

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем Российской академии наук

На правах рукописи

Осецкий Николай Юрьевич

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ
КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА
В УСЛОВИЯХ ГОДИЧНОГО ПРЕБЫВАНИЯ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ**

Специальность 3.3.7. Авиационная, космическая и морская медицина

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук
Ольга Михайловна Манько

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АДАПТАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ	14
1.1. Общие сведения об Антарктиде. Показатели экстремальности внешней среды.....	14
1.2. Общее влияние среды Центральной Антарктиды на организм человека...	21
1.3. Подходы к оценке функциональной адаптации организма человека к экстремальным факторам Центральной Антарктиды	23
1.4. Воздействие экстремальных факторов Центральной Антарктиды на функциональную адаптацию организма человека	26
1.5. Сердечно-сосудистая система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии	30
1.6. Респираторная система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии	36
1.7. Вегетативная нервная система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии	44
1.8. Общая характеристика процесса адаптации организма к гипоксии	49
Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	55
2.1. Общие сведения	55
2.2. Социально-гигиенические факторы в период проведения исследований..	57
2.3. Анализ показателей экстремальных факторов среды.....	59
2.4. Оценка электрофизиологических характеристик миокарда методом суточного холтер-мониторирования ЭКГ	62
2.5. Цифровая фундоскопия состояния глазного дна	66
2.6. Оценка параметров дыхания. Ночной респираторный мониторинг	68

2.7. Динамическая оценка сатурации крови кислородом.....	70
2.8. Оценка состояния вегетативной нервной системы.....	71
2.9. Вариабельность сердечного ритма	73
2.10. Измерение массы тела.....	75
2.11. Статистическая обработка данных	75
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	76
3.1. Оценка состояния сердечно-сосудистой системы	76
3.2. Динамика состояния респираторной системы.....	85
3.3. Динамика состояния центрального и глазного кровообращения по состоянию сосудов глазного дна	93
3.4. Состояние вегетативной нервной системы.....	95
3.5. Зависимость показателей кардиореспираторной системы и вегетативной нервной системы от возраста участников исследования	111
Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	114
ВЫВОДЫ	120
Приложение А	122
Приложение Б	123
Приложение В.....	125
Приложение Г	126
Перечень условных обозначений и сокращений	127
Список литературных источников	128
Список работ, опубликованных по теме диссертации	157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Освоение объектов космического пространства за пределами низких околоземных орбит является сегодня приоритетной задачей изучения космоса. Медицинские исследования в этой области направлены в том числе на изучение физиологических пределов переносимости организма человека в условиях экстремальной среды.

Новым этапом развития космонавтики является подготовка к пилотируемым полетам вокруг Луны, реализацию планов высадки на поверхность Луны, создание долговременной обитаемой станции на Луне и осуществление в будущем пилотируемого полета на Марс. Так как Центральная Антарктида является по многим факторам уникальной аналоговой средой инопланетного обитания Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем Российской Академии Наук систематически проводит в этом географическом регионе, на станции Восток, медицинские и физиологические исследования применительно к будущим длительным пилотируемым космическим полетам.

В космической медицине надежность и состоятельность медицинского мониторинга, своевременной диагностики преморбидных состояний, разработки научно обоснованных мер профилактики и системы жизнеобеспечения в целом определяются, в первую очередь качеством мониторинга кардиореспираторной системы организма и динамической оценкой состояния вегетативной нервной системы, с использованием расчетов индекса адаптационного потенциала.

Автором не найдены литературные источники, где рассматривается адаптация сердечно-сосудистой, дыхательной и вегетативной систем организма с учетом возраста участников исследования к годовому воздействию комплекса экстремальных факторов Центральной Антарктики в качестве аналоговой среды моделирования длительных космических полетов.

Технологическая область «системы поддержания здоровья экипажа, Системы жизнеобеспечения, обитаемые пространства» в соответствии с Концепцией российской пилотируемой космонавтики, утвержденной государственной корпорацией «Роскосмос» в 2015 г., подразделена на технологические категории, среди которых первостепенное значение определено категории «1.3. Система медицинского обеспечения космонавта и средства профилактики неблагоприятного воздействия факторов космического полёта для длительных автономных космических полетов».

Исследование того, как организм адаптируется к экстремальным условиям окружающей среды, является одной из главных современных задач в области космической биологии и медицины, так как ответы на поставленные вопросы способствуют успешной реализации разработки методов и средств прогнозирования успешности адаптации человека в экстремальной среде дальнего космоса [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Экстремальные природные условия Антарктиды давно привлекают внимание исследователей. Вопросы, касающиеся жизнедеятельности персонала антарктических станций и разработки научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению их нормальной работоспособности, тесно переплетаются с медико-биологическими проблемами космических полетов.

Физические характеристики среды обитания в Антарктиде, такие как крайняя неустойчивость геомагнитного поля и радиационного фона, сниженное почти вдвое барометрическое давление на станции Восток, измененный световой режим (наличие таких явлений как полярная ночь и полярный день), являются уникальной средой, позволяющей оценить уровень и характер адаптационных перестроек в организме человека в условиях длительного, годового действия экстремальных факторов среды [7, 8, 9, 10, 11].

В этой связи, динамическая оценка жизненно важных функциональных систем организма человека при годичном пребывании на станции Восток в Антарктиде может рассматриваться в качестве прогностической в условиях пребывания человека на будущей долговременной базе на Луне.

Степень разработанности темы исследования

Изучение физиологических пределов организма человека, являясь важной задачей космической медицины, традиционно основывается на представлениях теории адаптации и учения о гомеостазе [12, 13, 14, 15].

К настоящему периоду времени проведены фундаментальные исследования, посвященные изучению основных механизмов адаптации человека к условиям Крайнего Севера [13, 16, 17, 18, 19, 20, 21], где в частности, исследуются особенности физиологических реакций организма, возникающих при различных видах вахтовой организации труда в Заполярье [22, 23]. Также были проведены исследования сезонных изменений функциональной активности человека в периоды полярного дня и полярной ночи в условиях Крайнего Севера [24].

В результате ранее проведенных исследований установлен весомый вклад характера компенсаторно-приспособительных реакций сердечно-сосудистой и дыхательной систем к различным факторам внешней среды, таким как климатогеографические и сезонные при формировании функционального статуса организма [25, 26, 27, 28, 29].

Концепция о системе кровообращения как индикаторе адаптационных реакций организма в целом, предложенная академиком В.В. Париным с соавторами [30], является основополагающей в оценке функционального состояния в условиях экстремальной среды и неоднократно дополнялась [31].

Исследованию различных аспектов функционирования системы кровообращения в условиях Арктики и Антарктики, как индикатору адаптации посвящены многие научные труды [32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

Оценка состояния вегетативной нервной системы путем анализа показателей variability сердечного ритма используется в космической медицине для определения адаптационного потенциала организма [51, 52, 53]. Этот высокоинформативный метод широко используется как отечественными [54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61], так и зарубежными учеными [62, 63, 31].

Определение параметров физиологических пределов работоспособности организма в условиях экстремальной среды является сложной задачей, что подтверждается разнонаправленностью результатов многих исследований [64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74].

К настоящему времени имеется значительный объем исследований, посвященных изучению адаптации человеческого организма к экстремальным условиям Антарктиды. Эти исследования были суммированы в последних публикациях, таких как работы Пагеля и Шукера (2016) [75], Zuccarelli с соавторами (2019) [76], ван Омберген (2020) [77], И.И. Тихомирова (1968) [78], а также в исследованиях В.В. Борискина (1973) [79] и ранних монографиях Н.Р. Деряпы (1965) [80].

ГНЦ РФ-ИМБП РАН сыграл важную роль в изучении процесса адаптации человека к условиям внутриконтинентальной Антарктиды, активно изучая вопросы адаптации в период с 1966 по 1972 гг. в шести годовых антарктических экспедициях. Институт медико-биологических проблем проводил медицинские и физиологические исследования на станции «Восток» применительно к длительным пилотируемым полетам на орбитальных станциях. Ученые института, включая Е.А. Ильина, Г.А. Давыдова, Ю.А. Сенкевича, В.П. Бирюкова и В.В. Бажанова, А.Ф. Завадовского внесли свой научный вклад в изучение адаптации человека к экстремальным факторам.

В работе А.Ф. Завадовского рассматривались клинико-физиологические особенности акклиматизации человека к условиям центральной Антарктиды. Им была проведена динамическая оценка состояния сердечно-сосудистой системы в условиях центральной Антарктики, было отмечено напряжение диастолического давления, увеличение ударного объема сердца и пульсового давления в ходе всей зимовки. Оценка функционального статуса респираторной системы выявила увеличение частоты, глубины и минутного объема дыхания, что характерно для гипоксии [81]. Ранее не было проведено динамической оценки состояния вегетативной нервной системы с использованием расчета адаптационного потенциала в различные периоды полярной зимовки. Важно отметить, что полнота

и качество регистрации этих показателей определяют в космической медицине качество медицинского мониторинга, ранней диагностики преморбидных состояний, разработки обоснованных методов профилактики и систем жизнеобеспечения [82].

Учитывая все вышеперечисленные факты, получение новых научных данных о функциональном состоянии организма человека при воздействии комплекса экстремальных факторов центральной Антарктиды, позволяющих расширить и конкретизировать знания о процессе формирования гомеостаза сердечно-сосудистой и дыхательной системы, является актуальной задачей космической медицины.

Цель и задачи исследования

Провести динамическую оценку функционального состояния кардиореспираторной системы в условиях годового пребывания в центральной Антарктиде для совершенствования методов оценки адаптационного резерва организма человека в условиях экстремальной среды.

В диссертации решаются следующие задачи:

1. Оценить особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека в ходе годичного пребывания на станции Восток;
2. Изучить динамику функциональной активности респираторной системы в условиях годового воздействия комплекса экстремальных факторов Центральной Антарктиды;
3. Оценить роль возрастного фактора при адаптации вегетативной нервной системы и кардиореспираторной системы человека к экстремальной среде Центральной Антарктики.

Научная новизна

В данной диссертационной работе впервые выполнена комплексная клинико-физиологическая оценка состояния кардиореспираторной системы как маркера адаптации полярников к годичному воздействию экстремальных условий центральной Антарктиды. Изучены изменения статуса вегетативной нервной системы в двух возрастных группах участников Антарктической экспедиции.

Впервые была проведена оценка динамики высокогорного ночного апноэ как маркера адаптации ЦНС в исследуемых возрастных группах. Описаны характерные показатели адаптационной нормы этих параметров, отражающих стабильность общего состояния организма.

Впервые оценено динамическое состояние периферической и центральной гемодинамики по состоянию сосудов глазного дна с использованием метода экспресс-диагностики – цифровой фундускопии, позволяющей использовать технологию телемедицины.

Показано, что функциональная активность кардиореспираторной системы оператора в условиях продолжительного (годового) пребывания в экстремальной среде Антарктиды сохраняется на высоком уровне в исследуемых возрастных группах.

В работе дана динамическая характеристика исследуемых параметров кардиореспираторной системы в периоды годичной адаптации, расширяющая возможности медицинского мониторинга в экстремальных условиях гипобарической гипоксии центральной Антарктиды.

Теоретическая и практическая значимость работы

Сведения, полученные в ходе выполнения данной работы дополняют научные знания о физиологических механизмах адаптации организма к воздействию факторов экстремальной среды при годовом пребывании в центральной Антарктиде.

Результаты исследований позволили получить новую информацию о специфике адаптации респираторной системы в условиях гипобарической гипоксии, выделить характерные изменения сердечно-сосудистой системы и оценить наиболее значимые биомаркеры симпатической и парасимпатической нервной системы на этапах острой годичной адаптации к экстремальной климатической среде центральной Антарктиды.

Выявлена высокая устойчивость ауторегуляции сосудов глазного дна и церебрального кровотока к полярной гипоксии по данным цифровой фундускопии.

Практическая значимость работы

Ценность работы заключается в возможности использования комплекса исследованных параметров, изменения которых оказались достоверными, как прогностического маркера состояния здоровья человека и адаптации его организма к комплексу экстремальных факторов. Результаты могут быть использованы как для усовершенствования методов отбора кандидатов для участия в длительных полярных экспедициях, так и для мониторинга их функционального статуса в течение пребывания в экстремальной среде.

Кроме этого, результаты исследования могут быть положены в основу дальнейшей оптимизации мониторинга состояния функциональных резервов организма в условиях действия экстремальных факторов среды, с целью совершенствования медицинского обеспечения длительных пилотируемых космических полетов.

Методологическая и эмпирическая база исследования

Методологическая основа диссертационной работы включает методы теоретического познания: эксперимент, моделирование, анкетирование, анализ, синтез, обобщение. Эмпирическую основу составляют теория функциональных систем П.К. Анохина, концепция профессиональной надежности В.А.

Пономаренко, идея академика В.В. Парина о системе кровообращения как индикаторе адаптационных реакций организма в целом, а также концепция Р.М. Баевского, касающаяся анализа функциональных состояний, основанных на активности вегетативной нервной системы.

Для решения задач диссертационной работы были использованы принципы построения эргатических систем, модели операторской деятельности и традиционные подходы к организации экспериментальных исследований, принятые в авиационной, космической и морской медицине [83, 84, 85].

В программу исследований включены методики, валидность которых подтверждена в работах многих отечественных и зарубежных исследователей [86, 87, 88].

Эмпирическая база исследования представлена испытуемыми – добровольцами из числа полярников 64 Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ) в количестве 11 человек, разделенных на 2 возрастные группы; аппаратно-программным комплексом суточного кардиореспираторного мониторинга с использованием суточного холтер-мониторирования ЭКГ с использованием прибора «Кардиотехника-07АД3/12Р» («ИНКАРТ», СПб, Россия) с технологией, предусматривающей решение задач комплексной оценки состояния кардиореспираторной системы; методами статистического анализа полученного материала.

Положения, выносимые на защиту

1. Кардио-респираторная система человека в условиях гипобарической гипоксии Центральной Антарктиды находится в состоянии физиологического напряжения на протяжении всей зимовки. Тенденция к адаптации организма регистрируется, начиная с 6 месяца пребывания на станции.

2. Возрастной фактор оказывает значительное влияние на процесс адаптации организма к условиям экстремальной среды Центральной Антарктиды.

Реактивность физиологических систем организма напрямую зависит от возрастных резервов вегетативной нервной системы.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность научных положений настоящей диссертационной работы обеспечена достаточным объёмом полученных баз данных, детальным и многосторонним анализом полученных данных на основе качественных и количественных (статистических) оценок. В исследовании принимали участие 11 мужчин, участников 64 Российской Антарктической Экспедиции на станции Восток.

Кардиореспираторный мониторинг проводился 4 раза за время экспедиции. Было проанализировано 1225 параметров функционального состояния кардиореспираторной системы.

Динамика статуса вегетативной нервной системы проанализирована по данным 5 кратного сбора данных. Было проанализировано 420 параметров variability сердечного ритма.

Собранный массив данных был проанализирован с использованием программы статистической обработки Statsoft Statistica 13.0, использованы методы непараметрической статистики, U критерий Манна–Уитни, Т-критерий Стьюдента, а также однофакторного дисперсионного анализа ANOVA.

Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и обсуждены Симпозиуме «Человек в космосе» 2021 (23rd IAA Humans in Space Symposium) (Москва, 2021), X Международном Аэрокосмическом конгрессе (IAC, 2021) (Дубай, 2021), XLVI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства «Королевские чтения» (Москва, 2022), XIX Симпозиуме Эколого-физиологические аспекты адаптации» с международным участием (Казань, 2022), XLVII Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых

– пионеров освоения космического пространства «Королевские чтения» (Москва, 2023), 12-я Конференции Международной Ассоциации Содействия Космической Безопасности (IAASS 2023) (Осака, 2023), XVIII Конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием «Земля-Орбита-Дальний космос», посвященной 60-летию создания Института медико-биологических проблем (Москва, 2023).

По теме диссертации опубликованы 13 печатных работ: 2 статьи в рецензируемых изданиях, индексируемых аналитическими базами Scopus, WoS, RSCI и соответствующих перечню ВАК, 2 статьи в материалах международных научных конференций и 7 тезисов в сборниках докладов международных и всероссийских научных конференций.

Оформлено 2 патента государственного образца на собранные базы данных «Функция внешнего дыхания полярников в условиях центральной Антарктиды» № 2022620779 и «Ауторегуляция кровотока сетчатки глаз полярников в условиях центральной Антарктиды» № 2022620657.

Настоящая диссертационная работа апробирована на заседании научной секции «Экстремальная физиология и медицина» ГНЦ РФ – ИМБП РАН (протокол от 04.06.2024 №4).

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 159 страницах и состоит из 4 основных глав, введения, заключения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа иллюстрирована 34 рисунками и 19 таблицами. Список цитируемой литературы включает 304 источника, из них 197 на русском и 107 на иностранных языках. Исследования, результаты которых легли в основу настоящей диссертационной работы, выполнены в рамках программы фундаментальных научных исследований РАН (FMFR-2024-0042).

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АДАПТАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

1.1. Общие сведения об Антарктиде. Показатели экстремальности внешней среды

Антарктида является самым малоизученным континентом Земли, уникальным с точки зрения комплекса факторов, влияющих на жизнедеятельность человека.

В настоящий период территория данного региона регулируется договором об особом международном статусе Антарктиды от 1959 года, где гарантируется свобода осуществления научных исследований и поощряется международное сотрудничество. В Антарктиде активно ведутся международные исследования: 89 действующих станций с общей численностью около 4000 человек ежегодно функционируют на этом континенте [89]. Проведение научных изысканий в регионе началось с 1950-х годов, и уже тогда отечественные исследователи заняли одно из ведущих мест среди экспедиций других стран по значимости полученных результатов. Многие десятилетия различные научные исследовательские проекты и программы составляют неотъемлемую часть Российских антарктических экспедиций.

Антарктида является пятым по величине континентом площадью около 14 200 000 км², из которых 98 % покрыты многолетним льдом, в том числе шельфовые ледники составляют 930 000 км², а острова – 75 500 км². Почти вся поверхность материка находится в пределах Южного полярного круга, что обуславливает уникальное разнообразие присущих ему природных особенностей. Трансантарктические горы разделяют континент на две части: Западную и Восточную. Процесс образования складчатых гор в Западной части континента обусловлен столкновением Антарктической и Южноамериканской литосферных плит. Также на материке наблюдается выраженная вулканическая

активность: на сегодняшний день известно более 50 вулканов, самые крупные из которых – Эребус и Террор, открытые экспедицией Джеймса Кларка Росса.

Климат Антарктиды формируется несколькими факторами, включая радиационные, такие как динамика распределения солнечной энергии в атмосфере и на поверхности Земли, циркуляционные, включающие движение воздушных масс, вертикальным обменом влагой и теплом между атмосферой и поверхностью Земли, а также взаимодействиями между этими элементами [82].

Полярное плато изучаемой области Антарктиды безусловно является уникальным местом для проведения различных исследований, включая медицинские. Экстремальные условия, преобладающие в этом регионе, как крайне низкое атмосферное давление (около 645 гПа), низкие температуры воздуха (среднегодовая температура -51°C , с понижением до -80°C в зимний период [77]) и чрезвычайно сухой воздух, создают особые условия, которые могут быть использованы для изучения влияния экстремальных условий на человеческое тело.

Полярное плато Восточной Антарктиды представляет наибольший интерес с точки зрения проведения медицинских исследований ввиду таких факторов как крайне низкое атмосферное давление (в среднем 645 гПа), среднегодовая температура воздуха -51°C , с понижением до -80°C в зимний период [77].

Это плато считается наиболее засушливым регионом на Земле, поскольку ежегодное количество осадков редко превышает 50 миллиметров. При этом, относительная влажность воздуха в данном регионе составляет 71%, что может показаться неожиданно высоким значением для такой сухой местности. Однако, важно обратить внимание на показатель абсолютной влажности воздуха, которая в зимние месяцы практически стремится к нулю. Это явление обусловлено экстремальными погодными условиями, типичными для Антарктиды, где низкий уровень осадков сочетается с холодными температурами, что ведет к минимальному содержанию водяных паров в воздухе.

В 1983 году здесь был зафиксирован абсолютный минимум температуры воздуха на поверхности Земли $-89,2^{\circ}\text{C}$ [90, 91].

В июле уровень содержания влаги в воздухе достигает максимальных значений, в то время как минимальная ее концентрация наблюдается в марте. Как и в Северном полярном регионе, в Антарктике в зимний период года содержание влаги в атмосфере составляет всего лишь 1–3 г/м³ [92].

Холодовой фактор является одним из ключевых экстремальных условий в Антарктиде. При этом важно отметить, что термин «холод» соотносится с понятием охлаждающего влияния окружающей среды на организм [93].

Цепь циклонов, движущихся с Запада на Восток, окружают антициклон, непосредственно расположенный над Антарктидой. Антициклон, характерный для Восточной Антарктиды представляет собой устойчивое образование, при относительно непостоянстве его положения и размеров, изменяющихся под влиянием циклонов. Для данного региона характерны ветры с значительной восточной составляющей. Питание ледникового щита осуществляется за счет движения влаги, поступающей с теплыми воздушными массами из океанических циклонов в высотные слои воздушных масс континентальной Антарктиды [94].

Влияние солнечной активности на климатическую систему Земли оказывается не только значительным, но и многогранным [95]. Это воздействие зависит от нескольких ключевых параметров, включая угол падения солнечных лучей на поверхность нашей планеты, обусловленный высотой солнца над горизонтом. Кроме того, плотность и состав атмосферы играют критическую роль, поскольку они определяют степень проникновения и рассеивания солнечной радиации. Облака также вносят свой вклад, функционируя как фильтры, через которые проходят солнечные лучи, влияя на количество энергии, доходящей до земной поверхности.

Одной из уникальных характеристик полярных областей Земли является крайняя фотопериодичность – явление, при котором длительность светового дня и ночи резко меняется в зависимости от сезона. Этот аспект полярных регионов не только определяет уникальность их экосистем, но и влияет на весь биологический ритм проживающих там организмов. Полярная ночь и аналогичный ей период – полярный день – на Южном геомагнитном полюсе и в месте расположения станции

Восток приблизительно равны между собой по продолжительности и длятся около 120 дней. В течение этого периода вследствие полного отсутствия солнечного света происходит крайне сильное выхолаживание воздуха и над снежной поверхностью образуется мощная температурная инверсия. Погода зимой – в течение полярной ночи – в этом районе отличается относительно слабым постоянным ветром со скоростью 3–4 м/с, мощности воздействия которого не хватает для разрушения температурной инверсии [96].

Среднемесячное количество солнечного тепла, поступающего на поверхность Антарктиды в летнее время в среднем, составляет 30 ккал/см². Учитывая высоту материка и сухости холодного воздуха, показатель приходящей суммарной радиации в Антарктиде летом – в течение полярного дня – в 1,5 раза выше, чем на тех же широтах в Арктике. Например, в декабре на станции Восток суммарная солнечная радиация составляет 1,26 ГДж/м² и на 80 % состоит из прямой радиации. Годовой радиационный баланс поверхности на станции равен 0,08 ГДж/м². На всей поверхности земного шара более нигде не отмечено сходных значений уровня месячной радиации [97].

Антарктика, аналогично Арктике, определяется как зона повышенного дефицита ультрафиолета. Это объясняется сдвигом спектрального состава прямой солнечной радиации, обусловленного изменением высоты стояния солнца над горизонтом [98].

В середине 50-х годов XX века при исследовании ультрафиолетовой недостаточности Н.Ф. Галаниным было впервые введено понятие «биологической тьмы», обозначившее период отсутствия эритемного ультрафиолетового облучения [99], проявляющего активное биологическое воздействие на человека. Ввиду схожести фотопериодичности в полярных областях Земли, данный фактор учитывается и в анализе климатических условий Антарктики.

Для того чтобы извлечь терапевтические выгоды из ультрафиолетового излучения, солнце должно достигать высоты как минимум 20° над горизонтом. Однако даже летом в полярных регионах достичь необходимых уровней ультрафиолетовой радиации оказывается сложным из-за того, что солнце занимает

низкое положение на небосводе. Это делает полярные лета уникальными по своим условиям освещенности, что вносит определенные ограничения и ставит специфические задачи перед исследователями и медиками, работающими в этих условиях. В осенний период, а именно с ноября по февраль, наблюдаются т.н. «биологические сумерки» с преобладанием рассеянной ультрафиолетовой радиации. Период с декабря по январь характеризуется как время «биологической тьмы» из-за сниженной солнечной активности, что оказывает влияние на живые организмы. С увеличением солнечной активности наблюдается рост электромагнитных излучений, а также усиление выбросов заряженных частиц в атмосферу Земли. Это особенно значимо, так как эти процессы влияют на метеорологические и биологические условия, определяя общее состояние окружающей среды [100].

Частые электромагнитные возмущения в Антарктическом регионе достигают показателей в сотни и иногда тысячи гамм [101]. Радиопроницаемость территории, особенно в контексте распространения радиоактивного излучения, радиоволн и ионов тяжелых элементов, играет значительную роль в определении микроклимата и экологических условий, которые воздействуют на здоровье и функциональное состояние человеческого организма. Интенсивность электромагнитных полей, создаваемых этими факторами, усиливается с повышением широты, что подчеркивает важность географического расположения в оценке экологической безопасности регионов [102].

В качестве характеристики изменения степени геомагнитной активности в течение определенного периода используется К-индекс [103, 104, 105].

Таким образом, Антарктика обладает уникальной структурой климата, формирующейся при взаимодействии множества факторов окружающей среды: сочетания колебаний температуры среды, атмосферное давление, диапазона показателей абсолютной и относительной влажности, особенностей ветрового режима, характеристики магнитных полей над регионом, атмосферного электричества, значительного дефицита УФ- излучения.

Именно в этом регионе размещена Российская Антарктическая станция Восток. Ее координаты: $78^{\circ}27'51''$ южной широты и $106^{\circ}50'14''$ восточной долготы на высоте 3488 м над уровнем моря, что отражено на Рисунке 1[106].

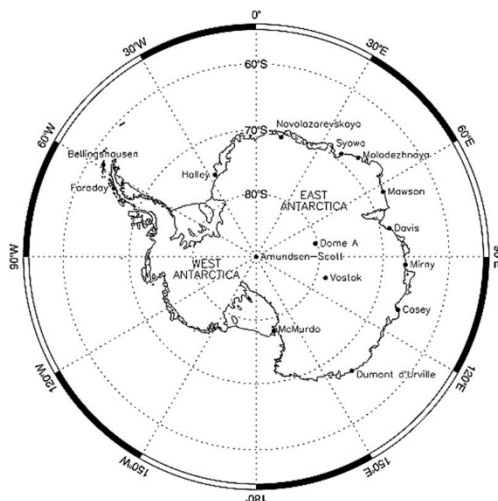


Рисунок 1 – Схема Антарктиды с указанием расположения станции Восток

Учитывая столь уникальную совокупность климатических данных, Антарктида может считаться экстремальной географической зоной. Таким образом, трудовая и бытовая деятельность человека в подобных условиях окружающей среды- чрезвычайно сложны.

В Антарктике в настоящее время присутствует 89 научно-исследовательских станций, около половины из которых – круглогодично функционирующие. Однако, лишь три станции с непрерывным пребыванием персонала (американская Амундсен-Скотт, российская Восток, франко-итальянская Конкордия и имеют интраконтинентальное и высотное расположение (2835 м над уровнем моря и выше). Отличие вышеуказанных станций заключается не только в высотной составляющей, но и с напрямую связанным с ней атмосферным давлением, оказывающем значимое влияние на проявление кислородного голодания. Остальные антарктические станции размещены вдоль побережья и по климатогеографическим показателям схожи между собой.

В начале 2010-х годов был введен биоклиматический индекс суровости метеорологического режима, или BISCR, который является передовым инструментом для анализа климатических условий с точки зрения их комфортности для человека. Индекс BISCR интегрирует различные метеотропные факторы такие, как атмосферное давление, и базируется на научных принципах, изложенных в трудах В.Ш. Белкина. Это значительно облегчает работу экологов и метеорологов в оценке воздействия климатических изменений на общественное здоровье.

Пределы уровней «комфорт/дискомфорт» были установлены эмпирически для различных метеорологических параметров и указаны в Таблице 1 Приложения А [107]. При идеальных условиях $BISCR = 10$; для экстремальных значений всех параметров в уравнении $BISCR = 0$.

Еще одним индексом, используемым исследователями для иллюстрации тяжести климатических условий в экстремальных условиях, является ветро-холодовой индекс WCI – Wind Chill Index. Чтобы отобразить степень дискомфорта, уровни WCI были ранжированы по признакам от «прохладно» до «ледяной холод», а для BISCR – от «комфорт» до «некомпенсируемый дискомфорт».

В Приложении А в Таблицах 2 и 3 указаны значения индексов WCI и BISCR для станции Восток [82].

WCI на станции на протяжении года определялся как «экстремальный холод», а по градации BISCR как «некомпенсированный дискомфорт (особые условия) », обусловленные крайне низкими температурами за пределами помещений. Низкая температура воздуха вне зданий на станции Восток приводит к высоким значениям WCI в течение всего года. Столь критически низкие значения температур оказывают значимое влияние на жизнедеятельность и труд полярников, в особенности при пребывании на открытом воздухе. Также возникает дополнительная проблема – гипоксия, так как она увеличивает вероятность обморожения, хотя и не включена в методику ветро-холодового и прочих показателей, характеризующих терморегуляционную реакцию человека на критические значения основных природных факторов [82].

1.2. Общее влияние среды Центральной Антарктиды на организм человека

Кроме экстремальных условий окружающей среды на участников зимовок немаловажное воздействие оказывают и психологические факторы, в том числе, длительная социальная и географическая изоляция: члены каждой антарктической экспедиции проводят на станции Восток более девяти месяцев в связи с полной транспортной недоступностью региона в этот период по климатическим причинам. При этом работа проходит в условиях искусственного микроклимата и отсутствия естественного освещения.

Г.С. Никифоров, известный российский психолог, сформировал классификацию триггеров, связанных с профессиональной деятельностью, которая оказывает влияние на психологическое состояние работников. Распределение стрессоров по организации и содержанию трудовой деятельности позволяет глубже понять, какие конкретные аспекты профессиональной среды наиболее существенно влияют на эмоциональное и физическое состояние сотрудников, предоставляя основу для разработки стратегий по улучшению условий труда и повышению продуктивности [108].

Из них во время Антарктической экспедиции можно отметить следующие:

- систематическое отвлечение внимания (постоянное воздействие экстремальных факторов, развитие преждевременного утомления);
- однообразие работы и невозможность изменить ситуацию;
- неблагоприятное воздействие факторов физической среды;
- качество оборудования;
- общая постоянная опасность для жизни и здоровья, риск;
- нарушение биологических ритмов;
- неблагоприятное функциональное состояние организма;
- взаимоотношения с коллегами;
- ограничения свободы поведения;
- жизненные кризисы.

Исследователи Е.В. Маркелова, В.Е. Красников, В.Н. Степанюк и О.А. Мисюра утверждают, что экстремальные состояния организма возникают вследствие воздействия необычайно сильных экстернальных или интернальных факторов. Такие состояния проявляются либо крайним напряжением, либо полным истощением механизмов адаптации, что в свою очередь приводит к серьезным нарушениям в жизнеспособности человека. Это особый вид реакции, когда организм стремится справиться с вызовами, выходящими за пределы его обыденной операционной нагрузки, что иллюстрирует глубину воздействия таких условий на человеческое здоровье [109].

С точки зрения системного подхода понятие «экстремальный фактор» является функциональным, так как экстремальность определяется только в процессе взаимодействия конкретного индивида и конкретного фактора среды. Весьма важным является изучение неоднородности адаптационных способностей индивидов, подвергающихся негативным факторам окружающей среды, поскольку вариативность реакций организма может определяться в диапазоне от проявления структурных и функциональных изменений до полной компенсации.

Экстремальным может являться как единичный фактор, сила или длительность воздействия, которого значимо превосходят адаптационные свойства организма. Однако, при рассмотрении конкретных условий, таких как Антарктическая экспедиция или условия космического полета, наблюдается комплексное непрерывное воздействие факторов окружающей среды, суммация которых в значительной мере определяет оказываемый эффект (благоприятное сочетание или «взаимное отягощение»). Очевидно, что эффект суммации воздействия негативных факторов может проявляться и при отсутствии признака, определяющего «экстремальность» признака и дезадаптация систем организма может возникнуть и при последовательном или комбинированном действии

В исследовании особое значение отмечено именно в уникальном сочетании экстремальных условий, характерных для работы на антарктических станциях, которые оказывают значительное воздействие на психологическое и физиологическое состояние персонала. В задачи различных исследований влияния

экстремальных условий на здоровье и эффективность человека авторы включают анализ ряда ключевых факторов, которые могут оказывать значительное воздействие на работу команд в таких условиях. Особое место занимают социокультурные аспекты, такие как ограниченное социальное взаимодействие и нехватка разнообразия в окружающем пространстве, что можно классифицировать как социальную и цветовую депривацию. Кроме того, полярники сталкиваются с трудностями, обусловленными изолированным положением в территориальном и культурном аспекте.

Экологические и климатические условия Антарктики существенно усложняют ситуацию. Все это в совокупности требует от участников экспедиции как адаптации на личностном уровне, так и разработки эффективных стратегий взаимодействия в рамках ограниченной микросоциальной среды антарктических станций.

Успешная адаптация к подобным условиям предусматривает командную работу, нацеленную на преодоление этих сложностей, что крайне важно для поддержания устойчивости и обеспечения высокой производительности.

Нахождение участников экспедиции продолжительное время в экстремальном состоянии обеспечивает получение уникальных данных об особенностях приспособления и адаптационного резерва организма.

1.3. Подходы к оценке функциональной адаптации организма человека к экстремальным факторам Центральной Антарктиды

Для определения адаптационных возможностей организма человека российским ученым, главным научным сотрудником ГНЦ РФ – ИМБП РАН Р.М. Баевским [110] были предложены различные методы качественной и количественной оценки уровней адаптации, которые можно рассматривать как не прямые характеристики состояния адаптационных возможностей организма. В контексте космической медицины значительное внимание уделяется изучению ВНС через анализ variability сердечного ритма (BCP). Этот

методологический подход позволяет оценивать активность симпатического и парасимпатического отделов нервной системы, а также подкоркового сердечно-сосудистого центра и высших вегетативных центров мозга. Использование этого метода способствует глубокому пониманию механизмов воздействия экстремальных факторов на основополагающие процессы в организме человека посредством анализа степени воздействия экстремальных условий среды [52, 111].

Р.М. Баевским вместе с соавторами было предложено использовать метод анализа ВСР для оценки уровня адаптации по состоянию ВНС и состоянию сердечно-сосудистой системы (ССС) [112]. Данный подход основан на концепции двухконтурной модели регуляции, которая описывает процесс адаптации к условиям среды как переход от одного функционального состояния к другому вследствие изменений таких свойств биосистемы как уровень функционирования, функциональный, степень напряжения регуляторных механизмов.

Уровень функционирования определяется значениями основных сердечно-сосудистых показателей гомеостаза – артериальное давление (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС). АД само по себе является интегральным показателем, аккумулирующим в себе сердечный выброс, объем и вязкость циркулирующей крови, общее периферическое сопротивление сосудов.

Функциональный резерв можно описать как запас устойчивости систем, позволяющий сохранять гомеостатические константы в определенном диапазоне воздействий. Одному и тому же уровню функционирования может соответствовать множество значений функционального резерва и степени напряжения регулирующих систем.

Функциональный резерв оценивается путем предъявления максимальной нагрузки на исследуемую систему, однако в этом случае возникает риск срыва адаптации организма вплоть до критического исхода. Более безопасным подходом считается оценка степени напряженности регуляторных систем при определенном уровне функционирования исследуемой системы. Для этого проводится анализ показателей ВСР. Данный способ оценки адаптационного потенциала является простым, не требует дорогостоящих исследований и оборудования, позволяет

охватывать широкий круг пациентов и не снижает качества оценки уровня адаптации, в связи с чем получил значительное распространение в оценке состояний организма в различных исследованиях, в том числе в космической отрасли.

В ходе проведения различных исследований условий в полярных регионах наблюдается интересная сезонная динамика физиологических и нейropsychологических ответов организма [113].

Период полярного дня характеризуется глобальными физиологическими перестройками. Влияние избыточного ультрафиолетового излучения активизирует нервную систему, что сначала приводит к возбуждению, а затем — к переутомлению.

Увеличение интенсивности природного освещения активизирует функциональную работу зрительной коры, что, в свою очередь, усиливает тонус оптико-вегетативных путей и включает подкорковые структуры в активную работу. Следует отметить, что в данной фазе наблюдается возрастание тонуса симпатической части вегетативной нервной системы, способствуя увеличению количества адреналина и кортикостероидов в крови.

Такая каскадная цепочка реакций приводит к серии физиологических изменений: росту частоты сердечных сокращений, повышению кожной электропроводности и температуры тела, увеличению артериального давления, частоты дыхания и эффективности усвоения кислорода. Однако стоит учесть, что продолжительное воздействие интенсивного освещения может привести к переходу возбуждения в режим охранительного торможения, что потенциально может нарушить адаптивные способности организма к внешним условиям [114]. Такие знания могут быть критически важны для разработки стратегий адаптации в условиях изменяющейся световой среды, что актуально как для клинической практики, так и для дальнейших исследований в данной области.

В контрасте с полярным днем, в период полярной ночи авторы фиксировали повышенное торможение в деятельности ЦНС у экспедиционных групп. Это сопровождается уменьшением эффективности аналитических систем и снижением

надёжности интегративных процессов в головном мозге. В это время отмечаются жалобы персонала на физическое недомогание, усталость, сонливость и частые головные боли, а также преходящие боли в области сердца. Клинически проявляются различные неврастенические нарушения и психическая подавленность, что приводит к дестабилизации поведения. Наблюдается подавление психической активности из-за нарушений ауторегуляторных функций мозга, а также торможение рефлексов, регулирующих сосудистую и дыхательную деятельность. Также значительным является снижение основного обмена и изменения респираторных функций.

1.4. Воздействие экстремальных факторов Центральной Антарктиды на функциональную адаптацию организма человека

Установлено, что совокупное влияние факторов, действующих на человека во время пребывания в Антарктике, приводит к ряду специфических изменений состояния и режимов функционирования организма на самых разных уровнях. Одновременно с этим существует распространенное мнение, что на дезадаптацию функциональных систем организма влияют не только суровые условия Антарктиды, но и особенности социального взаимодействия в небольших коллективах, работающих в экстремальных бытовых и трудовых условиях. Изменения в работе различных систем организма, вызванные экстремальными факторами, характерны не только для сотрудников экспедиций, долгое время работающих на антарктических станциях, но также и для лиц, выполняющих сезонные работы в Южном полушарии.

Некоторые исследователи считают, что деятельность в Антарктике по своим особенностям схожа с работой космонавтов. В связи с этим они полагают, что результаты медико-биологических исследований, проведенных в антарктических экспедициях, могут быть полезны для анализа условий космоса, помогая прогнозировать изменения в функциональных системах космонавтов [115].

Основу специфических реакций организма человека на воздействие экстремальных факторов, в том числе проявление синдрома полярного и антарктического напряжения, составляет комплекс функциональных изменений в психосоматической и вегетативной сферах на системном и тканевом уровнях. Из многообразия факторов, способствующими развитию этого состоянию организма, основными являются биофизические, психологические и социальные [116, 117, 118, 119]. В условиях Антарктической экспедиции, где экстремальные факторы существенно влияют на организм, процесс адаптации регулируется множеством систем, зависящих от характера воздействия и индивидуальной реактивности. Например, психоэмоциональные и социальные факторы влияют в основном на головной мозг, изменяя его функциональное состояние, в то время как геофизические условия воздействуют на тканевой метаболизм. В то же время холодовые условия требуют адаптации механизмов терморегуляции.

ЦНС играет ключевую роль в поддержании гомеостаза организма при адаптации к суровым условиям Антарктиды. Экстремальный холод, а также изолированная среда вызывают функциональную перестройку в рамках коры больших полушарий головного мозга и подкорковых центрах вегетативной нервной системы. При активации подкорковых центров и гипоталамуса запускаются адаптивные реакции, в которые включено гормоны, метаболиты, нейромедиаторы и витамины, что приводит к структурным изменениям на системном и молекулярном уровнях.

В условиях данного региона происходит усиление напряжения адаптационных механизмов центральной нервной системы, что может привести к развитию "синдрома психоэмоционального напряжения" [121]. Клинические проявления этого состояния могут варьироваться от легкого дискомфорта до серьезной невротической тревоги, которая в ряде случаев может сопровождаться повышенной психомоторной активностью, а также эйфорическими эпизодами.

Интересно отметить, что эффективность психологической адаптации тесно связана с мотивацией и социальной настроенностью участников экспедиции.

Участники экспедиции, которые нацелены на социальное взаимодействие и реагируют на материальные и моральные стимулы, обычно адаптируются успешнее.

Заметны также изменения в эндокринной системе, которые можно оценить по изменениям биохимических показателей.

Подтверждением служат результаты, полученные в ходе исследований на китайской антарктической станции Чанчэн (Chángchéng Zhàn) в осенне-летний период 2000-2001 гг. [122], где было установлено, что в качестве ответной реакции на системное воздействие стрессорных факторов, у сезонного персонала станции регистрировалось повышение концентрации тиреотропного гормона при снижении уровня адреналина. В другом исследовании реакции организма на экстремальные условия пребывания, проходящем на станциях Марио Зуккелли и Конкордия, отмечалось в течение 2-3 месяцев изменение функционирования гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой и гипоталамо-гипоталамоидной систем, выразившееся в повышении уровня секреции кортизола и тиреоидных гормонов [123].

Важно также отметить, что годовичная зимовка, длительное пребывание персонала на антарктических станциях, вызывает стойкие изменения в метаболизме организма. В частности, наблюдается устойчивое повышение уровней адреналина, норадреналина и кортизола в моче, а также снижение содержания триптофана. Описанные метаболические изменения сохраняющиеся в течение месяца после возвращения из полярного региона, что свидетельствует о весьма сложной, комплексной перестройке системных процессов, происходящий в организме в ответ на продолжительный период воздействия экстремальных факторов [123].

Исследования различных показателей деятельности организмов участников зимовочного состава, проведенные в течение 13 месяцев на станции Чанчэн (Chángchéng Zhàn), выявили значимое снижение уровня триптофана в плазме крови, которое возвращалось к нормальным значениям только спустя две недели после окончания экспедиции. Более того, наблюдения показали повышенную

концентрацию 5-гидроксииндолуксусной кислоты после шести месяцев пребывания в антарктических условиях, и этот показатель продолжил возрастать вплоть до окончания миссии. Авторы предполагают, что такие метаболические изменения могут коррелировать с уменьшением продукции церебрального серотонина, что влияет на поведение и психологические характеристики лиц, участвующих в долгосрочных полярных экспедициях, приводя к специфическим изменениям в поведенческих реакциях и личностных особенностях [124].

В ходе продолжительного нахождения в экстремальных условиях Антарктики, в плазме крови участников экспедиции зафиксировано повышение уровней глюкуронидазы и лизоцима. После года пребывания в этом регионе произошло значительное снижение исходного уровня иммуноглобулинов: концентрация IgM уменьшилась на 60%, а IgG — на 62%. Кроме того, уровень пролиферации лимфоцитов сократился до 45% от начального значения. Исследователи связывают такие выраженные изменения в иммунологическом профиле с воздействием стрессовых условий окружающей среды Антарктики. Эти изменения могут быть использованы как индикаторы для мониторинга функционального состояния иммунитета [125]. Отдельно отмечается, что продолжительное воздействие стресса, особенно обусловленного психосоциальными факторами, приводит к подавлению иммунной системы, что проявляется снижением пролиферативной активности Т-лимфоцитов [126].

Наряду с этим отмечается, что ритмические колебания секреции тропных гормонов гипофиза, происходящие под влиянием смены света и темноты, являются причиной периодики физиологических процессов: светлому периоду соответствует преобладание тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы и повышенный уровень адреналина и кортикостероидов, темному – преобладание парасимпатического тонуса и повышенный уровень меланотропного гормона [126].

В ходе проведения корреляционного анализа множества климатических и геофизических параметров Антарктиды, включая значения атмосферного давления, температуры, скорости ветра и влажности, было установлено, что среди

них значительное влияние на мобилизацию эндокринных функций оказывает изменение магнитного поля Земли.

Высокая ионизация атмосферы Антарктики, близость магнитного полюса делают этот район наиболее неблагоприятным в отношении перемены интенсивности и частоты колебаний магнитного поля [116].

Таким образом можно сделать вывод, что адаптация в Антарктике — это многофакторный процесс, требующий комплексного подхода в исследовании ответов различных систем организма.

1.5. Сердечно-сосудистая система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии

Важнейшую роль в приспособлении к экстремальным воздействиям играют реакции со стороны ССС, так как она является одной из наиболее быстро реагирующих на изменение условий существования и обеспечивает быструю перестройку функционирования организма как единого целого по отношению к окружающей среде. Снижение концентрации O_2 в крови обозначают как гипоксемия.

В результате ранее проведенных исследований доказана возможность использования измерений совокупности функциональных показателей сердечно-сосудистой системы как индикатора адаптивных реакций целостного организма и показателя риска развития заболеваний. Такой подход закономерен, поскольку система кровообращения является связующим звеном между всеми органами и системами, между «управляющими центрами и управляемыми элементами» [30, 112, 127]. Изучение адаптации к холодовым условиям показывает, что изменения затрагивают как изоляционные, так и метаболические функции в эффекторном звене системы терморегуляции [128].

При изоляционной адаптации человека к холоду происходит снижение средневзвешенной температуры кожных покровов за счет снижения теплоотдачи

через поверхность кожи и снижения респираторных тепловотерь за счет уменьшения легочной вентиляции, снижения температуры и влажности выдыхаемого воздуха. Для адаптированного человека характерно сниженное количество функционирующих холодовых рецепторов кожи, что приводит к снижению импульсации в системе терморегуляции [129].

Анализ динамики сердечного ритма показал, что у некоренных лиц, посещающих полярные регионы, частота сердечных сокращений, как правило, выше, чем у коренных жителей [130]. Исследователи предполагают, что это может указывать на менее эффективную функцию миокарда у некоренного населения, поскольку более высокая частота сердечных сокращений при среднем уровне артериального давления и сердечного выброса связана с большим потреблением кислорода и, как следствие, снижением физиологической эффективности сердца. Однако отмечается, что после трех месяцев пребывания в Заполярье частота сердечных сокращений у некоренной группы снижается.

Исследователи считают, что тенденция к урежению ЧСС объясняется созданием хронотропного резерва, который обуславливает увеличение диапазона ответных реакций сердечно-сосудистой системы на нагрузку. При этом уменьшение периферического сосудистого сопротивления у некоренного населения к 5-му месяцу пребывания в полярном регионе создает более благоприятные условия для обеспечения нормального функционирования сердечно-сосудистой системы (ССС). Высокое периферическое сосудистое сопротивление в 1-ый месяц у представителей некоренного населения, прибывшего в полярный регион, может говорить о повышении энергетических затрат и уменьшении эффективности работы миокарда в этот период, что осложняет нормальное функционирование СССР.

В начале периода пребывания в полярном регионе напряжение адаптации организма характеризуется высокими показателями среднего динамического давления. Однако через несколько месяцев происходит снижение реакции СССР вследствие оптимизации механизмов гомеостаза.

Результаты других исследований подтверждают, что рост частоты сердечных сокращений и увеличение периферического сопротивления сосудов являются неотъемлемой частью процесса адаптации к северным условиям [131]. Симпатический отдел НС при этом проявляет себя как кратковременный адаптационный механизм, а парасимпатический отдел НС, соответственно, долговременный [132].

Данные исследований разнообразных изменений в рамках функционирования системы кровообращения человека в условиях холода свидетельствуют о том, что эти изменения зависят от нескольких факторов: продолжительности воздействия холода, интенсивности низких температур, степени адаптации к холоду и генетически обусловленной скорости метаболизма человека, базального метаболизма и общей устойчивости к суровым температурам. Это подтверждается доказательствами, показывающими, что симпатическая активность в сердечно-сосудистой регуляции увеличивается в начале воздействия холода, но со временем уменьшается, в то время как парасимпатическое влияние становится более выраженным, что приводит к брадикардии [133].

Проведенные ранее исследования [134], позволяют сделать вывод, что реакция сердечно-сосудистой системы в начальный период адаптации к условиям Северо-Востока России у находящихся в полярном регионе представителей некоренного населения обусловлена повышением систолического и диастолического артериального давления, что является компенсаторным механизмом при воздействии низких температур окружающей среды.

Установлено, что у представителей некоренного населения, прибывающих в полярный регион, за пятимесячный период увеличивается длительность зубца Р, а его амплитуда не изменяется. Кроме того, привлекает внимание увеличение интервала PQ, отражающего период проведения возбуждения на предсердно-желудочковом участке проводящего пути сердца [130, 135]. Как считают авторы, изменение указанных электрофизиологических характеристик, возможно, является следствием ослабления адренергических влияний к окончанию стадии адаптивного

напряжения [130]. По мнению других исследователей [135], торможение возбуждения на участке атриовентрикулярного узла миокарда, вероятно, связано с усилением парасимпатического эффекта в вегетативной регуляции сердца в условиях длительного холодого воздействия. Вместе с тем продолжительность электрической систолы (интервал QT) у представителей некоренного населения, находящихся в полярном регионе, достоверно уменьшалась к пятому месяцу. Причем этот процесс начинался через два месяца после прибытия. Ранее проведенные исследования на станции Восток выявили определенную динамику функционального состояния миокарда в процессе акклиматизации. В период полярной ночи был отмечен ряд отрицательных сдвигов, таких как синусовая аритмия, уменьшение вольтажа зубца Т и его снижение ниже изолинии. По мере акклиматизации выявлялась нормализация сердечного ритма, продолжительность интервала QT и величин артериального давления [81].

В настоящее время известно о нескольких типах адаптации человека к холоду: метаболическом, изоляционном и гипотермическом [136]. В результате физиологических исследований доказана возможность использования измерений совокупности функциональных показателей сердечно-сосудистой системы как индикатора адаптивных реакций целостного организма и показателя риска развития заболеваний. Такой подход закономерен, так как система кровообращения является связующим звеном между всеми органами и системами, между «управляющими центрами и управляемыми элементами» [112, 127, 137, 138].

Ряд исследователей [139,140] выдвинули концепцию, которая заключается в минимизации основного обмена и функционирования висцеральных систем организма человека в условиях низких температур. Постулатам этой концепции соответствуют результаты исследований, в которых показано повышение парасимпатического эффекта в регуляции сердечно-сосудистой системы [111, 141, 142]. В исследовании, выполненном в рамках проекта «МАРС-500», проводившегося в ГНЦ РФ – ИМБП РАН, показано, что в обследуемой группе северян преобладают «ваготоники», а среди южан – «нормотоники» и

«симпатикотоники» [143]. У северян, в связи с большим климатическим контрастом, были обнаружены сезонные колебания показателей температуры тела и вариабельности сердечного ритма. В то время как у южан не было обнаружено сезонных колебаний в показателях вариабельности ритма сердца. В соответствии с общепринятым мнением, сбалансированная вегетативная регуляция обуславливает то, что организм может максимально эффективно использовать свои физиологические возможности, в то время как нарушение этого баланса может быть одним из первых признаков дезадаптации [26].

Во время акклиматизации человека к экстремальным природным условиям в условиях полярных широт, симпатоадреналовая система, которая принимает участие в регуляции сердечно-сосудистой системы, играет ключевую роль [32]. На начальном этапе адаптации происходит активация этой системы, прежде всего, за счет адренергического звена, что наблюдается у взрослых лиц с различными периодами проживания в полярном регионе [144]. Высокая активность гормонов выделяемых в мозговом слое надпочечников у представителей постоянного населения полярных регионов обуславливает долговременное воздействие, которое проявляется в повышении тонуса одних физиологических систем и понижении других, а также создании определенного метаболического фона, направленного на координированное функционирование внутренней среды организма в экстремальных условиях полярных широт [142].

Организм переходит на новый уровень гомеостаза, формируя полярный экологический тип функционирования органов и систем. Формирование «полярного метаболического типа» обмена веществ заключается в переключении углеводного типа обмена веществ на липидный. В свою очередь, липидный тип обмена веществ, по мнению ряда авторов, обуславливает повышенное потребление тканями O_2 на фоне кислородного голодания, вызванного низким парциальным давлением O_2 полярного воздуха [145]. В соответствии с мнением некоторых исследователей высокая ЧСС может быть невыгодной для оптимального кровообращения, в частности, из-за того, что она сокращает период диастолической фазы и увеличивает нагрузку в рамках минутного объема

кровообращения, что для организма является более затратным и требует больше потребления кислорода [134].

В связи с высокогорным местоположением станции Восток полярники, живущие и работающие в этих условиях, испытывают на себе действие гипобарической гипоксии, которая оказывает влияние практически на все функциональные системы организма и в первую очередь на сердечно-сосудистую. Пребывание в условиях высокогорья продолжительностью от одного до нескольких дней или недель вызывает физиологическую корректировку и акклиматизацию сердечно-сосудистой системы и легких [146, 147]. Важно отметить, что пребывание в условиях гипобарической гипоксии более 2,5 месяцев оказывает влияние практически на все функциональные системы организма и приводит к адаптивным изменениям не только в сердечно-сосудистой, но и дыхательной, мышечной и кровеносной системах [148].

Первоначальная сердечно-сосудистая реакция на гипобарическую гипоксию характеризуется увеличением сердечного выброса с тахикардией, без изменения ударного объема, тогда как артериальное давление может временно немного повышаться. После нескольких дней акклиматизации сердечный выброс возвращается к норме, но частота сердечных сокращений остается увеличенной, так что ударный объем уменьшается [149]. Функция желудочков сохраняется с первоначально повышенными, затем сохраненными или слегка пониженными показателями систолической функции и измененным характером диастолического наполнения. Давление наполнения сердца остается неизменным. Физические упражнения как при остром, так и при хроническом высокогорном воздействии связаны с резким повышением давления в легочной артерии. Взаимосвязь между рабочей нагрузкой, сердечным выбросом и потреблением кислорода сохраняется в условиях гипобарической гипоксии, но наблюдается снижение максимального потребления кислорода, которое сопровождается уменьшением максимального сердечного выброса. Снижение максимального сердечного выброса в меньшей степени характерно для острой гипоксии, но становится более выраженным при акклиматизации [150]. Это не объясняется гиповолемией, кислотно-основным

статусом, повышенной вязкостью крови при полицитемии, изменениями вегетативной нервной системы или сниженной систолической функцией. Было достоверно смоделировано, что максимальное потребление кислорода на больших высотах определяется согласованием конвективных и диффузионных систем переноса кислорода при более низком максимальном сердечном выбросе [150].

1.6. Респираторная система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии

Конец XIX века принес открытия в области физиологии благодаря исследованиям ученого Моссо, который выяснил, что акклиматизация человека к условиям высокогорья выше 4000 метров над уровнем моря сопровождается специфическими нарушениями в дыхании. Эти нарушения проявляются в виде частых поверхностных вдохов и выдохов, которые чередуются с непроизвольными длительными паузами, известными как апноэ. Дальнейшие исследования подтвердили, что такие изменения в ритмичности дыхания являются типичными для высокогорных условий. Особенно заметны эти проявления у людей, спящих на высоте свыше 2500 метров. Наблюдается аperiodичность дыхательного цикла, причем основная опасность заключается в формировании продолжительных апноэ, что ведет к серьезной гипоксемии из-за ухудшения насыщения крови кислородом. Это состояние чревато тяжелыми последствиями для здоровья человека в условиях высоты [153]. Как отмечено в ряде исследований, в процессе адаптации к высокогорной гипоксии, в ответ на эти изменения газотранспортная система организма адаптируется, оптимизируя энергетическую эффективность. Это включает усиление механизмов утилизации кислорода и повышение способности к ресинтезу аденозинтрифосфата в клетках, что позволяет лучше справляться с энергозатратами в условиях ограниченного доступа к кислороду. Необходимость в таких адаптациях подчеркивает сложность приспособления к экстремальным условиям высокогорья. [154, 155, 156, 157].

Центральная часть Южного полярного региона, известная как Полярное плато, занимает высотное положение, из-за чего условия здесь довольно экстремальные. В связи с этим, в течение зимовки, когда температуры значительно падают, содержание кислорода в альвеолярном воздухе значительно уменьшается, достигая показателей всего лишь 53–57 мм ртутного столба, что почти в два раза ниже нормы. Это резкое снижение кислорода создает серьезные вызовы для физиологических процессов человека, адаптирующегося к таким условиям, и требует специальных мер подготовки и приспособления к выживанию в такой суровой среде. Максимальная легочная вентиляция, наоборот, на всем протяжении зимовки становится повышенной (130–155 л/мин).

Процесс акклиматизации к условиям высоты может занимать несколько недель, в течение которых дыхательная система адаптируется для более эффективного реагирования на изменения в кислородном составе крови. С постепенным привыканием организма к кислородной недостаточности и увеличенному содержанию углекислого газа ($p\text{CO}_2$), регуляторные механизмы дыхания становятся более чуткими. Это проявляется в том, что задерживать дыхание на высоте становится сложнее, чем на равнине, и по возникновению такого состояния, как центральное апноэ — непроизвольные дыхательные паузы во сне, вызванные нарушениями в работе центральной нервной системы.

Когда ткани тела испытывают дефицит кислорода или когда клетки не могут эффективно утилизировать кислород в процессе метаболизма, этот состояние в медицинской и научной литературе определяется рядом терминов: «гипоксия», «гипоксическое состояние», «кислородное голодание» или «кислородная недостаточность». Гипоксия может нанести вред многим физиологическим процессам, повышая риск различных заболеваний и снижая общую эффективность функционирования организма, так как кислород играет критическую роль в клеточном метаболизме и производстве энергии.

Классификация 5 видов гипоксических состояний, приведенная в Приложении Б, была описана в 1967 года Ван-Лиром Э. [158]. Позднее была

дополнительно выделена тканевая гипоксия, описанная в более поздних работах [159, 160, 161].

В представленном исследовании основное внимание уделяется анализу состояния гипобарической гипоксической гипоксии, которое возникает вследствие уменьшенного парциального давления кислорода в ингалируемом воздухе. Это состояние характеризуется нормальной работой систем организма, отвечающих за транспортировку кислорода, но при этом существует снижение барометрического давления. Такое уникальное явление в медицинской практике принято называть «гипобарической гипоксической гипоксией».

В Приложении Б на Рисунке 1 [162] представлен механизм развития и компенсации данного состояния через последовательные реакции, начиная от уменьшения pO_2 , что, согласно закону Дальтона, влияет на снижение уровня кислорода в альвеолярном воздухе и артериальной крови. При отсутствии эффективных компенсаторных механизмов, перенос кислорода артериальной кровью становится неадекватным, что приводит к критическому падению уровня кислорода в тканях.

Особенно страдают клетки, удаленные от капилляров [163]. Их удаленность приводит к усугублению диффузии кислорода и увеличивает численность клеток, переживающих кислородное голодание. Таким образом уменьшение объема образования макроэргов приводит не только к заметному снижению деятельности клеток, но и к аккумуляции недоокисленных продуктов обмена [164, 165, 166, 167].

Исследовательская работа в области физиологии кислородтранспортной системы человека выявила, что адаптация организма к условиям сниженного уровня кислорода, или гипоксии, управляется сложными рефлексорными механизмами. Основу рецепторного аппарата таких механизмов составляют рецепторные клетки гипоталамуса, а также клетки, расположенные в каротидном и аортальных тельцах [168, 169, 170, 171]. Интересно, что именно эти структуры улавливают изменения в уровне кислорода в крови и отвечают за возникновение соответствующих рефлексов.

Необходимо обратить внимание на механизмы передачи нервных импульсов от специфических рецепторов. Импульсы передаются через миелинизированные нервные волокна, что значительно ускоряет и повышает эффективность их доставки к ЦНС. Этот процесс осуществляется, как известно, по двум ключевым путям. Аfferентные пути несут сигналы от артериальных хеморецепторов, ответственных за мониторинг содержания кислорода и углекислого газа в крови, в то время как эfferентные пути посылают сигналы от рецепторов, расположенных в гипоталамусе, регулирующем гомеостаз. Конечные точки данных путей находятся в дорсальной группе ядер продолговатого мозга. Эти ядра играют центральную роль в координации таких жизненно важных функций, как дыхание и кровообращение. [172, 173].

Поступление импульсов в эти ядра не является конечной точкой механизма ответа. Напротив, они подвергаются постоянному мониторингу, анализу и оценке в контексте поддержания жизненно важных гомеостатических параметров. Это включает автоматическую коррекцию дыхания, среди прочего. Как только отмечается выход параметров за пределы нормы, система реагирует, запуская комплекс приспособительных реакций, что критически важно для поддержания адекватного уровня кислорода в организме. Одной из ключевых адаптивных реакций является стимуляция вдоха, которая поддерживает необходимый баланс кислорода, важный для жизнедеятельности всех систем тела.

В итоге, развитие гипоксического состояния происходит в несколько фаз. Активация хеморецепторов в начале процесса вызывает стимуляцию дыхательных и сердечно-сосудистых центров, что позволяет усилить доставку кислорода к тканям через ретикулярные ядра и последующую активацию вышестоящих отделов мозга. Эти процессы обеспечивают адаптацию организма к гипоксии, улучшая выживаемость клеток и поддерживая гомеостатические функции организма [174, 175, 176].

В сложных механизмах, обеспечивающих функционирование человеческого организма, транспортировка кислорода и его использование тканями становятся возможными благодаря координированной работе нескольких физиологических

систем. Эти системы, выполняя транспортную функцию, интегрируются в единую кислородтранспортную систему, которая регулируется с помощью сложных рефлекторных механизмов [168, 177]. Управление в этой системе следует классическим принципам теории управления: регулирование отклонения параметров от гомеостатических норм, реакция на возмущения и антиципация будущих событий. Это позволяет организму эффективно решать конфликтные ситуации за счет многочисленных контуров саморегуляции [169, 178, 179].

Особенно важной является способность организма адаптироваться к условиям гипоксии, когда снижение уровня кислорода в крови стимулирует центральную инспираторную активность, что приводит к увеличению легочной вентиляции [168, 172, 180, 181]. Эффективность этого процесса в значительной мере зависит от того, насколько точно скоординированы вентиляция и кровообращение, что осуществляется через регулирование вентиляционно-перфузионного соотношения [180, 182, 183]. В этом процессе значимую роль играют хеморецепторы и барорецепторы, расположенные в ключевых точках артериальной системы, что показывает их взаимосвязь в поддержании жизненно необходимого кислородного баланса, особенно для мозга [184, 185, 186]. Пространственное соседство и многочисленные нейронные связи между этими рецепторами позволяют организму эффективно координировать дыхание и кровообращение в ответ на изменение уровня кислорода.

Интересно, что увеличение легочной вентиляции, хотя и кажется полезным в условиях сниженного кислорода, активирует другие механизмы организма [181, 188, 189]. Усиленная вентиляция стимулирует удаление углекислого газа, что ведет к снижению уровня карбонатной кислоты в крови, вызывая дыхательный алкалоз. Этот механизм требует дополнительных энергетических затрат и увеличивает общую потребность в кислороде. Таким образом, проблема регулирования дыхания в условиях гипоксии становится ключевой для определения устойчивости организма к кислородному дефициту.

Анализируя реакцию здорового человека на различные уровни кислорода в окружающей среде [190, 191, 192], было выявлено, что значительное усиление

легочной вентиляции происходит при понижении его содержания до 15-16% и давления кислорода до 85 мм рт.ст. Однако, при значительных падениях уровня кислорода, например, до 30-35 мм рт.ст., наблюдается критическое снижение вентиляции, что может привести к серьезным нарушениям в работе дыхательного центра [193, 194] и различным патологическим формам дыхания.

Научные исследования показывают, что характеристика гипоксической гипоксии в высокогорных условиях не связана с изменением концентрации кислорода в атмосфере. Скорее, причиной гипоксии является уменьшение парциального давления кислорода в воздухе на уровне 20,96% вплоть до высоты 2000 метров над уровнем моря из-за общего снижения атмосферного давления на больших высотах. Это снижение давления влияет на способность кислорода проникать в кровь и достигать тканей, что критически важно для поддержания нормальных физиологических функций организма. Таким образом, исследования в области высотной медицины подчеркивают необходимость адаптации человеческого организма к изменяющимся условиям атмосферного давления в горных регионах [195].

Нахождение в условиях высокогорья также вызывает и снижение концентрации углекислого газа в организме (гипокапнию). Данное состояние развивается вторично и обусловлено ростом вентиляции легких вследствие гипоксии. К эффектам гипокапнии относят угнетение состояния центральных хеморецепторов и центрально-мозговых регуляторов, чем и объясняются нарушения дыхания по типу апноэ/гипопноэ сна. В настоящее время имеются различные гипотезы механизма возникновения периодического дыхания.

Особо выражены изменения в респираторной системе в первые часы пребывания на высоте 4400 метров. Они характеризуются прерывистым характером дыхания по типу Чейн-Стокса: поверхностные ритмичные вдохи-выдохи, непроизвольно прерывающиеся попыткой сделать глубокий вдох на фоне неприятного ощущения «нехватки кислорода». Отмеченный факт достаточно хорошо известен и описан в литературе [196, 197, 198, 199].

Следует отметить, что даже для здоровых молодых мужчин характерным является большая индивидуальная дисперсия в компенсаторных реакциях внешнего дыхания и кровообращения на гипоксический фактор, связанная, по всей видимости, с различиями в чувствительности организма к гипоксии [181, 193, 200]. Имеются данные, что при снижении содержания O_2 в окружающей атмосфере до критических величин (8–10 %) примерно у 1/3–1/4 мужчин вентиляция легких и минутный объем крови не увеличиваются вплоть до потери сознания [181, 192, 201]. У тренированных мужчин дыхательный объем и ударный объем сердца увеличиваются в ответ на гипоксический стимул более существенно, чем частота дыхания и сердечных сокращений [185, 202].

В проведенных исследованиях в высокогорье отмечалось увеличение количества эпизодов гипопноэ и дыхательных пауз (апноэ). Так, на высоте 2300 м установлено $10,4 \pm 0,1$ фактов гипопноэ, средняя продолжительность которых составила $12,8 \pm 2,0$ сек., и $6,5 \pm 0,2$ случаев апноэ средней продолжительностью $7,9 \pm 0,6$ сек. На высоте 2800 м – $18,5 \pm 0,8$ эпизодов гипопноэ с зафиксированной средней продолжительностью $12,5 \pm 0,4$ сек. и $4,5 \pm 0,01$ апноэ со средней продолжительностью $10,7 \pm 1,1$ сек. [153, 159, 169].

В работе, посвященной исследованию функции дыхания в условиях высокогорья [203], констатируется факт увеличения риска развития нарушений дыхания во сне в условиях гипобарической гипоксии в высокогорных районах у пришлых с низменности людей по сравнению с местными жителями.

При изучении характера сатурации крови во время сна в условиях высокогорья было выявлено, что в фоновом состоянии до начала экспедиции в динамике ночного сна сатурация крови в среднем составляла $96,8 \pm 7,6$ %, индекс десатурации – 0,8 (количество десатураций в час, при минимальной $SpO_2 = 89\%$). А на высоте 2300 м среднее насыщение крови составляло уже $90,2 \pm 2,4$ %, индекс десатурации – 2,5, минимальная $SpO_2 = 84$ %. На высоте 2800 м – SpO_2 продолжала снижаться, достигая 72 %, и в среднем $84,8 \pm 11,2$ %, индекс десатурации составил 3,6.

В результате обзора и анализа большого количества научных публикаций отмечается, что в большинстве исследований, касающихся оксигенации и вентиляции легких в условиях гипобарической гипоксии получены разноречивые результаты, касающиеся характера адаптации респираторной системы [204]. При этом общий вывод делается о том, что, несмотря на более низкий SpO_2 в начальный период адаптации, насыщение кислородом поддерживалось на одинаковом уровне в обеих средах в течение более длительных периодов времени. Интересно, что, несмотря на сокращение вентиляции, уровни CO_2 крови существенно не изменились.

В результате следует отметить, что порог реакции дыхания, равно как и степень роста легочной вентиляции, при гипоксии варьирует у различных людей в широком диапазоне. Это весьма существенно, так как определяет значительные индивидуальные колебания при гипоксии альвеолярного $paCO_2$, paO_2 и артериального $paCO_2$, paO_2 парциального давления газов, а также SaO_2 .

В результате индивидуальных колебаний на одной и той же высоте при равном снижении pO_2 во вдыхаемом воздухе у различных практически здоровых людей уровень гипоксемии и уровень гипокапнии оказываются неодинаковыми. В процессе длительной адаптации к гипоксии происходит приспособление и к гипокапнии. При этом отмечается тенденция к росту paO_2 , то есть к сохранению более высокого уровня кислородного снабжения организма.

Индивидуальное многообразие проявления адаптивных сдвигов системы дыхания при гипоксии обусловлено следующими факторами: индивидуальными особенностями нервной регуляции дыхания, различной чувствительностью хеморецептивных образований и самого дыхательного центра к изменениям $paCO_2$ и paO_2 . Процесс адаптации системы дыхания к гипоксии внутренне противоречив. Этим и определяются неодинаковая устойчивость различных людей к острой гипоксии и некоторые индивидуальные различия в структуре адаптации к хронической форме кислородного голодания.

Кроме того, на сегодняшний день в большинстве исследований изучались последствия острой или периодической гипоксии [205, 206, 207, 208], но данных

и знаний о влиянии длительного и хронического воздействия гипоксических условий довольно мало [209].

1.7. Вегетативная нервная система в условиях высокогорной гипобарической гипоксии

Адаптивные возможности организма характеризуются запасом функциональных резервов, которые поддерживают взаимодействие между организмом человека и внешней средой [210]. Для различных стрессовых периодов свойственен определенный комплекс показателей организма на всех иерархических уровнях, от центральной нервной системы и психики до уровня молекулярного. Поэтому при оценке адаптации организма необходимо учитывать, на каком именно уровне реактивности возникает конкретный ответ на стресс.

Различные стрессовые периоды, наравне с тренировками, характеризуются определенным комплексом показателей организма на всех иерархических уровнях, от центральной нервной системы и психики до молекулярного уровня. По этой причине при оценке адаптационных реакций необходимо учитывать, на каком именно уровне реактивности возникает конкретная реакция на стресс. Организм реагирует дифференцированно в ответ на действие раздражителей, при этом реакция по своим параметрам обратно пропорциональна уровню силы раздражителя: реакция на воздействие слабого раздражителя соответствует высокой реактивности, и наоборот.

Все типы реакций (состояний), развивающихся в ответ на определенный уровень силы раздражителя, составляют один период (один уровень реактивности). Условно уровни реактивности делятся на высокие, средние, низкие и очень низкие. При снижении уровня реактивности внутри симптомокомплекса, характерного для каждой реакции, появляются и возрастают признаки напряженности, десинхронизации работы подсистем организма. Следует учитывать, что реактивность может различаться по отношению к разным факторам среды: высокая реактивность к одному раздражителю и низкая – к другим. Однако, количественная

оценка реактивности без учета качественных показателей является не полной [211]. К основным качественным показателям реактивности относятся: резистентность – устойчивость организма к действию экстремальных раздражителей, способность сопротивляться без существенных изменений постоянства внутренней среды; раздражимость; функциональная лабильность [212]; возбудимость и чувствительность.

Процесс адаптации в целом можно представить как взаимодействие регуляторных (ЦНС, ВНС, эндокринная и иммунная) и регулируемых (органы и ткани) систем [213].

Значение вегетативной нервной системы (ВНС) в адаптации организма к постоянно меняющимся условиям окружающей среды, поддержании гомеостаза, а также в разнообразии психической и физической активности человека несомненно. Эта система играет ключевую роль в жизнедеятельности людей, что делает ее изучение крайне важным для медицинской науки.

С развитием медицинских технологий и углублением понимания функциональной анатомии, наши знания о структурах, участвующих в вегетативной регуляции, увеличились. Недавно проведенные клинические и экспериментальные исследования открыли новые аспекты, такие как латерализация вегетативных функций в головном мозге и ключевые зоны, влияющие на вариабельность сердечного ритма [214, 215].

Важно отметить, что первые умозаключения о том, как мозг координирует соматические реакции, начались еще в 1913 году с предложения концепции «центральной команды» [216]. Тогда учеными уже было высказано предположение о способности мозга управлять сердечно-сосудистой и дыхательной системами при физических нагрузках, хотя подробное понимание механизмов действия в то время оставалось невозможным.

ВНС организована на нескольких уровнях: больших полушарий, мосто-среднемозговом, а также спинальном и бульбарном. Каждый уровень обладает своими уникальными функциями. Например, на спинальном уровне происходят основные симпатические и парасимпатические рефлексy. Продолговатый мозг

контролирует дыхание и сердцебиение, а также другие жизненно важные функции, включая обработку болевых сигналов и стрессовых реакций. Головной мозг, в том числе гипоталамус и лимбическая система, отвечает за регуляцию вегетативных и эндокринных процессов, адаптацию к изменениям гомеостаза [217].

На супратенториальном уровне особенно значимы кора островковой доли и амигдала, а также вентромедиальная префронтальная кора. Кора островковой доли служит как первичная висцеросенсорная и вторичная соматосенсорная зона, активно взаимодействуя с различными участками ВНС, что позволяет ей эффективно влиять на вегетативные функции. Кроме того, важную роль в регуляции ВНС играет мозжечок, который, хотя и не является частью ВНС, способствует регуляции двигательной активности и вегетативной активации [218].

Эксперименты показывают, что активация парасимпатической части ВНС имеет защитное действие, например, при церебральной ишемии или гипоксии нейронов. Это подтверждается выбросом в кровь веществ, таких как ацетилхолин, дофамин, эндорфины и оксид азота, которые играют ключевую роль в защите организма [219]. Экспериментальные исследования продемонстрировали значимый протективный эффект активации парасимпатической части вегетативной нервной системы при церебральной ишемии и гипоксии нейронов в лабораторных условиях [220].

Таким образом, углубленное понимание структур и механизмов ВНС, постоянное расширение знаний о ее функциях и работа с новыми данными из клинических исследований раскрывают новые перспективы для развития неврологии и других медицинских дисциплин.

Анализ рассмотренной литературы ясно демонстрирует участие всех систем центральной нервной системы в регуляции вегетативного баланса организма.

Каждый морфологически и функционально дифференцированный тип тканевой структуры человеческого организма предъявляет индивидуальные метаболические потребности, выраженные в определенном количестве необходимого кислорода. В этом контексте наибольшую чувствительность

проявляют нейроны – их зависимость от снабжения кислородом является ключевым фактором адаптивных реакций организма.

При воздействии гипоксии организм человека активирует свои собственные компенсаторные механизмы для поддержания базового гомеостаза. Одним из них является изменение соотношения влияния симпатической и парасимпатической нервной системы [221]. Данные исследования позволяют утверждать о наличии бифазного влияния гипоксии на биологические системы в части реактивности организма на снижение уровня кислорода. Это утверждение было представлено профессором Орбели, первая фаза обусловлена возбуждающим и активирующим действием пониженного парциального содержания кислорода и характеризуется активизацией тонуса симпатической системы. По мере того, как это происходит, высшие центры вегетативной регуляции угнетаются и растормаживаются, в то время как второй период приводит к возбуждению парасимпатического отдела.

В процессе адаптации к условиям горного климата, важную роль играют реакции вегетативной нервной системы. Исследователи обнаружили, что напряжение в парасимпатическом отделе было относительно доминирующим над симпатическим во время длительного пребывания в условиях высокогорья. Первоначальная реакция адаптации организма к горной местности стереотипна. В первые две недели тонус блуждающего нерва обычно снижается. Дальнейшие адаптационные реакции имеют более специфичный характер. После пребывания в условиях низкой концентрации кислорода более двух недель у человека постепенно повышается тонус парасимпатического отдела, особенно активность блуждающего нерва, и ко второму месяцу пребывания в высокогорье этот отдел ВНС оказывается лидирующим в воздействии на организм. Функциональные резервы, или адаптивные возможности организма, являются одним из основных свойств организма. Они позволяют поддерживать взаимодействие между организмом и окружающей средой [210, 222].

Таким образом, можно сделать вывод, что в результате воздействия различных стресс-факторов активизируется вегетативная нервная система, в случае

же недостаточного воздействия ее механизмов регуляции активизируется центральная система, которая компенсирует недостающие функциональные резервы одной системы за счет ресурсов другой.

В связи с тем, что доставка питательных веществ, кислорода, биологически активных веществ, элементов и гормонов в регулируемые системы осуществляется через кровообращение, согласующим звеном между регуляторными и регулируемыми системами организма человека считается сердечно-сосудистая система (ССС), которая, как упоминалось ранее, признана универсальным индикатором адаптационных реакций [30]. Позднее это получило развитие в гипотезе, лежащей в основе концептуализации ВСР как биомаркера гомеостатических процессов в организме, состоящей в том, что сердечный ритм и его динамика являются не только индикатором функции сердца, но и показателем гибкой адаптивной регуляции [31].

Это согласуется с концепцией Р.М. Баевского по анализу функциональных состояний, основанных на активности ВНС, и в настоящее время широко используется для оценки процессов адаптации к экстремальным факторам внешней среды [223].

Установлено, что ВНС играет ведущую роль в поддержании гомеостаза и адаптации организма к изменяющимся условиям внешней среды, участвуя в патогенезе соматических расстройств [224].

Для оценки состояния ВНС в космической медицине широкое применение получила методика анализа вариабельности сердечного ритма [51, 52, 53], которая позволяет оценить состояние симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, подкоркового сердечно-сосудистого центра, а также высших вегетативных центров [57, 61, 62, 63, 225, 226, 227, 228, 229].

Регуляция деятельности любой системы организма осуществляется по принципу обратной связи в режиме автоматического контроля при стандартных условиях функционирования организма. В случае воздействия стрессового раздражителя происходит активация вегетативной нервной системы, и при недостаточном воздействии ее регуляторных механизмов подключается

центральная нервная система, что в конечном итоге обеспечивает компенсацию недостаточных функциональных резервов одной системы за счет функциональных резервов другой. Поэтому резерв адаптации принято оценивать по степени напряжения регуляторных систем – чем меньше напряжение, тем выше резерв.

Таким образом, можно сделать вывод, что любой природный, биологический или социопсихологический фактор, интенсивность и продолжительность действия которого превышает определенную критическую величину, может действовать как экстремальный и приводить в итоге к развитию состояний, связанных с изменениями здоровья и работоспособности или несовместимых с жизнью человека.

1.8. Общая характеристика процесса адаптации организма к гипоксии

Гипоксия служит инициальным системообразующим фактором, направленным на формирование в организме динамичной функциональной системы по достижению и поддержанию оптимального уровня биологического окисления в клетках. Эта система реализует свои эффекты за счет активации механизмов доставки кислорода и субстратов метаболизма к тканям и включения их в реакции биологического окисления. При действии даже умеренной гипоксии сразу формируется поведенческая реакция организма, направленная на уход от воздействия причины гипоксии и поиск среды существования, обеспечивающей оптимальный уровень биологического окисления. Механизм острой адаптации организма к гипоксии представлен в Приложении Б на Рисунке 2 [230].

При развитии кислородного голодания, возникающего в результате снижения парциального давления pO_2 во вдыхаемом воздухе, происходят существенные сдвиги всех основных параметров дыхания.

Причиной активации механизмов срочной адаптации организма к гипоксии является недостаточность биологического окисления. Это проявляется снижением содержания в клетках АТФ, необходимого для обеспечения оптимального уровня жизнедеятельности и пластических процессов.

Первые исследования, посвященные проблеме адаптации человека к условиям гипоксической гипоксии, были проведены в конце XIX века у лиц, постоянно живущих в горной местности, и у лиц, прибывающих в эти районы из равнинных мест. В дальнейшем были сформулированы общие выводы, касающиеся механизмов адаптации организма человека к условиям пониженного парциального давления в воздухе [191, 201, 231, 232, 233].

С учетом выше сказанного можно сделать вывод о совокупном взаимодействии специфического и неспецифического компонентов в качестве адаптивного процесса в ответ на возникающую гипоксическую гипоксию. В качестве специфического компонента адаптации к гипоксии представлен ряд структурно-функциональных изменений, усиливающих обеспечение клеток и тканей кислородом. Так, в 1920 году было впервые показано [234], а впоследствии и многократно подтверждено, что естественной адаптивной реакцией на гипоксию является увеличение кислородной емкости крови посредством преумножения эритроцитов и гемоглобина. Ранее отмечалось, что процесс адаптации организма к гипоксии позволяет задействовать наиболее энергетически выгодный функциональный уровень. Это сопровождается уменьшением потребности тканей в кислороде, повышением способности дыхательного центра поддерживать возбуждение на предельном уровне, увеличением мощности адренергического компонента симпатoadреналовой системы, а также осуществлению перестройки гуморальных механизмов регуляции функций организма [182, 191, 235, 236]. Помимо этого, происходит значимое повышение доли альвеолярной вентиляции и диффузионной способности легочной ткани, а также наблюдается перераспределение системного кровотока для более эффективного кровенасыщения жизненно важных органов [163, 237].

Позже во множестве работ было доказано, что процесс адаптации к гипоксической гипоксии напрямую связан с уменьшением шунтирования крови в легких, а обеспечение клеток необходимым количеством кислорода достигается путем усиления микроциркуляции крови в тканях, укорочения расстояния диффузии кислорода из крови микрососудов в клетки и увеличения запасов

кислорода за счет прироста содержания миоглобина в мышцах [237, 238, 239, 240, 241].

Адаптация к гипоксии стимулирует васкуляризацию и ангиогенез в таких жизненно важных органах, как мозг и сердце [237, 239, 242, 243]. В опытах на животных и культурах клеток, подвергшихся воздействию хронической гипоксии, выявлено значительное увеличение диаметра капилляров в скелетных мышцах, а также улучшение васкуляризации альвеол [244, 245, 246].

На клеточном уровне адаптация к гипоксической гипоксии выражается в перестройке метаболизма, направленной на повышение продукции макроэргов с целью нивелирования отрицательных эффектов от возникающей тканевой гипоксии [247, 248, 249]. В первую очередь, это достигается за счет увеличения числа и объема митохондрий, митохондриальных крист и ферментов в клетках многих тканей, а также повышением активности ферментов цикла Кребса и пентозофосфатного шунта, результатом чего является повышение производительности аэробного пути синтеза макроэргов [194, 250]. Очевидным является и увеличение количества анаэробных биохимических реакций, в том числе гликолиза, обеспечивающего в условиях гипоксии клетки головного мозга, сердечной мышцы и др. жизненно важных органов энергией АТФ [201, 237, 251].

Также в эксперименте на подопытных крысах установлено, что на 14 – 15 день пребывания в условиях гипоксической гипоксии имеется значительное увеличение активности натрий-калиевых каналов в клеточных стенках гепатоцитов, а также кальций-магниевых ионных каналов в миоцитах [245, 252].

Известен факт релаксирующего влияния хронической гипоксической гипоксии на тонус гладкомышечных органов [237, 251, 253, 254]. Указанные авторы, а также другие исследователи, предполагают, что данный феномен может быть обусловлен продукцией и накоплением биологически активных веществ, обладающих гипотоническим влиянием на гладкую мускулатуру. В недавнем прошлом было доказано, что оксид азота является одним из таких веществ, увеличение концентрации этого газа в печени, легких, головном мозге, сердце,

почках и иммунной системе, происходит при адаптации к гипоксической гипоксии [255, 256, 257, 258].

Как известно, облигатной частью успешной стратегии адаптации к любым условиям внешней среды являются неспецифические приспособительные реакции организма [67, 259, 260]. Выраженность и направленность этих процессов являются важными критериями адаптивных возможностей организма человека, по которым можно косвенно судить о наступлении фазы относительно устойчивой адаптации. Одним из механизмов эффектов адаптации к гипоксической гипоксии является ее стимулирующее влияние на неспецифическую резистентность организма, что, в частности, выражается в повышении активности кислород зависимой макрофагальной системы печени [261, 262, 263, 264]. Помимо этого, выявлено, что при хронической гипоксии происходит активация кислородных зависимых и преимущественно анаэробных механизмов фагоцитоза [248, 265, 266, 267, 268, 269].

Таким образом можно сделать вывод, что адаптация к гипоксии обуславливает сопряженную с активацией эритропоэза структурно-функциональную перестройку иммунной системы. Эта трансформация направлена на поддержание антигенно-структурного гомеостаза организма. Он усиливает механизмы неспецифической защиты и снижает проявление нежелательных гипериммунных реакций. Одним из доказанных эффектов адаптации к гипоксической гипоксии, который не только увеличивает устойчивость организма к дефициту кислорода (что является прямым защитным свойством), но также повышает устойчивость к другим повреждающим факторам (по механизму «перекрестной» адаптации), является также оптимизация соотношения про- и антиоксидантной активности крови и других биологических сред [239, 263, 270, 271, 272].

Ключевое звено экстренной адаптации организма к гипоксии заключается в активации механизмов транспорта O_2 и субстратов обмена веществ к тканям и органам в момент возникновения гипоксии и снижения эффективности биологического окисления. Повышенное функционирование систем транспорта

кислорода и субстратов метаболизма к клеткам сопровождается интенсивным расходом энергии и субстратов обмена веществ. Таким образом, эти механизмы имеют высокую «энергетическую и субстратную цену». Именно это и является лимитирующим фактором степени и длительности гиперфункционирования транспортных систем организма.

Результаты работ, проведенных на антарктических станциях, свидетельствуют о том, что воздействие на человека физически сложной и физиологически новой и неизвестной среды с экстремальными условиями формирует паттерн нейроэндокринных реакций взаимодействующих физиологических систем. Показано, что существует большая вариабельность в межиндивидуальных реакциях на акклиматизацию на большой высоте. Как показывают результаты, реакция организма, в отличие от начальных данных, скорее отражает длительный процесс адаптации физиологических процессов человека к данным условиям, чем патологический процесс. Со временем интенсивность и эффективность этой реакции снижаются, что в итоге приводит организм к состоянию, максимально приближенному к нормальному для данной системы.

Анализ многочисленных литературных источников не позволил в полной мере оценить все особенности длительной адаптации сердечно-сосудистой и респираторной систем организма к комплексу экстремальных факторов Центральной Антарктики. Имеющиеся данные характеризуются значительной неоднородностью, что обуславливается не только различной продолжительностью пребывания групп исследования в аналогичных условиях под воздействием вышеозначенных факторов, но и отсутствием комплексных исследований, посвященных динамической оценке адаптации сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Также на неоднородность исследований оказал влияние тот факт, что значительное количество опубликованных данных было получено с участием спортсменов – людей со специальной подготовкой, что отразилось на значительной индивидуальной детерминированности показателей

функционирования этих систем организма у разных участников полярных экспедиций.

Использование разных методов исследований, основанных на несопоставимых показателях, а также непродолжительность периода пребывания в таком регионе также не позволяет установить искомые нами закономерности в адаптации физиологических систем человека к комплексу экстремальных факторов Центральной Антарктиды.

Совокупность вышеперечисленных факторов позволят сделать вывод об отсутствии комплексного представления об особенностях адаптации сердечно-сосудистой и дыхательной систем к длительному пребыванию в экстремальной среде в зависимости от возрастного фактора, что и обозначило необходимый круг исследования и перечень задач настоящей диссертационной работы.

Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общие сведения

Исследования проводились в ходе 64-й Российской Антарктической экспедиции (РАЭ) с 7 ноября 2018 года по 6 июня 2020 года. Сбор данных производился с декабря 2018 по декабрь 2019 года. Период пребывания испытуемых на внутриконтинентальной антарктической станции Восток: с 7 февраля 2019 года по 5 февраля 2020 года, включая период полностью автономного существования, обусловленного невозможностью транспортного, в том числе в экстренных ситуациях, сообщения с 13 февраля 2019 года по 28 октября 2019 года.

В группу исследования был включен весь персонал станции Восток: 11 человек мужского пола в возрасте от 32 до 64 лет (в среднем 49 ± 10 лет). Состав экспедиции представлен в Таблице 4.

Таблица 4 – Общие сведения о составе 64 РАЭ

Возраст участников исследования на дату прибытия на станцию Восток	Код возрастной группы в исследовании	Полярный опыт
31	I	первично
31	I	неоднократно
40	I	первично
43	I	неоднократно
43	I	неоднократно
50	II	первично
51	II	неоднократно
57	II	первично
60	II	неоднократно
60	II	неоднократно
63	II	первично

До начала исследования все участники экспедиции были допущены ВЭК и подписали информированное согласие на участие в экспериментах, одобренных на заседании и отраженных в Протоколе Комиссии по биомедицинской этике ГНЦ РФ ИМБП РАН от 11.10.2018 № 487.

Исходя из особенностей возрастной периодизации участники исследования были разделены на две группы с учетом возраста, группа I включала 5 человек в возрасте от 31 до 43 лет, во II группу вошли 6 человек в возрасте от 50 до 63 лет. При этом участники исследования из I группы относились согласно возрастной периодизации Всемирной Организации Здравоохранения к верхней границе молодого возраста, а представители II группы – верхней границе среднего и нижней границе пожилого возрастов.

Согласно задачам исследования были выбраны следующие методы:

1. Оценка параметров состояния сердечно-сосудистой системы:
 - 1.1. Суточный холтер-мониторинг с оценкой артериального давления;
 - 1.2. Цифровая фундоскопия сосудов глазного дна;
2. Оценка параметров состояния респираторной системы:
 - 2.1. Ночной респираторный мониторинг;
 - 2.2. Динамическая оценка сатурации крови кислородом;
3. Оценка параметров состояния вегетативной нервной системы:
 - 3.1. Оценка динамики индекса Кердо;
 - 3.2. Оценка уровня адаптационного потенциала по методу Р.М. Баевского;
 - 3.3. Оценка вариабельности сердечного ритма;
4. Оценка динамики массы тела.

Циклограмма проведенного исследования, а также факторы внешней среды в период зимовки отражены в Приложении В.

2.2. Социально-гигиенические факторы в период проведения исследований

Характерная особенность пребывания полярников на станции Восток, как и у космонавтов длительных космических полетов – это деятельность в условиях ограниченного пространства с искусственно созданным микроклиматом, ввиду необходимости максимальной изоляции от экстремальных факторов внешней среды.

Станция Восток включала в себя во время зимовки в 2019 году два круглогодично обогреваемых здания: жилой модуль и дизельная электростанция, а также два здания с сезонным обогревом с ноября по февраль: комплекс буровой установки и здание аэрологии. Также имелся ряд необогреваемых построек: холодный склад продуктов питания, гараж для снегоходов, старая буровая установка и неиспользуемый склад продуктов питания. Жилой модуль станции может являться аналогом одномодульной орбитальной или лунной станции ввиду необходимости изоляции проживающего и работающего на ней персонала от экстремальных факторов внешней среды в малом полезном объеме и высокой скученности. Дополнительным специфическим фактором является отсутствие естественного освещения в помещениях станции в связи с необходимостью укрытия модуля станции снеговым покровом толщиной более 3 м в целях термоизоляции, вследствие чего освещение помещений было полностью искусственным, люменисцентным, общая освещенность соответствовала 200 лк.

Основное здание станции схематично изображено на Рисунке 4 и включает в себя жилые комнаты участников экспедиции в среднем 10 м² на человека, место приготовления и приема пищи, медицинский блок, склад лекарственных препаратов и медицинских расходных материалов, комнату радиосвязи и санитарный узел. Стоит отдельно отметить, что начальник станции, магнитолог, метеоролог, а также врач анестезиолог-реаниматолог, проводивший данное исследование, исполняли свои обязанности без выделенных помещений – в своих жилых комнатах.

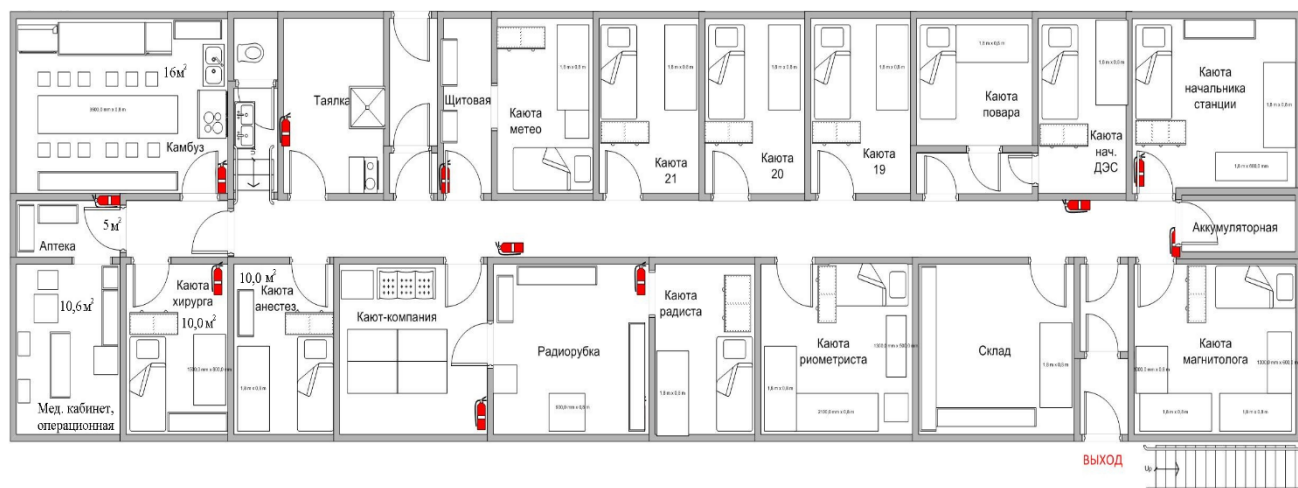


Рисунок 4 – Схема помещений жилого модуля станции Восток в 2019 году с обозначением назначения помещений

Ввиду отсутствия горячей воды в жилом модуле, гигиеническое мытье рук и лица производилось с использованием воды 18–20 °С. Мытье в бане и стирка были организованы один раз в 7 дней. Баня расположена в модуле дизельной электростанции.

Для большинства участников экспедиции все должностные обязанности подлежали выполнению в жилом модуле, что формировало гиподинамический статус. Физическая нагрузка появлялась два раза в неделю при работах колке и таянию снега для обеспечения станции питьевой и технической водой.

На станции был утвержден следующий распорядок дня:

7.30	Подъем
8.00–9.00	Завтрак
10.00–12.00	Проведение медицинских исследований
13.00–14.00	Обед
19.00–20.00	Ужин
23.00	Отбой

2.3. Анализ показателей экстремальных факторов среды

В период проведения экспериментальных исследований проводился мониторинг экстремальных факторов внешней среды.

Биоклиматические показатели являются косвенными индикаторами оценки воздействия внешней среды. Реакция на воздействие отдельного метеорологического элемента либо их совокупности оказывает значительное влияние на адаптивный потенциал человека.

На станции Восток во время эксперимента проводился сбор и анализ данных о внешней среде. Данные о температуре ($^{\circ}\text{C}$), относительной влажности (%) и давлении (гПа) были получены при помощи автоматических и полуавтоматических комплексов MILOS500 и MAWS производства компании «Vaisala», которые имеют международные сертификаты соответствия стандартам метеорологических наблюдений. Эти комплексы позволяют обрабатывать и накапливать метеорологические данные в ежеминутном режиме. Обработка полученных данных была произведена с использованием Microsoft Office Excel.

Мониторинг К-индекса осуществлялся ежесуточно каждые 3 часа с помощью автоматического цифрового магнитовариационного комплекса MicroLog с блоком трехкомпонентных датчиков, разработанного Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова РАН. Обработка данных и расчет значений К-индекса производились программным комплексом «OPER».

Полные данные представлены в Приложении В.

В связи с отсутствием смены сезонов года на станции Восток принято разделение на условные 4 периода:

1. «летний» или же полярный день: с 21 октября по 21 февраля;
2. «осенний» с 22 февраля по 22 апреля;
3. «зимний» или же полярная ночь: с 23 апреля по 21 августа;
4. «весенний» с 21 августа по 20 октября.

В рассматриваемые периоды температурный режим внешней среды фиксировался ежедневно в полдень по местному времени с 01.02.2019 по 31.12.2019. Далее математически были установлены средние недельные значения, график которых отражен в Приложении В. Ключевые усредненные данные по условным периодам года отражены в Таблице 5.

Таблица 5 – Температура внешней среды на станции Восток в 2019 году

В градусах Цельсия

Условный сезон года	Среднее значение	Максимальное значение	Минимальное значение
Лето (полярный день)	-35,4	-25,1	-48,5
Осень	-59,1	-38,8	-69,6
Зима (полярная ночь)	-66,9	-57,7	-77,3
Весна	-60,4	-48,5	-71,5

Минимальная температура воздуха за время исследований достигла значения $-82,1^{\circ}\text{C}$ 7 июня 2019 года, а максимальное зафиксированное значение составило $-23,2^{\circ}\text{C}$ 28 декабря 2019 года. Среднемесячные значения отражены в Таблице 6.

Самый холодный месяц со средним значением $-69,4^{\circ}\text{C}$ июнь 2019 года, самый теплый – декабрь 2019 года ($-27,5^{\circ}\text{C}$).

Среднегодовая температура составила $-55,4^{\circ}\text{C}$, в связи с чем отметим, что 7 месяцев участники эксперимента находились в температурных пределах ниже данного значения.

Полученные данные находятся в пределах, отраженных в открытых официальных источниках Арктического и антарктического научно-исследовательский института: средняя температура за все время наблюдений составляет $-35,9^{\circ}\text{C}$ летом и $-66,7^{\circ}\text{C}$ зимой.

Таблица 6 – Среднемесячные значения температур на станции Восток в 2019 году.

№ п/п	Наименование месяца	Среднемесячное значение температуры, °С	Среднемесячное значение атмосферного давления, гПа
1*	Февраль	-39,3	632,0
2	Март	-58,6	642,3
3	Апрель	-66,7	622,3
4	Май	-68,6	622,4
5	Июнь	-69,4	612,4
6	Июль	-64,8	625,7
7	Август	-64,9	622,2
8	Сентябрь	-65,0	615,1
9	Октябрь	-52,1	623,8
10	Ноябрь	-38,5	635,3
11	Декабрь	-27,5	638,0
Примечание – Нумерация месяцев зимовки в научном исследовании произведена с февраля, обозначенного как 1-й месяц исследования и зимовки.			

В ходе 64-й Российской Антарктической Экспедиции уровень показателей атмосферного давления характеризовался относительной стабильностью. Среднее атмосферное давление на протяжении зимовки составило 624,2 гПа, минимальное – 599,1 гПа, а максимальное – 638,4 гПа, что соответствует стандартному диапазону значений, регистрируемому в ходе предыдущих экспедиций на основе общеизвестных справочных данных, а также среднегодовому атмосферному показателю давления, указанному в открытых официальных источниках ФГБУ Арктического и антарктического научно-исследовательский института. Зафиксированные в ходе исследования значения по атмосферному давлению в дни сбора данных приведены в Приложении В.

Дополнительно считаем необходимым отметить, что после минимальной температуры $-82,1^{\circ}\text{C}$, совпавшей с минимальным атмосферным давлением 599,1 гПа, была зафиксирована слабая магнитная буря на фоне минимального показателя К-индекса в предшествующие и последующие дни. В указанный день - 07.06.2019 - также проводился сбор данных.

Однако, необходимо отметить, что влияние холодового фактора непосредственно на участников исследования носит малозначительный характер в связи с тем, что пребывание на открытом воздухе в течение всего года крайне минимизировано и все члены экспедиции были обеспечены климатической одеждой соответствующего класса термозащиты.

2.4. Оценка электрофизиологических характеристик миокарда методом суточного холтер-мониторирования ЭКГ

Утвержденное название данного метода исследования в Российской Федерации – холтеровское мониторирование ЭКГ (ХМ). Этот метод используется для методики непрерывной записи ритма сердца на твердотельный носитель в нескольких отведениях ЭКГ. В соответствии с Национальными российскими рекомендациями по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике, принятыми на пленарном заседании Российского национального конгресса кардиологов в Санкт-Петербурге в 2013 году.

У 9 обследуемых проводилось суточное полифункциональное мониторирование с использованием прибора «Кардиотехника-07АД3/12Р» («ИНКАРТ», СПб, Россия). Визуализация полученных данных приведена на Рисунке 5.

Мониторирование за период экспедиции проведено четыре раза – на третьем, шестом, девятом и одиннадцатом месяцах зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь 2019 года соответственно).



Рисунок 5 – Пример регистрируемых на приборе «Кардиотехника-07АД3/12Р» данных

Исследование проводилось в течение 24 часов. Время начала исследования – с 8 до 10 часов утра. Все полярики в ночь исследований были свободны от выполнения ночных дежурств.

Регистрация ЭКГ проводилась по стандартной методике в трех отведениях (V4, V6, Y (aVF)). Артериальное давление – осциллометрическим методом.

На программном комплексе «Кардиотехника» в рамках исследования проводился сбор и обработка следующих данных:

1. ЧСС максимальная за сутки;
2. ЧСС минимальная за сутки;
3. ЧСС средняя за сутки;
4. ЧСС средняя за ночь (за отмеченное на приборе время сна);
5. ЧСС усредненная за дневное время;
6. желудочковые эктопические сокращения;
7. предсердные эктопические сокращения (одиночные, парные, групповые, пароксизмы предсердной тахикардии);

8. интервал PQ (минимальный и максимальный), который используется для оценки работы AV соединения, в задачи которого входит, получение импульса из синусового узла и должной задержки его перед отправкой в желудочки сердца, и соответствует времени прохождения возбуждения по предсердиям и атриовентрикулярному узлу до миокарда желудочков;

9. интервал QT (минимальный и максимальный, средний): расстояние от начала комплекса QRS до завершения зубца T;

10. интервал QTc (корригированный): автоматический расчет в программе обработки кардиограммы от всех значений п.9;

11. САД и ДАД: минимальное, максимальное, а также дневное и во время сна. Артериальное давление измерялось всем полярникам каждые 15 минут днем и каждые 30 минут - в ночное время в дни сбора данных.

Индикатором регуляторных влияний на сердечно-сосудистую систему является ЧСС. Этот физиологический показатель - конечный результат, на который влияет вся совокупность регуляторных механизмов в системе кровообращения. При ХМ необходимо выделять среднесуточные параметры ЧСС, средние значения дневной и ночной ЧСС или RR интервалов, примеры максимальной и минимальной ЧСС (возможно отдельно в дневное и ночное время). Возрастная динамика среднесуточных показателей ЧСС при ХМ у здоровых лиц старше 20 лет по данным исследований [273, 274, 275] представлена в Таблице 6.

Таблица 6 – Среднесуточные значения, нижние и верхние пределы значения ЧСС (уд./мин.) при ХМ у здоровых лиц 20–90 лет

Возраст, лет	ЧСС, уд./мин.		
	средняя	5%	95%
20-29	79	56	104
30-39	78	55	103
40-49	78	54	102
50-59	76	53	100
60-69	77	52	99
70-79	72	51	98

Расчет средних значений частоты сердечных сокращений (ЧСС) для времени бодрствования и времени сна является обязательной частью протокола окончательного отчета холтеровского мониторинга, и этот расчет прост независимо от используемого оборудования. Однако, разница между дневной и ночной ЧСС во многом зависит от начальных значений ЧСС, таких как предрасположенность к тахикардии или брадикардии.

Для ЭКГ покоя основным клиническим стандартом является расчет скорректированного интервала QT (QTc) с использованием формулы Базетта [276]:

$$QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}} \quad (1)$$

где QTc - скорректированный интервал QT;

QT -интервал QT;

RR - интервал RR=60/ЧСС.

При ЧСС ниже 60 или выше 100 ударов в минуту определение QTc должно быть произведено по формуле Sagie (Framingham)

$$QTc = QT + (0.154(1 - RR)) \times 1000 \quad (2)$$

где QTc - скорректированный интервал QT;

QT -интервал QT;

RR - интервал RR.

В данном исследовании проводилось сравнение данных, изменения которых были достоверны, а именно: ЧСС, интервал PQ, интервал QT. Статистическая обработка проведена с использованием пакета программного обеспечения для статистической обработки данных Microsoft Office Excel. При оценке достоверности изменений показателей принимался уровень значимости $p < 0,05$.

2.5. Цифровая фундоскопия состояния глазного дна

Изучение состояния глазного дна имеет важное диагностическое значение для изучения состояния сосудистой системы организма человека. Состояние глазного дна отражает уровень артериального давления, величину периферического сопротивления кровотоку и в определенной степени свидетельствует о состоянии сократительной способности сердца.

Стоит отметить, что в Рекомендациях по диагностике и лечению артериальной гипертензии Европейского общества кардиологов/ Европейского общества гипертензии (ESC/ESH, 2018) определено место фундоскопии как диагностического метода [277]. Фундоскопия также рекомендована для экспертизы трудоспособности или определения годности к военной службе.

Отечественными экспертами Российского медицинского общества по артериальной гипертензии и Российского кардиологического общества в соответствующих обновленных рекомендациях также отмечены позиции фундоскопии применительно к оценке состояния органов-мишеней [278]

Таким образом, включение обследования глазного дна в объем исследований позволяет выявить не только наличие либо отсутствие изменений на сетчатке и наблюдать за динамикой процесса, но и оценить функционирование сердечно-сосудистой системы в экстремальных условиях Антарктики.

В целях оценки состояния сетчатки глаза и диска зрительного нерва был выбран высокотехнологичный современный метод диагностики фундоскопия - фоторегистрация состояния сетчатки глаза фундус-камерой. Фундус-камера представляет цифровой прибор, предназначенный для визуального наблюдения состояния глазного дна и получения его подробного полноцветного фотоизображения. На сегодняшний день он признан одним из самых достоверных и полезных инструментов, используемых в современной офтальмологии.

Цифровая фотография глазного дна с помощью фундус-камеры обладает рядом диагностических преимуществ: позволяет наблюдать морфометрические показатели глазного дна (зоны диска зрительного нерва, макулы, калибр вен и

артерий сетчатки), не прибегая к предварительному расширению зрачка, что упрощает и ускоряет обследование, а также без внутривенного введения контрастного вещества – флуоресцентной ангиографии. Также применение цифровой фундускопии позволяет накапливать архив изображений и оценивать динамику состояний сетчатки и зрительного нерва.

Цифровая фундускопия была проведена с использованием ручной цифровой ретинальной камеры Optomed SmartScope M5 (Финляндия), приведенной на Рисунке 6. Данный аппарат прошел все необходимые технические и клинические испытания и сертифицирован Министерством Здравоохранения России для использования в клинической практике. С помощью съемного ретинального модуля EY4 Optomed SmartScope® M5 обследование глазного дна проводится без расширения зрачка при обзоре 40° поле зрения при минимальном размер просвета зрачка 3 мм.



Рисунок 6 – Optomed SmartScope M5

Полученные фото- и видео данные через USB-порт переносятся на ПК. Данный аппарат позволяет реализовать возможности телемедицины, так как полученные изображения оперативно пересылались ответственному исполнителю методики с использованием спутниковых средств связи.

Исследование является бесконтактным неинвазивным методом, не требующим специальной подготовки, проводится в течение 2 мин. Испытуемый находится в положении сидя, фиксирует взгляд на индикаторе экрана офтальмоскопа в течение 30 сек, во время чего проводится фотографирование глазного дна.

Исследование проводилось утром, в 10:00, в положении сидя, после 15-минутного отдыха.

2.6. Оценка параметров дыхания. Ночной респираторный мониторинг

Одним из важных перспективных направлений в развитии систем диагностики нарушений дыхания во сне является дополнение классических холтеровских мониторов новыми каналами регистрации, такими как пневмограмма, сатурация и поток воздуха. Это позволяет создавать системы удалённого кардиореспираторного мониторинга. Впервые в России такой комбинированный монитор был разработан компанией «Инкарт».

Современные системы кардиореспираторного мониторинга, как правило, осуществляют синхронную регистрацию ряда показателей: 3-12 отведений ЭКГ, фотоплетизмограммы для измерения сатурации крови кислородом, спирограммы для фиксации назального воздушного потока и реопневмограммы для регистрации электрического сопротивления грудной клетки.

Поскольку апноэ центрального типа связано с остановкой дыхательных движений, система мониторинга должна включать канал для их регистрации. В исследовании использовалась импедансная респираторная плетизмография, известная также как реопневмография. Этот метод позволяет фиксировать пульсовые колебания кровенаполнения сосудов различных органов и тканей, основываясь на регистрации изменений полного (омического и ёмкостного) электрического сопротивления переменному току высокой частоты. Чтобы минимизировать снижение электрического сопротивления кожных покровов, стабилизировать электропроводность и исключить влияние внешних факторов,

в процессе реографии применяется переменный ток высокой частоты (от 30 до 175 кГц) и малой силы (от 1 до 10 мА). Основным преимуществом реопневмографии (РПГ) является её интеграция с электродами, используемыми для регистрации электрокардиограммы (ЭКГ), как представлено на Рисунке 7.

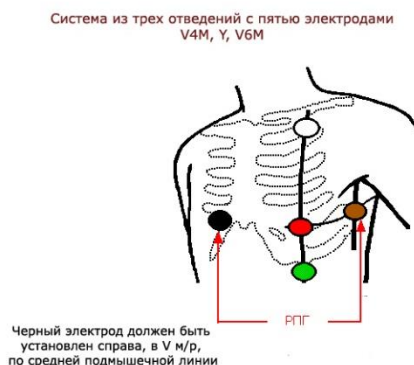


Рисунок 7 – Схема наложения электродов ЭКГ с обозначением РПГ

Регистрация РПГ не вызывает у исследуемых дополнительного дискомфорта из-за увеличения количества датчиков и проводов. При этом данные, полученные из сигнала РПГ, позволяют судить о наличии эпизодов остановки дыхательных движений, характерных для ЦАС. Такой метод диагностики ЦАС может быть использован как для скрининга, так и как один из элементов рутинных кардиологических обследований с использованием систем холтеровского мониторинга.

В рамках исследования проводился сбор и оценка следующих данных:

1. Максимальная длительность периода апноэ в секундах;
2. Общая длительность периодов апноэ в часах;
3. Длительность каждого эпизода апноэ;
4. Процент общего времени периодов апноэ от времени сна.

Также был произведен расчет и анализ индекса дыхательных расстройств (индекса апноэ-гипопноэ - ИАГ) – число эпизодов в час среднее за время сна. Статистическая обработка проведена с использованием пакета программного обеспечения для статистической обработки данных Microsoft Office Excel.

При оценке достоверности изменений показателей принимался уровень значимости $p < 0,05$.

В исследованиях приняли участие 9 полярников. В вечернее время перед отходом ко сну к исследовательской аппаратуре ХМ подключались датчики, регистрирующие носовое дыхание для оценки эпизодов апноэ.

2.7. Динамическая оценка сатурации крови кислородом

Методика пульсовой оксиметрии, предложенная в 70-х годах, основывается на принципах фотоплетизмографии, которая позволяет выделить артериальную составляющую поглощения света для определения оксигенации артериальной крови. Это измерение дает возможность применять спектрофотометрию для неинвазивного мониторинга сатурации кислородом артериальной крови через кожу. Согласно методике фотоплетизмографии, участок тканей, где измеряется кровоток, располагается на пути светового луча между источником излучения и фотоприемником датчика. Для определения сатурации используется двухлучевая спектрофотометрия, при которой абсорбция света измеряется в моменты систолического выброса, когда амплитуда сигнала датчика достигает максимума для двух длин волн излучения. В датчике установлены два источника излучения с разными спектральными характеристиками. Ткани, через которые проходит свет, действуют как неизбирательный фильтр, равномерно ослабляющий световой поток. Гемоглобин, наоборот, работает как цветной фильтр, по-разному поглощая излучение от двух источников. В различных состояниях гемоглобин поглощает свет по-разному: оксигемоглобин эффективно рассеивает красный свет и интенсивно поглощает инфракрасное излучение, тогда как дезоксигемоглобин, имеющий темно-вишневый цвет, слабо задерживает инфракрасные лучи, но хорошо поглощает красный свет. Это позволяет понять, какой световой поток проходит через оксигенированную кровь [279]. Используя специальный алгоритм, прибор рассчитывает процентное содержание оксигемоглобина в периферической

крови, учитывая только пульсирующий кровоток, который отражает сатурацию кислородом именно артериальной крови.

У 11 обследуемых проводилось измерение уровня сатурации крови кислородом (SpO_2) с использованием аппарата Zacurate Pro Series 500D1. Данный аппарат представляет собой портативный цифровой пульсоксиметр (Рисунок 8).



Рисунок 8 – Общий вид пульсоксиметра Zacurate Pro Series 500D1, США

Исследование проводилось утром в 10.00 в положении сидя, после 15-минутного отдыха. Данные были собраны при прибытии на станцию “Восток”, на второй неделе пребывания на станции, а также на второй, пятый, восьмой, девятый и десятый месяцы пребывания на станции.

2.8. Оценка состояния вегетативной нервной системы

Оценка уровня Индекса Кердо. Индекс Кердо используется для оценки состояния вегетативной нервной системы. Ранее проведенные исследования позволили выдвинуть предположения о том, что изменение соотношения диастолического артериального давления и значения периферического пульса связаны со сдвигами вегетативного тонуса [280].

При значениях ИК большое 0, то говорят о преобладании симпатических влияний в деятельности вегетативной нервной системы (симпатикотония), если меньше 0 – о преобладании парасимпатических влияний (парасимпатикотония). Если же ИК равен 0, то это говорит о функциональном равновесии (эйтонии). Индекс Кердо вычислялся по следующей формуле [281]:

$$KI = 100 \times \left(1 - \frac{DBP}{HR}\right) \quad (3)$$

где ДАД — диастолическое АД (мм рт. ст.);

ЧСС — частота сердечных сокращений (уд. в минуту).

Расчет данного индекса является достаточно простым и информативным методом оценки ВНС.

Данное исследование было проведено 5 раз: фоновое в декабре 2018 на борту НЭС «Академик Фёдоров», а также на третий, шестой, девятый и одиннадцатые месяцы пребывания на станции.

Оценка Адаптационного Потенциала. Эффективность адаптации оценивалась на основании значения адаптационного потенциала (АП), выраженного в баллах (см. Таблица 7). Расчет этого показателя проводился методом Р.М. Баевского, модифицированным А.П. Берсеновой, по следующей формуле [138]:

$$АП = 0,011 \times ЧСС + 0,14 \times САД + 0,008 \times ДАД + \\ + 0,009 \times МТ - 0,009 \times ДТ + 0,14 \times В - 0,27 \quad (4)$$

где ЧСС - частота сердечных сокращений в минуту,

САД - систолическое артериальное давление в мм рт. ст.,

ДАД - диастолическое артериальное давление в мм рт. ст.,

В - возраст в полных годах,

МТ - масса тела в кг,

ДТ- длина тела в см

Таблица 7 – Нормативные значения АП для взрослых, соответствующие различным уровням адаптации

Значения АП в баллах	Описание
не более 2,10	Удовлетворительная адаптация (характеризует достаточные функциональные возможности системы кровообращения)
от 2,11 до 3,20	Функциональное напряжение адаптационных механизмов

от 3,21 до 4,30	Неудовлетворительная адаптация (характеризует снижение функциональных возможностей системы кровообращения с недостаточной приспособляемой реакцией к физическим нагрузкам)
от 4,30 и более	Характеризует резкое снижение функциональных возможностей системы кровообращения с явлением срыва адаптационных механизмов целостного организма

2.9. Вариабельность сердечного ритма

Определение показателей вариабельности сердечного ритма и расчет показателей для оценки состояния механизмов регуляции кровообращения осуществлялись на основе рекомендаций, принятых Европейским кардиологическим обществом и Северо-Американским электрофизиологическим обществом, а также Российскими рекомендациями по анализу вариабельности сердечного ритма [282].

В исследовании принимали участие 9 добровольцев-мужчин. Методика проведения эксперимента не была связана с каким-либо дискомфортом для испытуемых. Исследования проводились в январе (фоновые исследования), апреле, июле, ноябре, декабре, что отражено в Приложении В.

Проанализированы следующие показатели, характеризующие механизмы вегетативной регуляции:

ПАРС (баллы) – показатель активности регуляторных систем, как интегральный критерий успешности адаптации; SDNN (мс) – это совокупный показатель вариабельности величин интервалов R-R за 24-часовой период, являющийся статистической характеристикой динамического ряда кардиоинтервалов. Колебания SDNN связаны как с центральным, так и с автономным контурами регуляции сердечного ритма; RMSSD (мс) – показатель активности парасимпатического звена вегетативной регуляции; ЧСС (уд/мин) – частота сердечных сокращений, отражает текущий уровень функционирования системы кровообращения; pNN50 (%) — отражает активность парасимпатического

звена автономного контура регуляции сердечного ритма, это процент соседних кардиоинтервалов, различающихся более чем на 50 мс, полученных за весь период регистрации; SI (у.е.) – стресс индекс, степень напряжения регуляторных систем, характеризует степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными; XMax (мс) – максимальное значение интервала R-R; XMin (мс) – минимальное значение интервала R-R; MxDMn (мс) – вариационный размах кардиоинтервалов; CV (%) – нормированный показатель суммарного эффекта регуляции; HF (мс²) – отражает высокочастотный компонент спектра ВСР; преимущественно отражают влияние внешнего контура парасимпатической нервной системы на сердечный ритм; LF (мс²) – абсолютная мощность низкочастотного диапазона спектра; LF/HF (баллы) – соотношение мощности высокочастотных и низкочастотных волн спектра, показатель, характеризующий баланс симпатических и парасимпатических влияний и относительную активность подкоркового симпатического центра; VLF (мс²) – абсолютную мощность очень низкочастотного диапазона, ULF (мс²) – абсолютная мощность ультранизкочастотного диапазона спектра, HFmx (мс²/Гц) – максимум высокочастотной составляющей; LFmx (мс²/Гц) – максимум низкочастотной составляющей спектра; VLFmx (мс²/Гц) – максимум очень низкочастотной части спектра; ULFmx (мс²/Гц) – максимум ультранизкочастотной составляющей спектра [283, 284, 285].

Вариабельность сердечного ритма оценивалась по следующим показателям, основанным на данным полученных в ходе холтер-мониторинга, различия в рамках которых оказались статистически значимыми (непараметрический метод Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet119) MD pairwise deleted, однофакторный дисперсионный анализ, $p < 0,05$): SDNN, pNN50 и HF.

Выбор данных параметров оценки вариабельности сердечного ритма обусловлен не только их статистической достоверностью, но и клинической значимостью, так как данное сочетание параметров является «золотым стандартом» оценки состояния вегетативной нервной системы [31].

2.10. Измерение массы тела

Для расчета АП измерение массы тела 11 полярников проводилось в январе 2019 года на береговой станции Прогресс на уровне моря, а также на третий, шестой, девятый и одиннадцатый месяц пребывания на станции Восток.

Электронные весы, использовавшиеся для проведения исследования калибровались перед проведением каждого нового замера.

Исследование у всех участников проводилось в 08.00, после осуществления гигиенических процедур и до принятия пищи.

2.11. Статистическая обработка данных

Данные настоящего исследования были предварительно обработаны с помощью программы Microsoft Office Excel, где для каждого из исследуемых показателей были созданы соответствующие таблицы. Нормальность распределения выборок проверялась с использованием критерия Шапиро – Уилка. Для межгрупповых сравнений применялись критерии Вилкоксона, Манна – Уитни и Данна. Статистический анализ выполнен с использованием программы Statsoft Statistica 13.0, при этом применялись методы непараметрической статистики, включая U-критерий Манна – Уитни, а также T-критерий Стьюдента и однофакторный дисперсионный анализ ANOVA [286].

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Оценка состояния сердечно-сосудистой системы

Анализ данных ЭКГ полученных путем холтеровского мониторингирования выявил достоверно значимые отличия в возрастных группах по показателям интервала PQ, QT, QT_c, ЧСС ($p < 0,05$).

Частота сердечных сокращений. Значения ЧСС в первой возрастной группе в первом полугодии не превышали возрастную норму, в то время как с 6 месяца наблюдалась тенденция к снижению показателя с выраженным разбросом значений. Таким образом, к 11 месяцу зимовки ЧСС в первой группе снизилась в среднем до 77 уд/мин, как показано в Таблице 8 и на Рисунке 9.

Таблица 8 – Статистический анализ динамики частоты сердечных сокращений по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно)

возрастная группа	месяц на станции	Частота сердечных сокращений, ударов в минуту					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	80,1	9,7	3,4	89,0	79,5	80,4
I	6	82,0	7,8	2,8	88,0	80,6	83,1
I	9	77,8	15,1	5,3	89,0	71,6	80,1
I	11	76,6	14,6	5,2	81,0	68,0	82,9
II	3	71,1	11,2	3,6	80,0	69,0	71,0
II	6	64,5	7,5	2,4	68,0	62,5	67,0
II	9	66,2	12,5	4,0	69,0	62,0	62,0
II	11	68,1	12,7	4,5	78,5	65,6	69,5

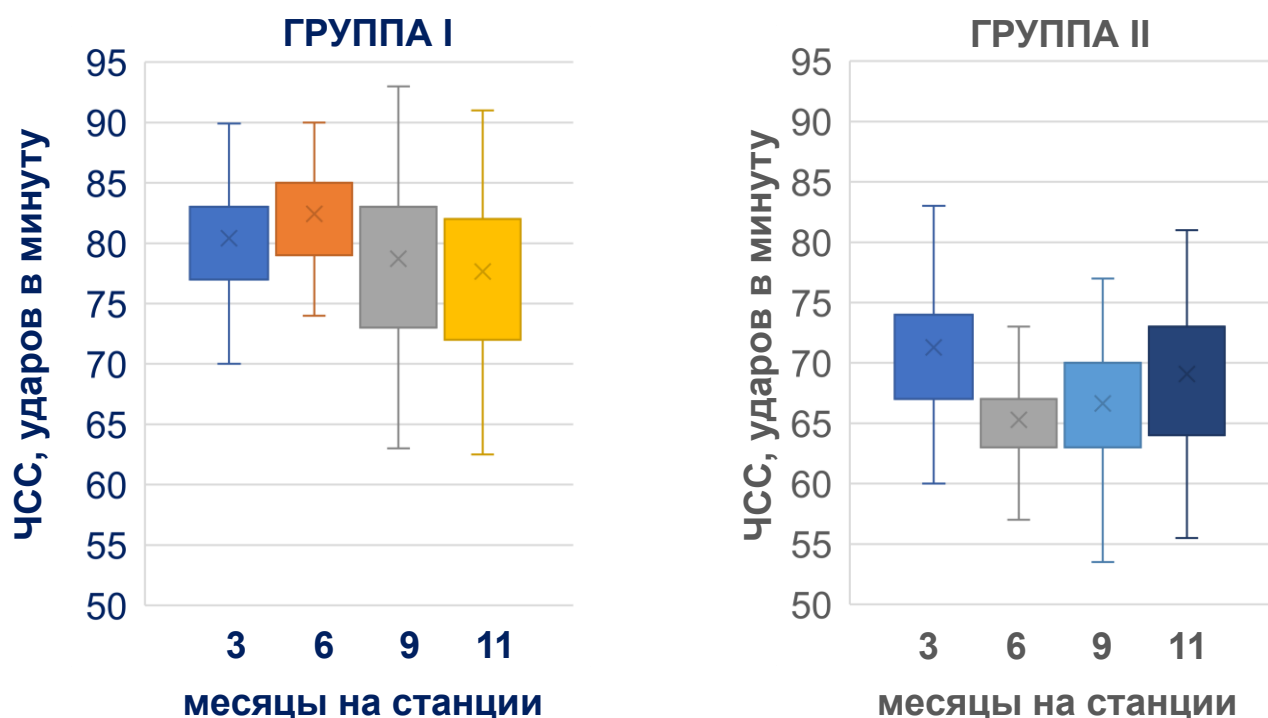


Рисунок 9 – Динамика частоты сердечных сокращений по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: количество ударов в минуту, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток

Уровень ЧСС в первой возрастной группе был достоверно выше, чем во второй, при этом сохранялся разброс индивидуальной динамики, выраженный примерно одинаково в обеих группах. Во второй возрастной группе ЧСС характеризовалась обратной динамикой, значения ЧСС к 6 мес зимовки в среднем составили 65 уд/мин с последующим увеличением до 68, как показано на рисунке *. Вместе с тем, исследования, проведенные в 9й месяц зимовки, характеризуются стремлением этого показателя к уменьшению в первой возрастной группе и к увеличению во второй, эта тенденция сохраняется к окончанию периода наблюдения (11й месяц). Это может свидетельствовать о сформировавшихся приспособительных реакциях организма к экстремальным условиям.

Для проверки достоверности полученных данных был применен также однофакторный дисперсионный анализ по различию в динамике ЧСС на

протяжении периода исследования. На Рисунке 10 отражено, что частота сердечных сокращений в обеих группах имела значительную достоверную динамику увеличения от фоновых значений к 1-му месяцу на станции. Далее в обеих возрастных группах зафиксирована тенденция к снижению показателя, однако характер изменений значительно различается. В первой группе количество ударов в минуту отличалось регулярным разнонаправленным движением – снижение на 2,3,5,7 и 10 месяцах и рост на 4,6,9 и 11 месяцах. Однако четко прослеживается тренд на снижение. Несмотря на приближенный к нормальному значению средне групповой показатель на 10-м месяце зимовки, к 11 месяцу наблюдался очередной скачок количества ударов в минуту.

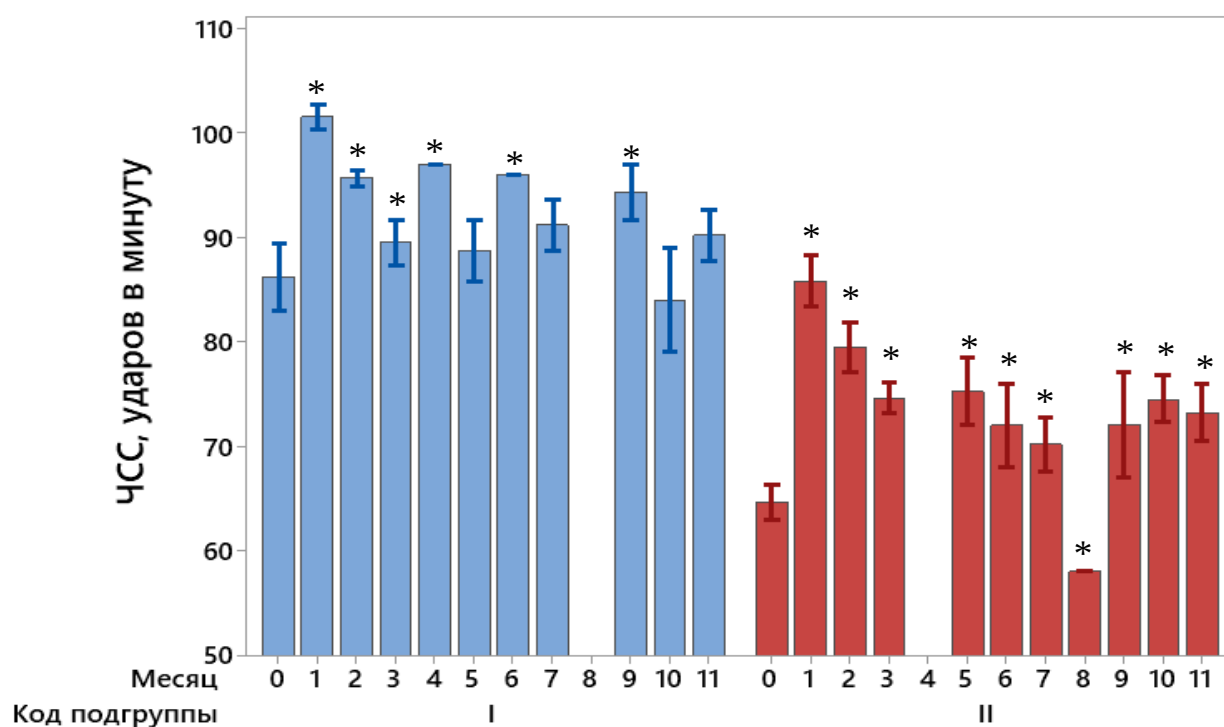


Рисунок 10 – Динамика частоты сердечных сокращений по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 12 этапов: до прибытия на станцию (0 месяц – январь) и далее ежемесячно до 11 месяца зимовки (декабрь соответственно). По оси ординат: количество ударов в минуту, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

* - достоверное отличие от фоновых значений, $p < 0,05$

Во второй группе начальные значения находятся ниже на 20 пунктов, чем в первой группе, однако к 1-му месяцу на станции также отмечен значительный рост ЧСС. Далее отмечено постепенное снижение показателя. В отличие от первой группы, во второй снижение уровня ЧСС до значений ниже фоновых произошло на два месяца раньше – на 8-й месяц зимовки.

Интервал PQ. Динамика длительности интервала PQ характеризовалась стабильностью в течение всей зимовки. Значения не отклонялись от физиологической нормы и в среднем составили 120-200 мс.

Анализ динамики интервала PQ в первой возрастной группе выявил снижение длительности интервала в среднем на 13% к 3 месяцу зимовки, на протяжении дальнейшего наблюдения значение было незначительно повышено, составило в среднем 145 мс, что тем не менее сохраняло тенденцию 3 мес зимовки – сокращения длительности интервала PQ.

Анализ динамики интервала PQ во второй возрастной группе выявил снижение длительности этого интервала в среднем на 8%. Наблюдалось увеличение длительности PQ к 11 мес зимовки до 185 мс, что соответствует нижней границы нормы.

Таким образом, в рассматриваемых возрастных группах наблюдалось увеличение длительности интервала PQ, при этом в первой возрастной группе увеличение интервала было менее значительным, чем во второй, что по видимому можно объяснить более выраженной активной реакцией симпатической нервной системы у представителей первой возрастной группы, что отражает Таблица 9 и Рисунок 11.

Таблица 9 – Статистический анализ динамики длительности интервала PQ по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Длительность интервала PQ, миллисекунды					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	141,0	17,1	8,5	148,0	137,0	152,0
I	6	147,0	12,5	6,2	146,0	138,5	154,5
I	9	145,0	12,4	6,2	142,0	137,0	150,0
I	11	147,0	16,5	8,2	144,0	135,0	156,0
II	3	174,8	21,6	9,6	170,0	166,0	176,0
II	6	174,8	20,9	9,3	170,0	170,0	170,0
II	9	175,6	27,8	9,1	178,0	160,0	180,0
II	11	180,5	25,5	12,8	178,0	170,0	188,5

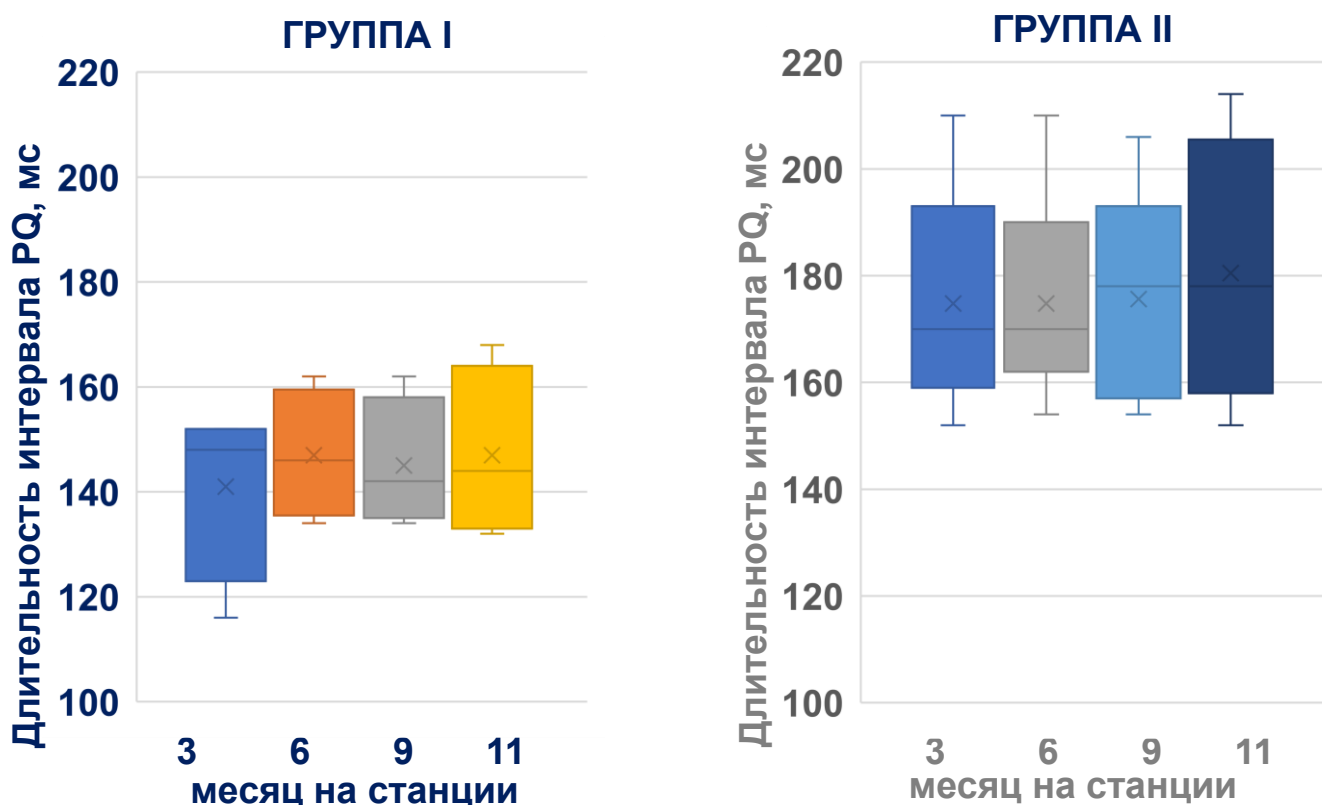


Рисунок 11 – Слева: Динамика интервала PQ в I возрастной группе с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно).

По оси ординат: длительность интервала PQ в миллисекундах , по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

Справа: Динамика интервала PQ в II возрастной группе с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: длительность интервала PQ в миллисекундах , по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

Интервал QT. Показатели длительности интервала QT находились в пределах нормы от 350 до 460 мс в обеих группах сравнения, как показано на рисунке 12 и таблице 10, и достоверно отличались ($p < 0,05$). При этом у представителей 1 возрастной группы наблюдалась тенденция к его увеличению, приближаясь к средней норме – 390 мс , начиная с 6 мес зимовки. У представителей второй возрастной группы длительность интервала QT имела тенденцию к укорочению к 11 мес зимовки.

Таблица 10 – Статистический анализ динамики длительности интервала QT по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Длительность интервала QT, миллисекунды					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	372,3	22,8	13,2	368,0	137,0	382,5
I	6	368,8	17,4	14,5	371,5	364,5	375,8
I	9	387,5	8,5	26,0	384,5	383,3	388,8
I	11	386,0	35,4	15,0	387,5	367,0	406,5
II	3	395,4	21,7	9,7	409,0	389,0	409,0
II	6	407,2	16,3	7,3	406,0	392,0	416,0
II	9	403,4	27,8	12,4	415,0	394,0	416,0
II	11	393,0	26,4	13,2	397,5	379,3	411,3

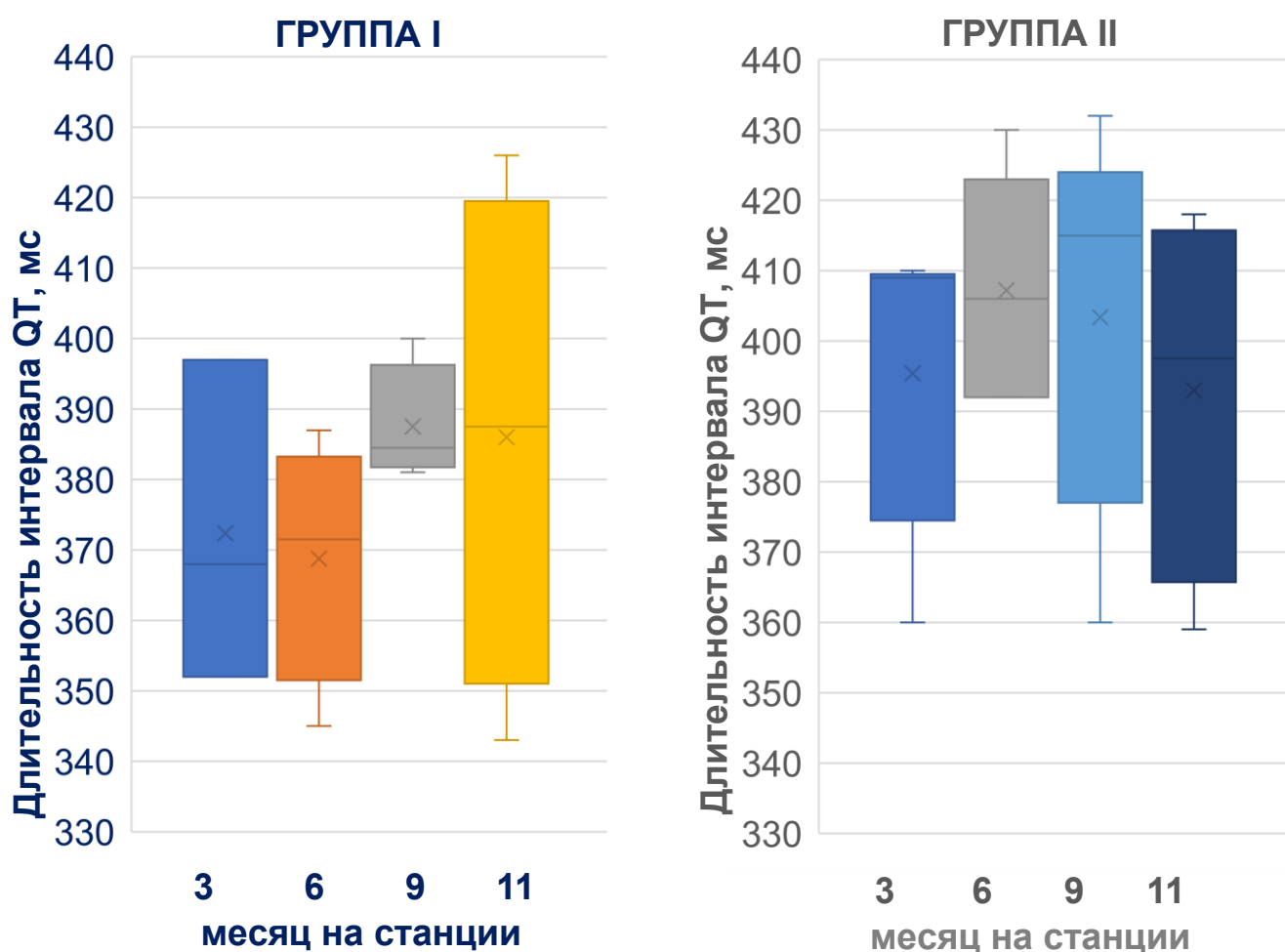


Рисунок 12 – Динамика интервала QT по возрастным группам I и II с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: длительность интервала QT в миллисекундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток

Однофакторный дисперсионный анализ позволил более точно оценить различия в динамике длительности интервала QT на протяжении периода исследования. Как видно на Рисунке 13, длительность интервала QT в первой возрастной группе имела достоверную динамику снижения от 3-го к 6-му месяцу, в то время как с 6-го по 9-й месяц имелось достоверное увеличение длительности с последующей тенденцией к снижению на 11-й месяц.

Во второй возрастной группе имелось достоверное удлинение этого интервала от 3-го к 6-му месяцу с последующим достоверным снижением продолжительности к 11-му месяцу.

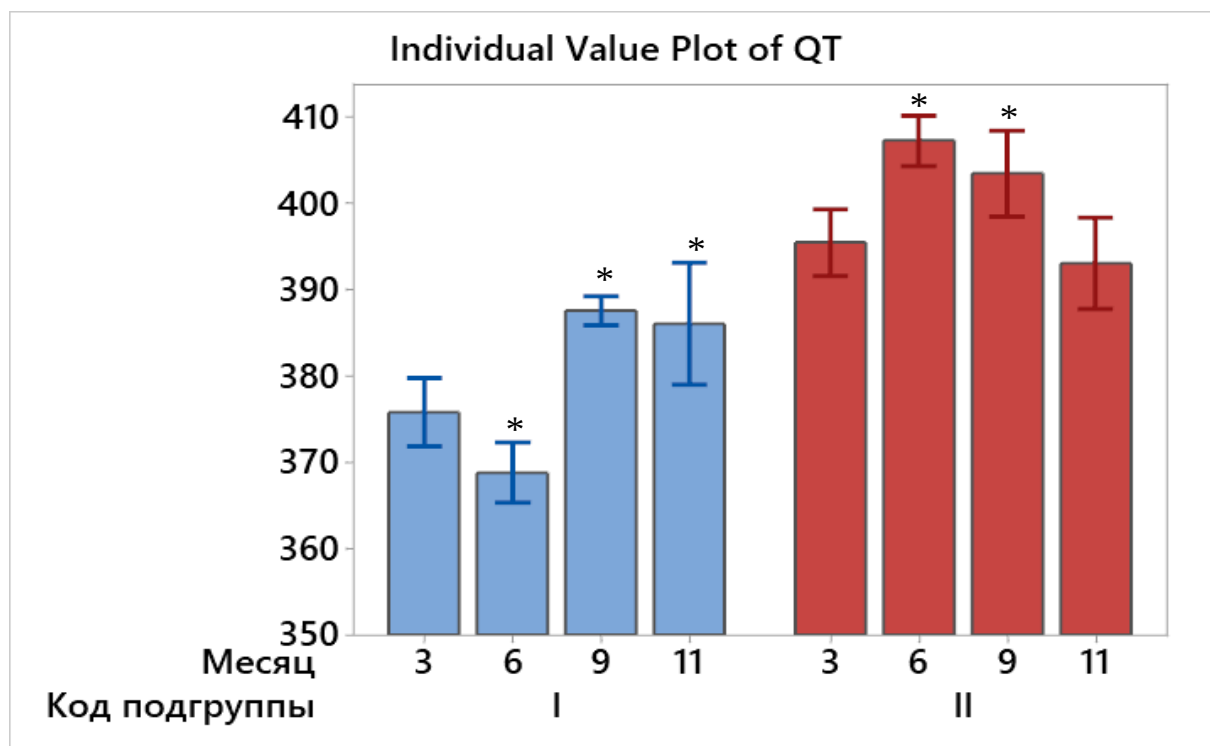


Рисунок 13 – Динамика длительности интервала QT по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: продолжительность интервала QT в миллисекундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

* - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

Вышеописанные результаты подтверждают выводы, сделанные на основании методов непараметрической статистики. Стоит отметить, что достоверная динамика скорректированного интервала QT позволяет придать большую достоверность тезису о повышенной толерантности к гипоксии у представителей второй возрастной группы.

Как известно, продолжительность интервала QT имеет четкую взаимосвязь с частотой сердечных сокращений, интервалом RR: при уменьшении ЧСС интервал QT увеличивается, а при увеличении ЧСС – уменьшается [287].

В ходе всего периода исследования наблюдалось отклонение от стандартного соотношения ЧСС и длительности интервала QT. Регистрировалось удлинение длительности интервала QT, во всех возрастных группах - характерное для функционального напряжения сердечно-сосудистой системы вследствие воздействия условий высокогорной гипоксии. При этом в первой возрастной группе это напряжение было достоверно ($p < 0,05$) более выраженным, чем во второй, как мы можем видеть на Рисунке 14.

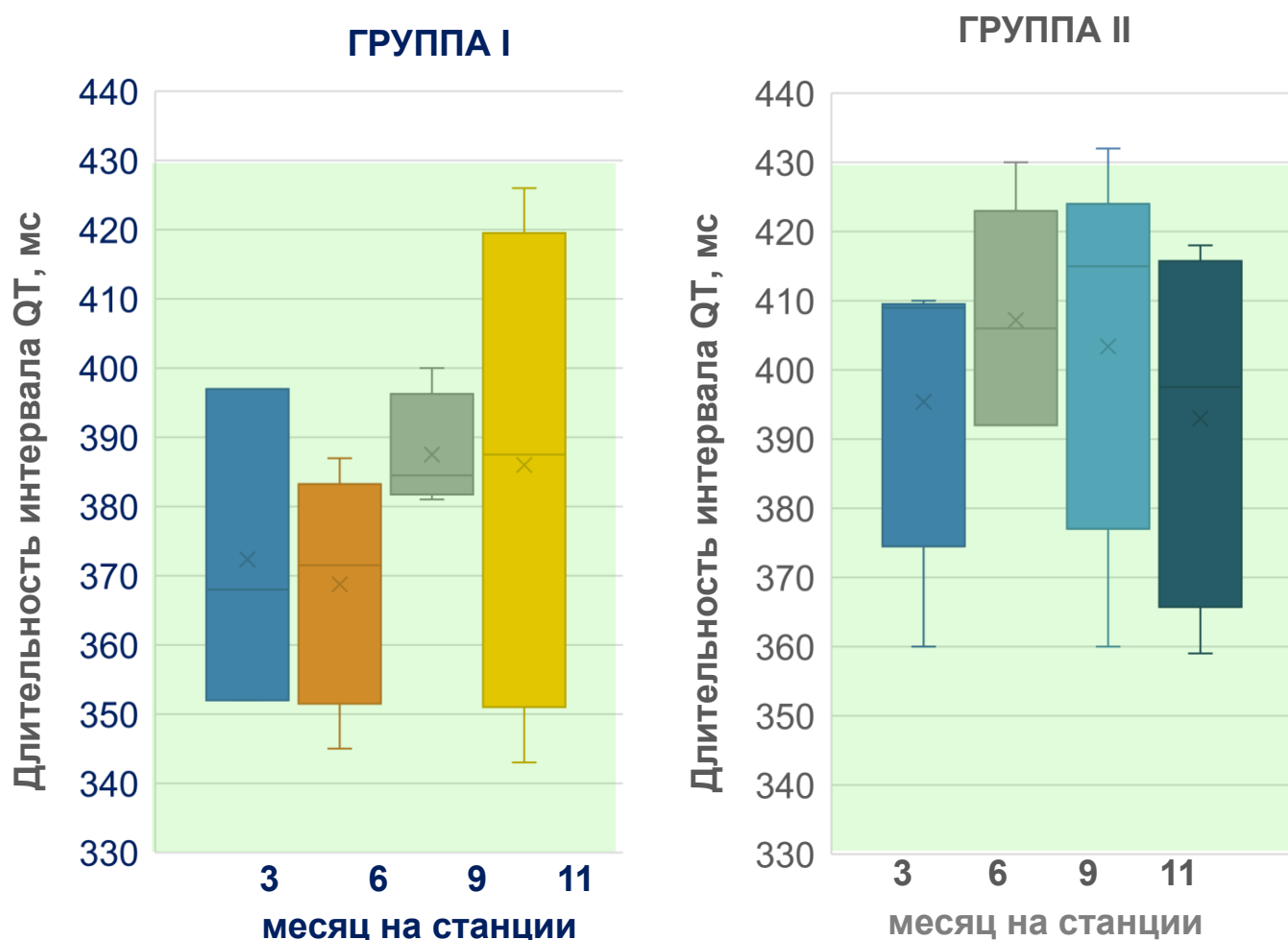


Рисунок 14 – Динамика длительности интервала QT по возрастным группам I и II с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь

соответственно). Зеленым полем обозначен диапазон нормы значений интервала QT. По оси ординат: длительность интервала QT в миллисекундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток

Практически у всех обследуемых наблюдались эпизоды нарушения сердечного ритма, признаков нарушения трофики миокарда выявлено не было.

Было установлено, что функциональное напряжение сердечно-сосудистой системы характеризуется статистически значимой отрицательной динамикой показателей ЭКГ (интервалов PQ, QT и частоты сердечных сокращений (ЧСС), ($p < 0,05$), отличающейся по выраженности в исследуемых возрастных группах. У представителей старшей возрастной группы начиная с 6 месяца пребывания на станции регистрировалась тенденция к функциональной адаптации сердечно-сосудистой системы (ССС), выражавшаяся в уменьшении длительности интервала QT (с 410 до 380 мс). В первой возрастной группе функциональная адаптация ССС отмечалась только к 9 мес зимовки. Выявлена статистически значимая нормализация интервалов PQ и QT.

Кроме этого, выявлена тенденция к адаптации ССС по показателю ЧСС с 6 месяца зимовки, независимо от возрастного фактора. При этом, в первой возрастной группе ЧСС в среднем сокращалось с 86 до 81,7 уд в мин ($p < 0,05$), во второй - увеличивалась – с 60 до 70 уд в мин ($p < 0,05$). Динамика ЧСС прямо коррелировала с оптимизацией баланса вегетативной нервной системы (с 6 месяца пребывания на станции): у 1 группы - от симпатикотонии к нормотонии, у 2-й возрастной группы – от выраженной парасимпатикотонии к нормотонии.

3.2. Динамика состояния респираторной системы

Достоверно значимые различия были обнаружены при анализе следующих параметров: SpO₂, ИАГ, максимальная длительность эпизода апноэ ($p < 0,05$).

Сатурация крови кислородом (SpO₂). На первом месяце зимовки на станции Восток у всех участников исследования регистрировался низкий уровень сатурации, который в среднем составлял 86 % в обеих группах, что

соответствовало сниженному парциальному давлению кислорода во вдыхаемом воздухе. Однако, уровень сатурации крови кислородом ко второму месяцу повысился в среднем до 89,2 %, и сохранялся в этих значениях далее в течении всего времени наблюдения, как в первой, так и во второй возрастной группе участников исследования. Однако, как видно в Таблице 11 и на Рисунках 14 и 15, нормализация сатурации во 2 возрастной группе проходила с более выраженными колебаниями в ходе зимовки, по сравнению с представителями первой возрастной группы.

Таблица 11 – Статистический анализ динамики уровня сатурации крови кислородом по восьми сессиям сбора данных – фоновое значение, 1, 2, 3, 5, 7, 9 и 11 месяцы зимовки по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Сатурация крови кислородом, SpO2, %					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	фон	97,8	0,4	0,2	98,0	98,0	98,0
I	1	86,0	3,4	1,5	85,0	84,0	85,0
I	2	90,0	1,4	0,6	89,0	89,0	91,0
I	3	89,8	0,8	0,4	90,0	89,0	90,0
I	5	89,2	0,8	0,4	89,0	89,0	90,0
I	7	88,8	0,8	0,4	89,0	88,0	89,0
I	9	89,6	0,5	0,2	90,0	89,0	90,0
I	11	90,6	1,3	0,6	90,0	90,0	90,0
II	фон	98,2	0,4	0,2	98,0	98,0	98,0
II	1	86,3	2,6	1,1	86,5	84,5	87,8
II	2	88,5	1,2	0,5	88,0	88,0	89,5
II	3	88,2	1,7	0,7	88,0	87,0	89,8
II	5	88,8	1,0	0,4	89,0	89,0	89,0
II	7	88,7	2,4	1,0	89,0	89,0	89,8
II	9	90,5	1,8	0,7	90,0	90,0	90,0
II	11	90,2	1,3	0,6	90,0	89,0	91,0

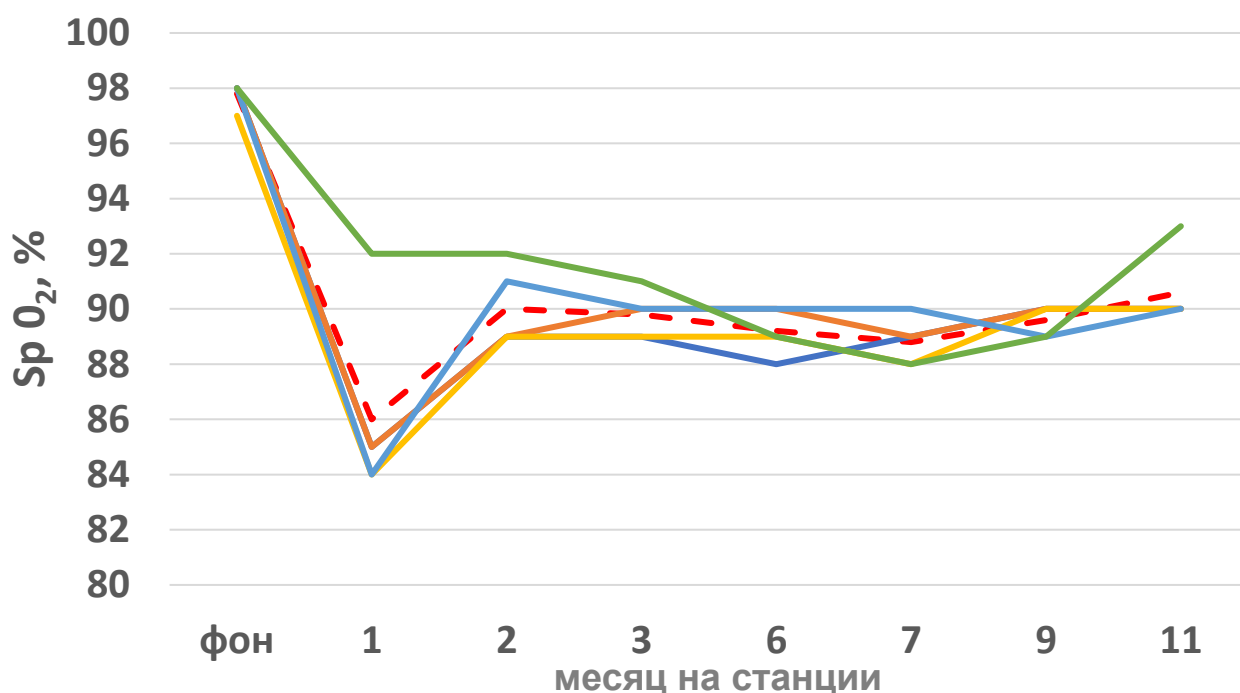


Рисунок 14 – Индивидуальная динамика уровня сатурации крови кислородом во I возрастной группе на протяжении всего периода исследования. По оси ординат: сатурации крови кислородом в %, по оси абсцисс: фоновое значение и номера месяцев пребывания на станции Восток

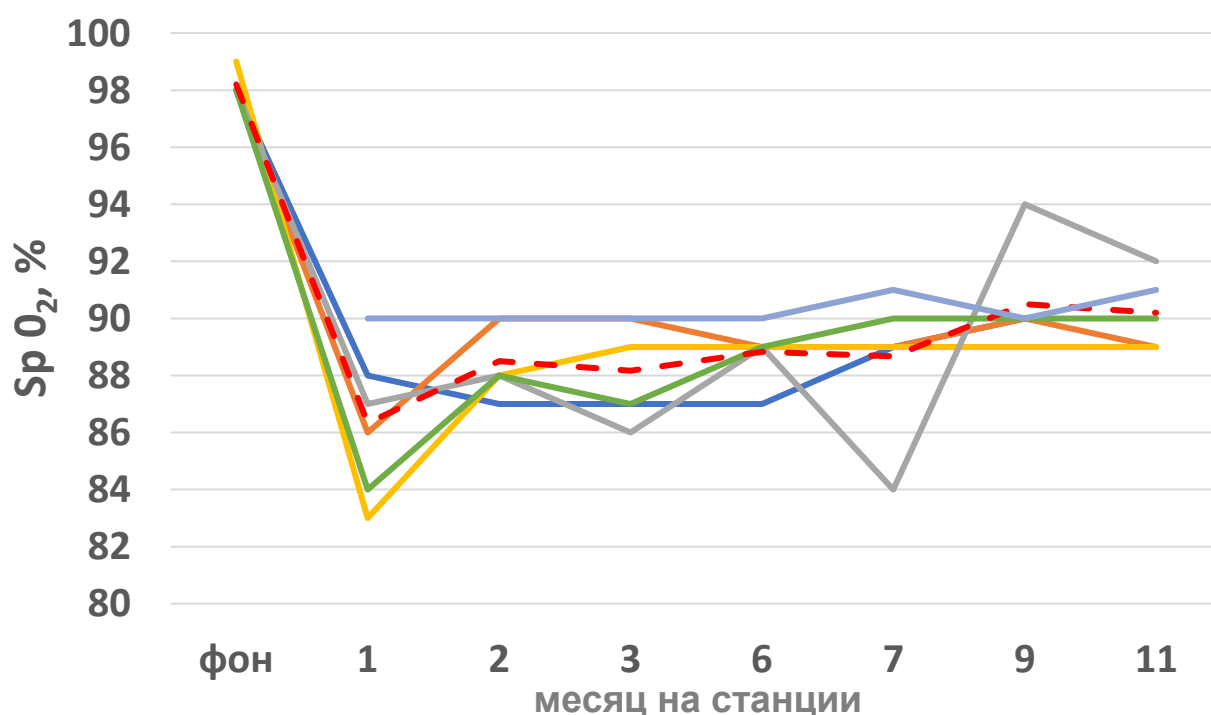


Рисунок 15 – Индивидуальная динамика уровня сатурации крови кислородом во II возрастной группе на протяжении всего периода исследования. По оси ординат: сатурации крови кислородом в %, по оси абсцисс: фоновое значение и номера месяцев пребывания на станции Восток

Однофакторный дисперсионный анализ позволил более точно оценить динамику уровня SpO₂. Как представлено на Рисунке 16, в обеих группах имелось достоверное снижение уровня сатурации в течение первого месяца на станции Восток по сравнению с фоновыми значениями, полученными при нахождении на уровне моря.

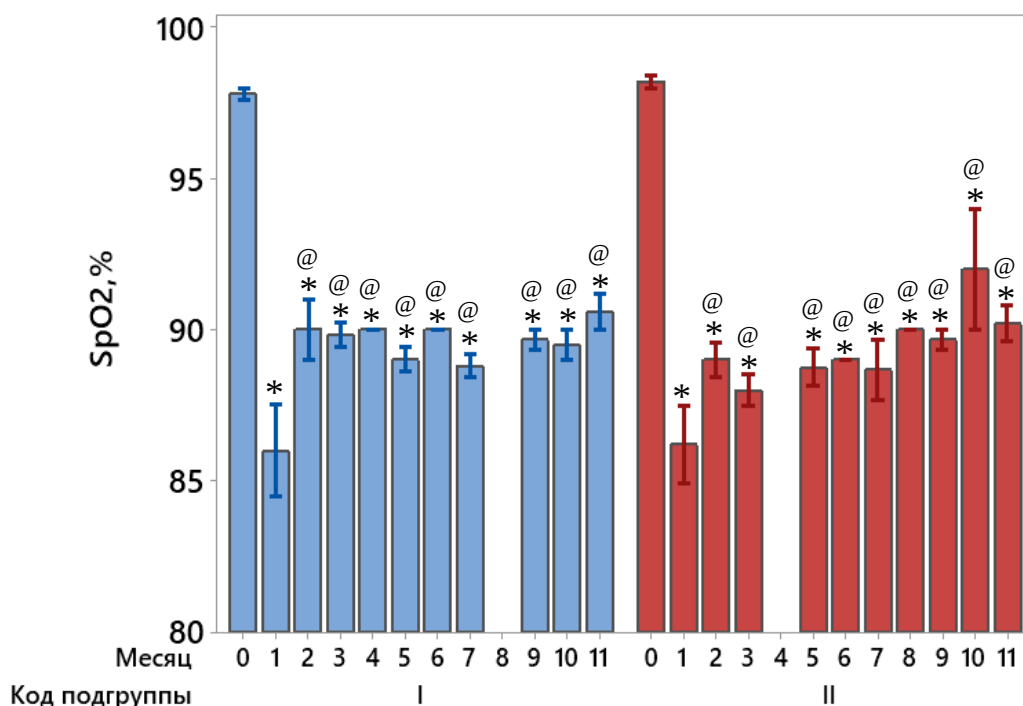


Рисунок 16 – Динамика уровня сатурации крови кислородом по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 12 этапов: до прибытия на станцию (0 месяц – январь) и далее ежемесячно до 11 месяца зимовки (декабрь соответственно). По оси ординат: количество ударов в минуту, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от фоновых значений, $p < 0,05$, @ - достоверное отличие от значений первого месяца, $p < 0,05$

Динамика уровня SpO₂ на протяжении дальнейшего периода пребывания на станции отличалась относительной однородностью в обеих возрастных группах.

Центральное апноэ сна. В ходе годичной зимовки на всех этапах во время холтеровского мониторинга у полярников регистрировалось ночное апноэ центрального генеза, характерное для высокогорья.

Во всех возрастных группах эпизоды ночного апноэ сохранялись на протяжении всего периода исследования, оставаясь в одном и том же диапазоне значений по частоте случаев за ночь. При этом, в первой возрастной группе выявлялась однотипная количественная динамика случаев наблюдения апноэ, в среднем 43 случая за ночь.

Количественная динамика частоты ночного апноэ во второй возрастной группе характеризовалась выраженным разбросом, как демонстрируют Рисунки 17 и 18, а также таблица 12.

Таблица 12 – Статистический анализ динамики показателя Индекса апноэ-гипопноэ по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Индекс Апноэ-гипопноэ, баллы					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	28,5	19,7	9,8	34,0	21,3	41,3
I	6	29,8	19,0	9,5	37,0	25,3	41,5
I	9	48,3	31,2	15,6	47,5	26,3	69,5
I	11	23,0	14,7	7,3	27,0	16,5	33,5
II	3	54,6	37,2	16,7	62,0	35,0	69,0
II	6	47,8	27,7	12,4	41,0	30,0	69,0
II	9	59,6	29,1	13,0	63,0	61,0	76,0
II	11	45,0	24,0	12,0	54,5	39,3	60,3

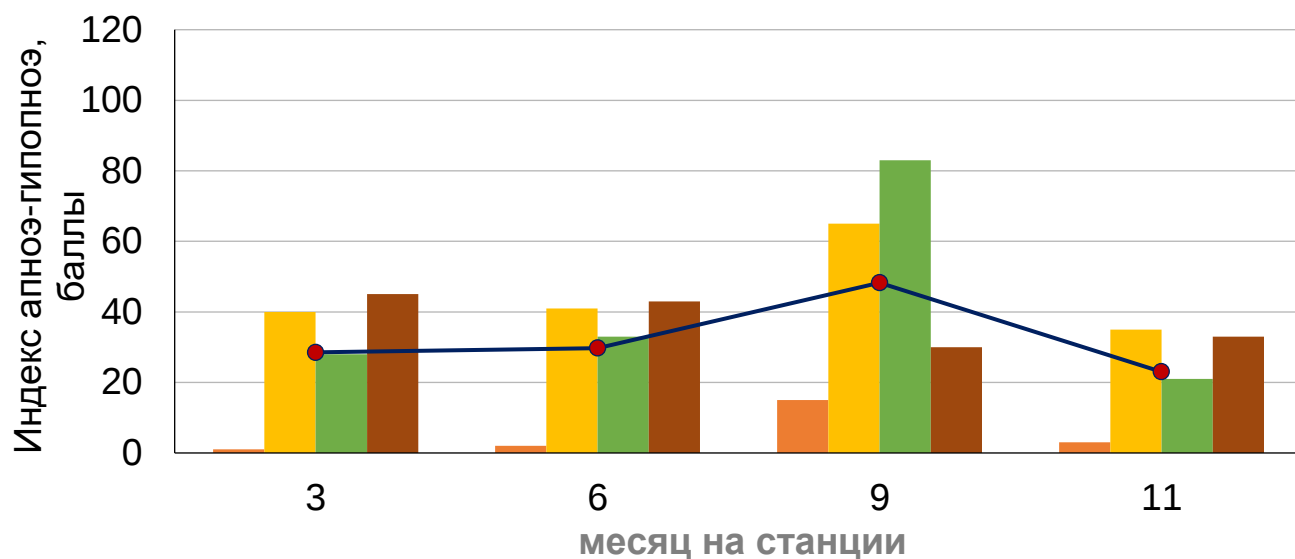


Рисунок 17 – Индивидуальная динамика уровня апноэ-гипопноэ в I возрастной группе на протяжении всего периода исследования. Цветом обозначены индивидуальные показатели по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно). Синей сплошной линией обозначено среднее групповое значение в указанной точке сбора данных. По оси ординат: Индекс апноэ-гипопноэ в баллах, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток

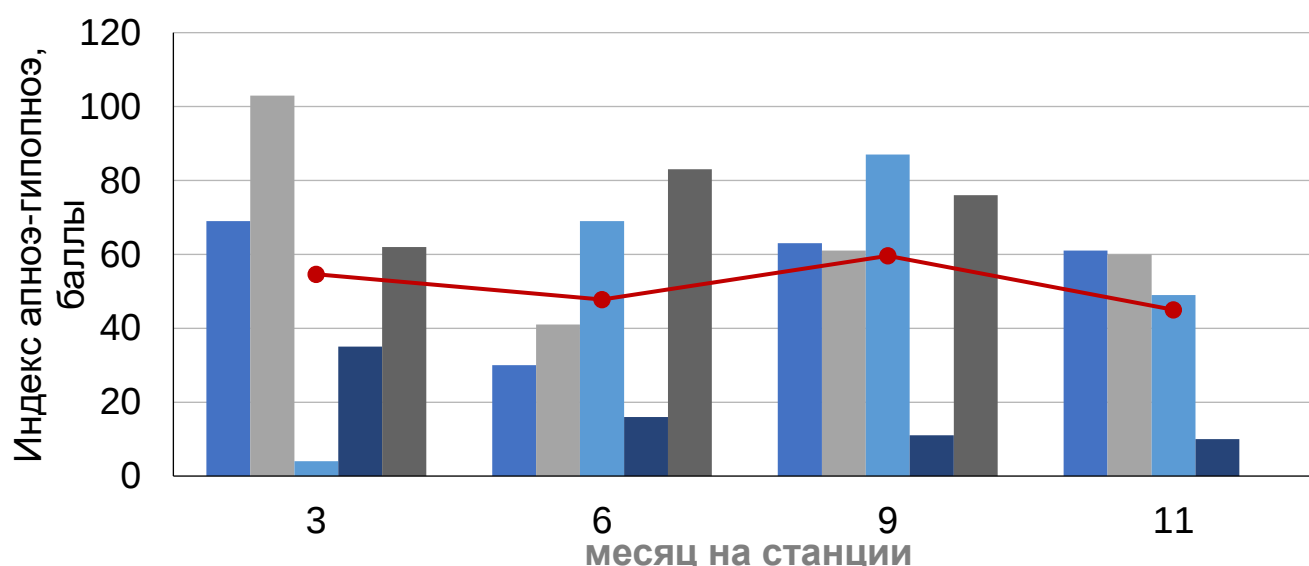


Рисунок 18 – Индивидуальная динамика уровня апноэ-гипопноэ в II возрастной группе на протяжении всего периода исследования. Цветом обозначены индивидуальные показатели по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11

месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно). Красной сплошной линией обозначено средне групповое значение в указанной точке сбора данных. По оси ординат: Индекс апноэ-гипопноэ в баллах, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток.

Однофакторный дисперсионный анализ позволил более точно оценить различия в динамике ИАГ и максимальной длительности эпизода апноэ.

Как видно на Рисунке 19 ИАГ достоверно снижался в первой возрастной группе от 3го к 11му месяцу, при этом имелось достоверное значительное повышение ИАГ на 9й месяц пребывания на станции.

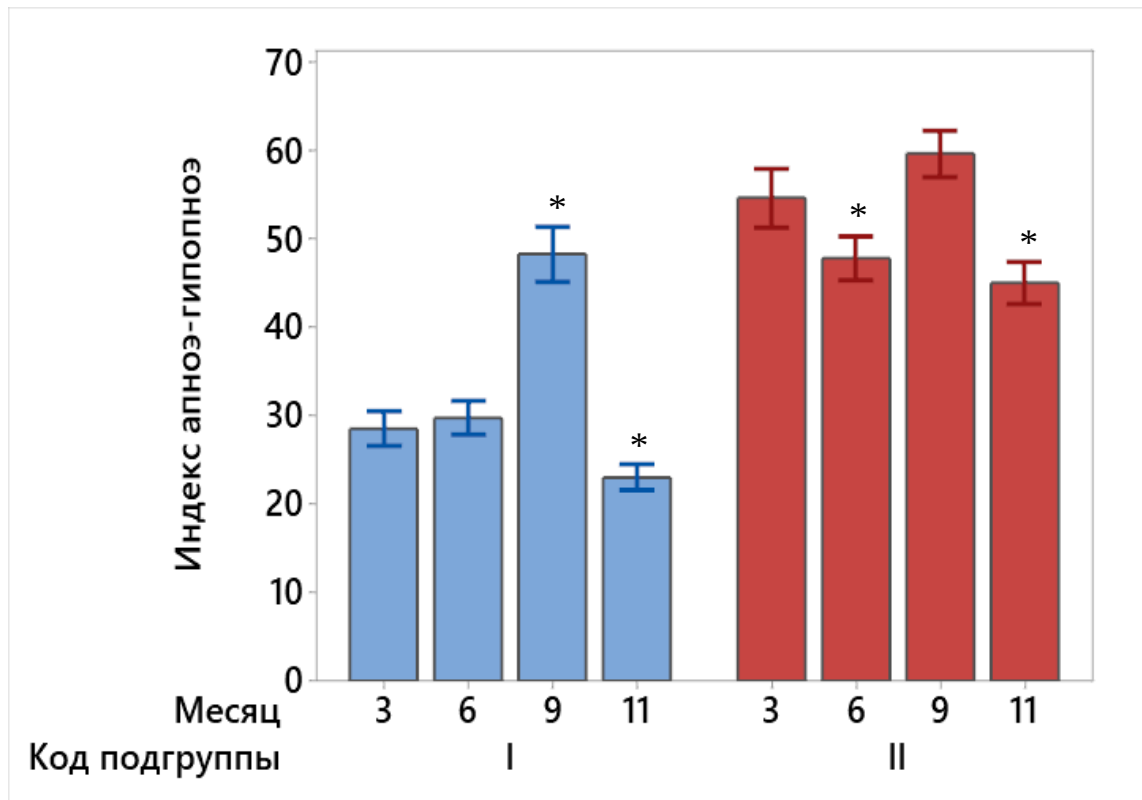


Рисунок 19 – Динамика уровня апноэ-гипопноэ по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: уровень ИАГ в баллах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

Уровень ИАГ во второй возрастной группе был достоверно выше, чем в первой, при этом динамика уровня ИАГ отличалась достоверными отличиями на протяжении всего периода исследования. Динамика показателей, как и в первой возрастной группе, отличалась достоверным снижением от 3го к 11му месяцу. Частичная адаптация с позитивной динамикой наблюдалась к 11 месяцу зимовки. При этом, в первой возрастной группе полярников отмечалась общая тенденция в динамике ночного апноэ - нарастание количества случаев и длительности апноэ к 10 мес - до 46, длительностью в среднем 125 мин, и снижением к 11 мес до 27 случаев, продолжительностью до 49 мин. У полярников 2 возрастной группы динамика значения количества случаев и длительности апноэ сна имело выраженную индивидуальную тенденцию на протяжении зимовки, где к 11 мес - наблюдалась позитивная динамика количества случаев и длительности ночного апноэ в среднем на 20%.

Длительность эпизода апноэ максимальная. Однофакторный дисперсионный анализ позволил более точно оценить различия в динамике максимальной длительности эпизода апноэ, которые отражены на рисунке 20.

В первой группе достоверно установлено увеличение продолжительности от 3 к 6-му месяцу зимовки, последующее снижение и повторный и более значительный рост к 11-му месяцу на станции. Таким образом, в первой группе установлен достоверный рост максимальной продолжительности эпизодов апноэ.

Во второй группе отмечена достоверная тенденция к снижению максимальной продолжительности эпизода от 3 к 11 месяцу с незначительным повышением на 9-м месяце пребывания на станции.

Адаптация респираторной системы регистрировалась к 11 месяцу пребывания на станции, что выражалось в изменении характеристик центрального апноэ сна (ЦАС), которые отличаются в разных возрастных группах. В первой возрастной группе к 11 мес зимовки количество случаев апноэ сокращалось почти вдвое (с 46 до 27) с тенденцией уменьшения общего периода длительности ЦАС (с

125 мин до 49 мин) в 2,5 раза; во второй возрастной группе отмеченная динамика имела выраженный индивидуальный характер, с тенденцией к сокращению среднего количества эпизодов апноэ и длительности ЦАС на 20%. При этом максимальная длительность эпизода апноэ достоверно увеличивалась от 3 к 11 месяцу в первой группе и достоверно уменьшалась в этот период во второй.

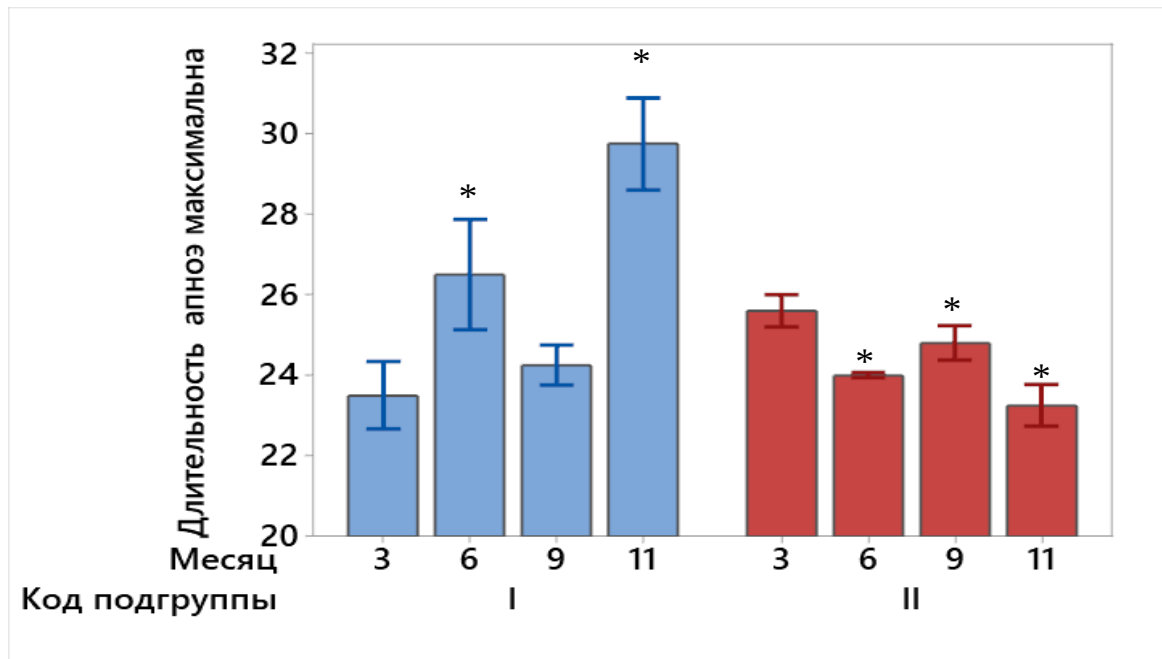


Рисунок 20 – Динамика максимальных показателей длительности эпизодов апноэ-гипопноэ по возрастным группам I и II с отображением разброса значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: продолжительность максимального эпизода апноэ в секундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

3.3. Динамика состояния центрального и глазного кровообращения по состоянию сосудов глазного дна

Динамическая оценка цифровой фундускопии, проведенная с использованием визуально-аналоговой шкалы, отображенной в Приложении Г, не выявила значимых различий в состоянии сосудов глазного дна в зависимости от возраста и представлена на Рисунках 20 и 21. Ниже представлены цифровые

фотографии глазного дна правого и левого глаза у участников исследования из первой и второй возрастных групп. Во время всего периода наблюдения отмечалось напряжение венозного кровотока по состоянию вен сетчатки, они характеризовались расширением и насыщенным цветом венозной крови, что соответствовало снижению уровню сатурации крови, при гипобарической гипоксемии центральной Антаркиды.

Состояние сосудов глазного дна демонстрирует высокую сохранность механизмов ауторегуляции кровотока сетчатки в двух возрастных группах. Мы не наблюдали патологических изменений сосудов и ткани сетчатки.

Была подтверждена высокая информативность цифровой фундускопии при использовании немидриатической цифровой фундускопии в режиме реального времени в автономных экспедиционных условиях, что позволило оперативно оценивать динамику адаптации сосудистой системы к комплексу экстремальных факторов среды Центральной Антарктики.

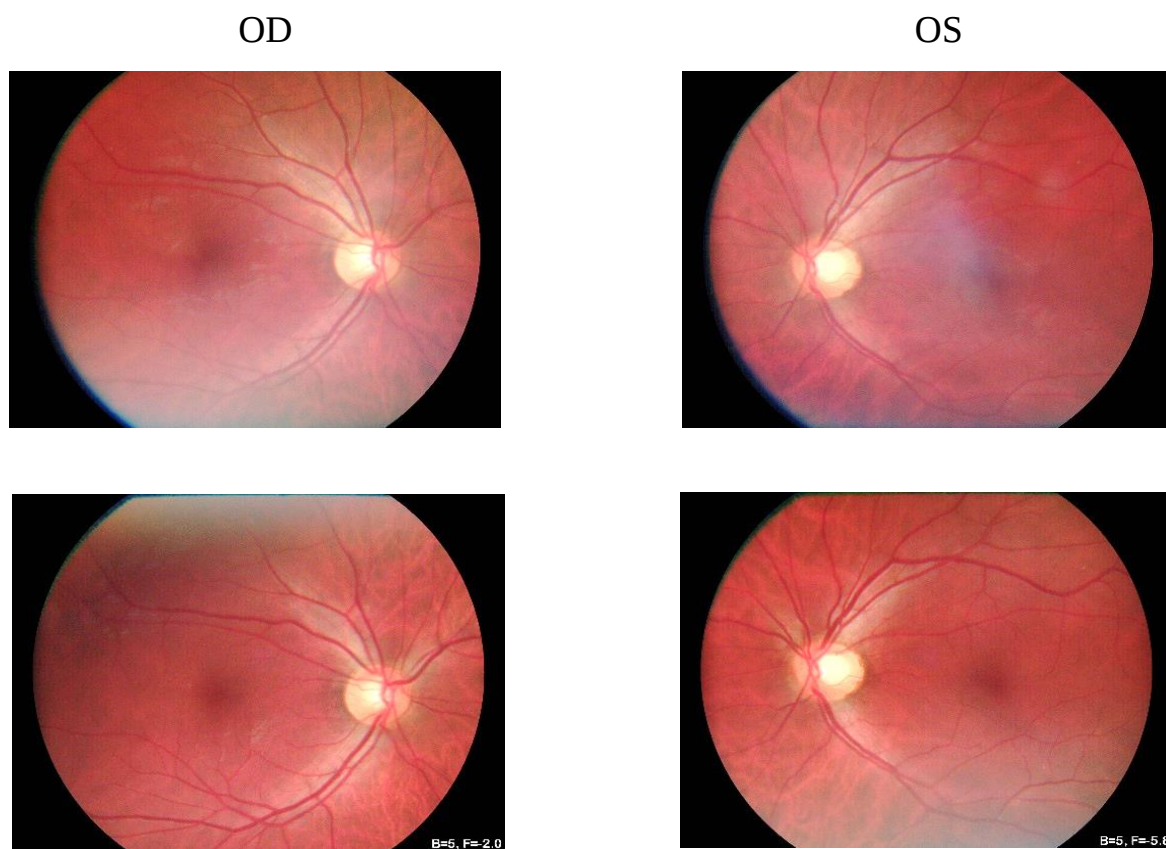


Рисунок 20 – Снимок глазного дна обоих глаз представителя I возрастной группы, 1-й месяц пребывания на станции Восток – вверху, 11-й месяц – внизу

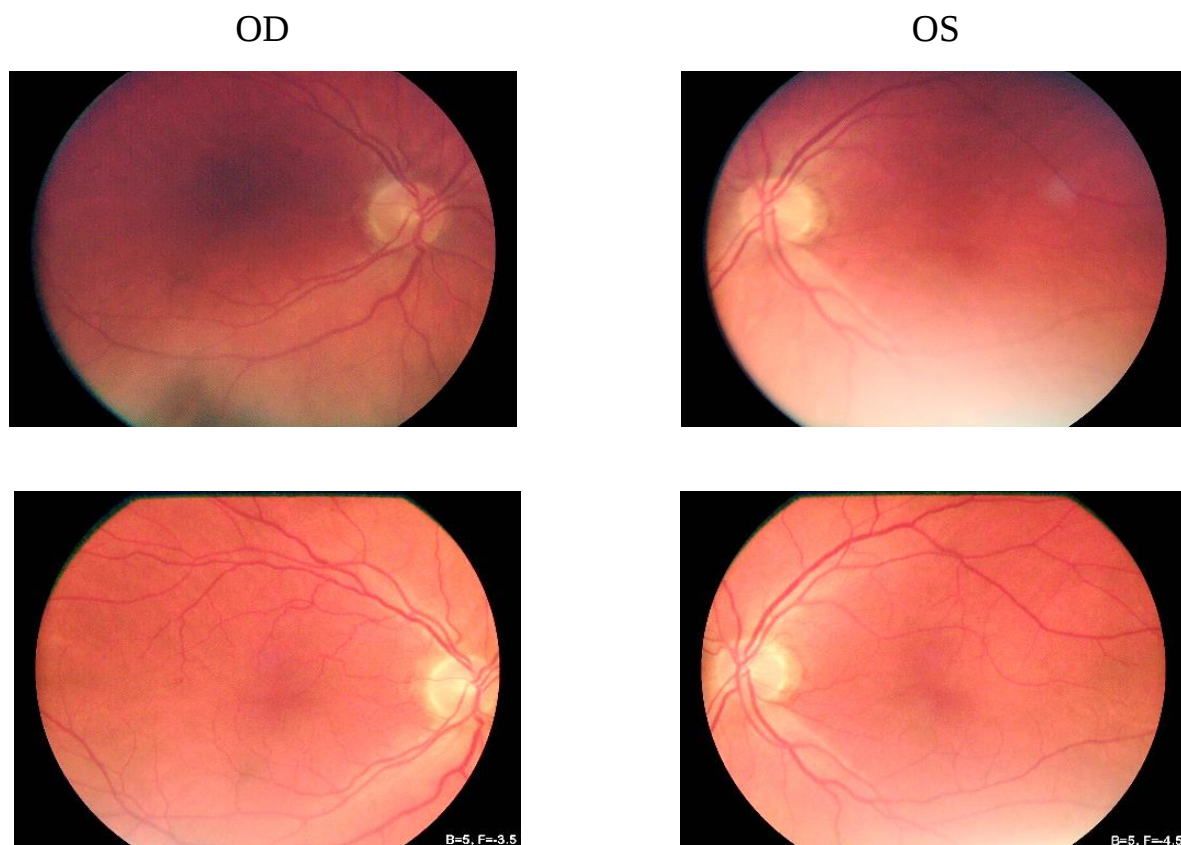


Рисунок 21 – Снимок глазного дна обоих глаз представителя II возрастной группы, 1-й месяц пребывания на станции Восток – вверху, 11-й месяц - внизу

3.4. Состояние вегетативной нервной системы

Состояние вегетативной нервной системы оценивалось по динамике индекса Адаптационного Потенциала по Баевскому и индекса Кердо, а также по показателям вариабельности сердечного ритма SDNN, pNN50, HF.

Динамика индекса Кердо. Сравнительный анализ динамики Индекса Кердо в двух возрастных группах полярников выявил нарастание позитивной динамики к 6 мес зимовки. Она наблюдалась в 90% случаев, что отражено в Таблице 13.

При этом значение ИК в первой возрастной группе в первые 5 мес зимовки соответствовал симпатикотонии, при этом во второй возрастной группе преобладала парасимпатикотония. Начиная с 5 месяца зимовки наблюдалась тенденция к положительному балансу вегетативной системы, приближению к нормотонии в обеих возрастных группах.

Таблица 13 – Статистический анализ динамики уровня Индекса Кердо по пяти сессиям сбора данных – фоновое значение, 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Индекс Кердо, баллы					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	фон	3,3	15,3	6,8	12,5	-12,5	14,0
I	3	7,2	13,6	3,4	10,1	7,2	12,0
I	6	1,4	13,1	6,7	6,3	-8,1	12,2
I	9	-2,6	4,0	2,4	0,0	-6,3	0,0
I	11	-5,3	4,0	9,9	-5,5	-7,3	6,3
II	фон	-29,5	29,3	12,0	-25,5	-51,8	-13,5
II	3	-12,9	17,1	7,0	-5,6	-25,2	-2,1
II	6	-21,2	14,2	5,8	-17,6	-30,0	-11,1
II	9	-16,6	22,3	9,1	-11,8	-33,5	0,4
II	11	-1,8	8,7	3,9	-2,6	-6,3	2,3

Применение однофакторного дисперсионного анализа помогло улучшить точность оценки различий в изменениях уровня индекса Кердо, что изображено на Рисунке 22.

Была выявлена стабилизация регуляторной активности ВНС в условиях годичного воздействия комплекса экстремальных факторов Центральной Антарктики к 9 мес зимовки. Выявлено нарастание позитивной ИК в обеих возрастных группах к 6 мес зимовки. При этом значение ИК в первой возрастной группе в первые 6 мес зимовки составило в среднем +20, что соответствует симпатикотонии, в то время как во второй возрастной группе преобладала парасимпатикотония, где значение ИК в среднем составило -40. Начиная с 6 месяца зимовки наблюдалась тенденция к положительному балансу вегетативной системы, приближению к нормотонии в обеих возрастных группах.

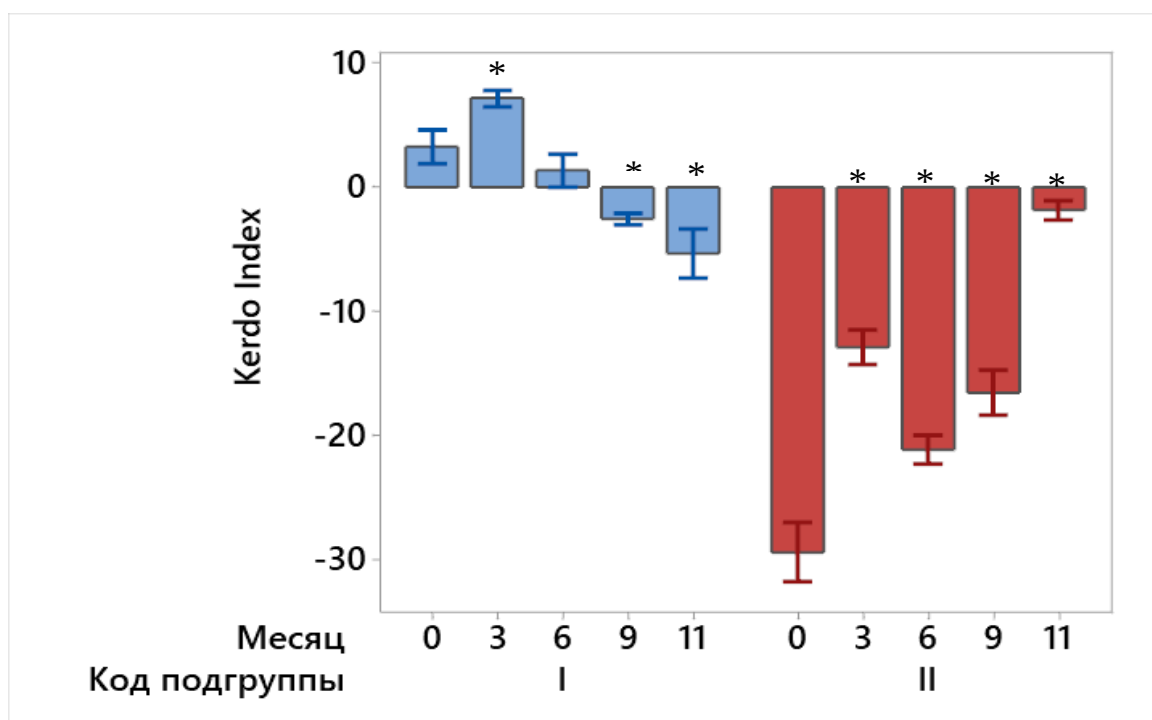


Рисунок 22 – Динамика уровня Индекса Кердо по возрастным группам I и II с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе.

Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь). По оси ординат: показатель ИК, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от фоновых значений, $p < 0,05$

Индекс Кердо с высокой степенью достоверности демонстрировал динамику баланса ВНС и его значения находились в корреляции с интервалом PQ. Динамика длительности интервала PQ характеризовалась стабильностью в течение всей зимовки. Значения не отклонялись от физиологической нормы и в среднем составили 120-200 мс. При этом, в первой возрастной группе значения интервала P-Q приближались к нижним границам нормы, что коррелировало с активностью симпатической нервной системы. И объясняется, очевидно, с выраженностью кардиологической симпатoadреналовой реакцией в этой возрастной группе. Динамика длительности интервала PQ находилась в корреляции с индексом Кердо и отражала стремление к нормотонии к 11му месяцу исследования, как представлено на Рисунках 23 и 24.

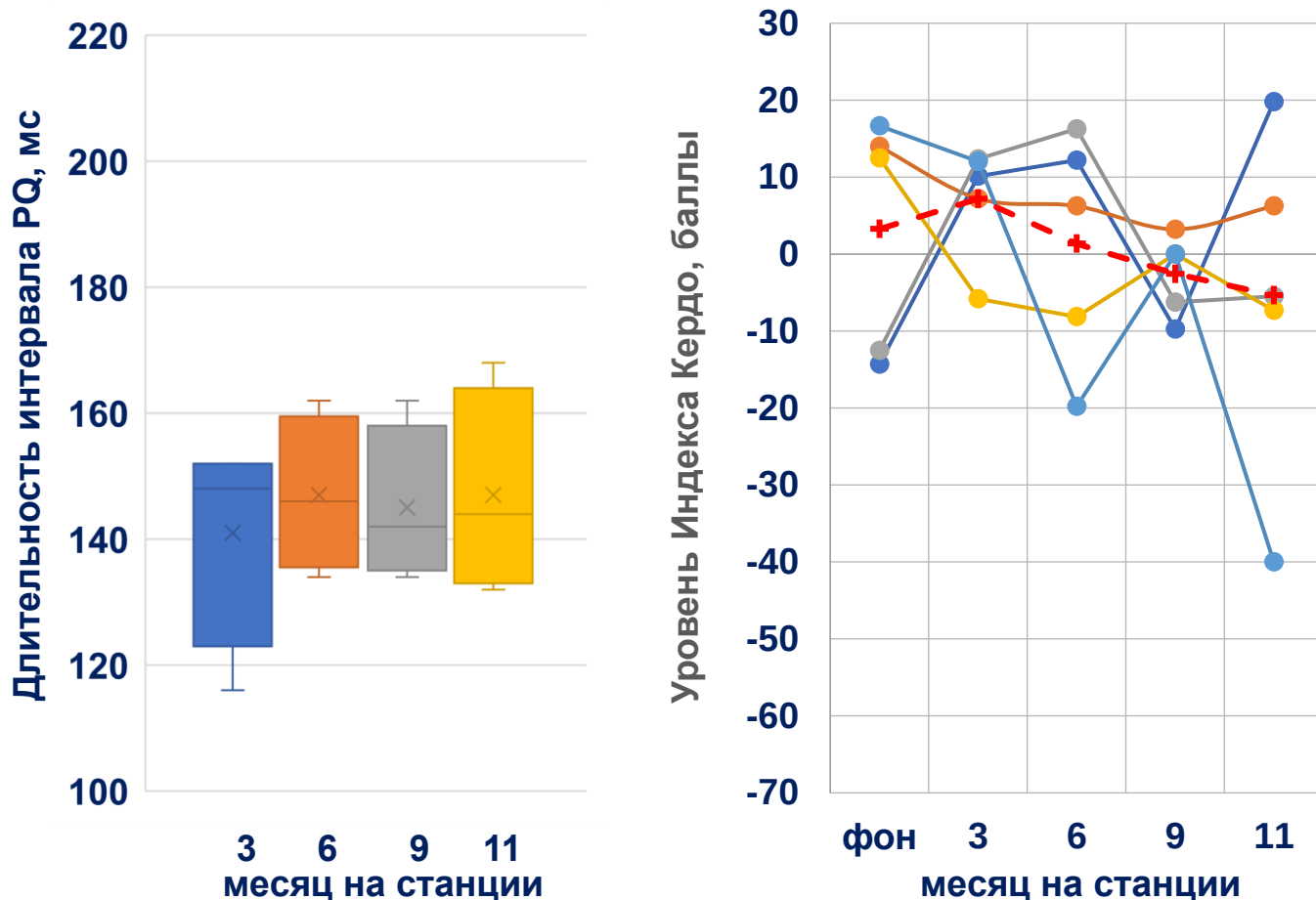


Рисунок 23 – Слева: Динамика интервала PQ в I возрастной группе с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: длительность интервала PQ в миллисекундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

Справа: Динамика индивидуальных показателей Индекса Кердо в I возрастной группе по пяти сессиям сбора данных – фоновое значение, 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки. Цветом обозначены индивидуальные изменения показателя в период зимовки. Красной пунктирной линией – среднее групповое значение Индекса Кердо. По оси ординат: Индекс Кердо в баллах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток, а также фоновое исследование, полученное до прибытия на станцию в декабре 2019 года

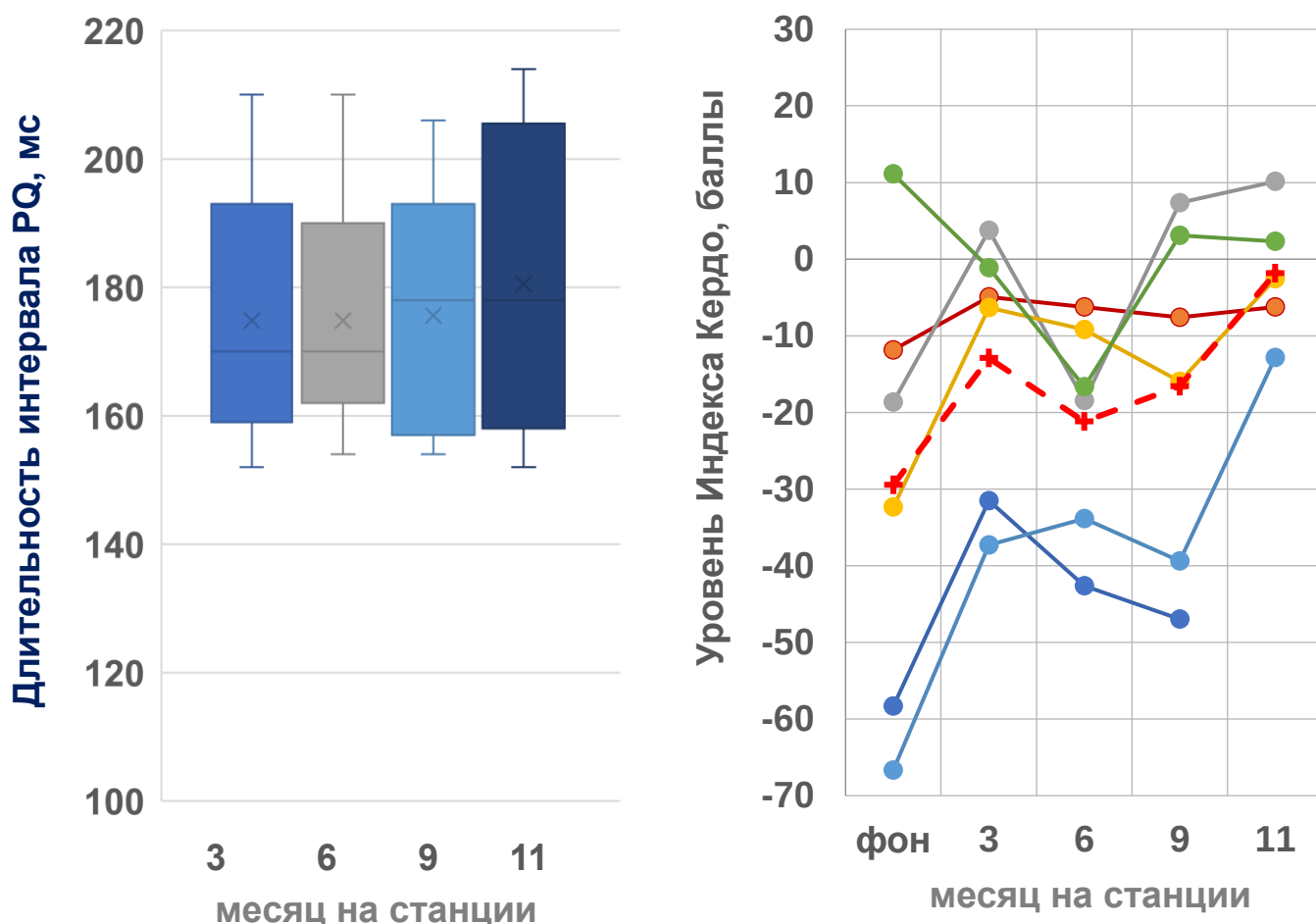


Рисунок 24 – Слева: Динамика интервала PQ в II возрастной группе с отображением медианы, минимальных, максимальных и средних значений. Цветом обозначены различия между данными по четырем сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: длительность интервала PQ в миллисекундах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток.

Справа: Динамика индивидуальных показателей Индекса Кердо в II возрастной группе по пяти сессиям сбора данных – фоновое значение, 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки. Цветом обозначены индивидуальные изменения показателя в период зимовки. Красной пунктирной линией – среднее групповое значение Индекса Кердо. По оси ординат: Индекс Кердо в баллах, по оси абсцисс: номер месяца пребывания на станции Восток, а также фоновое исследование, полученное до прибытия на станцию в декабре 2019 года

Динамика массы тела. Для расчета индекса адаптационного потенциала по Р.М. Баевскому регистрировалась масса тела участников исследования на протяжении всей зимовки.

Из данных, приведенных на Рисунках 25 и 26 и в Таблице 14 видно, что изменение массы тела у представителя первой возрастной группы не было выраженным и в среднем к 11 месяцу пребывания на станции потеря массы тела составила 4 кг, в то время как у представителей второй возрастной группы потеря массы тела была в два раза больше и составляла 9 кг, отличаясь последовательной динамикой на протяжении периода исследования. Уровень физической активности участников экспедиции был примерно одинаков так как весь персонал станции регулярно участвовал в мероприятиях по заготовке снега для получения питьевой и технической воды, а также в авральных работах. Анализ представленных данных позволяет утвердительно говорить о значимости возрастных резервов физиологических систем организма при протекании процесса адаптации.

Таблица 14 – Статистический анализ динамики средне групповой массы тела по пяти сессиям сбора данных – фоновое значение, 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам I и II

возрастная группа	месяц на станции	Масса тела, кг					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	фон	87,0	9,4	4,2	92,0	80,0	94,0
I	3	84,2	6,7	3,0	86,0	80,0	88,0
I	6	84,2	7,0	3,1	84,0	80,0	90,0
I	9	83,6	6,3	2,8	84,0	80,0	89,0
I	11	83,6	6,3	2,8	84,0	80,0	89,0
II	фон	83,0	13,5	5,5	86,0	76,0	90,0
II	3	78,8	10,3	4,2	82,0	73,8	86,5
II	6	77,5	10,3	4,2	81,0	73,0	84,5
II	9	76,2	10,8	4,4	78,0	70,8	84,5
II	11	74,4	11,1	5,0	73,0	70,0	83,0

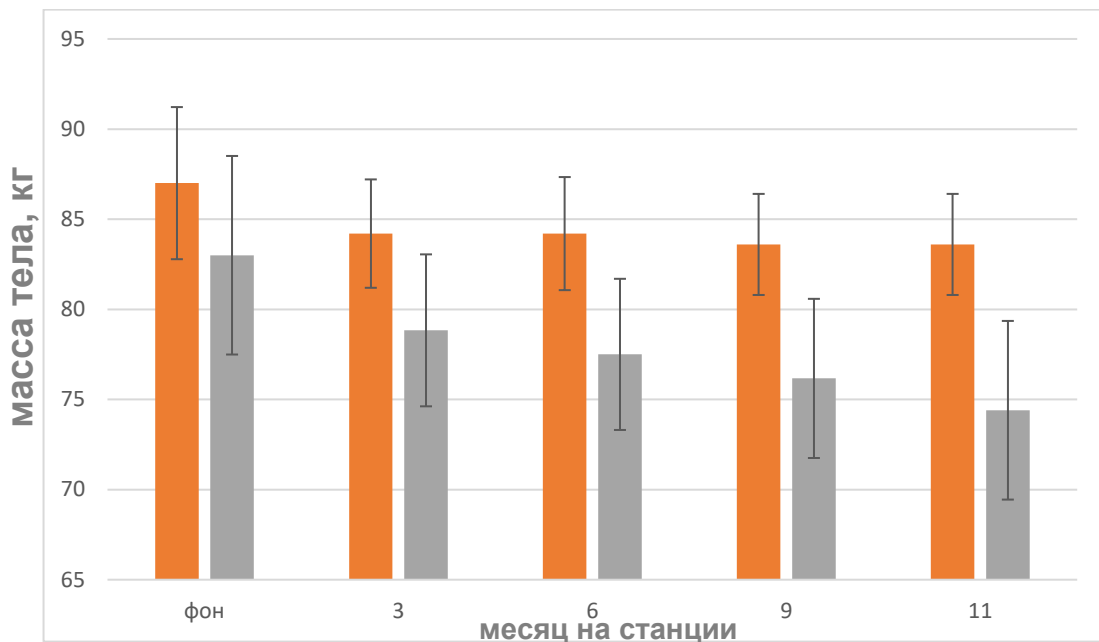


Рисунок 26 – Динамика средней массы тела в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования. Оранжевым цветом обозначена I возрастная группа, серым – II группа. Показатели представлены по пяти сессиям сбора данных – фоновое значение и на 3, 6, 9 и 11 месяцы. По оси ординат: масса тела в кг, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток

Динамика показателей адаптационного потенциала. Значение АП по Баевскому на протяжении годичной зимовки находились в обеих группах преимущественно в пределах от 2,11 до 3,20 баллов, что соответствует уровню «напряжение адаптации», что говорит о функциональном напряжении адаптивных механизмов деятельности сердечно-сосудистой системы, которое сохранялось на протяжении всей зимовки, что отражено на Рисунке 27.

Динамика показателей вариабельности сердечного ритма (BCP). Статистический анализ статических и частотных характеристик BCP выявил достоверно значимую динамику показателей SDNN, pNN50, HF.

Среднее значение **SDNN** в первой возрастной группы к 3 месяцу зимовки составило 93.3 мс, что ниже возрастной нормы, которая составляет 112-192 мс [288]. К 6 мес зимовки, отрицательная динамика продолжала наблюдаться, и SDNN составила в среднем 76,3 мс. К 9 мес зимовки наблюдалась тенденция к

нормализации этого параметра до возрастной нормы – 117 мс. К концу наблюдения, к 11 месяцу значения SDNN сохранялось сниженным, в пределах 98 мс.

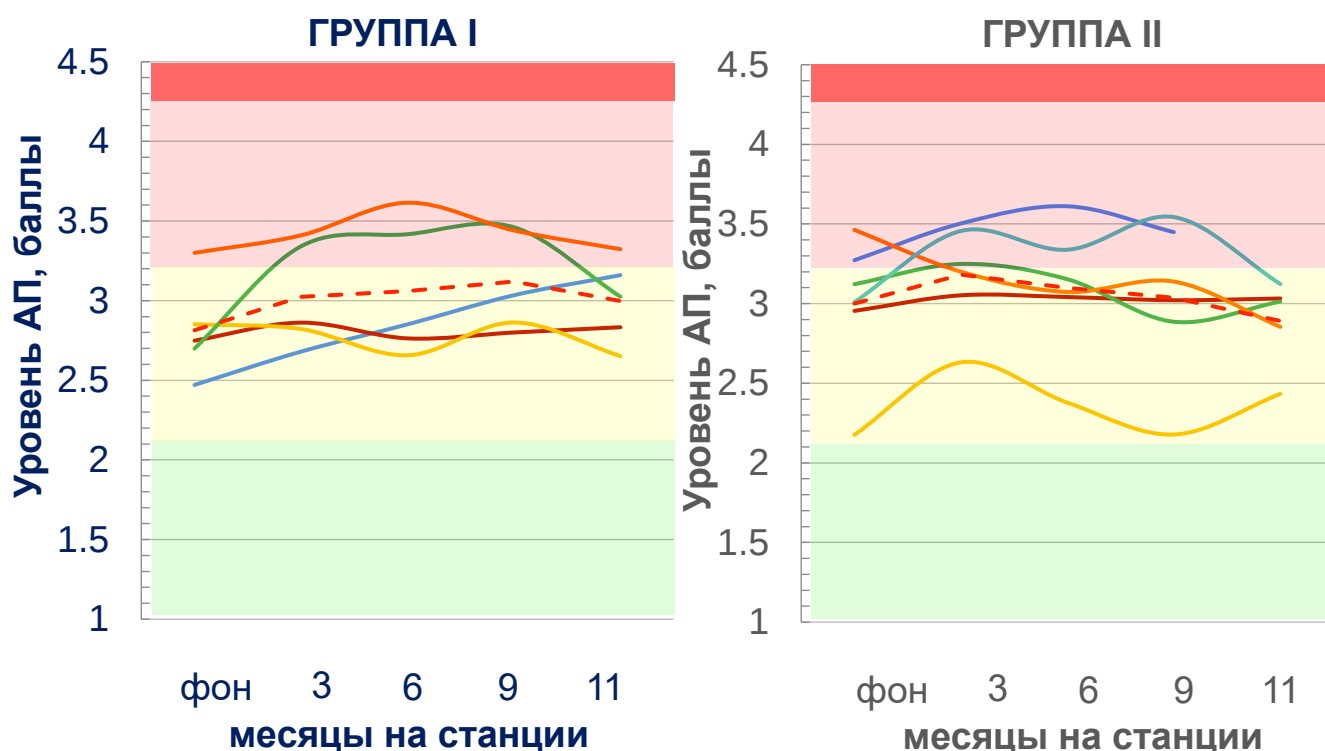


Рисунок 27 – Индивидуальная динамика уровня Адаптационного потенциала по Баевскому в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования. Сплошными линиями обозначены индивидуальные показатели по сессиям сбора данных – фоновое, и на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно). Пунктирной красной линией обозначен средне групповой уровень АП в каждой группе. По оси ординат: уровень адаптационного потенциала по Баевскому в баллах, по оси абсцисс: фоновое значение и номера месяцев пребывания на станции Восток

Среднее значение SDNN во второй возрастной группе к концу периода острой адаптации – 3 мес зимовки составило в среднем 108,6 мс, что соответствует нижней границы возрастной нормы этой группы (103-187 мс). Эти значения сохранялись до 9 мес зимовки, после чего наблюдалась тенденция к понижению этого показателя до 99.2 мс в среднем, как показывает Рисунок 28 и таблица 15.

Таблица 15 – Статистический анализ динамики показателя variability сердечного ритма SDNN по четырем сессиям сбора данных – 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам

возрастная группа	месяц на станции	Показатель SDNN, мс					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	93,3	18,0	6,3	99,4	83,3	103,9
I	6	76,3	9,8	3,5	78,4	71,2	82,4
I	9	117,0	50,9	18,0	109,8	103,3	133,8
I	11	98,0	27,2	9,6	96,6	76,9	115,9
II	3	108,6	25,6	8,1	104,1	94,2	107,1
II	6	119,4	27,4	8,7	116,5	118,5	130,6
II	9	114,5	32,5	10,3	111,5	107,9	122,7
II	11	99,2	19,2	6,8	94,1	85,6	109,9

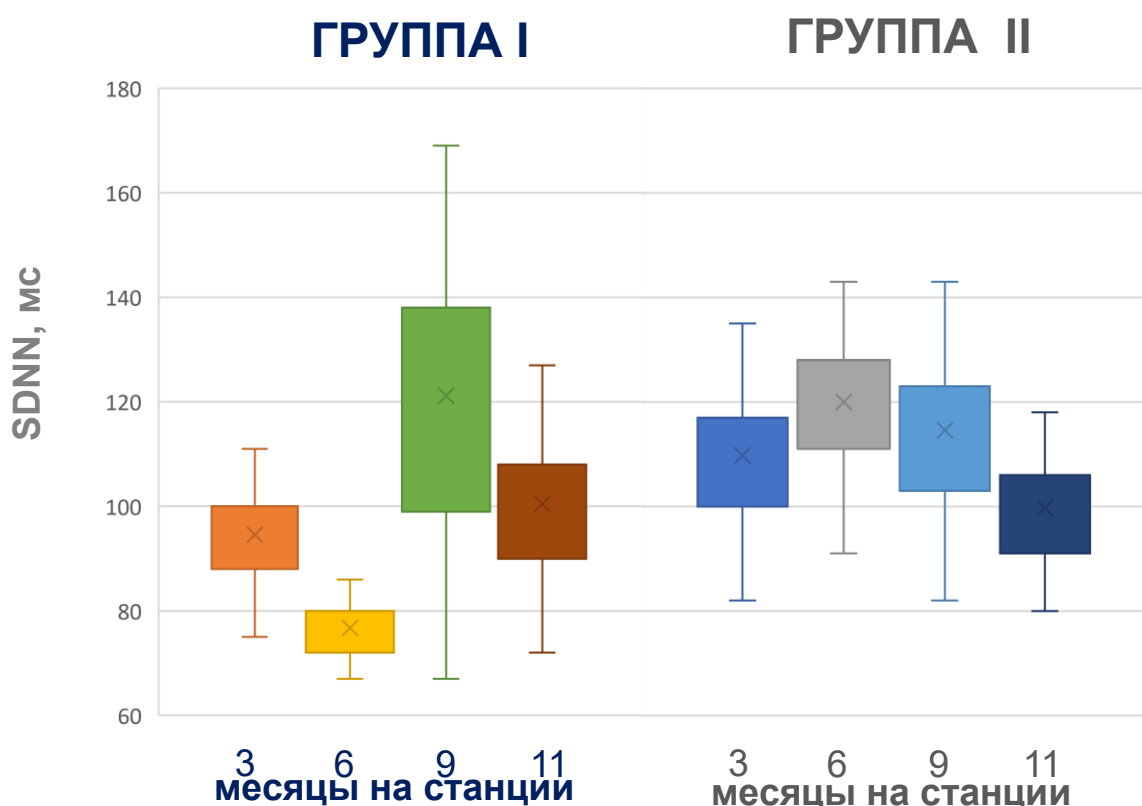


Рисунок 28 – Динамика значений показателя variability сердечного ритма SDNN в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе.

Цветом обозначены групповые показатели по сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки. По оси ординат: показатель SDNN в миллисекундах, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток

Значение возрастной нормы **pNN50** в первой группе соответствуют 1-17. Из данных, представленных в таблице № видно, что значения pNN50 находились в пределах возрастной нормы в среднем диапазоне к 3 месяцу зимовки, к 6 месяцу наблюдалось снижение значения pNN50 почти вдвое, до 4,3. К 9 месяцу – значение pNN50 приблизилось к исходному, и к концу зимовки, к 11 месяцу наблюдалась тенденция к повышению pNN50.

Значение возрастной нормы значений pNN50 во второй группе сравнимы с первой (1-15). Анализ динамики pNN50 стабильность этого показателя у полярников 2 возрастной группы, который находился в верхнем диапазоне значений нормы - от 9.5 до 14.5, как показывает Рисунок 29 и Таблица 16.

Таблица 16 – Статистический анализ динамики значений показателя вариабельности сердечного ритма pNN50 по четырем сессиям сбора данных – 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам

возрастная группа	месяц на станции	Показатель pNN50, мс					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	9,9	7,4	2,6	7,0	6,4	10,4
I	6	4,3	1,6	0,6	4,1	3,3	5,2
I	9	10,2	8,2	2,9	9,3	3,9	16,6
I	11	12,0	9,9	3,5	10,6	5,0	16,9
II	3	10,8	6,7	2,1	10,1	6,6	13,5
II	6	14,4	10,8	3,4	11,1	6,9	17,6
II	9	11,0	8,3	2,6	9,1	6,3	13,5
II	11	9,5	4,9	1,7	7,1	6,8	10,5

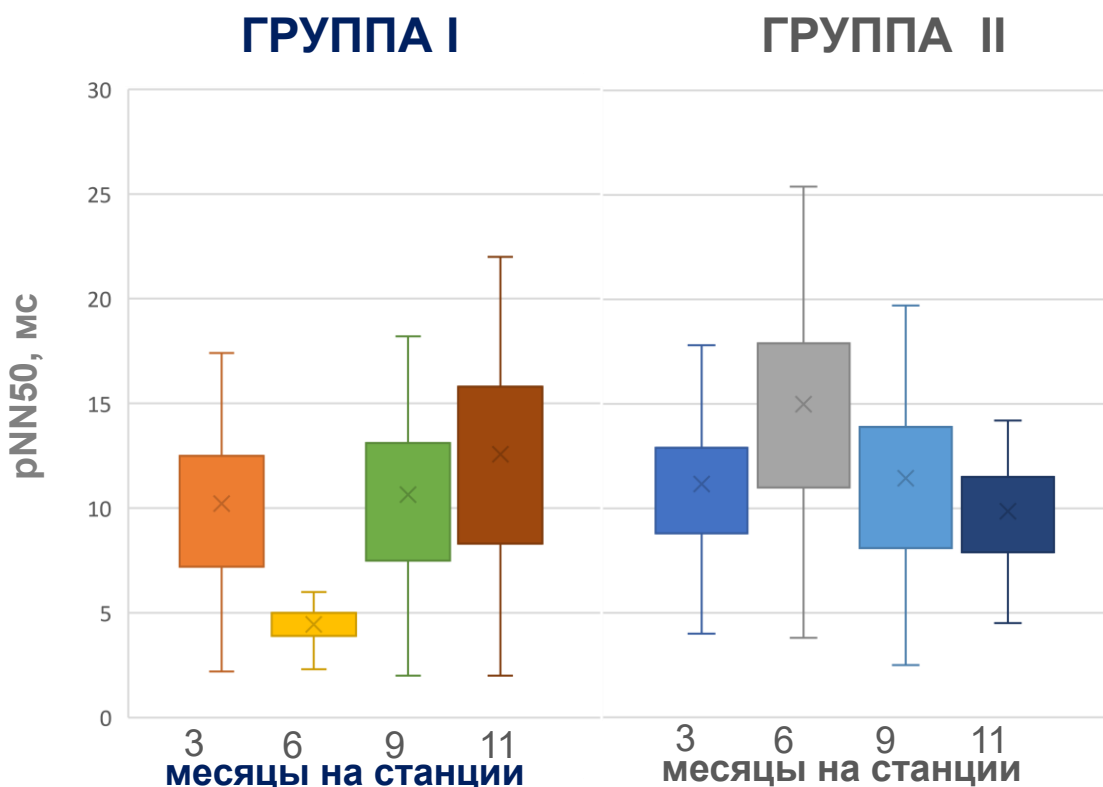


Рисунок 29 – Динамика показателя вариабельности сердечного ритма pNN50 в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с отображением минимальных, максимальных и средних значений. Цветом обозначены групповые показатели по сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки

Динамика показателя **HF** демонстрирует выраженное разнонаправленное колебание значения в двух возрастных группах к 6 месяцу зимовки. При этом, нестабильность показателя HF сохраняется в первой возрастной группе на всем периоде наблюдения. Значение показателя HF во второй возрастной группе имеет плавную тенденцию к снижению к 11 месяца зимовки, как показывает Рисунок 30 и Таблица 17.

Выявлены достоверно значимые отличия в возрастных группах по показателям ВСР: SDNN, pNN50, HF ($p < 0,05$). Данная динамика позволяет сделать вывод о двух, отличающихся друг от друга, стратегиях адаптации, заключающихся в достижении примерно одинаковых значений активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы после значительного снижения в случае первой возрастной группы и возрастания в случае второй возрастной группы.

Таблица 17 – Статистический анализ динамики показателя variability сердечного ритма HF по четырем сессиям сбора данных – 3, 6, 9 и 11 месяцы зимовки (апрель, июль, август и декабрь соответственно) по возрастным группам

возрастная группа	месяц на станции	Показатель HF, мс ²					
		среднее значение	стандартное отклонение (SD)	стандартная ошибка (SE)	медиана	первый квартиль (0,25)	третий квартиль (0,75)
I	3	1338,4	1237,1	437,4	1011,9	442,9	1869,4
I	6	308,6	166,7	58,9	314,8	227,2	1722,0
I	9	1011,7	980,4	346,6	853,4	890,5	1702,9
I	11	741,0	701,3	247,9	501,4	224,4	461,6
II	3	1180,0	600,2	189,8	1034,2	919,4	1548,6
II	6	1787,3	1479,4	467,8	1334,2	949,3	2240,7
II	9	1469,5	2165,5	684,8	783,8	707,2	926,4
II	11	887,5	494,5	174,8	623,9	572,1	1009,5

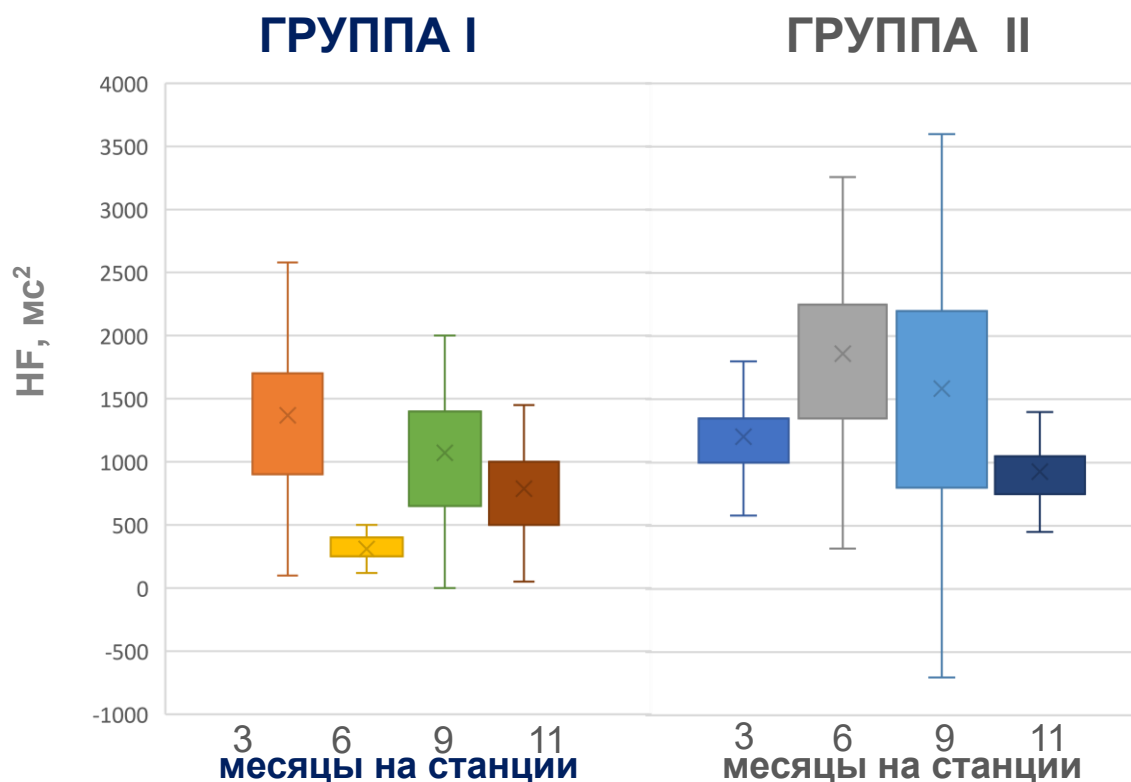


Рисунок 30 – Динамика показателя variability сердечного ритма HF в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с

отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены групповые показатели по сессиям сбора данных – на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки. По оси ординат: показатель HF в миллисекундах в квадрате, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток

Стабилизация рассмотренных параметров с позитивной динамикой регистрировалось в обеих возрастных группах к 9 месяцу исследования. Анализ результатов ВСР демонстрирует высокую динамичность адаптации в первой возрастной группе, в отличие от второй, что доказывает значимость уровня возрастных резервов ВНС в адаптационном процессе.

Однофакторный дисперсионный анализ позволил более точно оценить динамику показателей ВСР в исследуемых возрастной группах.

Особенный интерес представляет оценка динамики SDNN, pNN50 и HF в ночное время, так как в течение времени сна парасимпатический компонент ВНС максимально выражен.

Как видно на рисунке 31, у представителей первой возрастной группы имеется значительное снижение уровня SDNN от 3го к 6го месяца исследования с последующим достоверным повышением к 9му месяцу и стабильностью показателя к 11му месяцу. Вторая возрастная группа отличалась достоверно более высокими показателями SDNN с тенденцией к росту от 3го к 6му месяцу с последующим достоверным снижением.

Здесь важно отметить, что этот показатель можно интерпретировать как отражение качества сна и сравнить с данными, представленными на рисунке *, отражающим динамику ИАГ. Уровень ИАГ во второй возрастной группе отличался более высокими показателями, чем в первой, как и уровень SDNN, это позволяет сказать, что при большем количестве эпизодов центрального апноэ сна, представители второй возрастной группы имели более высокое качество сна, чем представители первой возрастной группы, что подтверждает предположение о том, что добровольцы из второй возрастной группы имели более высокую толерантность к гипоксии.

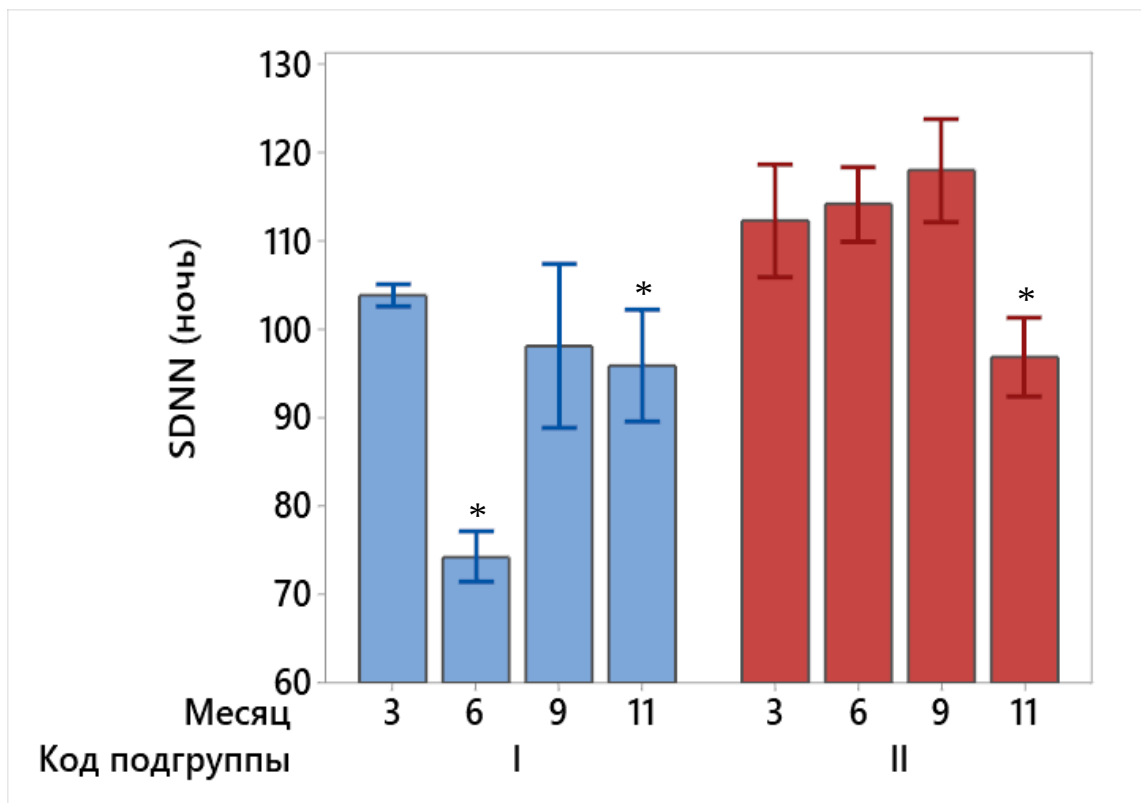


Рисунок 31 – Динамика значений показателя вариабельности сердечного ритма SDNN в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе.

Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: показатель SDNN в миллисекундах, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

Далее рассмотрим результаты однофакторного дисперсионного значений рNN50. На Рисунке 32 можно отметить значительно снижение продолжительности рNN50 к 6му месяцу пребывания на станции и дальнейший возврат к уровню, близкому к начальным значениям. Во второй группе резкого снижения ни на одном их этапов сбора данных не отмечено. На 6м месяце в отличие от снижения показателя в первой группе, здесь отмечается повышение показателя, с дальнейшей тенденцией на снижение. К 11му месяцу зимовки уровень рNN50 во второй группе значительно ниже, чем в начале зимовки.

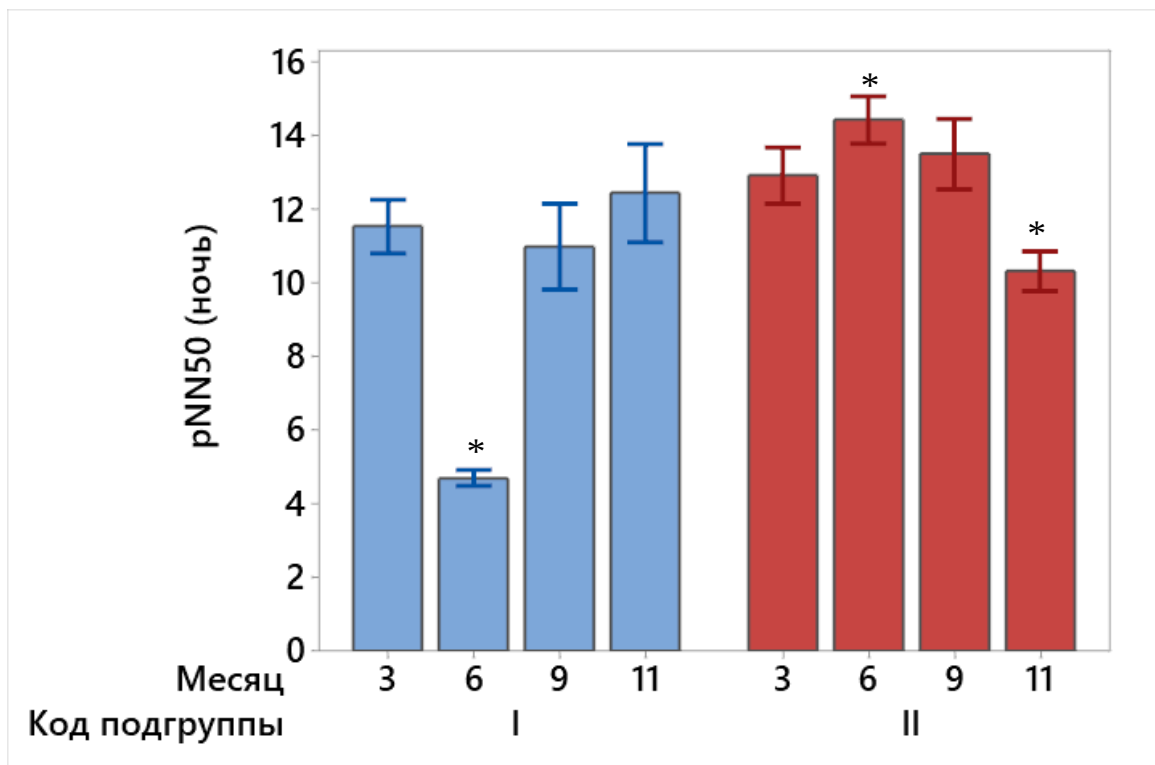


Рисунок 32 – Динамика значений показателя variability сердечного ритма pNN50 в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе.

Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: показатель pNN50 в миллисекундах, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

На следующем Рисунке 33 отображены результаты однофакторного дисперсионного анализа значений HF.

В первой возрастной группе после 3го месяца произошло резкое значительно снижение (в 4 раза) данного показателя, однако к 9му месяцу и далее к 11му месяцу уровень стал стабильным у всей группы.

Во второй группе отмечается другая линия тренда – постепенный рост значений HF (более чем на 30%) с 3 по 9 месяц пребывания на станции с последующим резким снижением к 11му месяцу.

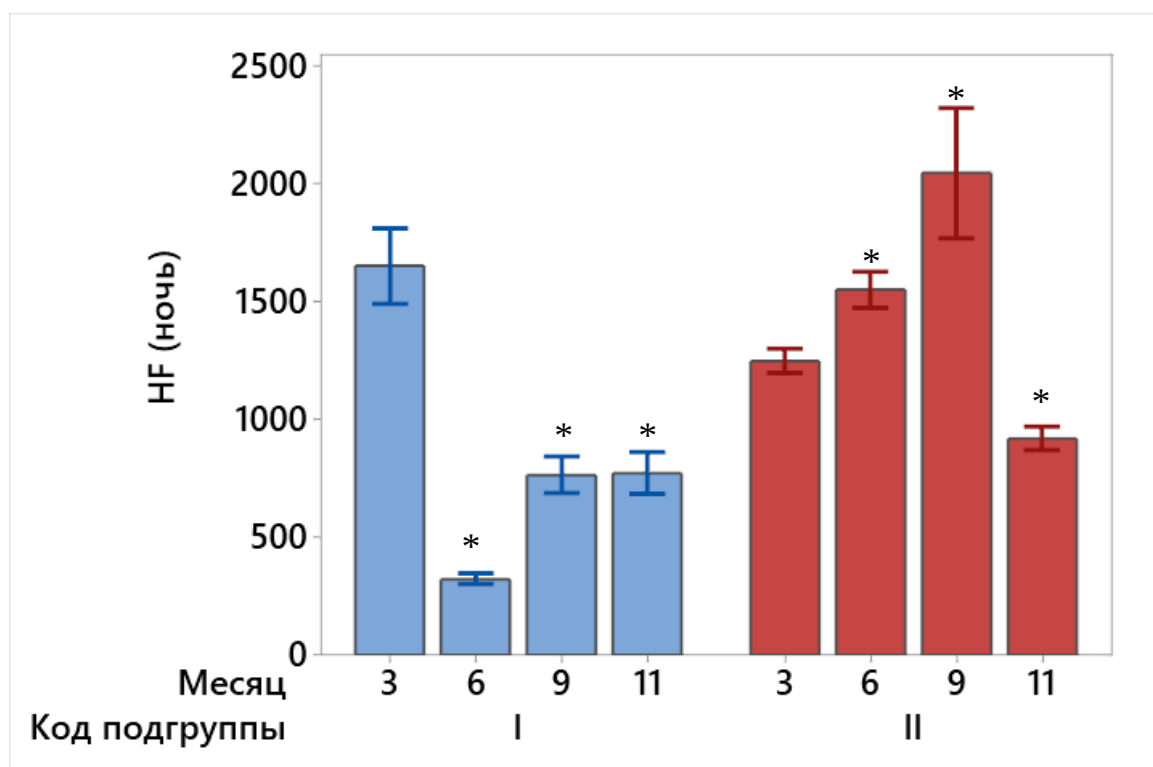


Рисунок 33 – Динамика значений показателя вариабельности сердечного ритма HF в возрастных группах I и II на протяжении всего периода исследования с отображением минимальных, максимальных и средних значений в каждой группе. Цветом обозначены различия между группами. Сбор данных проводился в 4 этапа: на 3, 6, 9 и 11 месяце зимовки (апрель, июль, октябрь и декабрь соответственно). По оси ординат: показатель HF в миллисекундах в квадрате, по оси абсцисс: номера месяцев пребывания на станции Восток. * - достоверное отличие от значений первого измерения, $p < 0,05$

Итоговый уровень HF в обеих группах к 11-му месяцу находится в сопоставимых значениях, однако стабилизация зафиксирована только у более молодых участников экспедиции.

Информативными биомаркерами ВНС, статистически значимо отражающими характер адаптации организма и его возрастные резервы явились SDNN, pNN50 и HF а так же Индекс Кердо.

3.5. Зависимость показателей кардиореспираторной системы и вегетативной нервной системы от возраста участников исследования

В ходе корреляционного анализа, проведенного с использованием непараметрического метода статистической обработки (Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet119) MD pairwise deleted) был выявлен различный механизм адаптации в рассматриваемых возрастных группах.

В первой возрастной группе функциональное напряжение кардиореспираторной системы определяла прямая зависимость от уровня сатурации крови кислородом и выраженности центрального апноэ сна. Как мы видим в Таблице 18, у представителей первой возрастной группы имеется прямая зависимость интервала PQ от сатурации, а также прямая зависимость интервала QT от ИАГ и обратная зависимость от ИК.

Корреляционные связи в рамках кардиореспираторной системы более выражены у представителей второй возрастной группы, адаптацию кардиореспираторной системы в этой группе определяли резервы вегетативной нервной системы согласно данным Таблицы 19.

Таблица 18 – Зависимость показателей кардиореспираторной системы и вегетативной нервной системы от возраста испытуемых в I возрастной группе на протяжении всего периода зимовки на станции Восток. * - корреляции с достоверностью $p < 0,05$

Группа I	PQ	QT	ЧСС	SPO ₂	ИАГ	И.Кердо
PQ	1.000	0.453	0.261	0.759*	-0.067	-0.168
QT	0.453	1.000	0.185	0.215	0.608*	-0.664*
ЧСС	0.261	0.185	1.000	0.351	0.311	-0.280
SPO ₂	0.759*	0.215	0.351	1.000	0.022	0.094
ИАГ	-0.067	0.608*	0.311	0.022	1.000	-0.368
И.Кердо	-0.168	-0.664*	-0.280	0.094	-0.368	1.000

Таблица 19 – Зависимость показателей кардиореспираторной системы и вегетативной нервной системы от возраста испытуемых в II возрастной группе на протяжении всего периода зимовки на станции Восток. * - корреляции с достоверностью $p < 0,05$.

Группа II	PQ	QT	ЧСС	SPO ₂	ИАГ	И.Кердо
PQ	1.000	-0.097	-0.007	0.788*	-0.122	-0.630
QT	-0.097	1.000	-0.583*	0.074	0.446	-0.368
ЧСС	-0.007	-0.583*	1.000	0.191	0.116	0.077
SPO ₂	0.788*	0.074	0.191	1.000	0.196	-0.744*
ИАГ	-0.122	0.446	0.116	0.196	1.000	-0.197
И.Кердо	-0.630*	-0.368	0.077	-0.744*	-0.197	1.000

По интегральной оценке критериев распределения вероятностей системы в целом [289], основанный на сравнении главной компоненты (PC1), позволяет сделать вывод о значимости общего вклада интервалов PQ, QT, QT_c, SDNN pNN50, HF, ИАГ, максимальной длительности эпизода апноэ и общей длительности апноэ сна при адаптации представителей исследуемых возрастных групп. Как видно на Рисунке 34, анализ совокупного вклад вышеперечисленных показателей достоверно отражает разные стратегии адаптации ($p < 0,05$).

Описанные результаты, проведенных исследований, выявили ряд физиологических сдвигов, возникающих вследствие воздействия комплекса экстремальных факторов среды Центральной Антарктиды и характеризующих комплексный процесс адаптации, протекающий в организме человека. Были выявлены две разные стратегии адаптации у представителей рассмотренных возрастных групп. Анализ полученных результатов демонстрирует высокую динамичность адаптации в первой возрастной группе, в отличие от второй, что доказывает значимость уровня возрастных резервов организма в целом во время протекания адаптационного процесса.

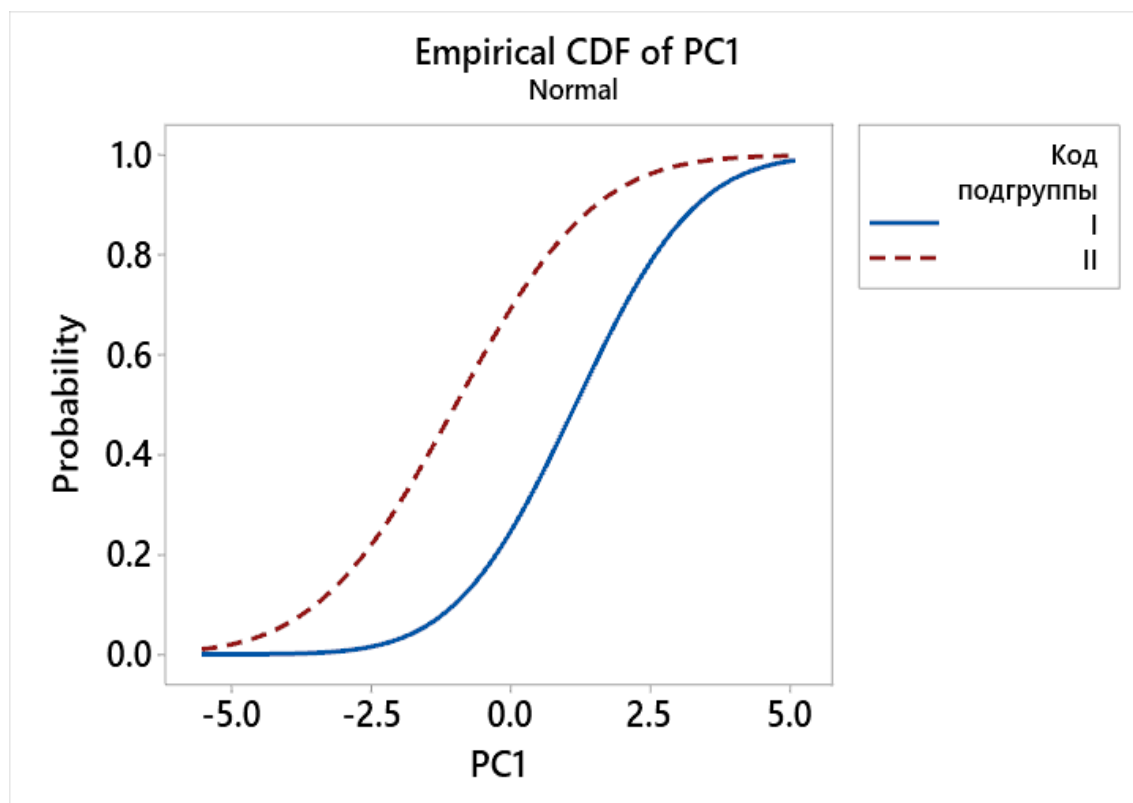


Рисунок 34 – Интегральный критерий распределения вероятностей системы проанализированных показателей: интервалов PQ, QT, показателей BCP SDNN, pNN50 и HF, ИАГ, максимальной длительности эпизода апноэ и общей длительности апноэ в возрастных группах I и II

Для углубления научных представлений о особенностях физиологических реакций и их механизмов при адаптации к условиям среды Центральной Антарктиды, а также разработке научно-основанных рекомендаций и алгоритмов по предотвращению возникающих нарушений необходимо дальнейшее проведение комплексных исследований и накопление информации.

Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Было выявлено напряжение механизмов адаптации сердечно-сосудистой, дыхательной и вегетативной нервной систем добровольцев на протяжении всего периода исследования.

Сердечно-сосудистая система. Исследования, проведенные ранее в высокогорье, выявили следующие изменения ЭКГ. Выявлена зависимость длительности интервала PQ от высоты расположения местности: чем выше над уровнем моря располагается место пребывания, тем короче становится длительность интервала PQ, что сочетается с тенденцией к урежению частоты сердечных сокращений, хотя общеизвестно, что чем реже частота сердечных сокращений, тем интервал PQ длиннее. По всей вероятности, это обусловлено ослаблением воздействия парасимпатических нервов на атриовентрикулярный узел [290]. Результаты настоящего исследования продемонстрировали стабильность длительности интервала PQ в течение всего периода зимовки в обеих возрастных группах. Значения не отклонялись от физиологической нормы и в среднем составили 120-200 мс. При этом, в первой возрастной группе значения интервала PQ приближались к нижним границам нормы, что коррелировало с активностью симпатической нервной системы. И объясняется, очевидно, выраженностью кардиологической симпатoadреналовой реакции в этой возрастной группе. Динамика длительности интервала PQ находилась в корреляции с индексом Кердо и отражала стремление к нормотонии к 11му месяцу исследования.

В нашем исследовании в ходе всей зимовки наблюдалось отклонение от стандартного соотношения ЧСС и длительности интервала QT. Регистрировалось увеличение длительности интервала QT, остававшееся при этом в диапазоне нормальных значений, во всех возрастных группах, что характерно для условий высокогорной гипоксии, и также было отмечено в ранее проведенных исследованиях с участием альпинистов [291], а так же в высокогорных условиях

Центральной Антарктики [292]. При этом в первой возрастной группе наблюдалось более выраженное удлинение этого интервала по сравнению со второй возрастной группой, что мы можем объяснить наличием толерантности к воздействию гипоксии у представителей второй возрастной группы [291].

Итоги исследования сердечно-сосудистой системы участников экспедиции можно сформулировать следующим образом. Физиологическое напряжение сердечно-сосудистой системы (ССС) наблюдалось на протяжении всей зимовки и выражалось в динамике ЧСС, интервалов PQ и QT. Функциональное напряжение ССС выражалось в дисбалансе соотношения интервала QT и ЧСС, которое было существенно выражено в первой возрастной группе, по сравнению со второй, что видимо, объясняется наличием толерантности к воздействию гипоксии у людей старшего возраста. Адаптация ССС по длительности интервала PQ прямо коррелировала с динамикой баланса ВНС, отражая высокие более адаптационные резервы в первой возрастной группе.

Дыхательная система. У всех участников полярной экспедиции были выявлены эпизоды центрального апноэ сна, которые наблюдались на протяжении всей зимовки. Центральное апноэ сна в высокогорных условиях Антарктики достаточно давно известны и обусловлены блокировкой дыхательного центра, в связи с развитием гипоксемии в условиях низкого парциального давления компонентов вдыхаемого воздуха при пониженном атмосферном давлении [293, 294].

Впервые была проведена динамическая оценка состояния дыхательной системы в условиях высокогорья Антарктиды на протяжении длительного периода пребывания. Адаптация респираторной системы полярника к условиям гипобарической гипоксии Антарктиды выражалась в стабильности динамики ночного апноэ сна центрального генеза в обеих возрастных группах. К 11 месяцу зимовки отмечалась положительная тенденция к сокращению индекса.

При этом среднее значение индекса апноэ-гипопноэ у представителей второй возрастной группы был достоверно выше, по сравнению с первой группой.

Впервые был выявлен феномен возрастной толерантности к гипоксии в высокогорных условиях, который проявился ночным балансом ВНС (парасимпатикотонии) несмотря на более высокое значение ИАГ во второй возрастной группе.

Уровень сатурации характеризовался тенденцией к повышению к 11му месяцу зимовки в среднем до 90%, в обеих возрастных группах. Это утверждение подтверждает, что длительное пребывание на высокогорье ведет к увеличению легочной вентиляции, которое позволяет дыхательной системе поддерживать повышенное парциальное давление кислорода (pO_2) на уровне альвеол, что, в свою очередь, способствует лучшему насыщению артериальной крови кислородом [295, 296].

Анализ полученных результатов выявил корреляционную зависимость динамики ночного апноэ сна с динамикой индекса Кердо у представителей первой возрастной группы, что указывает на значимую роль резервов вегетативной нервной системы в регуляции дыхания в условиях гипобарической гипоксии.

Вегетативная нервная система.

На сегодняшний день определение показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) представляет собой наиболее информативный неинвазивный метод количественной оценки вегетативной регуляции организма [297]. При анализе взаимосвязи между изменениями ВСР и его функциями, можно сделать вывод о состоянии системы регуляции организма в целом. Это может быть связано с тем, что изменения ВСР являются конечным звеном не только нервной, но и гуморальной регуляции, которая является предиктором возникновения патологий в организме.

На основании изученных данных можно сделать вывод, что снижение регуляторных качеств, определяемое данными ВСР, способствует снижению устойчивости механизмов регуляции к воздействию факторов внешней среды, как физических, так и психоэмоциональных. При выраженном угнетении вегетативной нервной системы любая значительная нагрузка, будь то физическая или

психоэмоциональная, может привести к дестабилизации регуляторных систем, выводя их за пределы адаптационных возможностей. Чем выше вариабельность, тем устойчивее системы регуляции к воздействию внешних факторов. Резкое падение показателей вариабельности вследствие вегетативного дисбаланса ослабляет регуляторные механизмы, что значительно увеличивает риск нарушения адаптационных процессов [298, 299].

Результаты анализа ВСР продемонстрировали превалирование реакции симпатической нервной системы в первой возрастной группе, по степени выраженности которой можно судить об адаптационных резервах организма в целом. В ходе годичного мониторинга кардиореспираторной системы участников исследования из двух возрастных групп была впервые выявлен характер адаптации вегетативной нервной системы в зависимости от возраста. Так же было выявлено, что характер адаптации организма не зависит от опыта полярных зимовок.

Анализ динамики изменения показателей, характеризующих вегетативную регуляцию кровообращения, отраженных в ритме сердца показывает, что 6-й месяц пребывания на антарктической станции может быть определен как этап устойчивой адаптации к экстремальным условиям.

В исследованиях, проведенных на МКС, было установлено, что 5й и начало 6го месяца космического полета также характеризуются максимальной согласованностью механизмов вегетативной регуляции и биоэлектрических процессов в миокарде, отмеченных на этапе дополетных исследований [300].

В дальнейшем воздействие факторов экстремальной окружающей среды может усиливать степень напряжения регуляторных механизмов. Полученные данные анализа вариабельности сердечного ритма в сверхдлительном космическом полете врача-космонавта Валерия Владимировича Полякова на орбитальной станции «Мир» демонстрируют эту тенденцию. В течение первых 6 месяцев его 14-месячного полета динамика сердечно-сосудистых показателей у В.В. Полякова была идентична их динамике у космонавтов, находившихся на орбитальных станциях в течение полугода. Данные, полученные после 6 месяцев пребывания в космосе, уникальны и важно отметить как минимум три основных аспекта: 1)

активация нового, дополнительного адаптивного механизма на 8-9м месяцах полета, о чем свидетельствовали изменением периодичности и мощности сверхмедленных волновых колебаний (ультрадлинных ритмов), отражающих деятельность подкорковых сердечно-сосудистых центров и высших уровней вегетативной регуляции; 2) рост сократительной способности миокарда, сопровождавшийся снижением частоты сердечных сокращений в течение последних месяцев полета; 3) значительное увеличение среднесуточных значений абсолютной мощности вариабельности сердечного ритма, отражающего активность сосудодвигательного центра. Это свидетельствует о том, что специфические механизмы адаптации к условиям невесомости, по-видимому, были связаны с активацией высших вегетативных центров и более высоких уровней системы управления физиологическими функциями [301].

Важно отметить, что поскольку невесомость является лишь одним фактором из комплекса оказывающего воздействие на человека в космическом полете, то можно предположить, что адаптационные процессы, опосредованные вегетативной нервной системой, в экстремальных условиях имеют общие закономерности.

В эксперименте с длительной изоляцией “Марс-500”, с пребыванием добровольцев в замкнутом гермообъекте с системами жизнеобеспечения, поддерживающими условия окружающей среды в определенном диапазоне, были выделены три этапа, характеризующие приспособительные механизмы к условиям изоляции.

Начало изоляции характеризовалось напряжением механизмов вегетативной регуляции, а именно снижением общей вариабельности (SDNN), ослаблением парасимпатических влияний (pNN50) и увеличением частоты сердечных сокращений.

В середине изоляционного эксперимента произошли активировались парасимпатические вегетативные влияния вновь что, вероятно, являлось компенсацией симпатического напряжения механизмов регуляции.

Вторая половина эксперимента, особенно 11й и 12й месяцы изоляции, характеризовалась устойчивым напряжением системы вегетативной регуляции,

которое выражалось в одновременной активации обоих отделов вегетативной нервной системы [302].

В эксперименте с 120-суточной изоляцией также было наглядно продемонстрировано выраженное усиление симпатической регуляции на этапе «неоптимальной» адаптации в первой половине эксперимента, когда функциональные резервы стабильно сохранялись за счет смещения баланса вегетативной нервной системы в сторону симпатической регуляции и повышения степени напряжения, а также повышение роли нейрогуморальной регуляции во второй половине эксперимента [303]. Таким образом, результаты настоящего диссертационного исследования полностью согласуются с фундаментальными представлениями о ведущей роли кардиореспираторной системы в развитии адаптации организма экстремальной среде.

Возможность изучения функционирования и адаптации в реальной космической среде была и будет оставаться строго ограниченной из-за существующих в настоящее время сложностей доступа к орбитальному пространству и космосу в целом. Комплексное изучение воздействия экстремальной среды в модельных наземных условиях вносит значительный вклад в решение задач космической медицины, расширяя понимание адаптации организма к факторам космического полета [304].

ВЫВОДЫ

1. На протяжении всей зимовки наблюдалось напряжение сердечно-сосудистой системы, что проявлялось в изменениях частоты сердечных сокращений, а также интервалов PQ и QT. Это явление выражалось в дисбалансе соотношения интервала QT и частоты сердечных сокращений, которое было отмечено в значительно большей мере в первой возрастной группе, по сравнению со второй, что по-видимому, объясняется наличием толерантности к воздействию гипоксии у людей старшего возраста. Динамика интервала PQ прямо коррелировала с динамикой баланса вегетативной нервной системы, отражая высокие более адаптационные резервы в первой возрастной группе.

2. Напряжение респираторной системы наблюдалось в течение всего времени зимовки и характеризовалось сниженным уровнем сатурации (до 89%) и наличием центрального апноэ сна. Позитивная динамика отмечалась к 11 месяцу зимовки, что выражалось в снижении индекса апноэ-гипопноэ. При этом, в первой возрастной группе динамика снижения индекса апноэ-гипопноэ характеризовалась сбалансированностью, в отличие от второй возрастной группы, где наблюдалась хаотичность динамики значений индекса апноэ-гипопноэ, обусловленная возрастным снижением адаптационных резервов организма.

3. Стабилизация баланса вегетативной нервной системы наблюдается к 9 мес зимовки в обеих возрастных группах. Информативными биомаркерами адаптации ВНС явились – Индекс Кердо и показатели вариабельность сердечного ритма. Стратегия адаптации вегетативной нервной системы определялась возрастными резервами организма.

4. Впервые выявлен феномен возрастной толерантности к гипобарической гипоксии центральной Антарктиды, проявляющийся ночным балансом вегетативной нервной системы (парасимпатикотонии) несмотря на более высокое значение индекса апноэ-гипопноэ во второй возрастной группе.

5. Комплексный анализ функции кардиореспираторной системы в условиях полярной зимовки выявил высокую значимость таких параметров

электрокардиограммы как интервалы PQ, QT, показателей variability сердечного ритма, как SDNN, pNN50 и HF, а также индекса апноэ-гипопноэ в оценке адаптации в исследуемых возрастных группах.

Показатель	Комфортные значения	Экстремальные значения
Температура	+22 °С	+60 °С и -90 °С (по минимальной зафиксированной температуре на планете)
Атмосферное давление	1013 гПа	266 гПа (давление на высоте пика Эвереста)
Скорость ветра	до 0,5 м/с	50 м/с
Относительная влажность	50 %	0 и 100 %

Станция	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Восток	-27	-39	-54	-61	-62	-62	-63	-64	-62	-54	-40	-28	-51

Таблица 3 – Уровень BISCR на станции Восток вне помещений

Станция	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Восток	2.2	1.8	1.2	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8	0.2	1.3

Примечание – под номерами I–XII указаны месяцы с января по декабрь соответственно. Год – среднегодовое значение в баллах.

Приложение Б

Аспекты развития гипоксических состояний

Классификация гипоксических состояний

- 1) гипоксическая гипоксия – обусловлена снижением содержания и парциального давления кислорода (pO_2) в окружающем воздухе;
- 2) респираторная гипоксия – связана со снижением парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе и его содержания в артериальной крови вследствие нарушения проходимости респираторного тракта;
- 3) циркуляторная гипоксия – снижение объемной скорости доставки кислорода к клеткам и тканям вследствие недостаточности кровообращения;
- 4) гемическая (анемическая) гипоксия – уменьшение содержания кислорода в артериальной крови, обусловленное либо снижением кислород-связывающих свойств гемоглобина (сродства гемоглобина к кислороду), либо дефицитом кислородной емкости циркулирующей крови;
- 5) первичная клеточная (тканевая, гистотоксическая) гипоксия – состояние, обусловленное нарушениями процессов утилизации O_2 клетками при нормальном напряжении кислорода в артериальной крови и цитоплазме;
- 6) гипоксия нагрузки или вторичная тканевая гипоксия – связана с повышенным потреблением кислорода работающими тканями [159, 160, 161].

```

graph TD
    A[Острая гипоксия] --> B[Органы и системы]
    A --> C[Эффекты]
    A --> D[Механизмы эффектов]
    B --> E[Система внешнего дыхания]
    B --> F[Сердце]
    B --> G[Сосудистая система]
    B --> H[Система крови]
    B --> I[Система биологического окисления]
    E --> J[Увеличение объема альвеолярной вентиляции]
    F --> K[Повышение сердечного выброса]
    G --> L[Перераспределение кровотока — его централизация]
    H --> M[Увеличение кислородной емкости крови]
    I --> N[Повышение эффективности биологического окисления]
    D --> O[Увеличение: частоты, глубины дыхания, числа функционирующих альвеол]
    D --> P[Увеличение: ударного выброса, числа сокращений]
    D --> Q[Региональное изменение диаметра сосудов (увеличение в мозге и сердце)]
    D --> R[Выброс крови из депо, Элиминация эритроцитов из костного мозга, Повышение сродства Нb к кислороду в легких, Увеличение диссоциации оксигемоглобина в тканях]
    D --> S[Активация тканевого дыхания, Активация гликолиза, Повышение сопряженности окисления и фосфорилирования]
  
```

Острая гипоксия

Органы и системы

Система внешнего дыхания

Сердце

Сосудистая система

Система крови

Система биологического окисления

Эффекты

Увеличение объема альвеолярной вентиляции

Повышение сердечного выброса

Перераспределение кровотока — его централизация

Увеличение кислородной емкости крови

Повышение эффективности биологического окисления

Механизмы эффектов

Увеличение:

- частоты
- глубины дыхания
- числа функционирующих альвеол

Увеличение:

- ударного выброса
- числа сокращений

Региональное изменение диаметра сосудов (увеличение в мозге и сердце)

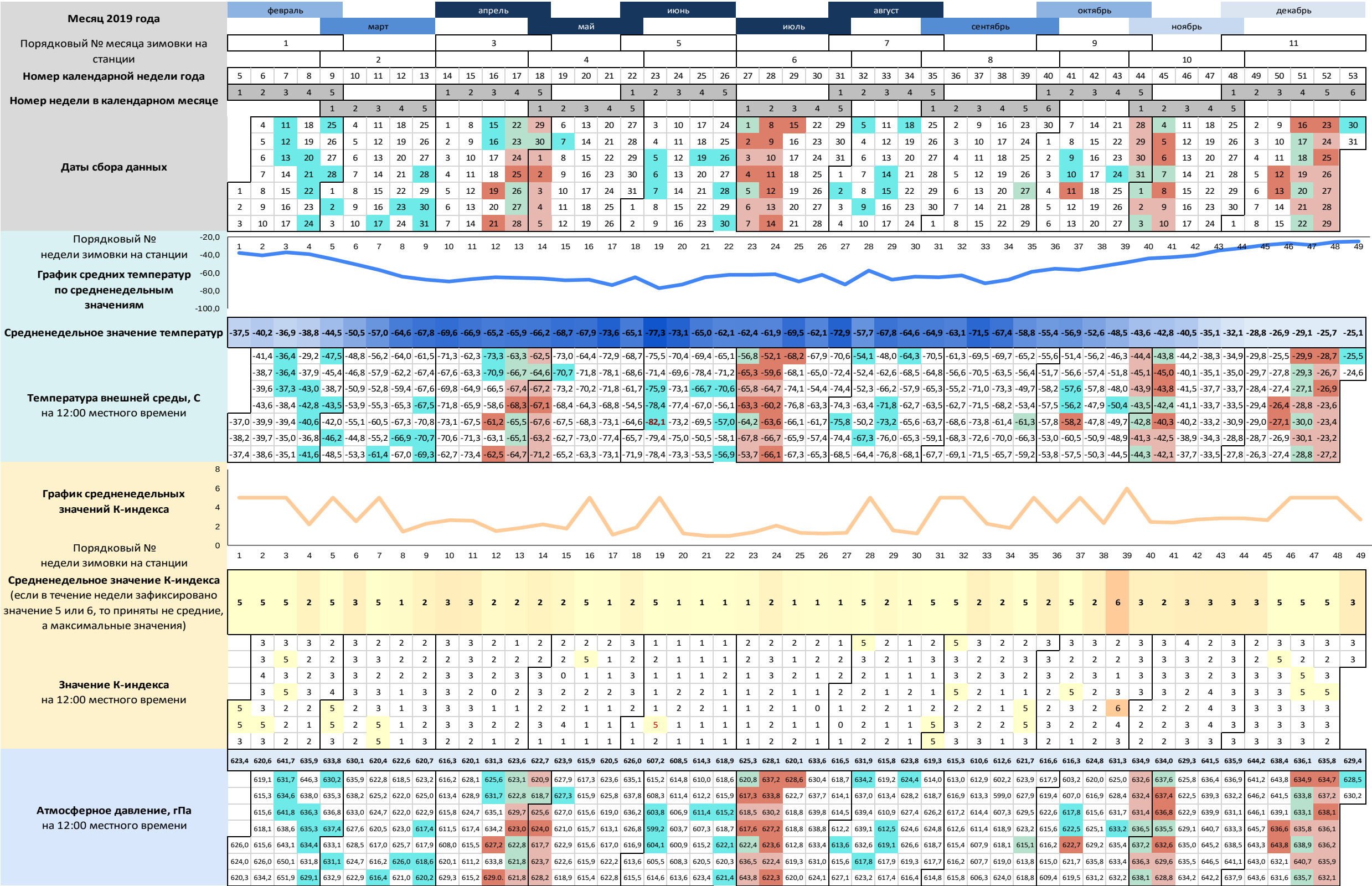
- Выброс крови из депо
- Элиминация эритроцитов из костного мозга
- Повышение сродства Нb к кислороду в легких
- Увеличение диссоциации оксигемоглобина в тканях

- Активация тканевого дыхания
- Активация гликолиза
- Повышение сопряженности окисления и фосфорилирования

Рисунок 2 – Механизмы острой адаптации организма к гипоксии [230]

Приложение В

Показатели климатических факторы внешней среды, совмещенные с циклограммой исследования



Приложение Г

Визуально-аналоговая шкала оценки состояния глазного дна

Диск зрительного нерва						Структура Сетчатки					Средняя периферия сетчатки						Сосуды сетчатки											
Границы зрительного нерва						макулярная зона											Степень напряжения венозного кровотока											
Секторальный отек																												
Без патологии	назальный	височный	нижний	верхний		Без патологии	Отек	Деструкция пигментного эпителия	Кровоизлияние	Киста	Без патологии	Кровоизлияние не преретинальное	Кровоизлияние не субретинальное	Отек (ватные очаги)	Отложение твердых экзудатов	Складки сетчатки	Дистрофия сетчатки	Без патологии	Извитость и расширение диаметра 1/3	Извитость и расширение диаметра 2/3	Симптом Салюса-Гунна 0	Симптом Салюса-Гунна1	Симптом Салюса-Гунна2	Симптом Салюса-Гунна3	Симптом Гвиста			
6401 OD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 DD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	
6401 OS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1						

Перечень условных обозначений и сокращений

АП – адаптационный потенциал

ВСР - вариабельность сердечного ритма

ВНС - вегетативная нервная система

ВЭК - врачебно-экспертная комиссия

ДАД – диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.

САД – систолическое артериальное давление, мм рт. ст.

СДД – среднединамическое артериальное давление, мм рт. ст.

ЧДД – частота дыхательных движений в минуту

ЧСС – частота сердечных сокращений, уд./мин.

ИАГ – индекс апноэ-гипопноэ

ПАРС - комплексный показатель активности регуляторных систем

ССС - сердечно-сосудистая система

ЦНС - центральная нервная система

ХМ - холтер-мониторирование

ЦИ - циркадный индекс

ЦАС - центральное апноэ сна

ЭКГ - электрокардиограмма

SpO₂ - сатурация крови кислородом

Список литературных источников

1. Бодров В. А., Обознов А. А. Система психической регуляции стрессоустойчивости человека-оператора // Психологический журнал. – 2000. – Т. 21. – №. 4. – С. 32-40.
2. Гончаров С. Ф., Лапин А. Ю., Преображенский В. Н. Современная стратегия медицинской реабилитации лиц опасных профессий: проблемы и перспективы // Медицина катастроф. – 2003. – №. 3-4. – С. 56-58.
3. Гончаров С. Ф. Инновационные технологии в системе медико-санитарного обеспечения населения, пострадавшего при чрезвычайных ситуациях // Медицина катастроф. – 2011. – №. 3. – С. 5-10.
4. Ушаков И. Б., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В. Физиология труда и надежность деятельности человека. – 2008.
5. Преображенский В. Н. Методология создания программ медико-психологической реабилитации у лиц опасных профессий // Материалы научно-практической конференции «Реабилитация лиц опасных профессий». 14-15 ноября. – 2005. – С. 29.
6. Баевский Р. М. Теоретические и прикладные аспекты оценки и прогнозирования функционального состояния организма при действии факторов длительного космического полета. – 2005.
7. Бундзен П. В. Влияние светового режима Антарктического континента на состояние авторегуляторных функций головного мозга человека. // Физиол. жури. СССР им. ИМ Сеченова. 1969. С. 929—939.
8. Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. —Новосибирск: Наука, 1980. — 191 с.
9. Бобров Н. И., Ломов О. П., Тихомиров В. П. Физиолого-гигиенические аспекты акклиматизации человека на Севере. — Л.: Медицина, 1979. — 184 с.
10. Солонин Ю. Г., Бойко Е. Р., Марков А. Л. Возрастная динамика функциональных показателей у мужчин в Заполярье // Успехи геронтологии. — 2013. — Т. 26, № 4. — С. 647—651.

11. Устюшин Б. В., Деденко И. И. Особенности обеспечения гомеостаза организма человека на Крайнем Севере // Вестн. АМН. — 1992. — № 1. — С. 6—10.
12. Селье Г. Неспецифическая резистентность // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. — 1961. — Т. 5. — №. 3. — С. 3.
13. Авцын А. П., Марачев А. Г. Проявление адаптации и дизадаптации у жителей Крайнего Севера // Физиология человека. — 1975. — Т. 1. — №. 4. — С. 587-600.
14. Казначеев В. П., Баевский Р. М. Оценка степени адаптации организма при массовых донозологических обследованиях рабочих и служащих // ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ II ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К РАЗЛИЧНЫМ ГЕОГРАФИЧЕСКИМ, КЛИМАТИЧЕСКИМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УСЛОВИЯМ. — 1978. — С. 122-125.
15. Казначеев В. П., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. — 1980;
16. Авцын А. П. Стадия адаптации легких человека в условиях Крайнего Севера / А. П. Авцын, А. П. Милованов // Физиология человека. — 1985. — № 3. — С. 389—399.
17. Агаджанян Н. А. Адаптация человека к условиям Крайнего Севера: экологофизиологические механизмы / Н. А. Агаджанян, Н. Ф. Жвавый, В. Н. Ананьев. — М. : «КРУК», 1998. — С. 77-124.
18. Величковский Б. Т. Причины и механизмы низкого коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере / Б. Т. Величковский // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СОРАМН. - 2013. - № 2. - С. 97-101, 117.
19. Казначеев В. П. Синдром полярного напряжения и некоторые вопросы экологии человека в высоких широтах / В. П. Казначеев, В. Ю. Куликов // Вестн. АН СССР. - 1980. - № 1. - С. 74 — 82;
20. Неверова Н. П. Опыт и стратегии исследований по проблемам Европейского Севера России в АГМИ-АГМА-СГМУ / Н. П. Неверова, В. П. Пащенко // Экология человека. — 2011. - № 6. — С. 5-11;

21. Панин Л.Е. Медицинские и научные проблемы освоения человеком Крайнего Севера // Вестн. АМН России, 1993. № 8. С. 9 – 13;
22. Гудков А.Б. Физиологическая характеристика нетрадиционных режимов организации труда в Заполярье / А.Б.Гудков, Ю.Р.Теддер, Ю.Л.Пацевич. – Архангельск, 1998. – 208 с;
23. Деденко И.И. К вопросу о взаимосвязи функциональных изменений и состояния здоровья с факторами климата Крайнего Севера (обзор) / И. И.Деденко, Р. В. Борисенкова, Б. В. Устюшин // Гигиена и санитария. – 1990.– № 7. – С. 4–9;
24. Кононов А. С. Внешнее дыхание и энергетический обмен в процессе акклиматизации человека на Крайнем Севере //Автореф. канд. дис. Петрозаводск. – 1972.
25. Агаджанян Н.А Функциональные резервы организма и теория адаптации /Н.А. Агаджанян, Р.М. Баевский, А. П. Берсенева // Вестник восстановительной медицины. - 2004. -№ 3 (9). -С. 4 – 17;
26. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. – 2008, 174 с;
27. Северин А. Е. и др. Одновременный анализ сердечного ритма и дыхания для расширения возможностей функциональной диагностики //Биомедицинская радиоэлектроника. – 2011. – №. 10. – С. 96-102;
28. Чашин В. П. и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике //Экология человека. – 2014. – №. 1. – С. 3-12;
29. Шишкин Г. С. Функциональные состояния внешнего дыхания здорового человека. – Федеральное государственное унитарное предприятие Издательство Сибирского отделения Российской академии наук, 2012;
30. Парин В. В. и др. Космическая кардиология. – 1967;
31. Thayer JF, Ahs F, Fredrickson M, Sollers JJ III, Wager TD. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart

- rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev.* 36:747–56;
32. Данишевский Г. М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере //М.: Медицина. – 1968. – С. 412;
 33. Тихомиров И. И. О ТЕПЛООБМЕННОЙ И ТЕРМОРЕЦЕПТОРНОЙ ФУНКЦИИ КОЖИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХОЛОДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ //Гигиена и санитария. – 1968. – №. 12. – С. 22-26;
 34. Авцын А. П. Введение в географическую патологию. – Медицина, 1972;
 35. Деряпа Н. Р., Давиденко В. И. Адаптационные реакции системы кровообращения у человека в условиях Антарктиды //Антарктика. – 1984. – №. 23. – С. 162-170;
 36. Деряпа Н. Р., Матусов А. Л., Рябинин И. Ф. Человек в Антарктиде. – 1975;
 37. Деряпа Н. Р., Рябинин И. Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. – 1977;
 38. Седов К. Р. и др. Мониторинг состояния антропоэкологического напряжения у коренного населения Крайнего Севера //Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1992. – Т. 14. – С. 78-87;
 39. Турчинский В. И. Ишемическая болезнь сердца на Крайнем Севере. – 1980;
 40. Милованов А. П. Адаптация малого круга кровообращения человека в условиях Севера. – Наука. Сиб. отд-ние, 1981;
 41. Петров Р. А., Алексеев В. П., Соломатин А. П. Сердечно-сосудистая патология в Якутии //Клинико-эпидемиологическое и морфологическое исследование. Якутск. – 1982. – Т. 154.
 42. Ягья Н. С., Петров П. А., Ягья В. С. Человек и охрана его здоровья на Севере //Л.: Медицина. – 1984.
 43. АВЦЫН А. П. и др. Способ повышения работоспособности человека при гипоксии. – 1985.
 44. Айдаралиев А. А., Максимов А. Л. Адаптация человека к экстремальным условиям: опыт прогнозирования. – Федеральное государственное унитарное предприятие" Академический научно-издательский, производственно-

- полиграфический и книгораспространительский центр" Наука" Обособленное подразделение" Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма" Наука", 1988. – С. 126-126.
45. Burton A. C. Edholm, O. G. //The Clo Unit. Man In A Cold Environment. Hafner. – 1969.
 46. Lugg D. J., Edholm O. G., Gunderson E. K. E. Polar human biology //Chicago (IL): Year Book Medical Publishers. – 1974. – С. 1947-1972;
 47. Milan F. A. (ed.). The human biology of circumpolar populations. – Cambridge University Press, 1980. – Т. 21;
 48. Rivolier J. Aspect psychologique et sociologique de l'alpinisme //Science & sports. – 1988. – Т. 3. – №. 2. – С. 137-145;
 49. Rivolier J. (ed.). Man in the Antarctic: The scientific work of the International Biomedical Expedition to the Antarctic (IBEA). – Taylor & Francis Group, 1988;
 50. Bjerregaard P. Disease pattern in Greenland: studies on morbidity in Upernavik 1979-1980 and mortality in Greenland 1968-1985 //Arctic medical research. – 1991. – Т. 50. – С. 1-62;
 51. Парин В. В., Баевский Р. М., Газенко О. Г. Достижения и проблемы современной космической кардиологии //Кардиология. – 1965. – Т. 5. – №. 3. – С. 3-11;
 52. Воскресенский А. Д., Вентцель М. Д. Применение методов корреляционного анализа для изучения реакций сердечно-сосудистой системы человека в космическом полете на корабле «Восход-1» //Космические исследования. – 1965. – Т. 3. – №. 6. – С. 927-934;
 53. Баевский Р. М., Барсукова Ж. В., Тазетдинов И. Г. Кибернетический анализ сердечного ритма при пробе с дозированной физической нагрузкой у членов экипажей орбитальной станции Салют-6 //Кардиология. – 1981. – Т. 21. – №. 11. – С. 100;
 54. Косицкий Г. И. и др. Центральный механизм развития ишемических нарушений сердечного ритма //Кардиология. – 1987. – №. 5. – С. 89;

55. Палеев Н. Р. и др. Состояние центральной гемодинамики и сократительной функции левого желудочка у больных хроническими обструктивными заболеваниями легких со стабильной легочной гипертензией (по данным радионуклидных методов исследования) //Кардиология. – 1987. – №. 27. – С. 9.
56. Баевский РМ Г. А. Г., Фунтова И. И., Черникова А. Г. Изменение вариабельности сердечного ритма и артериального давления в эксперименте со 120-суточной гипокинезией //Гипокинезия. Медицинские и психологические проблемы. – 1997. – С. 9-10.
57. Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе //М: Наука. – 1984.
58. Миронова Т. Ф., Миронов В. А. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца. Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм. – 1998.
59. Клецкин С. З. Опыт автоматического изучения сердечного ритма //Актуальные вопросы кардиологии М. – 1972. – С. 31.
60. Бокерия Л. А., Бокерия О. Л., Волковская И. В. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование //Анналы аритмологии. – 2009. – Т. 6. – №. 4. – С. 21-32.
61. Рябыкина Г. В., Соболев А. В. Вариабельность ритма сердца. – 1998.
62. Saykrs B. M. A. Analysis of heart rate variability //Ergonomics. – 1973. – Т. 16. – №. 1. – С. 17-32.
63. van Ravenswaaij-Arts C. M. A. et al. Heart rate variability //Annals of internal medicine. – 1993. – Т. 118. – №. 6. – С. 436-447;
64. Казначеев В. П. Адаптация человека (социальные и медико-биологические аспекты) //Клинические и экспериментальные аспекты общей патологии. – 1980. – С. 5-17;
65. Казначеев В. П. Введение в проблемы хронической патологии. – 1990;
66. Hansluwka H. E. Measuring the health of populations, indicators and interpretations //Social science & medicine. – 1985;

67. Сапов В. А., Новиков В. С. Неспецифические механизмы адаптации человека. – 1984;
68. Меерсон Ф. З. и др. Адаптация к периодической гипоксии в терапии и профилактике. – 1989;
69. Меерсон Ф. З. и др. Нарушение внешнего дыхания, транспорта и утилизации кислорода при стрессе //Патол. физиол. и экспер. терапия. – 1989. – №. 6. – С. 20-26;
70. Колчинская А. З. Гипоксическая гипоксия, гипоксия нагрузки: повреждающий и конструктивный эффекты //Hypoxia Med. J. – 1993. – Т. 1. – №. 3. – С. 8-13;
71. Колчинская А. З. Механизмы действия интервальной гипоксической тренировки //Hyp Medical J. – 1993. – Т. 1. – С. 5-8;
72. Lazarus R. S. et al. Psychological stress and adaptation: Some unresolved issues //Selye's guide to stress research. – 1980. – Т. 1. – С. 90-117;
73. Selvamurthy W. et al. Physiological responses to cold (10 C) in men after six months' practice of yoga exercises //International journal of biometeorology. – 1988. – Т. 32. – №. 3. – С. 188-193;
74. Turner M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process //Annual review of ecology and systematics. – 1989. – Т. 20. – №. 1. – С. 171-197.
75. Pagel J. I., Choukèr A. Effects of isolation and confinement on humans-implications for manned space explorations //Journal of Applied Physiology. – 2016.
76. Zuccarelli L. et al. Human physiology during exposure to the cave environment: a systematic review with implications for aerospace medicine //Frontiers in physiology. – 2019. – Т. 10. – С. 442975.
77. van Ombergen A., Rossiter A., Ngo-Anh T. J. 'White Mars'—nearly two decades of biomedical research at the Antarctic Concordia station //Experimental Physiology. – 2021. – Т. 106. – №. 1. – С. 6-17.

78. Тихомиров И. И. О ТЕПЛООБМЕННОЙ И ТЕРМОРЕЦЕПТОРНОЙ ФУНКЦИИ КОЖИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХОЛОДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ //Гигиена и санитария. – 1968. – №. 12. – С. 22-26.
79. Борискин В. В. Жизнь человека в Арктике и в Антарктике. — Л.: Наука, 1973. — 200 с.
80. Деряпа Н. Р. Природа Антарктиды и акклиматизация человека. – 1965;
81. Егоров Б.Б., Агаджанян Н.А., Завадовский А.Ф. и др. О медико-физиологических исследованиях на станции "Восток" в Двенадцатой советской антарктической экспедиции. //Информ. бюл. САЭ, 1969, №74, С. 48-53.
82. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях / В. С. Новиков, С. И. Сороко. – СПб: Политехника-принт, 2017. – 476 с.
83. Ушаков И. Б., Богомолов А. В., Кукушкин Ю. А. Методологические аспекты динамического контроля функциональных состояний операторов опасных профессий //Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2010. – №. 4-2. – С. 6-12.
84. Маслов Н. Б. и др. Концептуальные подходы к оценке функционального состояния специалистов в процессе их профессиональной деятельности //Экология человека. – 2012. – №. 4. – С. 16-24.
85. Пухов В. А., Иванов И. В., Чепур С. В. Оценка функционального состояния организма военных специалистов. – 2016.
86. Учаев А. В., Апанович В. В. Валидность методики выявления скрываемой информации, основанной на регистрации сердечного ритма при тестировании на полиграфе //Экспериментальная психология. – 2023. – Т. 16. – №. 1. – С. 211-224.
87. Федулаев Ю. Н. и др. Валидация комплекса суточного мониторингирования ЭКГ и АД «Медиком-комби» для измерения АД в медицинских учреждениях в общей популяции (согласно Универсальному стандарту AAMI/ESH/ISO UNIVERSAL) //Медицинский алфавит. – 2021. – №. 23. – С. 71-74.

88. Федулаев Ю. Н. и др. Валидация измерения артериального давления комплексом суточного мониторирования ЭКГ и АД «Медиком-комби» осциллометрическим и аускультативным методами для использования среди взрослого населения (согласно международному протоколу Европейского общества гипертензии для валидации устройств измерения артериального давления у взрослых) // Медицинский алфавит. – 2020. – №. 21. – С. 29-32.
89. Winter Population of Stations and Bases by Nations. <http://www.citypopulation.de/Antarctica.html>.
90. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. – №. 4. – С. 50-66.
91. Крутских Б.А. Климатический режим Антарктиды на рубеже XX и XXI веков / Крутских Б.А. Санкт- Петербург. Гидрометеиздат, 1991. - 156-158 с.
92. Лобанов В. А., Шадурский А. Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – №. 14. – С. 73-88.
93. Бочаров М. И. Физиологические проблемы защиты человека от холода / М.И. Бочаров. – Сыктывкар: [б.и.], 2004. – 40 с. – (Науч. докл.: сер.препринтов, No 34-04).
94. Рябчиков Александр Максимов. Физическая география материков и океанов / Рябчиков Александр Максимов - Москва. Высшая школа 1988. - 480-483 с.
95. Витинский Ю.И. Солнце и атмосфера Земли / Ю.И. Витинский, А.И. Оль, В.И. Созонов. – Л.: Наука, 1976. – 148 с.
96. Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. общего землеведения и гидрометеорологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11–13 окт. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.), Ю. А. Гледко, Е. В. Логинова. – Минск : БГУ, 2023. – С. 578-584.

97. Рубашов Б. М. Проблемы солнечной активности / Б.М. Рубашов. – Л.: Наука, 1964. – 185 с.
98. Калитин Н.Н. Лучи солнца / Н.Н. Калитин. – М.: Изд-во АМН СССР, 1947. – 122 с.
99. Галанин Н.Ф. Проблема компенсации природной ультрафиолетовой недостаточности на Севере / Н.Ф. Галанин // Гигиена и санитария. – 1955. – № 5. – С. 54–55.
100. Хаснулин В.И. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах / В.И.Хаснулин, П.В.Хаснулин // Экология человека. – 2012. - No1. – С.4-11.
101. Бурыкин Ю. Г. Системный анализ состояния биологических динамических систем в условиях действия слабых электромагнитных полей : дис. – Сургутский государственный университет, 2009.
102. Андропова Т.И. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека / Т.И. Андропова, Н. Р. Деряпа, А. П. Соломатин. – М.: Медицина, 1982. – 215 с.
103. Bartels J. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern // Zeitschrift fur Geophysik. – 1938. – Vol. 14. – No. 78. – P. 699-718.
104. Bartels J., Heck N.H., Johnson H.F. The three-hour-range index measuring geomagnetic activity // Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity. – 1939. – Vol. 44. – P. 411-454.
105. Riddick J.C., Stuart W.F. The generation of K-indices from digitally recorded magnetic data // Geophysical Surveys. – 1984. – Vol. 6. – No. 3-4. – P. 439-456.
106. Turner, J., Anderson, P., Lachlan-Cope, T., Colwell, S., Phillips, T., Kirchgaessner, A., Marshall, G. J., King, J. C., Bracegirdle, T., Vaughan, D. G., Lagun, V., & Orr, A. (2009). Record low surface air temperature at Vostok station, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D24). <https://doi.org/10.1029/2009JD012104>.

107. Белкин В. Ш. и др. Корреляция морфологических характеристик популяций человека с климатогеографическими факторами //Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. – 2012. – №. 1. – С. 63-75.
108. Августова, Людмила Ивановна, et al. "Психология здоровья." (2006).
109. Маркелова, Е. В., Красникова, В. Е., Степанюк, В. Н., & Мисюра, О. А. (2010). Патолофизиология экстремальных состояний: учебное пособие. *Владивосток: Медицина ДВ.*
110. Баевский Р.М. Оценка и квалификация уровней здоровья с точки зрения теории адаптации // Вестник АМН СССР, 1989. - № 8. - С. 73 – 78.
111. Баевский Р. М., Иванов Г. Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения //Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – №. 3. – С. 108-127.
112. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. - М.: Медицина, 1997, с.17.
113. П. С. Терещенко, В. Н. Петров Вероятная причина заболеваемости населения, проживающего в районах Арктики.
114. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у студентов Северного вуза. Лукина С.Ф., Чуб И.С., Борейко А.П., ВЕСТНИК УРАЛЬСКОЙ МЕДИЦИНСКОЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ Том: 15 Номер: 2 Год: 2018: 184-196.
115. Olson J. Antarctica: a review of recent medical research. Trends in Pharmacological Sciences. 2002;23(10):487-490.
116. Казначеев В. П. и др. Кислородный обмен и реакции перекисного окисления липидов у человека при адаптации к условиям Крайнего Севера //Актуальные вопросы адаптации человека в условиях Крайнего Севера и Антарктиды. – 1976. – С. 3-15.
117. Гакова Е. И. и др. Основные факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у мужчин, работающих вахтовым методом на Крайнем Севере //Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25. – №. 11. – С. 65-71.

118. Куликов В. Ю., Ким Л. Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. – 1987.
119. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицину. – 1998.
120. Яковлев, В.А. Биоритмы и адаптация человека в Антарктиде / В.А. Яковлев, В.М. Бобров, В.М. Ващенко // Под. ред. Комаров Ф.И., Рапопорт С.И. Хронобиология и хрономедицина. М., 2000. - С.429-459.
121. Короленко Ц. П. Особенности некоторых экзогенных интоксикаций в условиях Севера / Ц. П. Короленко, Н. Л. Бочкарева. – Новосибирск, 1982. – 120 с.
122. Xu C, Zhu G, Xue Q, Zhang S, Du G, Xi Y., Palinkas LA. Effect of the Antarctic environment on hormone levels and mood of Chinese expeditioners. *International Journal of Circumpolar Health*. 2003;62(3): 255-267.
123. Mattei R, Peri A, Taviani G, Vignacastri G, Ferretti F, Paolini E, Grosso A, Petralia S, Ciardullo S, Caroli S. Biophysiological changes observed in members of the Italian expeditions to Antarctica. *Microchemical Journal*. 2009.
124. Xu S, Xue Q. Studies on the plasma tryptophan and urinary 5 hydroxy 3 indoleacetic acid in expedition members residing in Antarctica. *Chinese Journal of Polar Science*.
125. Yu Y, Wang Z, Zhang W, Wu W. Effect of the environment in Antarctica on immune function and electroencephalogram. *Chinese Journal of Polar Science*.
126. Lugg D., Shepanek M. Space analogue studies in Antarctica. *Acta Astronautica*. 1999.
127. Баевский Р. М. и др. Оценка эффективности профилактических мероприятий на основе измерения адаптационного потенциала системы кровообращения // *Здравоохранение Российской Федерации*. – 1987. – Т. 8. – С. 6-10.
128. Якименко М. А. Терморегуляция и дыхание / М. А. Якименко, Т. Г. Симонова // *Проблемы терморегуляции и температурной адаптации*. – Новосибирск, 1992. – С. 24–29.

129. Козырева Т. В. Реакция системы дыхания на быстрое локальное охлаждение / Т. В. Козырева, Т. Г. Симонова // Физиология человека. – 1994. – Т. 20, No 4. – С. 177–179.
130. Гудков А. Б. Адаптивные реакции организма вахтовых рабочих в Арктике //Arctic Environmental Research. – 2012. – №. 1. – С. 65-70.
131. Гапон Л. И., Шуркевич Н. П., Ветошкин А. С. Структурно-функциональные изменения сердца и суточный профиль артериального давления у больных артериальной гипертонией на Крайнем Севере //Клиническая медицина. – 2009. – Т. 87. – №. 9. – С. 23-29.
132. Буганов А. А., Уманская Е. Л., Саламатина Л. В. Вопросы профилактической кардиологии в экологически нестабильном районе Крайнего Севера //АА Буганов, ЕЛ Уманская, ЛВ Саламатина. – 2000. – С. 203.
133. Beker B. M. et al. Human physiology in extreme heat and cold //Int. Arch. Clin. Physiol. – 2018. – Т. 1. – №. 1. – С. 1-8.
134. Суханова И. В., Максимов А. Л., Вдовенко С. И. Особенности адаптации у юношей Магаданской области: морфофункциональные перестройки (сообщение 1) //Экология человека. – 2013. – №. 8. – С. 3-10.
135. Бочаров М. И., Дерновой Б. Ф. Биоэлектрические процессы сердца при вызванной системной вазодилатации у мужчин в условиях Севера России //Физиология человека. – 2005. – Т. 31. – №. 1. – С. 49-58.
136. Bittel J. H. M. Heat debt as an index for cold adaptation in man / J. H. M. Bittel // J. Appl. Physiol. – 1987. – Vol. 62, № 4. – P. 1627.
137. Парин В. В. Очерки по космической физиологии. – Медицина, 1967.
138. Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Учение о здоровье и проблемы адаптации //Ставрополь: изд-во СГУ. – 2000. – Т. 203.
139. Пастухов Ю. Ф., Максимов А. Л., Хаскин В. В. Адаптация к холоду и условиям Субарктики: проблемы термофизиологии. – 2003.
140. Максимов А. Л., Белкин В. Ш., Кобылянский Е. Д. Перестройки основного обмена у человека в экстремальных природно-климатических условиях

- //Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2009. – №. 3. – С. 91-96.
141. Неверова Н. П., Андропова Т. И., Мочалова М. И. К вопросу о физиологических механизмах начального периода акклиматизации в Арктике //Адаптация человека. Л.: Наука. – 1972. – С. 191-196.
 142. Бойко Е. Р. Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера //Сыктывкар: УрО РАН. – 2012.
 143. Солонин Ю. Г., Бойко Е. Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике //Арктика: экология и экономика. – 2015. – Т. 1. – №. 17. – С. 70-75.
 144. Ткачев А. В., Суханов С. Г. Эндокринная система человека на Севере //Адаптация и резистентность организма на Севере (физиолого-биохимические механизмы): Труды Коми научного центра УрО АН СССР. – 1990. – №. 115. – С. 5-18.
 145. Панин Л. Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) //Сибирский научный медицинский журнал. – 2010. – Т. 30. – №. 3. – С. 6-11.
 146. Moraga F. A., Pedreros C. P., Rodríguez C. E. Acute mountain sickness in children and their parents after rapid ascent to 3500 m (Putre, Chile) //Wilderness & environmental medicine. – 2008. – Т. 19. – №. 4. – С. 287-292.
 147. Bärtsch P., Gibbs J. S. R. Effect of altitude on the heart and the lungs //Circulation. – 2007. – Т. 116. – №. 19. – С. 2191-2202.
 148. Меерсон Ф. З. Пшенникова М //Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. – 1988.
 149. Мазуров В. И., Шустов С. Б. Гормональные механизмы регуляции процессов адаптации человека к экстремальным воздействиям внешней среды //Медицинский академический журнал. – 2008. – Т. 8. – №. 1. – С. 29-39.
 150. Сабиров И. С., Сыдыков А. С., Сарыбаев А. Ш. Особенности легочного кровообращения и функциональное состояние миокарда при

- кратковременной адаптации к высокогорью //Вестник КРСУ. – 2002. – №. 1. – С. 30-36.
151. Mosso A. Die Diagnostik des Pulses in Bezug auf die localen Veränderungen desselben. – Veit, 1879.
 152. Mosso A. Fisiologia dell'uomo sulle Alpi: studii fatti sul Monte Rosa. – Treves, 1898.
 153. West J. B. et al. High-altitude medicine and physiology. – London: Hodder Arnold, 2007. – С. 39-84.
 154. Алипов Д. А. О возможностях использования среднегорья в повышении эффективности спортивной тренировки //Д.А. Алипов.–2012.–36 с. – 1969.
 155. Меерсон Ф.З. Общий механизм адаптации и профилактики. — М., 1973. — 258 с.
 156. Миррахимов М. М., Мейманалиев Т. С. Высокогорная кардиология //Фрунзе: Кыргызстан. – 1984. – Т. 316.
 157. Алипов Д.А., Омурзов Д.О. Среднегорье и спортивная тренировка. — М.: Наука, 1974. — 244 с.
 158. Ван-Лир Э., Стикней К. Гипоксия //М.: Медицина. – 1967.
 159. Бернштейн А.Д. Человек в условиях среднегорья. — АлмаАта: Казахстан, 1967. — 244 с.
 160. Колчинская А. З. Дыхание при гипоксии //Физиология дыхания. СПб.: Наука. – 1994. – Т. 589. – С. 589.
 161. Колчинская А. З. Использование ступенчатой адаптации к гипоксии в медицине //Вестник РАМН. – 1997. – №. 5. – С. 12.
 162. Малкин В. Б., Гиппенрейтер Е. Б. Острая и хроническая гипоксия. – 1977.
 163. Павлов Б. Н. и др. Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами //АИ Григорьева. М.: Гранп Полиграф. – 2008.
 164. Лабори А. Регуляция обменных процессов //М.: Медицина. – 1970. – Т. 384.

165. Березовский В.А. Реактивность и резистентность при гипоксии / В.А. Березовский // Адаптивность и резистентность организма в условиях гор. – Киев: Наукова думка, 1986. – С. 10 – 22.
166. Ляпков Б. Г. Биохимические аспекты гипоксии //Нур. Med. J. – 1994. – Т. 2. – №. 1. – С. 4.
167. Гришин В.И. Кислородно-гелиевые дыхательные смеси / В.И. Гришин, А.Т. Логунов, Н.Б. Павлов [и др.]. –М.: Нептун XXI, 2013. – 136 с.
168. Холден Д. С., Пристли Д. Г. Дыхание //М-Л.: Биомедгиз. – 1937. – С. 463.
169. Шик Л. Л. Легочный газообмен. Руководство по клинической физиологии дыхания. Л //Медицина. – 1980. – С. 109-182.
170. Gray J.S. Pulmonary Ventilation and its Physiological Regulation / J.S. Gray. – Philadelphia: Mosby Comp. Inc, 1990. - 305 p.
171. Wasserman K. The carotid bodies and respiratory control in man / K. Wasserman, J. Whipp // Morfology and mechanism of chemoreceptors. – Dehli, 1996. – P. 174-189.
172. Gesell R. The chemical regulation of respiration. The regulation of respiration with special reference to the metabolism of the respiratory center and coordination of the dual function of hemoglobin / R. Gesell // Amer. J. Physiol. 1923. – Vol. 66, N 1. – P. 5-40.
173. England S.J. et al. Activity of respiratory neurons during hypoxia in chemodenervated cat / S.J. England, J.E. Melton, Douse M.A. et al. // J. Appl. Physiol. – 1995. - Vol. 78, N 3. – P. 856-861.
174. Старых Е. В., Федин А. И. Использование нормобарической гипоксии при лечении эпилепсии //Ж. неврологии и психиатрии. – 2002. – Т. 102. – №. 1. – С. 46-48.
175. Горанчук В. В., Сапова Н. И., Иванов А. О. Гипокситерапия. – 2003.
176. Steiger H. J., Hänggi D. Ischaemic preconditioning of the brain, mechanisms and applications //Acta Neurochirurgica. – 2007. – Т. 149. – С. 1-10.
177. Борилкевич В. Е. Физическая работоспособность в экспериментальных условиях мышечной деятельности //Л.: Изд-во ЛГУ. – 1982.

178. Полинкевич К. Б., Онопчук Ю. Н. Конфликтные ситуации при регулировании основной функции системы дыхания организма и математические модели их разрешения //Кибернетика. – 1986. – №. 3. – С. 100.
179. Katayama K. Intermittent hypoxia increases ventilation and SaO₂ during hypoxic exercise and hypoxic chemosensitivity / K. Katayama, Y. Sato, Y. Morotome et al. // J. Appl. Physiology, 2000. -Vol. 90. -No 4. P. 1431-1440.
180. Шик Л.Л. Основные принципы регуляции дыхания / Л.Л. Шик // Физиология дыхания / Руководство по физиологии. – Л.: Наука. – 1973. – С. 279-287.
181. Кулешов В.И. Выбор метода баротерапии – периодической гипобарической или гипербарической оксигенации / В.И. Кулешов, И.В. Левшин. – СПб., 2002. – 208 с.
182. Хочачка П., Сомеро Д. Биохимическая адаптация Пер. с англ. Под ред. чл.-корр. АМН СССР ИБ Збарского. – 1988.
183. Шевченко Ю. Л., Новиков Л. А., Горанчук В. В. Использование нормобарической гипокситерапии в комплексном лечении больных кардиохирургического профиля //Настоящее и будущее анестезиологии и реаниматологии. – 1997. – С. 120.
184. Daly M.B. Role of carotid body chemoreceptors and their reflex interactions in bradycardia and cardiac arrest / M.B. Daly, J.E. Angell-James, R. Elsner // Lancet. – 1979. – Vol. 134. – P. 764-767.
185. Бреслав И.С. Регуляция дыхания / И.С. Бреслав, В.Д. Глебовский.– Л.: Наука, 1981. – 280 с.
186. Бреслав И.С. Регуляция паттерна дыхания / И.С. Бреслав, Г.Г. Исаев, Н.З. Ключева и др. // XIV съезд Всесоюз. физиол. об-ва им. И.П. Павлова. – 1983. - Т.1. - С. 271-272.
187. Гордиевская Н.А. Возможные механизмы взаимодействия дыхательного и сосудодвигательного центров / Н.А. Гордиевская, В.Ф. Молчатская // Физиология вегетативной нервной системы. - Куйбышев, 1988. С. 38-48.
188. Левашов М.И. Состояние центрального звена регуляции дыхания у людей до и после воздействия прерывистой нормобарической гипоксии / М.И.

- Левашов, В.А. Березовский, В.И. Носарь, И.А. Хасабова // Физиологический журнал. - 1996. – Т. 42, № 3-4. - С. 19-20.
189. Грошилин С.М. Коррекция астенических расстройств у участников ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций путем тренировок к гипоксии-гиперкапнии / С.М. Грошилин, Р.Н. Ан, А.О. Иванов и др. // Экология человека. – 2006 – № 5. – С. 34-37.
 190. Агаджанян Н.А. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания / Н.А. Агаджанян, В.В. Гневушев, А.Ю. Катков. - М.: Издво Университета Дружбы народов, 1987. - 186 с.
 191. Baker P. Human adaptation to high altitude / P Baker // Science. 1969. – Vol. 260. – P. 1149-1155.
 192. West J. Human physiology at extreme altitudes on Mount Everest / J. West // Science. – 1984. – Vol. 223, N 5. – P. 784-788.
 193. Honda Y. Ventilatory depression during mild hypoxia in adult humans / Y. Honda // Japan. J. of Physiol. – 1995. – Vol. 45. – P. 947-960.
 194. Zhang L. Mountain medicine / L. Zhang. – London: Crosby Lochwood Staples, 1998. – 376 p.
 195. Бреслав И.С., Иванов А.С. Дыхание и работоспособность человека в горных условиях. — Алма-Ата: Гылым, 1990. — 256 с.
 196. Zielinski J., Koziej M., Manrkowski M. et al. The quality of sleep and periodic breathing in healthy subjects at an altitude of 3200 metres: sleep at high altitude // High Alt. Med. Biol. — 2000. — №1. — P.331-336.
 197. Wickramasinghe H., Anholm J. D. Sleep and breathing at high altitude // Sleep and Breathing. – 1999. – Т. 3. – С. 89-101.
 198. Weil J.V., White D.P. Sleep in High Altitude // The High-Altitude Medicine and Physiology / Third edition. — Great Britain: CPI Bath, 2000. — P. 707-763.
 199. Borb A. A., Achermann P. Sleep homeostasis and models of sleep regulation // Journal of biological rhythms. – 1999. – Т. 14. – №. 6. – С. 559-570.
 200. Левшин И.В. Принцип выбора показанного вида баротерапии / И.В. Левшин, Н.И. Сапова // Баротерапия в комплексном лечении и реабилитации раненых,

- больных и пораженных: Материалы IV Всесармейской науч.-практич. конф. с международным участием. – СПб: ВМедА, 2010. – С. 63-64.
201. Барбашова З.И. Динамика повышения резистентности организма и адаптивных реакций на клеточном уровне в процессе адаптации к гипоксии / З.И. Барбашова // Успехи физиол. наук. – 1970. – Т. 8, № 3. – С. 70-81.
 202. Иванов А. О., Беляев В. Р., Мусаев Р. Б. Повышение устойчивости организма спортсменов к анаэробным условиям путем тренировок к гипоксии-гиперкапнии // Здоровье—основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2011. – Т. 6. – №. 1. – С. 460.
 203. Сычуань Да Сюэ Сюэ Бао И Сюэ Бан. Дыхание с нарушениями сна на большой высоте: его характеристики, прогресс исследований и лечения; 璐谭, 向东唐. 高原地区睡眠呼吸障碍特征及治疗的研究进展; 2023 Март; 54 (2): 246-251. doi: 10.12182/20230360506.
 204. Coppel J. et al. The physiological effects of hypobaric hypoxia versus normobaric hypoxia: a systematic review of crossover trials //Extreme physiology & medicine. – 2015. – Т. 4. – С. 1-20.
 205. Xie A. et al. Exposure to hypoxia produces long-lasting sympathetic activation in humans //Journal of applied physiology. – 2001. – Т. 91. – №. 4. – С. 1555-1562.
 206. Calbet J. A. L. Chronic hypoxia increases blood pressure and noradrenaline spillover in healthy humans //The Journal of physiology. – 2003. – Т. 551. – №. 1. – С. 379-386.
 207. Lusina S. J. C. et al. Long-term intermittent hypoxia increases sympathetic activity and chemosensitivity during acute hypoxia in humans //The Journal of physiology. – 2006. – Т. 575. – №. 3. – С. 961-970.
 208. Sander M. Does the sympathetic nervous system adapt to chronic altitude exposure? //Hypoxia: Translation in Progress. – 2016. – С. 375-393.
 209. Dhar P. et al. Autonomic cardiovascular responses in acclimatized lowlanders on prolonged stay at high altitude: a longitudinal follow up study //PLoS One. – 2014. – Т. 9. – №. 1. – С. e84274.

210. Соловьев В. Н. Физическое здоровье как интегральный показатель уровня адаптации организма студентов к учебному процессу //Современные проблемы науки и образования. – 2005. – №. 2. – С. 38-38.
211. Леонова Е. В., Висмонт Ф. И. Реактивность организма и её роль в патологии //Учебное пособие.–Мн.: БГМУ.–2002.–24 с. – 2002.
212. Введенский, Н. Е. Возбуждение, торможение и некроз / Н. Е. Введенский. – СПб, 1961. – 110 с.
213. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А. Адаптивные реакции и резистентность организма //Ростов-на-Дону: Из-во Ростовского университета, 1990.-223 с. – 1990.
214. De Morree H. M. et al. Central nervous system involvement in the autonomic responses to psychological distress //Netherlands Heart Journal. – 2013. – Т. 21. – С. 64-69.
215. Britton J. W. et al. The ictal bradycardia syndrome: localization and lateralization //Epilepsia. – 2006. – Т. 47. – №. 4. – С. 737-744.
216. Krogh A., Lindhard J. The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work //The Journal of physiology. – 1913. – Т. 47. – №. 1-2. – С. 112.
217. Al-Qudah Z. A., Yacoub H. A., Souayah N. Disorders of the autonomic nervous system after hemispheric cerebrovascular disorders: an update //Journal of vascular and interventional neurology. – 2015. – Т. 8. – №. 4. – С. 43.
218. De Morree H. M. et al. Central nervous system involvement in the autonomic responses to psychological distress //Netherlands Heart Journal. – 2013. – Т. 21. – С. 64-69. <https://doi.org/10.1007/s12471-012-0351-1>.
219. Manea M. M. et al. Brain-heart axis-review article //Journal of medicine and life. – 2015. – Т. 8. – №. 3. – С. 266.
220. Gray MA, Taggart P, Sutton PM, Grooves D, Holdright DR, Bradbury D, Brull D, Critchley HD. A cortical potential reflecting cardiac function. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2007;104(16):6818-6823. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609509104>.

221. Sarkisova V., Numonova A., Xegay R. Аспекты Состояния Вегетативной Нервной Системы При Гипоксии //Science and innovation. – 2022. – Т. 1. – №. D8. – С. 228-231.
222. Севрюкова Г. А., Коновалова Г. М. Функциональное состояние и регуляторно-адаптивные возможности организма человека. – 2015.
223. Baevsky, R. M., Chernikova, A. G., Funtova, I. I., and Tank, J. (2011). Assessment of individual adaptation to microgravity during long term space flight based on stepwise discriminant analysis of heart rate variability parameters. *Acta Astronaut.* 69, 1148–1152.
224. Басанцова Н. Ю., Тибекина Л. М., Шишкин А. Н. Роль вегетативной нервной системы в развитии цереброкардиальных нарушений //Журнал неврологии и психиатрии им. СС Корсакова. – 2017. – Т. 117. – №. 11. – С. 153-160.
225. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. – 1979.
226. Жемайтите Д. И., Каукенас И., Кусас В. Анализ сердечного ритма Вильнюс. – 1982.
227. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ сердечного ритма при стрессе.: 3-е издание //Москва. – 1984.
228. Миронова Т. Ф., Миронов В. А. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца. Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм. – 1998.
229. Gancitano G. et al. HRV in active-duty special forces and public order military personnel //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 7. – С. 3867. <https://doi.org/10.3390/su13073867>.
230. Литвицкий П. Ф. Гипоксия //Вопросы современной педиатрии. – 2016. – Т. 15. – №. 1. – С. 45-58.
231. Асямолова Н. М., Малкина В. Б. О влиянии повторного пребывания в горах на устойчивость альпинистов к острой гипоксии //Проблемы космической биологии. – 1968. – Т. 8. – С. 65.

232. Гиппенрейтер Е. Б. Изучение динамики развития адаптации и состояния работоспособности человека в процессе тренировки в горных условиях : дис. – М. : Автореф. дис.... канд. мед. наук, 1969.
233. Бободжанов Ю. Р. К вопросу об адаптации кроветворного аппарата к условиям высокогорья Памира //Здравоохранение Таджикистана. – 1980. – С. 83-88.
234. Barcroft J. et al. The flow of oxygen through the pulmonary epithelium //The Journal of physiology. – 1920. – Т. 53. – №. 6. – С. 450.
235. Бурых Э. А., Сороко С. И. Различия в стратегиях и возможностях адаптации человека к гипоксическому воздействию //Физиология человека. – 2007. – Т. 33. – №. 3. – С. 63-74.
236. Серебровская Т. В., Дубровская Т. Г. Ответы дыхательной системы на гипоксический и гиперкапнический стимулы при адаптации человека к условиям высокогорья //Физиология человека. – 1987. – Т. 13. – №. 1. – С. 58-64.
237. Шевченко Ю. Л. и др. Гипоксия. Адаптация, патогенез, клиника //СПб.: Элби-СПб. – 2000. – Т. 384. – С. 13.
238. Terrados N. Is hypoxia a stimules for sithesis of oxidative ensimes and myoglobine / N. Terrados [et al.] // J. Appl. Physiol. - 1990. – Vol. 68 (6). - P. 69-72.
239. Chen V. Effect of hypoxia on myoglobin and antioxidant enzymes in rat myocardium / V. Chen, Z.N. Zhou. - Exp. Clin. Cardiol. - 1997. -Vol. 2 (3). -P 179-183.
240. Peltonen J. Cardiac output in hyperoxia, normoxia and hypoxia / J. Peltonen, H. Tikkonen, H. Rusco // Med. Sci. Sport. Ex. - 1999. – Vol. 31 (5). P. 816-822.
241. Павловская Л. И. Влияние интервальной гипоксической гипоксии на маркеры ангиогенеза/Павловская ЛИ, Макаренко ВВ, Ельчанинова СА //Материалы V конгресса с междунар. участием «Паллиативная медицина и реабилитация в здравоохранении. – 2003. – С. 178-180.

242. Chavez J. C. et al. Expression of hypoxia-inducible factor-1 α in the brain of rats during chronic hypoxia //Journal of applied physiology. – 2000. – Т. 89. – №. 5. – С. 1937-1942.
243. Baker J. E. et al. Increased tolerance of the chronically hypoxic immature heart to ischemia: contribution of the KATP channel //Circulation. – 1997. – Т. 95. – №. 5. – С. 1278-1285.
244. Lou Y., Oberpriller J. C., Carlson E. C. Effect of hypoxia on the proliferation of retinal microvessel endothelial cells in culture //The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists. – 1997. – Т. 248. – №. 3. – С. 366-373.
245. Mimura Y., Furuya K. Mechanisms of adaptation to hypoxia in energy metabolism in rats //Journal of the American College of Surgeons. – 1995. – Т. 181. – №. 5. – С. 437-443.
246. Abdemalki A., Fimbel S. Aerobic capacity and skeletal muscle properties of normoxic and hypoxic rats to training //Pf. Archive. – 2012. – Т. 431. – №. 5. – С. 71-79.
247. Сверчкова В. С. Гипоксия-гиперкапния и функциональные возможности организма //Алма-Ата: Наука. – 1985. – Т. 176. – С. 18.
248. Берова М. О., Иванов А. Б., Абазова З. Х. Возрастные особенности иммунно-физиологической реакции организма на адаптацию к гипоксии //Успехи современного естествознания. – 2005. – №. 10. – С. 37-43.
249. Benzi G. et al. Age-related changes by hypoxia and TRH analogue on synaptic ATPase activities //Neurobiology of aging. – 1994. – Т. 15. – №. 4. – С. 409-417.
250. Zhang L. Adaptation of pharmacomechanical coupling of vascular smooth muscle to chronic hypoxia //Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. – 1998. – Т. 119. – №. 3. – С. 661-667.
251. Fisher A. J., Schrader N. W., Klitzman B. Effects of chronic hypoxia on capillary flow and hematocrit in rat skeletal muscle //American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 1992. – Т. 262. – №. 6. – С. H1877-H1883.

252. Mimura Y., Knox F. G. Effect of acute hypoxia on phosphate excretion in rats //American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. – 1994. – Т. 266. – №. 2. – С. R578-R583.
253. Kourembanas S., Bernfield M. Hypoxia and endothelial-smooth muscle cell interactions in the lung //American journal of respiratory cell and molecular biology. – 1994. – Т. 11. – №. 4. – С. 373-374.
254. Czyzyk-Krzeska M. F. Molecular aspects of oxygen sensing in physiological adaptation to hypoxia //Respiration physiology. – 1997. – Т. 110. – №. 2-3. – С. 99-111.
255. Гурин А. В. Функциональная роль оксида азота в центральной нервной системе //Усп. физиол. наук. – 1997. – Т. 28. – №. 1. – С. 53-60.
256. Lin H., Cai Y. Effect of hypoxia on distribution and activity of nitric oxide synthase in rat lung //Zhongguo yi xue ke xue Yuan xue bao. Acta Academiae Medicinae Sinicae. – 1997. – Т. 19. – №. 2. – С. 110-115.
257. Shaul P. W., Wells L. B. Oxygen modulates nitric oxide production selectively in fetal pulmonary endothelial cells //American journal of respiratory cell and molecular biology. – 1994. – Т. 11. – №. 4. – С. 432-438.
258. Brindicci C. et al. Effect of an inducible nitric oxide synthase inhibitor on differential flow-exhaled nitric oxide in asthmatic patients and healthy volunteers //Chest. – 2007. – Т. 132. – №. 2. – С. 581-588.
259. Бяловский Ю. Ю., Булатецкий С. В., Глушкова Е. П. Системная организация неспецифических механизмов адаптации в восстановительной медицине. – 2017.
260. Медведев В. И. Адаптация человека. СПб //Институт мозга человека. РАН.- 2009. – 2003.
261. Меерсон Ф. З. и др. Роль макрофагальной системы печени в снижении содержания иммунных комплексов в крови при адаптации к периодической гипоксии //Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1992. – Т. 114. – №. 11. – С. 461-463.

262. Акимов А. Г. Клинические аспекты использования гипокситерапии в комплексном лечении больных ИБС : дис. – СПб. : АГ Акимов, 2002.
263. Павловская Л. И. Интервальная нормобарическая гипокситерапия в комплексном лечении больных с хронической вертебрально-базилярной недостаточностью : дис. – ФГУ" Томский научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии", 2006.
264. Берова М. О., Борукаева И. Х., Абазова З. Х. ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ КУРСА ГИПОКСИТЕРАПИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА //Аллергология и иммунология. – 2007. – Т. 8. – №. 1. – С. 182-182.
265. Караш Ю. М., Стрелков Р. Б., Чижов А. Я. Нормобарическая гипоксия в лечении, профилактике и реабилитации //М.: Медицина. – 1988. – С. 351-352.
266. Чижов А., Потиевская В. Нормализующий эффект нормобарической гипоксической гипоксии //Физиология человека. – 1997. – Т. 23. – №. 1. – С. 108-112.
267. Новиков В. С., Голянич В. М., Шустов Е. Б. Коррекция функциональных состояний при экстремальных воздействиях. – 1998.
268. Елисеев Д. Н. Клинико-физиологическое обоснование использования факторов физической природы и их комбинаций в комплексном лечении больных ишемической болезнью сердца и гипертонической болезнью : дис. – Д.Н. Елисеев–М.: 2007.–48 с, 2007.
269. Лукьянова Л. Д. Сигнальные механизмы гипоксии // монография. – 2019.
270. Загородникова С. И. Влияние интервальной нормобарической гипокситерапии на оксидантно-антиоксидантный статус больных хронической обструктивной болезнью легких : дис. – ГОУ ВПО" Алтайский государственный медицинский университет", 2006.
271. Шатов Д. В. Обоснование и организация применения искусственной адаптации к нормобарической гипоксии в системе мероприятий медицинского обеспечения деятельности специалистов опасных профессий : дис. – Северный государственный медицинский университет, 2015.

272. Кислин М. С., Тюлькова Е. И. Динамика перекисного окисления липидов после тяжелой гипобарической гипоксии в структурах головного мозга крыс. Эффект preconditionирования //Патогенез. – 2008. – Т. 6. – №. 3. – С. 65.
273. Umetani K., Singer D., McCarty R., Atkinson M. 24 Hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and cender over nine decades. JACC 1997;31(3):593-601.
274. Brodsky M. et al. Arrhythmias documented by 24-hour continuous electrocardiographic monitoring in 50 male medical students without apparent heart disease //The American journal of cardiology. – 1977. – Т. 39. – №. 3. – С. 390-395.
275. Stein P. K., Kleiger R. E., Rottman J. N. Differing effects of age on heart rate variability in men and women //The American journal of cardiology. – 1997. – Т. 80. – №. 3. – С. 302-305.
276. Bazett H. An analysis of the time-relations of //Heart. – 1920. – Т. 7. – С. 353.
277. Williams B. et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH) //European heart journal. – 2018. – Т. 39. – №. 33. – С. 3021-3104.
278. Чазова, И.Е. от имени экспертов. Клинические рекомендации. Диагностика и лечение артериальной гипертензии / И.Е. Чазова, Ю.В. Жернакова // Системные гипертензии. -2019. - Т.16, №1. - С. 6-31.
279. Pinsky M. R., Payen D. Functional hemodynamic monitoring //Critical Care. – 2005. – Т. 9. – С. 1-7.
280. Kérdő I. Orv. hétl./Kérdő I //Budapest. – 1953. – Т. 94. – С. 319.
281. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage //Acta neurovegetativa. – 1966. – Т. 29. – №. 2. – С. 250-268.
282. Баевский Р. М. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) //Вестник аритмологии. – 2001. – Т. 24. – №. 6. – С. 86.

283. Баевский Р., Черникова А. Анализ variability сердечного ритма: физиологические основы и основные методы проведения //Cardiometry. – 2017. – Т. 10. – С. 66-76.
284. Schäfer A., Vagedes J. How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability?: A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram //International journal of cardiology. – 2013. – Т. 166. – №. 1. – С. 15-29.
285. Broucqsault-Dédrie C. et al. Measurement of heart rate variability to assess pain in sedated critically ill patients: a prospective observational study //PLoS One. – 2016. – Т. 11. – №. 1. – С. e0147720.
286. Ермолаев, Олег Юрьевич. "Математическая статистика для психологов." (2011), стр 178.
287. Макаров Л. М. и др. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике //Российский кардиологический журнал. – 2014. – №. 2 (106). – С. 6-71.
288. Shaffer F., Ginsberg J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms //Frontiers in public health. – 2017. – Т. 5. – С. 258.
289. Щеголева С.А., Титов П.Л., Пащенко М.С. Статистические методы контроля и управления качеством: законы распределения в физических и технических системах: учебное пособие для вузов / Политехнический институт ДВФУ. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2024. – 1 CD. [56 с.]. – Систем. требования: Acrobat Reader, Foxit Reader либо другой их аналог. – ISBN 978-5-7444-5612-2. – Текст: электронный.
290. Шумейко Н. И., Колбаско А. В. Распространенность нарушений ритма сердца у коренных жителей республики Алтай //Современные наукоемкие технологии. – 2008. – №. 7. – С. 48.
291. Horii M. et al. Changes of heart rate and QT interval at high altitude in alpinists: analysis by Holter ambulatory electrocardiogram //Clinical cardiology. – 1987. – Т. 10. – №. 4. – С. 238-242.

292. Wang J. et al. Association of attenuated leptin signaling pathways with impaired cardiac function under prolonged high-altitude hypoxia //Scientific Reports. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – С. 10206.
293. Burgess K. R., Ainslie P. N. Central sleep apnea at high altitude //Hypoxia: Translation in Progress. – 2016. – С. 275-283.
294. Burgess K. R. et al. Worsening of central sleep apnea at high altitude—a role for cerebrovascular function //Journal of Applied Physiology. – 2013. – Т. 114. – №. 8. – С. 1021-1028.
295. Lenfant C. Adaptation to high altitude //N Engl J Med. – 1971. – Т. 284. – С. 1298-1309. DOI: 10.1056/NEJM197106102842305, 1971
296. Frisancho A. R. Developmental functional adaptation to high altitude //American Journal of Human Biology. – 2013. – Т. 25. – №. 2. – С. 151-168. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22367>
297. Baevsky R. M. Analysis of heart rate variability: history and philosophy, theory and practice //Clinical informatics and telemedicine. – 2004. – Т. 1. – №. 1. – С. 54-64.
298. Bokeriya L. A., Bokeriya O. L., Volkovskaya I. V. Heart rate variability: measurement methods, interpretation, clinical use //Annals of arrhythmology. – 2009. – Т. 6. – №. 4. – С. 21-32.
299. Lutsenko D. G. et al. Two types of autonomic regulation of heart rhythm in human during the over-wintering in the Antarctica //Heart. – 2018. – Т. 50. – С. 70.
300. Русанов В.Б. Механизмы регуляции сердечно-сосудистой системы в космических полетах и наземных экспериментах: автореферат диссертации на соискание степени доктора биологических наук: 3.3.7. / Русанов Василий Борисович; [Место защиты: Ин-т мед.-биол. проблем]. – Москва, 2024. – 54 с.
301. Baevsky R. M. et al. Autonomic regulation of circulation and cardiac contractility during a 14-month space flight //Acta astronautica. – 1998. – Т. 42. – №. 1-8. – С. 159-173.

302. Bersenev E. Y., Rusanov V. B., Chernikova A. G. Issues of health evaluation during simulated space mission to Mars Part 2. Vegetative regulation of blood circulation in the Martian crew individuals in the Mars 500 project //Cardiometry. – 2013. – №. 2. – C. 62.
303. Rusanov V. B., Pastushkova L. Kh., Chernikova A.G., Kashirina D. N., Goncharova A. G., Nosovsky A. M., Kussmaul A.R., Yakhya Y.D., Popova O.V., Brzhozovskiy A. G., Orlov O.I., Larina I. M. Relationship of collagen as the component of the extracellular matrix with the mechanisms of autonomic regulation of the cardiovascular system under simulated conditions of long-term isolation // Life Sciences in Space Research. 2022. V. 32. P. 17-25.
304. Kawasaki A. et al. Impact of long-term daylight deprivation on retinal light sensitivity, circadian rhythms and sleep during the Antarctic winter //Scientific reports. – 2018. – T. 8. – №. 1. – C. 16185.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Артамонов А.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Antarctic station Vostok as an analogue of a future lunar base: physiological reactions of the human cardiorespiratory system during a year-long exposure to the conditions of hypobaric hypoxia, isolation and hypokinesia // The Journal of Space Safety Engineering, выпуск 11, том 2, 2024, стр. 268-280, DOI 10.1016/j.jsse.2024.03.003.
2. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Артамонов А.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Functional status of the human cardiorespiratory system during a one-year expedition at Vostok station in central Antarctica as a model of a long-term lunar base // The Journal of Space Safety Engineering, выпуск 11, том 2, 2024, стр. 281-290, DOI 10.1016/j.jsse.2024.03.004.
3. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Орлов О.И., Ильин Е.А. патент на базу данных № 2022620779, 2022, Функция внешнего дыхания полярников в условиях центральной Антарктиды.
4. Манько О.М., Орлов О.И., Ильин Е.А., Осецкий Н.Ю., патент на базу данных № 2022620657, 2022, Ауторегуляция кровотока сетчатки глаз полярников в условиях центральной Антарктиды.
5. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Ильин Е.А., Орлов О.И. Functional condition of the visual system under the condition of one-year wintering at the Antarctic station Vostok, XXIII Международный симпозиум «Человек в космосе» (Human in Space Symposium), 2021.
6. Манько О.М., Осецкий Н.Ю., Грачева М.А., Коскин С.А., Голубев С.Ю. Dynamics of visual acute and contrast sensitivity in winter conditions at the «Vostok» Antarctic station, XXIII Международный симпозиум «Человек в космосе» (Human in Space Symposium), 2021.
7. Манько О.М., Берсенев Е.Ю., Осецкий Н.Ю., Тихоненко В.М., Берсенева И.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Study of the human cardiorespiratory system

- during a long stay at the Antarctic Vostok station in relation to the future long-term inhabited moon base, 72nd International Astronautical Congress (IAC), 2021.
8. Манько О.М., Берсенева Е.Ю., Осецкий Н.Ю., Тихоненко В.М., Берсенева И.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Study of the human cardiorespiratory system during a long stay at the Antarctic Vostok station in relation to the future long-term inhabited moon base // Proc. Of 72nd International Astronautical Congress (IAC), 2021.
 9. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Берсенева Е.Ю., Ильин Е.А. Организация исследования кардиореспираторной системы полярника в условиях годовой зимовки на станции «Восток» как модели лунной базы, XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти С.П.Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства «Королевские чтения», 2022.
 10. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Артамонов А.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Адаптация сердечно сосудистой системы к экстремальной среде Антарктиды как аналога лунной базы, XIX Симпозиум Эколого-физиологические аспекты адаптации» с международным участием, 2022.
 11. Н.Ю. Осецкий, О.М.Манько, Е.Ю. Берсенева, Е.А. Ильин, Адаптационный потенциал полярников в ходе годичной зимовки в Центральной Антарктиде, XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П.Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства «Королевские чтения», 2023.
 12. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Артамонов А.А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Antarctic station Vostok as an analogue of the future lunar base: physiological reactions of the human cardiorespiratory system during a year-long stay in conditions of hypobaric hypoxia, isolation and hypokinesia // Материалы 12-й Конференции Международной Ассоциации Содействия Космической Безопасности (Proc. Of IAASS 2023), материалы конференции, ISBN 978-90-828378-3-4, 2023.

13. Осецкий Н.Ю., Манько О.М., Артамонов А. А., Ильин Е.А., Орлов О.И. Оценка функциональных резервов кардиореспираторной системы участников полярной экспедиции в условиях годичной зимовки на Антарктической станции Восток, XVIII Конференция по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием «Земля-Орбита-Дальний космос», 2023.