

© Аверьянова И.В., Вдовенко С.И., 2021

УДК 612.563+57.084

Сравнительный анализ тепловизионных изображений здоровых молодых людей с различными сроками адаптации к условиям Севера

И.В. Аверьянова, С.И. Вдовенко

ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика»» Дальневосточного отделения Российской академии наук, пр. К. Маркса, д. 24, г. Магадан, 685000, Российская Федерация

Резюме**Введение.** Связь между температурой кожи и кожным кровотоком является фактором, влияющим на тепловые изображения организма в ответ на терморегуляцию.**Цель.** Выявление особенностей тепловых изображений юношей – постоянных жителей Севера, относящихся к различным поколениям.**Материалы и методы.** Термография проводилась с использованием тепловизионной камеры (тепловизор FLIR SC620, Швеция). Количественный анализ тепловизионных изображений был выполнен для 8 частей тела, снятых спереди и сзади в положении сидя. Было обследовано 90 молодых здоровых людей в возрасте от 17 до 21 года, постоянно проживающих на территории Магаданской области. В зависимости от продолжительности адаптации к условиям Севера все испытуемые были разделены на 4 группы: адаптирующиеся мигранты («нулевое поколение») и родившиеся на Севере в 1-м, 2-м и 3-м поколениях.**Результаты.** Показано, что в ряду от мигрантов-адаптантов («нулевое поколение») к уроженцам Севера в 1-м, 2-м и 3-м поколениях происходит значимое увеличение температуры поверхности кожи по всем изученным областям теплового портрета. При этом максимальные различия наблюдались в отношении средней температуры лба, живота и поясницы, достигая 0,97; 1,04; 0,98 °С соответственно. Следует отметить, что юноши Магадана характеризовались более высокой средней температурой поверхности кожи по сравнению с юношами, проживающими в оптимальных климатических и географических условиях Центральной России и Восточной Европы. Наименьшие отличия фиксировались между мигрантами-адаптантами и лицами 3-го поколения в отношении температуры груди – 0,43 °С.**Выводы.** Проведенное исследование указывает на тот факт, что с увеличением сроков проживания на Севере в организме происходит компенсаторно-приспособительные перестройки, которые направлены на уменьшение негативного влияния холодного фактора и достигаются за счет оптимизации терморегуляторного механизма, а также изменения вегетативных кожных вазомоторных реакций.**Ключевые слова:** инфракрасная термография, юноши, адаптация, срок проживания на Севере.**Для цитирования:** Аверьянова И.В., Вдовенко С.И. Сравнительный анализ тепловизионных изображений здоровых молодых людей с различными сроками адаптации к условиям Севера // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 7. С. 36–42. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-7-36-42>**Сведения об авторах:****Аверьянова** Инесса Владиславовна – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории физиологии экстремальных состояний; e-mail: Inessa1382@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>.✉ **Вдовенко** Сергей Игоревич – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории физиологии экстремальных состояний; e-mail: Vdovenko sergei@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-5144>.**Информация о вкладе авторов:** И.В. Аверьянова – разработка дизайна исследования, анализ полученных данных, написание текста рукописи; С.И. Вдовенко – получение данных для анализа, обзор публикаций по статье.**Финансирование:** работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках выполнения темы «Исучение 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).**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**Соблюдение правил биоэтики:** Работа выполнялась в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования одобрен Комиссией по биоэтике ФГБУН «ИБПС ДВО РАН» (заключение от 25.03.2019, протокол № 1). До включения в исследование от всех участников получено письменное информированное согласие.

Статья получена: 12.03.21 / Принята к публикации: 07.07.21 / Опубликована: 30.07.21

Comparative Analysis of Thermovision Images of Healthy Young Men with Different Terms of Adaptation to Conditions of the North

Inessa V. Averyanova, Sergei I. Vdovenko

“Arktika” Scientific Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 24 Karl Marx Avenue, Magadan, 685000, Russian Federation

Summary**Introduction.** The correlation between skin temperature and cutaneous blood flow is a factor that influences thermal imaging of the body in response to thermoregulation.**The objective** of our study was to identify features of thermal images of young male permanent residents of the Russian North belonging to different generations.**Materials and methods.** Thermography was carried out using a thermal imaging camera (FLIR SC620 thermal imager, Sweden), providing long-wave (7.5–13 μm) imaging with a thermal sensitivity of 0.1 °C. Quantitative analysis of thermovision images was performed for eight sites of the body captured from the front and back in a sitting position. We examined 90 young healthy men aged 17 to 21 years, permanently residing in the Magadan Region. Depending on the duration of adaptation to extreme conditions of the North, all subjects were divided into four groups: adapting migrants (“zero generation”) and those born in the North in the first, second and third generations.**Results.** We established a significant increase in skin temperature at all measured body sites in the series from adapting migrants (“zero generation”) to the natives in the first to third generation. The maximum differences were observed for the average temperature of the forehead, abdomen, and lower back, reaching 0.97, 1.04, and 0.98 °C, respectively. It should be noted that the young men of the city of Magadan had a higher average skin temperature than those living in optimal climatic and geographical conditions of Central Russia and Eastern Europe. The smallest difference (0.43 °C) was registered for breast temperature between the migrants and representatives of the third generation.**Conclusions.** Our findings prove compensatory and adaptive physiological changes occurring in the body over time to reduce adverse effects of the cold environment. This reorganization of the body is achieved through optimization of the thermoregulatory mechanism and changes in vegetative skin vasomotor responses.**Keywords:** infrared thermography, young men, adaptation, duration of residence in the North.**For citation:** Averyanova IV, Vdovenko SI. Comparative analysis of thermovision images of healthy young men with different

terms of adaptation to conditions of the North. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; 29(7):36–42. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-7-36-42>

Author information:

Inessa V. **Averyanova**, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Laboratory of Human Physiology in Extreme Environments “Arktika” Scientific Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: Inessa1382@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4511-6782>.

✉ Sergei I. **Vdovenko**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Human Physiology in Extreme Environments “Arktika” Scientific Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: Vdovenko.sergei@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-5144>.

Author contributions: I.V. *Averyanova* developed the study design, analyzed data and wrote the manuscript; S.I. *Vdovenko* acquired data for the analysis and did a literature review; both authors contributed to the final version of the manuscript.

Funding: The research was financed from budgetary funds of the “Arktika” Scientific Research Center of the FEB of the RAS within the framework of implementing “The study of intersystem and intrasystem reaction mechanisms in the formation of functional adaptive reserves of the body of a “northern type” man at different stages of ontogenesis of persons living in uncomfortable and extreme conditions with the establishment of integral informative health indices” (Registration number AAAA-A21-121010690002-2).

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

Respect for patient rights and principles of bioethics: The research was conducted in accordance with the Helsinki Declaration. The research protocol was approved by the Biomedical Ethics Committee of the Institute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Decision of March 2019, 25, Minutes No. 1). Written informed consent was obtained from all subjects prior to enrollment in the study.

Received: March 12, 2021 / Accepted: July 07, 2021 / Published: July 30, 2021

Введение. Инфракрасная термография — эффективный метод, делающий возможным проведение наблюдений за терморегуляторной реакцией организма при адаптации к различным условиям внешней среды. Наряду с прямым тепловым (радиоактивным) излучением живых объектов инфракрасная термография представляет собой безопасный и неинвазивный метод, позволяющий быстро и точно регистрировать тепло, присутствующее на коже человека [1–3], за счет измерения среднего и длинноволнового неионизирующего электромагнитного излучения, исходящего от объекта, что дает точное представление о температуре изучаемой поверхности [4], что позволяет проводить количественный и объективный анализ распределения температуры поверхности всего тела [5]. Поскольку температура является важным экологическим параметром, измерение ее на поверхности организма человека имеет определенное значение для анализа эффективности работы терморегуляторной системы, являющейся важнейшим элементом способности адаптироваться к условиям окружающей среды [4, 6]. Поскольку человек относится к гомойотермам [7] и должен постоянно обеспечивать свой тепловой баланс, его организм снабжен терморегуляторной системой, позволяющей регулировать теплообмен с окружающей средой путем кондукции, конвекции и испарения. Поддержание температуры тела и, следовательно, теплового баланса представляется в простейшем виде как производство тепла, равное его теплопотерям [8]. Тело гомойотерма описывается моделью терморегуляции ядро — оболочка [9]. В этой модели ядро поддерживает свою глубокую температуру посредством изменения температуры поверхности кожи (оболочки), так как температура оболочки может свободно изменяться в зависимости от температуры окружающей среды [10, 11]. Такие изменения температуры поверхности кожи происходят в первую очередь за счет видоизменения периферического кровотока, при этом кровь выступает в качестве проводника теплообмена между ядром тела и его оболочкой [12]. Уровень перфузии крови и тоническое состояние приповерхностных сосудов являются одними из основных факторов, определяющих поверхностное распределение температуры [13]. В работах Z.S. Deng и U. Garagiola [14, 15] кожный кровоток описывается как важный фактор теплообмена наряду с другими факторами, включая скорость метаболизма и подкожную жировую ткань. В условиях охлаждения организма за счет сужения сосудов конечностей кровь «стягивается» от поверхности к ядру тела, а в теплых условиях

происходит обратный отток объема крови, обеспечивая увеличение поверхностной отдачи тепла [16]. Нагрев участков тела на 90 % осуществляется за счет окисления углеводов в клетках, при этом кровь, снабжающая клетки различных органов и тканей, нагревается и переносит образовавшееся тепло к поверхности, где оно может регистрироваться тепловизором в виде тепловых портретов [16]. Объемное и поверхностное перераспределение крови регулируется сосудистыми реакциями, так как кожный кровоток связан с вегетативной нервной системой, которая контролирует вазоконстрикцию и вазодилатацию сосудов и капилляров для поддержания гомеостаза [17, 18]. Следовательно, связь между температурой кожи и кожным кровотоком является достаточно актуальной для рассмотрения ее в качестве одного из основных факторов, влияющих на тепловые изображения организма, в ответ на терморегуляцию [19]. Таким образом, температурный рельеф поверхности тела человека зависит в конечном счете от уровня наполненности тканей кровью, степени ее нагревания при функциональной активности мышц и внутренних органов, перераспределения крови при регулировании просвета сосудов, а также от тепловых свойств ткани (теплопроводности, теплоемкости). В целом необходимо подчеркнуть, что метод тепловизионной оценки организма доказал свою полезность для тепловой визуализации поверхности тела, а также для наблюдения за терморегуляторной реакцией организма при адаптации к различным условиям среды [8]. Следует отметить, что именно незначительные отклонения (десятые и сотые доли градуса) в термографической картине организма позволяют провести детальный сравнительный анализ различных популяций жителей, регулярно подвергающихся экстремальным воздействиям природно-климатических факторов внешней среды. На сегодняшний день нет данных о тепловизионной картине организма молодых жителей, проживающих в условиях Севера и являющихся жителями Магаданской области. Исходя из этого, целью нашей работы явилось изучение тепловизионных изображений здоровых молодых людей — уроженцев Севера, представителей 0, 1, 2 и 3-го поколений при адаптации к экстремальным климатогеографическим условиям.

Материалы и методы. Термография проводилась с использованием тепловизионной камеры (тепловизор FLIR SC620, компания FLIR Systems, Швеция), обеспечивающей длинноволновую (7,5–13 мкм) визуализацию с тепловой чувствительностью 0,1 °C. Пространственное разрешение составляло 640 × 480 пикселей. Преимущество

инфракрасных систем по сравнению с другими методами измерения температуры заключается в возможности одновременного анализа большого количества изображений-элементов (пикселей) за короткий промежуток времени, после чего возможна обработка изображений в реальном времени [20]. Исследование проводилось в соответствии со стандартами, установленными Европейской термографической Ассоциацией [21]. Количественный анализ тепловизионных изображений проводили для 8 участков тела, взятых спереди и сзади у обследуемых молодых людей в положении стоя без верхней одежды. Для каждого выбранного участка устанавливалась средняя температура поверхности, которая была более репрезентативной для данной области, чем просто минимальное и максимальное ее значение. Фиксировались температуры (°C): C_1 – левой подключичной области, C_2 – правой подключичной области, C_3 – лба, C_4 – груди, C_5 – поверхности живота, C_6 – верхней части спины, C_7 – области лопаток, C_8 – поясницы.

Исследования были проведены в осенне-зимний период 2019 г. В исследованиях приняли участие 90 молодых здоровых людей в возрасте от 17 до 21 года (средний возраст составил $18,3 \pm 0,5$ года), постоянно проживающих на территории Магаданской области. Средние антропометрические показатели обследуемых юношей имели следующие величины: длина тела равнялась $179,2 \pm 0,7$ см, масса тела составила $71,2 \pm 1,1$ кг, индекс массы тела (ИМТ) был равен $21,8 \pm 0,4$ кг/м².

В зависимости от принадлежности к различным поколениям проживания на Севере все обследуемые разделялись на 4 анализируемые группы. В первую группу вошли приезжие мигранты-европеиды из центральных районов страны, характеризующиеся непродолжительным сроком проживания на Севере (в среднем $7,1 \pm 1,3$ года), – эту группу мы обозначили как «нулевое поколение» (0-е поколение) ($n = 16$). Во вторую группу вошли уроженцы области в 1-м поколении из числа европеидов, у которых родители являлись мигрантами ($n = 28$). В третью группу включались молодые люди – уроженцы во 2-м поколении ($n = 25$), родители которых уже являлись уроженцами Магаданской области в 1-м поколении. Четвертая группа представляла собой обследуемых с самым продолжительным сроком проживания семей в условиях Севера: представители только начинающейся формироваться популяции (ввиду «относительной молодости» Магаданской области) – юноши 3-го поколения, у которых родители относятся к представителям 2-го поколения ($n = 21$).

Все лица, входящие в выборку, были постоянными жителями области и на момент обследования более 6 месяцев являлись студентами университета с очной формой обучения и характеризовались сопоставимыми условиями жизни, режимом двигательной активности. Все обследования проводились в помещении с комфортной температурой $19–21$ °C, в первой половине дня, после акклиматизации в помещении более 10 минут, что является оптимальным временем привыкания к температуре окружающей среды [22]. Термография проводилась у молодых людей, раздетых до пояса. Условием включения в исследование являлось отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья. Исследование было выполнено в соответствии

с принципами Хельсинской декларации (2013) [16]. Протокол исследования был одобрен комиссией по биоэтике ФГБУН «Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук» (№ 001/019 от 29.03.2019). У всех обследуемых было получено письменное информированное согласие до включения в исследование.

Обработку полученного материала производили с использованием прикладного пакета Statistica 7.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро – Уилка. Вычислялись средние величины показателей (M) и ошибки средних (m). При множественном сравнении для выборок с нормальным распределением был использован параметрический однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Далее для выявления статистически значимых различий между конкретными группами нами был использован апостериорный анализ с помощью теста для множественных сравнений Scheffe. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0,05; 0,01; 0,001.

Результаты. Проведенные исследования позволили установить ряд интересных особенностей термографического портрета лиц из числа мигрантов-адаптантов, а также укорененных жителей Севера различных поколений. Типичные примеры термограмм обследованных юношей приведены на рисунках 1 и 2. Визуально заметны отличия между представителями 0-го и 3-го поколений. Лица, имеющие максимальный срок проживания в условиях Севера, имели значительно больше участков тела, характеризующихся выраженными зонами максимальной концентрации тепла (значимое повышение средней температуры анализируемого участка). Так, если у лиц 0-го поколения такой участок тела наблюдался практически один – в районе верхней части спины между лопатками, то у лиц 3-го поколения они встречались повсеместно – как со стороны груди, так и со стороны спины.

В таблице приведены основные характеристики тепловизионного портрета организма у представителей из числа мигрантов, 1, 2 и 3-го поколения. Из приведенных данных видно, что в ряду от представителей мигрантов-адаптантов к группе юношей – представителей 3-го поколения происходило значимое увеличение температуры по всем изученным областям теплового портрета. Максимальные различия наблюдались в отношении средней температуры лба, живота и поясницы, достигая $0,97$; $1,04$; $0,98$ °C соответственно. Наименьшие отличия отмечались между мигрантами и лицами 3-го поколения в отношении температуры груди – $0,43$ °C. Кроме того, по нашим данным, в группах от 0-го по 3-е поколение юноши продемонстрировали увеличение разницы температур между левой и правой надключичными областями, где она составила $0,03$ °C у представителей 0-го поколения, в то время как молодые люди с наиболее длительной адаптацией к Северу показали $0,12$ °C.

Обсуждение. При анализе средних значений отдельных участков тепловых портретов юношей, принадлежащих к различным поколениям проживания на Севере, наблюдались статистически значимые различия. Так, самые низкие значения температуры обнаружены в области живота и поясницы, так как плохо васкуляризованные участки, а также области с наличием жировой ткани имеют

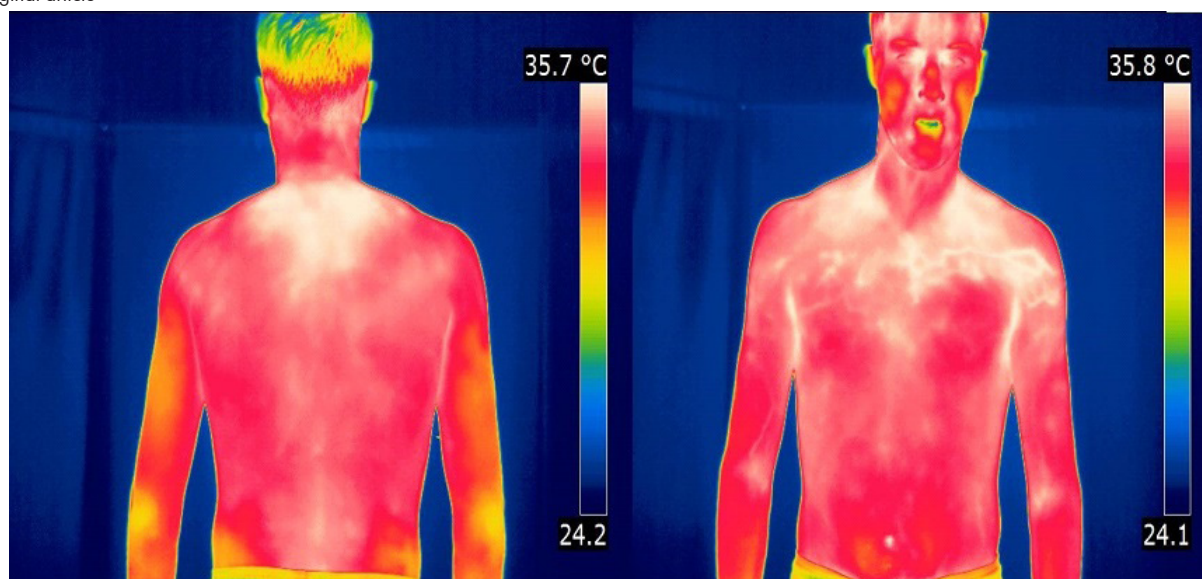


Рис. 1. Тепловой портрет представителя из числа 0-го поколения (мигранта-адаптанта)
Fig. 1. Thermal portrait of a generation 0 representative (adapting migrant)

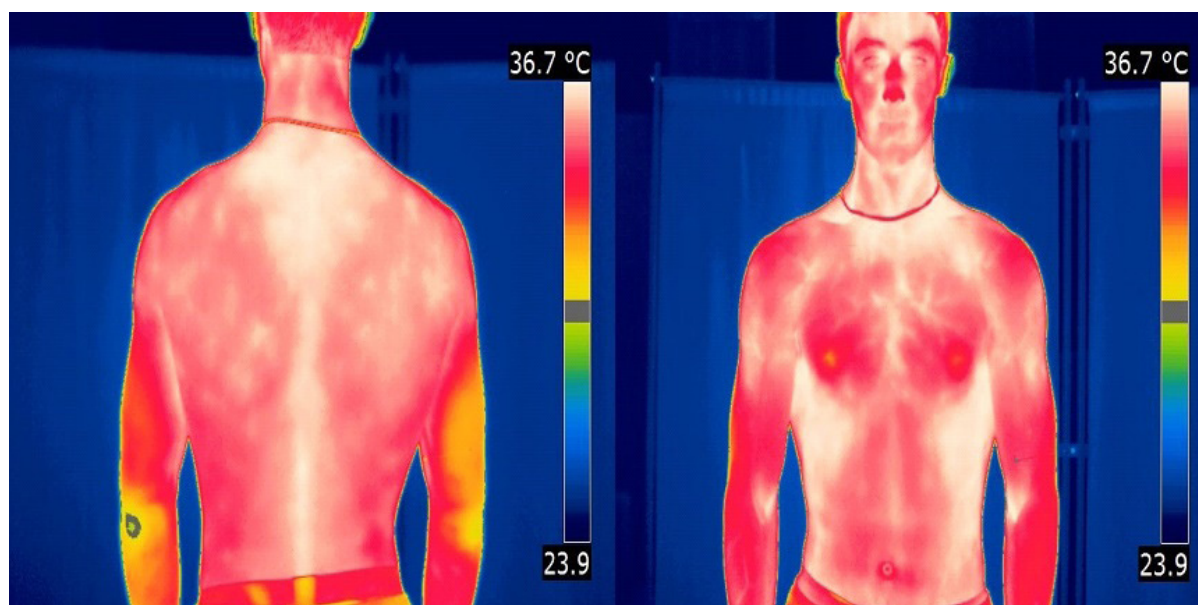


Рис. 2. Тепловой портрет представителя из числа 3-го поколения
Fig. 2. Thermal portrait of a generation 3 representative

более низкую температуру [23]. Самая высокая температура фиксировалась в области груди, лба, верхней части спины, подключичных областях, что связано с температурой внутренних органов, выделяющих тепло в результате их нормальных метаболических процессов, а также с низкой толщиной подкожного жира [24–26]. На представленных термограммах видно, что наиболее горячие точки находятся в районе левой и правой подключичных зон и в области спины под шейей, где, по современным данным позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии, у взрослых людей наблюдается наибольшее скопление активной бурой жировой ткани [27].

Необходимо отметить то, что в работах М. Chudecka, А. Lubkowska [6] указаны более низкие температуры в группе молодых мужчин г. Щецина (Польша) (грудь – $33,15 \pm 0,18$ °C, задняя верхняя часть спины – $33,92 \pm 0,19$ °C, живот – $32,72 \pm 0,31$ °C, поясница – $32,80 \pm 0,26$ °C), аналогичные результаты более низких показателей

средневзвешенной температуры анализируемых участков взрослых обследуемых г. Москвы представлены и в работе Р.С. Андреева и соавторов [28] (грудь – $31,7 \pm 0,14$ °C, спина – $31,7 \pm 0,12$ °C), а также в работе Е.Б. Акимова и В.Д. Сонькина [29], где кожная температура лба равнялась $32,2 \pm 0,55$ °C ($M \pm SD$). Полученные результаты дают нам основание сделать заключение, что для юношей г. Магадана характерны более высокие средние показатели температуры поверхности кожи в сравнении с юношами, проживающими в более оптимальных климатогеографических условиях.

Характерной чертой нормальной тепловизионной картины передней поверхности грудной клетки является симметричная гипертермия надключичных областей [30]. В наших данных в ряду от 0-го к 3-му поколению юношей происходит увеличение разницы температуры левой и правой надключичных областей, где у представителей 0-го поколения эта разница составляла $0,03$ °C, в группе обследуемых 1-го поколения – $0,04$ °C,

Таблица. Показатели температурного портрета различных участков тела у юношей с различным сроком адаптации к условиям Севера

Table. Indicators of the temperature portrait of different body sites in young men with different periods of adaptation to severe conditions of the North

Показатель / Indicator	Период адаптированности к условиям Севера / Period of adaptation to conditions of the North				Уровень значимости различий между группами / Significance of differences between groups					
	0-е поколение / Generation 0 (1)	1-е поколение / Generation 1 (2)	2-е поколение / Generation 2 (3)	3-е поколение / Generation 3 (4)	1–2	2–3	3–4	1–3	2–4	1–4
C ₁	35,37 ± 0,15	35,41 ± 0,17	35,61 ± 0,12	35,88 ± 0,13	p = 0.85	p = 0.34	p = 0.82	p = 0.22	p < 0.05	p < 0.01
C ₂	35,40 ± 0,14	35,45 ± 0,17	35,66 ± 0,12	36,00 ± 0,16	p = 0.82	p = 0.32	p = 0.82	p = 0.16	p < 0.05	p < 0.01
C ₃	35,47 ± 0,13	34,90 ± 0,10	35,07 ± 0,14	35,87 ± 0,15	p < 0.001	p = 0.41	p < 0.01	p < 0.05	p < 0.001	p = 0.08
C ₄	34,67 ± 0,14	34,71 ± 0,15	34,74 ± 0,16	35,10 ± 0,12	p = 0.85	p = 0.88	p = 0.09	p = 0.74	p < 0.05	p < 0.05
C ₅	34,03 ± 0,28	33,74 ± 0,32	34,25 ± 0,27	34,78 ± 0,36	p = 0.50	p = 0.22	p = 0.20	p = 0.57	p < 0.05	p = 0.08
C ₆	34,73 ± 0,22	35,18 ± 0,11	35,16 ± 0,14	35,56 ± 0,16	p = 0.07	p = 0.91	p = 0.06	p = 0.10	p < 0.05	p < 0.01
C ₇	34,45 ± 0,19	34,87 ± 0,13	34,79 ± 0,15	35,17 ± 0,17	p = 0.07	p = 0.69	p = 0.09	p = 0.16	p = 0.16	p < 0.01
C ₈	33,60 ± 0,20	33,88 ± 0,25	34,09 ± 0,24	34,58 ± 0,25	p = 0.36	p = 0.55	p = 0.17	p = 0.12	p < 0.05	p < 0.01

Примечание: C₁ – средняя температура левой подключичной области, °C; C₂ – средняя температура правой подключичной области, °C; C₃ – средняя температура лба, °C; C₄ – средняя температура груди, °C; C₅ – средняя температура живота, °C; C₆ – средняя температура верхней части спины, °C; C₇ – средняя температура в районе лопаток, °C; C₈ – средняя температура поясницы, °C.

Note: C₁ – average temperature of the left subclavian region, °C; C₂ – average temperature of the right subclavian region, °C; C₃ – average forehead temperature, °C; C₄ – average breast temperature, °C; C₅ – average abdominal temperature, °C; C₆ – average upper back temperature, °C; C₇ – average temperature in the area of the shoulder blades, °C; C₈ – average lower back temperature, °C.

у юношей 2-го поколения – 0,05 °C, а у молодых людей третьего поколения – 0,12 °C. В самых последних исследованиях [30] указано, что максимальная температура симметрии должна составлять не более 0,25 ± 0,20 °C, что в полной мере соответствует нашим результатам, хотя полученные данные указывают на то, что с увеличением периода проживания на Севере термоасимметрия незначительно возрастает.

Терморегуляторный контроль кровотока кожи человека играет жизненно важное значение для поддержания нормальной температуры организма и обеспечения теплового гомеостаза [17]. Эти процессы автоматизированы и происходят в ответ на изменения в температуре ядра, приводящие к изменениям температуры кожи [31]. С учетом того что перестройки температуры поверхности кожи происходят в первую очередь за счет изменения периферического кровотока и зависят от тонического состояния приповерхностных сосудов [13], большой периферический кровоток обычно приводит к большей периферической потере тепла во внешнюю среду [9]. Увеличение теплоотдачи с поверхности тела может рассматриваться в качестве неблагоприятного фактора, так как свидетельствует об увеличении теплопотерь в условиях холодной окружающей среды [32]. Такие перестройки в тепловизионных паттернах при увеличении проживания в условиях Севера достигаются за счет оптимизации терморегуляторного механизма человеческого организма, а именно в результате вегетативных кожных вазомоторных реакций, проявляющихся в виде притупления сосудосуживающего ответа на холод при хронической холодовой адаптации. Аналогичные перестройки паттерна периферического русла при адаптации к хроническому холодовому воздействию отмечались в работах других исследователей [32–34], в которых форму такой вазомоторной акклиматизации объясняли выраженной сосудосуживающей реакцией, необходимой для улучшения кровоснабжения поверхности кожи, что направлено на предотвращение холодовых травм и поддержание температуры внутренних органов, лежащих глубже мышц [34]. Защитное холодовое расширение сосудов проявляется лишь только у людей, адаптированных

к холоду [9], что объясняется уменьшенной симпатической реакцией на холодовое воздействие, о чем свидетельствует более низкая экскреция норадреналина с мочой у акклиматизированных в сравнении с неакклиматизированными субъектами (по данным исследований, проведенных в канадской Арктике) [35].

Заключение. Выявленные паттерны температурных перестроек в ответ на хроническое холодовое воздействие в ряду от лиц 0-го поколения к группе представителей 3-го поколения отражают изменения морфологии температурной картины кожи, проявляющиеся увеличением средней температуры проанализированных областей и повышением термоасимметрии в подключичных областях. При этом отмечена региональная особенность в формировании теплового портрета для юношей г. Магадана, которая выражается более высокими средними величинами температуры поверхности кожи в сравнении с юношами, проживающими в более оптимальных климатогеографических условиях. Таким образом, результаты исследования подтверждают тот факт, что с увеличением сроков адаптации к условиям Севера человеку характерны компенсаторно-приспособительные механизмы, направленные на уменьшение негативного влияния холодового фактора и которые достигаются за счет оптимизации терморегуляторного механизма и перестройки вегетативных кожных вазомоторных реакций.

Список литературы

1. Ring FJ. Pioneering progress in infrared imaging in medicine. *Quant InfraRed Thermogr J.* 2014;11(1):57–65. doi: 10.1080/17686733.2014.892667
2. Ng EYK. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *Int J Therm Sci.* 2009;48(5):849–859. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015
3. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol Int.* 2000;10(1):7–14. doi: 10.1088/978-0-7503-1143-4ch1
4. Tattersall GJ. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2016;202:78–98. doi: 10.1016/j.cbpa.2016.02.022
5. Chudecka M. Use of thermal imaging in the evaluation of the body surface temperature in various physiological

- states and in patients with different body composition and varying levels of physical activity. *Cent Eur J Sport Sci Med.* 2013;2(2):15–20.
6. Chudecka M, Lubkowska A. Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *J Therm Biol.* 2010;35(8):379–385. doi: 10.1016/j.jtherbio.2010.08.001
 7. Brocas J, Fromageot C. Thermoregulation in homeotherms: central temperature results from optimization of energy transfers. *Biol Cybern.* 1996;74(3):225–234. doi: 10.1007/BF00652223
 8. Bouzida N, Bendada A, Maldague XP. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *J Therm Biol.* 2009;34(3):120–126. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.008
 9. Jessen C. *Temperature Regulation in Humans and Other Mammals.* Berlin: Springer-Verlag, 2001. doi: 10.1007/978-3-642-59461-8
 10. Wenger CB. Human responses to thermal stress. *Technical Note TN. 96-3: US Army Research Institute of Environmental Medicine,* 1996.
 11. Schmidt KL, Mäurer R, Rusch D. Zur Wirkung örtlicher Wärme und Kälteanwendungen auf die Hauttemperatur am Kniegelenk. *Z Rheumatol.* 1979;38(5–6):213–219.
 12. Pocock G, Richards CD. *Human Physiology – the Basis of Medicine.* Oxford: Oxford University Press, 3rd ed., 2006.
 13. Arens E, Zhang H. The skin's role in human thermoregulation and comfort. In: *Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials.* Pan N., Gibson P., eds. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2006:560–602. doi: 10.1533/9781845692261.3.560
 14. Deng ZS, Liu J. Mathematical modeling of temperature mapping over skin surface and its implementation in thermal disease diagnostics. *Comput Biol Med.* 2004;34(6):495–521. doi: 10.1016/S0010-4825(03)00086-6
 15. Garagiola U, Giani E. Thermography: Description, Uses in Sports Medicine. In: *Encyclopedia of Sports Medicine and Science.* Milano, 1991:13.
 16. Иваницкий Г.П. Современное матричное тепловидение в биомедицине // *Успехи физических наук.* 2006. Т. 176. № 12. С. 1293–1320. doi: 10.3367/UFNR.0176.200612d.1293
 17. Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc.* 2003;78(5):603–612. doi: 10.4065/78.5.603
 18. Merla A, Romani GL. Functional infrared imaging in medicine: a quantitative diagnostic approach. In: *Engineering in Medicine and Biology Society: Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE.* 2006;2006:224–7. doi: 10.1109/IEMBS.2006.260267
 19. Allen J, Howell K. Microvascular imaging: techniques and opportunities for clinical physiological measurements. *Physiol Meas.* 2014;35(7):R91–R141. doi: 10.1088/0967-3334/35/7/R91
 20. van den Heuvel CJ, Ferguson SA, Dawson D, Gilbert SS. Comparison of digital infrared thermal imaging (DITI) with contact thermometry: pilot data from a sleep research laboratory. *Physiol Meas.* 2003; 24(3):717–725. doi: 10.1088/0967-3334/24/3/308
 21. Fujimasa I. Pathophysiological expression and analysis of far infrared thermal images. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 1998;17(4):34–42. doi: 10.1109/51.687961
 22. Bouzas Marins JC, Moreira GD, Piñonosa Cano S, et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Phys Technol.* 2014;65:30–35. doi: 10.1016/j.infrared.2014.02.008
 23. Chesterton LS, Foster NF, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(4):543–549. doi: 10.1053/apmr.2002.30926
 24. Dębiec-Bąk A, Skrzek A. The comparison of surface body temperature distribution between men and women by means of thermovision. *Inz. Biomed.* 2012; (18(1)):25–29.
 25. Niu HH, Lui PW, Hu JS, et al. Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Chinese Med J.* 2001;64(8):459–468.
 26. Oerlemans HM, Graff MJ, Dijkstra-Hekkink JB, de Boo T, Goris RJ, Oostendorp RA. Reliability and normal values for measuring the skin temperature of the hand with an infrared tympanic thermometer: a pilot study. *J Hand Ther.* 1999;12(4):284–290. doi: 10.1016/S0894-1130(99)80065-9
 27. Virtanen KA, Lidell ME, Orava J, et al. Functional brown adipose tissue in healthy adults. *N Engl J Med.* 2009; 360(15):1518–1525. doi: 10.1056/NEJMoa0808949
 28. Андреев Р.С., Каленов Ю.Н., Якушкин А.В., Акимов Е.Б., Сонькин В.Д. Возможности инфракрасной термографии по выявлению морфофункциональных характеристик человека (детей и взрослых) // *Вестник Московского университета. Серия XXIII.* 2016. № 3. С. 49–58.
 29. Акимов Е.Б., Сонькин В.Д. Кожная температура и лактатный порог во время мышечной работы у спортсменов // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 5. С. 120–128.
 30. Vardasca R, Ring EFJ, Plassmann P, Jones CD. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermol Int.* 2012; 22(2):53–60.
 31. Brengelmann GL. Body surface temperature: manifestation of complex anatomy and physiology of the cutaneous vasculature. In: *Engineering in Medicine and Biology Society: Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE.* 2000;3:1927–1930. doi: 10.1109/IEMBS.2000.900469
 32. Bittel J. The different types of general cold adaptation in man. *Int J Sports Med.* 1992;13(Suppl 1):S172–S176. doi: 10.1055/s-2007-1024630
 33. Nelms JD, Soper DJ. Cold vasodilatation and cold acclimatization in the hands of British fish filleters. *J Appl Physiol.* 1962;17:444–448. doi: 10.1152/jappl.1962.17.3.444
 34. Hong SK. Pattern of cold adaptation in women divers of Korea (Ama). *Fed Proc.* 1973;32(5):1614–1622.
 35. Radomski MW, Boutelier C. Hormone responses of normal and intermittent cold – preadapted humans to continuous cold. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1982;53(3):610–616. doi: 10.1152/jappl.1982.53.3.610

References

1. Ring FJ. Pioneering progress in infrared imaging in medicine. *Quant InfraRed Thermogr J.* 2014;11(1):57–65. doi: 10.1080/17686733.2014.892667
2. Ng EYK. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *Int J Therm Sci.* 2009;48(5):849–859. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015
3. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol Int.* 2000;10(1):7–14. doi: 10.1088/978-0-7503-1143-4ch1
4. Tattersall GJ. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2016;202:78–98. doi: 10.1016/j.cbpa.2016.02.022
5. Chudecka M. Use of thermal imaging in the evaluation of the body surface temperature in various physiological states and in patients with different body composition and varying levels of physical activity. *Cent Eur J Sport Sci Med.* 2013;2(2):15–20.
6. Chudecka M, Lubkowska A. Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *J Therm Biol.* 2010;35(8):379–385. doi: 10.1016/j.jtherbio.2010.08.001
7. Brocas J, Fromageot C. Thermoregulation in homeotherms: central temperature results from optimization of energy transfers. *Biol Cybern.* 1996;74(3):225–234. doi: 10.1007/BF00652223
8. Bouzida N, Bendada A, Maldague XP. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging.

- J Therm Biol.* 2009;34(3):120–126. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.008
9. Jessen C. *Temperature Regulation in Humans and Other Mammals*. Berlin: Springer-Verlag, 2001. doi: 10.1007/978-3-642-59461-8
 10. Wenger CB. Human responses to thermal stress. Technical Note TN. 96-3: US Army Research Institute of Environmental Medicine, 1996.
 11. Schmidt KL, Mäurer R, Rusch D. Zur Wirkung örtlicher Wärme und Kälteanwendungen auf die Hauttemperatur am Kniegelenk. *Z Rheumatol.* 1979;38(5–6):213–219.
 12. Pocock G, Richards CD. *Human Physiology – the Basis of Medicine*. Oxford: Oxford University Press, 3rd ed., 2006.
 13. Arens E, Zhang H. The skin's role in human thermoregulation and comfort. In: *Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials*. Pan N., Gibson P., eds. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2006:560–602. doi: 10.1533/9781845692261.3.560
 14. Deng ZS, Liu J. Mathematical modeling of temperature mapping over skin surface and its implementation in thermal disease diagnostics. *Comput Biol Med.* 2004;34(6):495–521. doi: 10.1016/S0010-4825(03)00086-6
 15. Garagiola U, Giani E. Thermography: Description, Uses in Sports Medicine. In: *Encyclopedia of Sports Medicine and Science*. Milano, 1991:13.
 16. Ivanickii GR. Modern matrix thermovision in biomedicine. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk.* 2006;49:1263–1288. doi: 10.1070/PU2006v049n12ABEH006163
 17. Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc.* 2003;78(5):603–612. doi: 10.4065/78.5.603
 18. Merla A, Romani GL. Functional infrared imaging in medicine: a quantitative diagnostic approach. In: *Engineering in Medicine and Biology Society: Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE.* 2006;2006:224–227. doi: 10.1109/IEMBS.2006.260267
 19. Allen J, Howell K. Microvascular imaging: techniques and opportunities for clinical physiological measurements. *Physiol Meas.* 2014;35(7):R91–R141. doi: 10.1088/0967-3334/35/7/R91
 20. van den Heuvel CJ, Ferguson SA, Dawson D, Gilbert SS. Comparison of digital infrared thermal imaging (DITI) with contact thermometry: pilot data from a sleep research laboratory. *Physiol Meas.* 2003;24(3):717–725. doi: 10.1088/0967-3334/24/3/308
 21. Fujimasa I. Pathophysiological expression and analysis of far infrared thermal images. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 1998;17(4):34–42. doi: 10.1109/51.687961
 22. Bouzas Marins JC, Moreira GD, Piñonosa Cano S, et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Phys Technol.* 2014;65:30–35. doi: 10.1016/j.infrared.2014.02.008
 23. Chesterton LS, Foster NF, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(4):543–549. doi: 10.1053/apmr.2002.30926
 24. Dębiec-Bąk A, Skrzek A. The comparison of surface body temperature distribution between men and women by means of thermovision. *Inz. Biomed.* 2012; (18(1)):25–29.
 25. Niu HH, Lui PW, Hu JS, et al. Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Chinese Med J.* 2001;64(8):459–468.
 26. Oerlemans HM, Graff MJ, Dijkstra-Hekkink JB, de Boo T, Goris RJ, Oostendorp RA. Reliability and normal values for measuring the skin temperature of the hand with an infrared tympanic thermometer: a pilot study. *J Hand Ther.* 1999;12(4):284–290. doi: 10.1016/S0894-1130(99)80065-9
 27. Virtanen KA, Lidell ME, Orava J, et al. Functional brown adipose tissue in healthy adults. *N Engl J Med.* 2009; 360(15):1518–1525. doi: 10.1056/NEJMoa0808949
 28. Andreev RS, Kalenov YuN, Yakushkin AV, Akimov EB, Son'kin VD. Application of infrared thermography to identifying morphological and functional characteristics of a person (children and adults). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 23: Anthropology.* 2016;(3):49–58.
 29. Akimov EB, Son'kin VD. Skin temperature and lactate threshold during muscle work in athletes. *Fiziologiya Cheloveka.* 2011;37(5):120–128.
 30. Vardasca R, Ring EFJ, Plassmann P, Jones CD. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermol Int.* 2012; 22(2):53–60.
 31. Brengelmann GL. Body surface temperature: manifestation of complex anatomy and physiology of the cutaneous vasculature. In: *Engineering in Medicine and Biology Society: Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE.* 2000;3:1927–1930. doi: 10.1109/IEMBS.2000.900469
 32. Bittel J. The different types of general cold adaptation in man. *Int J Sports Med.* 1992;13(Suppl 1):S172–S176. doi: 10.1055/s-2007-1024630
 33. Nelms JD, Soper DJ. Cold vasodilatation and cold acclimatization in the hands of British fish filleters. *J Appl Physiol.* 1962;17:444–448. doi: 10.1152/jappl.1962.17.3.444
 34. Hong SK. Pattern of cold adaptation in women divers of Korea (Ama). *Fed Proc.* 1973;32(5):1614–1622.
 35. Radomski MW, Boutelier C. Hormone responses of normal and intermittent cold – preadapted humans to continuous cold. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1982;53(3):610–616. doi: 10.1152/jappl.1982.53.3.610

