

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

# Характер реагирования кардиоваскулярной системы на биоуправление у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих в северных и южном регионах

Д.Б. Дёмин

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Реакции сердечно-сосудистой системы подростков при саморегуляции зависят от состояния их исходного вегетативного тонуса и региона проживания.

**Цель.** Изучение динамики показателей сердечно-сосудистой системы при кардиобиоуправлении (КБУ) у подростков с различной исходной вегетативной регуляцией сердечного ритма с учётом их проживания в северных и южном регионах.

**Материал и методы.** Обследованы школьники 16–17 лет, постоянно проживающие в северо-западном ( $n=55$ ), северо-восточном ( $n=55$ ) и южном ( $n=55$ ) регионах РФ. Регистрировали вариабельность сердечного ритма (ВСР) и артериальное давление (АД). По исходному типу вегетативной регуляции сердечного ритма испытуемые в регионах были разделены на группы: ваготоники, нормотоники, симпатотоники. Нормотоникам и симпатотоникам дополнительно проводили сеанс биоуправления, повышающего резервы парасимпатической регуляции ритма сердца.

**Результаты.** В выборках северо-западного/северо-восточного/южного регионов выявлено соответственно 29/7/16% ваготоников; 42/47/49% нормотоников; 29/46/35% симпатотоников. Значимо более высокие уровни АД выявлены у симпатотоников северо-восточного региона в сравнении с ваготониками и нормотониками этого региона, а также с симпатотониками северо-западного и южного регионов. КБУ было успешным у всех его участников, показатели ВСР значимо сильнее реагировали на него у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней АД и барорефлекса. Симпатотоники северо-восточного и южного регионов характеризовались сохранением повышенной частоты сердечных сокращений после КБУ, что сопровождалось отчётливой сосудистой реакцией (значимое снижение АД) и выраженностью барорефлекторной реакции.

**Заключение.** Симпатикотония и увеличенная сосудистая реакция на КБУ могут быть характерными для подростков северо-восточного региона, являющихся в большинстве потомками переселенцев из южных регионов. Потомки местных жителей северо-западного региона, по-видимому, обладают более совершенными наследственно закреплёнными механизмами адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям проживания в Арктике.

**Ключевые слова:** подростки; вегетативный тонус; вариабельность сердечного ритма; артериальное давление; биоуправление; северный и южный регионы.

## Как цитировать:

Дёмин Д.Б. Характер реагирования кардиоваскулярной системы на биоуправление у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих в северных и южном регионах // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 375–384. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

# Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions

Denis B. Demin

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The cardiovascular responses of adolescents during self-regulation are contingent upon their initial autonomic tone and place of residence.

**AIM:** To investigate the dynamics of cardiovascular system indices during heart rate variability biofeedback (HRV BF) training in adolescents with different initial autonomic regulation of heart rhythm, taking into account their residence in the northern and southern regions.

**MATERIAL AND METHODS:** Schoolchildren aged 16–17 years, residents of the northwestern ( $n=55$ ), northeastern ( $n=55$ ) and southern ( $n=55$ ) regions of the Russian Federation were examined. Heart rate variability (HRV) and blood pressure (BP) were recorded. Participants were divided into the following groups according to their baseline autonomic regulation of cardiac rhythm: vagotonics, normotonics and sympathotonics. Normotonics and sympathotonics additionally had a one-time HRV BF session to increase parasympathetic influences on heart rhythm.

**RESULTS:** The northwestern/northeastern/southern samples revealed 29/7/16% vagotonics; 42/47/49% normotonics; and 29/46/35% sympathotonics. BP was significantly greater in sympathotonics compared to vagotonics and normotonics in the northeastern region and sympathotonics in the northwestern and southern regions. HRV BF training was successful in all participants: HRV parameters responded to a greater extent in sympathotonics living in the northwestern region while their BP and baroreflex levels were relatively stable. Sympathotonics of the northeastern and southern regions were characterized by preservation of elevated HR after HRV BF accompanied by a significant decrease in BP and a pronounced baroreflex response.

**CONCLUSION:** In the northwestern region, adolescents who are mainly descendants of migrants from the southern regions typically have sympathicotonia and increased vascular response to HRV BF. The descendants of natives of the northwestern region apparently inherited more advanced mechanisms of cardiovascular regulations in the conditions of the Arctic.

**Keywords:** adolescents; autonomic nervous tone; heart rate variability; blood pressure; biofeedback; northern and southern regions.

## To cite this article:

Demin DB. Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):375–384. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

## ВВЕДЕНИЕ

Среди многообразия неблагоприятных для здоровья жителей Арктики факторов традиционно отмечают дискомфортные природно-климатические условия, к которым у коренного населения, в отличие от пришлого, эволюционно лучше сформировалась адаптация [1]. Современные миграционные процессы обуславливают особую специфику физиологической реактивности и экопатологии в различных популяциях северных территорий, которая во многом может отличаться у поколений пришлых и аборигенных жителей [2].

Как известно, вегетативная нервная и сердечно-сосудистая системы являются для подростков одними из самых быстро реагирующих на изменения равновесия организма с внешней средой, они активно участвуют во всех адаптационно-приспособительных реакциях [1]. По данным кардиоритмографии у подростков-северян наблюдаются высокий уровень централизации управления сердечным ритмом и низкая активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) [3]. Отмечен значимо более высокий риск развития артериальной гипертензии у потомков пришлого населения Ямальского региона по сравнению с коренным ненецким населением [1], также у мигрантов выявляется напряжение механизмов адаптации и смещение вегетативного баланса в сторону симпатического отдела ВНС [4]. Предполагается, что южные регионы РФ с их более благоприятными природно-климатическими условиями проживания могут служить относительным сравнительным эталоном для физиологических критериев оценки территорий.

Пониженная температура окружающей среды провоцирует активизацию симпатического отдела ВНС, что направлено на усиление термогенеза и сохранение адекватного кровообращения в жизненно важных органах [5]. При этом реакция симпатического отдела ВНС обеспечивает катаболизм и расход метаболических ресурсов, в то время как сохранение ресурсов парасимпатического отдела ВНС призвано поддерживать анаболические процессы организма. Иными словами, сохранение адекватных резервов парасимпатической регуляции сердечной деятельности обеспечивает долговременную адаптацию в дискомфортных условиях среды обитания.

В связи с этим выбор наиболее оптимального метода коррекции может основываться на активации парасимпатического отдела ВНС, который преимущественно обеспечивает сердечно-лёгочные взаимодействия и позволяет оптимизировать вегетативный баланс. Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции является биоуправление параметрами variability сердечного ритма (ВСР), при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [6, 7]. Предыдущие

исследования показали, что у молодых людей (20–25 лет), проживающих в северо-западном регионе РФ, более выражена фоновая вагусная активность, а эффект кардиобиоуправления (КБУ), направленного на снижение симпатических влияний на ритм сердца, нестабилен. В то же время у людей, проживающих в южных широтах, отмечено выраженное снижение симпатической активности после КБУ [6]. В настоящее время не изучены сравнительные аспекты реактивности сердечно-сосудистой системы у подростков с ещё незавершённым возрастным становлением ВНС, проживающих в различных климатогеографических регионах, при реализации механизма биоуправления по параметрам общей ВСР. Эти сведения необходимы для разработки программ коррекции дезадаптивных состояний с использованием принципа биологической обратной связи у подростков с нарушениями вегетативной регуляции сердечного ритма с учётом их региона проживания.

**Цель.** Сравнительная оценка динамики показателей сердечно-сосудистой системы при кардиобиоуправлении у подростков с различной исходной вегетативной регуляцией сердечного ритма с учётом их проживания в северных и южном регионах.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено поперечное исследование, в котором приняли участие 165 практически здоровых подростков (I–II группы диспансерного наблюдения), проживающих в северо-западном, северо-восточном и южном регионах РФ. В весенний сезон года (апрель) обследованы старшеклассники средних общеобразовательных учреждений г. Архангельска (64°33' с.ш. 40°32' в.д.,  $n=55$ ); г. Надыма Ямало-Ненецкого автономного округа (65°32' с.ш. 72°31' в.д.,  $n=55$ ) и г. Симферополя Республики Крым (44°57' с.ш. 34°06' в.д.,  $n=55$ ). Испытуемых лиц выбирали на добровольной основе. Критериями включения при первичном отборе являлись следующие: возраст 16–17 лет, постоянное проживание в указанных регионах, а также принадлежность к восточнославянской этнической группе (по данным анкетного опроса этническая принадлежность устанавливалась до 4-й степени родства); критерием исключения служило наличие в анамнезе сердечно-сосудистых нарушений и аритмий. Предварительный анализ выборок не выявил выраженных половых различий в изучаемых показателях, что позволило объединить данные по лицам мужского и женского пола. Соотношение юношей и девушек в различных возрастных группах:

- в Архангельске: 16 лет — 12/13; 17 лет — 15/15;
- в Надыме: 16 лет — 10/14; 17 лет — 14/17;
- в Симферополе: 16 лет — 10/12; 17 лет — 16/17.

От всех подростков и их родителей получено письменное информированное согласие на участие в исследовании, одобренном комиссией по биомедицинской этике

Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН (протокол № 3 от 12.02.2020). Исследования выполняли с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). Сбор и дальнейшее использование первичного материала в рамках данной работы осуществляли совместно с сотрудниками лаборатории биоритмологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН д.б.н., доцентом Л.В. Поскотиновой, к.б.н. Е.В. Кривоноговой.

Исследования проводили в положении сидя, в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 ч. На первом этапе в течение 5 мин регистрировали фоновые показатели ВСП и артериального давления (АД). ВСП оценивали при помощи кардиоинтервалографического исследования с использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард» («Рамена», г. Рязань). Система предусматривала автоматическую обработку замеров длительности R–R-интервалов электрокардиограммы во втором стандартном отведении с расчётом показателей ВСП.

При определении преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма нами принимались во внимание фоновые значения индекса напряжения регуляторных систем (Stress Index, SI), который отражает активность симпатoadреналовой системы в условиях относительно покоя [8]. Соответственно испытуемые всех регионов были дополнительно разделены на 3 группы: лица с изначальным преобладанием вагусных влияний на кардиоритм (ваготоники,  $SI \leq 49$  усл. ед.), лица со сбалансированной вегетативной регуляцией кардиоритма (нормотоники,  $SI$  в диапазоне 50–150 усл. ед.) и лица с преобладанием симпатических влияний на кардиоритм (симпатотоники,  $SI \geq 151$  усл. ед.).

На втором этапе (также 5 мин) испытуемые групп нормотоников и симпатотоников проходили однократный сеанс КБУ (патент РФ № 2317771) [6]. Для реализации принципа биоуправления обследуемый получал на экране монитора информацию о состоянии общей мощности спектра ВСП (дисперсии кардиоинтервалов) [8] в виде линейного графика и цифровых показателей. В динамике сеанса обновление указанных показателей происходило каждые 4 с по принципу скользящего окна. Перед началом исследования испытуемого инструктировали о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния, цель тренинга — увеличение общей мощности спектра ВСП (повышение графика). Состояние, отражающее изменение выбранного параметра, формировалось посредством стратегии «свободного поиска» — создания положительно окрашенных мысленных образов в сочетании со спокойным глубоким дыханием с эффективным плавным выдохом и мышечной расслабленностью. При последующей

обработке результатов успешность выполнения процедуры биоуправления оценивали по динамике общей мощности спектра ВСП (total power (TP),  $mc^2$ ). Испытуемые из групп ваготоников сеанс КБУ не проходили (с учётом его направленности на усиление парасимпатических влияний на ритм сердца).

Артериальное давление (мм рт. ст.) фиксировали на каждом этапе трёхкратно подряд с последующим усреднением показателей при помощи автоматического измерителя АД (тонометра) A&D Medical UA-668 (MEDICAL JAPAN, Япония).

**Статистическую обработку** полученных результатов проводили при помощи пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). В связи с тем, что в большинстве случаев распределение признаков в выборках не подчинялось закону нормального распределения (оценка по критерию Шапиро–Уилка), использовали непараметрические методы, учитывали медиану (Me), нижний и верхний квартили (25-й; 75-й перцентили). Для проверки статистической гипотезы разности значений применяли критерий Вилкоксона для двух зависимых выборок, критерий Манна–Уитни для двух независимых групп. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез принимали  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В соответствии с принципом деления подростков по преобладающему типу вегетативной регуляции сердечного ритма в северо-западном регионе в группу с ваготоническим типом вошли 16 человек (29%; средний возраст —  $16,5 \pm 0,5$  года); с нормотоническим типом — 23 человека (42%;  $16,6 \pm 0,5$  года); с симпатотоническим типом — 16 человек (29%;  $16,8 \pm 0,4$  года). В северо-восточном регионе в группу ваготоников вошли 4 человека (7%;  $16,8 \pm 0,5$  года); нормотоников — 26 человек (47%;  $16,5 \pm 0,5$  года); симпатотоников — 25 человек (46%;  $16,6 \pm 0,5$  года). В южном регионе в группу ваготоников вошли 9 человек (16%;  $16,3 \pm 0,5$  года); нормотоников — 27 человек (49%;  $16,3 \pm 0,5$  года); симпатотоников — 19 человек (35%;  $16,4 \pm 0,5$  года).

Медианы фоновых значений SI, TP и частоты сердечных сокращений (ЧСС) значимо отличались между группами ваготоников, нормотоников и симпатотоников внутри каждого региона ( $p < 0,001$ ), что отражено в табл. 1 и 2. Наименьшие значения SI и ЧСС выявлены в группах ваготоников, а наибольшие — у симпатотоников; соответственно, наименьшие значения TP выявлены в группах симпатотоников, а наибольшие — у ваготоников. Выраженных межрегиональных отличий фоновых значений SI и TP в однотипных группах подростков не установлено, статистически значимо более высокие показатели ЧСС отмечены у ваготоников северо-западного региона в сравнении с аналогичными группами северо-восточного ( $p < 0,05$ ) и южного регионов ( $p < 0,01$ ).

**Таблица 1.** Изменение показателей вариабельности сердечного ритма в динамике сеанса кардиобиоуправления у подростков с ваготоническим (1), нормотоническим (2) и симпатотоническим (3) типами вегетативной регуляции сердечного ритма, проживающих в северо-западном (I), северо-восточном (II) и южном (III) регионах РФ, Me [25; 75]

**Table 1.** Changes in heart rate variability in the dynamics of cardiac biocontrol session in adolescents with vagotonic (1), normotonic (2) and sympathotonic (3) types of autonomic regulation of heart rhythm, living in northwestern (I), northeastern (II) and southern (III) regions of Russia (Me [25; 75])

| Показатели<br>Indicators                                                                                                | Группа<br>Group | Фон (BL)<br>Baseline (BL) | КБУ (BF)<br>HRV BF (BF) | <i>p</i>                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Индекс напряжения<br>регуляторных систем, усл. ед.<br>Stress index, SU                                                  | I/1             | 35,8 [30,7; 44,0]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | I/2             | 87,2 [69,9; 117,7]        | 51,7 [42,7; 78,0]       | I/1–I/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                    |
|                                                                                                                         | I/3             | 226,7 [180,6; 298,2]      | 67,4 [54,6; 86,3]       | I/1–I/3 <0,001<br>I/2–I/3 <0,001<br>BL–BF <0,001                                  |
|                                                                                                                         | II/1            | 39,6 [32,6; 41,4]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | II/2            | 96,1 [83,5; 125,4]        | 58,6 [49,1; 82,5]       | II/1–II/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                  |
|                                                                                                                         | II/3            | 267,7 [193,9; 354,9]      | 115,2 [77,3; 141,1]     | II/1–II/3 <0,001<br>II/2–II/3 <0,001<br>BL–BF <0,001<br>BF/I/3–BF/II/3=0,004      |
|                                                                                                                         | III/1           | 32,6 [28,0; 44,1]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | III/2           | 93,8 [69,9; 108,2]        | 51,0 [37,9; 68,6]       | III/1–III/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                |
|                                                                                                                         | III/3           | 242,1 [200,2; 427,8]      | 141,6 [96,0; 167,4]     | III/1–III/3 <0,001<br>III/2–III/3 <0,001<br>BL–BF <0,001<br>BF/I/3–BF/III/3=0,021 |
| Общая мощность спектра<br>вариабельности сердечного<br>ритма ×100, мс <sup>2</sup><br>Total power ×100, ms <sup>2</sup> | I/1             | 54,6 [46,5; 63,2]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | I/2             | 23,8 [18,9; 33,6]         | 77,0 [50,5; 91,7]       | I/1–I/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                    |
|                                                                                                                         | I/3             | 11,6 [9,0; 14,7]          | 52,0 [35,3; 61,9]       | I/1–I/3 <0,001<br>I/2–I/3 <0,001<br>BL–BF <0,001                                  |
|                                                                                                                         | II/1            | 45,1 [38,5; 60,6]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | II/2            | 23,9 [18,2; 28,9]         | 56,3 [42,6; 71,3]       | II/1–II/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                  |
|                                                                                                                         | II/3            | 11,1 [7,2; 13,7]          | 31,5 [25,4; 46,2]       | II/1–II/3 <0,001<br>II/2–II/3 <0,001<br>BL–BF <0,001<br>BF/I/3–BF/II/3=0,04       |
|                                                                                                                         | III/1           | 67,8 [44,3; 72,4]         | —                       | —                                                                                 |
|                                                                                                                         | III/2           | 26,7 [21,2; 30,3]         | 77,3 [55,2; 101,3]      | III/1–III/2 <0,001<br>BL–BF <0,001                                                |
|                                                                                                                         | III/3           | 11,8 [7,4; 14,2]          | 29,5 [25,2; 39,7]       | III/1–III/3 <0,001<br>III/2–III/3 <0,001<br>BL–BF <0,001<br>BF/I/3–BF/III/3=0,008 |

Примечание: КБУ — кардиобиоуправление.

Note: HRV BF — heart rate variability biofeedback.

**Таблица 2.** Изменение показателей пульса и артериального давления в динамике сеанса кардиобиоуправления у подростков с ваготоническим (1), нормотоническим (2) и симпатотоническим (3) типами вегетативной регуляции сердечного ритма, проживающих в северо-западном (I), северо-восточном (II) и южном (III) регионах РФ, Ме [25; 75]

**Table 2.** Changes in heart rate and blood pressure in the dynamics of cardiac biocontrol session in adolescents with vagotonic (1), normotonic (2) and sympathotonic (3) types of autonomic regulation of heart rhythm, living in northwestern (I), northeastern (II) and southern (III) regions of Russia (Me [25; 75])

| Показатели<br>Indicators                             | Группа<br>Group | Фон (BL)<br>Baseline (BL) | КБУ (BF)<br>HRV BF (BF) | p                                                      |
|------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|
| ЧСС, уд./мин<br>Heart rate, bpm                      | I/1             | 66,5 [63,9; 73,9]         | —                       | —                                                      |
|                                                      | I/2             | 81,7 [72,6; 86,7]         | 82,7 [76,6; 86,3]       | I/1–I/2 <0,001                                         |
|                                                      | I/3             | 84,0 [78,9; 91,3]         | 82,2 [78,6; 89,8]       | I/1–I/3 <0,001                                         |
|                                                      | II/1            | 60,0 [59,8; 62,3]         | —                       | I/1–II/1=0,035                                         |
|                                                      | II/2            | 76,0 [73,0; 84,0]         | 79,0 [71,3; 86,0]       | II/1–II/2 <0,001                                       |
|                                                      | II/3            | 84,0 [79,5; 93,0]         | 86,0 [80,8; 93,0]       | II/1–II/3 <0,001<br>II/2–II/3 <0,001                   |
|                                                      | III/1           | 60,0 [58,0; 61,0]         | —                       | I/1–III/1=0,008                                        |
|                                                      | III/2           | 76,0 [73,0; 82,3]         | 79,0 [72,3; 85,0]       | III/1–III/2 <0,001                                     |
|                                                      | III/3           | 87,0 [81,0; 96,0]         | 91,0 [83,0; 98,5]       | III/1–III/3 <0,001<br>III/2–III/3 <0,001               |
| Систолическое АД, мм рт. ст.<br>Systolic BP, mm Hg   | I/1             | 116,5 [113,3; 122,5]      | —                       | —                                                      |
|                                                      | I/2             | 118,0 [114,5; 125,5]      | 118,0 [111,3; 123,3]    | —                                                      |
|                                                      | I/3             | 119,5 [112,0; 134,0]      | 114,0 [110,3; 127,5]    | —                                                      |
|                                                      | II/1            | 115,5 [113,3; 117,3]      | —                       | —                                                      |
|                                                      | II/2            | 116,0 [107,5; 119,5]      | 115,0 [109,3; 117,0]    | I/2–II/2=0,048                                         |
|                                                      | II/3            | 121,5 [114,0; 126,3]      | 116,5 [107,0; 123,8]    | II/2–II/3=0,012<br>BL–BF=0,019                         |
|                                                      | III/1           | 116,0 [113,0; 119,0]      | —                       | —                                                      |
|                                                      | III/2           | 117,0 [113,0; 122,0]      | 110,5 [104,5; 118,8]    | BL–BF=0,006                                            |
|                                                      | III/3           | 117,0 [114,5; 124,0]      | 104,0 [100,0; 115,5]    | II/3–III/3=0,032<br>BL–BF <0,001                       |
| Диастолическое АД, мм рт. ст.<br>Diastolic BP, mm Hg | I/1             | 79,0 [74,5; 82,0]         | —                       | —                                                      |
|                                                      | I/2             | 81,5 [75,3; 87,5]         | 80,5 [76,5; 84,8]       | —                                                      |
|                                                      | I/3             | 82,5 [77,3; 88,5]         | 79,5 [74,0; 83,8]       | —                                                      |
|                                                      | II/1            | 76,5 [72,0; 79,0]         | —                       | —                                                      |
|                                                      | II/2            | 80,0 [72,5; 83,0]         | 78,0 [73,0; 81,8]       | I/2–II/2=0,047                                         |
|                                                      | II/3            | 87,5 [81,0; 90,3]         | 85,0 [80,0; 90,0]       | II/1–II/3 <0,001<br>II/2–II/3 <0,001<br>I/3–II/3=0,045 |
|                                                      | III/1           | 73,0 [72,0; 85,0]         | —                       | —                                                      |
|                                                      | III/2           | 78,0 [74,5; 84,8]         | 77,5 [74,0; 82,8]       | —                                                      |
|                                                      | III/3           | 82,0 [76,0; 88,0]         | 82,0 [75,0; 86,5]       | —                                                      |

Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений; АД — артериальное давление; КБУ — кардиобиоуправление.

Note: BP — blood pressure; HRV BF — heart rate variability biofeedback.

Во время сеанса КБУ у обследованных подростков из групп нормотоников и симпатотоников из всех регионов медианы управляемого показателя (ТР) статистически значимо повышались в сравнении с фоновыми значениями ( $p < 0,001$ ). SI значимо снижался при КБУ также у всех подростков указанных групп ( $p < 0,001$ ). На этапе КБУ-тренинга значимо более высокие показатели ТР и более низкие показатели SI выявлены у симпатотоников северо-западного региона в сравнении с аналогичными группами северо-восточного и южного регионов ( $p < 0,05-0,01$ ).

Распределение медиан АД у подростков изучаемых регионов с различным вегетативным тонусом показало тенденцию к более высоким значениям в группах симпатотоников (см. табл. 2). Статистически значимо более высокие уровни систолического и диастолического АД выявлены у симпатотоников северо-восточного региона, как в сравнении с ваготониками ( $p < 0,001$ ) и нормотониками ( $p < 0,05-0,001$ ) того же региона, так и в сравнении с симпатотониками северо-западного ( $p < 0,05$ ) и южного ( $p < 0,05$ ) регионов. В то же время в группе нормотоников северо-западного региона медианы систолического и диастолического АД были значимо выше аналогичной группы северо-восточного региона ( $p < 0,05$ ).

Показатели АД на этапе КБУ-тренинга имели тенденцию к снижению практически у всех подростков, выполнявших процедуру. Наиболее отчетливо это снижение демонстрировали на примере систолического АД группы симпатотоников северо-восточного ( $p < 0,05$ ) и южного ( $p < 0,001$ ) регионов, а также нормотоники южного региона ( $p < 0,01$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время остаётся открытым вопрос: насколько изменения вегетативной регуляции ритма сердца и центральной гемодинамики являются адаптивными к конкретной окружающей среде обитания, а насколько обуславливают риск развития социально значимых заболеваний подрастающего поколения в Арктике.

Вариабельность сердечного ритма находится под непосредственным контролем центральной и вегетативной нервной систем и является одним из важнейших индикаторов адапционно-приспособительных процессов в организме [9]. Оценку состояния ВНС подростков осуществляли по фоновым показателям ВСР, в качестве статистической характеристики динамического ряда кардиоинтервалов использовали SI. Как известно, чем меньше величина SI, тем больше активность парасимпатического отдела ВНС, а чем больше величина этого индекса, тем выше активность симпатического отдела, степень централизации управления сердечным ритмом и соответственно — общий сдвиг вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной системы над парасимпатической. Кроме того, оценивали фоновую общую

мощность спектра ВСР, отражающую степень парасимпатических влияний на ритм сердца [8].

Почти треть обследованных подростков в северо-западном регионе вошла в группу с ваготоническим типом. Это значимо более высокий показатель в сравнении с двумя другими исследованными регионами. По-видимому, в ходе онтогенетических эволюционных процессов у части потомков коренного поморского населения Севера, в течение многих поколений проживающих на данных территориях, произошли определённые перестройки, оптимизация и адаптация программ взаимодействия с окружающей средой. Существует мнение, что лица, обладающие ваготоническим типом вегетативной регуляции, проявляют энергетически более экономный характер функционирования систем организма, определяющий повышенную устойчивость к действию суровых климатических факторов [10].

В то же время в выборке северо-восточного региона доля лиц с ваготоническим типом была наименьшей, а преобладали подростки со значимым фоновым преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности и с повышенными уровнями АД. Освоение Ямальского региона сопровождается массовым притоком людских ресурсов, преимущественно молодого фертильного возраста, что приводит к быстрому росту доли детского и подросткового населения — до 21% (в целом по РФ — 16%) [1]. В связи с этим проблема качества жизни, физического и психологического здоровья, социального самочувствия коренного и укоренённого здесь подросткового населения приобретает особую актуальность.

По данным литературы, мигранты с ещё незавершёнными механизмами адаптации страдают артериальной гипертензией чаще, при этом у молодых жителей на Севере она протекает более тяжело, чем в средних широтах [2, 4]. По мнению авторов, изменение периферической гемодинамики, по всей вероятности, связано с тем, что возбуждение холодовых рецепторов кожи приводит к активации центров терморегуляции, и это стимулирует эрготропную активность симпатической нервной системы. Вазомоторный ответ сердечно-сосудистой системы опосредуется симпатической активацией, направленной на периферическую вазоконстрикцию, в результате которой за счёт уменьшения периферического кровотока происходит снижение теплопотерь организма [5].

Состояние симпатикотонии традиционно принято рассценивать как преморбидное состояние для формирования артериальной гипертензии. Однако ранее было показано, что умеренная симпатикотония может рассматриваться как возможный вариант адаптивной реакции организма на дискомфортность среды обитания в Арктике, обеспечивающей стабильность функционирования церебральных структур [11] и, возможно, когнитивной деятельности. Следовательно, существует проблема «меры» выраженности симпатикотонии, при которой она обеспечивает

адаптивное значение, а также различной «физиологической платы» органов-мишеней за адаптацию в конкретных климатических условиях.

Столь же актуальна необходимость в физиологическом обосновании применения немедикаментозных методов коррекции изменений сердечно-сосудистой системы с использованием принципов биоуправления с обратной связью в конкретных условиях среды обитания. Немедикаментозная коррекция функциональных нарушений может являться предпочтительной с экономической и реабилитационной точек зрения в силу её связи с патогенезом дисфункции и относительной доступностью и простотой.

В рамках текущего исследования нами показано, что даже при однократном сеансе все участвовавшие подростки смогли успешно выполнить процедуру КБУ. Критерием эффективности служило снижение индекса напряжения и увеличение общей мощности спектра ВСР, при этом испытуемые достигали состояния общей расслабленности, покоя, психического комфорта и эмоционального равновесия. Известно, что при коротких записях кардиоинтервалограммы (5 мин) показатель общей мощности спектра ВСР отражает не только общую вариабельность ритма сердца, но и степень сохранности вагусных механизмов сердечной регуляции [8]. Следовательно, с увеличением общей мощности ритма сердца в данном временном диапазоне в процессе кардиотренинга можно увеличить резерв парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца. Учитывая, что показатель TP в отличие от стандартного отклонения кардиоинтервалов (SDNN, мс) содержит минимальный вклад непериодических (недыхательных) волн, можно полагать, что эффект биоуправления достигается за счёт увеличения вклада в первую очередь дыхательной и барорефлекторной составляющих спектра ВСР [7].

Более значимые реакции ВСР на процедуру КБУ выявлены у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней АД и барорефлекса, что может говорить о высоком уровне централизации управления сердечным ритмом. При этом снижение систолического АД после сеанса КБУ у подростков с симпатикотонией из северо-восточного и южного регионов, вероятно, связано с действием барорецепторов. Незначительное повышение ЧСС у данных лиц может расцениваться как более сильная эмоциональная реакция на новизну первого сеанса КБУ и «вработывание» в новый для подростка когнитивный процесс. Ранее показано, что КБУ-тренинг вызывает нейропластичность барорефлекса у людей с гипертонией, тем самым снижая и контролируя изменение АД [12]. Что касается уровней диастолического АД, то в большинстве исследований после КБУ-терапии выявлено статистически значимое его снижение [13, 14]. Кроме того, замечено, что пациенты с более высокой симпатической возбудимостью (т.е. с более высоким исходным уровнем АД,

более высокой ЧСС, холодными руками и повышенным электромиографическим ответом) могут лучше реагировать на КБУ-тренинги [15].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении исследуемых выборок старшеклассников, проживающих в населённых пунктах Арктического региона и южного региона РФ, установлено, что наибольший вклад в исходный тип вегетативной регуляции сердечного ритма и уровни артериального давления, вероятно, вносят климатогеографические условия и длительность проживания на Севере. Максимальную представленность во всех регионах имели лица с нормотоническим типом (42–49%), при этом доля лиц с ваготоническим типом была наименьшей в северо-восточном регионе (7%), а наибольшей — в северо-западном (29%). В то же время в северо-восточном регионе превалировала доля лиц (46%) со значимым фоновым преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности и повышенными уровнями давления в магистральных сосудах. В северо-западном и южном регионах подростки с симпатотоническим типом составляли примерно треть от всех выборок (29–35%), исходные уровни артериального давления значимо не различались в данных группах.

Способность обследованных подростков изменять активность параметров ритма сердца в ходе кардиобиоуправления может также определять степень его воздействия и на функции центральных структур вегетативной регуляции. Тренинг кардиобиоуправления был успешным у всех его участников, при этом показатели вариабельности ритма сердца статистически значимо сильнее реагировали на эту процедуру у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней артериального давления и барорефлекса. В то же время подростки с симпатикотонией из северо-восточного и южного регионов характеризовались сохранением повышенной частоты пульса относительно возрастных нормативов после кардиобиоуправления, что сопровождалось более явной сосудистой реакцией (значимое снижение артериального давления) и выраженностью барорефлекторной реакции.

Симпатикотония, функциональное напряжение адаптивных функций, увеличенная сосудистая реакция на тренинг кардиобиоуправления могут быть характерными для подростков северо-восточного региона, являющихся в большинстве потомками в первом поколении переселенцев из более южных регионов. При этом потомки коренных жителей северо-западного региона, по-видимому, могут обладать более совершенными наследственно закреплёнными механизмами адаптации сердечно-сосудистой системы к более суровым условиям постоянного проживания в Арктике.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад автора.** Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (автор внёс существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочёл и одобрил финальную версию перед публикацией).

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках темы ФНИР ИПА ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № 122011300469-7.

**Конфликт интересов** отсутствует.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contribution.** The author confirms that his authorship complies with the international ICMJE criteria. The author developed the concept, conducted the research, wrote the article and approved its final version.

**Funding sources.** This research was funded by FECIAR UrB RAS, project number 122011300469-7.

**Competing interests.** No conflict of interest.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьякович М.П., Дьякович О.А. Связанное со здоровьем качество жизни подростков Ямало-Ненецкого автономного округа // Экология человека. 2017. Т. 24, № 3. С. 43–48. doi: 10.33396/1728-0869-2017-3-43-48
2. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Артамонова С.Ю., Аммосова А.М., Захарова Н.М., и др. Состояние вегетативной нервной системы у подростков города Якутска // Вестник Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. 2018. № 4. С. 33–38. doi: 10.25587/SVFU.2018.4(13).20742
4. Лытаев С.А., Толстова Е.А. Вегетативный статус при артериальной гипертензии у коренных жителей Крайнего Севера и мигрантов // Педиатр. 2016. Т. 7, № 3. С. 56–62. doi: 10.17816/PED7356-62
5. Коробицына Е.В., Мелькова Л.А., Гудков А.Б. Влияние локального охлаждения кожи кисти и стопы на показатели периферической гемодинамики у юношей и девушек Европейского Севера России // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2016. № 4. С. 22–29. doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.22
6. Поскотинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодежи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2010. 232 с.
7. Lehrer P., Kaur K., Sharma A. Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta analysis // Appl Psychophysiol Biofeedback. 2020. Vol. 45, N 3. P. 109–129. doi: 10.1007/s10484-020-09466-z
8. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods // Cardiology. 2017. N 10. P. 66–76. doi: 10.12710/cardiology.2017.6676
9. Singh N., Moneghetti K.J., Christle J.W., et al. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mhealth technologies for health and exercise training guidance. Part one: physiology and methods // Arrhythm Electrophysiol Rev. 2018. Vol. 7, N 3. P. 193–198. doi: 10.15420/aer.2018.27.2
10. Oikawa L.O. Characteristics of possible "Polar adaptation" by long-term wintering in antarctica observed through analysis of heart rate variability (HRV) components representing autonomic nervous system (ANS) response // Journal of the Neurological Sciences. 2017. Vol. 381. P. 935. doi: 10.1016/j.jns.2017.08.2631
11. Дёмин Д.Б., Поскотинова Л.В., Кривоногова Е.В. ЭЭГ-реакции в динамике кардиобиоуправления у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих на северных широтах // Экология человека. 2016. Т. 23, № 10. С. 23–30. doi: 10.33396/1728-0869-2016-10-23-30
12. Lin G., Xiang Q., Fu X., et al. Heart rate variability biofeedback decreases blood pressure in prehypertensive subjects by improving autonomic function and baroreflex // J Altern Complement Med. 2012. Vol. 18, N 2. P. 143–152. doi: 10.1089/acm.2010.0607
13. Nolan R.P., Floras J.S., Harvey P.J., et al. Behavioral neurocardiac training in hypertension: a randomized, controlled trial // Hypertension. 2010. Vol. 55, N 4. P. 1033–1039. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.146233
14. Olsson E.M., El Alaoui S., Carlberg B., et al. Internet-based biofeedback-assisted relaxation training in the treatment of hypertension: a pilot study // Appl Psychophysiol Biofeedback. 2010. Vol. 35, N 2. P. 163–170. doi: 10.1007/s10484-009-9126-x
15. Moravec C.S. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: rationale and research overview // Cleve Clin J Med. 2008. Vol. 75, Suppl. 2. P. 35–38. doi: 10.3949/ccjm.75.suppl\_2.s35

## REFERENCES

1. Dyakovich MP, Dyakovich OA. Health related quality of life of adolescents living in the Yamal-Nenets autonomous area. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(3):43–48. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2017-3-43-48
2. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the health of its population (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(1):77–88. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Artamonova SU, Ammosova AM, Zakharova NM, et al. The state of autonomic nervous system in teenagers of the city of Yakutsk. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Medical Sciences*. 2018;(4):33–38. (In Russ). doi: 10.25587/SVFU.2018.4(13).20742

4. Lytaev SA, Tolstova EA. Vegetative status with arterial hypertension in the indigenous population of the Far North and migrants. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2016;7(3):56–62. (In Russ). doi: 10.17816/PED7356-62
5. Korobitsyna EV, Mel'kova LA, Gudkov AB. Impact of local hand and foot skin cooling on peripheral hemodynamic parameters in young men and women in the European North of Russia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seria: Mediko-biologicheskie nauki*. 2016;(4):22–29. (In Russ). doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.22
6. Poskotinova LV. *Vegetativnaya reguljacija ritma serdca i jendokrinnij status molodezhi v uslovijah Evropejskogo Severa Rossii*. Yekaterinburg: Ural Branch of RAS. 2010. 232 p. (In Russ).
7. Lehrer P, Kaur K, Sharma A. Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta analysis. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2020;45(3):109–129. doi: 10.1007/s10484-020-09466-z
8. Baevsky RM, Chernikova AG. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry*. 2017;(10):66–76. doi: 10.12710/cardiometry.2017.6676
9. Singh N, Moneghetti KJ, Christle JW, et al. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mhealth technologies for health and exercise training guidance. Part one: physiology and methods. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2018;7(3):193–198. doi: 10.15420/aer.2018.27.2
10. Oikawa LO. Characteristics of possible "Polar adaptation" by long-term wintering in antarctica observed through analysis of heart rate variability (HRV) components representing autonomic nervous system (ANS) response. *Journal of the Neurological Sciences*. 2017;381:935. doi: 10.1016/j.jns.2017.08.2631
11. Demin DB, Poskotinova LV, Krivonogova EV. EEG reactions during heart rate variability biofeedback procedure in adolescents with different autonomic tone living in Northern areas. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016;23(10):23–30. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2016-10-23-30
12. Lin G, Xiang Q, Fu X, et al. Heart rate variability biofeedback decreases blood pressure in prehypertensive subjects by improving autonomic function and baroreflex. *J Altern Complement Med*. 2012;18(2):143–152. doi: 10.1089/acm.2010.0607
13. Nolan RP, Floras JS, Harvey PJ, et al. Behavioral neurocardiac training in hypertension: a randomized, controlled trial. *Hypertension*. 2010;55(4):1033–1039. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.146233
14. Olsson EM, El Alaoui S, Carlberg B, et al. Internet-based biofeedback-assisted relaxation training in the treatment of hypertension: a pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010;35(2):163–170. doi: 10.1007/s10484-009-9126-x
15. Moravec CS. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: rationale and research overview. *Cleve Clin J Med*. 2008; 75 Suppl. 2:S35–S38. doi: 10.3949/ccjm.75.suppl\_2.s35

## ОБ АВТОРЕ

\* **Дёмин Денис Борисович**, д.м.н.,  
старший научный сотрудник;  
адрес: Российская Федерация; 163000, Архангельск,  
проспект Ломоносова, д. 249;  
ORCID: 0000-0001-7912-9226;  
eLibrary SPIN: 6565-4657;  
e-mail: denisdemin@mail.ru

## AUTHOR INFO

\* **Denis B. Demin**, MD, Dr. Sci. (Med.),  
senior research associate;  
address: 249 Lomonosov avenue, 163000 Arkhangelsk,  
Russian Federation;  
ORCID: 0000-0001-7912-9226;  
eLibrary SPIN: 6565-4657;  
e-mail: denisdemin@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author