

ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ХОЛОДОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ У ЖИТЕЛЕЙ ПРИМОРСКОЙ И КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗОН МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. И. В. Аверьянова

ФГБУН Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук
(НИЦ «Арктика» ДВО РАН)

Цель: Изучение перестроек кардиогемодинамики при локальном холодовом воздействии у лиц, проживающих в приморской и континентальной зонах Магаданской области.

Методы: У 124 молодых жителей приморской и 62 континентальной природно-климатических зон проанализированы показатели кардиоритма, гемодинамики в покое и на пике холодовой пробы с помощью прибора «Варикард» и автоматического тонометра.

Результаты: Установлено, что для лиц континентальной зоны проживания в состоянии покоя характерен менее экономичный режим функционирования системы кровообращения с одновременным уменьшением симпатической активности и переходом вегетативного баланса в сторону парасимпатического преобладания, что является региональной особенностью функционального статуса сердечно-сосудистой системы при адаптации к более экстремальным факторам окружающей среды. Такие особенности кардиогемодинамики наблюдались на фоне повышения основного обмена на 17 % у жителей г. Магадана и на 31 % у жителей г. Сусумана. Кратковременное холодовое воздействие у представителей обеих групп вызвало гипертензивную ответную реакцию с более выраженной вазоконстрикторной реакцией у юношей континентальной зоны проживания, что сочеталось со снижением активности парасимпатического звена в регуляции сердечного ритма, тогда как в группе приморской зоны проживания холодовая проба, напротив, приводила к активации парасимпатического звена вегетативной нервной системы.

Вывод: Полученные результаты указывают на то, что согласно современной модели адаптации к холоду у жителей приморской зоны проживания в ответ на воздействие холодового фактора формируется реакция привыкания одновременно с незначительно выраженной метаболической акклиматизацией. Тогда как у молодых жителей континентальной зоны в ответ на воздействие холода формируется изоляционный тип холодовой акклиматизации с достаточной активацией метаболической акклиматизации. Проведенные исследования и сравнительный анализ ответных реакций системы гемодинамики и кардиоритма позволили выявить ряд моментов, свидетельствующих в пользу предположения о формировании различных форм холодовой акклиматизации в зависимости от экстремальности воздействующих факторов окружающей среды

Ключевые слова: юноши, холодовая проба, показатели сердечно-сосудистой системы, кардиоритм, адаптация к холоду

CARDIOHEMODYNAMIC RESPONSE TO LOCAL COLD EXPOSURE AMONG MEN FROM COASTAL- AND INLAND ZONES OF THE MAGADAN REGION

I. V. Averyanova

Scientific Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (SRC "Arktika" FEB RAS)

Aim: To study the changes in cardiodynamics experienced by humans under local cold exposure in coastal- and inland areas of the Magadan region, North-Eastern Russia.

Methods: In total, 124 residents from the coastal area (Magadan) and 62 residents from the inland area (Susuman) took part in the experiment. Parameters of heart rate and hemodynamics at rest and at the peak of a cold test were estimated using "Varicard" device and a tonometer.

Results: At rest the examinees from the continental zone demonstrated a less economical mode of the circulatory system functioning with a simultaneous decrease in sympathetic activity and the transition of the autonomic balance towards parasympathetic predominance. That is considered a regional-related feature of the functional status of the cardiovascular system when adapting to more extreme environmental factors. Such features of cardiohemodynamics could be observed against the background of an increase in basal metabolic rate by 17 % in subjects from Magadan and 31 % in those from Susuman. The short-term cold exposure caused a hypertensive response in both groups. The subjects from the continental area showed a more pronounced vasoconstriction, which was combined with a decrease in the activity of the parasympathetic link in the heart rhythm regulation, while the Magadan subjects demonstrated the opposite reaction to the cold test which led to the activation of the parasympathetic link of the ANS.

Conclusion: The results that the residents of the coastal areas develop the reaction of getting used to the influence of the cold factor, with a slightly pronounced metabolic adaptation. Young residents of the continental zone, in response to the effects of cold, develop an isolation type of cold adaptation with sufficient activation of metabolic adaptation.

Key words: young males, cold test, indicators of the cardiovascular system, heart rate, adaptation to cold

Библиографическая ссылка:

Аверьянова И. В. Ответные реакции кардиогемодинамики при локальном холодовом воздействии у жителей приморской и континентальной зон Магаданской области // Экология человека. 2021. № 10. С. 29–36.

For citing:

Averyanova I. V. Cardiohemodynamic Response to Local Cold Exposure among Men from Coastal- and Inland Zones of the Magadan Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 10, pp. 29-36.

Введение

Изучение различных физиологических перестроек при хроническом воздействии холода заслуживает внимания, так как может дать определенное представление о характере и степени приспособляемости человека к экстремальным условиям окружающей среды [30].

В условиях холода люди поддерживают тепловой баланс за счет поведенческих и физиологических изменений [11]. Хроническое воздействие холода вызывает три различных паттерна физиологических изменений: привыкание, метаболическую акклиматизацию и изоляционную акклиматизацию. Привыкание вызывает ослабление вазоконстрикторной и дрожающей реакции; метаболическая акклиматизация приводит к увеличению метаболического производства тепла, а изоляционные перестройки вызывают усиление вазоконстрикторной реакции на холодовое воздействие. По мнению авторов [31], тип реакции акклиматизации зависит от вида и тяжести хронического холодового воздействия. Тогда как в работе J. W. Castellani, A. J. Young [11] физиологические изменения в ответ на хроническое холодовое воздействие (привыкание, метаболическая акклиматизация и изоляционная акклиматизация) рассматриваются не как различные типы холодовой акклиматизации, а как различные фазы в прогрессивном развитии полной холодовой адаптации.

Для изучения влияния на человека низкотемпературного фактора в физиологических исследованиях широко используются различные варианты локальных холодовых проб, позволяющих по характеру ответа на них со стороны различных функциональных систем оценивать степень адаптивных перестроек [7, 10]. Из литературных данных известно, что умеренное локальное охлаждение приводит к нарастанию характеристик артериального давления крови, ударного объема крови, а также частоты сердечных сокращений, что определяется вазоконстрикторной реакцией сосудов на периферии тела и увеличением симпатической активности вегетативной нервной системы (ВНС) [2]. Изменение характеристик кардиоритма в ответ на возмущающий фактор является универсальной оперативной реакцией целостного организма в ответ на любое воздействие среды и характеризует состояние баланса между тонусом симпатического и парасимпатического отделов [28], позволяющего оценить текущее функциональное состояние организма, а при проведении различных проб — определить его адаптационные резервы [28].

Природно-климатические факторы окружающей среды оказывают существенное влияние на формирование морфофункциональных характеристик человека [29]. Экологические условия районов Северо-Востока России имеют существенные различия и, несомненно, оказывают влияние на функциональное состояние организма. Город Магадан (59° 34' с. ш. 150° 47' в. д.) находится в приморской природно-климатической зоне в умеренном климатическом

поясе, для которого характерно наличие морского и муссонного климата. Средняя температура января находится в пределах -26°C , а средняя температура июля равняется $+13,4^{\circ}\text{C}$. Внутренние районы Магаданской области (г. Сусуман ($62^{\circ} 46' 50''$ ($62^{\circ} 46' 84''$))) характеризуются резко континентальным климатом с очень морозной зимой, тёплым летом и малым количеством осадков. В центральных районах летом наиболее высокая температура июля $+36^{\circ}\text{C}$ при среднемесячной $+15^{\circ}\text{C}$, а зимой нередко опускается до $-50\ldots-57^{\circ}\text{C}$, достигая в отдельные годы -67°C [9].

Исходя из вышесказанного, целью данного исследования явилось изучение перестроек кардиогемодинамики и variability сердечного ритма при локальном холодовом воздействии у лиц, проживающих в приморской и континентальной зонах Магаданской области.

Методы

В исследованиях приняли участие молодые люди в возрасте от 17 лет до 21 года — жители приморской и континентальной природно-климатических зон Магаданской области. Всего было обследовано 186 юношей, из которых 124 — жители приморской зоны (г. Магадан) и 62 — жители континентальной природно-климатической зоны (г. Сусуман).

Записи показателей variability сердечного ритма (BCP) и сердечно-сосудистой системы анализировались в состоянии покоя (сидя). После чего кисть погружалась в емкость с водой температурой 4°C на 4 минуты с одновременным анализом вышеперечисленных характеристик.

Кардиоритм записывался с помощью прибора «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi с учетом методических рекомендаций группы российских [3] и иностранных [27, 28] экспертов в течение 5 минут. В дальнейшем анализировались следующие показатели BCP: мода (M_o , мс) — наиболее часто встречающееся значение R-R интервала; разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов (M_xDM_n , мс); число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов ($pNN50$, мс); квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов ($RMSSD$, мс); стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов ($SDNN$, мс); амплитуда моды при ширине класса 50 мс ($AMo50\%$, мс); индекс напряжения регуляторных систем (SI , усл. ед.); суммарная мощность спектра сердечного ритма (TP , мс^2), мощность спектра высокочастотного компонента BCP в диапазоне 0,4–0,15 гц (дыхательные волны) (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 0,04–0,015 гц (VLF , мс^2). Типы вегетативной регуляции определяли в состоянии покоя на основании значений следующих показателей: M_xDM_n , SI , TP ,

где диапазон эйтонии (нормотония) для МхДМп мы учитывали равным от 200 до 300 мс, для SI — от 70 до 140 усл. ед., для TP — от 1 000 до 2 000 мс² [1, 6]. Если исследуемые показатели МхДМп и TP находились ниже данных диапазонов, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, при повышении величин данного коридора — как ваготонический. Напротив, относительно показателей SI при повышении его значений более 140 усл. ед. (с учетом двух других показателей) вегетативный баланс оценивался как с симпатикотонической направленностью, а при понижении менее 70 усл. ед. — ваготонической. В связи с немногочисленностью в выборке симпатотоников, функциональные показатели юношей данного типа в этой серии исследований не анализировались. В выборку для статистического анализа включались лица с вагонормотоническим типом вегетативной регуляции.

Показатели артериального давления фиксировались автоматическим тонометром «Nessei DS-1862» (Япония) в состоянии покоя (сидя) трехкратно с вычислением средней величины и на пике проведения холодовой пробы. На каждом этапе эксперимента расчётным путём определяли ударный объём по Старру (УОК, мл), минутный объём кровообращения (МОК, мл/мин.), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин² с см⁻⁵) [8].

С использованием портативного газоанализатора производства ООО «НПК «Карбоник» определялось содержание O₂ (%) в выдыхаемом воздухе. Определялись энергозатраты в состоянии покоя в сутки (REE/day, ккал) с помощью метабологафа «Medgraphics VO2000» (США) на основе метода «непрямой калориметрии».

Все обследования проводились в осенний период года в помещении с комфортной температурой 19–21 °С в первой половине дня. Все лица, входящие в выборку, были постоянными жителями области и характеризовались сопоставимыми условиями жизни, учитывая одинаковый режим двигательной активности в соответствии с учебным планом образовательного учреждения. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен комиссией по

биоэтике ФГБУН ИБПС ДВО РАН (№ 001/019 от 29.03.2019 г.). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Обработка данных. Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ «Statistica 7.0». Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро — Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей, а параметрических как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилкоксона для выборок с распределением, отличающимся от нормального. При сравнении несвязанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна — Уитни для выборок с распределением, отличающимся от нормального. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0.05; 0.01; 0.001 [4].

Результаты

В табл. 1 представлены основные характеристики сердечно-сосудистой системы, из данных ее видно, что юноши континентальной зоны проживания в состоянии покоя характеризуются статистически значимо более высокими показателями диастолического артериального давления, частоты сердечных сокращения на фоне значимо более низких величин ударного объема крови. В ответ на локальное холодовое воздействие отмечен сходный паттерн перестроек системы гемодинамики у юношей обеих групп, проявляющийся увеличением САД, ДАД, ОПСС с различной степенью выраженности, что обусловило помимо фоновых межгрупповых различий (ДАД, ЧСС, УО) более высокие показатели ОПСС в группе приморской зоны проживания после пробы.

Таблица 1

Показатели сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя и при проведении холодовой пробы у жителей приморской (г. Магадан) и континентальной (г. Сусуман) природно-климатических зон

Изучаемый показатель	Приморская зона проживания (г. Магадан)		Значимость различий фон — проба у юношей Магадана	Континентальная зона проживания (г. Сусуман)		Значимость различий фон — проба у юношей Сусумана	Значимость различий фон юноши Магадана — фон юноши Сусумана	Значимость различий проба юноши Магадана — проба юноши Сусумана
	Фон	Холодовая проба		Фон	Холодовая проба			
САД, мм рт. ст.	126,1±1,2	135,2±1,6	<0.001	125,7±1,2	131,7±2,2	<0.001	0.38	0.19
ДАД, мм рт. ст.	71,0±0,9	76,1±1,1	<0.001	76,2±1,5	80,9±1,7	0.009	0.005	0.006
ЧСС, уд/мин	67,9±1,0	69,4±1,0	0.15	73,6±1,2	72,2±1,0	0.23	<0.001	0.03
УОК, мл	74,7±1,2	73,4±1,3	0.23	69,7±1,7	67,5±1,8	0.18	0.004	0.006
МОК, мл/мин	5035,3±100,8	5034,5±110,5	0.37	5102,6±117,2	4899,3±110,8	0.19	0.70	0.17
ОПСС, дин ² с см ⁻⁵	1507,4±39,6	1622,5±35,7	<0.05	1578,2±51,8	1794,8±56,7	0.007	0.99	0.04

Таблица 2

Показатели вариабельности сердечного ритма в состоянии покоя и при проведении холодовой пробы у жителей приморской (г. Магадан) и континентальной (г. Сусуман) природно-климатических зон

Изучаемый показатель	Приморская зона проживания (г. Магадан)		Значимость различий фон — проба у юношей Магадана	Континентальная зона проживания (г. Сусуман)		Значимость различий фон — проба у юношей Сусумана	Значимость различий фон юноши Магадана — фон юноши Сусумана	Значимость различий проба юноши Магадана — проба юноши Сусумана
	Фон	Холодовая проба		Фон	Холодовая проба			
MxDMn, мс	324,5 (268,5; 388,3)	342,0 (299,0; 423,0)	<0.01	372,0 (282,9; 447,5)	347,0 (248,3; 459,75)	0.76	0.03	0.78
RMSSD, мс	52,2 (37,5; 69,6)	50,0 (40,2; 65,8)	0.30	56,2 (38,2; 72,0)	46,3 (38,0; 63,9)	0.04	0.56	0.50
pNN50, %	32,6 (14,1; 46,4)	26,8 (15,5; 41,0)	<0.05	30,5 (21,0; 45,1)	23,8 (10,5; 37,7)	0.03	0.80	0.33
SDNN, мс	63,1 (49,9; 75,5)	70,4 (59,0; 85,4)	<0.01	69,3 (55,8; 94,2)	68,3 (51,5; 94,8)	0.79	0.04	0.71
Mo, мс	851,0 (748,8; 954,0)	827,0 (743,0; 937,0)	<0.05	777,2 (722,4; 874,5)	769,5 (688,8; 829,3)	0.15	0.02	0.03
AMo50, мс	32,0 (25,9; 41,6)	29,5 (24,9; 37,4)	0.09	30,6 (26,0; 36,6)	30,2 (21,8; 40,4)	0.87	0.12	0.89
SI, усл. ед.	60,1 (38,2; 89,3)	48,6 (31,7; 76,1)	<0.01	53,2 (35,0; 78,2)	59,6 (26,1; 109,5)	0.54	0.53	0.04
TP, мс ²	3140,9 (2307,5; 4052,1)	3656,8 (2351,3; 4755,9)	<0.05	3548,4 (2417,0; 4616,0)	3372,3 (2102,8; 5553,6)	0.61	0.02	0.02
HF, мс ²	1067,7 (617,0; 1971,9)	1019,0 (711,7; 1651,1)	0.83	1562,4 (1032,6; 2105,0)	938,4 (620,9; 1344,0)	0.02	0.04	0.35
LF, мс ²	1139,8 (710,2; 1529,1)	1346,5 (900,2; 1804,0)	<0.05	1214,1 (809,0; 1881,8)	1550,3 (981,4; 2338,3)	0.03	0.30	0.02
VLF, мс ²	575,9 (378,9; 797,5)	634,2 (388,6; 1049,7)	0.11	519 (354; 771,9)	612,2 (397,7; 1080,6)	0.04	0.12	0.24
LF/HF, усл. ед.	1,1 (0,6; 1,8)	1,3 (0,8; 1,7)	0.11	1,0 (0,6; 1,2)	1,7 (1,1; 2,3)	<0.001	0.34	0.04
IC, усл. ед.	1,6 (1,0; 2,8)	2,0 (1,2; 2,6)	<0.05	1,4 (0,9; 1,8)	2,2 (1,7; 3,4)	<0.001	0.14	0.03

В табл. 2 отражены показатели ВСР у юношей обеих природно-климатических зон проживания в состоянии покоя и после проведения холодовой пробы. В группе юношей континентальной зоны проживания в состоянии покоя были зафиксированы статистически значимо более высокие показатели MxDMn, SDNN, TP, HF, что отражает выраженное преобладание парасимпатической активности в регуляции ВНС. После проведения холодового теста значимые межгрупповые отличия наблюдались относительно показателей Mo, SI, TP, LF и LF/HF, IC за счет различной ответной динамики этих показателей. Так, в группе жителей Магадана в ответ на пробу было отмечено снижение SI и TP, чего не наблюдалось в группе из Сусумана. При этом в группе юношей Сусумана в ответ на холодовую пробу было выявлено более выраженное увеличение LF, LF/HF, IC, что обусловило значимые различия после локального холодового воздействия.

Обсуждение результатов

Как показывают результаты исследования (см. табл. 1), у юношей из Сусумана в состоянии покоя отмечались статистически значимо более высокие показатели ДАД и ЧСС на фоне низких величин УО крови, что может отражать региональные особенности

функционирования системы кровообращения, а также может рассматриваться как менее эффективный режим функционирования сердечно-сосудистой системы в ответ на экстремальные факторы окружающей среды континентальной зоны проживания.

Кратковременное холодовое воздействие у представителей обеих групп вызвало значимое увеличение САД и ДАД, а также ОПСС на фоне отсутствия значимой динамики относительно ЧСС, УОК, МОК. При этом повышение ОПСС имело более выраженный характер в группе континентальной зоны проживания, что отражает значительную вазоконстрикторную реакцию по сравнению с юношами Магадана. Судя по данным ряда исследователей [11], увеличение вазоконстрикторной реакции на холодовое воздействие направлено на замедление теплопотерь организма, а также на сохранение температуры ядра тела за счет снижения температуры периферических тканей.

Проанализированный паттерн характеристик кардиоритма в состоянии покоя указывает на выраженное преобладание парасимпатического отдела ВНС у юношей из Сусумана, о чем свидетельствуют статистически значимо более высокие показатели MxDMn, SDNN, TP, HF. Полученные нами данные согласуются с наблюдениями других авторов в которых указывается на то, что регулярное воздействие

холода приводит к ослаблению симпатического тонуса и постепенному сдвигу вегетативного равновесия к преобладанию парасимпатического отдела ВНС, что, вероятно, является причиной повышенной толерантности к холоду [25, 26] и, в свою очередь, направлено на профилактику холодовых травм [21, 23].

Перестройки показателей ВСР на холодовую пробу имели выраженные различия у обследуемых обеих групп. На рост активности парасимпатического отдела ВНС в группе приморской зоны проживания указывало статистически значимое снижение SI при одновременном увеличении MxDMn, SDNN. Необходимо отметить, что «вагальный тормоз» необходим для того, чтобы организм мог эффективно отвечать возмущающим факторам окружающей среды, ввиду чего вагусный контроль сердца, проявляющийся в перестройках показателей ВСР, не только отражает автономную и приспособительную «гибкость», но и свидетельствует о соматорегуляторных возможностях организма в целом [28]. Такие перестройки наблюдались на фоне увеличения TP лишь за счет возрастания низкочастотной составляющей спектра, которое наблюдалось при одновременном снижении Mo, что свидетельствует о некоторой активации и симпатического отдела ВНС в ответ на холодовую пробу, но с меньшей ее выраженностью.

Динамика показателей кардиоритма и основных показателей сердечно-сосудистой системы в ответ на холодовую пробу в группе юношей, проживающих в приморской природно-климатической зоне, согласуется со стадией привыкания сосудосуживающих реакций на холод [22]. Физиологические механизмы, лежащие в основе притупления вазоконстрикторных реакций на холод, четко не определены, но некоторые исследования свидетельствуют о том, что после хронического или повторного воздействия холода привыкание сопровождается снижением симпатической нервной активации и усилением парасимпатической активации во время воздействия холода [14, 20]. Например, J. Leppaluoto с соавторами [18] показали, что после 11 дней воздействия холодным воздухом реакция норадреналина на холод была снижена на 20 %. Аналогичные перестройки отмечены и в исследованиях T. R. A. Davis и J. LeBlanc [12, 17], где у жителей умеренных регионов повторное воздействие холода вызывало постепенное уменьшение симпатической ответной реакции и сопутствующее усиление парасимпатической активации при воздействии локального охлаждения (руки).

В группе юношей континентальной зоны проживания аналогичных изменений после проведения пробы выявлено не было, напротив, в ответ на холодовое воздействие у них отмечалось значимое снижение RMSSD (на 17 %) и HF-составляющей ритма сердца (на 27 %), что указывает на снижение парасимпатической активности в ответ на пробу. В соответствии с основополагающими положениями теории акцентированного симпатико-парасимпати-

ческого антагонизма [19] значительное снижение парасимпатической активности после проведения холодового теста направлено на обеспечение определенного уровня симпатической активации, что проявляется значимым увеличением LF, VLF, LF/HF и IC, основной функцией которой является поддержание оптимального уровня кровообращения. Необходимо подчеркнуть, что в группе юношей из Сусумана в ответ на холодовую пробу была выявлена более выраженная ответная реакция низкочастотной составляющей спектра (на 27 % против 18 в группе из Магадана), что было отмечено на фоне большего увеличения ОПСС.

Полученные результаты позволяют заключить, что наблюдаемые перестройки показателей сердечно-сосудистой системы у юношей Сусумана согласуются с формированием изоляционного типа холодовой акклиматизации, о чем свидетельствует развитие выраженной кожной вазоконстрикторной реакции на холод. Последующие исследования эффектов длительных ежедневных погружений в холодную воду, повторяющихся в течение нескольких недель, дают аналогичные результаты, подтверждающие развитие усиленных сосудосуживающих реакций на холод в суровых условиях воздействия [15, 16].

В работе S. R. Muza с соавторами [24] при изоляционной холодовой акклиматизации при ответной реакции на воздействие холода был отмечен незначительный прирост артериального давления при неизменном сердечном выбросе (МОК), что в полной мере согласуется с нашими исследованиями. По мнению авторов, притупление реакции системного давления на холод, несмотря на выраженную кожную вазоконстрикцию, указывает на то, что система подкожной микроциркуляции лучше перфузирована после холодовой акклиматизации [24]. Данное положение находит свое подтверждение при анализе результатов газоанализа в состоянии покоя у юношей континентальной зоны проживания, средние значения которых относительно концентрации O_2 в выдыхаемом воздухе равнялись ($15,8 \pm 0,1$) %, а в группе жителей приморской зоны ($16,5 \pm 0,1$) %, что является следствием более эффективного потребления кислорода тканями.

Необходимо подчеркнуть, что в соответствии с моделью холодовой адаптации A. J. Young [30], выделяющей метаболическую акклиматизацию как отдельную стадию адаптации к холоду, при хроническом воздействии холодового фактора происходит увеличение метаболического производства тепла в состоянии покоя. Было показано, что жители циркумполярных регионов поддерживают более высокие метаболические показатели покоя, чем жители умеренного климата, что позволяет им поддерживать более высокую температуру кожи во время холодового воздействия [30]. Данные положения находят подтверждение и в нашем исследовании, так, для юношей приморской зоны проживания были характерны достаточно высо-

кие показатели основного обмена, средние величины которого составили ($2\,145,0 \pm 59,5$) ккал/сутки, что превышает должные показатели для этой возрастной группы на 17 %. В группе юношей из Сусумана показатель суточных энергозатрат в состоянии покоя был равен ($2\,344,2 \pm 63,6$) ккал/сутки, что соответствует 131 % от возрастной нормы. Исходя из результатов наших исследований, можно предположить, что для юношей обеих групп характерна и метаболическая акклиматизация к холоду, которая в большей степени выражена у молодых жителей континентальной зоны проживания.

Вывод

Таким образом, юноши континентальной зоны проживания (г. Сусуман) в состоянии покоя характеризовались статистически значимо более высокими показателями ДАД и ЧСС на фоне низких величин УО крови, что отражает менее экономичный и менее эффективный режим функционирования системы кровообращения и, по-видимому, является региональной особенностью функционального статуса сердечно-сосудистой системы при адаптации к экстремальным факторам окружающей среды. Анализ фоновых величин показателей ВСР в группе жителей континентальной зоны проживания свидетельствует об уменьшении симпатической активности и переходе вегетативного баланса в сторону парасимпатического преобладания в регуляции сердечно-сосудистой системы, что, как считают авторы, свидетельствует о повышенной холодоустойчивости [13, 25, 26].

В ответ на проведение холодовой пробы отмечен практически схожий гемодинамический паттерн у юношей как приморской, так и континентальной зоны проживания, за исключением более выраженного увеличения ОПСС у юношей Сусумана, что сочеталось со снижением активности парасимпатического звена в регуляции сердечного ритма, тогда как в группе приморской зоны проживания холодовое воздействие, напротив, приводило к активации парасимпатического звена ВНС.

Проведенные нами исследования и сравнительный анализ ответных реакций системы гемодинамики и кардиоритма позволили нам выявить ряд моментов, свидетельствующих в пользу предположения о формировании различных форм холодовой акклиматизации в зависимости от экстремальности воздействующих факторов окружающей среды. Это, в частности, согласуется с теоретической моделью холодовой адаптации, предложенной А. J. Young [31], которая объясняет закономерности физиологических реакций, развивающихся при холодовой акклиматизации, что, в свою очередь, определяется специфическим характером холодового воздействия и связанным с ним физиологическим напряжением, а также объясняется различной реакцией организма на холодовую пробу. Необходимо отметить, что центральная предпосылка данной модели заключается в том, что ключевым и определяющим фактором для

развития привыкания, метаболической акклиматизации или изоляционной акклиматизации является степень, в которой холодовое воздействие приводит к значительным потерям тепла тела [30]. Исходя из чего повторные короткие холодовые воздействия, охватывающие только ограниченные части тела и приводящие к незначительным потерям тепла всего тела, будут способствовать развитию привыкания, что в наших исследованиях было характерно для молодых жителей приморской зоны проживания, климатические условия которой характеризуются не столь выраженной экстремальностью. Об этом свидетельствуют, с одной стороны, значимая активация парасимпатического звена в ответ на холодовое воздействие, а с другой — незначительное повышение ОПСС.

В то же время, исходя из основ модели холодовой адаптации, повторные холодовые воздействия, которые являются продолжительными и достаточно сильными, будут способствовать развитию изоляционной терморегуляторной акклиматизации, для которой характерна выраженная вазоконстрикторная реактивность микрососудистого русла в ответ на холодовую пробу с одновременной эффективной перфузированнойностью, что характерно для юношей — жителей континентальной природно-климатической зоны.

Также следует отметить, что представленные нами данные о повышении показателей основного обмена у юношей обеих групп могут отражать формирование метаболической акклиматизации к холоду, в большей степени выраженной у представителей континентальной зоны проживания.

С учетом вышеизложенного можно предположить, что у жителей более благоприятных природно-климатических условий (приморская зона проживания) в ответ на воздействие холодового фактора формируется реакция привыкания одновременно с незначительно выраженной метаболической акклиматизацией. Тогда как для молодых жителей континентальной зоны проживания, характеризующейся суровыми климатическими условиями, в ответ на хроническое экстремальное воздействие холода формируется изоляционный тип холодовой акклиматизации с достаточной активацией метаболической акклиматизации.

Бюджетное финансирование НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках выполнения темы «Исследование физиологических механизмов перекрестных адаптаций (гипоксия, холод, гиперкапния) и их следовых реакций у человека в целях отбора и прогноза его работоспособности в экстремальных природно-климатических и техногенных условиях окружающей среды».

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Аверьянова Инесса Владиславовна — ORCID 0000-0002-4511-6782; SPIN 9402-0363

Список литературы / References

1. Аверьянова И. В. Особенности перестроек кардиогемодинамики и газообмена в ответ на пробу с ререспирацией у юношей при различных сроках адаптации к условиям Северо-Востока России // *Экология человека*. 2019. № 9. С. 41–50. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-41-49
Averyanova I. V. Special aspects of cardiac hemodynamic changes and ventilation in response to rebreathing test in young males having different terms of adaptation to Russia's Northeast conditions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019, 9, pp. 41-50. [In Russian]. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-41-49
2. Агаджанян Н. А., Петрова П. Г. Человек в условиях Севера. М.: КРУК, 1996. 207 с.
Agadzhanjan N. A., Petrova P. G. *Chelovek v usloviyakh Severa* [Man in the North]. Moscow, 1996, 207 p.
3. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии*. 2001. Т. 24. С. 65–83.
Baevskiy R. M., Ivanov G. G., Chireykin L. V. et al. Analysis of heart rate variability when using different electrocardiographic systems (methodical recommendations). *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology]. 2001, 24, pp. 65-83. [In Russian]
4. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
Borovikov V. *Statistica. The art of analyzing data on a computer: for professionals*. Saint Petersburg, Piter Publ., 2003, 688 p. [In Russian]
5. Комплекс для анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард». Рязань: ЮИМН, 2005. 45 с.
The "Varicard" complex unit for heart rate variability analysis. Ryazan, 2005, 45 p. [In Russian]
6. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Информативность показателей кардиогемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивостью // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2014. № 2. С. 90–95.
Maximov A. L., Averyanova I. V. Informative value of cardiohemodynamics and heart rate variability indices observed in young males with different levels of hypoxia-hypercapnia resistance. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal* [Ulyanovsk medico-biological journal]. 2014, 2, pp. 90-95. [In Russian]
7. Максимов А. Л., Рыженков А. А. Тепловизионная оценка периферических сосудистых реакций при локальном холодом воздействии у лиц с различной гипоксической устойчивостью // *Физиология человека*. 1999. Т. 25, № 1. С. 109–114.
Maksimov A. L., Ryzhenkov A. A. A thermovision rating of peripheral vascular reactions at local influence of cold at persons with various hypoxemic balance. *Fiziologiya cheloveka*. 1999, 25 (1), p. 109. [In Russian]
8. Юр'ев В. В., Симаходский А. С., Воронович Н. Н., Хомич М. М. Рост и развитие ребенка. СПб.: Питер, 2007. 272 с.
Yur'ev V. V., Simakhodskiy A. S., Voronovich N. N., Khomich M. M. *Rost i razvitie rebenka* [Growth and developments of a child]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2007, 272 p. [In Russian]
9. Якубович И. А. Геоэкологические особенности Магаданской области. Магадан: Кордис, 2002. С. 12–15.
Jakubovich I. A. *Geojekologicheskie osobennosti*

Magadanskoj oblasti [Geoeological features of the Magadan region]. Magadan, Kordis Publ., 2002, pp. 12-15.

10. Bachmann P., Zhang X., Larra M. F., Rebeck D. Validation of an automated bilateral feet cold pressor test. *International Journal of Psychophysiology*. 2018, 124, pp. 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.10.013>

11. Castellani J. W., Young A. J. Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. 2016, 196, pp. 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.009>

12. Davis T. R. A. Chamber cold acclimatization in man. *J Appl Physiol*. 1961, 16, pp. 1011-1015. <https://doi.org/10.1152/jappl.1961.16.6.1011>

13. Farrace S., Ferrara M., De Anglis C et al. Reduced sympathetic outflow and adrenal secretory activity during a 40-day stay in Antarctica. *Int J Psychophysiol*. 2003, 49, pp. 17-27. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(03\)00074-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(03)00074-6)

14. Harinath K., Malhotra A. S., Pal K. et al. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med*. 2005, 16, pp. 81-91. <https://doi.org/10.1580/pr30-04.1>

15. Jansky L., Janakova H., Ulicny B. et al. Changes in thermal homeostasis in humans due to repeated cold water immersions/ *Pflugers Arch*. 1996, 432, pp. 368-372. <https://doi.org/10.1007/s004240050146>

16. Jansky, L., Sramek, P., Savlikova, J. et al. Change in sympathetic activity, cardiovascular functions and plasma hormone concentrations due to cold water immersion in men. *Eur. J. Appl. Physiol*. 1996, 74, pp. 148-152. <https://doi.org/10.1007/bf00376507>

17. LeBlanc J., Dulac S., Cote J., Girard B. Autonomic nervous system and adaptation to cold in man. *J Appl Physiol*. 1975, 39, pp. 181-186. <https://doi.org/10.1152/jappl.1975.39.2.181>

18. Leppälüoto J., Korhonen I., Hassi J. Habituation of thermal sensations, skin temperatures, and norepinephrine in men exposed to cold air. *J. Appl. Physiol*. 2001, 90, pp. 1211-1218. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1211>

19. Levy M. N. Neural control of cardiac function. *Baillieres Clin. Neurol*. 1997, 6, pp. 227-244. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3855-0_4

20. Makinen T. M., Mantysaari M., Paakkonen T. et al. Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation. *Aviat. Space Environ Med*. 2008, 79, pp. 875-882. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2235.2008>

21. Malhotra M. S., Selvamurthy W., Purkayastha S. S. et al. Responses of autonomic nervous system during acclimatization to high altitude in man. *Aviat Space Environ Med*. 1976, 11, pp. 130-132. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2668.2010>

22. Marino F., Sockler J., Fry J. Thermoregulatory, metabolic and sympathoadrenal responses to repeated brief exposure to cold. *Scand. J. Clin. Lab. Invest*. 1998, 58, pp. 537-546. <https://doi.org/10.1080/00365519850186157>

23. Mathew L., Purkayastha S. S., Selvamurthy W., Malhotra M. S. Cold-induced vasodilatation and peripheral blood flow under local cold stress in man at altitude. *Aviat Space Environ Med*. 1977, 48, pp. 497-500. <https://doi.org/10.2170/jphysiol.42.877>

24. Muza S. R., Young A. J., Bogart J. E., Pandolf K. B. Respiratory and cardiovascular responses to cold stress following repeated cold water immersion. *Undersea Biomed. Res*. 1988, 15, pp. 165-178. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.5.1542>

25. Purkayastha S. S., Majumdar D., Selvamurthy W. Cold acclimatization of tropical men during short and long term sojourn to polar environment. *Def Sci J.* 1997, 47, pp. 149-158. <https://doi.org/10.14429/dsj.47.3987>
26. Purkayastha S. S., Selvamurthy W., Illavazhagan G. Peripheral vascular response to local cold stress of tropical men during sojourn in the Arctic cold region. *Jpn J Physiol.* 1993, 42, pp. 877-889. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.42.877>
27. Ravenswaaij-Arts C. M., Klee L. A., Hopman J. C. M. et al. Heart rate variability. *Ann Intern Med.* 1993, 118, pp. 436-446. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-118-6-199303150-00008>
28. Sassi R., Cerutti S., Lombardi F. et al. Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Ep Europace.* 2015, 17, pp. 1341-1353 <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
29. Snodgrass J. J. Health of Indigenous Circumpolar Populations. *Journal Article published.* 2013, 42 (1), pp. 69-87. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-092412-155517>
30. Young A. J. Homeostatic responses to prolonged cold exposure: human cold acclimatization. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology. American Physiological Society.* Bethesda; MD, 1996, pp. 419-438. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp040119>
31. Young A. J., Lee D. T. Aging and human cold tolerance. *Exp. Aging Res.* 1997, 23, 45-67. <https://doi.org/10.1080/03610739708254026>

Контактная информация:

Аверьянова Инесса Владиславовна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории физиологии экстремальных состояний ФГБУН Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 685000, г. Магадан, пр. Карла Маркса д. 24

E-mail: Inessa1382@mail.ru