ритма у юношей Северного Кавказа и Северо-Восточного региона России. * Статистически значимые межгрупповые различия. Синяя цветовая гамма — значения выше у представителей Северо-Восточного региона, красная цветовая гамма — значения выше у представителей Северного Кавказа.

Fig. 2. Intergroup differences in heart rate variability in young men of the North Caucasus and North-Eastern regions of Russia. * Statistically significant intergroup differences are indicated. Blue color range — the value is higher for representatives of the north-eastern region, red color range — the value is higher for representatives of the North Caucasus.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании проведён комплексный анализ временных и спектральных показателей ВСР у двух групп юношей, постоянно проживающих в контрастных климатогеографических регионах Российской Федерации. Полученные данные существенно расширяют современные представления о стратегиях нейровегетативной адаптации к различным экстремальным факторам окружающей среды. Результаты демонстрируют принципиально различные паттерны вегетативного контроля в ответ на комбинированные горно-климатические воздействия, проявляющиеся формированием устойчивой симпатико-тонической доминанты на фоне снижения парасимпатических влияний в нейровегетативной регуляции. В условиях Северо-Востока России противоположная адаптационная стратегия проявлялась увеличением общей вариабельности и активацией парасимпатического звена в вегетативной регуляции системы кровообращения. Выявленные различия в вегетативных паттернах регуляции сердечно-сосудистой системы с учётом климатогеографических параметров отражают специфичность вегетативного ответа.

Наши данные показывают диагностическую ценность ВСР для мониторинга физиологических механизмов акклиматизации и выявления индивидуальных особенностей вегетативной регуляции в различных экологических условиях. Эти наблюдения подтверждают гипотезу о том, что климатогеографические факторы играют важную роль в формировании индивидуальных особенностей вегетативной регуляции сердечной деятельности. Полученные результаты требуют дальнейшего изучения для уточнения механизмов взаимодействия внешних факторов и внутренних регуляторных процессов организма, а также разработки методов оптимизации здоровья населения в различных климатических условиях.

Данное исследование имеет некоторые ограничения. В нём участвовали лица молодого возраста, мужского пола, что не позволяет в полной мере описать соответствующие популяции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.А. Беляева — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание и редактирование текста рукописи;

И.В. Аверьянова — концепция и дизайн исследования, подготовка первого варианта текста рукописи, анализ литературных данных, утверждение окончательного варианта рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическими комитетами Института биомедицинских исследований — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (протокол № 3 от 20.02.2022) и Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук» (закключение № 002/021 от 26.11.2021).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Работа выполнена за счёт бюджетного финансирования ИБМИ ВНЦ РАН в рамках темы «Изучение молекулярно-генетических механизмов стрессорных, воспалительных и метаболических нарушений при сердечно-сосудистой и бронхолегочной патологии в эксперименте и клинике в динамике медико-экологического мониторинга в РСО-Алания, разработка технологий профилактики и коррекции (экспериментально-клиническое исследование)» (рег. номер 125030603222-0) и НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках темы «Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека северного типа на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер AAAA-A21-121010690002-2).

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.A. Belyayeva: study concept and design, data analysis, writing and editing the manuscript; I.V. Averyanova: study concept and design, preparation of the first version of the manuscript, literature analysis, approval of the final version of the manuscript. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Ethical Committees of the Institute of Biomedical Research, a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 3 dated 02/20/2022) and the Federal State Budgetary Institution of Science, the Arctic Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (conclusion No. 002/021 dated 11/26/2021).

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: The work has been fulfilled with Institute of Biomedical Investigations – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Center of the RAS, under the financial support of the Russian Federation budget within the framework of the project “Study of molecular-genetic mechanisms of stress, inflammatory and metabolic disorders in cardiovascular and bronchopulmonary pathology in the experiment and clinic in the dynamics of medical and environmental monitoring in the Republic of North Ossetia-Alania, development of technologies for prevention and correction (experimental and clinical study)” (registration number 125030603222-0). The work has been fulfilled with Arktika Scientific Research Center, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, under the financial support of the Russian Federation budget within the framework of the project “Study of intersystem and intrasystem mechanisms involved in developing functional and adaptive reserves of the northern type man at different stages of ontogenesis under discomfort and extreme conditions of residence with the determination of health integral informative indices” (registration number, AAAA-A21-121010690002-2).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Vityazeva TA, Mikheev AA. Methods for studying heart rate variability (review). *Biomedicine Radioengineering*. 2024;27(4):87–95. doi: 10.18127/j15604136-202404-12 EDN: WQYLWB
2. Shaffer F, McCraty R, Zerr CL. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Front Psychol*. 2014;5:1040. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040
3. Damoun N, Amekran Y, Taiek N, Hangouche AJE. Heart rate variability measurement and influencing factors: Towards the standardization of methodology. *Glob Cardiol Sci Pract*. 2024;2024(4):e202435. doi: 10.21542/gcsp.2024.35
4. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, et al. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational science. ASU International Edition, 2015;06. doi: 10.17147/ASUI.2015-06-09-03
5. Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Health*. 2017;5:258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
6. Lane RD, McRae K, Reiman EM, et al. Neural correlates of heart rate variability during emotion. *Neuroimage*. 2009;44(1):213–222. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.07.056
7. Candia-Rivera D, Catrambone V, Thayer JF, et al. Cardiac sympathetic-vagal activity initiates a functional brain-body response to emotional arousal. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2022;119(21):e2119599119. doi: 10.1073/pnas.2119599119
8. Smith R, Thayer JF, Khalsa SS, Lane RD. The hierarchical basis of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;75:274–296. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.003

9. Fatisson J, Oswald V, Lalonde F. Influence diagram of physiological and environmental factors affecting heart rate variability: an extended literature overview. *Heart Int.* 2016;11(1):e32–e40. doi: 10.5301/heartint.5000232
10. Bauche JP, Grigorieva EA, Matzarakis A. Human-biometeorological assessment of urban structures in extreme climate conditions: the example of Birobidzhan, Russian Far East. *Advances in Meteorology.* 2013;2013:749270. doi: 10.1155/2013/749270
11. Baevsky RM, Ivanov GG, Gavrilushkin AP, et al. Analysis of heart rate variability when using various electrocardiographic systems (part 1). *Journal of Arrhythmology.* 2002;(24):65–86. (In Russ.) EDN: HSPLXF
12. Averyanova IV, Maksimov AL. Hemodynamics and heart rate variability under orthostatic challenge test in young caucasian men: part 1. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2021;28(1):22–31. doi: 10.33396/1728-0869-2021-1-22-31 EDN: WPTYOM
13. Shlyk NI, Sapozhnikova EN, Kirillova TG, Semenov VG. Typological characteristics of the functional state of regulatory systems in schoolchildren and young athletes (according to heart rate variability data). *Fiziologiya Cheloveka.* 2009;35(6):85–93. EDN: KYGHBV
14. Huang CM, Chang HC, Kao ST, et al. Radial pressure pulse and heart rate variability in heat- and cold-stressed humans. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2011;2011:751317. doi: 10.1155/2011/751317
15. Averyanova I.V., Vdovenko S.I. Features of somatometric status and cardiohemodynamics of young men aged 17–21, permanent residents of different climatic geographic regions of Magadan region. *Health. Medical Ecology. Science.* 2018;(2):21–26. doi: 10.5281/zenodo.1296772 EDN: USZQNC
16. Maksimov AL, Averyanova IV. Some peculiarities of demographic and adaptive processes in young male residents of Magadan oblast. *The Bulletin of the North-East Scientific Center.* 2015;(3):99–102. EDN: UIIADZ
17. Belyayeva V. Heart rate variability and basic hemodynamic parameters in medical students in seasons with different photoperiod. *Archiv EuroMedica.* 2022;12(6). doi: 10.35630/2022/12/6.14 EDN: PYEUVS
18. Datieva FS, Belyayeva VA, Dzampaeva ZhV, et al. *Dysregulatory aspects in the pathogenesis of cardiovascular disorders. Possibilities of correction with phytoadaptogens: experimental and clinical studies.* Vladikavkaz: IP Tsopanova AYU; 2022. 308 p. (In Russ.) EDN: NACWMX
19. Belyaeva VA, Takoeva EA. Adaptation potential of the circulatory system and heart rate variability in medical students. *Modern Problems of Science and Education.* 2019;(6):124. doi: 10.17513/spno.29313 EDN: SIIMAM

ОБ АВТОРАХ

* **Беляева Виктория Александровна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 363110, Республика Северная Осетия-Алания,
с. Михайловское, ул. Вильямса, д. 1;
ORCID: 0000-0002-8126-5275;
eLibrary SPIN: 8202-1922;
e-mail: pursh@inbox.ru

Аверьянова Инесса Владиславовна, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Victoria A. Belyayeva**, Cand. Sci. (Biology);
address: 1 Williams st, Mikhailovskoye, North Ossetia-Alania, Russia,
363110;
ORCID: 0000-0002-8126-5275;
eLibrary SPIN: 8202-1922;
e-mail: pursh@inbox.ru

Inessa V. Averyanova, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author