

Оценка адаптационно-приспособительных реакций организма пилотов во время кругосветного арктического перелета

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, Россия, 105275;

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская Академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Баррикадная ул., 2/1, Москва, Россия, 123995

Введение. Комплексное изучение адаптации, изменений функционального состояния участников кругосветного Арктического авиаперелета «Север Ваш» для сохранения высокого уровня работоспособности пилотов остается актуальным. Работа в условиях резкой смены климатических поясов и трансмеридиональных перемещений является причиной формирования неблагоприятных функциональных состояний организма — смещения естественного суточного биологического ритма, что может привести к развитию десинхроноза, гипертензивным реакциям, снижению функциональных резервов физиологических систем, стать фактором риска производственно-обусловленной патологии.

Цель исследования — изучение адаптационно-приспособительных реакций организма участников кругосветного Арктического авиаперелета на резкую смену климатических условий и трансмеридиональных перемещений.

Материалы и методы. Дизайн исследования включал комплексное лабораторно-инструментальное обследование на старте и на финише, включая клинический и биохимический анализ крови, определение степени повреждения ДНК в клетках. Физиологические исследования функционального напряжения организма включало оценку характеристик состояния сердечно-сосудистой системы. Объектами исследований являлись 7 пилотов в возрасте от 39 до 69 лет (средний возраст 55,33 года). Результаты исследований обрабатывались методами вариационной статистики.

Результаты. Выявлено, что знания о функциональной адаптации важны для понимания состояния и прогнозирования работоспособности и надежности деятельности работников.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о высокой адаптационной способности организма пилотов при работе в условиях экстремальных нагрузок во время кругосветного арктического перелета.

Ключевые слова: функциональное состояние; пилоты; адаптация; надежность; кругосветный перелет

Для цитирования: Сериков В.В., Атьков О.Ю., Горохова С.Г., Капустина А.В., Ониани Х.Т. Оценка адаптационно-приспособительных реакций организма пилотов во время кругосветного арктического перелета. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60 (4). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-4-232-237>

Для корреспонденции: Сериков Василий Васильевич, зав. лаб. физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова». E-mail: vasilyi_serikov@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Vasily V. Serikov¹, Oleg Yu. At'kov², Svetlana G. Gorokhova², Angelina V. Kapustina¹, Hristina T. Oniani¹

Assessment of adaptation-adaptive reactions of the pilots' body during the round-the-world Arctic flight

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budennogo Ave., Moscow, Russia, 105275;

²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 2/1, Barrikadnaya str., Moscow, Russia, 123995

Introduction. A comprehensive study of adaptation and changes in the functional state of participants of the Arctic round-the-world flight “North Your” to maintain a high level of performance of pilots remains relevant. Work in conditions of sharp change of climatic zones and transmeridional movement is the cause of the formation of unfavorable functional states of the body — bias natural circadian biological rhythm that can lead to the development of DS, hypertensive reactions, decrease in functional reserves of physiological systems, becoming a risk factor for work-related pathology.

The aim of the study is to study the adaptive responses of the participants of the Arctic round-the-world air flight to a sharp change in climatic conditions and trans-meridional movements.

Materials and methods. The design of the study included a comprehensive laboratory and instrumental examination at the start and finish, including clinical and biochemical blood analysis, determination of the degree of DNA damage in cells. Physiological studies of functional stress of the body included an assessment of the characteristics of the state of the cardiovascular system. The objects of research were 7 pilots aged from 39 to 69 years (average age 55.33 years). The research results were processed using the methods of variation statistics.

Results. It is revealed that knowledge about functional adaptation is important for understanding the state and predicting the performance and reliability of employees.

Conclusions. The results obtained indicate a high adaptive capacity of the pilots' body when working under extreme loads during a round-the-world Arctic flight.

Keywords: functional state; pilots; adaptation; reliability; round-the-world flight

For citation: Serikov V.V., At'kov O.Yu., Gorokhova S.G., Kapustina A.V., Oniani H.T. Assessment of adaptive reactions of the pilots 'body during the round-the-world Arctic flight. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60 (4). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-4-232-237>

For correspondence: Vasily V. Serikov, Head of a labor physiology and preventive ergonomics laboratory of "Izmerov Research Institute of Occupational Health". E-mail: vasily_serikov@mail.ru

ORCID: At'kov O.Yu. 0000-0002-5211-2560, Serikov V.V. 0000-0001-7523-4686, Gorokhova S.G. 0000-0001-7087-8140, Kapustina A.V. 0000-0001-8631-0074, Oniani H.T. 0000-0002-1260-0519

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Введение. Освоение Арктики подразумевает экстремальные, напряженные условия труда, длительное пребывание в которых вызывают стресс и изменения функционального состояния специалистов [1–3]. Успешность выполнения работы зависит от качества функционального состояния человека. В связи с этим возникает необходимость осмысления проблемы эффективности деятельности, адаптации, состояния кардио-респираторной системы и психофизиологических факторов у мужчин среднего и старшего возраста, работающих в экстремальных условиях Арктики.

Это ставит перед наукой конкретные задачи — выявить факторы, влияющие на функциональное состояние, адаптивность, профессионализм специалистов различного возраста. Вопрос о формировании и развитии функциональных состояний и психофизиологических особенностей, адаптивности специалистов среднего и старшего возраста в условиях Арктики сегодня рассматривается редко, что делает актуальным исследование этого вопроса.

Профессиональное возрастное развитие представляет собой вероятностный, алгоритмически не управляемый процесс. Поэтому в контексте общей логики профессионального развития своевременная корректировка на каждом возрастном этапе регуляторных качеств психофизиологической адаптивности, функциональных состояний, психофизиологических свойств работников в нужном направлении может способствовать росту пластичности, компенсаторности, исполнительности вариативности, опережающей ориентировки, что увеличит уровень надежности и безопасности труда работников данных возрастных групп. Опираясь на положения о влиянии функциональных состояний, возраста на эффективность деятельности, психофизиологическую адаптивность субъекта труда в исследовании, был проведен анализ направленности изменений функционального состояния кардио-респираторной системы и психофизиологических свойств в ответ на долгосрочный стресс при резкой смене климатических условий и трансмеридиональных перемещений у участников кругосветного Арктического авиаперелёта «Север Ваш».

Цель исследования — изучение адаптационно-приспособительных реакций организма у участников кругосветного Арктического авиаперелёта на резкую смену климатических условий и трансмеридиональных перемещений.

Материалы и методы. Исследования в производственных условиях проведены на 7 пилотах мужчинах в возрасте от 39 до 69 лет (средний возраст — 55,33 года), которые полностью прошли на самолётах-амфибиях запланированный маршрут World Oceanic International Flight. Продолжительность перелёта составила 6 недель на высоте 3000 метров.

Дизайн исследования включал комплексное лабораторно-инструментальное обследование на старте и после финиша. Основные исследования: клинический анализ крови, биохимический анализ крови, функциональные исследования состояния сердечно-сосудистой системы, психофизиологическое тестирование. Общий и биохимический анализ

крови выполняли стандартными методами. По полученным данным оценивался индекс аллоstaticеской нагрузки (ИАН) [4,5]. Исследования включали определение уровня сонливости и состояния сна. Ряд показателей гемодинамики и работоспособности пилотов мониторировали на особо ответственных, длительных или сложных участках. Психофизиологические исследования проводились на комплексе «УПАДК МК» разработки ЗАО «Нейроком». Кратковременная непрерывная одновременная регистрация показателей сердечного ритма и артериального давления выполнялась при помощи приборного комплекса «спиро-артериокардиограф» (САКР).

Степень повреждения ДНК в клетках определялась с помощью «кометного теста». Индекс повреждения ДНК рассчитывался как отношение суммы клеток с разными степенями повреждения к общей сумме клеток [6,7].

Исследование сна и сонливости проводилось с использованием традиционных шкал: шкала самооценки сна и Каролинская шкала сонливости. Хронотип определялся по опроснику MorningnessEveningnessQuestionnaire (MEQ).

Статистическая обработка результатов проведена с помощью пакета программы «Statistica 6.0» (США).

Результаты. Известно, что успешность адаптации к напряженным условиям окружающей среды определяется, прежде всего, способностью эффективной регуляции функций организма, которая осуществляется на разных уровнях и затрагивает все жизненно важные органы и системы, для чего традиционно используются гомеостатические показатели [8–11]. По результатам исследований выявлено, что перелёт вызвал значимый односторонний сдвиг значений показателей периферической крови: повысился уровень гемоглобина (на 0,6–7%), тромбоцитов и лейкоцитов (на 8–18%), нейтрофилов (на 4–20%), снизился уровень лимфоцитов. Вместе с этим выявлено достоверное увеличение общего белка крови, креатинина, билирубина и аспартатаминотрансферазы, глюкозы. Причем наиболее значимым было повышение глюкозы (от $5,13 \pm 0,08$ до $8,50 \pm 0,37$ ммоль/л) (табл. 1).

Вместе с этим выявлено достоверное увеличение общего белка крови, креатинина, билирубина и аспартатаминотрансферазы, глюкозы. Причем наиболее значимым было повышение глюкозы (от $5,13 \pm 0,08$ до $8,50 \pm 0,37$ ммоль/л).

Направленность изменений этих показателей подтверждает процесс адаптации организма к полярным условиям и быстрым трансмеридиональным перемещениям.

При сравнении значений индекса повреждений ДНК, отражающего степень повреждения ДНК в лимфоцитах крови до и после перелёта, выявлены статистически значимое увеличение числа разрывов ДНК, которое свидетельствует о повреждающем воздействии на клетки и снижении их репарации (рис. 1). Этот признак характерен как для группы, так и для каждого индивида.

Адаптацию на другом уровне, в которую вовлечена вегетативная нервная система, описывают показатели функционального состояния, сердечно-сосудистой системы организма, её реактивности на внешнее воздействие. По

Таблица 1 / Table 1

Динамика параметров периферической крови участников перелёта ($M \pm m$)
Dynamics of peripheral blood parameters of flight participants ($M \pm m$)

Показатель	Старт	Финиш	<i>p</i>
Гемоглобин, г/л	150,33±4,90	155,17±4,45	0,020
Гематокрит, %	41,53±1,46	42,57±1,14	0,116
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$	4,72±0,17	4,87±0,168	0,267
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$	202,83±10,78	235,33±14,27	0,050
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	6,59±0,94	7,81±0,81	0,007
Нейтрофилы, %	55,62±2,87	60,38±2,71	0,028
Лимфоциты, %	32,15±2,57	28,77±2,57	0,028
СОЭ, мм/час	13,33±2,08	5,67±0,72	0,005
Общий белок, г/л	73,33±0,15	81,33±1,31	0,000
Креатинин, мкмоль/л	83,00±4,66	93,00±3,18	0,004
Билирубин, мкмоль/л	16,38±2,20	20,28±2,54	0,038
АлАТ, МЕ/л	23,50±5,18	23,83±4,53	0,437
АсАТ, МЕ/л	22,83±1,66	25,50±1,41	0,031
Глюкоза, ммоль/л	5,13±0,08	8,50±0,37	0,000
Холестерин, ммоль/л	4,40±0,193	4,97±0,43	0,072

Примечания: СОЭ — скорость оседания эритроцитов, АлАТ — аланинаминотрансфераза, АсАТ — аспартатаминотрансфераза.
 Notes: ESR — erythrocyte sedimentation rate, AlAT — alanine aminotransferase, AsAT — aspartate aminotransferase

Таблица 2 / Table 2

Динамика показателей среднесуточного систолического и диастолического АД, частоты сердечных сокращений
Dynamics of average daily systolic and diastolic arterial pressure, heart rate

Показатель	Старт	Финиш	<i>p</i>
САД, мм рт. ст.	121,48 (116,92–126,03)	112,17 (112,17–107,77)	0,004
ДАД, мм рт. ст.	79,40 (76,16–82,64)	73,77 (70,96–76,58)	0,011
Среднее АД, мм рт. ст.	94,92 (91,22–98,63)	87,36 (84,08–90,64)	0,003
ПАД, мм рт. ст.	42,08 (39,02–45,14)	38,41 (35,19–41,62)	0,102
ЧСС, уд./мин.	69,36 (66,76–71,96)	79,55 (75,59–83,51)	0,000

Примечания: САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ПАД — пульсовое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений

Notes: SAD — systolic blood pressure, DAD — diastolic blood pressure, PAD — pulse blood pressure, CSS — heart rate.

данным мониторингирования АД, перед стартом и на финише средние значения систолического и диастолического АД на плечевой артерии у всех участников были в норме. После перелёта выявлено достоверное увеличение ЧСС, снижение систолического и диастолического АД, среднего АД при отсутствии достоверных изменений пульсового АД (табл. 2).

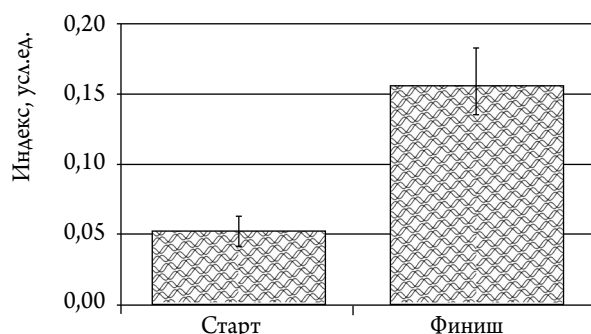


Рис. 1. Индекс, отражающий степень повреждения ДНК;
 * — критерий Манна — Уитни; $p < 0,05$.

Fig. 1. DNA damage index; * — Mann-Whitney criteria; $p < 0,05$

Известно, что преобладание деятельности парасимпатической нервной системы в ночные часы работы приводит к снижению показателей артериального давления. Выявлено на финише уменьшение степени ночного снижения систолического и диастолического АД у всех за исключением одного участника. Выполнение ответственной нервно-эмоциональной работы характеризуется отсутствием ночного снижения АД и указывает на развитие десинхроноза. У обследуемых пилотов наблюдается смена типа «диппер» на «нон-диппер» по систолическому, и диастолическому АД, то есть изменение суточного профиля АД. При регрессионном анализе отмечена тенденция к потере связи между значениями систолического и диастолического АД в ночные часы на финише ($p = 0,068$).

Кроме того, достоверно возрастали ЧСС и общая мощность спектра вариабельности ритма сердца. Всё это свидетельствует о произошедших глубоких изменениях в автономных механизмах регуляции АД, связанных с циркадным десинхронозом. Эти данные согласуются с выводами исследований, в которых установлены изменения хроноструктуры суточной динамики АД и ЧСС у работников заполярной вахты в сравнении с постоянными жителями этих территорий [12–15]. В связи с этим важно подчеркнуть, что для выявления биоритмологической

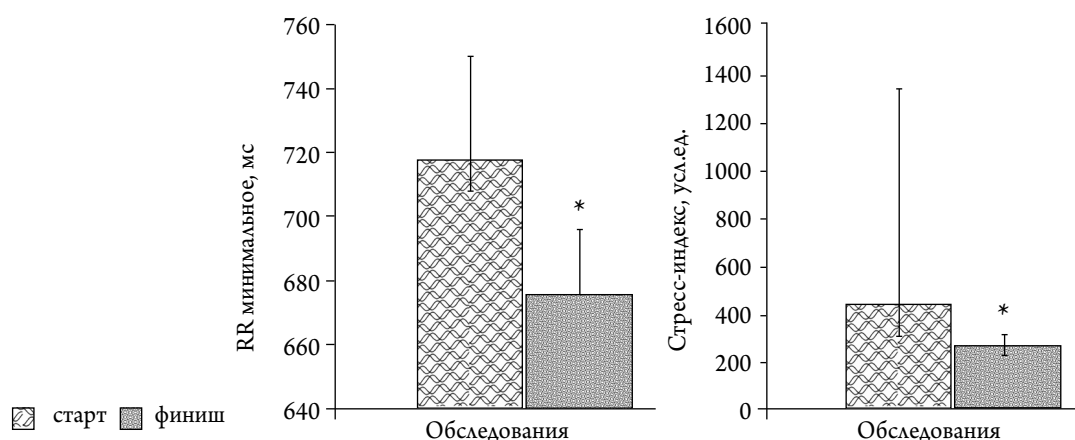


Рис. 2. Показатели вариабельности сердечного ритма в условиях тестирования. Слева — минимальная длительность межсистолических (RR) интервалов (мс), справа — величина стресс-индекса (усл. ед.). Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха. Изменения обоих показателей статистически значимы, $p < 0,05$ по парному критерию Вилкоксона.

Fig. 2. Indicators of heart rate variability in testing conditions. On the left — the minimum duration of intersystolic (RR) intervals (ms), on the right — the value of the stress index (с.у.). Data is presented as a median and interquartile range. Changes in both indicators are statistically significant, $p < 0.05$ by the Wilcoxon paired criterion.

перестройки профиля АД и ЧСС на фоне вегетативного дисбаланса вследствие десинхронизации недостаточно проводить традиционный анализ АД и ЧСС, а следует наряду со стандартными измерениями использовать дополнительные, не менее важные показатели, описывающие цикл «день — ночь», которые определяются при суточном мониторинге.

При изучении вариабельности сердечного ритма отмечено статистически значимое изменение всего по двум показателям: снижение величин минимальной длительности межсистолических (RR) интервалов и стресс-индекса (SI) (рис. 2).

Изменение первого из указанных показателей лежит в основе тенденции (не достигающей уровня статистической значимости) к возрастанию частоты сердечных сокращений ($p = 0,224$) и к возрастанию показателя общей мощности (TP) спектра вариабельности (CP) ($p = 0,138$). Второй показатель — стресс-индекс, который является индикатором степени преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными (в норме колеблется в пределах 80–150 усл. ед.) [16,17]. Постоянное напряжение регуляторных систем (например, при хроническом психоэмоциональном стрессе поднимает стресс-индекс до 400–600 усл. ед., а у спортсменов при выполнении максимальных и субмаксимальных нагрузок данный показатель может достигать 2000 усл. ед. и более [18]. За время перелёта снижение стресс-индекса отмечено у всех участников экспедиции, включая руководителя, состояние которого нормализовалось. Полученные данные снижения величины стресс-индекса, а также снижение систолического, диастолического, среднего АД на плечевой артерии у всех обследованных, расходятся с известными данными о повышении АД у работающих вахтовым методом на Крайнем Севере [3,19,20]. Возможным объяснением обнаруженного факта может быть то, что предполётная подготовка, эмоционально-психологические сложности организации нестандартного перелёта являлись более сильным стрессом, чем реализация своих профессиональных навыков, а сам удачно завершившийся перелёт создал позитивный эмоциональный фон. Об этом говорят психофизиологические результаты о повышении настроения (по методике САН).

Сравнительный анализ полученных данных методики САН позволяет считать, что перед перелётом у всех пилотов наблюдался подъём самочувствия, активности, настроения. Снижение после перелёта показателей самочувствия до 5,03 балла, активности до 5,1 балла говорит о субъективном снижении уровня функционального состояния в связи с высокой напряжённостью данного перелёта.

Показатель настроения, напротив, увеличился до максимальных пределов и достиг 5,9 балла. Вероятно, данный факт связан с удовлетворённостью пилотов достигнутыми результатами сложного перелёта.

Достаточно полно реакцию на стресс описывает концепция аллостазиса. У большинства участников аллостатическая нагрузка существенно возросла, что указывает на функциональное напряжение организма и обусловлено высокой профессиональной и психологической нагрузкой в процессе перелёта.

Об индивидуальной адаптации говорит оценка качества сна и сонливости. Хронотип всех участников характеризовался как «промежуточный»: сумма баллов по опроснику MEQ варьировалась от 50 до 64. При этом исходные параметры качества сна и сонливости индивидуально очень различались и разнонаправленно изменялись во время перелёта. Тем не менее, к концу перелёта разброс значений уменьшился. Субъективное качество сна в целом оценивалось как относительно удовлетворительное (не было отличных оценок, как и крайне неудовлетворительных) [21,22].

Уровень склонности к риску, согласно полученным данным, достоверно значимо снизился после совершенного перелёта. Склонность к риску представляет собой устойчивую, но вторичную характеристику индивида, т. е. обуславливается наличием у человека других особенностей — стремлением к поиску новых ощущений, тревожности, упорства, экстраверсии, не критичности, эмоциональной лабильности. Полученные данные указывают на значимое снижение уровня склонности к риску после совершенного перелёта. Возможно, это связано с тем, что во время Арктического перелёта возникавшие проблемные ситуации запускали рефлексивные процессы у лётчиков, которые приводили к переоценке их системы ценностей и когнитивных моделей.

Определенный интерес представляет изучение профессионально значимой для пилота функции — скорости восприятия зрительной информации. Анализ полученных результатов отражает снижение уровня функционального состояния летчиков после Арктического перелета, по показателям сложной сенсомоторной реакции.

После длительного перелета значимо повышается количество ошибок и количество пропусков целевого сигнала. Накапливаемая в процессе перелета естественная усталость снижает психофизиологический потенциал пилотов, выступая в качестве предиктора снижения надёжности деятельности.

Выполненный арктический авиaperелёт «Север Ваш» явился моделированием продолжительной летней трудовой вахты в условиях Крайнего Севера с участием людей старших возрастных групп, ранее не адаптированных к полярным условиям. В течение всего перелёта они находились под сложным воздействием многих факторов: низкой температуры, непрерывной быстрой смены часовых поясов, продолжительного «полярного дня», высоких гемодинамических нагрузок во время полётов, физического и эмоционального напряжения. Результаты, полученные при изучении динамики функционального состояния участников перелёта, проходившего в указанных условиях, дают важную информацию для оценки возможностей адаптации человека при выполнении сложных производственных заданий.

Выводы:

1. Выявлено характерное для процесса адаптации организма к полярным условиям и трансмеридиональным перемещениям изменение показателей периферической крови: статистически значимое увеличение общего белка крови, креатинина, билирубина, глюкозы.

Обнаружено увеличение числа разрывов ДНК в лимфоцитах крови, что указывает на негативное воздействие экстремальных условий труда на работников.

2. Установлены средние значения показателей гемодинамики в нормальном диапазоне. Отсутствие ночного снижения артериального давления (систолического и диастолического) указывает на развитие десинхроноза, стрессовые воздействия при выполнении арктического перелета приводят к снижению профессионально значимой для пилотов функции восприятия сложной зрительной информации.

3. Подтверждено, что временная работа в условиях Арктики и трансмеридиональных перемещений при наличии комплекса сложных факторов, вызывающих стресс, сопровождается метаболическими сдвигами в рамках срочной адаптации по типу «синдрома полярного напряжения» и, наряду с этим, изменениями, характерными для циркадного десинхроноза.

4. Результатами исследований показано, что при выполнении кругосветного арктического перелета работоспособность в условиях длительного стресса снижалась, но позволяла сохранить основные функции на приемлемом уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике. *Арктика: экология и экономика*. 2015; 1(17): 70–5.
2. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина; 1988.
3. Максимов А.А. Современные проблемы адаптационных процессов и экологии человека в приполярных и арктических

регионах России: концептуальные подходы их решения. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2015; 1: 131–43.

4. Горохова С.Г., Пфаф В.Ф., Мурасеева Е.В. и др. Структура аллостатической нагрузки у работников железнодорожного транспорта. *Мед. труда и пром. экол.* 2016; 4: 5–9.

5. McEwen BS, Gianaros PJ. Stress- and allostasis-induced brain plasticity. *Annu Rev Med.* 2011; 62: 431–45. DOI: 10.1146/annurev-med-100430.

6. Сорочинская У.Б., Михайленко В.М. Применение метода ДНК-комет для оценки повреждения ДНК, вызванных различными агентами окружающей среды. *Онкология*. 2008; 10(3): 303–9.

7. Azqueta A., Collins AR. The essential comet assay: a comprehensive guide to measuring DNA damage and repair. *Arch Toxicol.* 2013; 87(6): 949–68. DOI: 10.1007/s00204-013-10-70-0.

8. Севостьянова Е.В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на севере (литературный обзор). *Бюллетень сибирской медицины*. 2013; 12(1): 93–100.

9. Kalsbeek A., Fleur S., Flievers E. Circadian control of glucose metabolism. *Mol Metab.* 2014; 3(4): 372–83. DOI: 10.1016/j.molmet/2014.03.002.

10. Кузьмина Л.П., Тарасова Л.А. Биохимический профиль организма: Теоретические и практические аспекты изучения и оценки в медицине труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2000; 7: 1–6.

11. Ненашева Р.А. Клинико-биохимические критерии метаболических нарушений у лиц летного состава. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 9: 101.

12. Цфасман А.З., Алпаев Д.В. Циркадная ритмика артериального давления при измененном суточном ритме жизни. М.: Репроцентр-М; 2011.

13. Атьков О.Ю., Цфасман А.З. Профессиональная биоритмология. М.: Эксмо; 2019.

14. Казначеев В.П., Куликов В.Ю., Панин Л.Е. и др. Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. Под ред. В.П. Казначеева. Л.: Медицина; 1980.

15. Поляков В.Я. Особенности суточного мониторинга артериального давления у больных артериальной гипертензией в условиях Севера. *Клиническая медицина*. 2006; 5: 34–7.

16. Pankova N.V., Karganov M.Yu. Changes in the parameters of respiration, blood pressure, heart rate variability, and cardiac performance during adaptation to the conditions of high-latitude marine expedition (Franz Josef Land, 2017). *Int. Psychophysiol.* 2018; 131: 91. DOI: 10.1016/j.jpsycho. 2018.07.255.

17. Gubin D.G., Cornelissen G., Weinert D., Vetoshkin A.S. Circadian disruption and vascular variability disorders (VVD): mechanisms linking aging, disease state and Arctic shift work: Applications for chronotherapy. *World Heart Journal*. 2013; 5(4): 285–306.

18. Коц Я.М. Спортивная физиология. М.: Физкультура и спорт; 1986.

19. Атьков О.Ю., Алчинова И.Б., Полякова М.В. и др. Изменения параметров сердечного ритма и артериального давления за время кругосветного океанического перелета вокруг Северного полюса по Северному Ледовитому океану. *Патогенез*. 2018; 16(3): 90–3.

20. Сухотерин А.Ф., Пашенко П.С., Плахов Н.Н., Журавлев А.Г. Роль симпатoadреномедуллярной системы в формировании адаптации летчиков к летной нагрузке. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2015; 49(5): 49–53.

21. Buxton O.M., Cain S.W., O'Connor S.P. et al. Adverse metabolic consequences in humans of prolonged sleep restriction combined with circadian disruption. *Sci Transl Med.* 2012; 4(129): 129ra–143. DOI: 10.1126/scitranslmed.3003200.

22. Кривошеков С.Г., Леутин В.П., Диверт В.Э. и др. Системные механизмы адаптации и компенсации. *Бюллетень Сибир-*

ского отделения Российской Академии медицинских наук. 2004; 24(2): 148–53.

REFERENCES

1. Solonin Yu.G., Bojko E.R. Medical and physiological aspects of life in the Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2015; 1(17): 70–5 (in Russian).
2. Meerson F.Z., Pshennikova M.G. *Adaptation to stressful situations and physical activity*. M.: Medicina; 1988 (in Russian).
3. Maksimov A.L. Modern problems of adaptation processes and human ecology in the circumpolar and arctic regions of Russia: conceptual approaches to their solution. *Ul'yanovskij mediko-biologicheskij zhurnal*. 2015; 1: 131–43 (in Russian).
4. Gorohova S.G., Pfaf V.F., Muraseeva E.V. et al. Structure of allostatic load in railway transport workers. *Med. truda i prom. ecol*. 2016; 4: 5–9 (in Russian).
5. McEwen BS, Gianaros PJ. Stress- and allostasis-induced brain plasticity. *Annu Rev Med*. 2011; 62: 431–45. DOI: 10.1146/annurev-med-100430.
6. Sorochinskaya U.B., Mihajlenko V.M. Application of the DNA comet method to evaluate DNA damage caused by different environmental agents. *Onkologiya*. 2008; 10 (3): 303–09 (in Russian).
7. Azqueta A., Collins AR. The essential comet assay: a comprehensive guide to measuring DNA damage and repair. *Arch Toxicol*. 2013; 87(6): 949–68. DOI: 10.1007/s00204-013-10-70-0.
8. Sevost'yanova E.V. Features of human lipid and carbohydrate metabolism in the north (literary review). *Byulleten' sibirskoj mediciny*. 2013; 12(1): 93–100 (in Russian).
9. Kalsbeek A., Fleur S., Flievers E. Circadian control of glucose metabolism. *Mol Metab*. 2014; 3(4): 372–83. DOI: 10.1016/j.molmet/2014.03.002.
10. Kuz'mina L.P., Tarasova L.A. Biochemical profile of the body: Theoretical and practical aspects of study and evaluation in occupational medicine. *Med. truda i prom. ecol*. 2000; 7: 1–6 (in Russian).
11. Nenasheva R.A. Clinical and biochemical criteria of metabolic disorders in flight personnel. *Med. truda i prom. ecol*. 2015; 9: 101 (in Russian).
12. Cfasman A.Z., Alpaev D.V. *Circadian rhythm of blood pressure at a changed daily rhythm of life*. M.: Reprocentr-M; 2011 (in Russian).
13. At'kov O.Yu., Cfasman A.Z. *Professional biorhythmology*. M.: Eksmo; 2019 (in Russian).
14. Kaznacheev V.P., Kulikov V.Yu., Panin L.E. et al. Mechanisms for human adaptation in high latitude conditions. Ed. V.P. Kaznacheeva. L.: Meditsina; 1980 (in Russian).
15. Polyakov V.Ya. Features of daily monitoring of blood pressure in hypertensive patients in the North. *Klinicheskaya medicina*. 2006; 5: 34–7 (in Russian).
16. Pankova N.V., Karganov M.Yu. Changes in the parameters of respiration, blood pressure, heart rate variability, and cardiac performance during adaptation to the conditions of high-latitude marine expedition (Franz Josef Land, 2017). *Int. Psychophysiol*. 2018; 131: 91. DOI: 10.1016/j.ijpsycho. 2018.07.255.
17. Gubin D.G., Cornelissen G., Weinert D., Vetoshkin A.S. Circadian disruption and vascular variability disorders (VVD): mechanisms linking aging, disease state and Arctic shift work: Applications for chronotherapy. *World Heart Journal*. 2013; 5(4): 285–306.
18. Koc Ya.M. *Sports physiology*. M.: Fizkul'tura i sport; 1986 (in Russian).
19. Atkov O.Yu., Alchinova I.B., Polyakova M.V. et al. Changes in the parameters of heart rate and blood pressure during the round-the-world ocean voyage around the North Pole through the Arctic Ocean. *Pathogenesis*. 2018; 16(3): 90–3 (in Russian).
20. Suhoterin A.F., Pashchenko P.S., Plahov N.N., Zhuravlev A.G. The role of the sympathoadrenomedullary system in shaping pilots' adaptation to flight loads. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina*. 2015; 49(5): 49–53 (in Russian).
21. Buxton O.M., Cain S.W., O'Connor S.P. et al. Adverse metabolic consequences in humans of prolonged sleep restriction combined with circadian disruption. *Sci Transl Med*. 2012; 4(129): 129ra–143. DOI: 10.1126/scitranslmed.3003200.
22. Krivoshechekov S.G., Leutin V.P., Divert V.E. et al. Systemic adaptation and compensation mechanisms. *Byulleten' Sibirskogo ot-deleniya Rossijskoj Akademii medicinskih nauk*. 2004; 24(2): 148–53 (in Russian).

Дата поступления / Received: 05.02.2020

Дата принятия к печати / Accepted: 13.03.2020

Дата публикации / Published: 14.04.2020