




DOI: 10.22363/2313-0245-2024-28-1-192-205

EDN: ZYKOPW

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ORIGINAL RESEARCH

Особенности функциональных возможностей нервной системы подростков с различным типом регуляции сердечного ритма

Г.А. Яманова¹  , Р.А. Кудрин¹ , А.А. Антонова² ¹ Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Российская Федерация² Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Российская Федерация galina_262@mail.ru

Аннотация. *Актуальность.* Одной из актуальных проблем возрастной физиологии на протяжении длительного времени остается исследование процессов функционирования систем организма в подростковый период. Изучение взаимосвязей регуляторных механизмов, задействованных в формировании адекватного адаптационного ответа в этот период, является актуальным направлением физиологических исследований. *Цель.* Изучить особенности функциональных возможностей нервной системы учащихся разного возраста в зависимости от преобладающего контура регуляции сердечного ритма (СР). *Материалы и методы.* Исследование проведено среди 323 учащихся казачьего кадетского корпуса мужского пола в возрасте от 10 до 17 лет. Для регистрации и анализа вариабельности сердечного ритма, а также оценки функциональных возможностей нервной системы использовался аппаратно-программный комплекс «Здоровье-экспресс-2» («Медицинские компьютерные системы», Россия). *Результаты и обсуждение.* Подавляющее большинство учащихся кадетского корпуса характеризуются умеренным преобладанием автономного контура регуляции СР. Пик напряжения регуляторных механизмов наблюдается в возрасте 12–13 лет. С усилением влияния автономного контура регуляции СР снижаются показатели функциональных возможностей нервной системы у детей в возрасте 12–13 и 16–17 лет. Устойчивость реакции учащихся 12–13 лет ниже среди детей II, III, IV категорий регуляции СР по сравнению с детьми I категории. Выраженное различие показателей устойчивости реакции учащихся IV категории регуляции сердечного ритма может свидетельствовать о неадекватной реакции нервной системы в зависимости от условий обучения. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей нервной системы учащихся имеет сходные изменения для категорий регуляции ритма с выраженным преобладанием либо центрального контура, либо автономного контура. *Выводы.* Значимость силы влияния различных отделов вегетативной нервной системы подтверждена возрастными изменениями параметров функционирования нервной системы учащихся с различным типом регуляции СР. Полученные результаты позволяют сделать вывод о сложной взаимосвязи функциональных возможностей и механизмов регуляции организма учащихся в условиях обучения.

Ключевые слова: адаптация, регуляторные системы, вариабельность сердечного ритма, функциональные свойства нервной системы, вегетативный тонус

© Яманова Г.А., Кудрин Р.А., Антонова А.А., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Информация о финансировании. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Вклад авторов. Кудрин Р.А., Яманова Г.А. — концепция и дизайн исследования. Яманова Г.А., Антонова А.А. — литературный поиск, обработка материала. Яманова Г.А., Кудрин Р.А. — анализ и интерпретация данных. Яманова Г.А. Антонова А.А. — написание и редактирование текста. Все авторы внесли значительный вклад в разработку концепции, исследования и подготовку рукописи, прочитали и утвердили окончательную версию перед публикацией.
Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этическое утверждение. Протокол исследования утвержден локальным этическим комитетом Астраханского государственного медицинского университета.

Благодарности — неприменимо.

Информированное согласие на публикацию. Перед началом исследования все участники исследования дали добровольное письменное информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013).

Поступила 13.02.2024. Принята 08.04.2024.


Для цитирования: Яманова Г.А., Кудрин Р.А., Антонова А.А. Особенности функциональных возможностей нервной системы подростков с различным типом регуляции сердечного ритма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2024. Т. 28. № 2. С. 192–205. doi: 10.22363/2313–0245–2024–28–2–192–205

Features of the nervous system of adolescents with different type of regulation of the heart rate

Galina A. Yamanova¹  , Rodion A. Kudrin¹ , Alyena A. Antonova² 

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

² Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation

 galina_262@mail.ru

Annotation. Abstract. One of the urgent problems of age-related physiology for a long time remains the study of the processes of functioning of body systems in adolescence. The study of the interrelationships of the regulatory mechanisms involved in the formation of an adequate adaptive response during this period is an urgent area of physiological research. *Aim.* To study the features of the functional capabilities of the nervous system of students of different ages, depending on the prevailing contour of heart rate (HR) regulation. *Materials and Methods.* The study was conducted among 323 male students of the Cossack cadet corps aged 10 to 17 years. The software complex “Health-express-2” (“Medical Computer Systems”, Russia) was used to register and analyze heart rate variability, as well as to assess the functionality of the nervous system. *Results and Discussion.* The vast majority of students in the cadet corps are characterized by a moderate predominance of the autonomous circuit of HR regulation. The peak tension of the regulatory mechanisms is observed at the age of 12–13 years. With the increased influence of the autonomous circuit of HR regulation, indicators of the functional capabilities of the nervous system in children

aged 12–13 and 16–17 years decrease. The stability of the reaction of students aged 12–13 years is lower among children of II, III, IV categories of HR regulation compared with children of I category. A marked difference in the stability of the reaction of students of the IV category of HR regulation may indicate an inadequate reaction of the nervous system, depending on the learning conditions. The age dynamics of indicators of the functional capabilities of the nervous system of students has similar changes for categories of rhythm regulation with a pronounced predominance of either the central contour or the autonomous contour. *Conclusions.* The significance of the influence of various departments of the autonomic nervous system is confirmed by age-related changes in the parameters of the functioning of the nervous system of students with different types of HR regulation. The results obtained allow us to conclude about the complex relationship between the functional capabilities and mechanisms of regulation of the body of students in the learning environment.

Keywords: adaptation, regulatory systems, heart rate variability, functional properties of the nervous system, autonomic tone

Funding. The authors state that there was no external funding.

Author contributions. Kudrin R.A., Yamanova G.A. — concept and design of the study; Yamanova G.A., Antonova A.A. — literary search, data analysis; Yamanova G.A., Kudrin R.A. — data analysis and interpretation; Yamanova G.A. Antonova A.A. — writing and editing the text. All the authors made significant contributions to the development of the concept, research and preparation of the manuscript, read and approved the final version before publication. All authors have made significant contributions to the development concepts, research, and manuscript writing, read and approved final version before publication.

Conflict of interest statement. The authors declare that there is no conflict of interest.

Ethics approval. The protocol of the study was approved by the Local Ethics Committee of Astrakhan State Medical University.

Acknowledgements — not applicable.

Consent for publication. Before starting the study, all participants provided voluntary informed consent to participate in the study in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), the processing of personal data and consent to publication. Received 13.02.2024. Accepted 08.04.2024.

For citation: Yamanova GA, Kudrin RA, Antonova AA. Features of the nervous system of adolescents with different type of regulation of the heart rate. *RUDN Journal of Medicine*. 2024;28(2):192–205. doi: 10.22363/2313–0245–2024–28–2–192–205

Введение

Одной из актуальных проблем возрастной физиологии на протяжении длительного времени остается исследование процессов функционирования систем организма в критические периоды. Особое внимание при этом уделяется периоду подросткового возраста, что обусловлено многофакторным влиянием среды, как эндо- так и экзогенного характера [1]. Современный ритм жизни, характеризующийся большими объемами информационной нагрузки, высоким темпом смены условий жизнедеятельности, разнообразием негативных факторов внешней среды (физических,

химических, биологических, социальных и др.) на фоне перестройки метаболизма в период полового созревания, а также с учетом неравномерности роста и развития различных органов и систем, создают повышенные требования к возможностям саморегуляции организма и его адаптационным резервам [2, 3].

Вегетативно-гуморальная регуляция, являясь основой формирования адаптационных реакций, обеспечивает адекватный уровень функционирования всех систем организма [4]. Эффективность процессов саморегуляции организма определяются ее индивидуальными особенностями, ос-

нованными на преобладании одного из отделов вегетативной нервной системы (ВНС), а также психоэмоциональных и когнитивных компонентов реагирования на стрессоры внешней и внутренней среды [5].

Важным компонентом в процессе адаптации к факторам внешней среды, в том числе социальным, является регулирующая деятельность центральной нервной системы (ЦНС) и ее типологическим особенностям. В условиях интенсивного влияния информационной нагрузки в период школьного обучения нужно учитывать исключительную важность функционального состояния ЦНС. Особенности протекания нервных процессов обеспечивают быстрое формирование и поддержание функциональной системы, направленной на осуществление когнитивной деятельности [6, 7]. Успешность адаптации во многом определяется конечным результатом целенаправленной деятельности (акцептор результата действия), который формируется как результат сложного взаимодействия различных отделов головного мозга [8–11]. В случае достижения ожидаемого результата деятельности происходит формирование положительных эмоций и фиксация в памяти системы нервных соотношений, которая обеспечила успешное достижение цели. Если же запланированный результат не достигает ожидаемых параметров, возникает отрицательный эмоциональный ответ. Интегрированная деятельность ВНС и эндокринных механизмов обеспечивают соматизацию эмоций и формирование поведенческих индивида. Снижению адаптационных резервов ребенка в условиях влияния внешней среды способствуют стрессовые ситуации, которые сопровождаются состоянием тревоги, расстройствами поведения, социальной дезадаптацией, что приводит к развитию вторичных соматоформных и гуморальных реакций.

В настоящее время признается высокая значимость и показательность исследования вариабельности сердечного ритма (ВСР), как одного из методов оценки модуляции вегетативной нервной системы в синусовом узле сердца. Преобладание центрального или автономного контура регуляции

объясняют различный уровень зрелости регуляторных систем [12–15]. Высокая ВСР свидетельствует об эффективности вегетативных механизмов саморегуляции и адаптированности, в то время как низкая или пониженная ВСР часто свидетельствуют о нарушениях [16–20].

Таким образом, изучение взаимосвязей регуляторных механизмов, задействованных в формировании адекватного адаптационного ответа в период подросткового возраста, является актуальным направлением физиологических исследований.

Цель исследования. Изучить особенности функциональных возможностей нервной системы учащихся разного возраста в зависимости от преобладающего контура регуляции сердечного ритма

Материалы и методы

Исследование проводилось среди 323 учащихся казачьего кадетского корпуса мужского пола в возрасте от 10 до 17 лет. В зависимости от возраста дети были распределены на четыре группы: 10–11, 12–13, 14–15, 16–17 лет. Участники и их законные представители дали добровольное письменное информированное согласие на участие. Исследование было проведено согласно этическим принципам Хельсинкской декларации по проведению биомедицинских исследований с участием человека и «Правилам клинической практики в Российской Федерации», утвержденным Приказом Минздрава России от 19.06.2003 № 266.

Исследование ВСР осуществлено с использованием аппаратно-программного комплекса «Здоровье-экспресс-2» («Медицинские компьютерные системы», Россия).

В качестве группирующих критериев по преимущественному контуру регуляции сердечного ритма (СР) использованы показатели стресс-индекса (SI), абсолютные показатели медленных волн 2-го порядка — очень низкочастотные спектральные компоненты (VLF), абсолютный уровень суммарной активности регуляторных систем (TP) [21]. С учетом значений вышеперечисленных показателей учащиеся были разделены на четыре категории:

I категория — с умеренным преобладанием центрального контура (ЦК) регуляции СР — $VLF > 240 \text{ мс}^2$; $SI > 100 \text{ у.е.}$;

II категория — с выраженным преобладанием центрального контура регуляции СР — $VLF < 240 \text{ мс}^2$; $SI > 100 \text{ у.е.}$;

III категория — с умеренным преобладанием автономного контура (АК) регуляции СР — $VLF > 240 \text{ мс}^2$; $SI = 25\text{--}100 \text{ у.е.}$;

IV категория — с выраженным преобладанием автономного контура регуляции СР — $VLF > 500 \text{ мс}^2$, $SI < 25 \text{ у.е.}$; $TP > 8000\text{--}10000 \text{ мс}^2$.

Уровень функциональных возможностей нервной системы учащихся исследовали с использованием «Система контроля уровня стресса» (модуль аппаратно-программного комплекса «Здоровье-экспресс-2») на основе анализа результатов определения простой (ПЗМР) и сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР). Резльтирующими критериями приняты: функциональный уровень системы (ФУС), устойчивость реакции (УР), уровень функциональных возможностей (УФВ).

Анализ результатов исследования, а также статистическая обработка проводились с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (версия 16.68, Microsoft Corporation, США) и пакета статистических программ Statistica (версия 10, TIBCO Software Inc., США). Результаты представлены в формате относительных показателей и средних величин (М). Нормальность распределения выборок оценивалась на основании критерия Колмогорова-Смирнова ($n \geq 50$).

Статистическая значимость различий групп исследования определялась посредством непарного *t*-критерия Стьюдента и *U*-критерия Манна-Уитни. Корреляционная зависимость исследуемых показателей определялась при помощи коэффициента ранговой корреляции r_{xy} Спирмена. Пороговое значение достигнутого уровня значимости *p* принято равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа данных относительного распределения учащихся по категориям регуляции

СР продемонстрировали преобладание III категории среди всех типов, указывая на оптимальное состояние адаптационных механизмов у большинства учащихся исследуемой группы.

Однако количество учащихся с умеренным преобладанием ЦК (I категория) статистически значимо оказалось больше у детей в возрасте 12–13 лет ($p = 0,034$), что свидетельствует о повышенном напряжении регуляторных механизмов в этот период. Однако количество учащихся этой категории было на 7,1 % меньше в возрасте 14–15 лет ($p = 0,071$) и на 8,4 % — в возрасте 16–17 лет ($p = 0,042$), что указывает на восстановление адаптационных возможностей с возрастом (табл. 1). Рост количества учащихся с выраженным преобладанием ЦК регуляции СР в возрасте 12–13 лет можно объяснить периодом полового созревания.

Процент детей, относящихся ко II категории, не меняется с возрастом ($p = 0,4$), однако статистически значимые различия между группой 10–11 и 14–15 лет ($p = 0,038$), указывают на снижение количества детей с выраженным преобладанием ЦК регуляции СР в этом возрасте (табл. 1). В то же время следует отметить, что количество учащихся II категории регуляции СР с наибольшим напряжением регуляторных механизмов больше числа учащихся, отнесенных к I категории в возрасте 10–11 лет ($p = 0,021$) и в возрасте 16–17 лет ($p = 0,020$) (табл. 1).

Наблюдается постепенный рост количества детей с выраженным преобладанием АК регуляции СР с возрастом ($p = 0,03$) (табл. 1). Рост показателей, демонстрирующих преобладание IV категории среди учащихся, может отражать высокий уровень тренированности среди профессиональных спортсменов. В то же время, по мнению Н.И. Шлык (2019), у детей, испытывающих физические нагрузки, характерные для общеобразовательных учреждений, даже с учетом дополнительной физической активности в кадетских учреждениях может быть индикатором состояния переутомления и перетренированности [22].

Таблица 1

Относительное распределение учащихся разного возраста по категориям регуляции СР,%
(статистический критерий t-критерий Стьюдента для независимых выборок)

Регуляция СР	10–11 лет (n = 105)	12–13 лет (n = 104)	14–15 лет (n = 93)	16–17 лет (n = 68)
I категория	4,8 (n = 5)	12,5 (n = 13)	5,4 (n = 5)	4,4 (n = 3)*
II категория	26,7 (n = 28)**	17,3 (n = 18)	12,9 (n = 12)**	14,7 (n = 10)**
III категория	62,9 (n = 66)**	62,5 (n = 65)**	70,9 (n = 66)**	67,6 (n = 46)**
IV категория	5,7 (n = 6)	7,7 (n = 8)	10,8 (n = 10)	13,2 (n = 9)

Примечание: СР – сердечный ритм; * – статистически значимые различия при сравнении учащимися 12–13 лет; ** – статистически значимые различия при сравнении с I категорией регуляции СР.

Table 1

Relative distribution of students of different ages by categories of CP regulation,%
(statistical criterion t-Student's criterion for independent samples)

Regulation of HR	10–11 years (n = 105)	12–13 years (n = 104)	14–15 years (n = 93)	16–17 years (n = 68)
I category	4,8 (n = 5)	12,5 (n = 13)	5,4 (n = 5)	4,4 (n = 3)*
II category	26,7 (n = 28)**	17,3 (n = 18)	12,9 (n = 12)**	14,7 (n = 10)
III category	62,9 (n = 66)**	62,5 (n = 65)**	70,9 (n = 66)**	67,6 (n = 46)**
IV category	5,7 (n = 6)	7,7 (n = 8)	10,8 (n = 10)	13,2 (n = 9)

Note: HR – heart rate; * – statistically significant differences when compared with the pupils of 12–13 years; ** – statistically significant differences when compared with the I category of HR regulation.

Динамика УР среди учащихся 12–13 лет отражает снижение этого показателя среди детей II, III, IV категории регуляции СР. Напротив, среди детей с I категории регуляции СР выявлен скачок показателя УР ($p = 0,004$).

Заметен рост этого показателя в 14–15 лет у учащихся II ($p = 0,07$) и, особенно, IV ($p = 0,034$) категории регуляции СР, что является результатом адаптации таких детей к условиям обучения. Однако в 16–17-летнем возрасте отмечено снижение УР во всех категориях регуляции СР.

Выраженное различие показателей УР учащихся IV категории регуляции СР может свидетельствовать

о неадекватной реакции нервной системы в зависимости от условий обучения (рис. 1).

Учащиеся III категории регуляции СР характеризуются наиболее стабильными показателями УР, соответствующими средним возрастным, что может свидетельствовать об устойчивости регуляторных механизмов и адаптационных процессов.

При изучении функциональной активности ЦНС среди детей в возрасте 10–11 лет выявлена прямая корреляционная зависимость УР от категории регуляции СР ($r = 0,3$), слабая обратная корреляционная зависимость с УФВ ($r = -0,2$) и слабая обратная связь с ФУС ($r = -0,2$)(табл. 2).

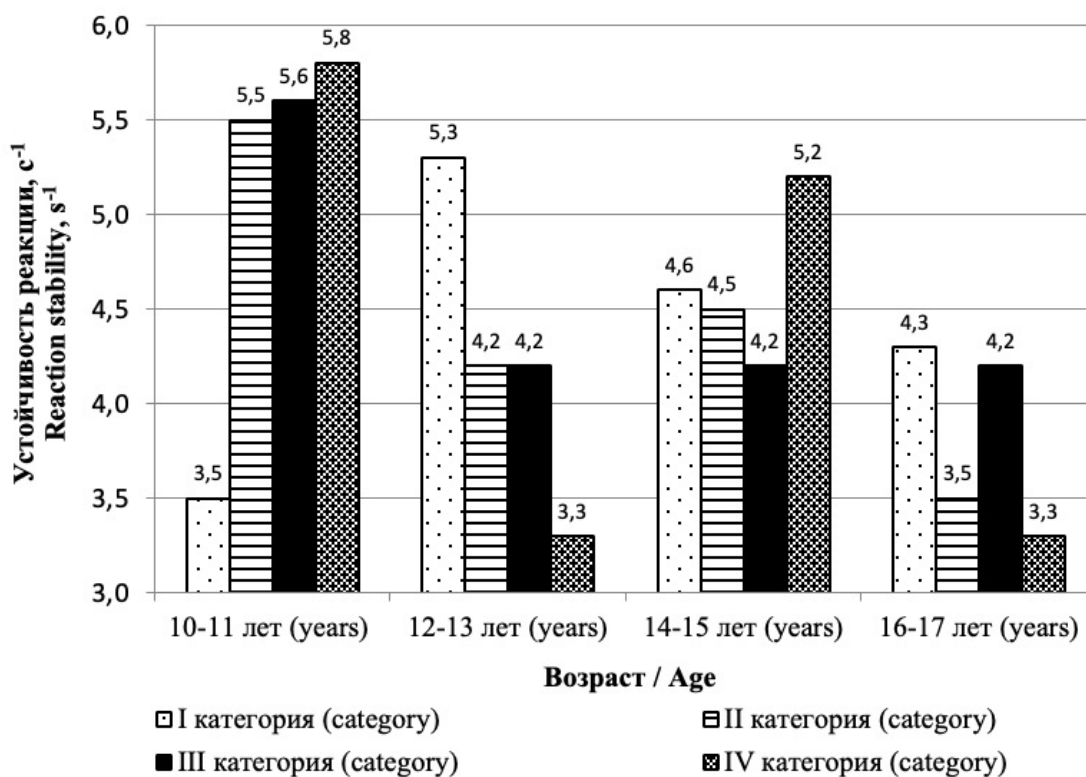


Рис. 1. Сравнительный анализ устойчивости реакции среди учеников разного возраста (M)

Fig. 1. Comparative analysis of reaction stability among students of different ages (M)

Учащиеся III категории регуляции СР характеризуются наиболее стабильными показателями УР, соответствующими средним возрастным, что может свидетельствовать об устойчивости регуляторных механизмов и адаптационных процессов.

При изучении функциональной активности ЦНС среди детей в возрасте 10–11 лет выявлена прямая корреляционная зависимость УР от категории регуляции СР ($r = 0,3$), слабая обратная корреляционная зависимость с УФВ ($r = -0,2$) и слабая обратная связь с ФУС ($r = -0,2$) (табл. 2).

Таблица 2

Показатели корреляционной зависимости функциональных возможностей нервной системы от категории регуляции коэффициент СР (коэффициент ранговой корреляции гху Спирмена)

Категория регуляции СР	Устойчивость реакции, с ⁻¹	Уровень функциональных возможностей, с ⁻²	Функциональный уровень системы, с ⁻²
10–11 лет (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 105)			
I	2,6 (1,7; 3,8)	13,6 (7,2; 19,6)	62,9 (42,7; 76,5)
II	3,3 (1,9; 4,7)	15,9 (9,7; 21,5)	67,4 (44,9; 71,3)
III	5,1 (3,1; 7,2)	11,2 (7,3; 19,4)	61,9 (43,5; 83,7)
IV	2,5 (1,6; 5,1)	10,8 (8,7; 16,1)	51,7 (31,1; 68,0)
r	0,3	-0,2	-0,2

Окончание табл. 2

Категория регуляции СР	Устойчивость реакции, с ⁻¹	Уровень функциональных возможностей, с ⁻²	Функциональный уровень системы, с ⁻²
12–13 лет (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 104)			
I	5,2 (4,2; 6,9)	28,5 (19,6; 35,2)	97,6 (82,9; 107,9)
II	4,5 (2,3; 5,8)	23,4 (13,2; 28,2)	77,52 (64,1; 94,3)
III	4,0 (2,2; 5,9)	20,9 (10,2; 29,2)	87,7 (59,2; 97,3)
IV	3,3 (1,9; 4,7)	14,1 (10,9; 24,5)	65,2 (53,4; 81,8)
r	-0,2	-0,94	-0,82
14–15 лет (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 93)			
I	4,0 (3,4; 6,4)	18,3 (15,1; 32,5)	74,6 (66,7; 98,3)
II	4,6 (3,5; 6,1)	21,1 (16,7; 32,2)	77,7 (71,4; 108,5)
III	4,0 (2,3; 5,7)	22,9 (15,8; 30,3)	88,4 (54,4; 105,1)
IV	4,8 (2,8; 6,3)	28,5 (16,4; 36,2)	97,5 (60,0; 107,7)
r	0,3	0,1	0,2
16–17 лет (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 68)			
I	3,5 (3,3; 5,8)	16,8 (15,8; 30,8)	91,4 (90,4; 102,5)
II	3,6 (2,3; 4,6)	18,0 (10,9; 23,9)	72,3 (53,3; 85,3)
III	4,0 (2,5; 5,7)	18,8 (11,7; 30,4)	74,8 (58,2; 98,1)
IV	2,6 (2,2; 5,1)	12,5 (9,5; 23,9)	58,5 (49,8; 88,4)
r	-0,2	-0,1	0,3

Table 2

Indicators of the correlation dependence of the functional capabilities of the nervous system on the category of regulation heart rate coefficient (Spearman's rank correlation coefficient r_{xy})

Regulation of HR	Reaction stability, s ⁻¹	The level of functionality, s ⁻²	The functional level of the system, s ⁻²
10–11 years (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 105)			
I	2,6 (1,7; 3,8)	13,6 (7,2; 19,6)	62,9 (42,7; 76,5)
II	3,3 (1,9; 4,7)	15,9 (9,7; 21,5)	67,4 (44,9; 71,3)
III	5,1 (3,1; 7,2)	11,2 (7,3; 19,4)	61,9 (43,5; 83,7)
IV	2,5 (1,6; 5,1)	10,8 (8,7; 16,1)	51,7 (31,1; 68,0)
r	2,6 (1,7; 3,8)	13,6 (7,2; 19,6)	62,9 (42,7; 76,5)
12–13 years (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 104)			
I	5,2 (4,2; 6,9)	28,5 (19,6; 35,2)	97,6 (82,9; 107,9)
II	4,5 (2,3; 5,8)	23,4 (13,2; 28,2)	77,52 (64,1; 94,3)
III	4,0 (2,2; 5,9)	20,9 (10,2; 29,2)	87,7 (59,2; 97,3)
IV	3,3 (1,9; 4,7)	14,1 (10,9; 24,5)	65,2 (53,4; 81,8)
r	-0,2	-0,94	-0,82

End of the table 2

Regulation of HR	Reaction stability, s ⁻¹	The level of functionality, s ⁻²	The functional level of the system, s ⁻²
14–15 years (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 93)			
I	4,0 (3,4; 6,4)	18,3 (15,1; 32,5)	74,6 (66,7; 98,3)
II	4,6 (3,5; 6,1)	21,1 (16,7; 32,2)	77,7 (71,4; 108,5)
III	4,0 (2,3; 5,7)	22,9 (15,8; 30,3)	88,4 (54,4; 105,1)
IV	4,8 (2,8; 6,3)	28,5 (16,4; 36,2)	97,5 (60,0; 107,7)
r	0,3	0,1	0,2
16–17 years (Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅), n = 68)			
I	3,5 (3,3; 5,8)	16,8 (15,8; 30,8)	91,4 (90,4; 102,5)
II	3,6 (2,3; 4,6)	18,0 (10,9; 23,9)	72,3 (53,3; 85,3)
III	4,0 (2,5; 5,7)	18,8 (11,7; 30,4)	74,8 (58,2; 98,1)
IV	2,6 (2,2; 5,1)	12,5 (9,5; 23,9)	58,5 (49,8; 88,4)
r	-0,2	-0,1	0,3

Анализ результатов исследования функциональных возможностей нервной системы выявил их связь с доминирующим типом регуляции СР (табл. 2).

Изменения показателей функциональных возможностей системы наиболее устойчивы в возрасте 12–13 лет. При этом стоит отметить, что снижение показателей функциональных возможностей нервной системы также зависит от степени выраженности влияния как автономного, так и центрального контуров регуляции СР. Чем более выражено влияние того или иного контура, тем меньше показатели активности функциональных возможностей нервной системы.

Устойчивость связи у детей 14–15 лет между показателями функциональных возможностей нервной системы и контуром регуляции СР слабая. При этом наиболее высокие показатели показателей НС были зарегистрированы среди детей IV категории регуляции СР.

Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС учащихся имеет сходные изменения для II и IV категорий регуляции СР, которые характеризуются выраженным преобладанием

либо центрального контура — I категория, либо автономного контура — IV категория.

Для учащихся со II и IV категорией регуляции СР характерно постепенное увеличение показателей к 14–15-летнему возрасту, значения которых значительно снижаются в возрасте 16–17 лет (рис. 3, 5). Возрастная динамика показателей свидетельствует о постепенном совершенствовании регуляторных влияний нервной системы.

Учащиеся I категории регуляции СР характеризуются более быстрым ростом показателей функциональных возможностей НС нервной системы, но с незначительным их снижением показателей в возрасте 16–17 лет (рис. 2). Наиболее стабильный процесс роста функциональных возможностей адаптации наблюдается у учащихся III категории регуляции СР (рис. 4).

В то же время абсолютные показатели уровня функциональных возможностей учащихся II и IV категории регуляции СР ниже, чем среди детей I и III категории в возрасте 10–13 лет, и достигают их значений только к 14–15 годам (рис. 2, 3, 4, 5).

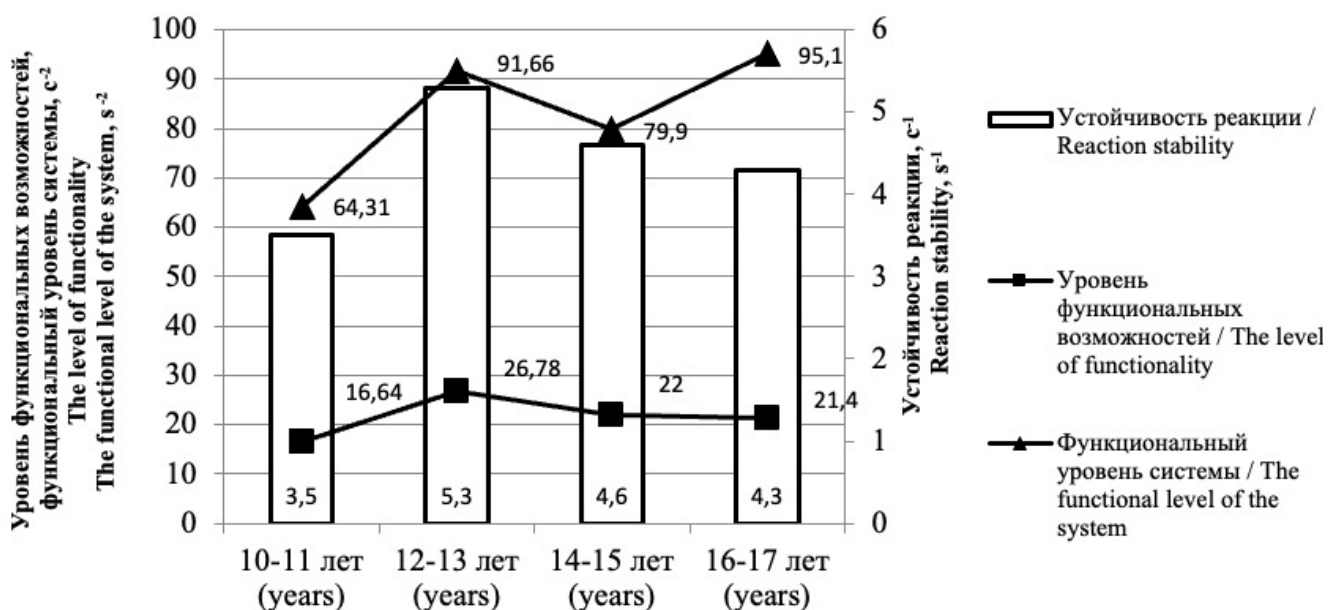


Рис. 2. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС детей I категории регуляции СР
 Fig. 2. Age-related dynamics of indicators of functional capabilities of the nervous system of children of the I category of heart rate regulation

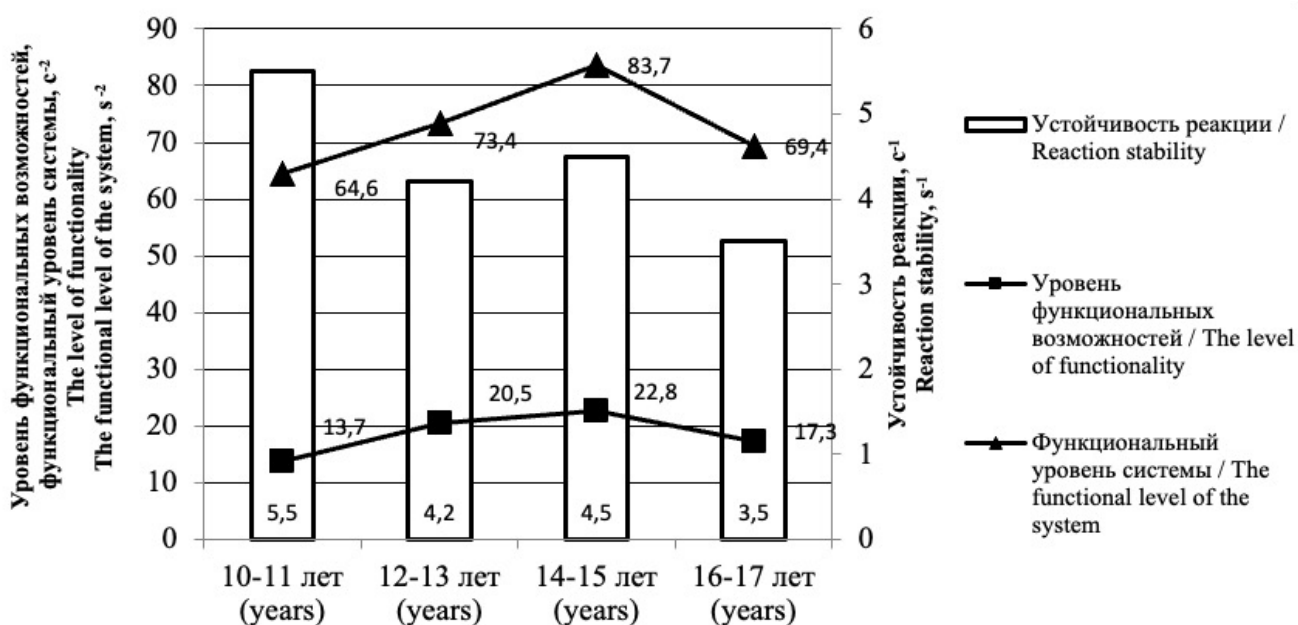


Рис. 3. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС детей II категории регуляции СР
 Fig. 3. Age-related dynamics of indicators of functional capabilities of the nervous system of children of the II category of heart rate regulation

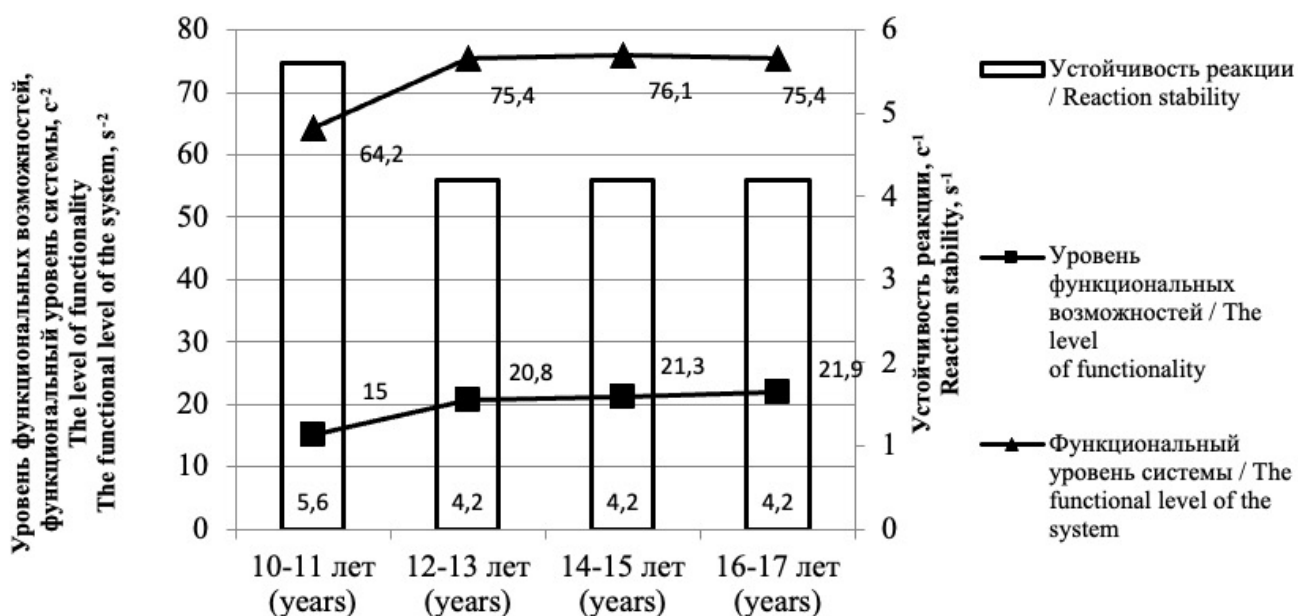


Рис. 4. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС детей III категории регуляции СР
 Fig. 4. Age-related dynamics of indicators of functional capabilities of the nervous system of children of the III category of heart rate regulation

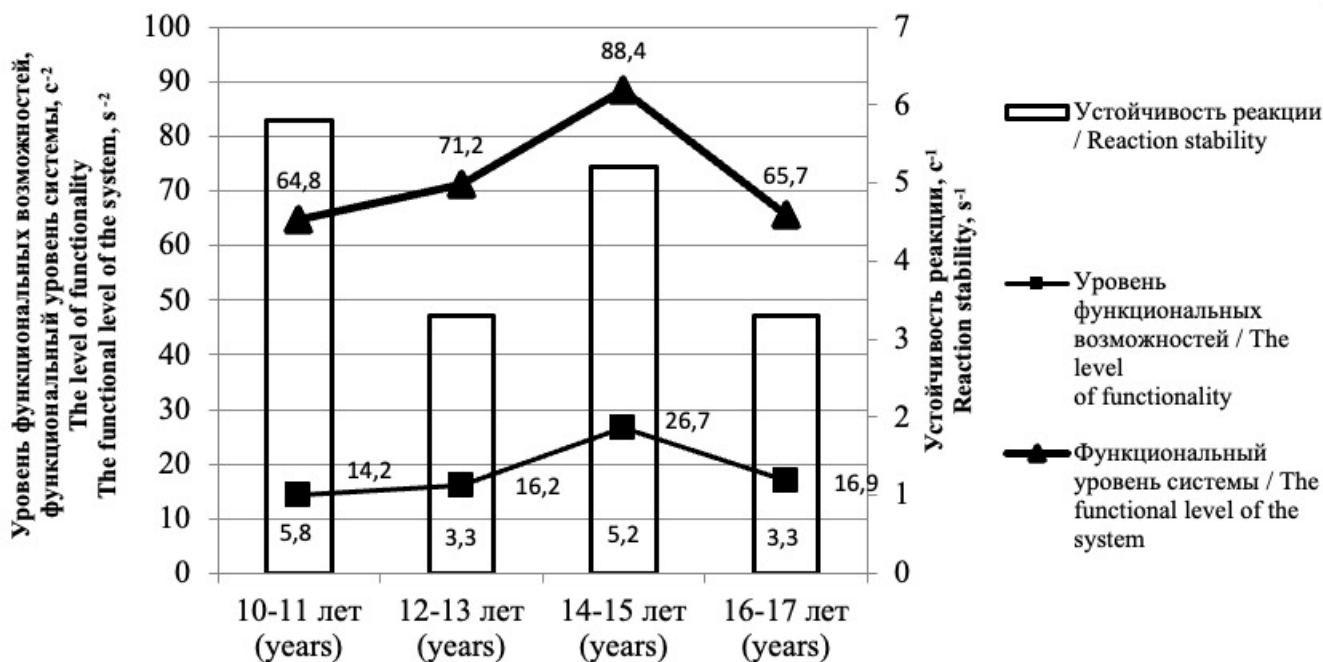


Рис. 5. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС детей IV категории регуляции СР
 Fig. 5. Age-related dynamics of indicators of functional capabilities of the nervous system of children of the IV category of heart rate regulation

Выводы

1. У большинства учащихся выявлено умеренное преобладание автономного контура регуляции СР во всех возрастных группах, что свидетельствует об успешности процессов адаптации и регуляции в условиях обучения. Пик напряжения регуляторных механизмов наблюдается в возрасте 12–13 лет, так как увеличивается процент детей с преобладанием ЦК регуляции СР. Выраженное преобладание ЦК регуляции встречается чаще, чем умеренное среди учащихся в возрасте 10–11 и 16–17 лет. Количество детей с выраженным преобладанием АК растет во всех возрастных группах.

2. С ростом преобладания АК регуляции сердечного ритма снижаются показатели функциональных возможностей НС у детей в возрасте 12–13 и 16–17 лет.

3. Наиболее устойчивая связь показателей функциональных возможностей нервной системы и категории регуляции сердечного ритма выявлена в возрасте 12–13 лет. Отмечается снижение функциональных возможностей нервной системы с ростом активности как автономного, так и центрального контуров регуляции, что свидетельствует о напряжении регуляторных механизмов в обоих случаях.

4. Возрастная динамика показателей функциональных возможностей НС учащихся, характеризующихся различным типом регуляции СР указывает на значимость силы влияния симпатического и парасимпатического отделов ВНС.

5. Результаты исследования расширяют представления о взаимосвязи функциональных возможностей организма ребенка и успешности формирования адаптационных механизмов в различных условиях обучения.

Библиографический список

1. Свиридова Н.Н. Подростковый возраст как объект исследования современных возрастной физиологии и психофизиологии // *Здравоохранение, образование и безопасность*. 2020. № 3. С. 95–104.
2. Быкова Н.Л., Геращенко Э.Ф., Неуймина Г.И. Анализ показателей физического развития подростков в различных по загрязнению окружающей среды районах республики Крым // *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2020. № 4. С. 12–16.

3. Грицина О.П., Транковская Л.В., Семанов Е.В., Лисецкая Е.А. Факторы, формирующие здоровье современных детей и подростков // *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2020. № 3. С. 19–24.

4. Логачева И.В., Гуничева Е.А., Брук И.В. Особенности функционального состояния и вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы у подростков с артериальной гипертензией 1 степени // *Артериальная гипертензия*. 2010. № 16. С. 552–558.

5. Казин Э.М., Варич Л.А., Тарасова О.Л., Четверик О.Н., Кошко Н.Н., Арлашева Л.В., Немолочная Н.В. Комплексный психофизиологический подход к оценке адаптивных возможностей обучающихся подросткового возраста с различными типами вегетативной регуляции // *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2020. Т. 22. № 2. С. 444–454. doi:10.21603/2078–8975–2020–22–2–444–454

6. Clarke S., Horeczko T., Cotton D., Bair A. Heart rate, anxiety and performance of residents during a simulated critical clinical encounter: a pilot study. *BMC Medical Education*. 2014. № 14. P. 153. doi:10.1186/1472–6920–14–153.

7. Дроздовский А.К. Современные исследования проявлений баланса нервных процессов возбуждения и торможения по их величине // *Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда*. 2021. № 6. С. 99–112. doi:10.38098/ipran.opwp_2021_19_2_005

8. Бердников Д.В., Бобынцев И.И., Апчел В.Я. Саморегуляция как основа взаимодействия человека со средой // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2014. № 4. С. 228–234.

9. Porges S.W. Polyvagal Theory: A Science of Safety // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2022. V. 16. P. 871227. doi:10.3389/fnint.2022.871227

10. Khitrov N.K., Saltykov A.B. Theory of functional systems and human general pathology // *Bulletin of Experimental Biology Medicine*. 2003. № 1 P. 1–6. doi:10.1023/a:1026012123785

11. Sudakov K.V. The theory of functional systems: general postulates and principles of dynamic organization (dedicated to the Anokhin Centenary) // *Integrative Physiological and Behavioral Science*. 1997. № 4. P. 392–414. doi:10.1007/BF02688634

12. Жумабаева Т.Т., Ажибекова З.Ы. Вариабельность сердечного ритма как состояние регуляторных механизмов физиологической адаптации организма // *Бюллетень науки и практики*. 2022. № 8. С. 350–356. doi:10.33619/2414–2948/84/42

13. Князева Е.С., Лялякин С.В., Мищенко Н.В., Трифонова Т.А. Оценка функционального состояния организма студентов с использованием параметров вариабельности сердечного ритма // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013. № 1. С. 8.

14. Цатуриян Л.Д., Кувандыкова Р.Х. Межсистемный подход в оценке адаптационных механизмов организма подростков. *Наука. Инновации. Технологии*. 2015. № 4. С. 203–214.

15. Jarrin D.C., McGrath J.J., Poirier P., Séguin L., Tremblay R.E., Montplaisir J.Y., Paradis G., Séguin J.R. Short-term heart rate variability in a population-based sample of 10-year-old children // *Pediatric Cardiology*. 2015. № 1. P. 41–48. doi:10.1007/s00246–014–0962-y

16. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F., Silva E.D., Takahashi A.C.M., Vanderlei L.C.M. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures // *Brazilian*

Journal of Physical Therapy. 2020. № 2. P. 91–102. doi:10.1016/j.bjpt.2019.02.006

17. Thomas B.L., Viljoen M. Heart Rate Variability and Academic Performance of First-Year University Students // *Neuropsychobiology*. 2019. № 4. P. 175–181. doi:10.1159/000500613

18. Speer K.E., Semple S., Naumovski N., McKune A.J. Heart rate variability for determining autonomic nervous system effects of lifestyle behaviors in early life: A systematic review // *Physiology & Behavior*. 2020. P. 217. 112806. doi:10.1016/j.physbeh.2020.112806.

19. Tiwari R., Kumar R., Malik S., Raj T., Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability // *Current Cardiology Reviews*. 2021. № 5. P. e160721189770. doi:10.2174/1573403X16999201231203854

20. Porges S.W. Heart Rate Variability: A Personal Journey // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2022. № 4. P. 259–271. doi:10.1007/s10484-022-09559-x

21. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: «Удмуртский университет». 2009. 259 с.

22. Шлык Н.И., Лебедев Е.С., Вершинина О.С. Оценка качества тренировочного процесса у спортсменов на основе экспресс-анализа вариабельности сердечного ритма с учетом индивидуального типа регуляции. Теория и практика физической культуры. 2019. № 2. С. 18–20.

References

1. Sviridova NN. Adolescence as an object of studies of modern age physiology and psychophysiology. *Healthcare, education and security*. 2020;3:95–104. (In Russian).

2. Bykova NL, Geraschenko EF, Neuymina GI. Analysis of indicators of physical development of teenagers in different regions of the of Crimea on the environmental pollution. *Scientific review. Medical sciences*. 2020;4:12–16. (In Russian).

3. Gritsina OP, Trankovskaya LV, Semaniv EV, Lisetskaya EA. Factors forming the health of modern children and adolescents. *Pacific Medical Journal*. 2020;3:19–24. (In Russian).

4. Logachyova IV, Gunicheva YA, Brook IV. The functional state of cardiovascular system and autonomic regulation in teenagers with 1 degree arterial hypertension. *Arterial Hypertension*. 2010;6:552–558. (In Russian).

5. Kazin EM, Varich LA, Tarasova OL, Chetverik ON, Koshko NN, Arlasheva LV, Nemolochayaya NV. Comprehensive Psycho-Physiological Approach to the Assessment of Adaptive Capacity of Teenage Schoolchildren with Different Types of Vegetative Regulation. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020;2:444–454. doi:10.21603/2078-8975-2020-22-2-444-454 (In Russian).

6. Clarke S, Horeczko T, Cotton D, Bair A. Heart rate, anxiety and performance of residents during a simulated critical clinical encounter: a pilot study. *BMC Medical Education*. 2014;14:153. doi:10.1186/1472-6920-14-153.

7. Drozdovski AK. Modern studies of manifestations of excitation and inhibition nerve processes balance by their magnitude. *Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational*

psychology and psychology of work. 2021;2:99–112. doi:10.38098/ipran.opwp_2021_19_2_005. (In Russian).

8. Berdnikov DV, Bobyntsev II, Apchel VYa. Self-regulation as basis for man-environment interrelation. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii*. 2014;4:228–234. (In Russian).

9. Porges SW. Polyvagal Theory: A Science of Safety. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2022;16:871227. doi:10.3389/fnint.2022.871227

10. Khitrov NK, Saltykov AB. Theory of functional systems and human general pathology. *Bulletin of Experimental Biology Medicine*. 2003;1:1–6. doi:10.1023/a:1026012123785

11. Sudakov KV. The theory of functional systems: general postulates and principles of dynamic organization (dedicated to the Anokhin Centenary). *Integrative Physiological and Behavioral Science*. 1997;4:392–414. doi:10.1007/BF02688634.

12. Zhumabaeva T, Azhibekova Z. Heart Rate Variability as an Indicator of the Regulatory Mechanism Condition in Body Physiological Adaptation. *Bulletin of Science and Practice*. 2022;8:350–356. (In Russian). doi:10.33619/2414-2948/84/42

13. Knyazeva ES, Lyalyakin SV, Mishchenko NV, Trifonova TA. An evaluation of the functional state of the body of students using heart rhythm variability parameters. *International Research Journal*. 2013;1:8. (In Russian).

14. Tsaturyan LD, Kuvandykova RH. Intersystem approach to the assessment of adaptive mechanisms of the adolescent's organism. *Science. Innovation. Technologies*. 2015;4:203–214. (In Russian).

15. Jarrin DC, McGrath JJ, Poirier P, Séguin L, Tremblay RE, Montplaisir JY, Paradis G, Séguin JR. Short-term heart rate variability in a population-based sample of 10-year-old children. *Pediatric Cardiology*. 2015;1:41–48. doi:10.1007/s00246-014-0962-y

16. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF, Silva ED, Takahashi ACM, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2020;2:91–102. doi:10.1016/j.bjpt.2019.02.006

17. Thomas BL, Viljoen M. Heart Rate Variability and Academic Performance of First-Year University Students. *Neuropsychobiology*. 2019;4:175–181. doi:10.1159/000500613

18. Speer KE, Semple S, Naumovski N, McKune AJ. Heart rate variability for determining autonomic nervous system effects of lifestyle behaviors in early life: A systematic review. *Physiology & Behavior*. 2020;217:112806. doi:10.1016/j.physbeh.2020.112806

19. Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Current Cardiology Reviews*. 2021;17(5): e160721189770. doi:10.2174/1573403X16999201231203854.

20. Porges SW. Heart Rate Variability: A Personal Journey. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2022;4:259–271. doi:10.1007/s10484-022-09559-x

21. Shlyk NI. Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes. Izhevsk: «Udmurt University»; 2009. 259 p. (In Russian).

22. Shlyk NI, Lebedev ES, Verшинina OS. Assessment of training process quality of cross-country skiers and biathletes by the results of the daily researches of heart rate variability. *Science and sport: current trends*. 2019;2: 92–105. (in Russian).

Ответственный за переписку: Яманова Галина Александровна — ассистент кафедры патофизиологии, клинической патофизиологии Волгоградского государственного медицинского университета, Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, площадь Павших Борцов, д. 1. E-mail: galina_262@mail.ru

Яманова Г.А. SPIN 8719–9094; ORCID 0000–0003–2362–8979

Кудрин Р.А. SPIN 5485–9609; ORCID 0000–0002–0022–6742

Антонова А.А. SPIN 8105–1039; ORCID 0000–0003–2581–0408

Corresponding author: Yamanova Galina Aleksandrovna — Assistant Professor of the Department of pathophysiology, clinical pathophysiology, Volgograd State Medical University, 400066, Fallen Fighters Square, 1, Volgograd, Russian Federation. E-mail: galina_262@mail.ru,

Yamanova G.A. ORCID 0000–0003–2362–8979

Kudrin R.A. ORCID 0000–0002–0022–6742

Antonova A.A. ORCID 0000–0003–2581–0408