

УДК 613.614+613.693

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТА «МАРС-500» НА СЕВЕРЕ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

Ю.Г. Солонин, А.Л. Марков, Е.Р. Бойко

Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Проведено сравнение физиологического статуса живущих на севере мужчин-участников проекта «Марс-500» в холодный (октябрь), переходный (апрель) и теплый (июль) периоды года. Большинство показателей характеризуется стабильностью в разные сезоны. Сезонные изменения, связанные в основном с температурным фактором, выявляются по показателям терморегуляции (температура тела и кожи), артериального давления, переносимости гипоксемии и реакциям кровообращения на физическую нагрузку и ортостатическую пробу.

Ключевые слова: физиологический статус, кровообращение, сезонные изменения, мужчины, Север, проект «Марс-500».

Введение. Влияние сезонного фактора на организм человека освещалось в целом ряде работ [3; 7; 9; 10; 12; 15]. При этом получено много противоречивых данных о поведении отдельных физиологических показателей в разные сезоны. Поэтому требуется дальнейшее изучение данного фактора с использованием широкого набора морфологических, физиометрических и физиологических показателей, а также так называемых донозологических показателей здоровья.

На Севере России (г. Сыктывкар, 62° с.ш.), как и в других регионах страны (Москва, Воронеж, Екатеринбург, Магадан) и за рубежом (Канада, Германия, Чехия, Белоруссия), проводится эксперимент «Марс-500», состоящий в длительном наблюдении за группами добровольцев на основе единого методического подхода с применением самой современной аппаратуры для донозологической диагностики состояния здоровья человека («Экосан-2007»), созданной в Институте медико-биологических проблем РАН (Москва) совместно с фирмой «Медицинские компьютерные системы» (г. Зеленоград).

Цель настоящего исследования – сравнение физиологического статуса мужчин-северян в разные периоды года (холодный, переходный и теплый) для выявления роли сезонного фактора.

Материал и методика. Обследовано 23 практически здоровых мужчины в возрасте от 24 до 49 лет (в среднем $32,6 \pm 1,3$ лет), с массой тела от 56 до 109 кг (в среднем $80,2 \pm 2,3$ кг), ростом от 164 до 188 см (в среднем $173,6 \pm 1,2$ см). Это были постоянные жители г. Сыктывкара, служащие МЧС и научные работники, давшие письменное согласие на

проведение обследования. Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН. Обследование проведено в холодный период (октябрь), в переходный период (апрель) и в теплый период года (июль). В разные сезоны обследованы одни и те же люди (связанная выборка). В ходе обследования контролировали атмосферное давление и температуру воздуха на улице, температуру и влажность воздуха в помещении.

У волонтеров рассчитывали «индекс массы тела» (ИМТ) по общеизвестной формуле. Силу кистей определяли пружинным динамометром и рассчитывали «силовой индекс» (СИ) путем деления силы правой кисти на массу тела. Проводили пробы с задержкой дыхания (Штанге и Генчи). Жизненную емкость легких (ЖЕЛ) определяли сухим спирометром и рассчитывали «жизненный индекс» (ЖИ) – отношение ЖЕЛ к массе тела. Максимальное давление выдоха (МДВ) измеряли с помощью тонометра. Температуру тела (барабанной перепонки) и кожи кисти до и после локального охлаждения сосудом со льдом в течение 30 с (холодовая проба) измеряли инфракрасным электронным термометром модели UT-101 (A&D Company Ltd., Япония).

В настоящем исследовании использован аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007», в котором реализована методология донозологического контроля за состоянием здоровья человека, разработанная и апробированная в космической медицине [2; 4]. Система «Скус» прибора предназначена для измерения времени простой (ПЗМР) и сложной (СЗМР) зрительно-моторных реакций, а также критической частоты различения (КЧРМ) и слияния световых мельканий (КЧСМ). Система «Кардиовизор» прибора дает возможность на основе новой методики дисперсионного картирования электрокардиограммы регистрировать и оценивать показатели «Миокард», «Пульс» и «Ритм». Система «Кардиовар» позволяет анализировать вариабельность сердечного ритма в соответствии с рекомендациями Баевского [2] и американских и европейских кардиологов [11]. В последние годы в физиологической и клинической литературе при оценке здоровья человека все больше внимания уделяется изучению вариабельности сердечного ритма [2; 6; 10–14]. Для анализа были выбраны следующие показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС), квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50), стандартное отклонение всего массива динамического ряда R-R интервалов (SDNN), коэффициент вариации кардиоинтервалов, значение коэффициента автокорреляции после первого сдвига динамического ряда кардиоинтервалов (CC1) и число сдвигов при достижении автокорреляции нулевого значения

(СС0), «стресс-индекс» или индекс напряжения регуляторных систем, суммарная мощность спектра во всех частотных диапазонах (TP), суммарная мощность спектра высокочастотного компонента (HF), суммарная мощность спектра низкочастотного компонента (LF), суммарная мощность спектра сверхнизкочастотного компонента (VLF), суммарная мощность спектра ультранизкочастотного компонента (ULF), доли спектров HF, LF и VLF в общей мощности спектров (в процентах), «индекс вегетативного баланса» (LF/HF), «индекс централизации» управления ритмом сердца (IC) и «показатель активности регуляторных систем» (ПАРС).

Основные параметры гемодинамики: систолическое (СД), диастолическое давление (ДД) и ЧСС измеряли электронным прибором модели UA-767 (A&D Company Ltd., Япония). Рассчитывали среднединамическое давление (СДД) по Хикему, «двойное произведение» по Робинсону, «вегетативный индекс Кердо» (ВИК), «индекс функциональных изменений» (ИФИ) по Баевскому, «индекс Скибинской» (ИС), «кардиореспираторный индекс Самко» (КРИС), «уровень физического здоровья» (УФЗ) по Апанасенко [1].

У волонтеров изучали реакции организма на кратковременную физическую нагрузку (проба Мартине-Кушелевского), на ортостатическую пробу, на локальный холодовой раздражитель.

Полученные материалы подвергнуты статистической обработке с помощью программ Microsoft Excel и Biostat (версия 4.03) с проверкой вариационных рядов на характер распределения. Поскольку изучаемые выборки в нескольких случаях не подчинялись нормальному закону распределения, для сравнения групп использовался непараметрический критерий Фридмана с последующим попарным межгрупповым сравнением величин критерием Ньюмена-Кейлса. Различия между сезонами считали статистически значимыми при $P < 0,05$. Проводили корреляционный анализ данных по Спирмену (ранговая корреляция).

Результаты и обсуждение. Основные результаты по исследуемым показателям представлены в таблице. Поскольку г. Сыктывкар находится в зоне так называемого «ближнего Севера», здесь отмечается четко выраженное периодическое изменение светового и температурного режима по сезонам года. От холодного к теплому периоду резко возрастает длительность светового дня, увеличивается температура наружного воздуха. Атмосферное давление, относящееся к аperiodическим факторам, значимо, но несущественно, возросло только от переходного к теплому периоду. Температура и относительная влажность воздуха в помещении заметно увеличились в теплый период года. Создавался нагревающий микроклимат, но волонтеры при этом не испытывали дискомфорта, поскольку в помещении включался вентилятор, облегчающий теплоотдачу посредством конвекции и испарения.

Таблица

Сезонные изменения функциональных показателей
у северян-участников проекта «Марс-500» (M±m)

Показатели	Октябрь 2009 г.	Апрель 2010 г.	Июль 2010 г.
Длительность светового дня на 21 число месяца, ч	9,5	15,3	18,2
Атмосферное давление, мм рт.ст.	748±1,1	746±1,0*	749±0,6
Температура наружного воздуха, °С	-0,4±0,27*	+7,6±1,16*	+25,4±1,23^
Температура воздуха в помещении, °С	23,8±0,20	22,8±0,24*	27,4±0,42^
Влажность воздуха, %	51±0,56*	45±0,66*	58±1,93^
Масса тела, кг	81,5±2,27	80,2±2,39	77,9±3,15
Индекс массы тела, кг/м ²	27,2±0,61	26,6±0,71	25,3±0,85
Сила правой кисти, кг	47,9±1,34	46,7±1,45	47,7±1,64
Сила левой кисти, кг	44,3±1,61	43,9±1,51	45,4±1,93
Силовой индекс, %	60±1,6	59±1,8	63±2,4
Время простой ЗМР, мс	204±7,1	199±3,3	194±5,5
Время сложной ЗМР, мс	235±4,6	248±6,6	242±6,4
КЧСМ, Гц	45,4±0,94	47,2±1,11	46,4±1,04
КЧРМ, Гц	41,2±0,87	41,3±0,90	41,2±1,17
Проба Штанге, с	69±3,8	75±4,4	78±6,0
Проба Генчи, с	36±2,6	42±2,9	46±3,1^
ЖЕЛ, мл	4248±132	4122±129	4306±146
Жизненный индекс, мл/кг	52±1,8	52±1,8*	58±2,3^
Максимальное давление выдоха, мм рт.ст.	134±7,8	128±6,5	126±11,0
Температура тела, °С	35,4±0,07	35,4±0,07*	36,0±0,07^
Систолическое АД, мм рт.ст.	128±2,1	123±1,7	118±2,5^
Диастолическое АД, мм рт.ст.	81±1,7	78±1,3	75±1,8^
ЧСС, уд/мин	72±1,8	72±2,2	72±2,1
Среднединамическое давление, мм рт.ст.	97±1,7*	93±1,2	89±1,8^
Двойное произведение, усл.ед.	93±3,4	88±3,1	84±3,1
ВИК, %	-13±2,5	-11±3,7	-5±4,0
ИФИ, баллы	2,60±0,06	2,51±0,05*	2,33±0,07^
ИС, баллы	41,0±2,87	44,4±3,65	47,1±3,85
КРИС, баллы	0,99±0,04	1,02±0,03	1,06±0,06
УФЗ, баллы	2,88±0,83	3,00±0,88	4,19±0,35
Индекс «Миокард», %	14,5 ± 0,66	13,2 ± 0,79	14,9±1,09
«Ритм», %	21,3±2,50	19,2±1,60	12,5±3,01^
ЧСС, уд/мин	73±1,8	73±2,2	74±1,8
RMSSD, мс	31,0±2,40	28,5±2,37	29,7±2,76
pNN50, %	12,7±2,21	10,6±2,05	10,6±2,73
Стандартное отклонение SDNN, мс	42,9±3,04	41,1±2,52	41,2±2,22
Коэффициент вариации кардиоинтервалов, %	5,1±0,32	4,9±0,27	5,1±0,25

Показатели	Октябрь 2009 г.	Апрель 2010 г.	Июль 2010 г.
СС1	0,66±0,02*	0,72±0,02	0,70±0,03
СС0	5,9±0,77	6,8±0,91	6,3±1,13
Стресс-индекс, усл.ед.	133±17,2	152±27,0	125±11,2
Суммарная мощность спектра TP, мс ²	1615±245	1509±175	1479±176
Мощность HF, %	35,9±4,54	28,3±2,58	31,5±2,81
Мощность LF, %	46,8±5,18	48,0±3,16	46,8±2,55
Мощность VLF, %	17,3±2,23	23,7±2,60	21,7±2,89
Индекс централизации, усл.ед.	2,60±0,57	3,64±0,69	2,69±0,42
ПАРС, баллы	2,96±0,28	3,70±0,45	3,06±0,46
Самочувствие, баллы	4,6±0,31	4,3±0,44	4,3±0,60

Примечание. * – статистически значимые различия с данными следующего сезона, ^ – статистически значимые различия с данными октября ($p < 0,05$).

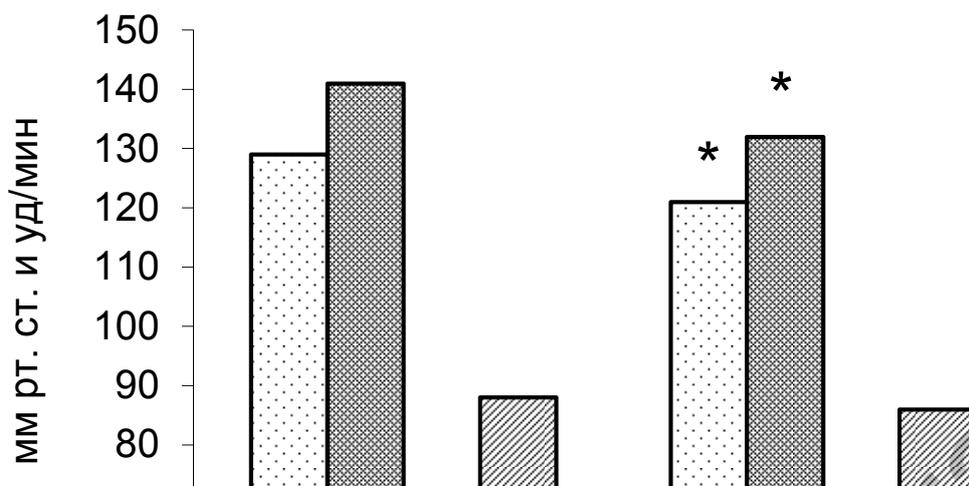
Многие показатели демонстрируют относительную стабильность: или совсем не изменяются или мало изменяются от сезона к сезону. Это относится к силе рук, ВСЗМ, КЧСМ, КЧРМ, ЖЕЛ, ЧСС, индексу «Миокард», RMSSD, pNN50, SDNN, коэффициенту вариации, СС1 и СС0, мощности HF, LF, индексу централизации, ПАРС, «самочувствию». Стресс-индекс незначимо повышается в переходный период года, а в теплый период принимает самое низкое значение.

Ряд показателей имеет четкую тенденцию к изменению в зависимости от сезона, хотя сдвиги статистически незначимы. От холодного к переходному и далее к теплому периоду года уменьшаются масса тела, ИМТ, ВПЗМР, МДВ, ДП, TP; увеличиваются результаты пробы Штанге, ВИК, ИС, КРИС, УФЗ.

Небольшое число показателей изменяется по сезонам статистически значимо. От холодного к теплому периоду и от переходного к теплому периоду повышается температура тела (ядра). От холодного к теплому периоду снижаются СД, ДД, от холодного к переходному и от холодного к теплому периоду снижается СДД, от холодного к теплому и от переходного к теплому периоду снижается ИФИ, от холодного к теплому периоду снижается индекс «Ритм»; от холодного к теплому периоду увеличиваются результаты пробы Генчи, от холодного к теплому и от переходного к теплому периоду увеличивается ЖИ.

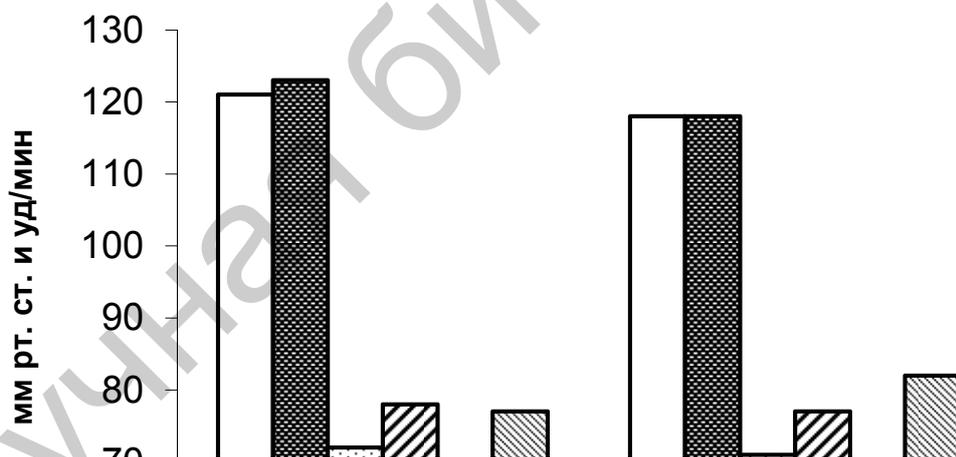
При выполнении кратковременной физической нагрузки (рис. 1) реакции СД и ЧСС статистически значимы и в количественном выражении их можно оценить как «неудовлетворительные» во все сезоны [5]. В июле организм испытуемых реагирует значимо большими сдвигами ЧСС и замедлением восстановления после нагрузки

(кардиальный или хронотропный тип реакции). Значения СД в покое и при нагрузке значимо меньше в апреле и июле, чем в октябре.



Р и с . 1. Показатели гемодинамики при пробе Мартине-Кушелевского:
* – статистически значимые сдвиги по отношению к данным октября ($P < 0,05$)

При выполнении ортостатической пробы (рис. 2) значимо повышаются ДД в октябре и апреле, а также ЧСС во все сезоны. Переносимость ортопробы по сдвигам СД, ДД и ЧСС в холодный и переходный периоды года «удовлетворительна» [5], а в теплый период по сдвигам ЧСС – «неудовлетворительна». В этот момент наблюдается гиперкинетический тип реакции, т. е. в июле переносимость ортопробы наихудшая и рефлекторные механизмы регуляции гемодинамики испытывают напряжение. При этом значения СД и ЧСС в положении стоя значимо выше, чем в октябре.



Р и с . 2. Показатели гемодинамики при ортостатической пробе:
* – статистически значимые сдвиги по отношению к данным октября ($P < 0,05$)

Результаты холодной пробы (рис. 3) показали четкие сезонные различия в холодной чувствительности. Исходная температура кожи на кисти значимо возрастает от холодного к переходному и от переходного к теплomu периодам года. Сходная зависимость отмечена и для температуры на 5- и 7-й минутах восстановления. Причем восстановление происходит все быстрее, от холодного к переходному и от переходного к теплomu периоду года, т.е. сосудистые реакции при повышении температуры воздуха более выражены. Во все сезоны года восстановление температуры кожи после охлаждения практически завершается на 7-й минуте, что говорит в целом об «удовлетворительной» сосудистой реакции и холодной чувствительности у волонтеров. Градиент температур «ядро-оболочка» заметно уменьшается от холодного к переходному и к теплomu периодам года (соответственно 5,0; 2,5 и 0,9°C).

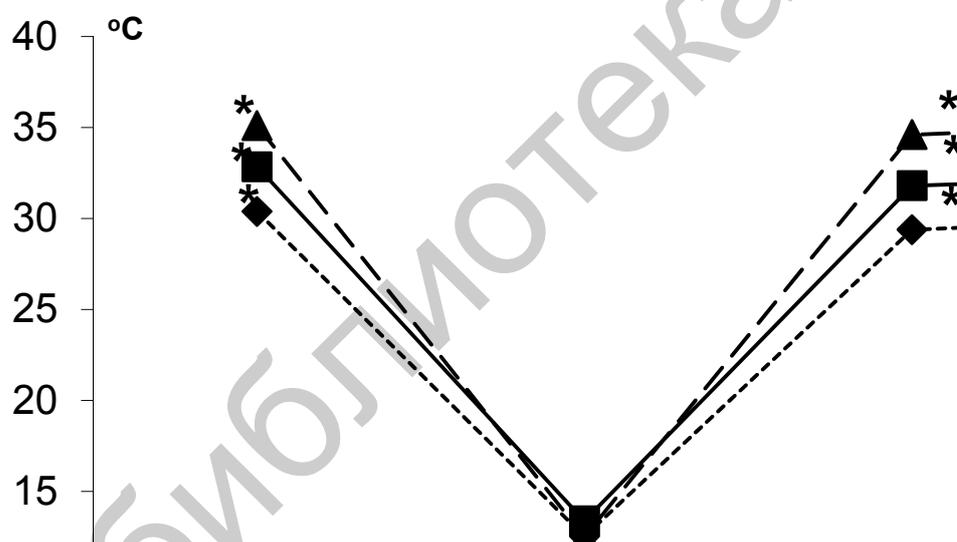


Рис. 3. Температура кожи кисти при холодной пробе:

* – статистически значимые сдвиги по отношению к данным октября ($P < 0,05$)

Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи между некоторыми показателями. Ниже приводятся только коэффициенты корреляции со значением 0,4 и выше ($P < 0,05$). С возрастом волонтеров связаны ЖИ (-0,422), ИФИ (0,430). С массой тела коррелируют сила рук (0,543), ЖИ (-0,641), процент жира (0,786), ИФИ (0,524). Ряд показателей связан с ИМТ (в немалой степени зависят от степени упитанности): сила рук (0,410), ЖИ (-0,798), ИФИ (0,636). Значение ДД коррелирует с СД (0,533). С процентом жира связаны: СИ (-0,545), ЖИ (-0,793). Значение ИФИ коррелирует со стресс-индексом (0,419), т.е. степень адаптированности организма связана с напряжением регуляторных систем. Уровень ИЦ связан с ПАРС (0,463). Значение ИС

коррелирует с КРИС (0,686), т. е. два разных показателя состояния кардиореспираторной системы тесно связаны друг с другом. Такие показатели как индекс «Миокард» и УФЗ не коррелируют с другими показателями. Следовательно, они имеют самостоятельное значение в донозологической диагностике при оценке состояния миокарда и уровня физического здоровья.

Из литературы известно, что сезонные колебания претерпевают как параметры среды: световой и температурный факторы, геомагнитная активность, так и физиологические системы организма, который вынужден менять двигательный режим, режим сна, труда и отдыха, время контакта с внешней средой [3;7;9;12;15]. Изменяется и характер питания, витаминный состав пищи и пр. [3], что тоже может повлиять на функциональное состояние организма.

Стабильность многих показателей или не очень выраженные сезонные изменения у мужчин-северян можно объяснить частично тем, что они представляют профессии «кабинетных работников», которые редко подвергаются непосредственному воздействию внешней среды и большую часть своего рабочего и домашнего времени находятся в помещениях с относительно комфортным микроклиматом и искусственным освещением.

Тем не менее, в нашем исследовании по целому ряду показателей выявляются четкие сезонные изменения в организме, связанные в первую очередь с температурным фактором. При повышении температуры среды от холодного к теплomu периодам года возрастают температура «ядра» и «оболочки» тела, уменьшается градиент температур «ядро-оболочка». Снижаются показатели артериального давления, индекс «Ритм» и ИФИ, что говорит об улучшении состояния кровообращения в покое. Увеличивается «жизненный индекс» и переносимость гипоксемии (по данным пробы Генчи). Имеется тенденция к возрастанию резервов кардиореспираторной системы (по ИС и КРИС) и физического здоровья (по УФЗ). Однако, дополнительные нагрузки на гемодинамику (физическая и ортопроба) в теплый период года организмом переносятся хуже, поскольку часть его резервов мобилизуется на поддержание теплового гомеостаза.

Заключение. Физиологический статус мужчин-северян-участников проекта «Марс-500» в разные сезоны года в основном остается стабильным. Лишь по некоторым показателям терморегуляции, кровообращения и дыхания, а также реакциям гемодинамики на функциональные пробы выявляются сезонные колебания, связанные в основном с температурным фактором внешней среды. Полученные данные используются для сравнения с контрольными группами в других регионах страны и мира и с группой испытателей, находящихся в стандартных условиях гермокамеры макета «марсианского» корабля в Москве.

Список литературы

1. *Апанасенко Г.Л.* Диагностика индивидуального здоровья // Гигиена и санитария. 2004. № 2. С. 55–58.
2. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 220 с.
3. *Бойко Е.Р.* Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
4. *Григорьев А.И., Баевский Р.М.* Концепция здоровья и космическая медицина. М.: Слово, 2007. 208 с.
5. *Загрядский В.П., Сулимо-Самуйлло З.К.* Методы исследования в физиологии труда. Л.: Наука, 1976. 93 с.
6. *Захарова Н.Ю., Михайлов В.П.* Физиологические особенности variability сердечного ритма в разных возрастных группах // Вестн. аритмологии. 2003. № 31. С. 37–40.
7. Сезонная динамика физиологических функций у человека на Севере / под ред. Е.Р. Бойко. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 223 с.
8. *Солонин Ю.Г.* Широтные особенности физиологических функций у жителей Севера // Физиология человека. 1994. Т. 20, № 6. С. 137–143.
9. *Солонин Ю.Г.* Сезонные изменения физиологических функций у жителей Севера // Физиология человека. 1995. Т. 21, № 6. С. 70–75.
10. *Чеснокова В.Н., Мосягин И.Г.* Сезонная динамика параметров кардиореспираторной системы у юношей, проживающих на Европейском Севере России // Экология человека. 2009. № 8. С. 7–11.
11. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. 1996. Vol. 93, № 5. P. 1043–1065.
12. *Kristal-Bohen E., Froom P., Harari G., Ribak J.* Summer-winter differences in 24 h variability of heart rate // *J. Cardiovasc. Risk*. 2000. Vol. 7, № 2. P. 141–146.
13. *Umetani K., Singer D.H., McCraty R., Atkinson M.* Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades // *J. Am. Coll. Cardiol*. 1998. Vol. 31, № 3. P. 593–601.
14. *Zhang J.* Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects // *J. Manipulative Physiol. Ther*. 2007. Vol. 30, № 5. P. 374–379.
15. *Shephard R.J., Aoyagi Y.* Seasonal variations in physical activity and implications for human health // *Eur.J.Appl.Physiol*. 2009. Vol. 107, № 3. P. 251–271.

PHYSIOLOGICAL STATUS OF «MARS-500» PROJECT PARTICIPANTS IN DIFFERENT SEASONS IN THE NORTH

Yu.G. Solonin, A.L. Markov, E.R. Bojko

Institute of Physiology Komi Science Center Ural Branch RAS

The comparison of physiological statuses of male northerners participating in “Mars-500” project in cold (October), transitional (April) and warm (July) periods of the year was conducted. The majority of physiological indices show great stability during different seasons. Seasonal changes (presumably caused by temperature factor) were observed in thermoregulation (skin and body temperature), blood pressure, hypoxemia tolerance indices and circulatory reactions on physical load and orthostatic test.

Keywords: *physiological status, blood circulation, seasonal changes, male, North, «Mars-500» project.*

Об авторах:

СОЛОНИН Юрий Григорьевич—доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией социальной физиологии, УРАН Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50, e-mail: solonin@physiol.komisc.ru

МАРКОВ Александр Леонидович—младший научный сотрудник отдела экологической и социальной физиологии, УРАН Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50, e-mail: volkarb@mail.ru

БОЙКО Евгений Рафаилович—доктор медицинских наук, заведующий отделом экологической и социальной физиологии человека, УРАН Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50, e-mail; erbojko@physiol.komisc.ru