

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321856>

Стратегия адаптивных перестроек функциональных систем укоренённых европеоидов — уроженцев различных поколений Северо-Востока России

И.В. Аверьянова¹, А.Л. Максимов^{1, 2}¹ Научно-исследовательский центр «Арктика», Магадан, Российская Федерация;² Институт физиологии Коми, Сыктывкар, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Проблеме адаптации прибывших на Европейский и Азиатский Север из регионов с более комфортными условиям жизнедеятельности посвящено большое количество научных публикаций, при этом представленные результаты не касаются особенностей перестроек физиологических показателей у различных поколений уроженцев из числа европеоидов — постоянных жителей регионов с экстремальными природно-климатическими условиями.

Цель. Изучение перестроек функциональных систем укоренённых европеоидов — уроженцев различных поколений, проживающих в Магаданской области.

Методы. В исследовании участвовали 1632 студента в возрасте $18 \pm 1,1$ года из числа мигрантов и уроженцев европеоидов 1–3-го поколений — постоянных жителей Северо-Востока России. Изучали показатели соматометрии, кардиогемодинамики и газообмена с целью определения стратегии адаптивных перестроек функциональных систем.

Результаты. Среди мигрантов и уроженцев 1-го поколения, проживающих в Магаданской области, наблюдается состояние напряжения организма и недостаточно эффективного функционирования кардиогемодинамики и энергообмена относительно обследуемых 3-го поколения, для которых характерны оптимальные показатели работы этих систем. Адаптационные перестройки кардиогемодинамики у юношей в 3-м поколении направлены на увеличение систолического объёма кровообращения при снижении артериального давления и общего периферического сопротивления сосудов, на усиление вклада высокочастотной составляющей и общей мощности спектра кардиоритма. Это отражалось в новом уровне изменения влияния обоих регуляторных звеньев на состояние сердечного ритма и проявлялось в изменении структуры баланса показателей его статистических и спектрально-волновых характеристик. Показано, что состояние адаптированности сердечно-сосудистой системы к экстремальным условиям Севера может отражаться не только в прямых физиологических показателях организма, но и в интегральной структуре их корреляционных взаимосвязей: количестве, виде (прямые, обратные) и величине значений коэффициентов, их общей суммарной значимости, что в совокупности может определять как жёсткость, так и пластичность изучаемых функциональных систем.

Заключение. Общая стратегия адаптивных изменений организма, проявляющаяся, в частности, в перестройках кардиогемодинамики и газообмена у юношей — уроженцев Севера — в ряду от 0-го к 3-му поколению, направлена на снижение общих энергетических затрат, увеличение вклада парасимпатической составляющей при формировании нового характера взаимодействия звеньев вегетативной нервной регуляции, изменение качественных и количественных характеристик структуры корреляционных плеяд. Полученные результаты раскрывают и дополняют современное понимание физиологических механизмов адаптационных морфофункциональных перестроек у различных поколений юношей-европеоидов, проживающих в условиях Северо-Востока России.

Ключевые слова: адаптация; север; юноши-европеоиды; мигранты; уроженцы 1–3-го поколения; морфофизиологические показатели; перестройки вегетативной регуляции.

Как цитировать:

Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Стратегия адаптивных перестроек функциональных систем укоренённых европеоидов — уроженцев различных поколений Северо-Востока России // Экология человека. 2023. Т. 30, № 4. С. 259–273. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321856>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321856>

Adaptation of functional systems in different generations of Caucasians in the North-East of Russia

Inessa V. Averyanova¹, Arkadiy L. Maksimov^{1, 2}

¹ Scientific Research Center "Arktika", Magadan, Russian Federation;

² Institute of Physiology, Komi Science Centre, Syktyvkar, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: A substantial body of research has focused on adaptation of the new residents of the European and Asian Far North. However, these publications fail to address the changes occurring in successive generations of native Caucasians who migrated to the regions with harsh climatic conditions.

AIM: To study functional adaptations exhibited by individuals born in the Magadan Region to various generations of Caucasians permanently living in the area.

METHODS: A total of 1632 male volunteers, all students aged 18 ± 1.1 years, and of Caucasian ethnicity, participated in this study. These individuals were either migrants or residents of Russia's North-East, born within the first to third generations. We investigated anthropometric characteristics, cardiohemodynamic parameters, and gas exchange to understand the adaptive readjustments that take place within the body's functional systems.

RESULTS: Migrants and first-generation residents in the Magadan region experience constant stress and inadequate functioning of their cardiohemodynamic and energy exchange systems under extreme conditions. However, the third-generation subjects exhibited optimal performance of the cardiovascular system. Remarkably, the third-generation residents demonstrate an increased systolic volume at lower arterial pressure and lower total peripheral resistance. Furthermore, they had elevated proportion of the high frequency component and total power of the heart rhythm spectrum. This represents a new level of changed influence on the heart rhythm, as seen in the altered balance of its statistical and spectral wave characteristics. Moreover, the adaptability of the cardiovascular system to the harsh conditions of the North is reflected not only in the physiological indicators of the body but also in the integral structure of their correlations. This includes the magnitude and sign of the correlation coefficients and their significance.

CONCLUSIONS: Our main findings suggest that adaptive changes in cardiohemodynamic and gas exchange exhibited by the migrants and several generations of residents of the Far North-East of Russia are directed to minimization of the total energy expenditure in functional systems. Additionally, the parasympathetic contribution increases fostering a novel interaction between the components of autonomic nervous regulation reflected by both qualitative and quantitative alterations in the structure and patterns of correlation clusters. These findings contribute to our understanding of the physiological mechanisms behind the morphofunctional readjustments of Caucasian men in the process of adaptation to the harsh climatic conditions of the Russian North-East.

Keywords: adaptation; North; Caucasians; migrants; generations; morphophysiological indicators; autonomic regulation.

To cite this article:

Averyanova IV, Maksimov AL. Adaptation of functional systems in different generations of Caucasians in the North-East of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(4):259–273. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321856>

Received: 04.04.2023

Accepted: 24.04.2023

Published online: 24.07.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Проблеме адаптации прибывших на Европейский и Азиатский Север из регионов с более комфортными условиям жизнедеятельности посвящено большое количество научных публикаций, включая фундаментальные монографические работы [1–6]. Однако практически во всех публикациях в основном обсуждаются функциональные изменения организма мигрантов в зависимости от срока пребывания на Севере или относительно аборигенного населения. При этом представленные результаты не касаются особенностей перестроек физиологических показателей у различных поколений уроженцев из числа европеоидов — постоянных жителей регионов с экстремальными природно-климатическими условиями. Более того, даже когда в опубликованных работах отмечается, что объектом исследований являются жители Севера, не указывается, уроженцами какого поколения они являются. В связи с этим в научных работах физиолого-экологического характера такие популяции обозначаются различными определениями: пришлые, приехавшие, мигранты, новосёлы, коренные и т.п., что создаёт путаницу и делает невозможным сопоставление результатов, полученных при обследовании жителей различных северных регионов. С учётом этого нами при проведении и анализе медико-биологических, физиологических и экологических исследований европеоидов, родившихся и постоянно проживающих на Севере, используется термин «укоренённые популяции» для разграничения коренного и аборигенного населения [7, 8].

Отметим, что во многих научных публикациях между понятиями «коренной» и «абориген» ставится знак равенства, хотя европеоиды, родившиеся и постоянно проживающие в различных северных регионах, также могут считаться коренными жителями, так как они ни откуда на эту территорию не пришли, а на ней родились, но при этом не являются аборигенами, к которым в основном относятся малочисленные северные народности (*лат. ab origine* — от начала). Подчёркнём, что к аборигенам следует относить популяции, исторически (столетиями, тысячелетиями) проживающие на определённых территориях, жизненный уклад и хозяйственная деятельность которых в основном организована на традиционном экстенсивном использовании возобновляемых природных ресурсов в зоне своего ареала.

В настоящее время из числа постоянных жителей, помимо аборигенов, на Северо-Востоке России сложились ещё две достаточно многочисленные популяции из числа европеоидов: мигранты и уроженцы. При этом только в этом регионе постоянная европеоидная популяция начала формироваться в основном из числа мигрантов, прибывающих на север Дальнего Востока из других более комфортных климатических зон, в отличие от территорий Европейского Севера, где европеоиды могут быть представлены аборигенами, в частности финно-угорскими

этнотами. С учётом этих аспектов и во избежание путаницы при сравнении адаптивных перестроек функциональных показателей среди популяций жителей различных северных регионов (Европейский и Азиатский Север) нами было предложено вместо понятия «коренной житель» применять термин «укоренённый», который относится только к европеоидам, родившимся и постоянно проживающим на Севере, но не являющимся аборигенами.

В процессе многолетних физиологических исследований юношей Магаданской области установлено, что европеоиды из числа мигрантов и уроженцев имеют как свои особенности, так и много общего в плане адаптационных перестроек функциональных систем. Так, синдром полярного напряжения и связанная с ним циркумполярная гипоксия, генезис которой в настоящее время достаточно хорошо изучен, характерны практически для всех лиц, длительно проживающих в условиях Крайнего Севера [9, 10], и в определённой степени могут определять «цену адаптации» человека на Севере [11]. При этом необходимо понимать, что фактор длительности воздействия внешних раздражителей, а также их непрерывный характер имеют принципиальное значение в развитии адаптивного ответа организма человека [12]. Однако есть данные, что полной адаптации пришлого населения к новым гипоксическим, дискомфортным и экстремальным условиям может не случиться и в четвёртом поколении переселенцев [13], и это при том, что даже в 3-м поколении северяне по ряду морфофункциональных характеристик становятся похожими на аборигенных жителей [14]. В то же время авторы публикаций не приводят прямых показателей физиологических характеристик в группах европеоидов — уроженцев различных поколений.

В фундаментальной монографии В.С. Новикова с соавт. [15] показано, что в зависимости от характера экстремальных воздействий и индивидуальных особенностей организм способен формировать различные адаптационные стратегии, при этом, как указывают авторы, «...в одних случаях это осуществляется за счёт преимущественного участия локальных систем регуляции, в других — преобладания межсистемных влияний». Отметим, что функциональные адаптивные перестройки среди уроженцев Севера могут сочетаться с соматометрическими изменениями и, в частности, с динамикой длины тела, которая в юношеском периоде онтогенеза может выступать в качестве генетически контролируемого маркера [16] и быть чувствительным индикатором состояния природной и социально-экономической среды [17].

Известно, что динамика показателей кардиореспираторной системы и вегетативной регуляции у мигрантов может отражать наиболее оперативные адаптивные перестройки у лиц, жизнедеятельность которых протекает в экстремальных условиях Крайнего Севера. Так, в ряде исследований показано, что при эффективной адаптации к гипоксии и низкотемпературным факторам происходит снижение симпатической активности с постепенным

переходом вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического тонуса [18, 19]. У аборигенных народов Севера сдвиг в сторону преобладания умеренной ваготонии считается генетически закреплённым механизмом, обеспечивающим экономизацию функционирования физиологических систем и поддержания теплового баланса [20, 21]. При этом сердечно-сосудистая система, будучи одним из эффективных регуляторов поддержания гомеостаза большинства функциональных систем организма, способна реагировать на изменяющиеся условия окружающей среды как в краткосрочном временном диапазоне, так и в значительно более отдалённом периоде [22, 23]. Однако в доступной литературе не встретились публикации, отражающие детальные изменения показателей кардиогемодинамики и активности различных звеньев вегетативной регуляции среди уроженцев-северян различных поколений. В связи с этим нами была выдвинута гипотеза, что у каждого последующего поколения уроженцев-европеоидов, жизнедеятельность которых протекает в экстремальных природно-климатических условиях Севера, исключая при- и заполярные регионы, адаптивные перестройки должны не истощать резервы организма с формированием донозологических и даже патологических процессов (что характерно для популяций мигрантов), а быть направленными на развитие и закрепление положительных для организма функциональных состояний с выработкой своей новой региональной нормы-реакции.

Цель. Изучить перестройки функциональных систем укоренённых европеоидов — уроженцев различных поколений, проживающих в Магаданской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В период с 2005 по 2019 год обследованы 1632 юноши в возрасте от 17 до 21 года (средний возраст — $18 \pm 1,1$ года), являющиеся в основном студентами Магаданского университета и средних учебных заведений, постоянно проживающие в областном центре и близкорасположенных населённых пунктах. В зависимости от периода прибытия в регион и сроков проживания всех обследованных разделили на 4 группы. В первую группу ($n=62$) вошли мигранты-европеоиды из центральных районов Российской Федерации в возрасте $18,4 \pm 1,5$ года с непродолжительным сроком проживания на Севере (в среднем $7,1 \pm 1,3$ года), которую мы обозначили как 0-е поколение. Во вторую группу ($n=924$; $18,1 \pm 0,9$ года) были включены уроженцы Магаданской области в 1-м поколении, у которых родители являлись мигрантами. В третью и четвёртую группы вошли уроженцы 2-го ($n=580$; $18,1 \pm 1,3$ года) и 3-го ($n=66$; $18,6 \pm 1,6$ года) поколений.

Из результатов, полученных при обследовании уроженцев 2-го поколения, в статью включены только соматометрические и эргоспирометрические показатели. Характеристики кардиогемодинамики и вегетативной

нервной системы у этой группы лиц в представленные результаты не включены в связи с тем, что они отражали только переходное состояние относительно 1-го поколения и по многим параметрам сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя не имели статистически значимых различий.

Особый интерес представляло изучение показателей у юношей 3-го поколения с учётом того, что априори можно было предположить проявление у этих обследуемых (относительно мигрантов и предшествующих поколений) наименьших неблагоприятных изменений со стороны показателей кардиогемодинамики и вегетативной нервной системы. Это позволило сформировать гипотезу, что с каждым последующим новым поколением уроженцев-европеоидов Магаданской области положительные эффекты адаптации у них нарастают, проявляясь фенотипически, что не приводит к формированию дизадаптивных проявлений, которые характерны для большинства мигрантов, прибывающих на Север из регионов с более комфортными природно-климатическими условиями. С учётом факта, что для практически здоровых молодых лиц показатели кардиогемодинамики и газообмена в состоянии покоя являются одними из основных базовых характеристик, отражающих влияние на организм адаптивных перестроек, нами было проведено их изучение в сопоставимых группах уроженцев различных поколений Магаданской области.

Все исследования выполняли в первой половине дня в помещении с комфортными условиями при температуре $19-21$ °C спустя 1,5–2 ч после приёма пищи. До начала исследований юноши 15–20 мин находились в помещении. Запись всех показателей проводили в положении сидя.

Работа проведена в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013) и одобрена комиссией по биоэтике ФГБУН «Институт биологических проблем Дальневосточного отделения РАН» (протокол № 001/019). От каждого исследуемого получено письменное информированное согласие.

Анализировали основные показатели физического развития: длина тела, масса тела, окружность грудной клетки с точностью до 0,1 см (с использованием измерительной сантиметровой ленты). Из полученных антропометрических характеристик рассчитывали индекс пропорциональности телосложения (%), индекс Пинье (усл. ед.), а также индекс массы тела (ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$).

Показатели кардиогемодинамики изучали методом тетраполярной реографии с использованием реографа «Диамант-Р» («Диамант», Россия), также проводили тонометрию. Вариабельность кардиоритма определяли с использованием аппаратного комплекса «Варикард» («РАМЕНА», Россия) и программного обеспечения «Иским-6» («РАМЕНА», Россия) [24, 25]. Анализировали следующие показатели: систолическое (САД, мм рт.ст.) и диастолическое (ДАД, мм рт.ст.) артериальное давление, частоту

сердечных сокращений (ЧСС, в минуту), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $\text{дин}\times\text{с}\times\text{см}^{-5}$), ударный объём кровообращения (УОК, мл), минутный объём кровообращения (МОК, мл/мин), вариационный размах ($M\pm DM$, мс), стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов (SDNN, мс), квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD, мс), число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов (pNN50, мс), моду (M_o , мс), амплитуду моды (AM_o , мс), стресс-индекс (SI, усл. ед.), суммарную мощность спектра временных значений R–R-интервалов сердечного ритма (TP, мс^2), мощность спектра высокочастотного компонента variability сердечного ритма (BCP) в диапазоне 0,40–0,15 Гц (HF, мс^2), мощность спектра низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0,15–0,04 Гц (LF, мс^2), мощность спектра очень низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0,040–0,015 Гц (VLF, мс^2).

Для оценки ряда характеристик системы внешнего дыхания и газообмена у юношей в состоянии покоя с помощью метабографа VO2000 (MedGraphics, США) определяли энергозатраты в состоянии покоя в минуту (ккал/мин), в день (REE, ккал/день), содержание кислорода (O_2 , %) и углекислого газа (CO_2 , %) в выдыхаемом воздухе, потребление кислорода (PO_2 , мл/мин), минутный объём дыхания (МОД, л), частоту дыхания (ЧД, цикл/мин), дыхательный объём (ДО, мл), коэффициент использования кислорода (КИО₂, мл/л).

Статистическая обработка результатов. Проверку на нормальность распределения измеренных переменных осуществляли на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты

непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го перцентилей (Me [Q25–Q75]), а параметрических — как среднее значение и ошибка среднего ($M\pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическую значимость различий определяли с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилкоксона — для выборок с распределением, отличающимся от нормального. При множественном сравнении для выборок с нормальным распределением использован параметрический однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Статистическую значимость различий между конкретными группами выявляли с помощью апостериорного анализа с применением теста для множественных сравнений Шеффе. При множественном сравнении выборок с распределением, отличающимся от нормального, использовали ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса с дальнейшим применением теста Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Для установления силы взаимного влияния определяемых параметров в выборке применяли метод линейной корреляции Пирсона. При факторном анализе использовали метод главных компонент с вращением Varimax с нормализацией Кайзера [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе соматометрических характеристик уроженцев различных поколений (табл. 1) установлено, что статистически значимые различия между уроженцами 0-го и 1-го; 0-го и 2-го; 1-го и 2-го поколений отсутствуют,

Таблица 1. Соматометрические показатели уроженцев различных поколений, $M\pm m$

Table 1. Anthropometric characteristics of young men across generations ($M\pm m$)

Изучаемый показатель Indicators	Поколения Generations				Уровень значимости различий между поколениями Level of significance for intergenerational differences				
	0	1	2	3	P_{0-1}	P_{1-2}	P_{0-2}	P_{0-3}	P_{1-3}
Масса тела, кг Body weight, kg	69,1 \pm 1,3	68,1 \pm 0,4	67,7 \pm 0,4	73,2 \pm 1,5	0,791	0,991	0,803	0,032	<0,001
Рост, см Body height, cm	179,4 \pm 0,8	177,8 \pm 0,4	178,5 \pm 0,3	180,8 \pm 0,9	0,046	0,362	0,824	0,131	<0,001
Окружность грудной клетки, см Chest circumference, cm	89,7 \pm 0,6	90,3 \pm 0,2	90,4 \pm 0,3	93,5 \pm 0,4	0,742	0,652	0,951	<0,001	<0,001
Индекс Пинье, усл. ед. Pignet index, U	23,0 \pm 1,7	21,2 \pm 0,5	22,2 \pm 0,6	13,2 \pm 1,9	0,952	0,611	0,982	<0,001	<0,001
ПТ, % Body proportion index, %	91,1 \pm 0,6	91,0 \pm 0,2	91,4 \pm 0,2	95,6 \pm 0,6	0,981	0,452	0,984	<0,001	<0,001
ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$ Body Mass Index, kg/m^2	21,3 \pm 0,4	21,3 \pm 0,1	21,2 \pm 0,1	21,9 \pm 0,3	0,984	0,812	0,953	0,163	0,043

Примечание: ПТ — индекс пропорциональности телосложения, ИМТ — индекс массы тела.

Таблица 2. Показатели кардиогемодинамики у обследуемых различных поколений, М±m
Table 2. Cardiohemodynamic characteristics of young men across generations (M±m)

Изучаемый показатель Indicators	Поколения Generations			Уровень значимости различий между поколениями Level of significance for intergenerational differences		
	0	1	3	P_{0-1}	P_{0-3}	P_{1-3}
САД, мм рт.ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	125,5±0,6	124,3±0,8	121,3±0,8	0,231	<0,001	0,006
ДАД, мм рт.ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	76,1±0,7	74,3±0,9	72,5±0,8	0,113	<0,001	0,038
ЧСС, уд./мин Heart rate (bpm)	78,2±0,8	73,1±0,7	68,1±1,1	0,006	<0,001	<0,001
УОК, мл Stroke volume (ml)	66,8±1,2	69,3±0,9	72,1±0,7	0,742	0,008	0,008
МОК, мл/мин Cardiac output (ml/min)	5108,0±123,4	4985,2±98,5	4776,6±86,6	0,444	0,042	0,112
ОПСС, дин×с×см ⁻⁵ Total peripheral resistance (din×s×cm ⁻⁵)	1857,7±102,3	1734,3±84,5	1580,1±37,7	0,352	0,007	0,094

Примечание: САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, УОК — ударный объем крови, МОК — минутный объем кровообращения, ОПСС — общее периферическое сопротивление.

Таблица 3. Показатели вариабельности ритма сердца в состоянии покоя (сидя) у юношей различных поколений, Ме (Q25–Q75)
Table 3. Resting (in sitting position) heart rate variability indices in young men across generations, Me (Q25–Q75)

Изучаемый показатель Indicators	Поколения Generations			Уровень значимости различий между поколениями Level of significance for intergenerational differences		
	0-е	1-е	3-е	P_{0-1}	P_{0-3}	P_{1-3}
Мо, мс	822,3 (724,1–900,3)	823,8 (727,1–923,6)	926,2 (774,4–979,3)	0,933	0,046	0,041
АМо, мс	34,4 (28,5–45,0)	31,1 (26,1–39,6)	29,6 (27,3–41,6)	0,382	0,132	0,082
pNN50, мс	19,2 (12,4–27,7)	21,3 (13,0–33,1)	18,3 (11,3–36,1)	0,032	0,681	0,654
SI, усл. ед.	67,7 (34,9–95,1)	49,3 (31,1–90,0)	52,2 (35,4–68,8)	0,048	0,039	0,072
МхDMn, мс	322,0 (268,5–416,3)	358,0 (297,0–439,0)	368,2 (316,5–482,9)	0,542	0,040	0,123
SDNN, мс	59,1 (46,1–79,8)	67,7 (53,8–84,4)	66,3 (54,2–93,3)	0,263	0,562	0,992
RMSSD, мс	41,2 (32,4–52,4)	44,6 (34,1–66,4)	42,2 (33,6–64,5)	0,324	0,731	0,036
HF, мс ²	674,6 (345,1–1016,3)	827,5 (476,9–1676,8)	995,6 (839,5–3147,2)	0,164	0,024	0,040
LF, мс ²	1178,0 (747,8–2884,0)	1341,9 (926,8–1628,3)	1295,0 (822,9–1557,1)	0,752	0,443	0,472
VLF, мс ²	522,5 (315,5–691,4)	594,7 (378,4–874,3)	650,2 (440,5–613,7)	0,243	0,037	0,663
TP, мс ²	2401,2 (1546,7–3982,4)	2798,9 (1694,3–4012,4)	2980,2 (1958,2–4212,0)	0,330	0,022	0,624

Примечание: Мо — мода, АМо — амплитуда моды, pNN50 — число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов, SI — стресс-индекс, МхDMn — вариационный размах, SDNN — стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов, RMSSD — квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, HF — мощность спектра высокочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,40–0,15 Гц, LF — мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,15–0,04 Гц, VLF — мощность спектра очень низкочастотного компонента вариабельности ритма сердца в диапазоне 0,040–0,015 Гц, TP — суммарная мощность спектра временных значений R–R-интервалов сердечного ритма.
Note: Мо — mode, АМо — mode amplitude, pNN50 — the number of pairs of cardiointervals with a difference of more than 50 ms as a percentage of the total number of cardiointervals, SI — stress index, МхDMn — variation range, SDNN — standard deviation of the complete array of cardiointervals, RMSSD — the square root of the sum of the differences of a sequential series of cardiointervals, HF — power the spectrum of the high-frequency component of heart rate variability in the range of 0.40–0.15 Hz, LF is the power of the spectrum of the low-frequency component of heart rate variability in the range of 0.15–0.04 Hz, VLF — the power of the spectrum of a very low-frequency component of heart rate variability in the range of 0.040–0.015 Hz, TP — the total power of the spectrum of time values of R–R heart rate intervals.

при этом между 0-м и 3-м; 1-м и 3-м поколениями такие различия наблюдались по абсолютному большинству изученных показателей.

Анализ показателей кардиогемодинамики (табл. 2) выявил, что между мигрантами (0-е поколение) и уроженцами 1-го поколения статистически значимые различия отмечались только по ЧСС, а относительно обследуемых 3-го поколения такие различия наблюдались по всем шести изученным показателям. Между группой лиц 1-го и 3-го поколения статистически значимые различия были отмечены по четырём анализируемым показателям.

В табл. 3 представлены показатели ВСР, отражающие вклад различных звеньев вегетативной нервной системы в регуляцию сердечных сокращений и позволяющие оценивать уровень стрессированности организма. Максимальное число различий по математическим показателям кардиоритма отмечается между значениями групп мигрантов и уроженцев 3-го поколения. При этом в группе мигрантов наблюдается максимальная величина SI, значимо превышающая аналогичный показатель в группах 1-го и 3-го поколения.

Наибольшие статистически значимые различия вентилаторных эргоспирометрических показателей относительно разных поколений (табл. 4) наблюдаются между мигрантами и уроженцами 3-го поколения, где по всем шести изучаемым параметрам величины значимости (p) находятся в пределах 0,01–0,001. При этом между показателями уроженцев 2-го и 3-го поколений такие различия имеются только по одному параметру, характеризующему уровень энерготрат, — REE (ккал/день). Значения ЧД, ДО и МОД уменьшались в ряду от 0-го к 3-му поколению. Аналогичным был вектор изменений энерготрат, значения которых снижались у обследуемых 3-го поколения относительно мигрантов.

ОБСУЖДЕНИЕ

В целом анализ соматометрических характеристик позволил установить, что в ряду от 0-го к 3-му поколению отмечается значимая динамика не только прямых характеристик размера тела, но и расчётных индексов: ИМТ и индекса Пинье, характеризующего крепость телосложения, а также индекса пропорциональности телосложения. При этом установлена синхронность динамики изменения показателей в ряду от 0-го к 3-му поколению. Кроме того, выявлено, что наряду с увеличением длины тела не происходит формирования астенического соматотипа, а наоборот, у жителей-северян 3-го поколения увеличивается крепость телосложения. На это указывает меньшая (более чем в 1,5 раза) величина индекса Пинье у обследуемых лиц 3-го поколения относительно 0-го.

Анализ основных показателей сердечно-сосудистой системы позволил выявить значимое снижение САД и ДАД, а также ЧСС в ряду от представителей 0-го поколения к группе обследуемых 3-го поколения. Отметим,

Таблица 4. Вентиляторные показатели у юношей различных поколений, М±m
Table 4. Respiratory function variables in young men across generations (M±m)

Изучаемый показатель Indicators	Поколения Generations					Уровень значимости различий между поколениями Level of significance for intergenerational differences						
	0-е	1-е	2-е	3-е		p_{0-1}	p_{1-2}	p_{2-3}	p_{0-2}	p_{0-3}	p_{1-3}	
ДО, мл Respiratory volume (ml)	725,9±29,3	661,4±13,1	643,1±13,7	659,6±16,8		0,033	0,332	0,442	0,033	0,048	0,922	
ЧД, цикл/мин Respiratory rate (cycle/min)	14,7±0,4	14,8±0,3	14,0±0,2	13,6±0,4		0,852	0,047	0,324	0,142	0,036	0,005	
ПО ₂ (мл/мин) Oxygen consumption (ml/min)	344,07±11,96	333,8±5,8	325,0±6,1	307,3±7,5		0,444	0,293	0,071	0,152	0,007	<0,001	
МОД, л Respiratory minute volume (L)	10,1±0,4	9,3±0,2	9,0±0,2	8,7±0,3		0,042	0,132	0,572	0,007	0,006	0,112	
КИО ₂ Oxygen utilization rate	33,3±0,9	36,6±0,4	37,8±0,4	37,1±0,8		<0,001	0,041	0,423	<0,001	<0,001	0,602	
REE, ккал/день Resting energy expenditure (kcal/day)	2384,9±53,2	2445,0±27,4	2320,3±4±26,3	2171,3±56,4		0,312	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Примечание: ДО — дыхательный объем, ЧД — частота дыхания, ПО₂ — потребление кислорода, МОД — минутный объем дыхания, КИО₂ — коэффициент использования кислорода, REE — энерготраты в состоянии покоя в день.

что в группе лиц 3-го поколения относительно 0-го и 1-го МОК был на значимую величину меньше и определялся более низким значением ЧСС. Это отражает более эффективный режим сердечной деятельности, когда адекватный уровень кровоснабжения организма (при прочих равных условиях) обеспечивается за счёт роста УОК при меньшем общем периферическом сопротивлении, а не за счёт возрастания ЧСС на фоне снижения гетерогенности и хронотропного влияния звеньев вегетативной нервной регуляции, что нашло своё подтверждение в динамике статистических и спектрально-волновых показателей ВСР (см. табл. 3).

Так, у обследуемых 3-го поколения относительно 0-го статистически значимо меньшими были значения M_0 , SI при большем $MxDMn$ и HF . При этом общая мощность всех частотных составляющих спектра (TP) также была на значимую величину ниже. Всё это даёт возможность говорить об увеличении относительной активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы в ряду от 0-го к 3-му поколению, но не позволяет количественно оценить степень информативности и уровень значимости вклада автономного и центрального регуляторных контуров в адаптационный процесс. Для решения этого вопроса и выявления иерархии показателей в общем массиве характеристик гемодинамики и ВСР был проведён факторный анализ, результаты которого представлены в табл. 5.

Оказалось, что для уроженцев 3-го поколения все показатели ВСР, характеризующие состояние баланса симпатической и парасимпатической системы, входят по рангу в 1-й фактор, а у мигрантов распределены между 1-м и 2-м фактором. При этом практически все удельные значения (%) вклада значимых показателей ВСР в группе 3-го поколения близки между собой, разница между самым большим и маленьким значением составляет всего 1,6%, а суммарная величина близка к 50%, что указывает на достаточно высокую сбалансированность системы вегетативной регуляции. У мигрантов эти различия составляют 5%, а суммарная величина показателей ВСР, составляющих 1-й и 2-й ранг, достигает 67%.

У обследуемых 1-го поколения эти же показатели не имеют чёткой группировки и входят в 5 факторов вместе с параметрами гемодинамики. Необходимо подчеркнуть, что в группах 0-го и 3-го поколения среди значений ВСР не было выраженного (по величине своего удельного веса) преобладания, а их величины находились в диапазоне 8,9–6,3%. В то же время у лиц 1-го поколения показатели M_0 , ЧСС, $pNN50$ имели удельный вес 15,6–13,2%, что более чем в 1,5 раза превышало величины значений факторов ВСР в группах 0-го и 3-го поколений. При этом вклад показателей в структуре факторной матрицы, характеризующих активность парасимпатического звена ($pNN50$, $RMSSD$, HF), у этой группы в сумме составлял 20,6%, а симпатического звена (M_0 , ЧСС, $MxDMn$, LF , VLF) — 38,7%, отражая регуляторный дисбаланс в деятельности сердечно-сосудистой системы.

Таким образом, можно считать, что активность симпатической и парасимпатической систем вегетативной регуляции у лиц 3-го поколения достаточно сбалансирована, в то время как у обследуемых 1-го поколения она находится в фазе регуляторных перестроек. Подчеркнём, что у всех обследованных поколений показатель САД был представлен отдельным четвёртым фактором с практически с одинаковым удельным весом, равным 7,0–8,0%. При этом в 0-м и 1-м поколении показатели ДАД и УОК имели удельный вес в 1,5–2,0 раза ниже, чем у обследуемых 3-го поколения, где удельный вклад показателя ДАД был практически идентичен САД (7,9 и 7,0% соответственно).

Этот факт также указывает на более высокую информативность и сбалансированность характеристик центрального кровообращения у обследуемых 3-го поколения (учитывая, что удельные веса ЧСС и M_0 были более чем в 3 раза ниже, чем у 0-го и 1-го поколения). Однако, несмотря на существующие различия в удельных значениях ряда показателей, их общий вес в структуре матриц был достаточно близким (83–89%), что указывает на однотипность характера адаптационного процесса в исследуемых группах.

Для выяснения степени силы и вида взаимосвязи между изученными показателями гемодинамики и ВСР уроженцев различных поколений рассчитаны коэффициенты корреляции с построением графических плеяд (рис. 1). При этом в анализ были включены только связи с коэффициентами корреляции 0,2 и более. Это связано с тем, что при значениях $r \leq 0,1$ сила взаимосвязи между показателями очень низкая, что с физиологической точки зрения не может реально отражать изучаемые явления, с учётом достаточно низкой детерминированности и высокой вариабельности функциональных процессов в биологических системах [27].

Проведённый корреляционный анализ показал, что наибольшее число взаимосвязей отмечалось у лиц 0-го (11 связей) и 3-го (13 связей) поколений. При этом суммарное значение всех коэффициентов корреляции составило 5 и 8 усл. ед. соответственно, а его средний показатель в плеядах (сумма коэффициентов без учёта знака Σr , делённая на число связей (n)) — 0,46 и 0,61 усл. ед. соответственно. Эти же значения у обследуемых 1-го поколения составляли 3,0 и 0,3 усл. ед. соответственно.

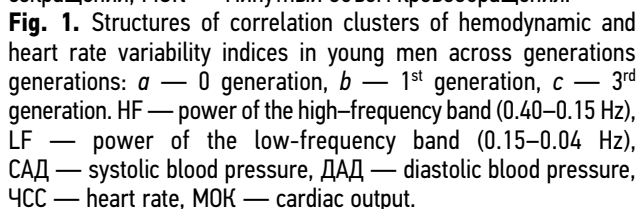
Рассматривая эти особенности структуры корреляционных плеяд с позиции общей теории функциональных систем, следует указать [28, 29], что усиление степени взаимосвязей, приводящих к жёсткости всей системы в целом, указывает на её высокие возможности эффективно противостоять влиянию достаточно выраженных, но стабильных по своей экстремальности окружающих факторов. В то же время в случае изменения характера или силы воздействующих на систему факторов её адаптационный потенциал к новым условиям оказывается сниженным.

Таблица 5. Структуры и значения показателей матриц факторного анализа у обследуемых различных поколений**Table 5.** Matrices of variables in young men across generations in factor analysis

Ранг фактора Factor rank	Показатель Indicator	Удельное значение показателя в структуре фактора, % Specific value of the indicator in the factor structure, %	Суммарное значение фактора, % Total value of the factor, %	Показатель Indicator	Удельное значение показателя в структуре фактора, % Specific value of the indicator in the factor structure, %	Суммарное значение фактора, % Total value of the factor, %	Показатель Indicator	Удельное значение показателя в структуре фактора, % Specific value of the indicator in the factor structure, %	Суммарное значение фактора, % Total value of the fac-tor, %
0-е поколение 0 Generation			1-е поколение 1 st Generation			3-е поколение 3 rd Generation			
1	Mo	8,9	46	Mo	15,6	44	SDNN	7,9	49
	ЧСС	8,7					VLF	7,4	
	pNN50	8,2	ЧСС	15,2	AM0	7,1			
	AM0	7,1			LF	7,0			
	VLF	6,7	pNN50	13,2	SI	6,6			
	LF	6,4			RMSSD	6,6			
							HF	6,3	
2	MxDMn	4,7	21	ДАД	4,9	18	УОК	9,1	17
	RMSSD	4,5		УОК	4,5				
	SDNN	3,9	МОК	4,4	ДАД	7,9			
	SI	3,9	ОПСС	4,1					
	HF	3,9							
3	УОК	4,1	15	RMSSD	3,8	11	ЧСС	2,6	10
	ДАД	4,0		MxDMn	3,6		Mo	2,6	
	ОПСС	3,8		HF	3,6		МОК	2,5	
	МОК	3,2					ОПСС	2,3	
4	САД	7,0	7	САД	8,0	8	САД	7,0	7
5	—	—	—	VLF	3,6	7	—	—	—
				LF	3,4				
Сумма Total			89				88	83	

Примечание: Мо — мода, АМО — амплитуда моды, pNN50 — число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов, SI — стресс-индекс, MxDMn — вариационный размах, SDNN — стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов, RMSSD — квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, HF — мощность спектра высокочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,40–0,15 Гц, LF — мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0,15–0,04 Гц, VLF — мощность спектра очень низкочастотного компонента вариабельности ритма сердца в диапазоне 0,04–0,015 Гц, TP — суммарная мощность спектра временных значений R–R-интервалов сердечного ритма, САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, УОК — ударный объем крови, МОК — минутный объем кровообращения, ОПСС — общее периферическое сопротивление.

Note: Mo — mode, AMO — mode amplitude, pNN50 — the number of pairs of cardiointervals with a difference of more than 50 ms as a percentage of the total number of cardiointervals, SI — stress index, MxDMn — variation range, SDNN — standard deviation of the complete array of cardiointervals, RMSSD — the square root of the sum of the differences of a sequential series of cardiointervals, HF — power the spectrum of the high-frequency component of heart rate variability in the range of 0.40–0.15 Hz, LF — power of the spectrum of the low-frequency component of heart rate variability in the range of 0.15–0.04 Hz, VLF — the power of the spectrum of a very low-frequency component of heart rate variability in the range of 0.040–0.015 Hz, TP — the total power of the spectrum of time values of R–R heart rate intervals, САД — systolic blood pressure, ДАД — diastolic blood pressure, ЧСС — heart rate, УОК — shock volume of blood, МОК — cardiac output, ОПСС — total peripheral vascular resistance.



В отличие от этой группы обследованных у 1-го поколения функциональные перестройки, по всей видимости, не укладываются в общепринятую схему стадий адаптации: острая — переходная — стабильная, как у мигрантов. Эти обследуемые минуют острую и переходные фазы, так как являются уроженцами 1-го поколения, сразу находясь в стабильной, но незавершённой стадии адаптационного процесса. При этом они обладают значительным потенциалом возможных функциональных перестроек при высокой пластичности системы на фоне низких коэффициентов корреляционных взаимосвязей. На это указывает отсутствие в плееде элементов с числом взаимосвязей более четырёх, а показатель автономного регуляторного контура (HF), отражающего парасимпатическую

активность вегетативной нервной системы, имеет всего одну средней силы взаимосвязь с ЧСС ($r=0,4$). Отметим, что группе 0-го и 3-го поколений этот показатель имеет корреляции и с другими характеристиками центрального кровоснабжения при значениях коэффициентов более 0,5.

Подчеркнём выявленные изменения характера влияния автономного регуляторного контура на показатели артериального давления у обследуемых 3-го поколения относительно 0-го. Так, если для уроженцев 3-го поколения показатель HF имеет с показателями САД и ДАД отрицательные корреляционные взаимосвязи (это указывает, что при повышении парасимпатической активности показатели артериального давления снижаются), то абсолютно противоположная картина наблюдается для лиц 0-го поколения. Так, в группе представителей 0-го поколения эти взаимосвязи имеют положительный характер при коэффициентах 0,5–0,7. Данный факт позволяет утверждать, что у мигрантов с повышением активности парасимпатической регуляции не происходит снижения артериального давления, что является функционально неблагоприятным явлением. При этом у уроженцев 3-го поколения отрицательные взаимосвязи показателя HF с параметрами артериального давления и МОК показывают адекватную адаптационную перестройку регуляторного влияния автономного контура на характеристики гемодинамики, что отражает более экономный режим кровообращения у обследуемых этой группы.

Подчеркнём также, что для уроженцев 1-го поколения отсутствуют прямые взаимосвязи показателя парасимпатической активности (HF) и сосудодвигательного центра (LF) с характеристиками артериального давления, влияние на которые осуществляется опосредовано только через МОК, что также, по нашему мнению, может быть проявлением незавершённой адаптации и дисбаланса системы регуляции кровообращения.

Проведённый анализ основных показателей сердечно-сосудистой системы в динамике поколений позволил установить, что для мигрантов и уроженцев 1-го поколения, проживающих в экстремальных условиях Магаданской области, сохраняется состояние напряжения и неэкономного функционирования деятельности сердечно-сосудистой системы, которое проявляется гипертензивной направленностью и более высокими значениями ЧСС. В то же время для уроженцев 3-го поколения характерны достаточно оптимальные показатели в работе системы кровообращения, что проявляется статистически значимо более низкими значениями артериального давления и ЧСС. При этом общий вектор адаптационных перестроек при длительном пребывании в условиях севера, где холодный фактор играет ведущую роль, направлен на минимизацию энергетической стоимости работы функциональных систем организма, что было достаточно хорошо показано при исследовании на животных и людях [18, 34].

Отметим, что адаптивные перестройки организма молодых уроженцев различных поколений в процессе

увеличения срока проживания на Севере затрагивают систему не только кардиогемодинамики, но и внешнего дыхания и газообмена. К сожалению, в доступной литературе мы не нашли сведений по перестройкам вентиляторных показателей у конкретных поколений северян. В монографии А.Б. Гудкова с соавт. [35] представлены только обобщённые результаты по пришлому населению Архангельской области без дифференцировки на уроженцев разных поколений.

В нашем случае проведённый анализ ряда вентиляторных характеристик внешнего дыхания и энергогазообмена выявил наличие динамики изменения этих показателей в ряду от 0-го к 3-му поколению. Так, более высокие значения дыхательного объёма были характерны для мигрантов и составили $725,9 \pm 29,3$ мл со статистически значимым снижением в каждой анализируемой группе относительно 0-го поколения: 1-е поколение — $661,4 \pm 13,1$ мл; 2-е поколение — $643,1 \pm 13,7$ мл; 3-е поколение — $659,6 \pm 16,8$ мл. Выявлена также динамика снижения МОД, связывающего уровень лёгочной вентиляции и частоты дыхания. Установлено, что МОД в группе 0-го поколения составил $10,1 \pm 0,4$ л, 1-го поколения — $9,3 \pm 0,2$ л, 2-го поколения — $9,0 \pm 0,2$ л, 3-го поколения — $8,7 \pm 0,3$ л. При этом необходимо отметить, что у обследуемых 0-го и 1-го поколения значения лёгочной вентиляции превышали нормативные величины, характерные для данного возрастного периода [36]. Наблюдалось значимо более низкие величины ЧД в группах жителей-северян 2-го ($14,0 \pm 0,2$ цикл/мин) и 3-го поколения ($13,6 \pm 0,4$ цикл/мин) относительно представителей 0-го ($14,7 \pm 0,4$ цикл/мин) и 1-го поколения ($14,8 \pm 0,3$ цикл/мин) при уровне значимости $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно.

Величина коэффициента использования кислорода (KIO_2) составляла в группе 0-го поколения $33,3 \pm 0,9$ мл/л, у жителей-северян 1-го поколения — $36,6 \pm 0,4$ мл/л, у обследуемых 2-го и 3-го поколений соответственно $37,8 \pm 0,4$ и $37,1 \pm 0,8$ мл/л, что было значимо выше, чем у лиц 0-го и 1-го поколений ($p < 0,001$).

Следует отметить, что у юношей 0-, 1- и 2-го поколений значения уровня потребления кислорода (PO_2) превышали нормативные величины [36] и соответственно составили $344,07 \pm 11,96$; $333,80 \pm 5,80$ и $325,0 \pm 6,10$ мл/мин, при этом для группы 3-го поколения были характерны статистически значимо более низкие величины, равные $307,3 \pm 7,5$ мл/мин ($p < 0,001$). Такая динамика показателей потребления кислорода наблюдалась на фоне значимого снижения уровня расхода энергии в состоянии покоя (REE) в ряду от 0-го до 3-го поколения, соответственно составляя $2384,9 \pm 53,2$; $2445,0 \pm 27,4$; $2320,3 \pm 42,6$ и $2171,3 \pm 56,4$ ккал/день.

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что в группах представителей 0-го и 1-го поколения высокий уровень PO_2 , превышающего на 25% среднеширотную норму, обеспечивается по большей части высокими

показателями лёгочной вентиляции за счёт ЧД. Отметим, что с увеличением адаптированности к условиям Севера в группах уроженцев 2-го и 3-го поколения значения ЧД и PO_2 снижались до верхней границы нормативного диапазона с улучшением процесса утилизации кислорода, что отражалось в увеличении показателя KIO_2 . В целом анализ показателей газообмена, в зависимости от поколения проживания в условиях Северо-Востока, выявил значимое снижение вентиляторных показателей (дыхательный объём, МОД, ЧДД) в ряду от 0-го к 3-му поколению. В процессе адаптации человека к сочетанному воздействию факторов Севера вырабатывается защитная реакция, проявляющаяся урежением дыхания без его углубления и сопровождающаяся увеличением коэффициента использования кислорода, при этом физиологический смысл таких перестроек аппарата внешнего дыхания заключается в согревании вдыхаемого воздуха [37], что в полной мере согласуется с результатами, полученными в наших исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённого многолетнего поперечного исследования кардиогемодинамики и вентиляторных показателей у юношей-европеоидов из числа мигрантов и укоренённых уроженцев 1–3-го поколения (постоянных жителей Магаданской области) выявлены основные составляющие стратегии адаптационных перестроек изучаемых систем организма в зависимости от принадлежности к конкретному поколению. Со стороны вентиляторных показателей аппарата внешнего дыхания адаптационная динамика процесса направлена на оптимизацию и минимизацию характеристик внешнего дыхания при более эффективной диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярную мембрану (по показателям коэффициент использования кислорода) и снижения основного обмена. В целом общая стратегия адаптивных изменений организма у юношей — уроженцев Севера — в ряду от 0-го к 3-му поколению имеет следующие составляющие: увеличение систолического объёма кровообращения при снижении артериального давления и общего периферического сопротивления сосудов; усиление вклада парасимпатического звена вегетативной нервной системы, проявляющегося в увеличении значений высокочастотной составляющей и общей мощности спектра кардиоритма; перестройка структуры баланса показателей статистических и спектрально-волновых характеристик сердечного ритма; снижение энергетических затрат организма

в состоянии покоя. При этом показано, что адаптированность сердечно-сосудистой системы к экстремальным условиям Севера может проявляться не только в изменении прямых физиологических показателей организма, но и в интегральной структуре их корреляционных взаимосвязей: количестве, характере (прямые, обратные), величине значений коэффициентов и их общей суммарной значимости, что в совокупности может определять как жёсткость, так и пластичность изучаемых функциональных систем, что отражено в виде корреляционных плеяд.

В конечном итоге вся совокупность изменений кардиогемодинамики и вентиляторных эргоспирометрических показателей среди молодых уроженцев Севера в ряду от 0-го к 3-му поколению направлена на снижение общих энергетических затрат и формирование нового уровня баланса вегетативной нервной регуляции при доминирующем вкладе парасимпатической активности, что в целом отражает эффективность адаптационных перестроек к действию экстремальных природно-климатических факторов окружающей среды.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: И.В. Аверьянова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; А.Л. Максимов — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contribution: I.V. Averyanova — literature review, collection and analysis of references, writing and editing the article; A.L. Maksimov — literature review, collection and analysis of references, writing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research, and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

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

Funding source. No external funding.

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

Competing interests. No competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казначеев В.П., Куликов В.Ю., Панин Л.Е., и др. Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. Ленинград : Медицина, 1980. 200 с.
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. Москва : Медицина, 1985. 250 с.

3. Агаджанян Н.А., Жваньи Н.Ф., Ананьев В.Н. Адаптация человека к условиям Крайнего Севера: эколого-физиологические механизмы. Москва : КРУК, 1998.
4. Кривошеков С.Г., Охотников С.В. Производственные миграции и здоровье человека на Севере. Москва–Новосибирск : СО РАМН, 2000. 118 с.
5. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург : УрО РАН, 2005. 190 с.
6. Ким Л.Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск : Наука, 2015. 216 с.
7. Максимов А.Л. Современные эколого-социальные аспекты биомедицинских исследований по адаптации человека на Северо-Востоке России. В кн.: Север: арктический вектор социально-экологических исследований. Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2008. С. 109–118.
8. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Особенности перестройки кардиогемодинамики и variability сердечного ритма у европеоидов — мигрантов и уроженцев Севера первого и второго поколений при активной ортостатической пробе // Сибирский научный медицинский журнал. 2021. Т. 41, № 3. С. 45–52. doi: 10.18699/SSMJ20210306
9. Хаснулин В.И. Синдром полярного напряжения. В кн.: Хаснулин В.И., Вильгельм В.Д., Воевода М.И., и др. Медико-экологические основы формирования, лечения и профилактики заболеваний у коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа. Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2004. С. 24–35.
10. Дыдымов Н.А., Койносов А.П. Циркумпольная гипоксия: обзорная статья // Научный медицинский вестник Югры. 2021. № 1. С. 12–15. doi: 10.25017/2306-1367-2021-27-1-12-15
11. Багнетова Е.А., Малюкова Т.И., Болотов С.В. К вопросу об адаптации организма человека к условиям жизни в северном регионе // Успехи современного естествознания. 2021. № 4. С. 111–116. doi: 10.17513/use.37616
12. Hochachka P.W. Mechanism and evolution of hypoxia-tolerance in humans // J Exp Biol. 1998. N 201(Pt 1). P. 1243–1254. doi: 10.1242/jeb.201.8.1243
13. Соловьев В.С., Литовченко О.Г., Соловьева С.В., и др. Опыт комплексных исследований в изучении адаптации на Севере // Вестник Сургутского государственного университета. 2016. № 3. С. 54–56.
14. Хаснулин В.И. Этнические особенности психофизиологии коренных жителей Севера как основа выживания в экстремальных природных условиях. В кн.: Проблемы сохранения здоровья в условиях Севера и Сибири: труды по медицинской антропологии / отв. ред. В.И. Харитонов. Москва : Типография Новости, 2009. 511 с.
15. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Дезадапционные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. Санкт-Петербург : Политехника-принт, 2018. 548 с.
16. Grasgruber P., Sebera M., Hrazdira E., et al. Major correlates of male height: a study of 105 countries // Econ Hum Biol. 2016. Vol. 21. P. 172–195. doi: 10.1016/j.ehb.2016.01.005
17. Komlos J., Lauderdale B.E. The mysterious trend in American heights in the 20th century // Ann Hum Biol. 2015. Vol. 34, N 2. P. 206–215. doi: 10.1080/03014460601116803
18. Бочаров М.И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях (обзор). Сообщение I // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2015. № 1. С. 5–15.
19. Purkayastha S.S., Majumdar D., Selvamurthy W. Cold acclimatization of tropical men during short and long term sojourn to polar environment // Defence Science Journal. 1997. Vol. 47. P. 149–158. doi: 10.14429/dsj.47.3987
20. Chen X., Xue P., Liu L. Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area: a longitudinal survey in Harbin // China Build Environ. 2018. Vol. 143, N 73. P. 548–560. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.07.041
21. Zlatar T., Costa J.T., Vaz M., Santos Baptista J. Influence of severe cold thermal environment on core and skin temperatures: a systematic review // Work. 2019. Vol. 62. P. 337–343. doi: 10.3233/wor-192868
22. Багнетова Е.А. Особенности адаптации, психологического и функционального состояния организма человека в условиях Севера // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 63–68.
23. Сергейчик О.И., Ярославская Е.И., Плюсин А.В. Влияние факторов внешней среды на риск сердечно-сосудистых заболеваний населения Арктики // Журнал медико-биологических исследований. 2022. Т. 10, № 1. С. 64–72. doi: 10.37482/2687-1491-Z091
24. Комплекс для анализа variability сердечного ритма. Руководство по эксплуатации. Рязань : РАМЕНА, 2005.
25. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
26. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов (2-е изд.). Санкт-Петербург : Питер Принт, 2003. 688 с.
27. Webber C.L. Jr, Zbilut J.P. Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies // J Appl Physiol (1985). 1994. Vol. 76, N 2. P. 965–973. doi: 10.1152/jappl.1994.76.2.965
28. Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. Москва : Медицина, 1984.
29. Bertalanffy L. General system theory: foundations, development, applications. New York : George Braziller, 1968.
30. Сороко С.И. Нейрофизиологические механизмы индивидуальной адаптации человека в Антарктиде. Ленинград : Наука, 1984. 152 с.
31. Кривошеков С.Г., Диверт Г.М. Принципы физиологической регуляции функций организма при незавершенной адаптации // Физиология человека. 2001. Т. 27, № 1. С. 127–133.
32. Кривошеков С.Г., Леутин В.П., Диверт В.Э., и др. Системные механизмы адаптации и компенсации // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2004. № 2. С. 148–153.
33. Медведев В.И., Марьянович А.Т., Аверьянов В.С. Компоненты адаптационного процесса. Ленинград : Наука, 1984. 110 с.
34. Пастухов Ю.Ф., Максимов А.Л., Хаскин В.В. Адаптация к холоду и условиям Субарктики: проблемы термофизиологии. Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2003. 20 с.

35. Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.Н. Новоселы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты: монография. Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 2012. 284 с.
36. Гудков А.Б., Попова О.Н., Богданов М.Ю., Щербина Ф.А. Характеристика легочного газообмена у молодого пополнения

ВМФ в Арктической зоне // Морская медицина. 2019. Т. 5, № 2. С. 71–75.
doi: 10.22328/2413-5747-2019-5-2-71-75

37. Козырева Т.В., Ткаченко Е.Я., Симонова Т.Г. Функциональные изменения при адаптации организма к холоду // Успехи физиологических наук. 2003. Т. 34, № 2. С. 76–84.

REFERENCES

1. Kaznacheev VP, Kulikov VJu, Panin LE, i dr. *Mehanizmy adaptatsii cheloveka v usloviyakh vysokikh shirot*. Leningrad: Medicina; 1980. 200 p. (In Russ).
2. Avsyn AP, Zhavoronkov AA, Marachev AG, Milovanov AP. *Patologiya cheloveka na Severe*. Moscow: Medicina; 1985. 250 p. (In Russ).
3. Agadzhanjan NA, Zhvanyj NF, Anan'ev VN. *Adaptatsiya cheloveka k usloviyam Krajnego Severa: jekologo-fiziologicheskie mehanizmy*. Moscow: KRUK; 1998. (In Russ).
4. Krivoshhekov SG, Ohotnikov SV. *Proizvodstvennyye migratsii i zdorov'e cheloveka na Severe*. Moscow–Novosibirsk: SO RAMN; 2000. 118 p. (In Russ).
5. Bojko ER. *Fiziologo-biohimicheskie osnovy zhiznedejatel'nosti cheloveka na Severe*. Ekaterinburg: UrO RAN; 2005. 190 p. (In Russ).
6. Kim LB. *Transport kisloroda pri adaptatsii cheloveka k usloviyam Arktiki i kardiorespiratornoj patologii*. Novosibirsk: Nauka; 2015. 216 p. (In Russ).
7. Maksimov AL. Sovremennyye jekologo-social'nye aspekty biomeditsinskih issledovanij po adaptatsii cheloveka na Severo-Vostoke Rossii. In: *Sever: arkticheskij vektor social'no-jekologicheskikh issledovanij*. Syktyvkar: Komi nauchnyj centr UrO RAN; 2008. P. 109–118. (In Russ).
8. Averyanova IV, Maksimov AL. Cardiohemodynamic and heart rate variability changes observed in the North newcomer caucasians and people born to them in the 1st–2nd generations at active orthostatic test exposure. *The Siberian Scientific Medical Journal*. 2021;41(3):45–52. (In Russ). doi: 10.18699/SSMJ20210306
9. Hasnulin VI. Sindrom poljarnogo naprjazhenija. In: Hasnulin VI, Vil'gel'm VD, Voevoda MI, i dr. *Mediko-jekologicheskie osnovy formirovaniya, lecheniya i profilaktiki zabolevanij u korenogo naseleniya Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga*. Novosibirsk: Izdatel'stvo Sibirskogo otdelenija RAN; 2004. P. 24–35. (In Russ).
10. Dydimov NA, Koinosov AP. Circumpolar hypoxia: a review paper. *The Scientific and Practical Journal of Medicine*. 2021;(1):12–15. (In Russ). doi: 10.25017/2306-1367-2021-27-1-12-15
11. Bagnetova EA, Malyukova TI, Bolotov SV. Adapting the human body to living conditions in the Northern region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2021;(4):111–116. (In Russ). doi: 10.17513/use.37616
12. Hochachka PW. Mechanism and evolution of hypoxia-tolerance in humans. *J Exp Biol*. 1998;201(Pt 1):1243–1254. doi: 10.1242/jeb.201.8.1243
13. Solovyov VS, Litovchenko OG, Solovyova SV, et al. Comprehensive north adaptation studies. *Surgut State University Journal*. 2016;(3):54–56. (In Russ).
14. Hasnulin VI. Jetnicheskie osobennosti psihofiziologii korennyh zhitelej Severa kak osnova vyzhivaniya v jekstremal'nyh prirodnyh usloviyakh. In: Haritonova VI, editor. *Problemy sohraneniya zdorov'ja v usloviyakh Severa i Sibiri: trudy po medicinskoj antropologii*. Moscow: Tipografija Novosti; 2009. 511 p. (In Russ).
15. Novikov VS, Soroko SI, Shustov EB. *Desadaptation states of man to exposure to extreme conditions and their correction*. Saint Petersburg: Polytechnic-print; 2018. 548 p. (In Russ).
16. Grasgruber P, Sebera M, Hrazdira E, et al. Major correlates of male height: a study of 105 countries. *Econ Hum Biol*. 2016;21:172–195. doi: 10.1016/j.ehb.2016.01.005
17. Komlos J, Lauderdale BE. The mysterious trend in American heights in the 20th century. *Ann Hum Biol*. 2015;34(2):206–215. doi: 10.1080/03014460601116803
18. Bocharov MI. Thermoregulation in cold environments (review). Report I. *Journal of Medical and Biological Research*. 2015;(1):5–15. (In Russ).
19. Purkayastha SS, Majumdar D, Selvamurthy W. Cold acclimatization of tropical men during short and long term sojourn to polar environment. *Defence Science Journal*. 1997;47:149–158. doi: 10.14429/dsj.47.3987
20. Chen X, Xue P, Liu L. Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area: a longitudinal survey in Harbin. *China Build Environ*. 2018;143(73):548–560. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.07.041
21. Zlatař T, Costa JT, Vaz M, Santos Baptista J. Influence of severe cold thermal environment on core and skin temperatures: a systematic review. *Work*. 2019;62(2):337–343. doi: 10.3233/wor-192868
22. Bagnetova EA. Features of adaptation, psychological and functional state of the human body in the conditions of the North. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2014;(4):63–68. (In Russ).
23. Sergeychik OI, Yaroslavskaya EI, Plyusnin AB. Impact of environmental factors on the risk of cardiovascular disease in the population of the Arctic. *Journal of Medical and Biological Research*. 2022;10(1):64–72. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z091
24. *Kompleks dlja analiza variabel'nosti serdechnogo ritma. Rukovodstvo po jekspluatatsii*. Rjazan': RAMENA; 2005. (In Russ).
25. Baevskij RM, Ivanov GG, Chirejkin LV, i dr. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispolozovanii razlichnyh jelektrokardiograficheskikh sistem (metodicheskie rekomendatsii). *Journal of Arrhythmology*. 2001;(24):65–87. (In Russ).
26. Borovikov VP. *Statistika. Iskusstvo analiza dannyh na komp'yutere: dlja professionalov (2-e izd.)*. Saint Petersburg: Piter Print; 2003. 688 p. (In Russ).
27. Webber CL Jr, Zbilut JP. Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies. *J Appl Physiol* (1985). 1994;76(2):965–973. doi: 10.1152/jappl.1994.76.2.965
28. Sudakov KV. *Obshhaja teorija funktsional'nyh sistem*. Moscow: Medicina; 1984. (In Russ).

29. Bertalanffy L. *General system theory: foundations, development, applications*. New York: George Braziller; 1968.
30. Soroko SI. *Nejrofiziologicheskie mehanizmy individual'noj adaptacii cheloveka v Antarktide*. Leningrad: Nauka; 1984. 152 p. (In Russ).
31. Krivoshchekov SG, Divert GM. Principles of physiological regulation of body functions in incomplete adaptation. *Human physiology*. 2001;27(1):115–121. (In Russ).
32. Krivoshchekov SG, Leutin VP, Divert VE, et al. System mechanisms of adaptation and compensation. *The Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences*. 2004;(2):148–153. (In Russ).
33. Medvedev VI, Mar'janovich AT, Aver'janov VS. *Komponenty adaptacionnogo processa*. Leningrad: Nauka; 1984. 110 p. (In Russ).
34. Pastuhov JuF, Maksimov AL, Haskin VV. *Adaptacija k holodu i uslovijam Subarktiki: problemy termofiziologii*. Magadan: SVNC DVO RAN; 2003. 20 p. (In Russ).
35. Gudkov AB, Popova ON, Nebuchennyh AN. *Novosely na Evropejskom Severe. Fiziologo-gigienicheskie aspekty: monografija*. Arhangel'sk: Severnyj gosudarstvennyj medicinskij universitet; 2012. 284 p. (In Russ).
36. Gudkov AB, Popova ON, Bogdanov MU, Shcherbina FA. Characteristics of pulmonary gas exchange in the young replenishment of the navy in the Arctic zone. *Marine Medicine*. 2019;2:71–75. (In Russ). doi: 10.22328/2413-5747-2019-5-2-71-75
37. Kozyreva TV, Tkachenko EYa, Simonova TG. The functional modifications under the long-term adaptation to COLD. *Progress in Physiological Science*. 2003;34(2):76–84. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Аверьянова Инесса Владиславовна**, д.б.н.;
адрес: Россия, 685000, Магадан, пр. Карла Маркса, д. 24;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Максимов Аркадий Леонидович, д.м.н., профессор,
член-корреспондент РАН;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1089-4266>;
eLibrary SPIN: 6614-2169;
e-mail: arkmax@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Inessa V. Averyanova**, Dr. Sci. (Biol.);
address: 24 Karl Marx street, 685000 Magadan, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Arkadiy L. Maksimov, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
corresponding member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1089-4266>;
eLibrary SPIN: 6614-2169;
e-mail: arkmax@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author