

Дата публикации: 01.06.2021

DOI 10.51871/2588-0500_2021_05_02_8

УДК 615.8

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ИЗУЧЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ

Ю.В. Корягина, Н.В. Ефименко, Г.Н. Тер-Акопов, С.В. Нопин,
С.М. Абуталимова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский
федеральный научно-клинический центр Федерального
медико-биологического агентства», Ессентуки, Россия

Ключевые слова: космонавты, космический полет, адаптация, сердечно-сосудистая система, гемодинамика, дыхательная система, система крови.

Аннотация. Целью работы явился аналитический обзор и систематизация данных перспективных исследований, связанных с изучением функционального состояния кардио-респираторной системы космонавтов. Результаты теоретического исследования показывают, что условия невесомости и гравитационные нагрузки в ходе космического полета вызывают значимые физиологические изменения в кардиореспираторной системе космонавтов. Происходят изменения мозговой, центральной и региональной гемодинамики, смещение типа кровообращения в сторону гиперкинетического. Выявлены неблагоприятные нарушения со стороны вен голени, заключающиеся в увеличении емкости и растяжимости. Показано отрицательное влияние детренированности сердечно-сосудистой системы на ортостатическую устойчивость космонавтов, которую рекомендуют использовать как значимый параметр функционального состояния организма. Исследование вариабельности сердечного ритма при действии факторов космического полета позволяет прогнозировать вероятность перехода функционального состояния организма космонавтов из состояния физиологической нормы в донологическое или преморбидное состояние. Малоизученным в настоящее время является влияние факторов космического полета на функциональное состояние дыхательной системы и системы крови, а также особенности послеполетного восстановления данных систем.

ANALYTICAL REVIEW AND SYSTEMATIZATION OF DATA FROM PROSPECTIVE STUDIES RELATED TO THE EXAMINATION OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF ASTRONAUTS

Yu.V. Koryagina, N.V. Efimenko, G.N. Ter-Akopov, S.V. Nopin,
S.M. Abutalimova

Federal State Budgetary Institution “North-Caucasian Federal Scientific and Clinical Center of the FMBA of Russia”, Essentuki, Russia

Key words: astronauts, space flight, adaptation, cardiovascular system, hemodynamics, respiratory system, hemic system.

Annotation. The purpose of this study was the analytical review and systematization of data from prospective studies related to the examination of the functional state of the cardiorespiratory system of astronauts. Results of the theoretical study show that the conditions of zero gravity and gravitational loads during space flight cause significant physiological changes in the cardiorespiratory system of astronauts. There are changes in the cerebral, central and regional hemodynamics, a shift in the type of blood circulation towards the hyperkinetic type. Unfavorable disorders on the part of the ankle veins, consisting in an increase in capacity and extensibility, were revealed. The negative influence of the detrained cardiovascular system on the orthostatic tolerance of astronauts is shown, which is recommended to be used as a significant parameter of the functional state of the organism. The study of heart rhythm variability under the influence of space flight factors makes it possible to predict the probability of the transition of the functional state of the astronauts' organism from the state of physiological norm to the pre-nosological or premorbid state. At the present moment, the influence of space flight factors on the functional state of the respiratory and hemic systems, as well as the features of post-flight recovery of these systems, is insufficiently studied.

Введение. Работа космонавтов относится к чрезвычайно сложным видам деятельности, сопряженным со значительными эмоциональными, интеллектуальными и физическими нагрузками на фоне постоянного воздействия на организм специфических факторов космического полета (КП), таких как невесомость, гравитационные перегрузки, радиационные воздействия, вибрация, гипокинезия, условия замкнутой среды, изоляция. Все это приводит к существенным функциональным и морфологическим изменениям, которые следует рассматривать как адаптационные. Снижение воздействия гравитации в условиях космического полета влияет практически на все физиологические системы человека. Кардио-респираторная система

является одной из наиболее подверженных влиянию КП [1-6]. В связи с чем проведенное теоретическое исследование является актуальным.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ФГБУ СКФНKC ФМБА России на выполнение прикладной научно-исследовательской работы «Разработка новых научно обоснованных методов и программ 2 этапа послеполетной медицинской реабилитации космонавтов в санаторно-курортных условиях», шифр: «Реабилитация космонавтов 21/23».

Целью работы явился аналитический обзор и систематизация данных перспективных исследований, связанных с изучением функционального состояния кардио-респираторной системы космонавтов.

Методы и организация исследования. В работе применялся метод контент-анализа литературных источников российских и зарубежных исследователей. Анализируются статьи, находящиеся в БД Google scholar и РИНЦ. Всего было отобрано и проанализировано 23 источника.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты теоретического анализа показывают, что в состоянии невесомости КП гидростатическое давление крови и других жидких сред организма снижается до нуля, что приводит к существенным изменениям в сердечно-сосудистой системе (ССС). В результате происходит “увеличение объема крови и повышение ее давления в сосудах головы, растяжение и стимуляция механорецепторов предсердий и сосудисто-легочного пучка, что, в свою очередь, обуславливает включение рефлекторных и гуморальных механизмов, направленных на сохранение гемодинамического и водно-солевого гомеостаза” [7].

Срочные компенсаторно-приспособительные реакции при этом направлены на торможение секреции антидиуретического гормона гипофиза с уменьшением активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и торможением вазомоторного центра. Это приводит к частичной потере организмом жидкости и электролитов путем учащения диуреза, уменьшению объема плазмы крови, рефлекторному сужению легочных сосудов, расширению сосудов большого круга кровообращения, депонированию крови во внутренних органах и ограничению ее поступления в сердечно-легочную область. В более поздние периоды пребывания в невесомости к ним присоединяются приспособительные реакции, проявляющиеся в снижении общего объема массы эритроцитов и гемоглобина и приводящие к дальнейшему уменьшению объема циркулирующей крови. В условиях невесомости непосредственное смещение крови в верхнюю часть тела проявляется у космонавтов ощущениями прилива крови к голове, расширением сосудов головы, появлением тупых пульсирующих болей в

голове, также наблюдается отечность кожи лица и шеи, набухание вен шеи и инъектированность сосудов склер глаз [7].

Обследование и анализ функционального состояния ССС группы космонавтов, выполнявших длительные космические полеты (от 125 до 438 сут) на орбитальном комплексе Мир в условиях покоя (279 до полета и 234 во время полета), позволили ученым классифицировать функциональное состояние ССС в соответствии с величиной сердечного индекса по 3 типам кровообращения. Установлена зависимость типа кровообращения от генетических факторов, возраста и условий проведения исследования (в покое или перед функциональными пробами). Данные наблюдений показали, что в полете у космонавтов происходит усиление хронотропной функции сердца, увеличение минутного объема кровообращения (МОК), повышение конечного систолического артериального давления (АДс) и систолического давления в легочной артерии. Перед функциональными тестами зафиксирован гиперкинетический тип кровообращения (ГТК). Однако значения определяемых показателей не выходили за пределы возрастной физиологической нормы. При детальном анализе было выявлено 3 типа реакции на условия микрогравитации. Увеличение МОК (за счет ударного объема сердца и частоты сердечных сокращений) сопровождалось повышением конечного АДс. При уменьшении объемов гемодинамики и эукинетическом типе кровообращения (ЭТК) не установлено достоверных изменений конечного АДс. У некоторых космонавтов не обнаружено достоверных изменений всех исследованных показателей [8].

Ученые придают большую роль особенностям и типам кровообращения космонавтов, отмечая, что лица различных типов кровообращения по-разному реагируют на условия микрогравитации и на дозированную физическую нагрузку до и во время полета [9].

Авторы отмечают, что в покое для всей исследованной группы космонавтов вектор распределения типов кровообращения смещался с ЭТК на ГТК с уменьшением гипокинетических (ГипоТК) и ЭТК. Во время и после дозированной физической нагрузки на велоэргометре для всей группы обследованных космонавтов и при всех типах кровообращения выявлены характерные для условий микрогравитации особенности: абсолютные величины ударного объема сердца (СО), МОК и АДс были меньше, чем до полета в аналогичных условиях; снижался относительный прирост ЧСС, МОК и АДс. При ГипоТК снижался относительный прирост СО, при ЭТК и ГТК типах его реакция видоизменялась. При всех типах кровообращения изменялся механизм формирования МОК. Для обеспечения необходимого уровня АДс ведущую роль играли прессорные сосудистые реакции [9].

Наряду со смещением типа кровообращения в условиях КП специалисты отмечают значимое влияние типа кровообращения на переносимость и функциональные реакции ССС на физическую нагрузку на велоэргометре у космонавтов, выполнивших длительные (от 73 до 438 суток) КП на орбитальной станции «Мир», при функциональной пробе с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре (двухступенчатой, мощностью 1150 Вт и трехступенчатой, мощностью 1350 Вт). Было выявлено, что при обоих видах нагрузки до полета реакция была менее благоприятной при ГТК. В этих случаях увеличение МОК обеспечивалось доминирующим влиянием хронотропной функции сердца. При ГипоТК и ЭТК реакция на нагрузку приближалась к нормальной. В условиях микрогравитации КП при любом типе кровообращения и нагрузки увеличение МОК происходило менее эффективным физиологическим механизмом – путем увеличения ЧСС, что объясняется недостаточным венозным возвратом [10].

По данным окклюзионной плетизмографии, проведенной в состоянии невесомости, было выявлено, что в покое остаются стабильными показатели центральной гемодинамики: насосная функция сердца, кровоснабжение мозга, АД и ЧСС. Однако снижалась резистентность региональных артериальных сосудов ниже уровня сердца. Наблюдались более выраженные изменения венозной гемодинамики: замедление венозного возврата, снижение сопротивления сосудов нижней половины тела, увеличение емкости венозной сети ног. При функциональной пробе с воздействием отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ) выявлялось ухудшение гравитационно зависимых реакций, которое нарастало по мере увеличения длительности КП. Следовательно, в состоянии невесомости утрачивалось невостребованное антигравитационное распределение сосудистого тонуса. При возвращении к условиям земной гравитации наблюдались явления детренированности ССС, что проявлялось снижением переносимости перегрузок на этапе спуска с орбиты и ортостатической неустойчивостью в послеполетном периоде [11].

Дальнейшие исследования специалистов позволили выделить 3 степени изменений дефицита мозгового кровотока при определении ортостатической устойчивости (ОУ) в невесомости при выполнении пробы с воздействием ОДНТ. Авторы подчеркивают, что динамика изменений реакции артериальной гемодинамики на воздействие ОДНТ позволяла оценивать не только состояние ОУ на момент исследования, но и тенденцию изменений ОУ в течение полета, что свидетельствует о возможности индивидуального прогноза изменения ОУ космонавта в ходе КП. Были выделены три степени изменений информативных показателей состояния вен нижних конечностей:

емкости, растяжимости и скорости наполнения вен. Эти данные позволяют прогнозировать различную степень снижения ОУ [1].

Наблюдения за состоянием гемодинамики голени у космонавтов во время кратковременных (менее 1 месяца) КП показало снижение толерантности к воздействию ОДНТ во время полета, что в дальнейшем проявлялось в снижении послеполетной ОУ при активных и пассивных ортостатических пробах. Авторы объясняют данные изменения снижением вазоконстрикторной способности магистральных артерий нижних конечностей и увеличением растяжимости вен ног. Эти данные рекомендуется использовать для составления индивидуального прогноза послеполетной ОУ [12].

Исследования состояния вен нижних конечностей космонавтов, проведенные этими же специалистами при 6-месячных КП, выявили изменения, связанные с уменьшением объема голени у всех космонавтов и значительным увеличением емкости и растяжимости вен. Изменения скорости наполнения вен голени были разнонаправлены: снижение кровенаполнения наблюдалось у 74%, а у 26% оно увеличивалось. Ученые пришли к выводу, что в условиях КП изменения состояния вен нижних конечностей могут являться одним из патофизиологических механизмов снижения ОУ [13].

Комплексное исследование состояния вен и венозной гемодинамики до, во время и после 6-месячных КП выявило выраженное расширение магистральных вен в области головы и шеи, абдоминальных органов и нижних конечностей на всем протяжении пребывания в невесомости. Расширение бедренных вен имело тенденцию к нарастанию в период всего КП. Выявлено увеличение растяжимости и комплианса вен голени при окклюзионных тестах в начале полета (1-2-я неделя) [14].

Исследования состояния вен голени в ходе годовых КП. В первой половине года КП наблюдалось увеличение емкости и растяжимости вен, выраженность изменений была индивидуальна. Выраженность изменений емкости, растяжимости и скорости наполнения вен голени космонавтов во второй половине года КП была также индивидуальной и отличалась отсутствием стабильности, также эти изменения носили неблагоприятный характер относительно ОУ. Восстановление после годового КП до предполетного уровня состояния вен голени происходило медленнее, чем после 6-месячных КП. Полного восстановления не наступало даже после 8 суток послеполетного периода [15].

Учеными выявлена взаимосвязь физиологических реакций космонавтов при действии перегрузок на участке спуска с орбиты на землю с изменениями кровотока в условиях кратковременной невесомости. Было выявлено, что у

космонавтов с выраженным снижением мозгового кровотока при пробе с приложением ОДНТ в КП, появлялись признаки ухудшения мозгового кровообращения в виде головокружения, слабости, гипергидроза после приземления во время перехода в вертикальную позу при выходе из спускаемого аппарата. У космонавтов с выраженным снижением тонуса артериальных и венозных сосудов в условиях невесомости при последующем действии перегрузок отмечались петехиальные кровоизлияния в кожные покровы спины [16].

Актуальными с точки зрения физиологического воздействия КП на ССС космонавтов являются вопросы здоровья и долголетия. Специально проведенные исследования показывают, что распространенность сердечно-сосудистых заболеваний в возрасте старше 60 лет находится на достаточно высоком уровне среди космонавтов, закончивших профессиональную деятельность. Следует отметить, что в возрасте старше 60 лет каждый второй имеет повышенные уровни АД, а каждый четвертый – повышенный уровень холестерина. Далее отмечается тенденция к повышению распространенности артериальной гипертензии (АГ) до 99-100% в возрасте старше 60 лет, дислипидемия – до 66% и, следовательно, ишемическая болезнь сердца (ИБС) встречается у 40% космонавтов. В старческом возрасте (более 80 лет) у всех пациентов определяются АГ и ИБС, а у каждого третьего – цереброваскулярная болезнь. Среди космонавтов, закончивших профессиональную деятельность, распространенность АГ соответствует среднестатистическим данным по России, а ИБС встречается в пожилом возрасте (старше 70 лет), по России среди мужчин – в возрасте 55 лет и старше. Вероятно, это обусловлено тем, что в отряд космонавтов медицинский отбор проводится из группы людей с лучшим состоянием здоровья [17].

Анализ результатов исследований космонавтов с различными типами вегетативной регуляции показал, что “критическими” для космонавтов ваготонического типа регуляции являются 1, 2 и 3 месяцы полета, за счет сильных колебаний баланса симпатических и парасимпатических влияний в регуляции сердечного ритма. Второй месяц полета отличается у них ростом вагусной активности, что может сопровождаться дизрегуляторными нарушениями с преобладанием парасимпатической нервной системы. У космонавтов, относящихся к симпатотоническому типу регуляции, с 3-го месяца полета начинает снижаться показатель RMSSD (квадратный корень из средних квадратов разностей смежных NN интервалов сердечного ритма), что указывает на ослабление парасимпатической активности.

Недавние исследования вариабельности сердечного ритма у космонавтов показали, что функциональное напряжение, обусловленное

снижением функциональных резервов организма в условиях невесомости, зависит от индивидуального запаса функциональных резервов, которые постепенно истощаются во время КП. Напряжение функционального состояния увеличивается с длительностью КП [18].

Факторы КП отражаются и на функциональном состоянии дыхательной системы космонавтов, однако подобные исследования слишком малочисленны. Изучение особенностей произвольного управления дыхательными движениями в условиях длительного космического полета показало индивидуальную дестабилизацию систем при переходе из наземных условий в космические и обратно [19].

Функциональное состояние системы дыхания, также как и кровообращения, определяется длительностью воздействия факторов КП. Исследования показывают, что месяц пребывания космонавтов в условиях КП сопровождается разнонаправленными изменениями, характеризующими произвольные дыхательные движения, не стабилизирующиеся в течение 30-34 суток [19].

После КП продолжительностью 70-180 суток происходит стабилизация скоростных и точностных спирокинографических показателей на новом функциональном уровне. Возвращение космонавтов в наземные условия (14 суток) сопровождается разнонаправленными изменениями спирокинетических параметров. Отмечалась наблюдаемая в первый месяц КП нетипичная для стационарных состояний отрицательная взаимосвязь между латентным периодом реакции и скоростью дыхательных движений. [19].

Специалистами выявлено изменение состояния дыхательного центра в невесомости [19, 20]. Уровень активности центрального дыхательного механизма оценивали в ходе 340-суточной экспедиции на борту Международной космической станции. Было выявлено увеличение времени задержки дыхания в послеполётном периоде, по сравнению с предполётным, на выдохе при ОДНТ на 22% и в покое – на 13%. Эти данные свидетельствуют о снижении активности центрального дыхательного механизма в условиях невесомости длительного КП, что может быть следствием перераспределения крови в верхнюю половину тела [21].

Научных исследований, касающихся изучения биохимических показателей крови у космонавтов, крайне мало, однако уже имеющиеся данные показывают, что российские космонавты характеризуются отличными от среднепопуляционных значениями их референтных величин. Границы референтных величин показателей крови у космонавтов уже по сравнению со среднепопуляционными, ориентировочными диапазонами. Это выявлено для показателей амилаза общая и панкреатическая, гликозилированный

гемоглобин, лейцинаминопептидаза, лактатдегидрогеназа, креатинфосфокиназа, липаза общая и панкреатическая, мочевая кислота, общий белок, оксibuтиратдегидрогеназа, пировиноградная кислота, холестерин липопротеины высокой плотности, щелочная фосфатаза общая и костная. Специалисты связывают эти различия с особенностями отбора космонавтов, а также особой физической подготовкой и психоэмоциональным состоянием членов экипажей [22].

Заключение. Таким образом, условия невесомости и гравитационные нагрузки в ходе КП вызывают значимые физиологические изменения в кардиореспираторной системе космонавтов. Изменения мозговой, центральной и региональной гемодинамики отмечаются как в покое, так и при дозированной физической нагрузке. В ходе КП даже отмечается изменение типа кровообращения в сторону ГТК, что впоследствии может стать причиной АГ. Специалистами в большей степени изучено влияние невесомости на функциональное состояние сосудов нижних конечностей, в первую очередь голени. Выявлены неблагоприятные нарушения со стороны вен голени, заключающиеся в увеличении емкости и растяжимости, что снижает венозный возврат к сердцу, особенно при нагрузке. Исследованиями показано отрицательное влияние детренированности ССС на ОУ космонавтов, которую рекомендуют использовать как значимый параметр функционального состояния организма. Применение variability сердечного ритма при действии факторов КП позволяет прогнозировать вероятность перехода функционального состояния организма космонавтов из состояния физиологической нормы в донологическое или преморбидное состояние. Однако при его использовании необходимо учитывать функциональные резервы организма и индивидуальный тип вегетативной регуляции. Малоизученным в настоящее время является влияние факторов КП на функциональное состояние дыхательной системы и системы крови, а также особенности послеполетного восстановления данных систем.

Список литературы

1. Котовская А.Р. Прогнозирование ортостатической устойчивости человека по изменениям артериальной и венозной гемодинамики в условиях невесомости / А.Р. Котовская, Г.А. Фомина // Физиология человека. – 2013. – Т. 39. – №. 5. – С. 25-25.
2. Fitts R.H. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles / R.H. Fitts, P.A. Colloton, S.W. Trappe // J. Appl. Physiol. – 2013. – Vol. 115, – №. 5. – P. 667.

3. Norsk P. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight / P. Norsk, A. Asmar, M. Damgaard, N.J. Christensen // *The Journal of physiology*. – 2015. – V.593 (3). – P. 573-584.

4. Trappe S. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher, A. Creer, J. R. Peters, H. Evans, R.H. Fitts // *International Space Station. Journal of applied physiology*. – 2009. – V.106. – P. 1159–1168.

5. Moore Jr. A.D. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight / Jr. A.D. Moore, M.E. Downs, S.M. Lee, A.H. Feiveson, P. Knudsen, L. Ploutz-Snyder // *Journal of applied physiology*. – 2014. – V.117 (3) – P. 231-238.

6. Prisk G.K. Microgravity and the respiratory system / G.K. Prisk // *European Respiratory Journal*. – 2014. – V.43 (5). – P. 1459-1471.

7. Новиков В.С. Физиологические закономерности формирования синдрома острой послеполетной дезадаптации космонавтов / В.С. Новиков, Е.Б. Шустов // *Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук*. – 2017. – №. 4. – С. 5-18.

8. Алферова И.В. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в покое в длительных космических полетах / И.В. Алферова, В.Ф. Турчанинова, З.А. Голубчикова, В.Р. Лямин // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2002. – Т. 36. – №. 4. – С. 20-25.

9. Турчанинова В.Ф. Реакция гемодинамических показателей на пробу с дозированной физической нагрузкой в зависимости от типа кровообращения / В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева, Т.Г. Шушунова, А.А. Монастырев, С.Н. Мороз // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2017.- 94-103.

10. Алферова И.В. Анализ и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в длительных космических полетах / И.В. Алферова, В.Ф. Турчанинова, З.А. Голубчикова, В.Р. Лямин // *Физиология человека*. – 2003. – Т. 29. – №. 6. – С. 5-11.

11. Котовская А.Р. Особенности адаптации и дезадаптации сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полета / А.Р. Котовская, Г.А. Фомина // *Физиология человека*. – 2010. – Т. 36. – №. 2. – С. 78-86.

12. Фомина Г.А. Связь гемодинамических расстройств у космонавтов в условиях кратковременных космических полетов с ортостатической устойчивостью / Г.А. Фомина, А.Р. Котовская, А.Ф. Жерनावков, В.И. Почуев // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2005. – Т.39. – №. 3. – С. 14-20.

13. Котовская А.Р. Изменение состояния вен нижних конечностей космонавтов в длительных космических полетах / А.Р. Котовская, Г.А. Фомина, А.В. Сальников // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49. – №. 5. – С. 5-10.

14. Фомина Г.А. Изменения венозной гемодинамики человека в длительных космических полетах / Г.А. Фомина, А.Р. Котовская // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005. – Т. 39. – №. 4. – С. 25-30.

15. Котовская А.Р. Изменения основных показателей состояния вен нижних конечностей космонавтов в ходе годовых космических полетов / А.Р. Котовская, Г.А. Фомина // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т. 50. – №. 6. – С. 5-10.

16. Котовская А.Р. Взаимосвязь физиологических реакций космонавтов при действии перегрузок + g_x на участке спуска с орбиты на землю с гемодинамическими перестройками в условиях кратковременной невесомости / А.Р. Котовская, И.Ф. Виль-Вильямс, Г.А. Фомина // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005. – Т. 39. – №. 2. – С. 9-15.

17. Захарова С.А. Анализ сердечно-сосудистых заболеваний среди космонавтов в возрастной категории старше 60 лет / С.А. Захарова, О.Ю. Минина, Е.В. Короленко // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – С. 239-241.

18. Баевский Р.М. Исследования вариабельности сердечного ритма во время сна на борту Международной космической станции / Р.М. Баевский, И.И. Фунтова, Е.С. Лучицкая, И.Н. Слепченкова, В.П. Катунцев, Ю.Ю. Осипов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2012. – №. 1. - С.30-37.

19. Миняева А.В. Динамика параметров произвольных дыхательных движений космонавтов в условиях длительного пребывания в невесомости / А.В. Миняева, В.И. Колесников, Ю.А. Попова, А.В. Суворов, В.И. Миняев, В.М. Баранов // Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология. – 2011. – Т. 24. – №. 32. – С. 16-29.

20. Prisk G.K. Sustained microgravity reduces the human ventilatory response to hypoxia but not to hypercapnia / G.K. Prisk, A.R. Elliott, J.B. West // Journal of Applied Physiology. – 2000. – V. 88. – №. 4. – P. 1421-1430.

21. Баранов В.М. Изучение центрального дыхательного механизма в условиях 340-суточного космического полета / В.М. Баранов, Г.Г. Тарасенков, В.П. Катунцев, Е.П. Худякова, Е.С. Натура, И.В. Алферова, Т.Г. Шушунова // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – С. 228-229.

22. Маркин А.А. Референтные значения биохимических показателей крови у российских космонавтов / А.А. Маркин, О.А. Журавлева, Б.В. Моруков, Д.С. Кузичкин, И.В. Заболотская, Л.В. Вострикова // Физиология человека. – 2013. – Т. 39. – №. 2. – С. 79-79.

References

1. Kotovskaya A.R. Prediction of human orthostatic tolerance by changes in arterial and venous hemodynamics in conditions of zero gravity / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Human Physiology – 2013. – Vol. 39. – №. 5. – P. 25-25.

2. Fitts R.H. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles / R.H. Fitts, P.A. Colloton, S.W. Trappe // J. Appl. Physiol. – 2013. – Vol. 115. – №. 5. – P. 667.

3. Norsk P. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight / P. Norsk, A. Asmar, M. Damgaard, N.J. Christensen // The Journal of Physiology. – 2015. – V.593 (3). – P. 573-584.

4. Trappe S. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher, A. Creer, J. R. Peters, H. Evans, R.H. Fitts // International Space Station. Journal of applied physiology. – 2009. – Vol. 106. – P. 1159–1168.

5. Moore Jr. A.D. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight / Jr. A.D. Moore, M.E. Downs, S.M. Lee, A.H. Feiveson, P. Knudsen, L. Ploutz-Snyder // Journal of Applied Physiology. – 2014. – V.117 (3) – P. 231-238.

6. Prisk G. K. Microgravity and the respiratory system / G.K. Prisk // European Respiratory Journal. – 2014. – V.43 (5). – P. 1459-1471.

7. Novikov V.S. Physiological patterns of the formation of the syndrome of acute post-flight disadaptation in astronauts / V.S. Novikov, E.B. Shustov // Bulletin of Education and Development of Science of the Russian Academy of Natural Sciences.– 2017. – №. 4. – P. 5-18.

8. Alferova I.V. Functional state of the cardiovascular system of astronauts at rest in long-term space flights / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Aerospace And Environmental Medicine. – 2002. – Vol. 36. – №. 4. – P. 20-25.

9. Turchaninova V.F. The response of hemodynamic parameters to a test with dosed physical activity, depending on the type of blood circulation / V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastirev, S.N. Moroz // Human Space Exploration. – 2017. – P. 94-103.

10. Alferova I.V. Analysis and evaluation of the functional state of the cardiovascular system of astronauts in long-term space flights / I.V. Alferova, V.F.

Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Human Physiology. – 2003. – Vol. 29. – №. 6. – P. 5-11.

11. Kotovskaya A.R. Features of adaptation and maladaptation of the human cardiovascular system in space flight/ A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Human Physiology. – 2010. – Vol. 36. – №. 2. – P. 78-86.

12. Fomina G.A. Relationship of hemodynamic disorders in astronauts in the conditions of short-term space flights with orthostatic tolerance / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya, A.F. Zhernavkov, V.I. Pochuev // Aerospace and Environmental Medicine. – 2005. – Vol. 39. – №. 3. – P. 14-20.

13. Kotovskaya A.R. Changes in the condition of the veins of the lower extremities of astronauts in long-term space flights / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina, A.V. Sal'nikov // Human Physiology. – 2015. – Vol. 49. – №. 5. – P. 5-10.

14. Fomina G.A. Changes in human' venous hemodynamics in long-term space flights / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya // Aerospace and Environmental Medicine. – 2005. – Vol. 39. – №. 4. – P. 25-30.

15. Kotovskaya A.R. Changes in the main indicators of the state of the veins of the lower extremities of astronauts during annual space flights / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Aerospace and Environmental Medicine. – 2016. – Vol. 50. – №. 6. – P. 5-10.

16. Kotovskaya A.R. The relationship between the physiological reactions of astronauts under the action of + gx overloads on the descent from orbit to Earth with hemodynamic rearrangements in the conditions of short-term zero gravity / A.R. Kotovskaya, I.F. Vil'-Vil'yams, G.A. Fomina // Aerospace and Environmental Medicine. – 2005. – Vol. 39. – №. 2. – P. 9-15.

17. Zakharova S.A. Analysis of cardiovascular diseases among astronauts in the age group over 60 years / S.A. Zakharova, O. Yu. Minina, E.V. Korolenko // Human Space Exploration. – 2017. – P. 239-241.

18. Baevskij R.M. Studies of heart rhythm variability during sleep on the International Space Station / R.M. Baevskij, I.I. Funtova, E.S. Luchitskaya, I.N. Slepchenkova, V.P. Katuntsev, Yu.Yu. Osipov // Bulletin of the Udmurt State University. «Biology. Sciences about Earth» series. – 2012. – №. 1. – P.30-37.

19. Minyaeva A.V. Dynamics of parameters of voluntary respiratory movements of astronauts in conditions of long stay in zero gravity / A.V. Minyaeva, V.I. Kolesnikov, Yu.A. Popova, A.V. Suvorov, V.I. Minyaev, V.M. Baranov // Bulletin TSU. Series: Biology and Ecology. – 2011. – Vol. 24. – №. 32. – P. 16-29.

20. Prisk G.K. Sustained microgravity reduces the human ventilatory response to hypoxia but not to hypercapnia / G.K. Prisk, A.R. Elliott, J.B. West // Journal of Applied Physiology. – 2000. – Vol. 88. – №. 4. – P. 1421-1430.

21. Baranov V.M. Study of the central respiratory mechanism in the conditions of a 340-day space flight / V.M. Baranov, G.G. Tarasenkov, V.P. Katuntsev, E.P. Khudyakova, E.S. Natura, I.V. Alferova, T.G. Shushunova // Human Space Exploration. – 2017. – P. 228-229.

22. Markin A.A. Reference values of blood biochemical parameters in Russian astronauts / A.A. Markin, O.A. Zhuravleva, B.V. Morukov, D.S. Kuzichkin, I.V. Zabolotskaya, L.V. Vostrikova // Human Physiology – 2013. – Vol. 39. – №. 2. – P. 79-79.

Spisok literary

1. Kotovskaya A.R. Prognozirovaniye ortostaticheskoy ustojchivosti cheloveka po izmeneniyam arterial'noj i venoznoj gemodinamiki v usloviyakh nevesomosti / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Fiziologiya cheloveka. – 2013. – T. 39. – №. 5. – S. 25-25.

2. Fitts R.H. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles / R.H. Fitts, P.A. Colloton, S.W. Trappe // J. Appl. Physiol. – 2013. – Vol. 115, – №. 5. – P. 667.

3. Norsk P. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight / P. Norsk, A. Asmar, M. Damgaard, N.J. Christensen // The Journal of physiology. – 2015. – V.593 (3). – P. 573-584.

4. Trappe S. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher, A. Creer, J. R. Peters, H. Evans, R.H. Fitts // International Space Station. Journal of applied physiology. – 2009. – V.106. – P. 1159–1168.

5. Moore Jr. A. D. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight / Jr. A. D. Moore, M. E. Downs, S.M. Lee, A.H. Feiveson, P. Knudsen, L. Ploutz-Snyder // Journal of applied physiology. – 2014. – V.117 (3) – P. 231-238.

6. Prisk G. K. Microgravity and the respiratory system / G.K. Prisk // European Respiratory Journal. - 2014. – V.43 (5). – P. 1459-1471.

7. Novikov V.S. Fiziologicheskie zakonomernosti formirovaniya sindroma ostroj poslepoletnoj dezadaptatsii kosmonavtov / V.S. Novikov, E.B. Shustov // Vestnik obrazovaniya i razvitiya nauki Rossijskoj akademii estestvennykh nauk. – 2017. – №. 4. – S. 5-18.

8. Alferova I.V. Funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoj sistemy kosmonavtov v pokoe v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2002. – T. 36. – №. 4. – S. 20-25.

9. Turchaninova V.F. Reaktsiya gemodinamicheskikh pokazatelej na probu s dozirovannoj fizicheskoy nagruzkoy v zavisimosti ot tipa krovoobrashcheniya /

V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastyrev, S.N. Moroz // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 94-103.

10. Alferova I.V. Analiz i otsenka funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy kosmonavtov v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Fiziologiya cheloveka. – 2003. – T. 29. – №. 6. – S. 5-11.

11. Kotovskaya A.R. Osobennosti adaptatsii i dezadaptatsii serdechno-sosudistoj sistemy cheloveka v usloviyakh kosmicheskogo poleta / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Fiziologiya cheloveka. – 2010. – T. 36. – №. 2. – S. 78-86.

12. Fomina G.A. Svyaz' gemodinamicheskikh rasstrojstv u kosmonavtov v usloviyakh kratkovremennykh kosmicheskikh poletov s ortostaticeskoy ustojchivost'yu / G.A.Fomina, A.R.Kotovskaya, A.F. Zhernavkov, V.I. Pochuev // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T.39. – №. 3. – S. 14-20.

13. Kotovskaya A.R. Izmenenie sostoyaniya ven nizhnikh konechnostej kosmonavtov v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina, A.V. Sal'nikov // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2015. – T. 49. – №. 5. – S. 5-10.

14. Fomina G.A. Izmeneniya venoznoj gemodinamiki cheloveka v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T. 39. – №. 4. – S. 25-30.

15. Kotovskaya A.R. Izmeneniya osnovnykh pokazatelej sostoyaniya ven nizhnikh konechnostej kosmonavtov v khode godovykh kosmicheskikh poletov / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2016. – T. 50. – №. 6. – S. 5-10.

16. Kotovskaya A.R. Vzaimosvyaz' fiziologicheskikh reaktsij kosmonavtov pri dejstvii peregruzok+ gx na uchastke spuska s orbity na zemlyu s gemodinamicheskimi perestrojkami v usloviyakh kratkovremennoj nevesomosti / A.R. Kotovskaya, I.F. Vil'-Vil'yams, G.A. Fomina // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T. 39. – №. 2. – S. 9-15.

17. Zakharova S.A. Analiz serdechno-sosudistykh zabolevanij sredi kosmonavtov v vozrastnoj kategorii starshe 60 let / S. A. Zakharova, O. Yu. Minina, Korolenko E. V. // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 239-241.

18. Baevskij R.M. Issledovaniya variabel'nosti serdechnogo ritma vo vremya sna na borte Mezhdunarodnoj kosmicheskoy stantsii / R.M. Baevskij, I.I. Funtova, E.S. Luchitskaya, I.N. Slepchenkova, V.P. Katuntsev, Yu.Yu. Osipov // Vestnik

Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». – 2012. – №. 1. – S.30-37.

19. Minyaeva A.V. Dinamika parametrov proizvod'nykh dykhatel'nykh dvizhenij kosmonavtov v usloviyakh dlitel'nogo prebyvaniya v nevesomosti / A.V. Minyaeva, V.I. Kolesnikov, Yu.A. Popova, A.V. Suvorov, V.I. Minyaev, V.M. Baranov // Vestnik TvGU. Seriya: Biologiya i ekologiya. – 2011. – Т. 24. – №. 32. – S. 16-29.

20. Prisk G.K. Sustained microgravity reduces the human ventilatory response to hypoxia but not to hypercapnia / G.K. Prisk, A.R. Elliott, J.B. West // Journal of Applied Physiology. – 2000. – V. 88. – №. 4. – P. 1421-1430.

21. Baranov V.M. Izuchenie tsentral'nogo dykhatel'nogo mekhanizma v usloviyakh 340-sutochnogo kosmicheskogo poleta / V.M. Baranov, G.G. Tarasenkov, V.P. Katuntsev, E.P. Khudyakova, E.S. Natura, I.V. Alferova, T.G. Shushunova // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 228-229.

22. Markin A.A. Referentnye znacheniya biokhimicheskikh pokazatelej krovi u rossijskikh kosmonavtov / A.A. Markin, O.A. Zhuravleva, B.V. Morukov, D.S. Kuzichkin, I.V. Zabolotskaya, L.V. Vostrikova // Fiziologiya cheloveka. – 2013. – Т. 39. – №. 2. – S. 79-79.

Сведения об авторах: **Юлия Владиславовна Корягина** – д-р биол. наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru; **Наталья Викторовна Ефименко** – доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по науке ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: zam.nauka@skfmba.ru; **Гукас Николаевич Тер-Акопов** – к-т экон. наук, генеральный директор ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sk@fmbamail.ru; **Сергей Викторович Нопин** – к-т тех. наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: work800@yandex.ru; **Сабина Маликовна Абуталимова** – научный сотрудник ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Information about the authors: **Yulia Vladislavovna Koryagina** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Biomedical Technologies Center of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru; **Natal'ya Viktorovna Efimenko** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director of Science in the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: zam.nauka@skfmba.ru; **Gukas Nikolaevich Ter-Akopov** – Candidate of Economical Sciences, General Director of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: sk@fmbamail.ru; **Sergej Nikolaevich Nopin** –

Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Biomedical Technologies Center of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru; **Sabina Malikovna Abutalimova** – Researcher of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Publication date: 01.06.2021

DOI 10.51871/2588-0500_2021_05_02_8

UDC 615.8

ANALYTICAL REVIEW AND SYSTEMATIZATION OF DATA FROM PROSPECTIVE STUDIES RELATED TO THE EXAMINATION OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF ASTRONAUTS

Yu.V. Koryagina, N.V. Efimenko, G.N. Ter-Akopov, S.V. Nopin,
S.M. Abutalimova

Federal State Budgetary Institution “North-Caucasian Federal Scientific and Clinical Center of the FMBA of Russia”, Essentuki, Russia

Key words: astronauts, space flight, adaptation, cardiovascular system, hemodynamics, respiratory system, hemic system.

Annotation. The purpose of this study was the analytical review and systematization of data from prospective studies related to the examination of the functional state of the cardiorespiratory system of astronauts. Results of the theoretical study show that the conditions of zero gravity and gravitational loads during space flight cause significant physiological changes in the cardiorespiratory system of astronauts. There are changes in the cerebral, central and regional hemodynamics, a shift in the type of blood circulation towards the hyperkinetic type. Unfavorable disorders on the part of the ankle veins, consisting in an increase in capacity and extensibility, were revealed. The negative influence of the detrained cardiovascular system on the orthostatic tolerance of astronauts is shown, which is recommended to be used as a significant parameter of the functional state of the organism. The study of heart rhythm variability under the influence of space flight factors makes it possible to predict the probability of the transition of the functional state of the astronauts' organism from the state of physiological norm to the pre-nosological or premorbid state. At the present moment, the influence of space flight factors on the functional state of the respiratory and hemic systems, as well as the features of post-flight recovery of these systems, is insufficiently studied.

Introduction. Work of astronauts is considered as an extremely hard activity, related to significant emotional, mental and physical loads within the background of constant exposure of such specific factors of space flight (SF), as zero gravity, gravitational loads, radiation exposure, vibration, hypokinesia, conditions of closed environment, isolation. All of this lead to significant functional and morphological changes, which should be considered as the adaptation process. Decrease in gravity exposure in conditions of space flight has an effect on almost all physiological systems of a human. The cardiorespiratory system is the system, which is most exposed to SF effects [1-6]. Therefore, the conducted theoretical study is relevant.

The study was carried out in compliance with the state task of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia” to develop the applicative scientific project named “Development of new scientifically based methods and programs of the second stage of post-flight medical rehabilitation of astronauts in spa conditions”, classification number: “Astronaut rehabilitation 21/23”.

The purpose of this study was the analytical review and systematization of data from prospective studies related to the examination of the functional state of the cardiorespiratory system of astronauts.

Methods and organization. The method of content analysis of literature sources of Russia-based and foreign researchers. Articles, included in Google Scholar and RSCI, were analyzed. Twenty-three sources were selected and analyzed.

Results and discussion. Results of the theoretical analysis show that in zero gravity conditions of SF, the hydrostatic pressure of blood and other body fluids decreases to zero, which leads to substantial changes in the cardiovascular system (CVS). As a result, an increase of blood volume and blood pressure in head vessels, stretching and stimulation of mechanoreceptors of atriums and the pulmonary vascular bundle, which, in return, contributes to the activation of reflexory and humoral mechanisms aimed at the preservation of hemodynamic and water-salt homeostasis” [7].

Urgent compensation and adaptation responses are aimed at the suppression of secretion of the antidiuretic hormone located in the hypophysis with a decrease in activity of the renin-angiotensin-aldosterone system and the suppression of the vasomotor center. It leads to partial loss of fluid and electrolytes by the increase in frequency of diuresis decrease in the blood plasma volume, reflexory coarctation of lung vessels, extension of vessels of the central circulatory system, stagnation of blood circulation in internal organs and limitation of blood flow to the cardiopulmonary area. In later periods of staying in zero gravity conditions, adaptation responses start appearing, which are manifested through the decrease in the total volume of red blood cells’ mass and hemoglobin, leading to the further decrease in the volume of circulating blood. In conditions of zero gravity, the blood

shift to the upper part of the body is manifested through sensations of rush of blood to the head, extension of head vessels, presence of dull pulsating pain in the head, puffiness of face and neck skin, swelling of neck veins and the congestion of sclera vessels [7].

Observation and analysis of the functional state of the CVS of the group of astronauts, who took long-term space flights (125 to 438 days) on the “Mir” orbital complex at rest (279 before the flight and 234 after the flight) allowed researchers to divide the CVS’s functional state in accordance with the cardiac index value into three types of blood circulation. A dependence of the blood circulation type on genetic factors, age and conditions of study management (at rest and before functional tests) was established. The research data has shown, that during space flights, intensification of the chronotropic function of the heart, increase in the cardiac output (CO), increase of the end-systolic blood pressure (ESBP) in arteries and systolic blood pressure in the lung artery are registered in astronauts. Before functional testing, the hyperkinetic blood circulation (HBC) was identified. However, values of defined indicators did not exceed limits of the age-related physiological norm. During the detailed analysis, three types of responses to micro-gravity conditions were revealed. The CO increase (on account of the stroke volume and heart rate) was accompanied by the increase in ESBP. Significant changes in ESBP were not registered in case of the decreased volumes of hemocirculation and the eukinetic blood circulation (EBC). No significant changes of all examined indicators were found in some astronauts [8].

Researchers put a great emphasis on features and types of blood circulation in astronauts, pointing out the fact that individuals with different types of blood circulation have a various response to micro-gravity conditions, as well as to the dosed physical load before and during the flight [9].

Authors note that for the whole examined group of astronauts at rest the vector of distribution of blood circulation types shifted from EBC to HBC with a decrease of hypokinetic blood circulation (HypoBC) and EBC. During and after dosed physical loads on a stationary bicycle in case of all blood circulation types, features, typical for micro-gravity conditions, were revealed: absolute values of the stroke volume (SV), CO and SBP were less than before the flight in the same conditions; the growth rate of HR, CO and SBP was decreased. In case of HypoBC, the growth rate of SV was decreased, in case of EBC and HBC, its reaction was changed. In case of all blood circulation types, the CO formation mechanism was changing. In order to support the needed level of SBP, pressor vascular responses played a leading role [9].

Alongside with the shift in the blood circulation type in SF conditions, experts also note a notional effect of the blood circulation type on tolerance and functional

responses of the CVS to physical loads on the stationary bicycle in astronauts, who took long-term (73 to 438 days) SF on the “Mir” orbital complex, during the functional test with a dosed physical load on the stationary bicycle (two-phase, with a power of 1150 W and three-phase, with a power of 1350 W). It was revealed that in case of both types of physical loads before the flight, the reaction was less favorable for HBC. In these cases, the CO increase was supported by the dominating impact of the chronotropic function of the heart. In case of HypoBC and EBC, the response to loads was close to normal. In conditions of micro-gravity of the SP and in case of any blood circulation type and loads, the CO increase was made by a less effective physiological mechanism, which is a HR increase, explained by the insufficient venous return [10].

According to data of the occlusive plethysmography, conducted in the state of zero gravity, it was revealed that following indicators of central hemodynamics remain at rest: cardiac pump function, blood supply of the brain, BP and HR. However, the tolerance of regional arterial vessels was decreased below the heart level. More profound changes of venous hemodynamics were identified: slow-down of venous return, decrease in the resistance of vessels of the lower part of the body, increase of the legs venation capacity. During functional testing with an exposure to the negative pressure of the lower part of the body (NPLPB), a worsening of gravity-dependent reactions, which progressed with an increase of SF duration, was revealed. Therefore, the unclaimed anti-gravitational distribution of the vascular tone disappeared in zero gravity conditions. When returning to conditions of Earth gravity, phenomena of the detrained CVS were registered, manifested by the decrease of tolerance to loads at the stage of coming down from the orbit and the orthostatic instability within the post-flight period [11].

Further research, conducted by experts, allowed identifying 3 degrees of changes in the deficit of the cerebral blood flow when identifying the orthostatic tolerance (OT) to zero gravity during testing with the NPLPB exposure. Authors note that dynamics in changes of arterial hemodynamics’ response to the NPLPB exposure allowed evaluation not only the state of OT at the moment of study, but also the tendency of changes in OT during the flight, which indicates a possibility of individual prognosis of changes in OT of an astronaut during SF. Three stages of changes in informative indicators of the state of lower extremities’ veins were identified: capacity, elasticity and speed of repletion. These data allow predicting various degree of OT decrease [1].

Observation of the state of ankle hemodynamics in astronauts during the short-term (less than 1 month OT) SF showed a decrease in tolerance to the NPLPB exposure during the flight, which was manifested further by a decrease in the post-flight OT during active and passive orthostatic testing. Authors explain

these changes by a decrease in the vasoconstrictive capacity of magistral arteries of lower extremities and an increase in elasticity of leg veins. These data are recommended to use for making an individual prognosis of the post-flight OT [12].

Studies on the state of veins of lower extremities of astronauts, which were carried out by the same experts in case of 6-month SF, revealed changes, related to a decrease in ankle volume of all astronauts and a significant increase of the vein capacity and elasticity. Changes in speed of ankle vein repletion were differently directed: decrease in blood content was revealed in 74% of astronauts, 16% had an increased blood content. Researchers concluded that in SF conditions, changes in veins of lower extremities could be one of the pathological mechanisms of OT decrease [13].

Comprehensive study on the state of veins and venous hemodynamics before, during and after 6-month SF revealed a profound dilation of magistral veins in head and neck, abdominal organs and lower extremities during the whole time of staying in zero gravity conditions. Dilation in hip veins had a tendency to increase during the whole period of SF. An increase of elasticity and compliance of ankle veins was registered during occlusive tests at the beginning of the flight (1-2 week).

Studies on the state of ankle veins during annual SF. During the first half of the yearlong SF, an increase of capacity and elasticity of veins was registered; the profoundness of changes was individual. The profoundness of changes in capacity, elasticity and speed of repletion of ankle veins of astronauts in the second half of the yearlong SF was also individual and notable for the absence of stability; all these changes also had an unfavorable nature in relation to OT. Recovery after the yearlong SF to the pre-flight level of the state of ankle veins was slower than recovery after 6-month SF. Complete recovery was not achieved even after 8 days of the post-flight period.

A connection between physiological responses of astronauts when exposed to overloads in the area of going down from the orbit to Earth with changes in blood flow in conditions of short-term zero gravity was identified by researchers. It was revealed that astronauts with a profound decrease in cerebral blood flow during testing with NPLPB in SF showed signs of worsened cerebral blood flow in form of dizziness, weakness and hyperhidrosis after landing when taking a vertical position and leaving the descent vehicle. In astronauts with a profound increase of the tone of arterial and venous vessels in zero gravity conditions with a following effect of overloads, internal hemorrhage in the back skin cover were registered [16].

Issues of health and longevity remain relevant from the point of SF physiological effect on the CVS of astronauts. Specially conducted studies show that prevalence of cardiovascular diseases in the age of 60 is on the high level among astronauts, who ended their professional activity. It is also important to note that in

the age over 60 years, every second athlete has an increased level of BP, every fourth – an increased level of cholesterol. Furthermore, a tendency of an increase of the arterial hypertension (AH) prevalence is registered in 99-100% of astronauts in the age over 60 years, dyslipidemia – in up to 66% of astronauts and, consequently, the coronary heart disease (CHD) is registered in 40% of astronauts. In senile age (over 80 years), in all patients, AH and CHD are registered, every third has a cerebrovascular disease. Among astronauts, who ended their professional activity, the AH prevalence corresponds to statistical data in Russia, the CHD is registered in senile age (over 70 years), among men in Russia the CHD is registered in the age of 55 years and older. It is possibly due to the fact that the medical selection for a crew of astronauts is made from the group of people with the best state of health [17].

Analysis of the results of studies of astronauts with different types of vegetative regulation has shown that the first, second and the third month of the flight appear to be critical to astronauts with a vagotonic type of regulation due to strong oscillations in the balance of sympathetic and parasympathetic effects in the heart rhythm regulation. The second month of the flight differs by an increase of the vagal activity, which can be accompanied by dysregulation disorders with a prevalence of parasympathetic nervous system. In astronauts, who has a sympathicotonic type of regulation, a RMSSD (root mean square of the successive differences) indicator begins to decrease, which shows the weakening of the parasympathetic activity.

Recent studies on the heart rhythm variability in athletes showed that functional loads, based on a decrease in functional reserves of an organism in zero gravity conditions, depend on an individual functional reserves of an organism in conditions of zero gravity, which are gradually depleted during SF. Loads of the functional state are increasing alongside with the duration of SF.

SF factors also reflect on the functional state of the respiratory system of astronauts; however, the number of studies, which examine this issue, is small. The study on features of the voluntary management of respiratory movements in conditions of the long-term space flight showed an individual destabilization of systems during the transition from earth-based conditions to space conditions and vice versa [19].

Functional state of the respiratory system, as well as the blood circulation, is defined by a duration of an impact made by SF factors. Studies show that a month of staying in SF conditions is accompanied by multidirectional changes, characterizing voluntary respiratory movements, which do not stabilize within 30-34 days [19].

After the 10-180 day SF, a stabilization of speed- and precision-based spirokinographic indicators on the new functional level happens. Return of

astronauts to the earth-based conditions (14 days) is accompanied by multidirectional changes in spirometric parameters. Observed in the first month of SF negative correlation between the latent period of a response and respiratory movement speed, which is not typical for a steady state, was registered [19].

Experts have also revealed a change in state of the respiratory center in zero gravity [19, 20]. The level of activity of the central respiratory mechanism was evaluated during the 340-day expedition on the International Space Station. An increase was registered in the time of breath holding during the post-flight period, in comparison with the pre-flight period, by 22% on exhale with NPLPB and 13% at rest. These data indicate a decrease in the activity of the central respiratory mechanism in conditions of zero gravity of the long-term SF, which could be a consequence of blood redistribution to the upper part of the body [21].

The number of studies, considering the examination of biochemical blood indicators in astronauts, is very small; however, the already present data show, that Russian astronauts are characterized by different levels of their reference values in comparison with average ones. Limits of reference values of blood indicators in astronauts are narrower than average approximate ranges. It was revealed for such indicators, as the total and pancreatic amylase, glycated hemoglobin, leucine aminopeptidase, lactate dehydrogenase, creatine phosphokinase, total and pancreatic lipase, uric acid, total protein, oxybutyrate dehydrogenase, pyruvic acid, high-density cholesterol lipoproteins, total and bone alkaline phosphatase. Experts connect these differences to features of the astronaut selection, as well as the special physical fitness and psychoemotional state of crewmembers [22].

Conclusion. Therefore, zero gravity conditions and gravitational loads during SF cause significant physiological changes in the cardiorespiratory system of athletes. Changes in cerebral, central and regional hemodynamics were registered both at rest and with dosed physical loads. During SF, a change in the type of blood circulation into the HBC was also registered, which could be the reason for AH. Experts gave the most attention to the study on the effect of zero gravity on the functional state of vessels of lower extremities, ankle vessels in particular. Unfavorable disorders of ankle veins were identified, including the increase in their capacity and elasticity, which decreases the venous return to the heart, especially in case of loads. Studies showed the negative effect of the detrained CVS on the OT of astronauts, which is recommended for using as a significant parameter of the functional state of an organism. The use of heart rhythm variability under the influence of space flight factors makes it possible to predict the probability of the transition of the functional state of the astronauts' organism from the state of physiological norm to the pre-nosological or premorbid state. However, when using it, it is important to take into account functional reserves of the organism and the

individual type of vegetative regulation. At the present moment, the influence of space flight factors on the functional state of the respiratory and hemic systems, as well as the features of post-flight recovery of these systems, is insufficiently studied.

References

1. Kotovskaya A.R. Prediction of human orthostatic tolerance by changes in arterial and venous hemodynamics in conditions of zero gravity / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // *Human Physiology* – 2013. – Vol. 39. – №. 5. – P. 25-25.

2. Fitts R.H. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles / R.H. Fitts, P.A. Colloton, S.W. Trappe // *J. Appl. Physiol.* – 2013. – Vol. 115. – №. 5. – P. 667.

3. Norsk P. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight / P. Norsk, A. Asmar, M. Damgaard, N.J. Christensen // *The Journal of Physiology.* – 2015. – V.593 (3). – P. 573-584.

4. Trappe S. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher, A. Creer, J. R. Peters, H. Evans, R.H. Fitts // *International Space Station. Journal of applied physiology.* – 2009. – Vol. 106. – P. 1159–1168.

5. Moore Jr. A.D. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight / Jr. A.D. Moore, M.E. Downs, S.M. Lee, A.H. Feiveson, P. Knudsen, L. Ploutz-Snyder // *Journal of Applied Physiology.* – 2014. – V.117 (3) – P. 231-238.

6. Prisk G. K. Microgravity and the respiratory system / G.K. Prisk // *European Respiratory Journal.* – 2014. – V.43 (5). – P. 1459-1471.

7. Novikov V.S. Physiological patterns of the formation of the syndrome of acute post-flight disadaptation in astronauts / V.S. Novikov, E.B. Shustov // *Bulletin of Education and Development of Science of the Russian Academy of Natural Sciences.* – 2017. – №. 4. – P. 5-18.

8. Alferova I.V. Functional state of the cardiovascular system of astronauts at rest in long-term space flights / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // *Aerospace And Environmental Medicine.* – 2002. – Vol. 36. – №. 4. – P. 20-25.

9. Turchaninova V.F. The response of hemodynamic parameters to a test with dosed physical activity, depending on the type of blood circulation / V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastyrsev, S.N. Moroz // *Human Space Exploration.* – 2017. – P. 94-103.

10. Alferova I.V. Analysis and evaluation of the functional state of the cardiovascular system of astronauts in long-term space flights / I.V. Alferova, V.F.

Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // *Human Physiology*. – 2003. – Vol. 29. – №. 6. – P. 5-11.

11. Kotovskaya A.R. Features of adaptation and maladaptation of the human cardiovascular system in space flight/ A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // *Human Physiology*. – 2010. – Vol. 36. – №. 2. – P. 78-86.

12. Fomina G.A. Relationship of hemodynamic disorders in astronauts in the conditions of short-term space flights with orthostatic tolerance / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya, A.F. Zhernavkov, V.I. Pochuev // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2005. – Vol. 39. – №. 3. – P. 14-20.

13. Kotovskaya A.R. Changes in the condition of the veins of the lower extremities of astronauts in long-term space flights / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina, A.V. Sal'nikov // *Human Physiology*. – 2015. – Vol. 49. – №. 5. – P. 5-10.

14. Fomina G.A. Changes in human' venous hemodynamics in long-term space flights / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2005. – Vol. 39. – №. 4. – P. 25-30.

15. Kotovskaya A.R. Changes in the main indicators of the state of the veins of the lower extremities of astronauts during annual space flights / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2016. – Vol. 50. – №. 6. – P. 5-10.

16. Kotovskaya A.R. The relationship between the physiological reactions of astronauts under the action of + gx overloads on the descent from orbit to Earth with hemodynamic rearrangements in the conditions of short-term zero gravity / A.R. Kotovskaya, I.F. Vil'-Vil'yams, G.A. Fomina // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2005. – Vol. 39. – №. 2. – P. 9-15.

17. Zakharova S.A. Analysis of cardiovascular diseases among astronauts in the age group over 60 years / S.A. Zakharova, O. Yu. Minina, E.V. Korolenko // *Human Space Exploration*. – 2017. – P. 239-241.

18. Baevskij R.M. Studies of heart rhythm variability during sleep on the International Space Station / R.M. Baevskij, I.I. Funtova, E.S. Luchitskaya, I.N. Slepchenkova, V.P. Katuntsev, Yu.Yu. Osipov // *Bulletin of the Udmurt State University. «Biology. Sciences about Earth» series*. – 2012. – №. 1. – P.30-37.

19. Minyaeva A.V. Dynamics of parameters of voluntary respiratory movements of astronauts in conditions of long stay in zero gravity / A.V. Minyaeva, V.I. Kolesnikov, Yu.A. Popova, A.V. Suvorov, V.I. Minyaev, V.M. Baranov // *Bulletin TSU. Series: Biology and Ecology*. – 2011. – Vol. 24. – №. 32. – P. 16-29.

20. Prisk G.K. Sustained microgravity reduces the human ventilatory response to hypoxia but not to hypercapnia / G.K. Prisk, A.R. Elliott, J.B. West // *Journal of Applied Physiology*. – 2000. – Vol. 88. – №. 4. – P. 1421-1430.

21. Baranov V.M. Study of the central respiratory mechanism in the conditions of a 340-day space flight / V.M. Baranov, G.G. Tarasenkov, V.P. Katuntsev, E.P. Khudyakova, E.S. Natura, I.V. Alferova, T.G. Shushunova // Human Space Exploration. – 2017. – P. 228-229.

22. Markin A.A. Reference values of blood biochemical parameters in Russian astronauts / A.A. Markin, O.A. Zhuravleva, B.V. Morukov, D.S. Kuzichkin, I.V. Zabolotskaya, L.V. Vostrikova // Human Physiology – 2013. – Vol. 39. – №. 2. – P. 79-79.

Spisok literary

1. Kotovskaya A.R. Prognozirovaniye ortostaticheskoy ustojchivosti cheloveka po izmeneniyam arterial'noj i venoznoj gemodinamiki v usloviyakh nevesomosti / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Fiziologiya cheloveka. – 2013. – T. 39. – №. 5. – S. 25-25.

2. Fitts R.H. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles / R.H. Fitts, P.A. Colloton, S.W. Trappe // J. Appl. Physiol. – 2013. – Vol. 115, – №. 5. – P. 667.

3. Norsk P. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight / P. Norsk, A. Asmar, M. Damgaard, N.J. Christensen // The Journal of physiology. – 2015. – V.593 (3). – P. 573-584.

4. Trappe S. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher, A. Creer, J. R. Peters, H. Evans, R.H. Fitts // International Space Station. Journal of applied physiology. – 2009. – V.106. – P. 1159–1168.

5. Moore Jr. A. D. Peak exercise oxygen uptake during and following long-duration spaceflight / Jr. A. D. Moore, M. E. Downs, S.M. Lee, A.H. Feiveson, P. Knudsen, L. Ploutz-Snyder // Journal of applied physiology. – 2014. – V.117 (3) – P. 231-238.

6. Prisk G. K. Microgravity and the respiratory system / G.K. Prisk // European Respiratory Journal. - 2014. – V.43 (5). – P. 1459-1471.

7. Novikov V.S. Fiziologicheskie zakonomernosti formirovaniya sindroma ostroj poslepoletnoj dezadaptatsii kosmonavtov / V.S. Novikov, E.B. Shustov // Vestnik obrazovaniya i razvitiya nauki Rossijskoj akademii estestvennykh nauk. – 2017. – №. 4. – S. 5-18.

8. Alferova I.V. Funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoj sistemy kosmonavtov v pokoe v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2002. – T. 36. – №. 4. – S. 20-25.

9. Turchaninova V.F. Reaktsiya gemodinamicheskikh pokazatelej na probu s dozirovannoj fizicheskoy nagruzkoj v zavisimosti ot tipa krovoobrashcheniya /

V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, A.A. Monastyrev, S.N. Moroz // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 94-103.

10. Alferova I.V. Analiz i otsenka funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy kosmonavtov v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / I.V. Alferova, V.F. Turchaninova, Z.A. Golubchikova, V.R. Lyamin // Fiziologiya cheloveka. – 2003. – T. 29. – №. 6. – S. 5-11.

11. Kotovskaya A.R. Osobennosti adaptatsii i dezadaptatsii serdechno-sosudistoj sistemy cheloveka v usloviyakh kosmicheskogo poleta / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Fiziologiya cheloveka. – 2010. – T. 36. – №. 2. – S. 78-86.

12. Fomina G.A. Svyaz' gemodinamicheskikh rasstrojstv u kosmonavtov v usloviyakh kratkovremennykh kosmicheskikh poletov s ortostaticeskoy ustojchivost'yu / G.A.Fomina, A.R.Kotovskaya, A.F. Zhernavkov, V.I. Pochuev // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T.39. – №. 3. – S. 14-20.

13. Kotovskaya A.R. Izmenenie sostoyaniya ven nizhnikh konechnostej kosmonavtov v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina, A.V. Sal'nikov // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2015. – T. 49. – №. 5. – S. 5-10.

14. Fomina G.A. Izmeneniya venoznoj gemodinamiki cheloveka v dlitel'nykh kosmicheskikh poletakh / G.A. Fomina, A.R. Kotovskaya // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T. 39. – №. 4. – S. 25-30.

15. Kotovskaya A.R. Izmeneniya osnovnykh pokazatelej sostoyaniya ven nizhnikh konechnostej kosmonavtov v khode godovykh kosmicheskikh poletov / A.R. Kotovskaya, G.A. Fomina // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2016. – T. 50. – №. 6. – S. 5-10.

16. Kotovskaya A.R. Vzaimosvyaz' fiziologicheskikh reaksij kosmonavtov pri dejstvii peregruzok+ gx na uchastke spuska s orbity na zemlyu s gemodinamicheskimi perestrojkami v usloviyakh kratkovremennoj nevesomosti / A.R. Kotovskaya, I.F. Vil'-Vil'yams, G.A. Fomina // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. – 2005. – T. 39. – №. 2. – S. 9-15.

17. Zakharova S.A. Analiz serdechno-sosudistykh zabolevanij sredi kosmonavtov v vozrastnoj kategorii starshe 60 let / S. A. Zakharova, O. Yu. Minina, Korolenko E. V. // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 239-241.

18. Baevskij R.M. Issledovaniya variabel'nosti serdechnogo ritma vo vremya sna na borte Mezhdunarodnoj kosmicheskoy stantsii / R.M. Baevskij, I.I. Funtova, E.S. Luchitskaya, I.N. Slepchenkova, V.P. Katuntsev, Yu.Yu. Osipov // Vestnik

Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». – 2012. – №. 1. - S.30-37.

19. Minyaeva A.V. Dinamika parametrov proizvod'nykh dykhatel'nykh dvizhenij kosmonavtov v usloviyakh dlitel'nogo prebyvaniya v nevesomosti / A.V. Minyaeva, V.I. Kolesnikov, Yu.A. Popova, A.V. Suvorov, V.I. Minyaev, V.M. Baranov // Vestnik TvGU. Seriya: Biologiya i ekologiya. – 2011. – T. 24. – №. 32. – S. 16-29.

20. Prisk G.K. Sustained microgravity reduces the human ventilatory response to hypoxia but not to hypercapnia / G.K. Prisk, A.R. Elliott, J.B. West // Journal of Applied Physiology. – 2000. – V. 88. – №. 4. – P. 1421-1430.

21. Baranov V.M. Izuchenie tsentral'nogo dykhatel'nogo mekhanizma v usloviyakh 340-sutochnogo kosmicheskogo poleta / V.M. Baranov, G.G. Tarasenkov, V.P. Katuntsev, E.P. Khudyakova, E.S. Natura, I.V. Alferova, T.G. Shushunova // Pilotiruemye polety v kosmos. – 2017. – S. 228-229.

22. Markin A.A. Referentnye znacheniya biokhimicheskikh pokazatelej krovi u rossijskikh kosmonavtov / A.A. Markin, O.A. Zhuravleva, B.V. Morukov, D.S. Kuzichkin, I.V. Zabolotskaya, L.V. Vostrikova // Fiziologiya cheloveka. – 2013. – T. 39. – №. 2. – S. 79-79.

Information about the authors: Yulia Vladislavovna Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Biomedical Technologies Center of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru; **Natal'ya Viktorovna Efimenko** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director of Science in the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: zam.nauka@skfmba.ru; **Gukas Nikolaevich Ter-Akopov** – Candidate of Economical Sciences, General Director of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: sk@fmbamail.ru; **Sergej Nikolaevich Nopin** – Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Biomedical Technologies Center of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru; **Sabina Malikovna Abutalimova** – Researcher of the FSBI “NCSCC of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: sabina190989@yandex.ru.