

УДК 616.8-053.6

DOI: 10.56871/CmN-W.2024.23.80.019

ВОЗРАСТНЫЕ АСПЕКТЫ ВЕГЕТАТИВНО-РЕГУЛЯТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПУБЕРТАТНОГО ПЕРИОДА У ЗДОРОВЫХ ПОДРОСТКОВ

© Людмила Кузьминична Антонова, Семен Михайлович Кушнир

Тверской государственный медицинский университет. 170100, г. Тверь, ул. Советская, 4

Контактная информация:

Людмила Кузьминична Антонова — д.м.н., профессор кафедры поликлинической педиатрии и неонатологии.

E-mail: antonova.lk@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7908-5717> SPIN: 8832-0817**Для цитирования:** Антонова Л.К., Кушнир С.М. Возрастные аспекты вегетативно-регуляторного обеспечения морфофункциональных процессов пубертатного периода у здоровых подростков // Children's Medicine of the North-West. 2024. Т. 12. № 2. С. 195–200.DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2024.23.80.019>

Поступила: 11.03.2024

Одобрена: 29.04.2024

Принята к печати: 05.06.2024

Резюме. Введение. Известно, что к подростковому возрасту основные нейрогуморальные механизмы вегетативной регуляции считаются завершенными. Однако без понимания возрастной эволюции вегетативного гомеостаза дать объективную оценку соответствия его уровня характеристикам пубертатных процессов не представляется возможным. **Цель исследования.** Выявить закономерности динамических изменений в системе вегетативного гомеостаза у детей на этапах постнатального онтогенеза для определения степени адекватности процессов управления морфофункциональными преобразованиями периода полового созревания. **Материалы и методы.** Всего обследовано 145 здоровых детей: 44 подростка 13–17 лет составили основную группу, 101 ребенок от 1 года жизни до 13 лет вошли в группу сравнения. В работе использовался метод анализа variability сердечного ритма. **Результаты.** В статье представлены данные о динамических изменениях в системе вегетативного гомеостаза, заключающихся в переходе от преобладания централизации у детей раннего возраста к доминированию управляющей автономии в подростковой популяции. **Выводы.** Выявленная закономерность — основа постнатального онтогенетического развития вегетативно-регуляторных механизмов по формированию оптимального уровня управления морфофункциональными преобразовательными процессами пубертатного периода.

Ключевые слова: дети, вегетативная регуляция, пубертатный период

AGE-RELATED ASPECTS OF AUTONOMIC-REGULATORY SUPPORT OF MORPHOFUNCTIONAL PROCESSES OF PUBERTY PERIOD IN HEALTHY ADOLESCENTS

© Lyudmila K. Antonova, Semyon M. Kushnir

Tver State Medical University. 4 Sovetskaya str., Tver 170100 Russian Federation

Contact information:

Lyudmila K. Antonova — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of outpatient pediatrics and neonatology.

E-mail: antonova.lk@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7908-5717> SPIN: 8832-0817**For citation:** Antonova LK, Kushnir SM. Age-related aspects of autonomic-regulatory support of morphofunctional processes of puberty period in healthy adolescents. Children's Medicine of the North-West. 2024;12(2):195–200. DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2024.23.80.019>

Received: 11.03.2024

Revised: 29.04.2024

Accepted: 05.06.2024

Abstract. Background. It is known that by adolescence, the basic neurohumoral mechanisms of autonomic regulation are considered complete. However, without understanding the age-related evolution of vegetative homeostasis, it is not possible to give an objective assessment of the correspondence of its level to the characteristics of pubertal processes. **Purposes.** To identify the patterns of dynamic changes in the system of vegetative homeostasis in children at the stages of postnatal ontogenesis to determine the degree of adequacy of the processes of controlling morphofunctional transformations of puberty. **Materials and methods.** A total

of 145 healthy children were examined: 44 adolescents aged 13–17 made up the main group, 101 children from 1 year of age to 13 years were included in the comparison group. In this work, the method of heart rate variability analysis was used. **Results.** The article presents data on dynamic changes in the system of vegetative homeostasis, consisting in the transition from the predominance of centralization in young children to the dominance of controlling autonomy in the adolescent population. **Conclusion.** The revealed regularity is the basis of the postnatal ontogenetic development of vegetative-regulatory mechanisms for the formation of the optimal level of control of morphofunctional transformed processes of puberty.

Key words: children, autonomic regulation, puberty

ВВЕДЕНИЕ

Формирование вегетативно-регуляторных структур у детей происходит в соответствии с общими закономерностями созревания функциональных систем организма ребенка [1–3]. Известно, что к подростковому возрасту основные нейрогуморальные механизмы вегетативной регуляции считаются завершенными [4–6]. Однако без понимания возрастной эволюции вегетативного гомеостаза (ВГС) дать объективную оценку соответствия уровня регуляторных влияний на процессы формирования репродуктивной функции не представляется возможным [7–10]. В то же время в литературе вопросы оптимизации управляющих механизмов вегетативной регуляции на этапах постнатального онтогенеза, обеспечивающие оптимальный уровень морфофункциональных процессов пубертатного периода, остаются недостаточно изученными [11–13]. Очевидно, что результаты таких исследований способствовали бы ранней диагностике предикторов психосоматической патологии, нередко дебютирующих у детей этой возрастной группы [14–17].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявить закономерности динамических изменений регуляторных детерминантов ВГС у детей на этапах постнатального онтогенеза для определения степени адекватности процессов управления морфофункциональными преобразованиями периода полового созревания, совершенствования ранней диагностики и целенаправленной коррекции их нарушений.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено сравнительное контролируемое исследование динамических изменений межконтурного, центрального и автономного доминирования в системе ВГС у 145 здоровых детей. Основную группу составили 44 подростка (мальчики — 18, девочки — 17) 13–17 лет. Группу сравнения представлял 101 ребенок: 22 — первого года жизни, 35 — 4–7 лет и 44 (мальчики — 19, девочки — 25) 8–12 лет. Число детей во всех группах было сопоставимо, соотношение мальчиков и девочек достоверно не различалось ($p > 0,05$). Гендерные раз-

личия учитывались в группах детей подросткового возраста. Критерии включения: дети, посещающие дошкольные учреждения и общеобразовательные школы (кроме детей первого года жизни), I и IIa групп здоровья (ф-112). Исключение составили неорганизованные дети 1–3 лет жизни из-за выраженного различия условий проживания. Обследование проводилось в детской поликлинике с соблюдением условий для электрофизиологических исследований. От всех обследованных и их родителей было получено информированное согласие.

Вегетативно-регуляторные параметры изучались методом анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) с использованием вегетотестера «ВНС-Микро» 2000 Гц. Запись проводилась на коротких участках (не менее 500 кардиоциклов) с последующей обработкой с помощью программы «Поли-Спектр» («Нейрософт» Россия). Статистический анализ проводился с помощью программы STATISTICA 20 (США) и включал методы Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса. Для сравнения переменных в независимых группах использовалась бутстреп-версия теста Саттертуайта (гетероскедастическая версия теста Стьюдента). Различия считались статистически значимыми при значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования сравнению подлежали абсолютные значения показателей временного и частотного анализа ВСР, результаты которых приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из данных рис. 1, уровень индекса напряженности SI, усл. ед. и показателя адекватности процессов регуляции АМо/Мо у детей 13–17 лет по сравнению с данными детей первого года жизни существенно снизились: на 87,8 и 72,2% в группе мальчиков и на 87,3 и 73,2% девочек соответственно (все $p < 0,05$). (все $p < 0,05$).

Как следует из данных рис. 2, у детей к подростковому периоду регистрировалось существенное изменение абсолютных значений волновых характеристик ВСР в виде повышения суммарной мощности всех диапазонов частотного спектра TP, мс² на 79,6 и 56,7% у мальчиков и девочек соответственно, что указывало на доминирование в системе

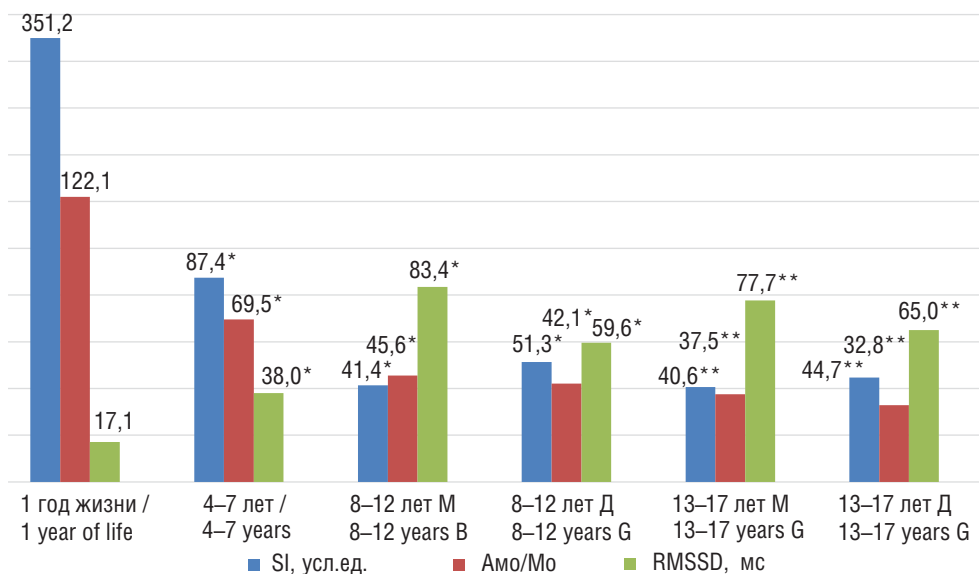


Рис. 1. Динамические изменения абсолютных значений показателей временной области вариабельности сердечного ритма у здоровых детей, %. (Здесь и на рис. 2 — статистическая значимость различий ($p < 0,05$): * — показателей возрастной группы к данным предыдущей; ** — данных группы 13–17 лет к показателю первого года жизни; М — мальчики, Д — девочки, SI, усл. ед. — индекс напряжения, Амо/Мо — показатель адекватности процессов регуляции, RMSSD, мс — репрезентативный показатель парасимпатической активности.)

Fig. 1. Dynamic changes in absolute time region indicators of heart rate variability in healthy children, %. (Here and in Fig. 2 — statistical significance of the differences ($p < 0,05$): * — indicators of the age group to the data of the previous one; ** — data of the group 13–17 years old to the indicator of the first year of life; B — boys; G — girls; SI, arbitrary units — tension index, Амо/Мо — indicator of the adequacy of regulation processes, RMSSD, ms — representative indicator of parasympathetic activity.)

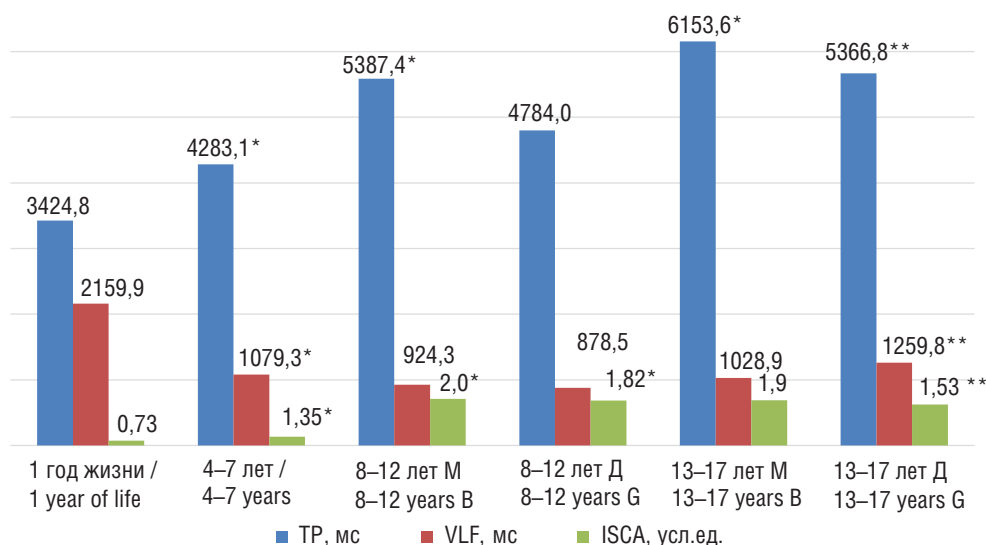


Рис. 2. Динамические изменения абсолютных значений показателей частотной области ВРС у здоровых детей. TP, мс² — показатель суммарной мощности волн спектра вариабельности сердечного ритма; VLF, мс² — показатель активности диапазона очень низких частот; ISCA — индекс активации подкорковых структур

Fig. 2. Dynamic changes in absolute values frequency region indicators of heart rate variability in healthy children, %. TP, мс² — an indicator of the total power of waves in the heart rate variability spectrum; VLF, мс² — indicator of activity in the very low frequency range; ISCA — index of activation of subcortical structures

ВГС генераций автономного контура (все $p < 0,05$). Выявленный динамический частотный сдвиг в сторону доминирования автономии сопровождался ослаблением надсегментарно-сегментарной связи,

о чем свидетельствовало повышение индекса активации подкорковых структур ISCA в 2,5 и 2,1 раза (все $p < 0,05$). Следует подчеркнуть, что снижение биопотенциалов, исходящих из диапазона очень

Таблица 1. Динамические характеристики типа спектра у детей обследованных групп, мс²Table 1. Dynamic characteristics of the spectrum type in children of the examined groups, ms²

Возраст / Age	Показатели частот, мс ² / Frequency indicators, ms ²			Тип спектра / Spectrum type
	HF, мс ² (ms ²)	LF, мс ² (ms ²)	VLF, мс ² (ms ²)	
1 год / 1 year	9,0	33,9	57,1	VLF > LF > HF
4–7 лет / 4–7 years	40,8	32,1	27,1	VLF > HF > LF
8–12 лет / 8–12 years	49,0	31,7	19,3	HF > LF > VLF
13–17 лет / 13–17 years old	51,9	32,7	15,8	HF > LF > VLF

низких частот VLF, мс² у детей 13–17 лет по сравнению с данными детей первого года жизни: на 52,4 и 41,7% у мальчиков и девочек соответственно, указывало на существенное уменьшение энергометаболических затрат на регуляторные процессы (все $p < 0,05$).

В табл. 1 приведены сведения о динамике относительных значений регуляторных параметров, так называемый тип спектра BCP [3].

Данные таблицы указывают на высокий уровень централизации в управлении функциональными системами у детей первого года жизни, при котором доминирующими частотами в структуре суммарной мощности волн спектра (TP, мс²) являются биопотенциалы диапазона очень низких (VLF, мс²) и низких (LF, мс²) частот. Показано, что в возрастной группе 4–7 лет существенно повышается влияние в регуляторном процессе высокочастотных колебаний (HF, мс²), но уже к подростковому возрасту тип спектра начинает соответствовать оптимальным параметрам (HF — 40–55%; LF — 25–35%, VLF — 6–15%) частотной пропорциональности [8, 9].

Следует отметить, что в группах мальчиков и девочек достоверных различий изучаемых показателей, нарушающих общую закономерность динамических изменений, выявлено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что эрготропная напряженность, ассоциированная с высокими энергометаболическими затратами, свойственная детям раннего возраста, продиктована высокой ранимостью организма и незавершенностью формирования регуляторных адаптационных механизмов. В то же время столь высокие энергометаболические затраты, ассоциированные с управляющей централизацией, у детей подросткового возраста, могли бы стать причиной перенапряжения адаптационных механизмов и истощения функционального резерва.

Результаты предпринятого исследования позволили выявить существенную закономерность перехода управляющей функции ВГС от высокой централизации у детей раннего возраста к доминирующей автономии у подростков. Физиологиче-

ский эволюционный детерминизм такой трансформации обусловлен переходом от энергозатратной эрготропной активности к энергосберегающему режиму межконтурной доминанты автономии в управлении функциональными системами, создающей оптимальные условия адекватности уровня вегетативной регуляции требованиям процессов пубертатного периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленная закономерность является концептуальной основой постнатального онтогенетического созревания и развития детского организма, а переход к автономии в управлении функциональными системами в подростковом возрасте следует полагать физиологической сущностью модулирования межконтурной доминанты. Результаты проведенного исследования могут иметь не только теоретическое значение, но и важное практическое применение для педиатрической практики в качестве критериев функциональной зрелости и гармоничности развития детей в разные возрастные периоды, а также ранней диагностики и коррекции их нарушений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the

study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

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

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова Л.К., Кушнир С.М. Вегетативная регуляция у детей в постнатальном онтогенезе. Тверь: РИЦ ТГМУ; 2018.
2. Налобина А.Н., Стоцкая Е.С. К вопросу о возрастной физиологической норме при оценке показателей variability сердечного ритма у детей первого года жизни. Фундаментальные исследования (Биологические науки). 2014;12:2366–2372.
3. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Удмуртский университет; 2009.
4. Пшеничная Е.В. Оценка вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы мальчиков-подростков предпризывного возраста. Врач. 2018;1(29):56–59.
5. Калужный Е.А. Вегетативная регуляция функциональной адаптации школьников. Современные научные исследования и инновации. 2014;4(36):2.
6. Степанова Е.Ю. Нейрокардиоинтервалография в диагностике вегетативного статуса при коррекции школьной дезадаптации у подростков. Практическая медицина. 2017;2(1):89–92.
7. Алексеева Т.Н. Особенности церебральной гемодинамики в зависимости от вегетативной реактивности у подростков с нормальным артериальным давлением. Смоленский медицинский альманах. 2017;3:67–74.
8. Нежкина Н.Н., Кулигин О.В., Гасонова О.Л. Психофизиологическая тренировка в лечении синдрома вегетативной дистонии по симпатикотоническому типу и первичной артериальной гипертензии у детей и подростков. Пермский медицинский журнал. 2021;38(2):30–36.
9. Daluwatte C. Simultaneously measured pupillary light reflex and heart rate variability in healthy children. *Physiol Meas*. 2012;33(6):1043–1052.
10. Максимович Н.А. Артериальная гипертензия и факторы риска у детей: обзор литературы. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020;18:523–531.
11. Ярмухамедова Д.З., Нуритдинова Н.Б., Шоалимова З.М. Распространенность артериальной гипертензии и факторов риска у лиц молодого возраста. Наука, техника и образование. 2021;3:60–63.
12. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово; 2008.
13. Кушнир С.М., Антонова Л.К. Девиантные и донозологические состояния у детей подросткового возраста. Тверь: РИЦ ТГМУ; 2020.
14. Юсупова У.У. Синдром вегетативной дистонии у детей. Авиценна. 2017;12:45–49.
15. Еремина Е.Ю. Показатели variability сердечного ритма у пациентов с гастроэзофагеальной рефлюксной болезнью. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2018;9:10–17.
16. Yiallourou S.R. Maturation of heart rate and blood pressure variability during sleep in term-born infants. *SLEEP*. 2012;35(2):177–186.
17. Hanevold C.D. White coat hypertension in children and adolescents. *Hypertension*. 2019;73(1):24–30.

REFERENCES

1. Antonova L.K., Kushnir S.M. Vegetativnaya regulaciya u detej v postnatal'nom ontogeneze. [Autonomic regulation in children in postnatal ontogenesis]. Tver': RIC TGMU Publ.; 2018. (in Russian).
2. Nalobina A.N., Stockaya E.S. K voprosu o vozrastnoj fiziologicheskoj norme pri ocenke pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma u detej pervogo goda zhizni. [On the Question of the Age Physiological Norm in the Assessment of Heart Rhythm Variability Indicators in Children of the First Year of Life]. *Fundamental'nye issledovaniya (Biologicheskie nauki)*. 2014;12:2366–2372. (in Russian).
3. Shlyk N.I. Serdechnyj ritm i tip regulacii u detej, podrostkov i sportmenov. [Heart Rhythm and Type of Regulation in Children, Adolescents and Athletes]. Izhevsk: Udmurtskij universitet Publ.; 2009. (in Russian).
4. Pshenichnaya E.V. Ocenka vegetativnoj regulacii serdechno-sosudistoj sistemy mal'chikov-podrostkov predprizyvnoogo vozrasta. [Pshenichnaya E.V. Assessment of autonomic regulation of the cardiovascular system of adolescent boys of pre-conscription age]. *Vrach*. 2018;1(29):56–59. (in Russian).
5. Kalyuzhnyj E.A. Vegetativnaya regulaciya funkcional'noj adaptacii shkol'nikov. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. [Autonomic Vegetative regulation of functional adaptation of schoolchildren. State-of-the-art scientific research and innovation]. 2014;4(36):2. (in Russian).
6. Stepanova E.Yu. Nejrokardiointervalografiya v diagnostike vegetativnogo statusa pri korrekcii shkol'noj dezadaptacii u podrostkov. [Neurocardio-intervalography in the diagnosis of vegetative status in the correction of school adaptation in ado-

- lescents]. *Prakticheskaya medicina*. 2017;2(1):89–92. (in Russian).
7. Alekseeva T.N. Osobennosti cerebral'noj gemodinamiki v zavisimosti ot vegetativnoj reaktivnosti u podrostkov s normal'nym arterial'nym davleniem. [Features of cerebral hemodynamics depending on vegetative reactivity in adolescents with normal arterial pressure]. *Smolenskij medicinskij al'manah*. 2017;3:67–74. (in Russian).
 8. Nezhkina N.N., Kuligin O.V., Gasonova O.L. Psihofiziologicheskaya trenirovka v lechenii sindroma vegetativnoj distonii po simpatikotonicheskomu tipu i pervichnoj arterial'noj gipertenzii u detej i podrostkov. [Psychophysiological training in the treatment of vegetative dystonia syndrome according to sympathicotonic type and primary arterial hypertension in children and adolescents]. *Permskij medicinskij zhurnal*. 2021;38(2):30–36 (in Russian).
 9. Daluwatte C. Simultaneously measured pupillary light reflex and heart rate variability in healthy children. *Physiol Meas*. 2012;33(6):1043–1052.
 10. Maksimovich N.A. Arterial'naya gipertenziya i faktory riska u detej: obzor literatury. [Arterial Hypertension and Risk Factors in Children: A Literature Review]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*. 2020;(18):523–531. (in Russian).
 11. Yarmuhamedova D.Z., Nuritdinova N.B., Shoalimova Z.M. Rasprostranennost' arterial'noj gipertenzii i faktorov riska u lic molodogo vozrasta. [Prevalence of arterial hypertension and risk factors in young persons]. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2021;3:60–63. (in Russian).
 12. Baevskij R.M., Berseneva A.P. Vvedenie v donozologicheskuyu diagnostiku. [Introduction to Donozological Diagnostics]. Moskva: Slovo Publ.; 2008. (in Russian).
 13. Kushnir S.M., Antonova L.K. Deviantnye i donozologicheskie sostoyaniya u detej podrostkovogo vozrasta. [Deviant and prenosological states in children of adolescence]. Tver': RIC TGMU Publ.; 2020. (in Russian).
 14. Yusupova U.U. Sindrom vegetativnorj distonii u detej. [Syndrome of autonomic dysfunction in children]. *Avicenna*. 2017;12:45–49. (in Russian).
 15. Eremina E.Yu. Pokazateli variabel'nosti serdech'nogo ritma u pacientov s gastroezofageal'noj reflyuksnoj boleznyu. [Indicators of heart rhythm variability in patients with gastroesophageal reflux disease]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*. 2018;9:10–17. (in Russian).
 16. Yiallourou S.R. Maturation of heart rate and blood pressure variability during sleep in term-born infants. *SLEEP*. 2012; 35(2):177–186.
 17. Hanevold C.D. White coat hypertension in children and adolescents. *Hypertension*. 2019; 73(1):24–30.