

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678605>

EDN: JMUCAG



Возрастные особенности функционального развития системы кровообращения у школьников — представителей коренных малочисленных народов Северо-Востока России: одномоментное исследование

А.Н. Лоскутова

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Изменения в работе сердечно-сосудистой системы служат одним из основных критериев оценки адаптивных возможностей организма и состояния здоровья человека.

Цель исследования. Изучить возрастные изменения функциональных показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) у школьников из числа коренных малочисленных народов Севера-Востока России.

Методы. В 2021–2023 гг. проанализировали основные показатели сердечно-сосудистой системы 174 девочек и 196 мальчиков из числа коренных малочисленных народов Севера (эвены, коряки, ительмены) — 62,5% всех обследованных (592 человека). В состоянии покоя в положении сидя трехкратно регистрировали артериальное давление и частоту сердечных сокращений автоматическим тонометром «Nissei DS-1862» (Япония). По общепринятым методикам рассчитывали следующие показатели: минутный и ударный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов, вегетативный индекс Кердо, сердечный индекс, тип саморегуляции кровообращения, индекс функциональных изменений.

Результаты. Наиболее высокие темпы функционального развития системы кровообращения у мальчиков наблюдают в возрасте 13–16 лет, тогда как для девочек характерны более ранние изменения — в 10–11 лет с продолжением до юношеского возраста. В возрастной динамике на фоне изменений всех рассматриваемых показателей отсутствует устойчивая тенденция к снижению частоты сердечных сокращений. В подростковом возрасте выявлена высокая доля лиц с тахикардией и симпатической активностью вегетативной нервной системы. Мальчики в возрасте 14–15 лет опережают девочек по ударному объему крови, в 16–17 лет — по систолическому артериальному и пульсовому давлению. У девочек выше средневозрастные значения диастолического АД в 14–15 лет и общего периферического сопротивления сосудов в 14 лет. Вне зависимости от пола обследуемых преобладал сердечный тип саморегуляции кровообращения. В возрастных группах превалировал гиперкинетический тип кровообращения, за исключением 17-летних мальчиков с эукинетическим типом кровообращения.

Заключение. Возрастные изменения функционального развития системы кровообращения у школьников из числа аборигенного населения проходят на фоне удовлетворительной адаптации, однако при напряженности механизмов регуляции при кратковременном воздействии факторов внешней среды.

Ключевые слова: школьники; коренные малочисленные народы Севера; функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, Северо-Восток России.

Как цитировать:

Лоскутова А.Н. Возрастные особенности функционального развития системы кровообращения у школьников — представителей коренных малочисленных народов Северо-Востока России: одномоментное исследование // Экология человека. 2025. Т. 32, № 4. С. 246–256.

DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAG

Рукопись поступила: 16.04.2025

Рукопись одобрена: 23.06.2025

Опубликована online: 02.07.2025

Age-Related Characteristics of Functional Development of the Circulatory System in Schoolchildren From Indigenous Minorities of the Russian Northeast: a Cross-Sectional Study

Alesya N. Loskutova

"Arctic" Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Changes in cardiovascular functioning are among the key criteria for assessing the adaptive potential of the human body and general health status.

AIM: To examine age-related changes in functional parameters of the cardiovascular system (CVS) in schoolchildren belonging to the indigenous minorities of the Russian Northeast.

METHODS: Between 2021 and 2023, key cardiovascular parameters were analyzed in 174 girls and 196 boys belonging to the Indigenous Minorities of the North (Even, Koryak, and Itelmen), who accounted for 62.5% of the total sample (592 individuals). Participants were seated at rest, and blood pressure and heart rate were measured three times using the Nissei DS-1862 automatic blood pressure monitor (Japan). The following parameters were calculated using conventional methods: stroke volume, cardiac output, total peripheral vascular resistance, Kerdo autonomic index, cardiac index, type of circulatory self-regulation, and functional change index.

RESULTS: The most intensive functional development of the circulatory system in boys was observed between the ages of 13 and 16 years, whereas girls characterized by earlier changes beginning at 10–11 years, continuing into adolescence. Throughout the age-related changes of all examined parameters, no stable trend toward a decrease in heart rate was identified. A high prevalence of tachycardia and increased sympathetic activity of the autonomic nervous system was observed in adolescents. Boys aged 14–15 years had higher stroke volume compared with the girls, and those aged 16–17 years showed higher systolic and pulse pressure. The girls demonstrated higher mean diastolic blood pressure at the age of 14–15 years and greater total peripheral resistance at the age of 14 years. Regardless of sex, the cardiac type of circulatory self-regulation predominated. A hyperkinetic circulation type prevailed across age groups, except in 17-year-old boys, who demonstrated a eukinetic circulation type.

CONCLUSION: Age-related changes in the functional development of the circulatory system in schoolchildren belonging to the indigenous populations occur against a background of satisfactory adaptation, though with evidence of regulatory strain during transient exposure to environmental factors.

Keywords: schoolchildren; indigenous minorities of the North; functional cardiovascular parameters; Russian Northeast.

To cite this article:

Loskutova AN. Age-related characteristics of functional development of the circulatory system in schoolchildren from indigenous minorities of the Russian Northeast: a cross-sectional study. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):246–256. DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAg

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678605>

EDN: JMUCAG

俄罗斯东北部少数原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄特征：横断面研究

Alesya N. Loskutova

"Arctic" Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

论证。心血管系统功能的变化是评估机体适应能力与健康状况的主要标准之一。

目的。研究俄罗斯东北部北方少数原住民族学龄儿童心血管系统功能指标的年龄变化情况。

方法。在2021—2023年期间，对来自北方少数原住民族（埃文人、科里亚克人、伊捷尔缅人）的174名女生和196名男生进行了心血管系统主要指标的分析，占有受检者（592人）的62.5%。在静息坐位状态下，使用“Nissei DS-1862”（日本）自动血压计三次测量动脉血压和心率。根据通用方法计算以下指标：每搏输出量、每分钟心输出量、全身外周血管阻力、Kerdo自主神经指数、心指数、血液循环自我调节类型和功能状态指数。

结果。男生心血管系统功能发育的最快时期出现在13–16岁，而女生则表现出较早的变化，高峰期在10–11岁，并持续至少少年晚期。在年龄动态中，尽管多数指标发生变化，但心率未呈现出持续下降趋势。青春期阶段，心动过速和交感神经系统兴奋表现的个体比例较高。14–15岁男生的每搏输出量高于女生，16–17岁时收缩压和脉压也更高。女生在14–15岁时的平均舒张压值较高，14岁时外周血管阻力亦较高。不论性别，血流自我调节类型以心源性类型为主。除17岁男生以正常动力型为主外，其余年龄段均以高动力型血液循环为主。

结论。原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄变化过程是在总体适应良好的背景下进行的，但在短期外界因素影响下，其调节机制表现出一定程度的紧张。

关键词：学龄儿童；北方少数原住民族；心血管系统功能指标；俄罗斯东北部。

引用本文：

Loskutova AN. 俄罗斯东北部少数原住民族学龄儿童心血管系统功能发育的年龄特征：横断面研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(4):246–256. DOI: 10.17816/humeco678605 EDN: JMUCAG

收到: 16.04.2025

接受: 23.06.2025

发布日期: 02.07.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время население Магаданской области преимущественно составляют потомки пришлых славян, представители 1–3-го поколений (европеоидные уроженцы). Среди юношей Магадана — аборигенов (лат. *ab origine* — от начала), мигрантов и «укоренённых» европеоидов, исследователи отмечают процессы сближения ряда физиологических параметров. Авторы рассматривают эти процессы как определённую стадию конвергентной адаптации. При этом каждая популяция формирует свой характерный экологический портрет [1, 2].

Проблема адаптации коренных малочисленных народов Севера (аборигенного населения) представляет теоретический и практический интерес. Изучение влияния окружающей среды и урбанизации на детский организм сохраняет свою актуальность в исследованиях возрастной и этнической физиологии [3]. Это обусловлено тем, что рост и развитие организма ребёнка имеют различную биологическую природу и механизмы обеспечения: ростовые процессы приводят к пропорциональным изменениям, а развитие функциональных систем к качественным изменениям в регуляции организма [4].

В условиях окружающей среды происходят трансформации в развитии детей, формирующие оптимальные морфофункциональные свойства организма. Регуляторные изменения ССС выступают одними из главных критериев оценки адаптационных возможностей организма. Доказано влияние широтного фактора на формирование артериальной гипертензии и напряжение регуляторных систем у подростков-европеоидов [5–7]. Также существует гипотеза о влиянии природно-климатических условий на формирование морфофункциональных признаков у подростков из числа коренных малочисленных народов, проживающих в различных зонах Севера (Красноярский край, Республика Саха (Якутия)) [8]. В Магаданском регионе среди мальчиков-аборигенов подросткового и юношеского возраста отмечают значительный процент случаев симпатотонии, сопровождающейся сниженными адаптационными возможностями организма [9]. Психофизиологические показатели аборигенов демонстрируют меньшую подвижность и неуравновешенность нервной системы по сравнению со среднеширотными нормами [10]. Функциональные возможности регуляторных систем детей в процессе роста и развития зависят от природно-климатических, социально-экономических и прочих факторов региона проживания.

Цель исследования

Изучить возрастные изменения функциональных показателей сердечно-сосудистой системы у школьников из числа коренных малочисленных народов Севера-Востока России.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое одномоментное исследование, включавшее анализ показателей сердечно-сосудистой системы у школьников — коренных жителей Северо-Востока России (укоренённые европеоиды, аборигенное население).

Условия проведения исследования

С 2021 по 2023 г. в весенний период (март–апрель) зарегистрировали показатели сердечно-сосудистой системы у 592 школьников — 194 уроженца-европеоида и 398 аборигенов (эвены, коряки, ительмены).

Исследование проводили на базе медицинского кабинета муниципальной общеобразовательной школы в посёлке городского типа Эвенск (Магаданская область, Северо-Эвенский район).

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения:

- школьники в возрасте 7–18 лет;
- коренные жители Севера-Востока России;
- согласие законных представителей ребёнка и самого ребёнка на обследование;
- отсутствие диагностированных неврологических, психических и хронических соматических заболеваний;
- трехкратное измерение исследуемых показателей.

Критерии невключения:

- наличие хронических заболеваний (особенно ЦНС, эндокринной и сердечно-сосудистой систем);
- приём лекарств, влияющих на когнитивные и моторные функции (антидепрессанты, седативные, стимуляторы и др.).

Критерии исключения:

- отсутствие данных испытуемого в нужной повторности.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИЦ «Арктика» ДВО РАН (заключение № 002/021 от 26.11.2021).

Подбор участников в группы

Согласно цели исследования, на основании социального паспорта классов были сформированы половозрастные группы из 398 школьников аборигенного населения (эвены, коряки, ительмены). После исключения 28 детей (недостаток данных по частоте сердечных сокращений) сформирована выборка из 370 участников (196 мальчиков и 174 девочки — 62,5% общей выборки)

Распределение участников по возрасту и полу проводили согласно антропологическому принципу (мальчики/девочки): 8 лет (от 7 лет 6 месяцев до 8 лет 5 месяцев 29 дней) — 23/14; 9 лет — 22/11; 10 лет — 14/14;

11 лет — 12/12; 12 лет — 15/21; 13 лет — 19/29; 14 лет — 21/24; 15 лет — 23/14; 16 лет — 20/16, 17–18 лет — 27/19.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Основными показателями исследования стали возрастные изменения параметров ССС у школьников — коренных малочисленных народов Северо-Востока России. Анализировали следующие базовые гемодинамические показатели: систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин). Также рассчитывали показатели функциональных компонентов гемодинамики.

Дополнительные показатели исследования

Дополнительно в исследовании провели сравнительный анализ типа саморегуляции кровообращения (ТСК) и индекса функциональных изменений (ИФИ, балл) в разных возрастных группах [11–13].

Методы измерения целевых показателей

Для оценки сердечно-сосудистой системы у школьников троекратно регистрировали в положении сидя САД, ДАД и ЧСС. Измерения проводили автоматическим тонометром «Nissei DS-1862» (Nihon Seimitsu Sokki Co., Ltd, Япония). Показатели рассчитывали по следующим формулам:

- 1) ударный объём (УО, мл):
 - для детей ≥ 15 лет: $УО = [(101 + 0,5 \times ПД) - 0,6 \times ДАД] - 0,6 \times В$;
 - для детей < 15 лет: $УО = [(40 + 0,5 \times ПД) - (0,6 \times ДАД)] + 3,2 \times В$, где $ПД = САД - ДАД$, $ПД$ — пульсовое давление, мм рт. ст.; $В$ — возраст, лет;
- 2) вегетативный индекс Кердо (ВИК, усл. ед.): $ВИК = (1 - ДАД/ЧСС) \times 100$;
- 3) общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $\text{дин} \times \text{см}^{-5}$): $ОПСС = (ДАД + 0,42 \times ПД) \times 79980 / МОК$, где $МОК = УО \times ЧСС$, $МОК$ — минутный объём кровообращения, л/мин;
- 4) сердечный индекс (СИ, л/(мин $\times$ м²)): $СИ = МОК / S$, где S — площадь тела по Дюбуа;
- 5) тип саморегуляции кровообращения (ТСК, усл. ед.): $ТСК = (ДАД/ЧСС) \times 100$.

Анализ чувствительности

Анализ чувствительности в исследовании не проводили.

Статистические процедуры

Размер выборки предварительно не рассчитывали. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Для проверки выборки на нормальность

распределения использовали тест Шапиро–Уилка. При соблюдении нормального распределения переменных применяли параметрические методы анализа данных: для сравнения независимых выборок t -критерий Стьюдента, F — однофакторный анализ (ANOVA), при несоблюдении нормального распределения — Манна–Уитни (U), критерий Краскела–Уоллиса (H) соответственно. Для сравнения долей рассчитывали критерий χ^2 с поправкой на непрерывность Йетса. Результаты представлены в виде $M \pm m$, где M — выборочное среднее, m — ошибка среднего; или в виде $Me (Q1; Q3)$, где Me — медиана, $Q1$ и $Q3$ — 25-й и 75-й процентиль соответственно. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выборка

В исследование включены 370 детей коренных малочисленных народов Севера (эвены, коряки, ительмены), из которых 196 мальчиков и 174 девочки (62,5% общей выборки).

Основные результаты исследования

В возрасте 7–18 лет у детей закономерно увеличивались САД, УО и МОК ($F=4,1-29,6$; $p < 0,001$), ДАД ($F=2,5-2,8$; $p < 0,01$), ПД ($F=2,2-4,4$; $p < 0,05$), при уменьшении ОПСС и ВИК ($F=2,9-6,4$; $p < 0,01$) (табл. 1). Однако темпы возрастных изменений носили неравномерный и гетерохронный характер. Абсолютный прирост САД у мальчиков был более значительным (16,8 мм рт. ст.) по сравнению с девочками (11,7 мм рт. ст.), тогда как изменения ДАД были сопоставимы (8,3 и 7,5 мм рт. ст. соответственно). Статистически значимое повышение ДАД зафиксировали только у девочек в 14 лет и у мальчиков в 16 лет по сравнению с младшими возрастными группами. При этом ДАД у девочек 14–15 лет достоверно превышали таковые у мальчиков. По САД наблюдали противоположные различия в 16 и 17 лет, что также отразилось на динамике ПД в сравниваемых группах. Изменения ЧСС отличались вариабельностью показателей при статистически незначимом снижении: у мальчиков на 8,33 уд./мин ($F=1,3$; $p=0,251$) и у девочек на 3,75 уд./мин. ($F=1,7$; $p=0,091$). Половые различия отсутствовали, несмотря на увеличение ЧСС у 15-летних девочек относительно младшей возрастной группы.

Показатели сердечной деятельности, такие как УО и МОК, увеличились у мальчиков на 24,4 мл и 1,3 л/мин, у девочек — 23,0 мл и 1,8 л/мин соответственно. У мальчиков средневозрастные показатели УО и МОК преобладали в 14 и 15 лет по отношению с младшими возрастными группами, тогда как среди девочек наблюдали разновременность изменений: увеличение УО происходило в 11, 13, 15 лет и МОК — в 11, 15, 16 лет соответственно. Половые различия выявлены только по показателю УО в 14 и 15 лет, при этом у мальчиков значения

Таблица 1. Возрастная динамика гемодинамических показателей у школьников, проживающих в Магаданской области
Table 1. Age-related changes of hemodynamic parameters in schoolchildren residing in the Magadan Region

Показатель	Пол	Возраст, лет										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
¹ САД, мм рт. ст.	М	103,8±1,49	102,3±1,63	105,6±1,71	108,1±2,39	104,1±2,63	105,4±2,76	112,5±2,23	115,4±2,85	118,1±2,25	120,6±1,95	
	Д	99,3±2,73	99,1±2,25	100,7±2,00	101,4±2,61	104,6±2,00	106,4±2,58	113,3±2,54	115,6±3,70	106,8±3,28 ^β	111,0±2,76 ^β	
¹ ДАД, мм рт. ст.	М	59,5±1,53	62,6±1,81	65,8±2,17	66,4±3,05	62,7±1,92	62,6±2,05	62,0±1,86	64,0±1,68	69,4±1,93*	67,8±2,06	
	Д	60,1±1,72	62,7±1,91	66,9±2,15	61,9±2,49	67,1±2,08	64,0±1,35	68,1±1,46* ^β	70,4±2,21 ^β	68,8±1,95	67,6±1,86	
² ЧСС, уд./мин	М	90(76;96)	83(79;93)	83(75;90)	83(76;97)	81(68;88)	77(73;87)	79(74;89)	84(72;95)	85(75;94)	79(66;93)	
	Д	88(80;94)	91(81;103)	79(75;93)	81(74;87)	86(79;97)	81(75;88)	78(70;87)	90(78;98)*	79(76;87)	86(76;92)	
¹ ПД, мм рт. ст.	М	44,4±1,70	39,6±1,85	39,8±2,56	41,7±2,94	41,3±2,04	43,0±2,82	50,6±1,90*	51,4±2,91	48,7±2,60	52,8±2,64	
	Д	39,2±1,85	36,4±2,92	33,9±2,04	40,2±1,49*	37,5±2,67	42,4±2,35	45,3±2,47	45,2±2,90	38,0±2,84 ^β	43,4±2,24 ^β	
¹ МОК, л/мин	М	4,5±0,17	4,4±0,14	4,4±0,17	4,8±0,25	4,9±0,20	5,3±0,18	5,9±0,18*	6,9±0,30*	6,2±0,26	5,9±0,19	
	Д	4,3±0,19	4,5±0,29	4,1±0,18	4,8±0,16*	5,0±0,26	5,3±0,17	5,3±0,24	6,6±0,32*	5,6±0,26*	6,1±0,23	
¹ УО, мл	М	52,0±1,54	50,8±1,77	52,6±2,37	56,4±3,06	61,9±1,67	65,8±2,12	73,2±1,67*	79,3±2,03*	74,1±2,16	76,4±2,34	
	Д	48,7±1,27	49,4±2,41	48,8±1,96	58,1±1,60*	57,2±2,43	64,4±1,52*	66,6±1,64 ^β	72,3±1,94* ^β	69±2,05	71,7±1,99	
¹ ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	М	143,4±69	149,1±66	154,5±83	145,1±85	1330±58	1256±59	1160±53	1045±44	1187±40*	1260±52	
	Д	144,2±66	146,2±117	164,3±113	135,5±72*	146,5±163	1281±52	135,4±55,9 ^β	1126±51,2*	1237±65	1142±39	
¹ СИ, л/(мин·м ²)	М	4,68±0,22	4,23±0,16	4,01±0,21	4,16±0,19	3,95±0,18	3,87±0,16	4,05±0,15	4,26±0,18	3,85±0,17	3,48±0,14	
	Д	4,80±0,26	4,67±0,26	3,89±0,21*	4,01±0,17	3,88±0,26	3,87±0,20	3,69±0,18	4,37±0,22*	3,78±1,14*	4,00±1,15 ^β	
² ВИК, усл. ед.	М	32(24;39)	27(24;34)	21(14;29)	23(21;29)	20(14;27)	20(16;26)	23(10;35)	24(13;33)	14(7;24)	14(6;13)	
	Д	32(26;36)	30(23;38)	18(14;28)	23(20;27)	24(12;33)	21(12;30)	13(3;24) ^β	21(11;30)	11(7;10)	18(15;26) ^β	
² ТСК, усл. ед.	М	68(61;76)	73(66;76)	79(70;86)	77(70;80)	80(70;87)	80(72;85)	77(65;90)	76(66;89)	86(76;93)	86(80;94)	
	Д	68(62;75)	70(61;80)	82(71;86)	78(72;80)	76(67;88)	79(70;88)	87(75;98) ^β	79(69;89)	89(74;93)	82(72;85) ^β	
¹ ИФИ, усл. ед.	М	1,85±0,05	1,84±0,05	1,87±0,06	1,96±0,09	1,76±0,78	1,79±0,06	1,89±0,05	1,99±0,07	2,07±0,07	2,07±0,06	
	Д	1,80±0,08	1,83±0,06	1,82±0,06	1,75±0,14	1,93±0,05	1,88±0,06	1,97±0,07	2,21±0,12	1,95±0,07	2,08±0,09	

Примечание: * — различия между возрастными группами одного пола, $p < 0,05$; ^б — половые различия между одновозрастными группами, $p < 0,05$; ¹ — параметрический критерий t-Стьюдента, М±т, где М — выборочное среднее, т — ошибка среднего; ² — непараметрический критерий Манна-Уитни, Me (Q1; Q3), где Me — медиана, Q1 и Q3 — 25-й и 75-й процентиля соответственно. Различия считали значимыми при $p < 0,05$. Сокращения: М — мальчики; Д — девочки; САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; МОК — ударный объем крови (сердечный выброс); УО — ударный объем; ОПСС — общее периферическое сопротивление сосудов; ПД — пульсовое давление; ВИК — вегетативный индекс Кердо; СИ — сердечный индекс; ТСК — тип саморегуляции кровообращения, ИФИ — индекс функциональных изменений.

оказались выше. Одним из ключевых параметров системы кровообращения является общее периферическое сопротивление сосудов, отражающее сопротивление резистивных сосудов току крови и проходимость прекапиллярного русла. С возрастом данный показатель закономерно снижается: у мальчиков на $174 \text{ дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$, а у девочек — на $300 \text{ дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$. Возрастные изменения ОПСС наблюдали у девочек в 11 и 15 лет относительно младших возрастных групп, у мальчиков — в 16 лет. Необходимо отметить, что возрастные изменения ОПСС происходят неравномерно, половые различия зафиксированы только в 14 лет, которые значимо больше у девочек.

Дополнительные результаты исследования

В возрастных группах средние значения свидетельствуют о гиперкинетическом типе кровообращения (СИ

более $3,5 \text{ л}/(\text{мин} \times \text{м}^2)$), за исключением 17-летних юношей, для которых характерен эукинетический тип кровообращения (СИ от 2,7 до $3,5 \text{ л}/(\text{мин} \times \text{м}^2)$). Во всех возрастах преобладает сердечный тип саморегуляции кровообращения (ТСК < 90 усл. ед.), однако наблюдается внутригрупповая вариативность значений (рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме результатов исследования

По результатам исследования, наибольшие изменения ССС происходят у мальчиков в подростковый период, тогда как у девочек установили более раннее начало (10–11 лет) и последующей пролонгацией до юношеского возраста. Темп пубертатных перестроек и процессов

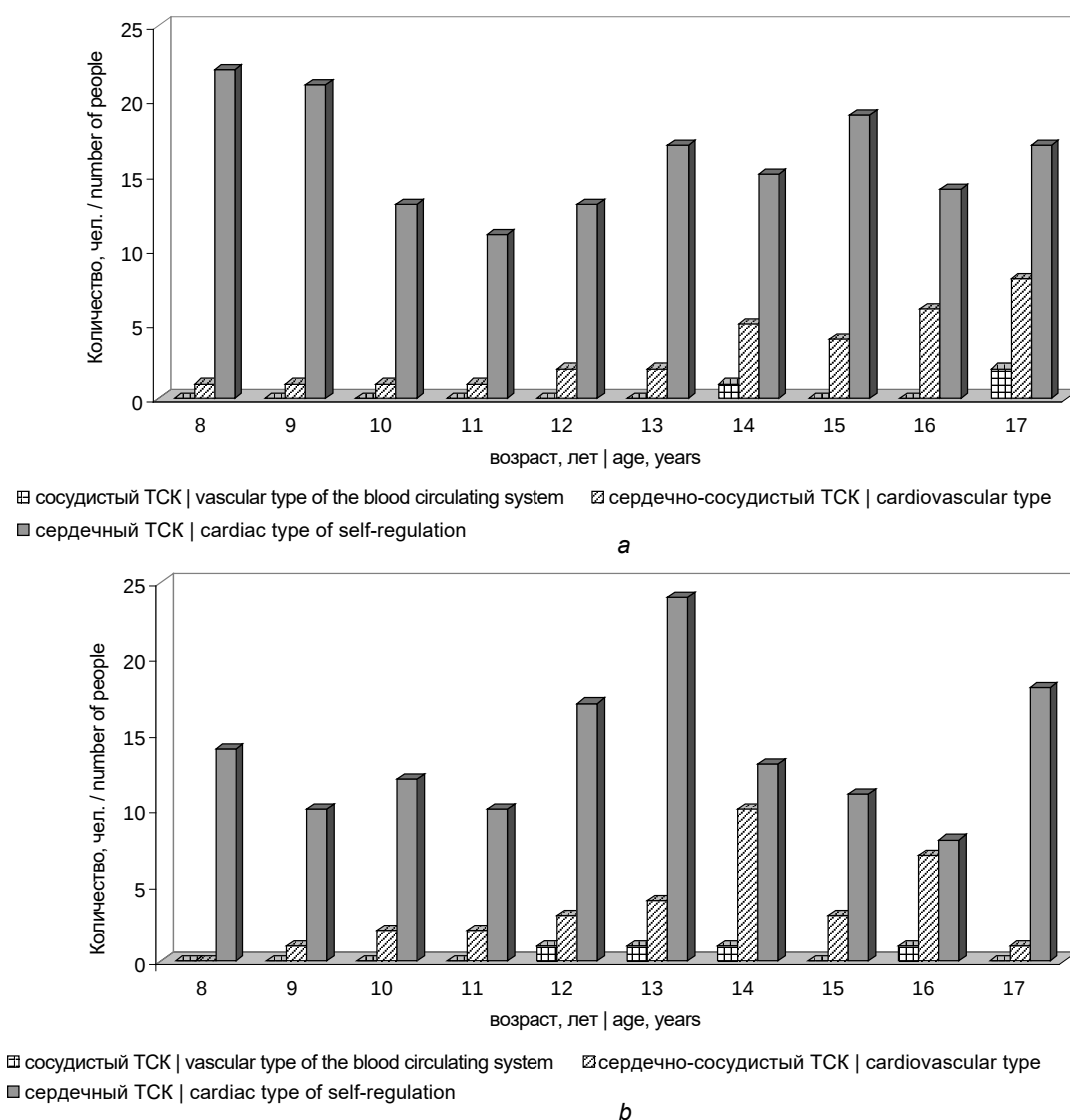


Рис. 1. Частота встречаемости различных типов саморегуляции кровообращения в возрастных группах: *a* — у мальчиков, *b* — у девочек. Числами 8–17 обозначены возрастные группы испытуемых. ТСК — тип саморегуляции кровообращения (сплошная заливка — сердечный тип, штриховка — сердечно-сосудистый тип, перекрёстная штриховка — сосудистый тип).

Fig. 1. Prevalence of different types of circulatory self-regulation across age groups: *a*, in boys; *b*, in girls. Age groups are denoted by numbers 8–17. CSR, circulatory self-regulation type (solid fill, cardiac type; hatching, cardiorespiratory type; cross-hatching, vascular type).

морфофункционального созревания органов и систем организма мальчиков и девочек различен и имеет особенности в регуляции возрастных изменений. Сердечно-сосудистая система наиболее уязвима в период интенсивного роста, поскольку развитие артериального звена сосудистой сети отстаёт от темпов увеличения размеров сердца, а рост сердца не успевает за увеличением общего объёма тела [4].

Интерпретация результатов исследования

При сопоставлении показателей гемодинамики у мальчиков с темпами прироста длины и массы тела [14] определили синхронные изменения средневозрастных показателей САД, УО, МОК в возрасте 13–16 лет, совпадающие с пубертатным скачком роста в 14–15 лет. У девочек интенсивное увеличение средневозрастных показателей УО, МОК и снижение ОПСС происходит в два периода: первый — в 10–11 лет, что соответствует периоду интенсивного изменения общих размеров тела, а второй — в 14–15 лет. Увеличение САД в 13–14 лет у мальчиков на 7,1 мм рт. ст. и у девочек на 6,9 мм рт. ст. влияет на дальнейшие изменения ПД. Согласно данным, половые различия наблюдаются в 14–15 лет по показателю УО, в 16–17 лет по САД и ПД, при этом средневозрастные значения этих параметров у мальчиков выше.

В ряде исследований [15, 16] установили более низкие значения АД и меньшую распространённость отклонений АД от нормы у представителей коренных малочисленных народов Севера (ханты) по сравнению с данными российских клинических рекомендаций и региональных нормативов, разработанных для пришлого населения ХМАО-Югры. В то же время О.Л. Нифонтова [17] определила, что в среднем и старшем школьном возрасте показатели АД у коренных жителей близки к значениям у потомков пришлого населения.

Согласно региональным исследованиям [18], у школьников из числа уроженцев-европеоидов г. Магадана наиболее высокие темпы функционального развития ССС наблюдают в возрасте 11–16 лет у мальчиков и в 11–13 лет у девочек. Во всех возрастных группах у мальчиков регистрируют более высокие значения УО и сердечного выброса. В 14–17 лет они опережают девочек по показателям САД и мощности сокращения левого желудочка. У девочек средневозрастные значения ЧСС, ДАД и ОПСС выше [18]. Показатели АД у девочек-аборигенов были сопоставимы с региональными нормативами, за исключением более высоких значений ДАД у девочек-европеоидов в 13 лет ($68,8 \pm 0,7$ мм рт. ст.). Средневозрастные значения САД только у 16–17-летних мальчиков-аборигенов были меньше, чем у сверстников-европеоидов — $125,0 \pm 1,33$ и $126,7 \pm 1,30$ мм рт. ст. соответственно [18]. Вероятно, наблюдаемое сближение показателей АД различных этнических групп связано с увеличением темпа приростов продольных размеров тела у школьников из числа аборигенного населения, что подтвердило предыдущее

исследование [14]. Именно в подростковом возрасте часто манифестирует артериальная гипертензия и повышается доля лиц с высоким нормальным АД (показатели между 90-м и 95-м процентилями) [19]. По региональным данным среди 11–17-летних уроженцев-европеоидов значения АД, близкие к верхней границе нормы, зарегистрированы у 11,3% мальчиков и 10,3% девочек, а у 11,5 и 9,5% школьников соответственно была выявлена гипертензия [18]. Распределение показателей АД [19] в сопоставимых возрастных группах мальчиков и девочек из числа аборигенного населения показало, что значения близкие к верхней границе нормы наблюдают у 13,0 и 8,1%, тогда как превышающие 95-й перцентиль распределения — у 8,7 и 8,1% соответственно.

К выявленным особенностям функционального состояния ССС у обследованных мальчиков и девочек следует отнести отсутствие направленной возрастной динамики снижения ЧСС, а также высокие показатели в подростковом возрасте (более 80 уд./мин). Тахикардию в состоянии покоя регистрировали у 34,8% мальчиков и 33,1% девочек из числа аборигенного населения, что значимо больше по отношению к аналогичным показателям у 11–17-летних уроженцев-европеоидов — 18,0 и 20,2% соответственно [18]. Высокую частоту отклонений ЧСС от нормы у детей и подростков из числа коренных малочисленных народов Севера России отмечали и в других исследованиях [8, 16]. Недостаточное снижение ЧСС в процессе полового созревания ребёнка может быть связано с тем, что наряду с возрастным усилением холинэргических влияний на ССС, в период формирования симпатoadренальной системы сохраняется выраженное влияние симпатической регуляции [4]. Наши данные подтверждают положительные значения вегетативного индекса Кердо у школьников из числа аборигенного населения. При этом в рассматриваемый период онтогенеза наблюдается снижение значений средневозрастного показателя у мальчиков и девочек с 32 усл. ед. до 14 и 18 усл. ед. соответственно, что указывает на усиление парасимпатических влияний нервной системы на все важнейшие функции детского организма. Однако на этапе ростового скачка у 14-летних мальчиков проявление симпатического звена вегетативной нервной системы (ВНС) было более выраженным, чем у девочек, тогда как в 17 лет половые различия приобрели противоположную направленность.

Известно, что изменения УО в процессе роста и развития ребёнка происходят пропорционально анатомо-физиологическим особенностям возрастной эволюции сердца — увеличению его массы и объёма, формированию сократительного миокарда, нарастанию объёма сердечных полостей [4]. По нашим данным максимум УО достигает у обследуемых в возрасте 15 лет, при этом у мальчиков после ростового скачка эти показатели статистически значимо больше [14]. В последующих возрастных группах значение УО незначительно снижается и половых различий не наблюдают. Согласно

исследованиям [18] у уроженцев-европеоидов с возрастом увеличивается УО и имеет чёткие половые различия, достигая максимальной величины в 17 лет у мальчиков ($92,6 \pm 2,3$ мл) и девочек ($65,2 \pm 1,7$ мл). Средневозрастные значения УО 17-летних мальчиков-аборигенов ниже региональной возрастной нормы для уроженцев-европеоидов, тогда как у девочек наблюдают обратную тенденцию. Высокие значения МОК, обусловленные как ростом УО, так и высокой ЧСС, свидетельствуют о неэкономном и энергозатратном уровне функционирования сердечно-сосудистой системы [20].

По нашим данным, гиперкинетический тип кровообращения встречается у 70,9% мальчиков и 69,9% девочек. В возрастной динамике только у мальчиков-аборигенов отмечается тенденция к увеличению числа лиц с эукинетическим типом кровообращения, тогда как у девочек максимум наблюдают в 13–14 лет (11 чел.), а в старших возрастных группах их количество снижается (1–7 чел.). В исследовании А.А. Говорухиной и К.С. Коньковой [16] установлено, что гиперкинетический тип кровообращения у 8–17-летних детей-ханты встречался чаще, чем в группах потомков пришлого населения. Доказано, что гемодинамическое и вегетативное обеспечение уровня функционирования ССС у лиц с различными типами кровообращения (гипо-, эу- и гиперкинетический) реализуется по-разному. При гиперкинетическом типе гемодинамическое обеспечение фонового уровня функционирования происходит за счёт увеличения УО и МОК на фоне повышенных значений ЧСС и САД, высокой активности симпатотонического звена ВНС и центрального регуляторного контура. При гипокинетическом типе гемодинамики в регуляции системы кровообращения преобладает сосудистый компонент и активность парасимпатического отдела ВНС. При эукинетическом типе центральной гемодинамики показатели состояния ССС и вариабельности сердечного ритма занимают промежуточное состояние [21].

На фоне возрастных соматических и кардиогемодинамических изменений мальчики и девочки из числа аборигенного населения демонстрируют удовлетворительную адаптацию (ИФИ $< 2,6$ балла) [12]. Однако исследование обнаружило особенности адаптации по ТСК, позволяющие оценить уровень напряжения в регуляции ССС. Наиболее сбалансированную саморегуляцию кровообращения отражает сердечно-сосудистый ТСК (90–110 усл. ед.). Изменение регуляции кровообращения в сторону превалирования сосудистого компонента (ТСК > 110 усл. ед.) свидетельствует о ее экономичности и повышении функциональных резервов ССС для обеспечения долговременной адаптации. В то же время смещение в сторону сердечного компонента (ТСК < 90 усл. ед.) указывает на нарушения в функционировании и обеспечении адаптации к кратковременным воздействиям внешних факторов [11].

При исследовании 13–16-летних мальчиков-европеоидов — коренных жителей Магаданской

области — обнаружили тенденцию к более высокой ЧСС и преобладанию сердечного типа саморегуляции (63,7%) по сравнению с московскими сверстниками (44,4%) [22]. Наши данные в сопоставимой возрастной группе также выявили превалирование сердечного типа саморегуляции у 76,5% мальчиков и у 67,5% девочек, тогда как сердечно-сосудистый ТСК наблюдали у 19,8 и 28,9% соответственно.

В возрастной динамике только у мальчиков можно отметить тенденцию к увеличению доли школьников с сердечно-сосудистым ТСК, что согласуется с результатами исследований мальчиков-европеоидов [23]. Среди 8–16-летних девочек распространённость сердечного и сердечно-сосудистого ТСК имеет инвертированную U-образную зависимость (рис. 1, б). При этом если максимум частоты сердечного ТСК у 12–13-летних девочек связан с интенсивными соматическими изменениями и несовершенством механизмов регуляции кровообращения, то в 17 лет данный тип функционального обеспечения отражает негативные аспекты адаптации. Выявленные особенности распределения сердечного и сердечно-сосудистого ТСК у девочек могут объясняться тем, что на фоне раннего пубертатного соматического созревания происходит более продолжительное функциональное развитие системы кровообращения. Именно поэтому их адаптационные возможности организма требуют повышенной мобилизации функциональных резервов по сравнению с мальчиками.

Ограничения исследования

Проведённое одномоментное исследование не позволяет проследить индивидуальную динамику изменений показателей сердечно-сосудистой системы у детей в процессе роста и развития. Кроме того, следует учитывать следующие ограничения:

- относительно небольшая выборка (370 школьников), особенно в отдельных возрастных подгруппах;
- расчётные методы определения показателей имеют меньшую точность значений по сравнению с данными аппаратно-программных комплексов неинвазивного исследования центральной гемодинамики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты отражают общие закономерности развития сердечно-сосудистой системы ребёнка в онтогенезе. Наиболее высокие темпы функционального развития системы кровообращения у школьников происходят в возрасте 13–16 лет у мальчиков, тогда как у девочек изменения начинаются раньше — в 10–11 лет, с продолжением до юношеского возраста.

К выявленным особенностям функционального развития системы кровообращения у мальчиков и девочек следует отнести отсутствие устойчивой тенденции к снижению ЧСС, а также высокую долю подростков с тахикардией.

В состоянии относительного покоя у школьников регуляция хронотропной функции сердца характеризуется физиологической гиперфункцией симпатoadренальной системы, которая снижается с возрастом. Также отличительной чертой в обеспечении системы кровообращения является более раннее увеличение объёмных параметров гемодинамики (ударного и минутного объёма крови) у девочек по отношению к мальчикам. До подросткового возраста половые различия обеспечения системы кровообращения отсутствуют. Однако, в возрасте 14–15 лет у мальчиков выше средневозрастные значения УО, а в 16–17 лет показатели САД и ПД. У девочек показатели диастолического АД в 14–15 лет и общего периферического сопротивления сосудов в 14 лет выше, чем у мальчиков.

Вне зависимости от пола обследуемых преобладал сердечный тип саморегуляции кровообращения. Преvalировал гиперкинетический тип кровообращения, за исключением 17-летних мальчиков, у которых чаще встречали зукинетический тип кровообращения. В возрастной динамике увеличение оптимальных вариантов саморегуляции системы кровообращения (зукинетического типа кровообращения и сердечно-сосудистого ТСК) наблюдали только у мальчиков-аборигенов. Это можно считать благоприятной тенденцией адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы. Среди 8–16-летних девочек распространённость данных вариантов кровообращения имела инвертированную U-образную зависимость с максимумами по СИ в период 13–14 лет и по ТСК в 14 лет с последующим снижением к юношескому возрасту. При сохранении у девочек конституциональных особенностей арктической популяции, наблюдается тенденция к снижению функциональных резервов сердечно-сосудистой системы в обеспечении адаптации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Н. Лоскутова — концепция и дизайн исследования, анализ данных и интерпретация результатов исследования, написание текста. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИЦ «Арктика» ДВО РАН (заключение № 002/021 от 26.11.2021).

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

Источники финансирования. Работа выполнена за счёт бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках темы

«Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека «северного типа» на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер АААА-А21-121010690002-2).

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

Заявление об оригинальности. При создании настоящей работы автор не использовала ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

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

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.N. Loskutova: conceptualization, investigation, formal analysis, writing—original draft. The author confirms that his authorship meets the ICMJE criteria (the author made a substantial contribution to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Scientific Research Center Arktika, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Conclusion No. 002/021 dated November 26, 2021).

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

Funding sources: This work was funded from the budget of the Scientific Research Center Arktika, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, as part of the project titled Study of Intersystem and Intrasytem Mechanisms of Responses in the Formation of Functional Adaptive Reserves of the Human Body of the Northern Type at Various Stages of Ontogenesis in Individuals Living in Uncomfortable and Extreme Conditions, with the Determination of Integrated Informative Health Indices (Registration No. АААА-А21-121010690002-2).

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Sukhanova IV, Maximov AL, Vdovenko SI. Peculiarities of adaptation observed in young male residents of Magadan region: morphofunctional changes (Report 1). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2013;20(8):3–10. DOI: 10.17816/humeco17313 EDN: RAHIVV
2. Sukhanova IV, Maximov AL, Vdovenko SI. Peculiarities of adaptation in young male residents of Magadan region: analysis of intersystem functional relations (Report 2). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(6):8–15. DOI: 10.17816/humeco17226 EDN: SEPUJN
3. Agadzhanyan NA, Makarova II. Ethnic aspect of adaptative physiology and population morbidity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(3):3–13. DOI: 10.17816/humeco17248 EDN: RYIEWT
4. Bezrukhikh MM, Sonkin VD, Farber DA. *Age physiology (Physiology of child development)*. Moscow: Akademiya; 2003. (In Russ.) ISBN: 978-5-7695-3742-4 EDN: KPPDZ
5. Astahova TA, Rychkova LV, Pogodina AV, et al. Status of health of adolescents of main ethnic groups of Eastern Siberia. *Medical News of North Caucasus*. 2018;13(1–1):14–17. DOI: 10.14300/mnnc.2018.13004 EDN: MCQNVN
6. Demin DB, Poskotinova LV, Krivonogova EV. Age features of cardiovascular system functional parameters in adolescents living in different arctic areas. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(7):27–32. DOI: 10.17816/humeco16997 EDN: UGCJZH
7. Nadtochiy LA, Smirnova SV, Bronnikova EP. The depopulation of indigenous and small-numbered peoples and problem of preserving of ethnic groups of the north-east of hanty. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(3):3–11. DOI: 10.17816/humeco17087 EDN: TMITDX
8. Kuzhuget AA, Trusey IV, Kolpakova TV, Kirko VI. Morphofunctional parameters of adolescents of indigenous small-numbered peoples of the North from various natural climatic zones. *Journal of Medical and Biological Research*. 2019;7(4):389–398. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.389 EDN: BPULEG
9. Loskutova AN. Dynamics of changing heart rate variability in 12–17-year-old adolescents from the scanty aborigines of the north residing in the territory of Magadan region. In: *Forum «Science in the Russian North-East: fundamental and applied studies in the Northern Pacific and Arctic» Proceedings of the anniversary conference dedicated to the 60th anniversary of the N.A. Shilo Northeastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Magadan, March 5–6, 2020*. Goryachev NA, editor. Magadan: NEISRI FEB RAS, 2020. P. 183–184. (In Russ.) EDN: BPOGJX
10. Bartosh TP, Bartosh OP. Age-related features of neurodynamic indicators in native adolescent females of Russia's Northeast. *Psychology. Psychophysiology*. 2019;12(4):71–82. DOI: 10.14529/jpps190408 EDN: FDTAHH
11. Arinchin NI, Gorbacevich AI, Kononov VI. Short-term test for determining of blood circulation types, pre-pathological states and pathogenic forms of hyper- and hypotension. In: *Automatization of Scientific Studies: Proceedings of XI of All-Soviet Union School on Automatization of Scientific Studies*. Minsk, 1978. P. 31–34. (In Russ.) DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-466-469
12. Baevsky RM, Maximov AL, Berseneva AP. *Grounds of human ecological valeology*. Magadan: NESC FEB RAS, 2001. (In Russ.) ISBN: 5-7442-1282-5
13. Guminskiy AA, Leontyeva NN, Marinova KV. *Guidelines for laboratory classes on general and age physiology*. Moscow: Prosveshchenie Publ.; 1990. (In Russ.)
14. Loskutova AN. Age-related anthropometric changes in physical development among aboriginal schoolchildren in Russia's North-East. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(12):879–889. DOI: 10.17816/humeco627050 EDN: EERZYG
15. Baitrak OA, Meshcheryakov VV, Somova TM. Comparative analysis of indicators of blood pressure in children and adolescents of foreign and indigenous population in the Middle Priobye. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2020;(2(44)):33–44. DOI: 10.34822/2304-9448-2020-2-33-40 EDN: TXJTMZ
16. Govorukhina AA, Kon'kova KS. Features of the circulatory system in 8–17-year-old children of different ethnic groups living in the Khanty-Mansi autonomous okrug – Yugra. *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(2):126–137. DOI: 10.37482/2687–1491-2050 EDN: PVIENY
17. Nifontova OL. *Systemic analysis of cardiovascular parameters in students living in Yugra* [dissertation]. Surgut, 2009. Available from: <https://www.dissercat.com/content/sistemnyi-analiz-parametrov-serdechno-sosudistoi-sistemy-uchashchikhsya-yugry> (In Russ.) Accessed: January 01, 2025. EDN: QETDXT
18. Grechkina LI, Karandasheva VO. Age-specific features of the functional development of the circulatory system in children living in Northeastern Russia. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(1(334)):34–38. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-34-38 EDN: YDNUNG
19. Aleksandrov AA, Kisliak OA, Leontyeva IV, et al. Clinical guidelines on arterial hypertension diagnosis, treatment and prevention in children and adolescents. *Systemic Hypertension*. 2020;17(2):7–35. DOI: 10.26442/2075082X.2020.2.200126 EDN: MIRZHC
20. Solodkov AS, Sologub EB. *Human physiology. General. Sport. Age-specific*. Moscow: OOO Izdatelstvo Sport 2015. (In Russ.) ISBN: 978-5-9906734-0-3 EDN: XMQCPV
21. Averyanova IV, Maksimov AL. Cardiovascular profiles and heart rate variability observed in young male residents of Magadan region having different hemodynamic types. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;(40):132–149. DOI: 10.17223/19988591/40/8 EDN: ZWDSFV
22. Grechkina LI. Comparative investigations regional features of the functioning of the cardiovascular system observed in adolescent male residents of cities of Magadan and Moscow. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(5):466–469. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-5-466-469 EDN: YSQDHV
23. Grechkina LI. Typological peculiarities of the cardiovascular system functioning in adolescents. *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(10):962–966. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-962-966 EDN: YOCQXR

ОБ АВТОРАХ

***Лоскутова Алеся Николаевна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 685000, Магадан, пр-т Карла Маркса, 24;
ORCID: 0000-0001-5350-8893;
eLibrary SPIN: 2570-0124;
e-mail: lesa82@inbox.ru

AUTHORS' INFO

***Alesya N. Loskutova**, Cand. Sci. (Biology)
address: 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000;
ORCID: 0000-0001-5350-8893;
eLibrary SPIN: 2570-0124;
e-mail: lesa82@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author