

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ, ГАЗООБМЕНА И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ КАРДИОРИТМА У ЮНОШЕЙ-ЕВРОПЕОИДОВ В ПРОЦЕССЕ РЕРЕСПИРАЦИИ. СООБЩЕНИЕ 2

© 2021 г. ^{1,2}А. Л. Максимов, ¹И. В. Аверьянова

¹ФГБУН «Научно-исследовательский центр “Арктика” Дальневосточного отделения РАН», г. Магадан;

²ФГБУН «Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН», г. Сыктывкар

Введение. Исследование физиологических механизмов обеспечения устойчивости человека к комплексному воздействию на организм экстремальных факторов является важной фундаментальной и прикладной задачей, решение которой все более актуально с учетом возобновления активного освоения приполярных и арктических регионов.

Цель: оценить перестройки характеристик гемодинамики и кардиоритма, а также корреляционных взаимосвязей в процессе выполнения ререспирации для анализа уровня аллостатической нагрузки на организм молодых жителей различных климатических зон Магаданской области.

Методы: изучены показатели гемодинамики, газообмена и вариабельности сердечного ритма в ответ на ререспирацию у юношей (n = 271) с различной гипоксически-гиперкапнической устойчивостью – постоянных жителей различных климатических зон с помощью прибора «Варикард», тонометра и газоанализатора «НПК «Карбоник» методом случайной выборки в рамках одномоментного (поперечного) исследования.

Результаты. На основе разницы в уровнях содержания кислорода в состоянии покоя и при ререспирации, а также с учетом значений коэффициентов корреляции и структуры взаимосвязей в плеядах предложена эмпирическая формула расчета уровня аллостатической адаптационной нагрузки (АН) на организм молодых уроженцев-европеоидов Северо-Востока России. Для высокоустойчивых магаданцев значение АН составило 20,2 усл. ед., а для низкоустойчивых – 55,8 усл. ед., для высокоустойчивых сусуманцев этот же показатель был равен 26,5 усл. ед., а для низкоустойчивых – 55,9 усл. ед.

Заключение. Показано, что для юношей континентальной зоны с высокой гипоксически-гиперкапнической устойчивостью АН была больше, чем у приморцев, на 6 усл. ед., что обусловлено более экстремальными природно-климатическими условиями. Для лиц с низкой гипоксически-гиперкапнической устойчивостью этот показатель оказался в 2 раза выше, чем у высокоустойчивых, с отсутствием различий в однотипных группах магаданцев и сусуманцев по величине абсолютных значений аллостатической нагрузки. Установлено, что разработанный подход на основе перестроек показателей гемодинамики, кардиоритма и газоанализа, а также с учетом корреляционных межсистемных плеяд может оказаться достаточно универсальным для количественной оценки степени негативного влияния природно-климатических и техногенных факторов на организм человека в процессе его адаптации в экстремальных условиях окружающей среды.

Ключевые слова: юноши, Северо-Восток России, ререспирация, сердечно-сосудистая система, газоанализ, вариабельность сердечного ритма, корреляционный анализ

CHANGES IN HEMODYNAMICS, GAS EXCHANGE AND HEART RATE VARIABILITY AMONG YOUNG CAUCASIAN MEN UNDER RE-BREATHING: PART 2

^{1,2}A. L. Maksimov, ¹I. V. Averyanova

¹Scientific Research Center “Arktika”, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan;

²Institute of Physiology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktывkar, Russia

Introduction: Studying physiological mechanisms of resistance to the effects of extreme environmental factors on the human body is on the top of research agenda related to active development of the Arctic regions of Russia.

Aim: To assess changes in hemodynamics, gas exchange and heart rate variability during re-breathing among young men from the continental and coastal areas of North-Eastern Russia.

Methods: In total, 271 young men aged 17-21 years with different resistance to hypoxic-hypercapnic exposure and who are permanent residents of the continental (Susuman) and coastal (Magadan) zones of the Magadan region participated in a cross-sectional study. Physiological parameters were estimated using “VARICARD” device, tonometer and “NPK Carbonic” gas analyzer.

Results: We present the difference in oxygen levels at rest and during re-breathing taking into account correlations in the clusters. This analysis allowed us to propose an empirical formula for calculating the degree of allostatic adaptive load (AL) experienced by the body of a young male Caucasian born in the Far North-East of Russia. Residents of Magadan had AL values of 20.2 and 55.8 units for high- low resistant individuals, respectively. The corresponding values for Susuman residents were 26.5 and 55.9 units.

Conclusion: Greater values of AL for high resistant residents of the continental area compared to the residents of the coastal zone may be explained by climatic factors. In addition, low resistant continental residents have AL twice as high their high resistant counterparts. As for low resistant subjects, no difference was observed in the AL values across the areas. Our approach with readjustments in hemodynamic, heart rate and gas analysis as well as with the structures of correlations in the intersystem clusters can provide quantitative assessment of the severity of climatic effects in the process of adaptation of humans to environmental extremes.

Key words: young men, North-Eastern Russia, re-breathing, cardiovascular system, gas analysis, heart rate variability

Библиографическая ссылка:

Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Изменение показателей гемодинамики, газообмена и вариабельности кардиоритма у юношей-европеоидов в процессе ререспирации. Сообщение 2 // Экология человека. 2021. № 2. С. 34–46.

For citing:

Maksimov A. L., Averyanova I. V. Changes in Hemodynamics, Gas Exchange and Heart Rate Variability among Young Caucasian Men under Re-Breathing: Part 2. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 2, pp. 34-46.

Механизмы долговременной адаптации и производственной деятельности человека в условиях Севера в значительной степени связаны с комплексным воздействием на организм целого ряда неблагоприятных условий, где действие низких температур сочетается с перепадами атмосферного давления, нарушениями световой периодики, выраженными электромагнитными флюктуациями и рядом других негативных природно-климатических и техногенных факторов [3, 16]. При этом на клеточном и тканевом уровнях формируются процессы оксидативного стресса, гипоксические состояния и развивается синдром полярного напряжения, в изучение которого был внесен большой вклад сибирскими физиологами [10].

Исследование физиологических механизмов обеспечения устойчивости человека к комплексному воздействию на организм экстремальных факторов и его отбора для жизнедеятельности в особых условиях окружающей среды является важной фундаментальной и прикладной задачей, решение которой все более актуально с учетом возобновления активного освоения приполярных и арктических регионов. В настоящее время имеются многочисленные исследования по оценке устойчивости человека к холоду как ведущему экстремальному фактору в условиях Севера [6, 7, 35] и отбору на этой основе лиц для работы в высоких широтах. Однако наряду с холодовым фактором необходимо учитывать устойчивость организма к действию гипоксии и гиперкапнии, состояния которых развиваются в процессе длительного проживания человека в арктических условиях и в значительной степени формируют синдром полярного напряжения и северной одышки [8, 18]. В этом аспекте изучение аллостатической нагрузки при адаптации человека на Севере и возможности типизации его организма по устойчивости к сочетанному гипоксически-гиперкапническому воздействию остается весьма актуальной проблемой в физиологии и экологии человека.

Отметим, что воздействие на человека гипоксии и гиперкапнии наряду с негативными проявлениями способствует развитию адаптационных реакций, направленных на формирование неспецифической резистентности организма к целому комплексу экстремальных условий окружающей среды [1].

В этой связи даже кратковременная процедура дыхания в замкнутом пространстве без поглощения углекислого газа (ререспирация) будет выступать фактором необходимости подключения организмом своих резервов для поддержания метаболических и гомеостатических процессов на фоне нарастаю-

щего недостатка кислорода и увеличения уровня углекислого газа, а также может быть использована для индивидуальной оценки устойчивости человека и его отбора для жизнедеятельности в экстремальных природно-климатических условиях [11, 12]. Естественно, что выраженное и даже кратковременное сочетанное воздействие на человека гипоксии с гиперкапнией должно отражаться в перестройках системных механизмов кардиогемодинамики, газообмена и состоянии вегетативной нервной системы (ВНС), что может проявляться в особенностях математических показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР). При этом известно, что характеристики ВСР количественно отражают изменения взаимодействия трех регулирующих сердечный ритм факторов: рефлекторного симпатического, рефлекторного парасимпатического и гуморально-метаболически-медиаторного. Изменение структуры кардиоритма в ответ на возмущающий фактор является универсальной оперативной реакцией целостного организма в ответ на любое эндогенное и экзогенное воздействие среды и характеризует состояние баланса между тонусом симпатического и парасимпатического отделов [4, 29, 32]. При этом показано, что анализ ВСР в покое позволяет количественно оценить текущее функциональное состояние организма, а при проведении функциональных проб — определить его адаптационные резервы [9, 24].

Поэтому целью нашего исследования явилось изучение возможности использования кратковременной пробы с дыханием в замкнутом пространстве без поглощения углекислого газа для оценки устойчивости человека к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии и возможности определения аллостатической нагрузки на организм молодых жителей различных климатических зон Магаданской области на основе корреляционных перестроек взаимосвязей показателей газообмена, характеристик гемодинамики и вариабельности кардиоритма в процессе выполнения им стандартной пробы с ререспирацией. Предполагалось, что у европеоидов-уроженцев Севера степень аллостатической нагрузки определяется экстремальностью воздействия на их организм природно-климатических факторов и величиной функциональных резервов, определяемых как разница в показателях сердечно-сосудистой системы, газообмена и ВСР в процессе выполнения нагрузочной пробы с ререспирацией относительно фоновых величин. При этом мы придерживались того, что теория аллостаза описывает способность организма к адаптации, обеспечивающей на адекватном или даже оптимальном уровне его

жизнедеятельность, и может определять физиологическую норму реакции функциональных систем при воздействии экзогенных факторов окружающей среды [28, 31]. Отметим, что процесс аллостазии в отличие от гомеостазирования реализуется через изменения эндогенных характеристик, как бы подгоняя их под факторы экзогенной среды обитания, при этом появились исследования по оценке аллостатических нагрузок на основе анализа изменения ВСР при адаптации человека на Севере [33]

Методы

Проба с ререспирацией была проведена 214 юношам-европеоидам г. Магадана и 57 г. Сусумана. При этом среди магаданцев ваготоников было 135, нормотоников — 60, симпатотоников — 19 человек, а среди сусуманцев соответственно 41, 8 и 8 человек. Обследуемые лица в возрасте 17–21 года были студентами высших и средних учебных заведений, вели сопоставимый образ жизнедеятельности, но постоянно проживали в различных климатических зонах Магаданской области — приморской и континентальной.

Так, Магадан (59° 34' с. ш. и 150° 47' в. д.) по природно-климатической классификации относится к умеренному поясу приморской природно-климатической зоны, для которой характерно наличие морского и муссонного климата. Средняя температура января в пределах –26 °С, а средняя температура июля +13,4 °С.

Сусуман (62° 46' с. ш. и 148° 09' в. д.) расположен значительно севернее, находясь во внутренних районах области, характеризуется резко континентальным климатом с очень морозной зимой, тёплым летом и малым количеством осадков. В центральных районах летом наиболее высокая температура июля +36 °С при среднемесячной +15 °С, а зимой нередко опускается до –50...–57 °С, достигая в отдельные годы –67 °С [20].

В связи с немногочисленностью в выборке симпатотоников функциональные показатели юношей данного типа в этой серии исследований не анализировались. В выборку для статистического анализа включались только обследуемые с вагонормотоническим (ваготоники и нормотоники) типом вегетативной регуляции, с учетом того, что эти лица, как правило, обладают достаточно большими функциональными резервами, чем симпатотоники, могут легче переносить тестирующие нагрузки и лучше адаптироваться к экстремальным условиям.

Для оценки устойчивости к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии в качестве нагрузочного теста использовалась проба с возвратным дыханием (ререспирация) без поглощения углекислого газа (СО₂) с одинаковым временем ее выполнения и объемом воздуха, равным трем жизненным емкостям легких (ЖЕЛ). Непосредственно перед проведением пробы у обследуемого с использованием портативного газоанализатора производства ООО «НПК «Карбоник»

определялось долевое содержание СО₂ и кислорода (О₂) в выдыхаемом им воздухе. Для проведения пробы обследуемому необходимо было совершить три глубоких выдоха в пластиковый герметичный мешок (типа Дугласа), каждый выдох должен быть не менее ЖЕЛ обследуемого лица. В дальнейшем дыхание производилось только из мешка общей продолжительностью 3 мин, при этом нос закрывался зажимом. После завершения пробы с возвратным дыханием оставшаяся в герметичном мешке газовая смесь с помощью того же прибора анализировалась по уровню содержания там СО₂ и О₂. Разработанная технология пробы с ререспирацией была апробирована нами ранее при изучении адаптации человека к высокогорью и Северу [13, 25, 26].

В состоянии покоя сидя в течении 5 мин перед выполнением пробы (фон) и в процессе ее 3-минутной ререспирации производилась запись кардио-ритмограммы на основе методических рекомендаций группы российских и иностранных экспертов с использованием прибора «Варикард» с дальнейшим анализом ВСР на основе программного обеспечения VARICARD-KARDi [2, 25].

Измерение систолического (САД, мм рт. ст.) и диастолического (ДАД, мм рт. ст.) артериального давления проводилось с использованием автоматического тонометра Nesei DS-1862 (Япония), показатели анализировались в состоянии покоя перед пробой и на пике пробы (конец 3-й мин) с одновременной регистрацией в эти же периоды уровня оксигемоглобина (HbO₂, %) с помощью пульсоксиметра «NPB-40» (США). На каждом этапе эксперимента расчётным путём определяли ударный объём по Старру (УОК, мл), минутный объём кровообращения (МОК, л/мин), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин · с · см⁻⁵) [19].

Все юноши были на момент обследования практически здоровы, не имели хронических заболеваний и обладали ЖЕЛ не ниже 3 200 мл, что являлось критерием их допуска к выполнению ререспирации. 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.). У всех обследуемых было получено письменное информированное согласие на участие в исследованиях.

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 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 распределе-

нием 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 ненормальным распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным или меньше 0,05. Оценка силы и характера взаимосвязей между показателями гемодинамики, ВСР, уровнем кислорода, формирующегося в мешке в процессе ререспирации, проводилась с расчетом коэффициентов парной ранговой корреляции по Spearman (r) и построением структурных плеяд с учетом статистически значимых коэффициентов корреляции при $p < 0,05$ [5].

Результаты

В процессе проведения пробы с ререспирацией оказалось, что в выборке встречаются лица, у которых уровень кислорода в мешке по окончании тестирования не опускался ниже 10 %, а содержание диоксида углерода не превышало 9 %, при этом сатурация крови кислородом была не менее 95 %. У других обследуемых наоборот – содержание O₂ в мешке был ниже 10 %, а уровень накопившегося в

мешке CO₂ было равно или даже больше, чем показатель O₂. При этом оксигенация крови кислородом падала ниже 95 %. С учетом этого все обследуемые были разделены на две условные группы: 1-я группа – лица с высокой гипоксически-гиперкапнической устойчивостью (ВУ) и 2-я группа – лица с низкой устойчивостью (НУ).

В табл. 1 представлены основные показатели сердечно-сосудистой системы, газообмена и сатурации артериальной крови у юношей городов Магадана и Сусумана с ВУ и НУ. Анализ основных характеристик сердечно-сосудистой системы выявил ряд различий в зависимости от региона проживания и уровня устойчивости к гипоксии и гиперкапнии. Так, в состоянии покоя самые низкие показатели САД были характерны для ВУ юношей Магадана, а ДАД для сусуманцев с НУ. Магаданцы вне зависимости от уровня гипоксически-гиперкапнической устойчивости характеризовались более низкими показателями частоты сердечных сокращений (ЧСС). В группе сусуманцев с НУ были отмечены значимо более высокие показатели УОК и МОК на фоне самых низких величин ОПСС.

В ответ на пробу с ререспирацией во всех группах юношей были отмечены значимые перестройки показателей гемодинамики, проявляющиеся увеличением САД, ДАД, ЧСС и снижением УОК. При этом в ответ

Таблица 1

Показатели гемодинамики и газообмена в состоянии фона и при ререспирации у юношей приморской и континентальной зон Магаданской области с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивости

Исследуемый показатель	Высокая гипоксически-гиперкапническая устойчивость (ВУ)		Значимость различий (p) Магадан – Сусуман	Низкая гипоксически-гиперкапническая устойчивость (НУ)		Значимость различий (p) Магадан – Сусуман	Значимость различий (p) ВУ и НУ Магадан	Значимость различий (p) ВУ и НУ Сусуман
	Магадан	Сусуман		Магадан	Сусуман			
Фон								
САД, мм рт.ст.	124,3±1,1*	127,3±1,0*	0.035	126,8±0,7*	128,8±1,6*	0.252	0.028	0.442
ДАД, мм рт.ст.	75,5±1,1*	79,1±1,2*	0.048	75,7±0,6*	72,8±1,4*	0.074	0.862	<0.001
ЧСС, уд./мин	71,2±0,9*	74,0±1,1*	0.036	69,1±0,7*	73,4±1,4*	0.045	0.060	0.721
УОК, мл	69,0±1,0*	67,4±1,2*	0.341	69,8±0,8*	75,2±1,8*	0.003	0.522	<0.001
МОК, мл/мин	4899,9±97,1	4958,9±105,9*	0.682	4857,5±36,9	5479,0±131,2*	<0.001	0.172	<0.001
ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	1659,4±51,8*	1643,2±43,4	0.810	1660,8±21,8*	1454,4±48,6	0.005	0.981	<0.001
CO ₂ % в мешке	3,8±0,07*	4,1±0,12*	0.035	3,9±0,06*	4,3±0,13*	0.036	0.165	0.412
O ₂ % в мешке	16,3±0,09*	15,9±0,15*	0.005	16,3±0,04*	15,7±0,15*	0.008	0.472	0.352
HbO ₂ , %	98,4±0,08*	98,3±0,06*	0.922	98,3±0,04*	98,5±0,03*	0.045	0.733	0.024
Ререспирация								
САД, мм рт.ст.	134,8±1,6	135,2±1,8	0.882	149,1±0,9	138,1±2,2	<0.001	<0.001	0.302
ДАД, мм рт.ст.	84,9±1,2	86,7±1,1	0.272	92,4±1,3	87,5±1,6	0.006	<0.001	0.642
ЧСС, уд./мин	78,6±1,0	88,7±1,7	<0.001	79,1±0,8	91,5±1,9	<0.001	0.682	0.281
УОК, мл	63,2±1,3	63,1±1,5	0.942	63,1±1,2	63,7±1,2	0.742	0.951	0.752
МОК, мл/мин	4962,3±126,8	5582,2±171,1	0.004	4970,4±88,9	5773,8±114,0	<0.001	0.862	0.352
ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	1873,5±52,9	1596,9±47,8	0.006	2031,0±60,1	1535,4±39,8	<0.001	0.025	0.321
CO ₂ % в мешке	7,5±0,07	7,8±0,09	0.008	9,5±0,03	9,7±0,1	0.021	<0.001	<0.001
O ₂ % в мешке	11,9±0,08	11,4±0,11	0.007	9,5±0,04	9,1±0,1	<0.001	<0.001	<0.001
HbO ₂ , %	96,1±0,18	95,0±0,13	<0.001	92,7±0,13	94,2±0,1	<0.001	<0.001	0.025

Примечание. * – значимые различия между показателями фона и ререспирации, $p < 0,05$.

Таблица 2

Показатели вариабельности кардиоритма в состоянии покоя и при ререспирации у юношей приморской и континентальной зон Магаданской области с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивостью

Изучаемый показатель	Высокая гипоксически-гиперкапническая устойчивость (ВУ)		Значимость различий (p) Магадан – Сусуман	Низкая гипоксически-гиперкапническая устойчивость (НУ)		Значимость различий (p) Магадан – Сусуман	Значимость различий (p) с ВУ и НУ Магадан	Значимость различий (p) с ВУ и НУ Сусуман
	Магадан	Сусуман		Магадан	Сусуман			
Фон								
MxDMп, мс	363,8 (292,1; 460,1)	385,0 (331,7; 510,2)	0.182	427,0 (340,2; 465,0)	419,9 (341,0; 599,0)	0.223	0.049	0.045
RMSSD, мс	46,1 (35,6; 61,0)*	57,1 (47,9; 75,7)	<0.001	71,9 (39,1; 92,7)	66,6 (60,0; 72,6)*	0.942	0.036	0.322
SDNN, мс	67,0 (54,6; 84,3)*	74,9 (61,7; 91,7)	0.3024	83,6 (68,0; 96,2)*	72,8 (60,2; 93,1)*	0.521	0.025	0.145
Mo, мс	823,7 (739,7; 923,0)*	777,4 (700,7; 851,7)*	0.026	877,2 (826,8; 1076,8)*	779,1 (723,5; 877,6)*	0.172	0.232	0.091
AMo50, мс	31,0 (25,0; 38,7)	29,9 (25,6; 36,4)	0.535	27,2 (22,0; 31,5)*	28,8 (26,1; 34,1)	0.201	0.464	0.112
SI, усл. ед.	50,5 (32,3; 80,0)	44,8 (33,6; 66,2)	0.714	36,5 (22,4; 64,3)	32,8 (30,0; 53,7)	0.523	0.315	0.323
HF, мс ²	1009,8 (519; 1379)*	1553,4 (964; 2089)*	0.005	1746,0 (823; 2673)*	1224,3 (786; 1639)*	0.025	0.005	0.025
LF, мс ²	1324,0 (930; 2118)	1207,0 (815; 2157)	0.432	1275,0 (930; 2592)	1303,6 (416; 1854)	0.212	0.182	0.421
VLF, мс ²	657,7 (399,0; 993,5)*	552,3 (340; 869)	0.311	719,9 (551,2; 826)	355,0 (242; 515)	0.036	0.223	0.035
LF/HF, усл. ед.	1,7 (1,1; 2,6)*	0,8 (0,6; 1,5)*	<0.001	1,1 (0,4; 1,5)*	0,8 (0,5; 1,2)	0.028	0.005	0.821
IC, усл. ед.	2,5 (1,7; 4,0)*	1,3 (0,9; 2,1)*	<0.001	1,8 (0,7; 2,2)*	1,1 (0,8; 1,5)*	0.025	0.003	0.762
Ререспирация								
MxDMп, мс	376,5 (305,1; 478,8)	425,6 (365,3; 500,1)	0.025	423,0 (409,4; 541,5)	442,4 (369,9; 596,2)	0.562	0.004	0.861
RMSSD, мс	62,8 (46,8; 79,8)	66,5 (56,1; 80,5)	0.372	78,5 (46,0; 103,3)	88,1 (53,5; 104,0)	0.881	0.422	0.035
SDNN, мс	76,6 (61,6; 106,5)	75,7 (63,6; 94,8)	0.645	101,2 (82,0; 121,4)	85,8 (64,6; 105,5)	0.035	0.005	0.234
Mo, мс	726,2 (674,1; 824,6)	679,1 (622,3; 776,8)	0.038	726,0 (722,0; 777,3)	677,8 (621,9; 786,1)	0.045	0.382	0.921
AMo50, мс	26,7 (21,5; 32,2)	29,1 (23,6; 33,3)	0.212	21,6 (18,8; 25,9)	28,5 (21,5; 31,0)	0.222	0.048	0.863
SI, усл. ед.	47,0 (30,3; 70,0)	46,0 (34,4; 75,9)	0.932	28,4 (27,6; 40,6)	39,7 (29,8; 70,2)	0.125	0.024	0.039
HF, мс ²	2002 (1166; 3206)	1701,6 (1196; 3269)	0.035	2261,3 (933; 2981)	2204,1 (949; 2859)	0.321	0.462	0.041
LF, мс ²	1111,5 (789; 2309)	1057,3 (706; 1719)	0.252	1347,1 (662; 1673)	1168,0 (659; 2043)	0.021	0.005	0.222
VLF, мс ²	538,0 (292; 852)	439,8 (268; 705)	0.341	748,3 (286; 819)	312,6 (2456; 654)	0.015	0.035	0.321
LF/HF, усл. ед.	0,5 (0,3; 1,1)	0,6 (0,3; 0,9)	0.882	0,5 (0,4; 0,9)	0,6 (0,4; 0,8)	0.432	0.922	0.860
IC, усл. ед.	0,8 (0,4; 1,6)	0,8 (0,5; 1,3)	0.951	0,7 (0,5; 1,2)	0,8 (0,5; 1,3)	0.645	0.766	0.942

Примечание. * – значимые различия между показателями фона и ререспирации, p < 0,05.

на ререспирацию сусуманцы с ВУ и НУ реагировали увеличением МОК, тогда как в группах магаданцев с ВУ и НУ был отмечен значимый рост ОПСС. Особенности также были отмечены и относительно фоновых показателей газообмена: так, в группах ВУ и НУ магаданцев отмечались значимо более низкие показатели CO₂ и более высокие величины O₂ относительно сверстников из Сусумана. Отметим, что как среди магаданцев, так и среди сусуманцев юноши с ВУ и НУ в состоянии фона значимых различий по газообмену не отличались. В процессе выполнения

ререспирации показатели газообмена O₂ и CO₂ у юношей-жителей различных климатических зон и с одинаковым уровнем устойчивости практически совпадали. Однако если у ВУ обследуемых Магадана уровень оксигенации крови на пике пробы был статистически на 1,1 % выше, чем в аналогичной группе сусуманцев, то у юношей с НУ этот показатель у магаданцев был на 1,5 % ниже, чем у сусуманцев.

В табл. 2 представлены показатели ВСР в состоянии покоя и после выполнения пробы с ререспирацией у юношей приморской и континентальной природно-

климатических зон Северо-Востока России с учетом различий в уровне гипоксически-гиперкапнической устойчивости. В группе магаданцев в состоянии фона между группой ВУ и НУ из 13 изученных характеристик ВСР статистически значимые различия наблюдались по МхDMn, RMSSD, SDNN, HF, LF/HF, IC, при этом в группе ВУ значения были выше чем в группе НУ, кроме показателей LF/HF, IC. У сусуманцев при аналогичных условиях различия между группами наблюдались только по трем показателям: МхDMn, HF и VLF.

При проведении пробы с ререспирацией у ВУ и НУ магаданцев статистически значимые различия наблюдались по SDNN, AMo50, SI, LF, VLF, а у сусуманцев только по RMSSD, SI, HF. У магаданцев с ВУ и НУ различия в характеристиках ВСР между фоном и пробой наблюдались соответственно по 7 и 6 показателям, а у сусуманцев при аналогичном сравнении по 4 и 5 показателям. Однако следует отметить, что различия только в ряде случаев касались одних и тех же показателей, а наблюдаемые при этом особенности были связаны с перестройками степени активности симпатического и парасимпатического звена ВНС.

Расчет коэффициентов корреляционных взаимосвязей между интегральными показателями гемодинамики (МОК, ОПСС), статистическими и спектрально-волновыми значениями ВСР (МхDMn; HF; LF/HF) и O_2 с построением структурных плеяд показал, что между ВУ и НУ лицами-жителями различных климатических регионов имеются значимые различия как по структуре, характеру, так и по силе взаимосвязей. При этом в структурах плеяд в абсолютном количестве преобладали взаимосвязи слабой и средней силы с величиной коэффициентов в пределах 0,3–0,7, число сильных взаимосвязей с коэффициентами более 0,7 в структурах плеяд не превышало 2, а в ряде случаев у обследуемых магаданцев вообще отсутствовали, что отражало различные адаптационные стратегии у адаптантов приморской и континентальной климатических зон Северо-Востока страны.

Обсуждение результатов

Анализ показателей сердечно-сосудистой системы, представленный в табл. 1, показал ряд отличий в зависимости от региона проживания, а также от уровня гипоксически-гиперкапнической устойчивости. Так, в состоянии фона у магаданцев и сусуманцев с ВУ показатели артериального давления (АД) принципиально не отличались, однако статистически более высокие значения отмечались у юношей Сусумана, но при этом различия не превышали 4 мм рт. ст. и не выходили за пределы возрастной физиологической нормы. У юношей с НУ в тех же условиях фона значимых различий между показателями АД у магаданцев и сусуманцев не отмечалось. При этом у магаданцев с ВУ и НУ в условиях фона из 9 изучаемых показателей кардиогемодинамики

и газообмена только по САД отмечалось значимое различие. В отличие от магаданцев между группами ВУ и НУ юношей Сусумана в состоянии фона отмечались статистически значимые различия по 5 показателям: ДАД, УОК, МОК, ОПСС, HbO_2 , при этом, кроме величины оксигенации крови, разница в значениях гемодинамических характеристик колебалась в пределах 8–13 %, отражая, по всей видимости, особенности влияния на организм экстремальных факторов континентальной зоны Магаданской области на лиц с исходно сниженной неспецифической резистентностью, зависимость между которой и устойчивостью организма к гипоксии была показана в фундаментальной монографии В. Б. Малкина и Е. Б. Гиппенрейтера еще во второй половине прошлого столетия [14]. Подчеркнем, что у юношей с НУ вне зависимости от зоны проживания при выполнении пробы с ререспирацией уровень содержания O_2 в мешке, из которого производилось дыхание, снижался по отношению к фоновым величинам более чем на 40 %, а оксигенация на 6 %, в то же время у ВУ лиц это снижение находилось в пределах 25–30 %, а падение оксигенации не превышало 3 %.

На пике ререспирации среди НУ юношей-жителей обеих климатических зон АД значимо повышалось относительно фона в пределах 7–20 % мм рт. ст. как по САД, так и по ДАД, при этом тип реакции сердечно-сосудистой системы носил выраженный гипертензивный характер. Аналогичная реакция отмечалась и среди ВУ обследованных, но повышение АД было меньшим и величины САД не превышали 135 мм рт. ст., а ДАД – 87 мм рт. ст. В целом анализ АД показал, что особенности его перестроек в ответ на пробу с ререспирацией отчасти имели схожую динамику у обследуемых всех групп, что проявлялось значимым увеличением САД, ДАД, а также ЧСС с одновременным снижением УОК.

При этом необходимо отметить разнонаправленный характер ответных реакций на ререспирацию показателей МОК и ОПСС у представителей с разной гипоксически-гиперкапнической устойчивостью – жителей приморской и континентальной зон. Так, в группе магаданских юношей с ВУ было отмечено относительно фона статистически значимое увеличение на 13 % ОПСС при практически неизменных значениях МОК, в группе сусуманцев с ВУ, напротив, в ответ на ререспирацию отмечалось увеличение на 13 % МОК с сохранением фоновых величин ОПСС. Аналогичная динамика была характерна для магаданцев с НУ, но при этом у них увеличение ОПСС составляло 22 % при отсутствии значимых различий по МОК, а у сусуманцев, наоборот, значимое увеличение показателя отмечались по МОК и незначимое по ОПСС.

Различная степень выраженности ответных гемодинамических реакций на ререспирацию в группах юношей, одинаковых по уровню устойчивости, но проживающих в различных климатических зонах,

отразилась в увеличении общего числа значимых межгрупповых показателей. Так, региональные особенности в группе ВУ сусуманцев относительно магаданцев проявлялись при ререспирации более высоким приростом значения МОК и более низким увеличением ОПСС. Между группами НУ жителей Магадана и Сусумана при ререспирации наблюдались статистически значимые различия по величинам САД и ДАД с нивелированием значений по УОК в связи с уменьшением его на 15 % относительно фоновой величины. Отметим, что при ререспирации также отмечались различия по ДАД, ОПСС между ВУ и НУ магаданцами, чего не наблюдалось в состоянии фона.

При анализе показателей ВСП (см. табл. 2) установлено, что в состоянии фона между обследуемыми лицами с НУ, но жителями различных климатических зон значимые различия наблюдались только по спектрально-волновым характеристикам кардиоритма, за исключением низкочастотной составляющей (LF). В то же время между группами ВУ юношей различия отмечались и по статистическим характеристикам RMSSD и M_0 , отражающим активность парасимпатического звена, которая оказалась у сусуманцев выше, что также отражалось в высокочастотных спектральных значениях (HF), величина которых у них была больше на 54 %. Отметим, что между группами ВУ и НУ лиц, но проживающих в одной климатической зоне, также наблюдались значимые различия в показателях. Так, оказалось, что между ВУ и НУ магаданцами в состоянии фона по 6 из 11 показателей ВСП отмечались значимые различия, а у сусуманцев по 4. При этом важно отметить, что если у НУ магаданцев относительно ВУ наблюдалось в условиях фона преобладание вагусной активности при статистически значимо больших значениях $MxDMn$, RMSSD, SDNN, HF и меньших величинах LF/HF и индекса централизации (IC), то у НУ сусуманцев можно говорить о наличии дисбаланса между состоянием симпатической и парасимпатической регуляции, что отражалось в разнонаправленности вектора показателей, когда при увеличении (относительно показателей ВУ) значений $MxDMn$ отмечалось уменьшение значений HF на 22 % и VLF на 36 %.

В процессе пробы с ререспирацией между ВУ и НУ магаданцами относительно тех же групп сусуманцев принципиальные различия наблюдались по перестройкам низкочастотных характеристик мощности кардиоритма (LF и VLF). Так, если у НУ магаданцев наблюдалось значимое увеличение этих характеристик относительно ВУ на 21 и 39 %, то у сусуманцев изменения не имели статистически значимых различий и при этом значение VLF не только не увеличивалось, но даже имело тенденцию к снижению. Известно, что увеличение мощности спектра показателя VLF указывает на усиление регуляторного влияния высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр, а рост LF отражает активацию вазомоторного центра [2, 15, 17].

В этой связи можно констатировать, что у ВУ магаданцев процесс ререспирации протекает при меньшей активации сосудодвигательного и высших вегетативных центров, чем у НУ. При этом у НУ обследуемых отмечается более выраженная парасимпатическая активность за счет более высокого (на 23 % относительно ВУ) уровня CO_2 , формирующегося в мешке во время ререспирации у этих обследуемых, рост концентрации которого в дыхательной смеси, как известно, усиливает активность парасимпатической нервной системы и ее влияние на регуляцию кардиоритма.

При сравнении различий в показателях ВСП между группами сусуманцев с высоким и низким уровнями устойчивости к гипоксически-гиперкапническому воздействию отмечается еще более выраженный вектор усиления парасимпатической регуляции у НУ обследуемых. Так, у них значение RMSSD, характеризующее активность парасимпатического звена ВНС в ответ на ререспирацию, значимо возросло по отношению к ВУ на 32 % при усилении вклада автономного регуляторного контура на 29 % согласно высокочастотным показателям спектра (HF). Отметим, что между обследуемыми группами магаданцев по этому показателю статистически значимых различий не отмечалось.

Самые низкие значения высокочастотной составляющей (HF) наблюдались в состоянии фона у ВУ магаданцев, в процессе ререспирации они значимо увеличивались почти в 2 раза, в то же время среди ВУ сусуманцев отмечался аналогичный вектор изменений, но увеличение этого же показателя составляло всего около 10 %. Значения HF при ререспирации у НУ магаданцев и сусуманцев также увеличивались относительно фоновых величин, но статистически значимых различий уже между магаданцами и сусуманцами по этому показателю не наблюдалось, что указывало на практически равную степень активности автономного контура регуляции кардиоритма в группах с НУ в процессе пробы. Однако подчеркнем, что у НУ сусуманцев увеличение значения HF в ответ на ререспирацию относительно фона достигало 80 %, в аналогичной группе магаданцев — только 29 %. В настоящее время показатель HF, являющийся маркером вагусной активности [23], связывают с синусовой аритмией, суть которой состоит в обеспечении оптимальной концентрации газов в крови и оптимизации газообмена при дыхании путем сопоставления перфузии с ЧСС [31, 34], при этом отмечается связь и со скоростью потребления O_2 [28]. С учетом того, что во время проведения пробы поддержание обеспечения газообмена и уровня O_2 в значительной мере определяется как гемодинамическими, так и регуляторными перестройками кардиоритма, представляло интерес изучить корреляционные взаимосвязи этих показателей с уровнем O_2 как в состоянии фона, так и в процессе ререспирации у лиц с различной гипоксически-гиперкапнической

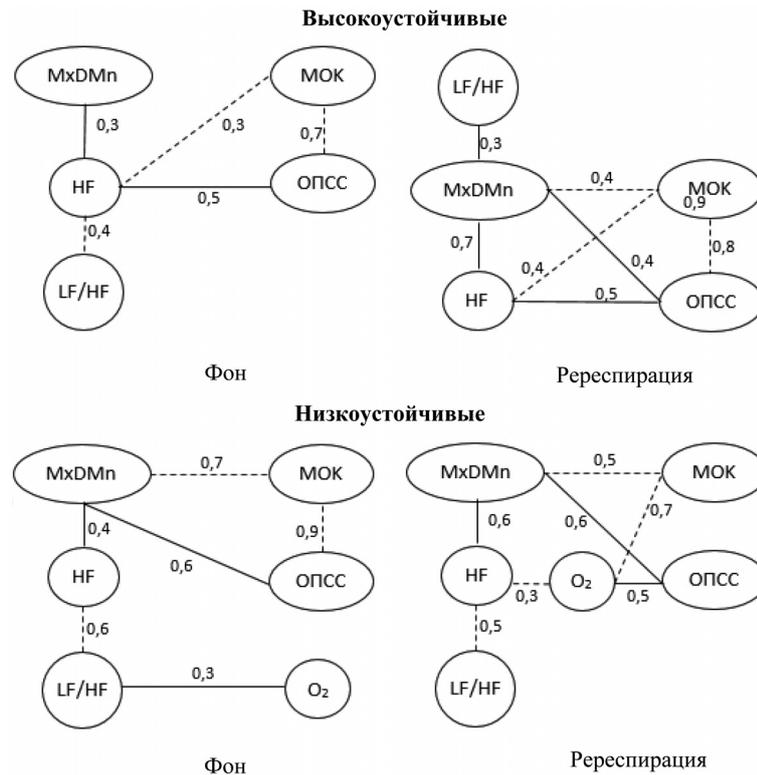


Рис. 1. Структура корреляционных плетей у юношей г. Магадана с различным уровнем устойчивости к гипоксически-гиперкапническому воздействию в условиях фона и ререспирации

Примечания к рис. 1 и 2: сплошные линии – положительные связи; пунктирные – отрицательные; цифрами показаны значения коэффициентов корреляции.

устойчивостью с учетом их проживания в различных климатических зонах.

На рис. 1 представлены структурные плетяды значений коэффициентов парной ранговой корреляции у юношей Магадана. В плетяды включены комплексные показатели системного кровообращения (МОК и ОПСС), а в качестве характеристик ВСР внимание уделено значениям MxDMn, HF и LF/HF. Эти показатели ВСР были выбраны исходя из того, что в процессе ререспирации происходит значительное падение уровня O₂ и накопление CO₂, которое, действуя на дыхательный центр, активизирует вентиляторную активность и через ядра блуждающего нерва в продолговатом мозгу влияет на автономный контур регуляции кардиоритма, активность которого отражается в вариабельности различий между максимальными и минимальными величинами длительности R-R интервалов, мощности высокочастотной составляющей спектра (HF), абсолютные значения которой характеризуют уровень активности парасимпатического звена ВНС. Отношение автономного и центрального регуляторных контуров через величину LF/HF отражает состояние взаимодействия центрального и автономного регуляторных контуров управления кардиоритмом, характеризуя относительную активность подкоркового симпатического нервного центра, и выступает в качестве индекса вагосимпатического взаимодействия [2]. Таким образом, показатели, включенные нами в корреляционный анализ, должны

были достаточно всесторонне отражать перестройки взаимосвязи гемодинамики, регуляции кардиоритма и кислородного обеспечения организма у юношей с различной переносимостью ререспирации, проживающих в природно-климатических зонах, существенно отличающихся по экстремальности воздействия на организм факторов окружающей среды. Нами учитывались значения коэффициентов (r) не менее 0,3 в следующих диапазонах: 0,3–0,49 слабые связи; 0,5–0,79 связи средней силы; 0,8 и ≥ сильные связи, при том, что все анализируемые значения имели достоверную значимость при p < 0,05. Таким образом, очень слабые коэффициенты корреляции с величинами r < 0,3 из анализа корреляционных взаимосвязей исключались, так как их значения сильно зависят от случайных колебаний величины выборки, в связи с чем интерпретация функциональных перестроек изучаемых показателей может быть недостаточно корректной.

Оказалось, что в структуре корреляционных плетей (см. рис. 1) у магаданцев с ВУ к гипоксически-гиперкапническому воздействию в состоянии фона и ререспирации ни один из показателей гемодинамики и ВСР не имеет значимых взаимосвязей с показателем уровня O₂. Однако в процессе пробы их общее число увеличивалось относительно фона на 2, достигая семи взаимосвязей, при этом в плетяде выделяются четыре показателя, каждый из которых соединен не менее чем с тремя другими, а MxDMn выступает

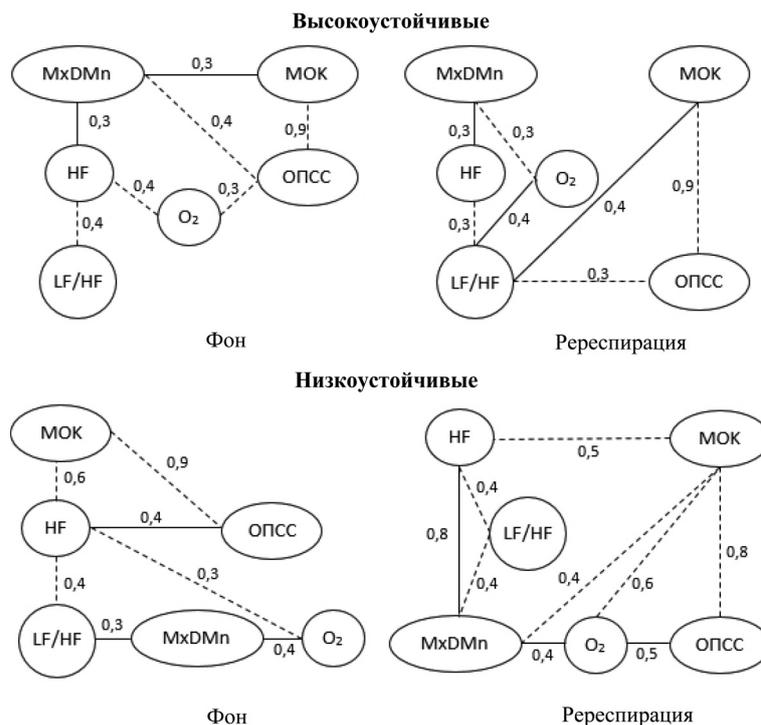


Рис. 2. Структура корреляционных плеяд у юношей г. Сусумана с различным уровнем устойчивости к гипоксически-гиперкапническому воздействию в условиях фона и ререспирации

в качества общего объединяющего ядра со всеми показателями плеяды. Это отражает формирование достаточно жесткой структуры взаимодействия между собой всех функциональных систем, задействованных в процессе обеспечения дыхания при снижении уровня кислорода и нарастании углекислого газа. Отметим, что у обследуемых с ВУ в процессе пробы в 2 раза увеличивается количество взаимосвязей показателей гемодинамики (ОПСС, МОК) с характеристиками ВСП и формируются корреляции с МxDMn, указывающие на то, что при снижении минутного объема и увеличении общего периферического сопротивления кровотока возрастает вариабельность кардиоритма, чего не наблюдается в условиях фона. При этом характер взаимосвязей высокочастотной составляющей HF как в состоянии фона, так и при ререспирации не изменяется.

Подчеркнем, что при фоновом обследовании принципиальным отличием в структуре корреляционных взаимодействий в группе магаданцев с НУ относительно лиц с ВУ является появление связи показателя O₂ с отношением спектральных характеристик (LF/HF). Затем в процессе ререспирации эта взаимосвязь исчезает, но появляются три новые, объединяющие O₂ с характеристиками гемодинамики и высокочастотной составляющей кардиоритма. При этом можно говорить о том, что при снижении содержания O₂ в выдыхаемом воздухе усиливается МОК (отрицательный коэффициент корреляции -0,7) и падает ОПСС (положительный коэффициент 0,5).

На рис. 2 представлены структуры корреляционных плеяд у юношей Сусумана. Анализ показал,

что как в состоянии фона, так и при ререспирации в группах с ВУ и НУ наблюдаются взаимосвязи уровня O₂ с показателями ВСП и гемодинамики, однако их структура в изучаемых группах существенно различается. В условиях фона значения МОК имеют прямую связь с МxDMn и обратную с ОПСС, указывая на то, что при увеличении МОК возрастает разница между максимальным и минимальным значением длительности R-R интервалов (MxDMn) и, наоборот, уменьшается при повышении ОПСС. Однако в процессе выполнения ререспирации у лиц с ВУ эти взаимосвязи исчезают, но формируется обратная связь O₂ с МxDMn, говоря о том, что в случае снижения уровня O₂ вариабельность кардиоритма нарастает, а величина вагосимпатического индекса (LF/HF) падает. При этом у ВУ сусуманцев корреляционные взаимосвязи уровня O₂ со значениями HF и ОПСС, а показателя МxDMn с характеристиками гемодинамики, наблюдаемые в условиях фона, исчезают.

Существенными отличиями в структуре корреляционной плеяды у сусуманцев, демонстрировавших НУ в процессе ререспирации относительно лиц с ВУ, является наличие обратной связи уровней МОК с уровнем O₂, характерной и для магаданцев с аналогичным уровнем устойчивости в процессе выполнения пробы. При этом у сусуманцев с НУ значение уровня O₂ сохраняет положительную связь с МxDMn, как это наблюдалось в условиях фона, однако характер взаимосвязи между этими показателями положительный и МОК выступает в качестве основного ядра, объединяя 4 показателя, что принципиально

отличает структуру плейд ВУ и НУ лиц в процессе ререспирации.

Еще в середине прошлого столетия классическими исследованиями L. Bertalanffy, касающимися теории функциональных систем и особенностей перестроек взаимодействия различных показателей организма в норме и даже при злокачественных процессах, было показано, что в случае недостаточности какого-либо звена для обеспечения или поддержания оптимального уровня функционирования для достижения положительного эффекта физиологическая система может подключать ресурсы других органов и систем, а при достаточности своих регуляторных возможностей — обходиться только своими резервами [21]. Если с этих позиций, а также с учетом того, что при прочих равных эндо- и экзогенных условиях воздействия на организм факторов среды математические характеристики сердечного ритма не являются хаотическими [22], посмотреть на особенности структуры корреляционных плейд в группах лиц, проявивших различную устойчивость к ререспирации и проживающих в зонах, отличающихся по экстремальности природно-климатических факторов, то можно констатировать ряд особенностей. Так, магаданцы-жители приморской зоны, где негативное влияние на организм окружающей среды выражено в меньшей степени, чем у сусуманцев, лица с исходно более высокой резистентностью к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии и широтой функциональных резервов способны переносить кратковременное дыхание в замкнутом пространстве без подключения добавочных физиологических систем, обеспечивающих выполнение тестирующей нагрузки. При этом у них показатель уровня кислорода не имеет корреляционных связей с показателями системы гемодинамики и ВСР. И наоборот, организм лиц со сниженной и даже высокой устойчивостью, но проживающих в более экстремальных природно-климатических условиях внутриконтинентальной зоны Магаданской области г. Сусуман, вынужден для компенсации нарастающей гипоксии и гиперкапнии подключать механизмы различных функциональных систем, что выражается в формировании между O_2 , показателями гемодинамики и ВСР корреляционных взаимосвязей, общее число которых достигало девяти, при том, что во всех остальных случаях оно не превышало семи.

Для количественной оценки аллостатической нагрузки на основе корреляционных плейд и градиента разницы уровня кислорода на фоне и при ререспирации нами предлагается следующий алгоритм расчета: отдельно для группы ВУ и НУ магаданцев и сусуманцев вычисляется (без учета знака) сумма всех коэффициентов корреляции в фоновой плейде и при ререспирации, после чего они вновь суммируются и полученное число умножается на разницу в уровне кислорода между фоном и ререспирацией. В общем виде это можно представить в виде следующей эмпирической формулы:

$$АН = (\Sigma r_{\phi} + \Sigma r_p) \times (O_{2\phi} - O_{2p}),$$

где АН — аллостатическая нагрузка в условных единицах; Σr_{ϕ} — сумма коэффициентов корреляции в плейде без учета знака на фоне; Σr_p — сумма коэффициентов корреляции в плейде без учета знака при ререспирации; $O_{2\phi}, O_{2p}$ — значение уровней кислорода в мешке во время фона и в конце ререспирации.

На основе этого подхода нами были рассчитаны значения АН для ВУ и НУ юношей городов Магадана и Сусумана. Так, для ВУ магаданцев значение АН составило 20,2 усл. ед., а для НУ — 55,8, для ВУ сусуманцев этот же показатель был равен 26,5 усл. ед., а для НУ — 55,9. Отметим, что если для ВУ лиц, но жителей континентальной зон АН была больше на 6 усл. ед., что, по все видимости, и определяется более экстремальными природно-климатическими условиями, то для НУ этот показатель оказался в 2 раза выше и не различался в однотипных группах магаданцев и сусуманцев по величине абсолютных значений аллостатической нагрузки. С учетом этого можно считать, что для лиц со сниженными функциональными возможностями степень проявления экстремальности воздействия на человека природно-климатических факторов приморской и континентальных зон Магаданской области практически совпадает, однако в относительно большей степени зависит не от этих условий, а от индивидуально-типологических возможностей и резервов физиологических систем организма.

Заключение

Проведенные исследования показали, что среди популяции практически здоровых молодых юношей призывного возраста — уроженцев Магаданской области из числа европеоидов, ведущих сопоставимый образ жизнедеятельности, существуют лица с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивостью вне зависимости от природно-климатической зоны проживания. При этом в группах лиц с ВУ, но жителей приморской и континентальной зон Магаданской области в состоянии фона, до проведения нагрузочной пробы с ререспирацией, показатели АД значимо различались, чего не отмечалось в группах с НУ. Однако в этих группах обследуемых — магаданцев и сусуманцев — все изучаемые показатели гемодинамики и газообмена имели статистически значимые различия, в то время как таковые не отмечались в группах с ВУ по характеристикам УОК, МОК, ОПСС.

Отметим, что если у магаданцев между группами ВУ и НУ в процессе ререспирации значимые отличия наблюдаются по трем из шести показателей гемодинамики, то у сусуманцев ни по одному из них значимых различий не выявлено. По всей видимости, это связано с тем, что более экстремальные условия континентальной зоны сужают уровни физиологических резервов организма и нивелируют их функциональные типологические особенности, что находит свое подтверждение и в перестройках ВСР,

где количество значимых различий между показателями сравниваемых групп в два раза меньше, чем у юношей Магадана с высокой и низкой устойчивостью.

Более того, анализ структуры корреляционных плеяд показателей гемодинамики, ВСР с уровнем O_2 , формирующимся в мешке после ререспирации, показывает, что у НУ сусуманцев и магаданцев образуется до трех взаимосвязей между O_2 с другими показателями и общей суммой значений коэффициентов этих связей (без учета знака), равной 1,5 усл. ед., при том, что у ВУ магаданцев O_2 вообще не имеет значимых корреляционных связей в плеяде, а у сусуманцев их число не превышало двух с общей суммой коэффициентов 0,7 усл. ед. Полученные особенности изменения значений уровня O_2 в процессе ререспирации относительно фона и перестройки структуры корреляционных взаимосвязей изучаемых показателей у юношей с различной устойчивостью к гипоксически-гиперкапническому воздействию, жителей приморской и континентальных зон Магаданской области, позволили на основе разработанной эмпирической формулы рассчитать степень аллостатической адаптационной нагрузки природно-климатических факторов на обследованных лиц. Оказалось, что для юношей с НУ такая нагрузка в среднем более чем в 2 раза выше, чем для лиц с ВУ. По всей видимости, разработанный подход может оказаться достаточно универсальным для количественной оценки степени негативного влияния природно-климатических и техногенных факторов на организм человека в процессе его адаптации в экстремальных условиях окружающей среды.

Благодарности

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования 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»

Авторство

Максимов А. Л. разработал концепцию и дизайн исследования, принимал участие в анализе и интерпретации данных, написании и редактировании текста; Аверьянова И. В. осуществила статистическую обработку данных, участвовала в их анализе и интерпретации, написании и редактировании текста статьи

Максимов Аркадий Леонидович — ORCID 0000-0003-1089-4266; SPIN 6614-2169

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

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Чижов А. Я. Гипоксические, гипоканические и гиперкапнические состояния. М.: Медицина, 2003. 93 с.

Agadzhanjan N. A., Chizhov A. Ya. *Gipoksicheskie, gipokapnicheskie i giperkapnicheskie sostoyaniya* [Hypoxic,

hypocapnic and hypercapnic States]. Moscow, Medicina Publ., 2003, 93 p.

2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В., Гаврилушкин А. П., Довгалецкий П. Я., Кукушкин Ю. А., Миронова Т. Ф., Прилуцкий Д. А., Семенов А. В., Федоров В. Ф., Флейшман А. Н., Медведев М. М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–83.

Baevskiy R. M., Ivanov G. G., Chireykin L. V., Gavrulushkin A. P., Doygalevskij P. Ja., Kukushkin Ju. A., Mironova T. F., Priluckiy D. A., Semenov A. V., Fedorov V. F., Fleishman A. N., Medvedev M. M. Heart rate variability analysis at using different electrocardiographic systems (methodical recommendations). *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 2001, 24, pp. 65-83. [In Russian]

3. Белишева Н. К., Петров В. Н. Проблема здоровья населения в свете реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации // Труды Кольского научного центра. 2013. Т. 6, № 19. С. 152–173.

Belisheva N. K., Petrov V. N. The Murmansk region's population health when implementing the Strategy of the Development of the Russian Federation's Arctic Zone. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra* [Proceedings of the Kola research center]. 2013, 6 (19), pp. 152-173. [In Russian]

4. Бокерия Л. А., Бокерия О. Л., Волковская И. В. Variability сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование // Анналы аритмологии. 2009. Т. 6, № 4. С. 21–27.

Bokerija L. A., Bokerija O. L., Volkovskaja I. V. Heart rate variability: methods of measurement, interpretation, and clinical use. *Annaly aritmologii* [Annals of Arrhythmology]. 2009, 6 (4), pp. 21-27. [In Russian]

5. Боровиков В. П. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов (2-е изд.)*. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

Borovikov V. P. *Statistica. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professionalov* [Statistica. The Art of Analyzing Data on a Computer: For Professionals]. Saint Petersburg, 2003, 688 p.

6. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях (обзор). Сообщение 1 // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2015. № 1. С. 5–15.

Bocharov M. I. Thermoregulation in cold environments (Review). Report 1. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki* [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Medical and biological Sciences]. 2015, 1, pp. 5-15. [In Russian]

7. Гудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А. Новоселы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2012. 285 с.

Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennykh A. A. *Novosely na Evropeyskom Severe. Fiziologo-gigienicheskie aspekty* [Settlers in the European North. Physiological and hygienic aspects]. Arkhangelsk, 2012, 285 p.

8. Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. 192 с.

Kaznacheev V. P. *Sovremennyye aspekty adaptatsii* [Modern aspects of adaptation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980, 192 p.

9. Кривошеиков С. Г., Балиоз Н. В., Некупелова Н. В., Капилевич Л. В. Возрастные, гендерные и индивидуаль-

но-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие // Физиология человека. 2014. Т. 40, № 6. С. 34–45. DOI: 10.7868/S013116461406006X

Krivoschekov S. G., Balioz N. V., Nekipelova N. V., Kapilevich L. V. Age, gender, and individually-typological features of reaction to sharp hypoxic influence. *Fiziologiya cheloveka*. 2014, 40 (6), pp. 34-45. DOI: 10.7868/S013116461406006X

10. Куликов В. Ю., Ким Л. Б., Казначеев В. П. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск: Наука, 1987. 157 с.

Kulikov V. Ju., Kim L. B., Kaznacheev V. P. *Kislородnyi rezhim pri adaptatsii cheloveka na Krainem Severe* [Oxygen regime for human adaptation in the Far North]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, 157 p.

11. Максимов А. Л., Романов К. В., Борисенко Н. С. Информативность пробы с респирацией при отборе лиц, устойчивых к сочетанному действию экстремальных факторов // Известия академии наук Кыргызской Республики. 2019. № 4. С. 34–37.

Maximov A. L., Romanov K. V., Borisenko N. S. Informativeness of the perspiration test in the selection of individuals resistant to the combined action of extreme factors. *Izvestiia akademii nauk Kyrgyzskoi Respubliki* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic]. 2019, 4, pp. 34-37. [In Russian]

12. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Информативность пробы с респирацией для оценки устойчивости организма юношей к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2017. Т. 103, № 9. С. 1058–1068.

Maximov A. L., Averyanova I. V. Informative value of a rebreathing test in assessing young males' resistance to the combined impact of hypoxia and hypercapnia. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2017, 103 (9), pp. 1058-1068. [In Russian]

13. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Перестройки variability кардиоритма у лиц с различными исходными типами вегетативной регуляции в процессе респирации // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2016. Т. 102, № 5. С. 606–617.

Maximov A. L., Averyanova I. V. Heart rate variability changes demonstrated by individuals with different vegetative regulation types in origin under rerespiration session. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2016, 102 (5), pp. 606-617. [In Russian]

14. Малкин В. Б., Гиппенрейтер Е. Б. Острая и хроническая гипоксия. М.: Наука, 1977. 320 с.

Malkin V. B., Gippenreiter E. B. *Ostraia i khronicheskaiia gipoksiia* [Acute and chronic hypoxia]. Moscow, Nauka Publ., 1977, 320 p.

15. Околито Н. Н., Бутова О. А. Активность звеньев регуляторного механизма кардиоритма юношей Центрального федерального округа в условиях Южного федерального округа России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2008. № 7. С. 487–491.

Okolito N. N., Butova O. A. Activity of links of regulator mechanism of cardiac rate of youths of Central federal district in the conditions of South federal district of Russia. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Serii: Meditsina* [Bulletin of Russian Peoples' Friendship University. Series: Medicine]. 2008, 7, pp. 487-491. [In Russian]

16. Рожков В. П., Трифонов М. И., Бекшаев С. С., Белишева Н. К., Пряничников С. В., Сороко С. И.

Оценка влияния геомагнитной и солнечной активности на биоэлектрические процессы мозга человека с помощью структурной функции // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2016. Т. 102, № 12. С. 1479–1494.

Rozhkov V. P., Trifonov M. I., Bekshaev S. S., Belisheva N. K., Prjanichnikov S. V., Soroko S. I. Estimation of the effects of geomagnetic and solar activity on the human brain bioelectrical processes with structural function. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2016, 102 (12), pp. 1479-1494. [In Russian]

17. Федоров В. Н. Вегетативная регуляция кардиоритма у лиц юношеского возраста, проживающих в неблагоприятных экологических условиях Северного Казахстана // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 3. С. 54–60.

Fedorov V. N. Heart rate vegetative regulation of 17-20-year old youths living under unfavorable ecological conditions in Northern Kazakhstan. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Serii: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti* [Bulletin of Russian Peoples' Friendship University. Serii: Ecology and safety]. 2007, 3, pp. 54-60. [In Russian]

18. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицину. Новосибирск: СО РАМН, 1998. 337 с.

Hasnulin V. I. *Vvedenie v poliarnuyu meditsinu* [Introduction to polar medicine]. Novosibirsk, 1998, 337 p.

19. Юрьев В. В., Симаходский А. С., Воронович Н. Н., Хомич М. М. Рост и развитие ребенка. СПб.: Питер, 2008. 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.

20. Якубович И. А. Геоэкологические особенности Магаданской области. Магадан: Кордис, 2002. р. 179.

Yakubovich I. A. *Geoekologicheskie osobennosti Magadanskoi oblasti* [Geocological features of the Magadan region]. Magadan, Kordis Publ., 2002, 179 p.

21. Bertalanffy L. Von an Outline of General System Theory. *British Journal for the Philosophy of Science*. 1950, 1, pp. 134-165. <https://doi.org/10.1093/bjps/i.2.134>

22. Goldberger A. Is the normal heartbeat chaotic or homeostatic? *News in Physiological Sciences*. 1991, 6, pp. 87-91. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.1991.6.2.87>

23. Grossman P., Wilhelm F. H., Spoerle M. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*. 2004, 287 (2), p. 29. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00825.2003>

24. Malliani A., Pagani M., Lombardi F. Importance of appropriate spectral methodology to assess heart rate variability in the frequency domain. *Hypertension*. 1994, 24, pp. 140-141. <https://doi.org/10.1161/01.hyp.24.1.140>

25. Maximov A. L. Adaptive potential and features of functional changes in people with different levels of tolerance to hypoxia at high altitude and in high latitudes Reports. *Reports ISEB'95*. Beijing, China, 1995, pp. 96-103.

26. Maximov A. L. Informative value of changes in hand skin temperature in response to hypoxic exposure. *Human Physiology*. 2005, 31 (3), pp. 337-345.

27. McEwen B. S., Wingfield J. C. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Horm Behav*. 2003, 43, pp. 2-15. <https://doi.org/10.1001/archinte.1997.00440400111013>

28. Perini R., Orizio C., Baselli G., Cerutti S., Veicsteinas A. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*. 1990, 61, pp. 143-148. <https://doi.org/10.1007/bf00236709>
29. Sassi R., Cerutti S., Lombardi F., Malik M., Huikuri H. V. 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>
30. Seeman T. E., Singer B. H., Rowe J. W., Horwitz R. I., McEwen B. S. Price of adaptation-allostatic load and its health consequences. *Arch Intern Med*. 1997, 157, pp. 2259-2268. <https://doi.org/10.1161/01.hyp.24.1.140>
31. Shamailov B. T., Paton J. Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency. *J. Physiol*. 2012, 590 (8), pp. 1989-2008. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.222422>
32. Sidorenko L, Kraemer J. F., Wessel N. Standard heart rate variability spectral analysis: does it purely assess cardiac autonomic function? *Europace*. 2016, 18, p. 1085. <https://doi.org/10.1093/europace/euw078>
33. Sterling P., Eyer J. Allostasis: A new paradigm to explain pathology. *Handbook of life stress cognition and health*. N. Y., John Wiley and Sons, 1988, pp. 629-649. [https://doi.org/10.1016/s0018-506x\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/s0018-506x(02)00024-7)
34. Yasuma F., Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heart beat synchronize with respiratory rhythm? *Chest J*. 2004, 125 (2), pp. 683-690. <https://doi.org/10.1378/chest.125.2.683>
35. Young A., Lee D. T. Aging and human cold tolerance. *Exp. Aging Res*. 1997, 23, pp. 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, ул. Карла Маркса, д. 24

E-mail: Inessa1382@mail.ru