

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА
ПРИ МОРСКИХ ТРАНСШИРОТНЫХ РЕЙСАХ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

Д.М. Федотов, Л.А. Мелькова*, А.Н. Подоплекин**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск)

В работе представлены результаты оценки функционального состояния организма участников научно-образовательной экспедиции «Арктический плавучий университет – 2015» в акваториях Белого и Баренцева морей. Всего обследовано 44 человека в возрасте 20–66 лет, которые, в свою очередь, были разделены на 2 группы: до 35 лет (26 человек) и старше 35 лет (18 человек). Функциональное состояние организма оценивалось в течение 1–5-го дней (1-й этап) и 16–19-го дней (2-й этап) плавания с помощью аппаратно-программных комплексов «Система интегрального мониторинга «Симона 111» и «ВНС-Спектр». В возрастной группе до 35 лет к окончанию плавания отмечалось статистически значимое снижение медианных величин систолического артериального давления на 1,5 % ($p = 0,038$) и среднего артериального давления на 0,6 % ($p = 0,049$). В группе лиц старше 35 лет показатели работы сердечно-сосудистой системы в течение морского рейса значимо не изменялись, что можно объяснить более низкой степенью реактивности сердечно-сосудистой системы. Динамика интегральных показателей свидетельствует о разнонаправленных изменениях текущего функционального состояния участников экспедиции, не выходящих, однако, за рамки возрастных норм. Сравнительная оценка параметров variability сердечного ритма свидетельствует о повышении активности парасимпатических влияний к окончанию рейса у лиц до 35 лет и нарастании активности симпато-адреналовой системы с вкладом в гуморальный компонент регуляции у лиц старше 35 лет. Анализ полученных данных, характеризующих состояние вегетативной нервной системы, позволяет трактовать данные изменения как адекватный ответ сердечно-сосудистой системы участников экспедиции на воздействие комплекса факторов судовой среды. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии значимого негативного воздействия краткосрочного морского рейса в высоких широтах на функциональное состояние организма участников. Однако необходимо дальнейшее изучение вопроса адаптации человека при трансширотных морских рейсах для разработки практических рекомендаций в целях сохранения здоровья лиц, совершающих морские путешествия в регионы высоких широт.

Ключевые слова: адаптация организма к условиям Арктики, морской трансширотный рейс, показатели работы сердечно-сосудистой системы, variability сердечного ритма.

Ответственный за переписку: Федотов Денис Михайлович, адрес: 163000, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3; e-mail: d.fedotov@narfu.ru

Для цитирования: Федотов Д.М., Мелькова Л.А., Подоплекин А.Н. Функциональное состояние организма человека при морских трансширотных рейсах в условиях Арктики // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 1. С. 37–47. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.37

В современном мире наблюдается значительная интенсификация деятельности человека в условиях Крайнего Севера, связанная с увеличением объема добычи природных ресурсов и грузоперевозок, активным развитием различных видов туризма. При этом используются не только сухопутные территории, но и прибрежная и шельфовая акватории, что требует привлечения множества высококвалифицированных кадров морских специальностей.

Многочисленными исследованиями доказано, что осуществление трудовой функции в условиях Крайнего Севера связано со значительной перестройкой многих функциональных систем и может приводить к развитию дизадаптивных состояний, а также сопровождаться повышенным риском утраты здоровья и работоспособности [1–3]. Стоит отдельно подчеркнуть, что при работе на морских судах и плавучих установках в Арктике на человека воздействует целый комплекс неблагоприятных факторов среды, на фоне которых осуществляются трудовая деятельность и отдых. В современной науке имеется достаточно сведений, характеризующих природно-климатические особенности Арктики, способные оказывать влияние на состояние здоровья и работоспособность человека [4–6]. Наряду с этим наблюдается воздействие неблагоприятных факторов судовой среды (микроклимат судовых помещений, шум и вибрация, повышенное содержание в воздухе вредных веществ и др.) и психофизиологических факторов (десинхроноз, групповая изоляция, монотонность и др.). Общее количество факторов судовой среды может достигать нескольких десятков, что также создает определенные трудности в установлении доли их вклада в снижение здоровья и трудоспособности [7–9].

В настоящее время имеется множество данных о развитии адаптивно-приспособительных реакций организма человека при длительном пребывании в условиях Крайнего Севера на примере моряков, военнослужащих, вахтовиков [10–13]. Показано, что на начальном этапе адаптации к интенсивным внешним воздействиям реализуется срочный, но несовершенный на-

бор защитно-компенсаторных реакций, который позволяет поддерживать жизнедеятельность за счет усиления использования функциональных резервов, – так называемая незавершенная адаптация [14]. На основании изучения психофизиологического статуса моряков тралового флота в условиях продолжительного рейса в северных широтах определено, что возможности адаптации организма зависят от функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем – при достаточности их резервов биосоциальная плата за адаптацию в новых условиях минимальна [2]. Установлено, что клиническое и функциональное состояние сердечно-сосудистой системы моряков значимо связано не только с соматическим состоянием (биологически активным возрастом, толерантностью к физическим нагрузкам), но и с эмоционально-психологическим и психофизиологическим статусом плавсостава [15], а также с сезонными изменениями взаимоотношений показателей кардиореспираторной системы [16].

Вместе с тем вопрос об изучении особенностей адаптивного реагирования организма человека при непродолжительном нахождении в Арктике со значительным изменением диапазона широт (трансширотный морской рейс) остается недостаточно изученным, что и определило цель нашего исследования.

Материалы и методы. В 2015 году нами были обследованы 44 участника международной экспедиции «Постигая Русскую Арктику» в возрасте 20–66 лет, которые, в свою очередь, были разделены на две группы: до 35 лет включительно (26 человек) и старше 35 лет (18 человек). Оценку функционального состояния организма проводили с 1-го по 5-й день (1-й этап) и с 16-го по 19-й день (2-й этап) плавания на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов». Перед началом экспедиции все участники прошли медицинское обследование и не имели противопоказаний для участия в морском рейсе. Исследования осуществляли после получения информированного согласия участников, в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной

медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека».

Экспедиция проходила с 1 по 20 июля 2015 года по маршруту г. Архангельск – Соловецкие о-ва – м. Белый нос – арх. Новая Земля – арх. Земля Франца-Иосифа – арх. Новая Земля – о-в Сосновец – г. Архангельск. За время морского рейса пройдено расстояние порядка 3 350 морских миль с перепадом широт более 15° с. ш. Основную часть времени участники посвящали исследовательской деятельности в закрытых помещениях судна, физическая работа осуществлялась во время высадок на сушу и занимала не более 5 % времени морского рейса. В возрастной группе до 35 лет 58,3 % впервые принимали участие в подобной экспедиции, 41,7 % уже имели подобный опыт, в старшей возрастной группе распределение составило 55,6 и 44,5 % соответственно.

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы оценивали с помощью аппаратно-программного комплекса «Система интегрального мониторинга «Симона 111». Определяли следующие показатели: частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), систолическое артериальное давление (AD_c , мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (AD_d , мм рт. ст.), среднее артериальное давление (AD_{cp} , мм рт. ст.), ударный индекс (УИ, мл/м²), сердечный индекс (СИ, л/(мин·м²)), конечный диастолический объем (КДО, мл), конечный диастолический индекс (КДИ, мл/м²), время электрической систолы левого желудочка (РЕР, мс), индекс сократимости миокарда (ИСМ, 1000/с), индекс состояния инотропии (ИСИ, 1/с²), фракцию выброса левого желудочка (ФВ, %), пульсовый индекс периферического сосудистого сопротивления (ПИПСС, $\times 10^{-3}$, дин·с/(см⁵·м²)).

Также разработчиками прибора предложен ряд интегральных величин: интегральный баланс (ИБ, %) – сумма процентных отклонений от нормативных значений всех вышеуказанных показателей, в норме его значение составляет (0±100) %; кардиальный резерв (КР, у. е.) – от-

ражает продолжительность фаз сердечного цикла (время диастолы, электрической и механической систол), в норме – (5±1) у. е.; адаптационный резерв (АР, у. е.) – отражает суммарный баланс ИБ и КР, в норме – (500±100) у. е. При анализе полученных результатов показатели усредняли за 5-минутный отрезок времени.

Вегетативную регуляцию (вариабельность сердечного ритма – ВСР) изучали методом кардиоинтервалографии с помощью аппаратно-программного комплекса «ВНС-Спектр» («Нейрософт», Россия). Оценивали следующие группы показателей вариабельности: 1) временные: стандартное отклонение величин нормальных RR-интервалов (SDNN, мс); квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар NN-интервалов (RMSSD, мс); долю последовательных NN-интервалов, различие между которыми превышает 50 мс (pNN50, %); коэффициент вариации (CV, %); 2) спектральные: общую мощность спектра (TP, мс²); баланс симпатических и парасимпатических влияний (LF/HF); относительные мощности очень низкочастотных (VLF, %), низкочастотных (LF, %), высокочастотных колебаний (HF, %); 3) вариационной пульсометрии: индекс напряжения (ИН, у. е.); вегетативный показатель ритма (ВПР, у. е.); индекс вегетативного равновесия (ИВР, у. е.); показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, у. е.). Запись кардиоинтервалограммы проводили в положении сидя. Согласно рекомендациям рабочей группы Европейского общества кардиологов и Североамериканского общества по электростимуляции и электрофизиологии длительность записи составила 5 мин [17].

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью пакета программ «SPSS 21.0». Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Так как распределение изучаемых показателей отличалось от нормального, результаты представляли в виде медианы (Me) и первого (Q_1) и третьего (Q_3) квартилей. При нормальном распределении количественных данных статистическую значимость различий связанных выборок оценивали с помощью

критерия Вилкоксона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании принимали $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Успешность адаптации человека при морских трансширотных рейсах во многом определяется скорординированностью работы основных жизнеобеспечивающих систем организма. При этом цена адаптации определяется степенью напряжения регуляторных механизмов и величиной израсходованных функциональных резервов. Доказано, что состояние работы сердечно-сосудистой системы является наглядным индикатором функционального состояния организма в целом [18].

Результаты оценки работы сердечно-сосудистой системы участников экспедиции представлены в *табл. 1*.

В возрастной группе до 35 лет к окончанию плавания отмечено статистически значимое

снижение АД_с на 1,5 % ($p = 0,038$) и АД_{ср} на 0,6 % ($p = 0,049$), а также тенденция к снижению АД_д на 1,5 %, увеличение УИ, отражающего пульсовой показатель кровотока, на 3,5 % и СИ, отражающего минутный показатель кровотока, на 2,7 %. В возрастной группе старше 35 лет выявлены тенденции: к увеличению ЧСС – на 5,2 %, АД_с – на 2,8 %; снижению АД_д, АД_{ср}, УИ на 2,1; 1,8; 3,0 % соответственно.

При изучении работы сердечно-сосудистой системы важное место занимает оценка основных гемодинамических показателей факторов работы сердца: преднагрузки, сократимости и постнагрузки. Так, в качестве показателей, характеризующих преднагрузку, мы можем рассматривать КДО и КДИ, отражающие динамический результат уравнивания конечного АД_д эластическим сопротивлением миокарда желудочка. В динамике плавания отмечена тенденция к возрастанию данных показателей в

Таблица 1

**ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕДИЦИИ**

Показатель	Возрастная группа	1-й этап	2-й этап	<i>p</i>
<i>Показатели гемодинамического статуса</i>				
ЧСС, уд./мин	До 35 лет	66,0 (58,2–70,0)	65,5 (60,5–68,7)	0,775
	Старше 35 лет	67,0 (65,2–78,2)	70,5 (62,7–76,5)	0,637
АД _с , мм рт. ст.	До 35 лет	106,5 (102,0–118,7)	105,5 (95,5–110,7)	0,038
	Старше 35 лет	105,0 (95,5–121,2)	108,0 (92,7–115,5)	0,100
АД _д , мм рт. ст.	До 35 лет	65,0 (62,0–73,0)	64,0 (60,5–71,0)	0,195
	Старше 35 лет	68,5 (61,5–78,5)	67,0 (60,0–76,5)	0,286
АД _{ср} , мм рт. ст.	До 35 лет	82,5 (78,2–89,7)	82,0 (76,2–85,5)	0,049
	Старше 35 лет	84,0 (76,5–97,0)	82,5 (76,0–92,5)	0,123
УИ, мл/м ²	До 35 лет	57,0 (50,5–65,7)	59,0 (54,0–63,7)	0,533
	Старше 35 лет	50,5 (42,2–69,2)	49,0 (45,0–57,2)	0,999
СИ, л/(мин·м ²)	До 35 лет	3,7 (3,4–4,0)	3,8 (3,5–4,3)	0,235
	Старше 35 лет	3,5 (3,1–4,0)	3,5 (3,3–4,1)	0,927
<i>Гемодинамические показатели факторов работы сердца</i>				
КДО, мл	До 35 лет	159,5 (141,2–181,2)	169,0 (143,5–196,0)	0,577
	Старше 35 лет	143,0 (122,7–205,0)	150,5 (125,0–176,0)	0,900
КДИ, мл/м ²	До 35 лет	91,5 (79,7–105,5)	93,5 (87,5–102,7)	0,495
	Старше 35 лет	81,5 (68,2–109,7)	82,5 (72,2–90,5)	0,975

Окончание табл. 1

Показатель	Возрастная группа	1-й этап	2-й этап	p
<i>Гемодинамические показатели факторов работы сердца</i>				
PER, мс	До 35 лет	99,5 (95,5–104,0)	96,5 (92,0–105,7)	0,522
	Старше 35 лет	94,0 (88,7–102,7)	94,5 (90,5–102,5)	0,582
ИСИ, 1/с ²	До 35 лет	1,63 (1,28–1,86)	1,84 (1,46–2,18)	0,052
	Старше 35 лет	1,21 (0,59–1,58)	1,32 (0,85–1,43)	0,551
ИСМ, 1000/с	До 35 лет	89,0 (71,2–100,5)	90,0 (76,2–107,0)	0,198
	Старше 35 лет	63,5 (36,2–79,2)	60,5 (49,0–74,2)	0,999
ФВ, %	До 35 лет	63,0 (62,0–63,75)	63,0 (61,0–64,0)	0,503
	Старше 35 лет	63,0 (62,0–65,0)	62,5 (61,7–64,0)	0,303
ПИПСС, $\times 10^{-3}$, дин·с/(см ⁵ ·м ²)	До 35 лет	108,0 (98,0–128,0)	106,5 (91,5–123,5)	0,236
	Старше 35 лет	122,0 (87,7–174,7)	117,0 (107,0–162,5)	0,509
<i>Интегральные показатели</i>				
ИБ, %	До 35 лет	252,7 (105,7–370,5)	278,0 (169,2–376,0)	0,219
	Старше 35 лет	101,0 (–129,5–268,5)	77,5 (–18,5–166,2)	0,708
КР, у. е.	До 35 лет	5,3 (4,7–6,0)	5,4 (4,8–5,8)	0,864
	Старше 35 лет	4,9 (4,4–6,0)	5,0 (4,5–5,5)	0,397
АР, у. е.	До 35 лет	633,0 (547,5–844,2)	666,5 (6,14,0–769,2)	0,819
	Старше 35 лет	540,0 (422,7–674,7)	528,5 (432,5–628,7)	0,551

обеих возрастных группах: до 35 лет – увеличение КДО на 5,5 %, КДИ – на 2,2 %; старше 35 лет – на 5,2 и 1,2 % соответственно. У членов экспедиции до 35 лет наблюдалась тенденция к улучшению сократимости миокарда, проявляющаяся в виде снижения PER на 3,0 % и увеличения ИСИ и ИСМ на 12,9 и 1,1 %. В свою очередь, у лиц старше 35 отмечены разнонаправленные тенденции: увеличение PER на 0,5 %, ИСИ – на 9,1 %; уменьшение ИСМ на 4,7 %. Состояние постнагрузки мы можем охарактеризовать при помощи ПИПСС, отражающего системное сосудистое сопротивление за период одной систолы. В обеих возрастных группах к концу плавания отмечалась тенденция к снижению данного показателя – на 1,4 и 4,1 % соответственно. Таким образом, мы можем констатировать, что за время краткосрочного морского транширотного плавания в условиях Арктики не происходит значимых изменений показателей основных гемодинамических регуляторов работы сердца.

Интегральные показатели оценки работы сердечно-сосудистой системы позволяют оценить ее функциональное состояние и адаптационные возможности в целом. Так, ИБ, отражающий сумму процентных отклонений от нормы вышеописанных показателей, свидетельствовал о некоторой оптимизации функционирования сердечно-сосудистой системы к окончанию плавания у лиц младше 35 лет. У данной группы также отмечалась тенденция к возрастанию КР и АР на 1,9 и 5,3 % соответственно. Для участников экспедиции старше 35 лет характерно снижение ИБ и АР на 23,3 и 2,1 % и возрастание КР на 2,0 %.

Следует подчеркнуть, что за время экспедиции участники преодолели значительное расстояние, пересекли более 15° с. ш., что, в свою очередь, отразилось на функциональном состоянии организма. Известно, что среди показателей работы сердечно-сосудистой системы наиболее чувствительными к изменению земных и космических погодных условий являются уровни

АД_с и ЧСС [19, 20]. Соответственно, выявленные тенденции к увеличению ИСМ, снижению сосудистого тонуса и значимое снижение АД_с и АД_{ср} могут рассматриваться как реализация срочных механизмов адаптации к значительно-му изменению погодных условий во время экспедиции у лиц в возрастной группе до 35 лет. Также на снижение сосудистого тонуса в данной группе могло оказать влияние значительное снижение привычной двигательной активности

во время плавания. Отсутствие значимых изменений у лиц старше 35 лет можно объяснить более низкой степенью реактивности сердечно-сосудистой системы. Динамика интегральных показателей свидетельствует о разнонаправленных изменениях текущего функционального состояния участников экспедиции, не выходящих, однако, за рамки возрастных норм.

Оценка показателей ВСР (табл. 2) позволяет решить вопросы прогнозирования адаптации

Таблица 2

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВСР УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕДИЦИИ

Показатель	Возрастная группа	1-й этап	2-й этап	p
<i>Временные показатели</i>				
SDNN, мс	До 35 лет	58,0 (46,0–68,0)	75,0 (44,0–83,0)	0,286
	Старше 35 лет	35,0 (24,5–38,0)	36,0 (32,8–41,0)	0,528
RMSSD, мс	До 35 лет	45,0 (37,0–58,0)	52,0 (37,0–71,0)	0,477
	Старше 35 лет	21,5 (16,0–28,5)	16,0 (13,3–22,5)	0,161
pNN50, %	До 35 лет	25,9 (17,0–42,1)	29,6 (15,6–38,4)	0,929
	Старше 35 лет	1,54 (0,82–7,25)	0,97 (0,13–1,86)	0,123
CV, %	До 35 лет	6,3 (5,1–7,6)	8,6 (5,2–10,2)	0,213
	Старше 35 лет	4,3 (2,8–5,0)	4,6 (4,3–5,2)	0,208
<i>Спектральные показатели</i>				
TP, мс ²	До 35 лет	1 832,7 (1 653,1–2 211,0)	1 852,8 (1 279,3–7 201,7)	0,182
	Старше 35 лет	4 328,0 (3 351,3–6 686,1)	3 997,0 (2 144,5–5 009,0)	0,327
LH/HF	До 35 лет	2,1 (0,9–3,9)	1,1 (0,5–2,3)	0,155
	Старше 35 лет	1,0 (0,7–1,3)	1,6 (1,3–3,2)	0,093
VLF, %	До 35 лет	38,2 (34,9–41,0)	33,0 (29,8–38,5)	0,021
	Старше 35 лет	44,1 (30,1–52,6)	43,5 (29,9–67,0)	0,674
LF, %	До 35 лет	31,4 (25,8–51,0)	33,8 (24,4–42,9)	0,859
	Старше 35 лет	25,2 (21,7–44,7)	32,4 (20,3–39,7)	0,779
HF, %	До 35 лет	21,4 (12,1–33,0)	30,1 (18,6–45,8)	0,026
	Старше 35 лет	30,8 (20,4–37,0)	15,8 (12,6–29,6)	0,069
<i>Показатели вариационной пульсометрии, у. е.</i>				
ИБР	До 35 лет	164,1 (133,8–234,6)	111,7 (63,3–257,3)	0,534
	Старше 35 лет	87,7 (63,2–106,9)	105,6 (81,1–190,1)	0,208
ПАПР	До 35 лет	51,0 (41,6–64,9)	49,7 (34,6–78,4)	0,722
	Старше 35 лет	36,1 (32,6–39,9)	42,7 (33,4–57,5)	0,161
ВПР	До 35 лет	4,9 (3,8–6,1)	3,2 (2,7–6,0)	0,286
	Старше 35 лет	2,9 (2,4–4,3)	3,6 (3,2–5,5)	0,123
ИН	До 35 лет	91,3 (77,8–147,5)	69,4 (43,0–155,0)	0,477
	Старше 35 лет	47,9 (23,8–66,5)	64,1 (46,7–115,2)	0,123

онно-приспособительных механизмов и контролировать функциональное состояние у лиц трудоспособного возраста в условиях Арктики [2, 20]. При временном анализе ритмограммы в возрастной группе до 35 лет к окончанию плавания статистически значимых изменений не выявлено. Однако отмечалась однонаправленная тенденция к увеличению SDNN, RMSSD, pNN50, CV на 29,3; 15,6; 14,3 и 36,5 % соответственно, что может свидетельствовать о возрастании роли автономной регуляции на сердечный ритм. У лиц старше 35 лет выявлена тенденция к снижению RMSSD, pNN50, CV на 25,6; 3,7 и 7,0 % соответственно, что свидетельствует об усилении влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы.

При оценке отдельных уровней регуляции сердечного ритма с использованием спектральных составляющих кардиоинтервалограммы обнаружены следующие изменения к окончанию рейса. В группе участников экспедиции до 35 лет показатель TP, отражающий суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм, существенно не изменялся. Одновременно с этим отмечалось значимое увеличение высокочастотной составляющей спектра (HF) на 40,7 % ($p = 0,026$) и снижение очень низкочастотной части спектра (VLF) на 13,6 % ($p = 0,021$). Таким образом, состояние вегетативной регуляции у лиц данной группы характеризуется высоким уровнем вагальных влияний на сердечный ритм. В динамике наблюдения баланс отделов вегетативной нервной системы смещается в сторону преобладания активности парасимпатического отдела.

У лиц старше 35 лет к концу рейса не отмечалось значимых изменений спектральных характеристик ВСР. В то же время выявлена тенденция к снижению высокочастотной и очень низкочастотной составляющих спектра на 48,7 и 1,4 % соответственно. Состояние нейрогуморальной регуляции в динамике у лиц данной группы характеризуется снижением уровня вагальных и увеличением вклада гуморально-метаболических влияний в модуляцию сердечного ритма при высоких значениях TP, что может

свидетельствовать о смещении вегетативного баланса в сторону влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы с незначительной активацией барорефлекторного звена регуляции.

При оценке степени адаптации сердечно-сосудистой системы и адекватности процессов регуляции (табл. 2) в возрастной группе до 35 лет установлена тенденция к снижению ИВР на 31,9 %, ПАПР – на 2,5 %, ВПР – на 34,7 %, ИН – на 24,0 %, а в возрастной группе старше 35 лет данные параметры имели тенденцию к повышению: ИВР – на 20,4 %, ПАПР – на 18,3 %, ВПР – на 24,1 %, ИН – на 33,8 %. Эти изменения свидетельствуют о смещении вегетативного баланса в сторону активации парасимпатического звена регуляции у лиц до 35 лет и активации симпатического отдела вегетативной нервной системы у лиц старше 35 лет. Анализ полученных данных, характеризующих состояние вегетативной нервной системы, позволяет трактовать данные изменения как адекватный ответ сердечно-сосудистой системы у участников экспедиции на воздействие комплекса факторов судовой среды. Полученные результаты согласуются с результатами исследований И.Г. Мосягина [2], согласно которым в динамике промысла в зависимости от возраста рыбаков установлено три вида вегетативного реагирования на факторы судовой среды: ваготонический – у лиц до 29 лет; неопределенный – у лиц 30–39 лет и симпатотонический – у лиц старше 40 лет.

Заключение. Таким образом, по результатам оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы участников экспедиции в возрасте до 35 лет выявлены тенденции к увеличению показателей сократимости миокарда, снижению сосудистого тонуса и значимое снижение систолического и среднего артериального давления, которые могут рассматриваться как реализация срочных механизмов адаптации к комплексу специфических факторов судовой среды и значительному изменению погодных условий во время экспедиции. Отсутствие значимых изменений у лиц старше 35 лет можно

объяснить более низкой степенью реактивности сердечно-сосудистой системы. Динамика интегральных показателей свидетельствует о разнонаправленных изменениях текущего функционального состояния участников экспедиции, не выходящих, однако, за рамки возрастных норм.

Сравнительная оценка параметров ВСР свидетельствует о повышении активности парасимпатических влияний к окончанию рейса у лиц до 35 лет и нарастании активности симпатико-адреналовой системы с вкладом в гуморальный компонент регуляции у лиц старше 35 лет. Анализ полученных данных, характеризующих состояние вегетативной нервной си-

стемы, позволяет трактовать данные изменения как адекватный ответ сердечно-сосудистой системы участников экспедиции на воздействие комплекса факторов судовой среды.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии значимого негативного воздействия краткосрочного морского рейса в высоких широтах на функциональное состояние организма участников. Однако необходимо дальнейшее изучение вопроса адаптации человека при трансширотных морских рейсах для разработки практических рекомендаций в целях сохранения здоровья лиц, совершающих морские путешествия в регионы высоких широт.

Список литературы

1. Лупачев В.В., Кубасов Р.В., Богданов Р.Б. Влияние климатогеографических условий на состояние здоровья моряков (на основе анализа публикаций) // Вестн. гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. 2015. № 3(31). С. 30–35.
2. Мосягин И.Г., Хугаева С.Г., Бойко И.М. Психофизиологические стратегии адаптивного профессиогенеза моряков тралового флота в условиях Арктического Севера: моногр. Архангельск, 2013. 196 с.
3. Алексеенко В.Д., Симонова Н.Н., Зуева Т.Н. Влияние производственных факторов на состояние здоровья работников нефтедобычи при вахтовой организации труда в Заполярье // Экология человека. 2009. № 6. С. 47–50.
4. Агаджанян Н.А. Адаптация человека к среде обитания и трудовой деятельности // Бюл. АМН СССР. 1982. № 6. С. 92–97.
5. Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // Экология человека. 2012. № 1. С. 3–11.
6. Гудков А.Б., Щербина Ф.А., Мызников И.Л. Адаптивные реакции организма моряков рыболовского флота. Архангельск, 2011. 239 с.
7. Коновалов Ю.В. Условия труда и состояние здоровья моряков (на примере судов ОАО «Дальневосточное морское пароходство»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 2000. 32 с.
8. Зайцев В.И., Виноградов С.А. Особенности формирования адаптационных реакций организма моряков в условиях высоких широт // Здоровье населения и среда обитания. 2013. № 2. С. 11–13.
9. Ломов О.П., Ахметзянов И.М., Соколов М.О., Левашов С.П., Плахов Н.Н. Физические факторы обитаемости кораблей и судов. СПб., 2014. 560 с.
10. Юрьев Ю.Ю. Кардиореспираторная система и психоэмоциональный статус у рыбаков в динамике арктического рейса: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Архангельск, 2005. 18 с.
11. Щербина Ю.Ф. Адаптивные реакции организма моряков рыболовского флота в динамике 75-суточного рейса // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2014. № 3. С. 91–99.
12. Сарычев А.С. Характеристика адаптивных реакций организма вахтовых рабочих в условиях Заполярья: дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 2012. 301 с.
13. Ермолин С.П. Физиологические реакции организма военнослужащих в условиях Арктической зоны Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Архангельск, 2015. 18 с.
14. Кривошеков С.Г., Леутин В.П., Диверт В.Э., Диверт Г.М., Платонов Я.Г., Ковтун Л.Т., Комлягина Т.Г., Мозолевская Н.В. Системные механизмы адаптации и компенсации // Бюл. Сиб. отд-ния РАМН. 2004. № 2. С. 148–153.

15. Псядло Э.М. Взаимосвязь функционального состояния сердечно-сосудистой системы и психофизиологического статуса моряков // Актуал. проблемы транспорт. медицины. 2014. № 1(35). С. 61–68.
16. Пушкина В.Н., Грибанов А.В. Сезонные изменения взаимоотношений показателей кардиореспираторной системы у юношей в условиях циркумполярного региона // Экология человека. 2012. № 9. С. 23–31.
17. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurement. Physiological Interpretation and Clinical Use // Circulation. 1996. Vol. 93. P. 1043–1065.
18. Баяевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические основы и возможности клинического применения // Ультразв. диагностика и функц. диагностика. 2001. № 3. С. 108–127.
19. Зенченко Т.А., Скавуляк А.Н., Хорсева Н.И., Бреус Т.К. Характеристика индивидуальных реакций сердечно-сосудистой системы здоровых людей на изменения метеорологических факторов в широком диапазоне температур // Геофиз. процессы и биосфера. 2013. № 1. С. 22–43.
20. Марков А.Л., Зенченко Т.А., Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Чувствительность к атмосферным и геомагнитным факторам функциональных показателей организма здоровых мужчин – жителей Севера России // Авиакосм. и экол. медицина. 2013. Т. 47, № 2. С. 29–32
21. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново, 2000. 200 с.

References

1. Lupachev V.V., Kubasov R.V., Bogdanov R.B. Vliyanie klimatogeograficheskikh usloviy na sostoyanie zdorov'ya moryakov (na osnove analiza publikatsiy) [Effect of Climatic and Geographical Conditions on the Health of Seamen (Based on the Analysis of Publications)]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2015, no. 3, pp. 30–35.
2. Mosyagin I.G., Khugaeva S.G., Boyko I.M. *Psikhofiziologicheskie strategii adaptivnogo professiogeneza moryakov tralovogo flota v usloviyakh Arkticheskogo Severa* [Psychophysiological Strategy of Adaptive Genesis of Trawler Fleet Sailors in the Arctic North]. Arkhangelsk, 2013. 196 p.
3. Alekseenko V.D., Simonova N.N., Zueva T.N. Vliyanie proizvodstvennykh faktorov na sostoyanie zdorov'ya rabotnikov nefte dobychi pri vakhtovoy organizatsii truda v Zapolyar'e [Influence of Industrial Factors on Health Status of Oil Production Workers During Rotations in Polar Region]. *Ekologiya cheloveka*, 2009, no. 6, pp. 47–50.
4. Agadzhanyan N.A. Adaptatsiya cheloveka k srede obitaniya i trudovoy deyatel'nosti [Human Adaptation to the Living and Working Environment]. *Byulleten' AMN SSSR*, 1982, no. 6, pp. 92–97.
5. Khasnulin V.I., Khasnulin P.V. Sovremennyye predstavleniya o mekhanizmax formirovaniya severnogo stressa u cheloveka v vysokikh shirotax [Modern Concepts of the Mechanisms Forming Northern Stress in Humans in High Latitudes]. *Ekologiya cheloveka*, 2012, no. 1, pp. 3–11.
6. Gudkov A.B., Shcherbina F.A., Myznikov I.L. *Adaptivnye reaksii organizma moryakov rybopromyslovogo flota* [The Body's Adaptive Response in Fishing Fleet Sailors]. Arkhangelsk, 2011. 239 p.
7. Kononov Yu.V. *Usloviya truda i sostoyanie zdorov'ya moryakov (na primere sudov OAO "Dal'nevostochnoe morskoe parokhodstvo")*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Working Conditions and Health of Sailors (Exemplified by the Ship Crews of Far-Eastern Shipping Company): Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Vladivostok, 2000. 32 p.
8. Zaytsev V.I., Vinogradov S.A. Osobennosti formirovaniya adaptatsionnykh reaksii organizma moryakov v usloviyakh vysokikh shirot [Features of Formation of Adaptive Reactions in Sailors at High Latitudes]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2013, no. 2, pp. 11–13.
9. Lomov O.P., Akhmetzyanov I.M., Sokolov M.O., Levashov S.P., Plakhov N.N. *Fizicheskie faktory obitaemosti korably i sudov* [Physical Factors of Habitability of Ships and Other Vessels]. St. Petersburg, 2014. 560 p.
10. Yur'ev Yu.Yu. *Kardiorespiratornaya sistema i psikhoemotsional'nyy status u rybakov v dinamike arkticheskogo reysa*: avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Cardiorespiratory System and the Psycho-Emotional Status of Sailors the Dynamics of an Arctic Voyage: Cand. Med. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2005. 18 p.
11. Shcherbina Yu.F. Adaptivnye reaksii organizma moryakov rybopromyslovogo flota v dinamike 75-sutochnogo reysa [Adaptive Response in Fishing Fleet Seamen During a 75-Day's Voyage]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2014, no. 3, pp. 91–99.

12. Sarychev A.S. *Kharakteristika adaptivnykh reaktsiy organizma vakhtovykh rabochikh v usloviyakh Zapolyar'ya*: dis. ... d-ra med. nauk [Description of Adaptive Response in Rotational Workers in the Arctic: Dr. Med. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2012. 301 p.
13. Ermolin S.P. *Fiziologicheskie reaktsii organizma voennosluzhashchikh v usloviyakh Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii*: avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Physiological Response in Military Men Serving in the Russian Arctic: Cand. Med. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2015. 18 p.
14. Krivoshechekov S.G., Leutin V.P., Divert V.E., Divert G.M., Platonov Ya.G., Kovtun L.T., Komlyagina T.G., Mozolevskaya N.V. Sistemnye mekhanizmy adaptatsii i kompensatsii [System Mechanisms of Adaptation and Compensation]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*, 2004, no. 2, pp. 148–153.
15. Psyadlo E.M. Vzaimosvyaz' funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy i psikhofiziologicheskogo statusa moryakov [The Relationship Between the Functional State of the Cardiovascular System and the Psychophysiological Status of Seamen]. *Aktual'nye problemy transportnoy meditsiny*, 2014, no. 1, pp. 61–68.
16. Pushkina V.N., Gribov A.V. Sezonnaya izmeneniya vzaimootnosheniya pokazateley kardiorespiratornoy sistemy u yunoshy v usloviyakh tsirkumpolyarnogo regiona [Seasonal Changes of Interrelations Between Cardiorespiratory System Characteristics of Youths in Conditions of Circumpolar Region]. *Ekologiya cheloveka*, 2012, no. 9, pp. 23–31.
17. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurement. Physiological Interpretation and Clinical Use. *Circulation*, 1996, vol. 93, pp. 1043–1065.
18. Baevskiy R.M., Ivanov G.G. Variabel'nost' serdechnogo ritma: teoreticheskie osnovy i vozmozhnosti klinicheskogo primeneniya [Heart Rate Variability: Theoretical Basis and Clinical Applications]. *Ul'trazvukovaya diagnostika i funktsional'naya diagnostika*, 2001, no. 3, pp. 108–127.
19. Zenchenko T.A., Skavulyak A.N., Khorseva N.I., Breus T.K. Kharakteristika individual'nykh reaktsiy serdechno-sosudistoy sistemy zdorovykh lyudey na izmeneniya meteorologicheskikh faktorov v shirokom diapazone temperatur [Characteristics of Individual Reactions of the Cardiovascular System of Healthy People to Changes in Meteorological Factors in a Wide Temperature Range]. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*, 2013, no. 1, pp. 22–43.
20. Markov A.L., Zenchenko T.A., Solonin Yu.G., Boyko E.R. Chuvstvitel'nost' k atmosferym i geomagnitnym faktoram funktsional'nykh pokazateley organizma zdorovykh muzhchin – zhiteley Severa Rossii [Sensitivity of the Body's Functional Parameters to Atmospheric and Geomagnetic Factors in Healthy Male Dwellers of the Russian North]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 29–32.
21. Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya* [Heart Rate Variability: The Experience of Practical Application]. Ivanovo, 2000. 200 p.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.37

Denis M. Fedotov, Lyubov' A. Mel'kova*, Artem N. Podoplekin**

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

THE FUNCTIONAL STATE OF THE HUMAN BODY DURING TRANSLATITUDE SEA VOYAGES IN THE ARCTIC

This paper studied the body's functional state in the members of the research expedition "Arctic Floating University – 2015" in the White and Barents Sea basins. A group of 44 people aged between 20 and 66 years took part in this study. The sample was divided into 2 groups by their age: up to 35 years (26 subjects) and older than 35 years (18 subjects). The functional state of the body was evaluated during the first 5 days (Phase 1) and from the 16th to the 19th day (Phase 2) of the voyage using the

following computer appliances: Simona 111 Integrated Monitoring System and VNS-Spektr. The age group up to 35 years showed by the end of the voyage a statistically significant reduction in median values of systolic blood pressure by 1.5 % ($p = 0.038$) and of mean arterial blood pressure by 0.6 % ($p = 0.049$). In the group of subjects older than 35 years, cardiovascular system parameters did not change significantly during the voyage, which can be explained by a lower degree of reactivity of the cardiovascular system. The dynamics of the changes in integral indicators suggests multidirectional changes in the current functional state of the expedition members, which, however, stays within the limits of their age norms. A comparative evaluation of heart rate variability parameters shows an increasing activity of parasympathetic effects by the end of the voyage in subjects up to 35 years old and a growing activity of the sympathoadrenal system with an impact on the humoral component of regulation in subjects older than 35 years. An analysis of the data on the state of the autonomic nervous system allows us to interpret these changes as an adequate response of the cardiovascular system of the expedition members to a number of factors of the environment on board. The results showed no significant negative impacts of a short-term sea voyage in high latitudes on the functional state of the body of expedition members. However, further research into human adaptation during translatitude sea voyages is required in order to develop practical recommendations for health maintenance in people undertaking sea voyages to high latitudes.

Keywords: *human adaptation to Arctic conditions, translatitude sea voyage, cardiovascular system parameters, heart rate variability.*

Поступила 16.05.2016
Received 16 May 2016

Corresponding author: Denis Fedotov, *address:* proezd Badigina 3, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; *e-mail:* d.fedotov@narfu.ru

For citation: Fedotov D.M., Mel'kova L.A., Podoplekin A.N. The Functional State of the Human Body During Translatitude Sea Voyages in the Arctic. *Journal of Medical and Biological Research*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 37–47. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.37