

УДК 612.084+57.054

Карганов М.Ю.^{1,2,3}, Панкова Н.Б.¹, Карандашов В.И.², Хлебникова Н.Н.¹, Алчинова И.Б.^{1,3}, Полякова М.В.^{1,3}

Эффекты профилактической фототерапии в синем диапазоне спектра в условиях высокоширотной морской экспедиции

Karganov M.Yu., Pankova N.B., Karandashov V.I., Khlebnikova N.N., Alchinova I.B., Polyakova M.V.

The effects of prophylactic phototherapy in the blue range of the spectrum in terms of high-latitude marine expedition

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии РАН», г. Москва² ФГБУ «ГНЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина ФМБА России», г. Москва³ НИИ космической медицины ФГБУ «ФНКЦ специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, г. Москва

В ходе высокоширотной морской экспедиции (острова Земли Франца-Иосифа) изучали адаптацию организма к меняющимся климатогеографическим условиям и повышенным физическим нагрузкам в течение 1 месяца. Проведенные исследования позволили установить, что ежедневное (2 сеанса по 12 мин) применение светового излучения с длиной волны 470 ± 10 нм оказывает значимое влияние на динамику адаптации кардио-респираторной системы участников экспедиции к условиям Севера. У участников эксперимента, вошедших в опытную группу, оказались менее выраженными такие сдвиги, как снижение пальцевого АД (в разных условиях тестирования), показателей сердечной производительности, и снижение реактивности спектральных показателей вариабельности пальцевого АД при выполнении нагрузочных дыхательных проб. Выявлена тенденция к снижению интоксикационно-подобного компонента в распределении частиц, определяемом методом лазерной корреляционной спектроскопии в моче участников экспедиции, применявших профилактическую фототерапию, по сравнению с контрольной группой. На фоне общей тенденции к улучшению самочувствия и повышению активности группа, применявшая браслеты с синим светом, отличалась большей выраженностью этих эффектов. **Ключевые слова:** адаптация организма к условиям Крайнего Севера, кардио-респираторная система, синий свет, лазерная корреляционная спектроскопия, периферическое артериальное давление.

During high-latitude marine expedition (Islands of Franz Josef Land) the adaptation of the organism to changing climatic conditions and increased physical activity for 1 month was studied. Carried out tests have allowed to establish that a daily (2 sessions – 12 min) application of light radiation with a wavelength of 470 ± 10 nm has a significant influence on the dynamics of adaptation of cardio-respiratory system of members of the expedition to the North. The participants included in the experimental group had less pronounced such shifts as the reduction in finger BP (different testing conditions), indicators of cardiac performance and decrease the reactivity of the spectral variability rate of the finger BP during the respiratory test. There is a tendency to reduce intoxication-like components in the distribution of the particles, determined by laser correlation spectroscopy in the urine of participants of the expedition, receiving prophylactic phototherapy compared with the control group. On the background of the general trend toward improvement of health and increasing the activity of the group, applying bracelets with blue light, had a high intensity of these effects. **Keywords:** adaptation of the organism to Far North conditions, cardio-respiratory system, blue light, laser correlation spectroscopy, peripheral blood pressure.

Введение

При освоении Арктики необходимо учитывать суровые, граничащие с экстремальными условия окружающей среды. Отличительными особенностями этих условий являются: колебания температуры и атмосферного давления, жесткий ветровой режим, аномальное поведение магнитного поля и атмосферного электричества, нехарактерная для других регионов фотопериодичность (полярные день/ночь) [3]. Сочетанное действие перечисленных факторов обуславливает отнесение Крайнего Севера к зоне дискомфорта с элементами экстремальности, что выдвигает повышенные требования к функциональным системам человека [12].

Цель исследования – изучение изменений в состоянии кардио-респираторной системы и метаболических сдвигов на стадии адаптивного напряжения при краткосрочном пребывании в условиях морской экспедиции на Крайнем Севере под влиянием кратковременного светового излучения с длиной волны 470 ± 10 нм.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено во время проведения комплексной научно-практической и историко-мемориальной

экспедиции «Открытый океан: архипелаги Арктики – 2017. Два капитана» на острова Земли Франца-Иосифа, организованной ассоциацией «Морское наследие: исследуем и сохраним» и клубом «Живая природа». В ходе экспедиции изучали адаптацию организма к меняющимся климатогеографическим условиям и повышенным физическим нагрузкам.

Обследования были проведены с использованием отечественного программно-аппаратного комплекса, ранее успешно применявшегося для оценки состояния военнослужащих различных специальностей, работников предприятий ядерно-топливного цикла, спортсменов [15]. Комплекс позволяет оценивать адаптационные ресурсы организма с помощью функциональных проб в ходе динамических исследований. Этот подход позволяет выявлять признаки функционального напряжения на стадиях, задолго предшествующих развитию дисрегуляции. Для выяснения возможного адаптогенного эффекта местного воздействия синим светом в условиях Крайнего Севера часть членов экспедиции проходила сеансы профилактической фототерапии с использованием оптического излучения синего диапазона, т. к. именно оно играет особую роль в регуляции морфогенетиче-

ских процессов, обеспечивающих жизнедеятельность организмов [4, 16].

В исследовании приняли участие 9 человек, из них 4 вошли в контрольную группу (группа «к»), 3 мужчины и 1 женщина, средний возраст 41 ± 5 лет), 5 человек – в экспериментальную (группа «о», все мужчины, средний возраст 45 ± 4 года).

Участники экспедиции, входившие в экспериментальную группу «о», ежедневно применяли браслет автономный светоизлучающий (БАСИ) (регистрационное удостоверение № ФСР 2012/13206). Воздействие состояло из двух сеансов по 12 мин и осуществлялось в интервал 8.00–9.00. Суммарная энергия излучения составляла 58 Дж.

Для оценки функционального состояния кардио-респираторной системы использовали две группы показателей. Измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД) аускультативным методом на плече при помощи тонометра UA-777 (A&D Medical, Япония) с последующим расчетом индекса Робинсона и индекса функциональных изменений (ИФИ) [1]. Данные параметры оценивали в состоянии покоя и при выполнении функциональных нагрузочных проб Штанге, Генчи, Руфье (11).

Измерение текущей ЧСС и пальцевого АД (пАД) с последующим расчетом спектральных показателей variability сердечного ритма (СР) и пАД, сердечной производительности и чувствительности спонтанного артериального барорефлекса (ЧБР) методом спиреокардиокардиографии (САКР) [9, 10]. Данные параметры также оценивали в состоянии покоя и при выполнении дыхательных проб: тестирование в спирометрической маске с произвольным или контролируемым (6 дыхательных циклов в минуту) дыханием. Длительность каждой регистрации составляла 2 минуты. Оценивали как сами показатели сердечно-сосудистой системы, так и степень их изменения (реактивность) при смене режима тестирования.

Измерения показателей кардио-респираторной системы проведены дважды: сразу после выхода из порта Мурманск (7–8 августа) и непосредственно перед возвращением (3–4 сентября).

Ввиду малочисленности выборок, а также опираясь на полученные ранее данные о лог-нормальности распределения изучаемых величин [8], статистическую обработку данных проводили с использованием непараметрических критериев (Манна–Уитни для независимых выборок, парный критерий Вилкоксона для повторных изменений). Данные представлены в виде $Me (Q1; Q3)$.

Оценку интегральных метаболических сдвигов осуществляли методом лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС) мочи. Образцы мочи собирали в начале экспедиции, через 2 недели после выхода в море и непосредственно перед возвращением, замораживали и хранили при -18°C до измерения на приборе «ЛКС-03-ИНТОКС» (Сертификат RU.C. 39.003.A N 5381, регистрационное удостоверение № ФСР 2010/08619) по ранее описанной методике [14]. Весь диапазон спектра делится на 4 информативные дискретные зоны (по размерам светорассеивающих частиц): I – менее 75 нм;

II – 76–220 нм; III – 221–1500 нм; IV – выше 1500 нм. Согласно информации, полученной при изучении различных патологических состояний, в эти зоны попадают молекулярные компоненты клеток от полипептидных фрагментов до высокомолекулярных белковых комплексов. В зависимости от увеличения (или снижения) процентного вклада в светорассеяние частиц той или иной фракции была предложена семиотическая классификация ЛКС образцов, включающая идентификацию 8 различных направлений сдвигов в обмене веществ и гуморальном иммунитете.

В ходе психологической диагностики САН (самочувствие – активность – настроение) оценивали изменения физического и психологического состояния испытуемых в стрессогенных условиях экспедиции. Диагностику осуществляли с помощью опросников, предполагающих многократное использование. Тесты проводили дважды: в начале и в конце экспедиции. Опросник включает 30 пар противоположных характеристик, по которым испытуемые оценивали свое состояние, отмечая степень выраженности той или иной характеристики на заданной шкале (от 0 до 3). Средний балл шкалы равен 4. Оценки, превышающие 4 балла, свидетельствуют о благоприятном состоянии испытуемого, ниже 4 – о неблагоприятном состоянии. Нормальные оценки состояния располагаются в диапазоне 5,0–5,5 балла. Следует учесть, что при анализе функционального состояния важны не только значения отдельных показателей, но и их соотношение. У отдохнувшего человека оценки активности, настроения и самочувствия обычно примерно равны. По мере нарастания усталости соотношение между ними изменяется за счет относительного снижения самочувствия и активности по сравнению с настроением. Кроме того, участники экспедиции выполняли корректурную пробу (тест Бурдона) по общепринятой методике (1). Процедура проведения корректурной пробы позволяет оценить устойчивость и концентрацию произвольного внимания.

Результаты исследования и обсуждение

Как показал статистический анализ, при исходном обследовании (перед экспедицией) по большинству показателей кардио-респираторной системы между представителями обеих групп не было зарегистрировано значимых различий.

Однако в опытной группе зарегистрированы более низкие показатели ЧБР, свидетельствующие о возможных проблемах автономной регуляции, отмечена незначительная разница величин КСО, КДО, УО опытной группы, что можно объяснить значительно большей массой и индексом массы тела участников в опытной группе. Этим же объясняются высокие показатели дыхательного объема (ДО). В табл. 1 приведены только показатели, имеющие отличия в группах. Остальные показатели (большинство) были в пределах нормы.

За время между обследованиями (4 недели) ни в одной из групп участников эксперимента не произошло статистически значимых изменений ЧСС, АД, расчетных индексов на их основе, результатов выполнения нагрузочных проб и спектральных показателей variability СР и ЧБР. Однако обнаружены сдвиги в показателях

Таблица 1

Исходные показатели кардио-респираторной системы у участников эксперимента (первое тестирование) из разных групп

Показатель	Контроль (n = 4)	Опыт (n = 5)	p (M-U)
Возраст, лет	41,2 (33,0; 49,4)	43,3 (38,7; 43,6)	0,999
Масса тела, кг	66,0 (59,5; 79)	85,0 (82,0; 101,0)	0,086
Индекс массы тела, кг/м ²	22,1 (20,1; 25,7)	28,0 (27,9; 29,1)	0,142
Дыхательный объем, мл	477 (423; 556)	660 (579; 848)	0,043*
Систолическое АД, мм рт. ст.	121 (101; 134)	130 (130; 131)	0,624
Диастолическое АД, мм рт. ст.	73 (67; 81)	81 (72; 81)	0,624
Систолическое ПАД, мм рт. ст.	143 (135; 154)	153 (147; 164)	0,462
Диастолическое ПАД, мм рт. ст.	85 (78; 86)	93 (89; 122)	0,142
КСО, мл	21,9 (17,4; 27,7)	31,5 (29,5; 32,7)	0,050*
КДО, мл	65,2 (63,7; 80,3)	98 (92,5; 99,5)	0,050*
УО, мл	47,8 (41,9; 57,0)	65,3 (63,0; 66,6)	0,050*
ЧБР, мс/мм рт. ст.	8,6 (6,3; 9,9)	3,1 (2,8; 6,7)	0,050*

Примечание. * – статистическая значимость межгрупповых различий по критерию Манна–Уитни.

сердечной производительности, ПАД и его вариабельности, имеющие свои особенности в разных группах.

Так, при тестировании в состоянии покоя (без спирометрической маски) выявлена тенденция ($p = 0,086$) к различию между группами по изменению величины конечно-систолического объема сердца (КСО), хотя внутри групп изменения данного показателя уровня статистической значимости не достигли (табл. 2).

Изменения величин конечно-диастолического (КДО) и ударного (УО) объемов сердца были незначимы. В обеих группах при данных условиях тестирования выявлено

снижение систолического ПАД, причем в наибольшей степени – в контрольной группе.

Аналогичные закономерности изменений ПАД обнаружены при тестировании участников экспедиции в надетой спирометрической маске с произвольным дыханием (табл. 3). Однако в данных условиях, ограничивающих легочную вентиляцию и являющихся умеренной нагрузочной пробой для дыхательной системы [7], в опытной группе произошло существенное возрастание КСО, что значимо отличается от динамики данного показателя в контроле. Анализ реактивности показателей при смене условий тестирования от тестирования без маски к тестированию в маске с произвольным дыханием выявил, что в контрольной группе произошло значимое возрастание реактивности относительной мощности диапазона HF спектра вариабельности СР ($p = 0,034$) и мощности диапазона LF в спектре вариабельности диастолического ПАД ($p = 0,076$). В опытной группе оба показателя значимо снижались ($p = 0,050$ в обоих случаях), различия между группами значимы ($p = 0,014$ и $p = 0,050$ соответственно).

При увеличении нагрузки на дыхательную систему – переходе к дыханию с частотой 6 циклов в минуту – сохранились закономерности динамики систолического ПАД, и к ним добавились аналогичные изменения в уровне диастолического ПАД (табл. 4). Однако степень изменения показателей сердечной производительности ни в одной группе не достигла уровня статистической значимости, как и уровень межгрупповых различий.

Таблица 2

Степень изменения (в %) величин ПАД и сердечной производительности (конечно-систолический, конечно-диастолический и ударный объемы сердца) за время экспедиции в разных группах, при тестировании в спокойном состоянии (без маски)

Показатель	Контроль	Опыт	p (M-U)
Систолическое ПАД	-24,1 (-34,2; -22,2) [#]	-9,3 (-13,6; -1,4) [#]	0,050*
Диастолическое ПАД	-16,2 (-39,7; 12,2)	12,7 (-29,5; 15,7)	0,462
КСО	-22,9 (-48,0; 0,9)	11,5 (7,2; 14,0)	0,086
КДО	-1,9 (-23,6; 1,1)	7,7 (-2,2; 7,9)	0,221
УО	-1,2 (-20,7; 14,0)	4,9 (-6,4; 6,2)	0,806

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: [#] – статистическая значимость изменения за время экспедиции ($p < 0,05$ по парному критерию Вилкоксона); * – статистическая значимость межгрупповых различий по критерию Манна–Уитни.

Таблица 3

Степень изменения (в %) величин ПАД и сердечной производительности (конечно-систолический, конечно-диастолический и ударный объемы сердца) за время экспедиции в разных группах, при тестировании в надетой спирометрической маске с произвольным дыханием

Показатель	Контроль	Опыт	p (M-U)
Систолическое ПАД	-27,6 (-37,1; -18,2) [#]	-8,1 (-13,6; -5,5) [#]	0,050*
Диастолическое ПАД	-12,5 (-31,2; -3,5)	7,9 (-1,6; 20,8)	0,142
КСО	-16,9 (-32,5; 0,4)	8,8 (3,3; 9,4) [#]	0,050*
КДО	-1,0 (-11,8; 1,0)	3,9 (-3,8; 5,2)	0,327
УО	0,2 (-9,7; 11,5)	1,6 (-6,8; 3,2)	0,806

Таблица 4

Степень изменения (в %) величин ПАД и сердечной производительности (конечно-систолический, конечно-диастолический и ударный объемы сердца) за время экспедиции в разных группах, при тестировании в надетой спирометрической маске с дыханием 6 циклов в минуту

Показатель	Контроль	Опыт	p (M-U)
Систолическое ПАД	-29,2 (-38,3; -24,5) [#]	-10,6 (-11,2; -8,7) [#]	0,014*
Диастолическое ПАД	-26,1 (-44,1; -10,8) [#]	2,6 (1,1; 7,2)	0,050*
КСО	-23,6 (-53,3; 3,5)	2,1 (0,4; 18,0)	0,142
КДО	-12,4 (-34,8; 0,9)	2,0 (-2,1; 2,2)	0,122
УО	-3,1 (-21,5; 0,1)	-1,9 (-4,8; 2,1)	0,624

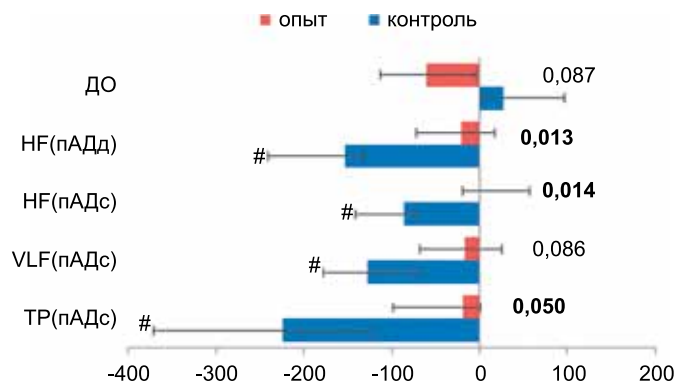


Рис. 1. Изменение (в %) реактивности показателей ДО и спектральных параметров вариальности систолического и диастолического ПАД: общая мощность спектра (TP), мощность диапазонов VLF и HF. Статистическая значимость изменения за время экспедиции ($p < 0,05$ по парному критерию Вилкоксона) обозначена #, статистическая значимость межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни приведена справа

Анализ реактивности показателей при смене паттерна дыхания показал, что между группами участников эксперимента наблюдаются различия по динамике спектральных показателей вариальности как систолического, так и диастолического ПАД. Так, для контрольной группы оказалось характерным снижение реактивности общей мощности спектра систолического ПАД (TP) и его диапазонов VLF и HF, и снижение реактивности мощности диапазона HF в спектре вариальности диастолического ПАД (рис. 1). В опытной группе такие изменения отсутствовали, межгрупповые различия достигли уровня статистической значимости.

Полученные данные свидетельствуют о том, что за время морской высокоширотной экспедиции изменения функционального состояния кардио-респираторной системы оказались незначительными. Большинство основных показателей гемодинамики не изменилось, как и эффективность выполнения наиболее распространенных функциональных проб. Однако метод САКР позволил выявить сдвиги в ДО, ПАД и в спектральных показателях их вариальности, а также показателях сердечной производительности, имеющих особенности в разных группах. Так, изменения в динамике ДО сопровождались изменениями динамики мощности диапазона HF во всех трех изученных спектрах вариальности. Данный показатель отражает преимущественно активность блуждающего нерва (до 90%), основного регулятора

дыхательной системы, хотя имеет и симпатическую составляющую [13]. Изменение динамики общей мощности спектра вариальности систолического ПАД, отражающего общий уровень автономной регуляции АД, согласуется со снижением ПАД, менее выраженном в опытной группе, как и снижение показателей сердечной производительности.

В наших более ранних работах мы разработали метод представления результатов САКР на фазовой плоскости, основанный на подходе Р.М. Баевского [2]. На основании данных дискриминантного анализа 48 показателей сердечно-сосудистой системы, зарегистрированных в трех заведомо различающихся функциональных состояниях (в нашем случае это состояние покоя, тестирование в спирометрической маске с произвольным дыханием и выполнение субмаксимальной физической нагрузки) строится плоскость, координатами которой являются Root1 и Root2 [6]. В модели Р.М. Баевского обосновано, что координата Root1 отражает состояние функциональных резервов организма (ФР), координата Root2 – степень напряжения регуляторных систем организма (СН). Использование данного подхода для визуализации результатов настоящего исследования позволило показать, что в контрольной группе адаптация к условиям Севера сопровождается увеличением ФР при одновременном росте СН. В опытной группе показатель СН, наоборот, снижался, при почти неизменном уровне ФР (рис. 2).

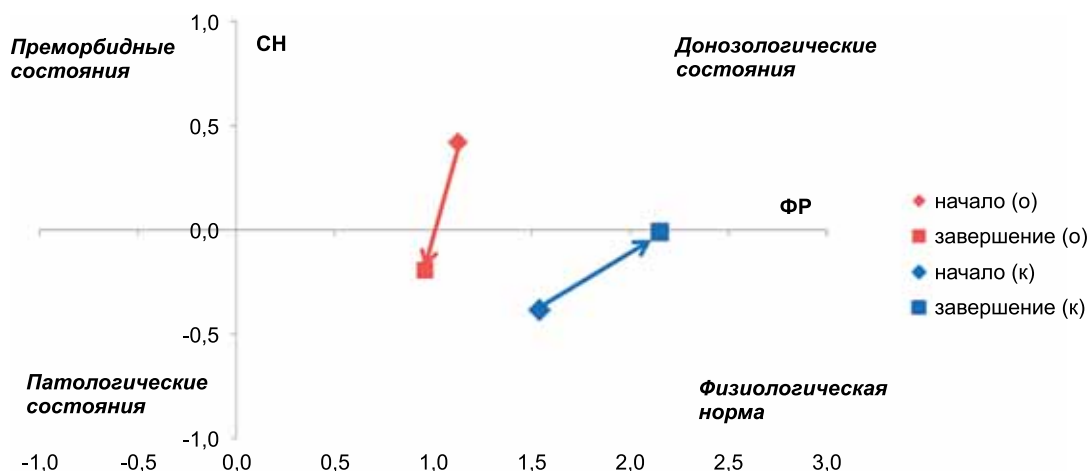


Рис. 2. Динамика функционального состояния испытуемых разных групп на фазовой плоскости: в начале и при завершении экспедиции

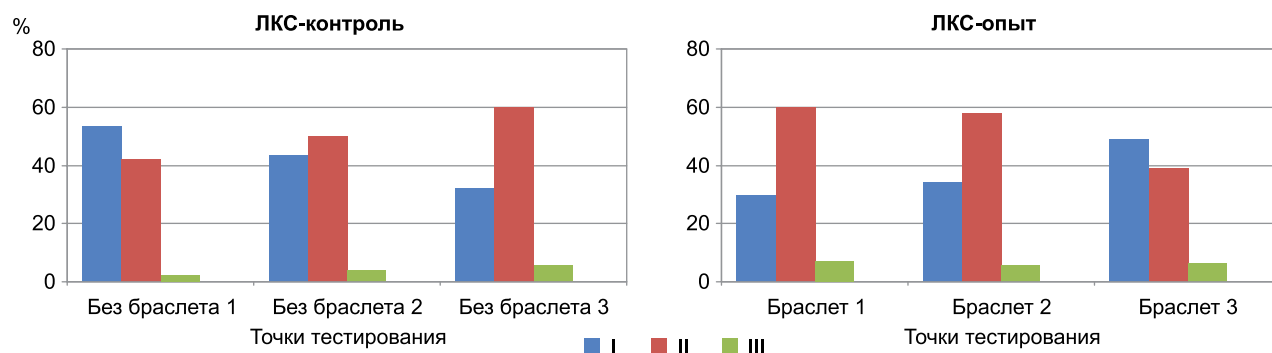


Рис. 3. Распределение вклада в светорассеяние частиц различных информативных зон при ЛКС-спектрометрии проб мочи. Обозначения диапазонов размеров частиц см. в тексте

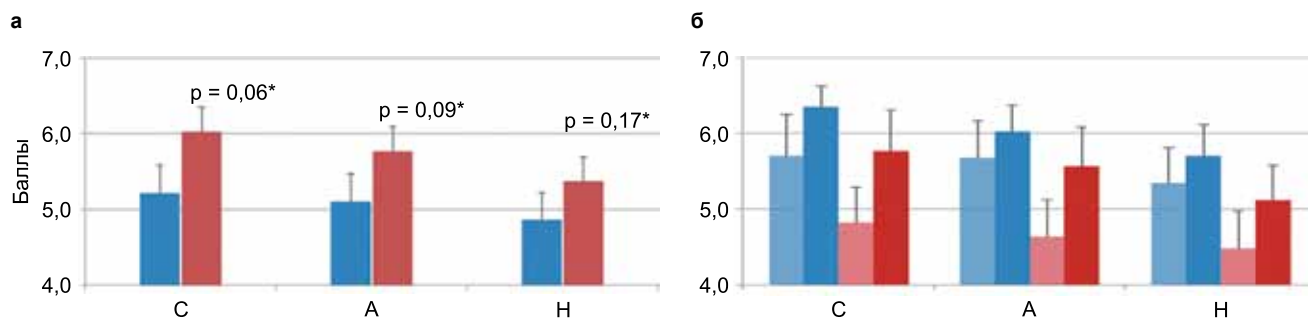


Рис. 4. Изменение самочувствия (С), активности (А) и настроения (Н) по самооценке в тесте «САН»: а – в объединенной выборке за период наблюдения (синим цветом обозначены результаты в начале экспедиции, красным – при окончании); б – в группах «к» (синим), «о» (красным), светлые столбики – начало экспедиции; темные – окончание

Примечание. * – по сравнению с началом (критерий Вилкоксона).

ЛКС-спектрометрия образцов мочи показала, что существует тенденция ($ANOVA F(2,14) = 3,3408, p = 0,065$) к снижению интоксикационно-подобного компонента – зоны частиц размером 76–220 нм (диапазон II) – в динамике под действием профилактической фототерапии (красные столбики на гистограммах рис. 3).

Наблюдаемые эффекты могут быть обусловлены разрушением билирубина при его высоком содержании в крови и выведением из организма в виде нетоксических продуктов [4]. Кроме того, подобному сдвигу может способствовать активация сукцинатдегидрогеназы митохондрий, одного из звеньев цепи переноса электронов, что, в свою очередь, приводит к повышению уровня энергообмена клеток [5], и соответственно, к снижению эндогенной интоксикации организма.

По результатам психологических тестирований в целом у участников экспедиции наблюдали выраженную тенденцию к улучшению самочувствия и повышению активности по сравнению с фоновыми значениями показателей (рис. 4, а). В большей степени показатели увеличивались в группе «о», хотя различие не достигало уровня статистической значимости ни при внутригрупповом, ни при межгрупповом сравнении (рис. 4, б).

Различий в показателях внимания между опытной и контрольной группами не выявлено.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить, что ежедневное (2 сеанса по 15 мин) применение БАСИ оказывает значимое влияние на динамику адаптации

кардио-респираторной системы участников высокоширотной морской экспедиции к условиям Севера. У участников эксперимента, вошедших в опытную группу, оказались менее выраженными такие сдвиги, как снижение пАД (в разных условиях тестирования), показателей сердечной производительности и снижение реактивности спектральных показателей вариабельности пАД при выполнении нагрузочных дыхательных проб.

Выявлена тенденция к снижению интоксикационно-подобного компонента в распределении частиц, определяемом методом ЛКС в моче участников экспедиции, применявших БАСИ, по сравнению с контрольной группой. На фоне общей тенденции к улучшению самочувствия и повышению активности группа, применявшая БАСИ, отличалась большей выраженностью этих эффектов.

Выражаем благодарность научному руководителю проекта «Открытый океан» М.В. Гаврило за координацию исследований.

Литература

1. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина. 1997. – 236 с.
2. Баевский Р.М., Черникова А.Г. К проблеме физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа вариабельности сердечного ритма // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – Т. 36. – № 5. – С. 34–37.