

## Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у подростков в условиях стрессовой нагрузки

Галина Александровна Яманова<sup>1</sup>✉, Родион Александрович Кудрин<sup>2</sup>,  
Алена Анатольевна Антонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия

<sup>2</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

**Аннотация.** Современная физиология уделяет большое внимание изучению адаптации организма к многофакторным воздействиям окружающей среды. Дисбаланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы нарушает адаптационные процессы, что особенно значимо в подростковом возрасте из-за высокой лабильности автономной регуляции. В исследовании приняли участие 370 детей мужского пола в возрасте от 10 до 17 лет. Анализ вариабельности сердечного ритма проводился на основании результатов кардиоинтервалографии в состоянии покоя и после функциональной пробы. Проведенный анализ спектральных параметров сердечного ритма выявил преобладание у большинства участников регуляторного профиля, соответствующего сбалансированности вегетативных механизмов и оптимальному функциональному состоянию организма. Возрастная динамика демонстрирует увеличение доли подростков с напряжением регуляторных систем. С возрастом наблюдается статистически значимое снижение численности этой группы, что указывает на эффективное восстановление адаптационных возможностей организма. Спектральный анализ сердечного ритма выявил рост относительного показателя низкочастотного компонента во всех возрастных группах, что указывает на активацию неспецифических регуляторных механизмов с участием вазомоторного центра. Спектральный анализ в процессе нагрузочного тестирования выявил значимое повышение общей мощности спектра. Выявлено увеличение доли влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы в процессах регуляции сердечной деятельности у подростков 12–13 и 14–15 лет, что сопровождается напряжением механизмов адаптации. Также преобладание роли симпатического отдела в восстановительный период функциональной пробы регистрируется в большей степени в возрасте 12–13 лет у подростков, относящихся ко 2-й группе. В 4-й группе восстановительный период характеризуется снижением общей мощности спектра. Проведенное исследование особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у подростков в условиях нагрузочного тестирования позволило выявить значимые индивидуальные различия в адаптационных реакциях сердечно-сосудистой системы. Полученные данные подтверждают, что анализ вариабельности сердечного ритма является информативным методом оценки функционального состояния организма, что особенно важно для ранней диагностики донозологических нарушений.

**Ключевые слова:** подростки, адаптация, стресс, кардиоритмография, ортостаз

### ORIGINAL RESEARCHES

#### Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2025-22-3-37-43>

## The features of vegetative regulation of the heart rate in adolescents under stress

Galina A. Yamanova<sup>1</sup>✉, Rodion A. Kudrin<sup>2</sup>, Alyona A. Antonova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

<sup>2</sup> Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

**Abstract.** Modern physiology pays great attention to the study of how the body adapts to various environmental factors. An imbalance in the sympathetic and parasympathetic branches of the nervous system can disrupt this adaptation process, which is particularly significant during adolescence due to the increased lability of the autonomic regulation. The study involved 370 children aged 10–17 years, all male. Heart rate variability was analyzed based on the results of cardiointervalography both at rest and after a functional test. Analysis of the spectral parameters of heart rate revealed that most participants had a regulatory profile, indicating a balance of vegetative mechanisms and optimal functional state. Age-related analysis showed an increase in the number of adolescents with a stress on their regulatory systems. As people age, there is a statistically significant decrease in the number of people in this group. This indicates an effective restoration of the body's adaptive capabilities. Spectral analysis of heart rate reveals an increase in the relative value of the low-frequency component in all age groups. This indicates activation of non-specific regulatory mechanisms involving the vasomotor center. During load testing, spectral analysis revealed a statistically significant increase in total power of the spectrum. However, at the same time, a predominance of sympathetic division in rhythm regulation was noted among 12–13-year-olds and 14–15-year-olds, indicating an increase in adaptation mechanisms. Additionally, the predominance of sympathetic department role during recovery is more prominent among 12–13-year-old adolescents belonging to group 2. In group 4, the recovery period was characterized by a decrease in the overall power of the spectrum. Our study of the autonomic regulation of heart rate in adolescents

during stress testing revealed significant individual differences in adaptive responses of the cardiovascular system. These findings confirm that analysis of heart rate variability can be an informative tool for assessing functional state and may be particularly useful for early detection of pre-clinical disorders.

**Keywords:** adolescents, adaptation, stress, cardiorhythmography, orthostasis

В современной физиологии значительное внимание уделяется исследованию механизмов адаптации организма к полимодальным воздействиям внешней среды. Комплексное влияние экзогенных и эндогенных детерминант вызывает значительную нагрузку на регуляторные системы, что обуславливает необходимость активации компенсаторно-приспособительных механизмов и функциональной реорганизации физиологических процессов. Особый научный интерес представляет изучение адаптационного потенциала в онтогенезе, с учетом критической значимости пубертатного периода для формирования нейровегетативных и нейро-эндокринных регуляторных механизмов.

Вегетативная нервная система (ВНС), как интегративный компонент автономной регуляции, играет ключевую роль в обеспечении адаптационных процессов, осуществляя тонкую модуляцию висцеральных функций и поддерживая гомеостатическое равновесие. Дисрегуляция симпато-парасимпатических взаимодействий может приводить к рассогласованию адаптационных механизмов, что приобретает особую клинко-физиологическую значимость в подростковом возрасте, характеризующемся выраженной лабильностью вегетативного обеспечения [1].

Современные условия жизни, отличающиеся когнитивной интенсификацией, цифровой трансформацией и хроническим психоэмоциональным напряжением, предъявляют повышенные требования к адаптационным резервам подростков. В условиях пролонгированного стресса наблюдается гиперфункция симпатoadrenalовой системы, что клинически манифестирует в виде вегетативного дисбаланса, проявляющегося тахикардией, артериальной гипертензией и снижением вариабельности сердечного ритма (ВСР) – важнейшего предиктора адаптационного потенциала [2]. Кроме того, даже в условиях относительной стабильности функциональные резервы ВНС часто оказываются недостаточными для обеспечения адекватной адаптации, а при воздействии экстремальных факторов формируется состояние дезадаптации с клинически значимыми вегетативными нарушениями. В пубертатном периоде, когда наблюдается гетерохронное созревание гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы и реорганизация нейрогуморальной регуляции, вегетативный дисбаланс может выступать патогенетическим звеном в развитии психосоматической патологии, когнитивного дефицита и снижения общего уровня здоровья [3].

Особую диагностическую ценность представляют методы анализа вариабельности сердечного ритма, позволяющие количественно оценить соотношение симпатического и парасимпатического влияния

на кардиоваскулярную систему [4]. В настоящее время ВСР признана значимым показателем, отражающим функциональное состояние систем физиологического контроля. Параметры ВСР рассматриваются как маркеры, способные предсказать риск ранней смерти после перенесенного инфаркта миокарда или вероятность возникновения хронической сердечной недостаточности. Кроме того, указанные параметры используются для выявления вегетативных нарушений при диабете, а также в качестве неинвазивного метода оценки вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы в условиях стресса, покоя или при анализе эффективности физических тренировок [5].

Редукция высокочастотного компонента (HF), отражающего парасимпатическую активность, является маркером напряжения регуляторных систем и предиктором потенциальной дезадаптации. Исследования показывают наличие гендерных различий в соотношении активности отделов ВНС. В подростковом возрасте (11–17 лет) мальчики демонстрируют более высокую симпатическую активность по сравнению с девочками, что может быть связано с их повышенной эмоциональной реактивностью на социальные изменения и стрессогенные факторы данного возрастного периода, повышая риски развития нарушений. Причем данная тенденция сохраняется и во взрослом возрасте, представляя собой гендерные различия в реагировании на стресс, демонстрируя преобладание активности оси гипоталамус – гипофиз – надпочечники у мужчин и парасимпатическое отстранение у женщин [6]. Кроме того, многочисленные наблюдения ВСР у лиц с нарушением сердечного ритма демонстрируют повышение активности симпатического тонуса среди пациентов, что подтверждает роль дисбаланса активности ВНС в патогенезе заболеваний сердца [7].

Таким образом, изучение роли вегетативной нервной системы в процессах адаптации подростков представляет собой важную научно-практическую задачу, решение которой будет способствовать развитию персонализированных превентивных подходов в рамках сохранения здоровья и оптимизации образовательного процесса.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма подростков в условиях стрессовой нагрузки.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 370 детей мужского пола в возрасте от 10 до 17 лет. Критериями

включения в исследования были: наличие письменного добровольного информированного согласия законных представителей участников, возраст от 9 лет 6 месяцев до 17 лет 5 месяцев 29 дней; дети 1–2-й групп здоровья, а также 3-й группы в состоянии компенсации; отсутствие симптомов острого или обострения хронического заболевания.

Основными группирующими критериями были возраст, а также показатели кардиоинтервалографии, позволившие выделить группы с преобладанием центрального и автономного контуров регуляции. Участники были разделены на 4 категории по возрасту: 10–11, 12–13, 14–15, 16–17 лет. С учетом показателей стресс-индекса (SI), очень низкочастотных спектральных компонентов (VLF), абсолютного уровня суммарной активности регуляторных систем (TP) были выделены:

1-я группа – с умеренным преобладанием центральной регуляции (ЦР) сердечного ритма [SI (усл. ед.) > 100; VLF (мс<sup>2</sup>) > 240];

2-я группа – с выраженным преобладанием центральной регуляции (ЦР) сердечного ритма [SI (усл. ед.) > 100; VLF (мс<sup>2</sup>) < 240];

3-я группа – с умеренным преобладанием автономной регуляции (АР) сердечного ритма [SI (усл. ед.) = 25–100; VLF (мс<sup>2</sup>) > 240];

4-я группа – с выраженным преобладанием автономной регуляции (АР) сердечного ритма [SI (усл. ед.) < 25; VLF (мс<sup>2</sup>) > 500, TP > 8 000–10 000].

Анализ ВСР проводился на основании результатов кардиоинтервалографии в состоянии покоя и после функциональной пробы посредством программного модуля «Варикард» («Здоровье-экспресс-2», «Медицинские компьютерные системы», Россия).

В качестве стресс-пробы для изучения регуляции сердечного ритма при нагрузочном тестировании использовалась активная ортостатическая проба. Активная ортостатическая проба (АОП) является достаточно простым и в то же время высокоинформативным методом исследования. Она позволяет оценить реактивность отделов вегетативной нервной системы, а также толерантность организма к резким изменениям положения тела. Феномен Эвинга объясняет динамику частоты сердечных сокращений (ЧСС) в период перехода обследуемого в вертикальное положение: вагусная активность минимальна в первые 15 сокращений сердца (ЧСС возрастает) и максимальна в районе 30-го сокращения (ЧСС снижается). Коэффициент Эвинга (K30:15) позволяет оценить активность парасимпатической нервной системы.

Обработка и анализ данных проведены с использованием программного обеспечения: Microsoft Excel (версия 16.68, Microsoft Corporation, США) и статистического пакета Statistica (версия 10, TIBCO Software Inc., США). Результаты обработки данных представле-

ны в виде относительных величин, средних значений и стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ), медианы и квантилей, Me (Q1; Q3).

Оценка статистической значимости межгрупповых различий проводилась с применением параметрического t-критерия Стьюдента для независимых выборок и непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Критический уровень статистической значимости ( $p$ ) был установлен на уровне 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ показателей ВСР продемонстрировал гармоничную работу ВНС и оптимальное функционирование организма участников: большинство подростков характеризовались средними значениями SI в диапазоне 25–100 усл. ед. ( $54,3 \pm 9,2$ ) и VLF > 240 ( $341,3 \pm 1,6$ ) мс, что позволяет говорить о умеренном преобладании автономных механизмов регуляции деятельности сердца.

Наблюдение демонстрирует рост доли детей (до 12,1 %) 12–13 лет, характеризующихся высокими значениями SI ( $157,4 \pm 10,2$ ) усл. ед. и низкими VLF ( $168,9 \pm 10,3$ ) мс<sup>2</sup>, что указывает на включение в процесс регуляции центральных механизмов, связанных с повышением напряженности регуляторных систем (рис.). Данный феномен, вероятно, связан с физиологическими изменениями, сопровождающими пубертатный период. При этом доля подростков из 2-й группы оставалась статистически стабильной ( $p = 0,4$ ), что подтверждает относительную устойчивость данного типа регуляции в исследуемой популяции.

Особого внимания заслуживает увеличение ( $p = 0,03$ ) числа детей с доминированием автономных механизмов регуляции (4-я группа). Выявленный сдвиг в сторону автономной регуляции, скорее всего, свидетельствует о состоянии снижения функциональных возможностей системы регуляции на фоне истощения адаптационных резервов.

На рис. также можно отметить рост числа детей 10–11 лет с выраженным преобладанием ЦР сердечного ритма (2-я группа), детей 12–13 лет с умеренным преобладанием ЦР, а также детей 16–17 лет с выраженным преобладанием АР.

Рост относительного вклада низкочастотного компонента (LF, %) в спектре сердечного ритма во всех возрастных группах указывает на активацию неспецифических регуляторных процессов, опосредованных вазомоторным центром. При этом высокочастотный компонент (HF, %), отражающий активность парасимпатического звена ВНС, демонстрирует обратную корреляцию с LF-колебаниями. Анализ динамики VLF-компонента выявил тенденцию к увеличению его относительного уровня с возрастом.

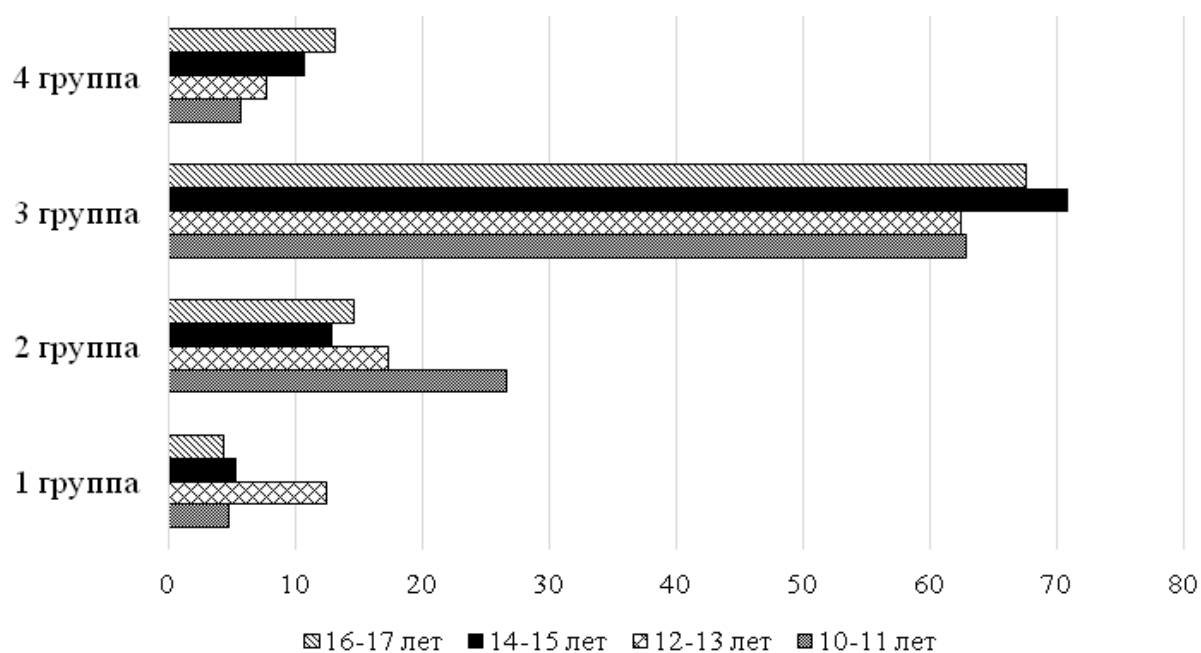


Рис. Распределение возрастных категорий участников в зависимости от типа вегетативной регуляции

В первой группе зафиксирован рост данного показателя на 4,5 % ( $p = 0,03$ ), во второй – на 1,1 % ( $p = 0,05$ ), в третьей – на 3,1 % ( $p = 0,04$ ), в четвертой – на 3,6 % ( $p = 0,04$ ).

Соотношение LF/HF продемонстрировало усиление симпатической регуляции с возрастом. Значимых колебаний индекса напряжения (SI) не обнаружено. Однако в 1-й и 2-й группах его значения превышали нормативные, тогда как в 4-й группе они были ниже нормы. Следует отметить также возрастание доли VLF-колебаний в спектре сердечного ритма.

В 3-й и 4-й возрастных группах отмечается увеличение высокочастотного компонента ( $p = 0,001$ ) и снижение соотношения LF/HF ( $p = 0,03$ ), что отражает усиление парасимпатического влияния на сердечную деятельность к 17–18 годам.

Результаты спектрального анализа ритма сердца при проведении АОП приведены в табл. При проведении сравнительного анализа выявлено заметное снижение ЧСС в группах с различной активностью центральных и вегетативных регуляторных процессов. При этом различия в частоте сердечных сокращений в покое между 1-й и 2-й группами незначительны ( $p \geq 0,05$ ). Для детей 1-й группы было характерно увеличение ЧСС в пределах физиологической нормы. Повышение частоты сердечных сокращений более чем на 18 уд./мин ( $27,7 \pm 6,2$ ) уд./мин, характерное для 2-й группы, свидетельствует о выраженном влиянии симпатического отдела на регуляцию сердечного ритма и слабой реакции парасимпатического отдела на восстановление гомеостаза. Кроме того, отмечается снижение К30:15, подтверждающая вывод о снижении вагусной активности.

#### Показатели вариабельности сердечного ритма в условиях активной ортостатической пробы

| Проба      | Возраст, лет | ЧСС, уд./мин<br>Me (Q1; Q3) | К30:15 | TP, мс<br>(M ± δ) | % LF<br>(M ± δ) | %HF<br>(M ± δ) | LF/HF,<br>усл. ед.<br>(M ± δ) |
|------------|--------------|-----------------------------|--------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| 1          | 2            | 3                           | 4      | 5                 | 6               | 7              | 8                             |
| 1-я группа |              |                             |        |                   |                 |                |                               |
| Покой      | 10–11        | 86 (82; 90)                 | –      | 4226,8 ± 405,8    | 42,5 ± 5,6      | 23,8 ± 7,9     | 2,6 ± 1,1                     |
|            | 12–13        | 88 (82; 92)                 | –      | 2361,9 ± 521,7    | 44,3 ± 7,2      | 32,8 ± 9,4     | 1,6 ± 0,9                     |
|            | 14–15        | 80 (76; 84)                 | –      | 2265,1 ± 426,3    | 39,9 ± 7,7      | 36,2 ± 5,7     | 1,1 ± 0,8                     |
|            | 16–17        | 82 (76; 85)                 | –      | 1259,9 ± 265,2    | 52,6 ± 6,8      | 14,8 ± 3,6     | 1,4 ± 0,5                     |
| Нагрузка   | 10–11        | 96 (93; 100)                | 1,25   | 5362,8 ± 512,7*   | 52,6 ± 6,2      | 22,6 ± 5,9     | 2,3 ± 0,9                     |
|            | 12–13        | 100 (93; 102)               | 1,25   | 3659,3 ± 611,0*   | 67,1 ± 8,1*     | 34,5 ± 6,4     | 1,9 ± 0,3                     |
|            | 14–15        | 93 (88; 105)                | 1,29   | 3361,2 ± 542,3*   | 64,6 ± 5,8*     | 30,1 ± 7,1     | 2,1 ± 0,3*                    |
|            | 16–17        | 93 (87; 97)                 | 1,30   | 2412,3 ± 664,2*   | 55,1 ± 4,8      | 19,3 ± 4,7     | 2,9 ± 0,5*                    |

Окончание табл.

| 1          | 2     | 3              | 4    | 5                 | 6            | 7           | 8         |
|------------|-------|----------------|------|-------------------|--------------|-------------|-----------|
| 2-я группа |       |                |      |                   |              |             |           |
| Покой      | 10–11 | 85 (78; 88)    | –    | 1593,3 ± 426,1    | 38,1 ± 7,3   | 46,5 ± 9,1  | 1,1 ± 0,3 |
|            | 12–13 | 84 (77; 86)    | –    | 1145,6 ± 362,5    | 44,1 ± 9,6   | 41,5 ± 8,3  | 1,5 ± 0,8 |
|            | 14–15 | 85 (77; 89)    | –    | 1169,5 ± 497,1    | 43,4 ± 8,7   | 36,9 ± 9,8  | 1,7 ± 0,9 |
|            | 16–17 | 81 (71; 88)    | –    | 1296,3 ± 412,5    | 45,6 ± 10,8  | 38,7 ± 9,7  | 1,5 ± 0,8 |
| Нагрузка   | 10–11 | 115 (99; 121)  | 1,03 | 1191,0 ± 402,6    | 52,1 ± 6,4*  | 26,5 ± 8,5* | 1,1 ± 0,3 |
|            | 12–13 | 116 (103; 129) | 1,00 | 1105,1 ± 326,2    | 64,1 ± 10,9* | 21,3 ± 7,3* | 1,5 ± 0,8 |
|            | 14–15 | 113 (97; 119)  | 1,03 | 1007,5 ± 195,3    | 62,5 ± 11,5  | 29,7 ± 8,8  | 1,7 ± 0,9 |
|            | 16–17 | 102 (90; 106)  | 1,04 | 1100,2 ± 234,0    | 61,9 ± 10,1  | 29,1 ± 7,4  | 1,5 ± 0,8 |
| 3-я группа |       |                |      |                   |              |             |           |
| Покой      | 10–11 | 77 (71; 83)    | –    | 8693,4 ± 986,1    | 32,8 ± 8,2   | 46,1 ± 11,3 | 1,1 ± 0,9 |
|            | 12–13 | 75 (68; 81)    | –    | 5006,8 ± 1860,6   | 41,2 ± 7,1   | 41,5 ± 7,9  | 1,4 ± 0,7 |
|            | 14–15 | 71 (64; 78)    | –    | 5260,5 ± 1560,3   | 41,3 ± 10,0  | 31,9 ± 11,2 | 2,1 ± 0,6 |
|            | 16–17 | 68 (62; 74)    | –    | 4520,1 ± 1426,5   | 41,5 ± 8,9   | 33,8 ± 9,2  | 1,5 ± 0,8 |
| Нагрузка   | 10–11 | 86 (80; 92)    | 1,46 | 7986,4 ± 986,1    | 28,2 ± 5,2   | 56,1 ± 7,3  | 1,1 ± 0,3 |
|            | 12–13 | 86 (79; 90)    | 1,36 | 6125,7 ± 761,2    | 39,4 ± 4,1   | 61,5 ± 7,5* | 1,1 ± 0,2 |
|            | 14–15 | 79 (73; 87)    | 1,54 | 6359,4 ± 569,9    | 56,4 ± 8,7   | 42,7 ± 6,3  | 1,5 ± 0,3 |
|            | 16–17 | 77 (72; 84)    | 1,61 | 5697,2 ± 659,7    | 48,0 ± 4,2   | 45,1 ± 5,2  | 1,4 ± 0,4 |
| 4-я группа |       |                |      |                   |              |             |           |
| Покой      | 10–11 | 68 (62; 74)    | –    | 14998,3 ± 3569,8  | 15,6 ± 5,7   | 76,4 ± 6,1  | 0,5 ± 0,4 |
|            | 12–13 | 62 (57; 67)    | –    | 17156,9 ± 2101,3  | 19,7 ± 5,3   | 75,9 ± 5,4  | 0,6 ± 0,4 |
|            | 14–15 | 60 (56; 64)    | –    | 13005,9 ± 1945,1  | 42,1 ± 8,8   | 40,1 ± 7,8  | 1,2 ± 0,6 |
|            | 16–17 | 60 (54; 65)    | –    | 13696,3 ± 3695,9  | 36,1 ± 7,1   | 61,8 ± 11,1 | 0,7 ± 0,3 |
| Нагрузка   | 10–11 | 73 (69; 83)    | 1,03 | 10456,3 ± 1856,5* | 14,6 ± 3,2   | 78,5 ± 5,1  | 0,7 ± 0,2 |
|            | 12–13 | 67 (62; 72)    | 1,01 | 9684,6 ± 1256,1*  | 20,1 ± 4,6   | 79,1 ± 6,4  | 0,7 ± 0,3 |
|            | 14–15 | 65 (63; 70)    | 1,02 | 10965,8 ± 2103,1* | 40,5 ± 6,1   | 45,1 ± 8,8  | 1,5 ± 0,5 |
|            | 16–17 | 64 (62; 70)    | 1,03 | 11263,3 ± 1219,8  | 35,2 ± 5,1   | 65,3 ± 9,2  | 0,5 ± 0,2 |

\*  $p \leq 0,05$  – различия достоверны при сравнении состояния покоя и нагрузки.

Спектральный анализ в процессе нагрузочного тестирования выявил статистически значимое повышение мощности спектра в 1-й группе. Исследование выявило увеличение доли влияния симпатического отдела ВНС в регуляции среди подростков от 12 до 15 лет. Аналогичная тенденция сохраняется в период восстановления у подростков 12–13 лет, относящихся ко 2-й регуляции сердечного ритма. В 4-й группе восстановительный период характеризуется снижением общей мощности спектра. При этом изменения волновых характеристик спектра статистически незначимы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у подростков в условиях нагрузочного тестирования позволило выявить значимые индивидуальные различия в адаптационных реакциях сердечно-сосудистой системы.

Сокращение мощности высокочастотных (HF) колебаний в спектре вариабельности сердечного ритма является признаком стрессовой реакции [8]. Угнетение парасимпатических влияний, подтверждаемое снижением HF-компонента, способствует десинхронизации кардиореспираторного взаимодействия [9]. Возрастные доли VLF-колебаний в спектре сердечного ритма может быть связано с психоэмоциональным состоянием подростков [10].

Полученные данные подтверждают, что анализ вариабельности сердечного ритма является информативным методом оценки функционального состояния организма, что особенно важно для ранней диагностики донозологических нарушений. Выявленные паттерны вегетативного реагирования, включая симпатико-парасимпатический баланс, могут служить маркерами предиктивных состояний, что открывает перспективы для превентивной диагностики. Учет индивидуальных

особенностей вегетативной регуляции позволяет разрабатывать персонализированные подходы к оценке физической подготовленности и адаптационного резерва подростков. Перспективным направлением представляется интеграция полученных данных в алгоритмы персонализированной медицины, включая разработку индивидуальных рекомендаций по физическим нагрузкам и профилактике кардиоваскулярной патологии. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку стандартизированных протоколов для скрининга и динамического наблюдения. Полученные результаты подчеркивают необходимость междисциплинарного подхода, объединяющего физиологию, клиническую медицину и современные технологии анализа данных. Разработка дифференцированных профилактических стратегий, направленных на оптимизацию вегетативного баланса, позволит минимизировать риски дезадаптивных состояний и повысить устойчивость организма в условиях когнитивных и эмоциональных нагрузок.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Плотникова И.В., Афанасьев С.А., Перевозникова Ю.Е., Свинцова Л.И., Реброва Т.Ю., Джаффарова О.Ю. Вклад вегетативной нервной системы в формирование нарушений ритма сердца в детском возрасте (обзор литературы). *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2023;38(2):23–29. doi: 10.29001/2073-8552-2023-38-2-23-29.
2. Томилова Е.А., Ларькина Н.Ю., Колпаков В.В., Беспалова Т.В. Интегративная оценка вегетативного статуса у детей различных функциональных типов конституции. *Медицинская наука и образование Урала*. 2017;18(2):123–127.
3. Shen M. J. The cardiac autonomic nervous system: an introduction (2021). *Herzschrittmacherther Elektrophysiol*. 2021;32(3):295–301. doi: 10.1007/s00399-021-00776-1.
4. Souza H.C.D., Philboi S.V., Veiga A.C., Aguilar B.A. Heart Rate Variability and Cardiovascular Fitness: What We Know so Far. *Vascular health and risk management*. 2021;17:701–711. doi: 10.2147/VHRM.S279322.
5. Hajdu M., Garmpi K., Vértés V., Vorobcsuk-Varga N., Molnár G.A., Hejtel L. et al. Determinants of the heart rate variability in type 1 diabetes mellitus. *Frontiers in endocrinology*. 2023;14:1247054. doi: 10.3389/fendo.2023.1247054.
6. Hamidovica A., Van Hedgerb K., Choia S.H., Flowersa S., Wardlec M., Childs E. Quantitative meta-analysis of heart rate variability finds reduced parasympathetic cardiac tone in women compared to men during laboratory-based social stress. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2020;114:194–200. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.04.00521.
7. Manolis A.A., Manolis T.A., Apostolopoulos E.J., Apostolaki N.E., Melita H., Manolis A.S. The role of the autonomic nervous system in cardiac arrhythmias: The neuro-cardiac axis, more foe than friend? *Trends in Cardiovascular Medicine*. 2021;31(5):290–302. doi: 10.1016/j.tcm.2020.04.011.

8. Billman G.E., Sacha J., Werner B., Jelen P.J., Gąsior J.S. Editorial: Heart Rate Variability and Other Autonomic Markers in Children and Adolescents. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:1265. doi: 10.3389/fphys.2019.01265.

9. Шлык Н.И., Лебедев Е.С., Вершинина О.С. Оценка качества тренировочного процесса у спортсменов на основе экспресс-анализа variability сердечного ритма с учетом индивидуального типа регуляции. *Теория и практика физической культуры*. 2019;2:18–20.

10. Glier S., Campbell A., Corr R., Pelletier-Baldelli A., Yefimov M., Guerra C. et al. Coordination of autonomic and endocrine stress responses to the Trier Social Stress Test in adolescence. *Psychophysiology*. 2020;59(9):e14056. doi: 10.1111/psyp.14056.

#### REFERENCES

1. Plotnikova I.V., Afanasiev S.A., Perevoznikova Yu.E., Svintsova L.I., Rebrova T.Yu., Dzhaifarova O.Yu. The effect of the autonomic nervous system on the formation of cardiac arrhythmias in childhood (review). *Sibirskii zhurnal klinicheskoi i eksperimental'noi meditsiny = Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2023; 38(2):23–29. (In Russ) doi: 10.29001/2073-8552-2023-38-2-23-29.
2. Tomilova E.A., Larkina N.Y., Kolpakov V.V., Bepalova T.V. Integrative estimation of vegetative status in children with different functional types of the constitution. *Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala = Medical science and education of Ural*. 2017;18(2):123–127. (In Russ).
3. Shen M.J. The cardiac autonomic nervous system: an introduction (2021). *Herzschrittmacherther Elektrophysiol*. 2021;32(3):295–301. doi: 10.1007/s00399-021-00776-1.
4. Souza H.C.D., Philboi S.V., Veiga A.C., Aguilar B.A. Heart Rate Variability and Cardiovascular Fitness: What We Know so Far. *Vascular health and risk management*. 2021;17:701–711. doi: 10.2147/VHRM.S279322.
5. Hajdu M., Garmpi K., Vértés V., Vorobcsuk-Varga N., Molnár G.A., Hejtel L. et al. Determinants of the heart rate variability in type 1 diabetes mellitus. *Frontiers in endocrinology*. 2023;14:1247054. doi: 10.3389/fendo.2023.1247054.
6. Hamidovica A., Van Hedgerb K., Choia S.H., Flowersa S., Wardlec M., Childs E. Quantitative meta-analysis of heart rate variability finds reduced parasympathetic cardiac tone in women compared to men during laboratory-based social stress. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2020;114:194–200. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.04.00521.
7. Manolis A.A., Manolis T.A., Apostolopoulos E.J., Apostolaki N.E., Melita H., Manolis A.S. The role of the autonomic nervous system in cardiac arrhythmias: The neuro-cardiac axis, more foe than friend? *Trends in Cardiovascular Medicine*. 2021;31(5):290–302. doi: 10.1016/j.tcm.2020.04.011.
8. Billman G.E., Sacha J., Werner B., Jelen P.J., Gąsior J.S. Editorial: Heart Rate Variability and Other Autonomic Markers in Children and Adolescents. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:1265. doi: 10.3389/fphys.2019.01265.

9. Shlyk N.I., Lebedev E.S., Vershinina O.S. Athletic training process quality rating by express tests of heart rate variability in view of individual type of regulation. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture*. 2019; 2:18–20. (In Russ).

10. Glier S., Campbell A., Corr R., Pelletier-Baldelli A., Yefimov M., Guerra C. et al. Coordination of autonomic and endocrine stress responses to the Trier Social Stress Test in adolescence. *Psychophysiology*. 2020;59(9):e14056. doi: 10.1111/psyp.14056.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

#### Информация об авторах

Галина Александровна Яманова – ассистент кафедры нормальной физиологии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия; ✉ galina\_262@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2362-8979>

Родион Александрович Кудрин – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой патофизиологии, клинической патофизиологии, доцент, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; [rodion.kudrin76@yandex.ru](mailto:rodion.kudrin76@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0022-6742>

Алена Анатольевна Антонова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной педиатрии и неонатологии, доцент, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия; [fduen-2010@mail.ru](mailto:fduen-2010@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2581-0408>

Статья поступила в редакцию 28.05.2025; одобрена после рецензирования 30.06.2025; принята к публикации 20.08.2025.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural net-work.

#### Information about the authors

G.A. Yamanova – Assistant Professor of the Department of Normal Physiology, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia; ✉ galina\_262@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2362-8979>

R.A. Kudrin – MD, Head of the Department of Pathophysiology, Clinical Pathophysiology, Associate Professor, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; [rodion.kudrin76@yandex.ru](mailto:rodion.kudrin76@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0022-6742>

A.A. Antonova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Hospital Pediatrics and Neonatology, Associate Professor; Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia; [fduen-2010@mail.ru](mailto:fduen-2010@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2581-0408>

The article was submitted 28.05.2025; approved after reviewing 30.06.2025; accepted for publication 20.08.2025.