Дата публикации: 15.06.2025
DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_4
УДК 612

Publication date: 15.06.2025
DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_4
UDC 612

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОСМОНАВТОВ В СРАВНЕНИИ С ДАННЫМИ ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ

Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева, С.В. Нопин, С.М. Абуталимова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Микрогравитация в условиях космического полета влияет практически на все физиологические системы человека. Наиболее уязвимыми системами, которые имеют ключевое значение, являются опорно-двигательный аппарат, вестибулярный аппарат и нервная система. В настоящее время уже разработано большое количество программ санаторно-курортного лечения и оздоровления данных систем для различного контингента населения. Возникает вопрос о применимости уже существующих разработанных восстановительных и лечебных процедур и методов в программе послеполетной реабилитации космонавтов. В связи с этим целью работы явился сравнительный анализ функциональных особенностей опорно-двигательного аппарата и физической работоспособности космонавтов относительно данных здоровых добровольцев-мужчин. В исследовании приняли участие 7 космонавтов-мужчин и 10 здоровых добровольцев-мужчин. Диагностика включала денситометрию, биоимпедансометрию, кистевую и становую динамометрию, динамометрию мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава, определение физической работоспособности на велоэргометре. Результаты исследования выявили, что у космонавтов минеральная плотность структур скелета соответствует возрастной норме, по данным биоимпедансометрии немного больше нормы жировой компонент массы тела и существенно ниже нормы – мышечный компонент массы тела, ниже нормы показатели силы правой кисти. Низкие показатели максимальной силы и мощности мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава у космонавтов сочетаются с хорошими показателями силовой выносливости. Космонавты имели высокий уровень физической работоспособности. Полученные данные будут использованы при разработке программы 2 этапа послеполетной реабилитации космонавтов.

Ключевые слова: космонавты, функциональный статус, опорно-двигательный аппарат, сила мышц, физическая работоспособность.

FUNCTIONAL STATUS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM AND PHYSICAL WORKING CAPACITY OF ASTRONAUTS COMPARED TO HEALTHY VOLUNTEERS

Yu.V. Koryagina, Yu.V. Kushnareva, S.V. Nopin, S.M. Abutalimova
North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

Abstract. Microgravity in conditions of spaceflight has its own effects on almost all physiological systems of a human. The most vulnerable ones, which are of key importance, are the musculoskeletal, vestibular and nervous systems. Currently, there are many programs of sanatorium-resort treatment and health-improvement of these systems for different population groups. Thus, an issue occurs on how applicable the already existing restorative and therapeutic procedures and methods are in the post-flight rehabilitation of astronauts. Therefore, the aim of this work is a comparative analysis of functional features of the musculoskeletal system and physical working capacity of astronauts compared to healthy male volunteers. The study involved 7 male astronauts and 10 healthy male volunteers. The observation included densitometry, bioimpedance analysis, dynamometry of knee joint flexor and extensor muscles, and registration of physical working capacity on a bicycle ergometer. The results have shown that the mineral density of skeletal structures in the astronauts corresponds to the age norm. According to the bioimpedance analysis data, the fat component of body mass is slightly higher than the norm, and the muscle component of body mass is significantly lower than the norm, the strength indices of the right hand are lower than the norm as well. Low indices of maximum strength and power of the knee joint flexor and extensor muscles in the astronauts match with sufficient indices of strength endurance. The astronauts also had a high level of physical work capacity. The obtained data will be implemented in the development of the 2nd stage post-flight rehabilitation program for astronauts.

Keywords: astronauts, functional status, musculoskeletal system, muscle strength, physical working capacity.

Введение. Специфическим интегральным раздражителем, действующим на организм космонавта в течение всего орбитального полета, является состояние космической невесомости. Это вызывает изменение целого ряда жизненных функций, включая костно-мышечную, центральную нервную системы и рецепторы многих анализаторных систем (вестибулярного аппарата, мышечно-суставного аппарата) [1-3]. В настоящее время хорошо известны общие закономерности реадаптационных сдвигов у космонавтов в послеполетном периоде, которые в основном сводятся к снижению толерантности к физическим нагрузкам и ортостатическим воздействиям, значительной потере мышечной массы, комплексу сенсорных и двигательных нарушений [3-5].

Все это определяет важность и необходимость разработки эффективной программы 2 этапа послеполетной реабилитации (ПР) в санаторно-курортных условиях, в основе которой будет лежать создание максимально благоприятных условий, способствующих более быстрому и полноценному восстановлению функций опорно-двигательного аппарата, мышечной силы и работоспособности космонавтов [6-8]. В настоящее время уже разработано большое количество программ санаторно-курортного лечения и оздоровления для различного контингента населения [9-10]. Возникает вопрос о применимости уже существующих разработанных восстановительных и лечебных процедур и методов в программе ПР космонавтов. В связи с чем целью работы явился сравнительный анализ функциональных особенностей опорно-двигательного аппарата и физической работоспособности космонавтов относительно данных здоровых добровольцев мужчин.

Методы и организация исследования. Исследование было проведено в ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России на базе санатория им. С.М. Кирова и Центра восстановления и реабилитации спортсменов «Орион» ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России. В исследовании приняли участие 7 космонавтов-мужчин ((Me [Q1; Q3]): возраст – 55 [52; 57] лет, рост – 176 [172; 178], вес – 89 [82; 102], которые составили основную группу (ОГ). Контрольная группа (КГ) состояла из 10 мужчин-добровольцев, возраст – 44,5 [42; 48] лет, ведущих активный образ жизни (по профессии тренеры по различным видам спорта).

Все участники дали информированное согласие в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом по экспертизе биомедицинских исследований Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства».

Диагностика общей плотности и структуры костной ткани, толщина поверхностного слоя костей всего опорно-двигательного аппарата космонавтов проводилась при помощи денситометрии (Hologic Inc., США), основанной на использовании рентгеновского излучения. Определение состава тела производилось в соответствии с измерением сопротивления тела в тетраполярном режиме на частоте 50 кГц на аппаратно-программном комплексе ESTECK System Complex (LD Technology, США).

Измерение силы и статической выносливости мышц-разгибателей туловища проводилось с помощью станового динамометра ДС-200 (ЗАО «Нижнетагильский медико-инструментальный завод», Россия), максимальной кистевой силы – с помощью цифрового динамометра EH101 (Китай). Исследование силовых показателей мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава проводилось с помощью роботизированного биомеханического комплекса с биологической обратной связью CON-TREX (модули MJ для мышц и связок суставов нижних конечностей и модули TP для мышц туловища) (Physiomed, Германия).

Для определения физической работоспособности космонавтов применена проба Physical Working Capacity (PWC 170) на велоэргометре. Расчет физической работоспособности проводился по формуле Карпмана.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 13.0. Рассчитывались стандартные показатели описательной статистики (медиана, первый и третий квартили). Для разработки критериев оценки показателей применялся метод квартилей.

Результаты исследования и их обсуждение. Для выявления особенностей функционального статуса опорно-двигательного аппарата космонавтов и силовых показателей проводилось определение минеральной плотности структур скелета, состава массы тела, силовых характеристик мышечных групп с помощью различных специализированных динамометров.

При проведении денситометрии значения Т-критерия у всех испытуемых были в пределах установленной нормы (не выше +2,5 SD и не ниже -1 SD), что свидетельствует о том, что минеральная плотность структур скелета соответствует возрастной норме и явления остеопороза отсутствуют.

Анализ показателей состава тела космонавтов по данным биоимпедансометрии в сравнении с нормами показателей для здоровых мужчин выявил, что у исследованных космонавтов немного больше нормы был жировой компонент массы тела и существенно ниже нормы – мышечный компонент массы тела (табл. 1).

Также у космонавтов ниже нормы (35-50) были показатели силы правой кисти –28,6 [22,2; 34,5] кг. Сила левой кисти (38 [28,3; 38,2] кг) и становая сила были в пределах нормы (140 [128; 142] кг) для мужчин данного возраста (норма – соответственно 30-40 кг и 130-150 кг).

Таблица 1

Показатели состава тела мужчин-космонавтов по данным биоимпедансометрии, Me [Q1; Q3] (n=7)

Показатели	Значение	Норма
Безжировая масса, кг	66,2 [65,4; 70,2]	-
Жировая масса, кг	21,2 [20,3; 26]	-
Жировой компонент массы тела, %	24,4%	15-24
Общее количество воды в организме, %	57,7 [54,2; 58,4]	52-62,2
Индекс массы тела, усл.ед.	24,1 [22,6; 24,3]	23-25
Мышечная масса, кг	28,4 [27,7; 31,9]	-
Мышечный компонент массы тела, %	32,2%	39-48

Для оценки силовых параметров мышц ног проводилось исследование силы мышц на изокинетическом динамометре CON-TREX у добровольцев-мужчин и космонавтов. При разработке нормативов оценки показателей динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава у мужчин определялись показатели здоровых мужчин, ведущих активный образ жизни, данные показатели в виде медиан и квартилей представлены в таблице 2. Согласно этим данным даже у здоровых мужчин КГ показатели работы мышц-сгибателей и разгибателей сильно отличаются, т.е. работа мышц не сбалансирована.

Тем не менее отмечены достаточно высокие показатели мышечной силы, в связи с чем на основе данных показателей были разработаны нормативы для оценки силы мышц, окружающих правый и левый коленные суставы (табл. 3 и 4). Сопоставление показателей космонавтов с данными мужчин КГ выявило у космонавтов недостаток мышечной силы мышц, окружающих коленные суставы, особенно справа, а также еще более сильный дисбаланс мышц, чем у мужчин КГ. Однако, низкие показатели максимальной силы и мощности мышц у космонавтов сочетались с хорошими показателями силовой выносливости.

Таблица 2

Показатели динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава у мужчин контрольной группы, Me [Q1; Q3] (n=10)

Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм	Крутящий момент max средний, Нм	Мощность средняя, Вт	Работа утомление, Дж/с	Общая работа, Дж
Мышцы-разгибатели коленного сустава справа	40,6 [30; 106,7]	33,6 [15,9; 58,2]	23,35 [15,2; 50,3]	0,06 [0,03; 0,27]	502,65 [300; 1325]
Мышцы-сгибатели коленного сустава справа	42,8 [22,4; 67,4]	38,05 [14,3; 63,1]	22,65 [7,6; 41,8]	0,09 [0,02; 0,17]	624,75 [434; 972]
Мышцы-разгибатели коленного сустава слева	51,9 [26,4; 100,6]	33,55 [10; 88,1]	21,2 [19,2; 50,3]	0,19 [0,13; 0,34]	497,45 [220; 1065]
Мышцы-сгибатели коленного сустава слева	41,05 [22,7; 50,3]	38,95 [32; 48]	20,4 [14,4; 32,4]	0,11 [0,07; 0,18]	575,5 [421; 840,8]

Таблица 3

Данные оценки динамометрии мышечного аппарата правого коленного сустава у космонавтов относительно мужчин добровольцев

Показатели	Уровень (на основе контр. группы)			Показатель осн. группы	Уровень
	Низкий	Средний	Высокий		
Мышцы-разгибатели коленного сустава					
Крутящий момент макс, Нм	<30	30-106,7	>106,7	21,1	низкий
Крутящий момент средний, Нм	<15,9	15,9-58,2	>58,2	5,5	низкий
Мощность средняя, Вт	<15,2	15,2-50,3	>50,3	7,4	низкий
Работа – утомление, Дж/с	<0,03	0,03-0,27	>0,27	0,15	средний
Общая работа, Дж	<300	300-1325	>1325	171,4	низкий
Мышцы-сгибатели коленного сустава					
Крутящий момент макс, Нм	<22,4	22,4-67,4	>67,4	24	средний
Крутящий момент средний, Нм	<14,3	14,3-63,1	>63,1	20,3	средний
Мощность средняя, Вт	<7,6	7,6-41,8	>41,8	11,1	средний
Работа утомление, Дж/с	<0,02	0,02-0,17	>0,17	0,03	средний
Общая работа, Дж	<434	434-972	>972	284,3	низкий

Таблица 4

Данные оценки динамометрии мышечного аппарата левого коленного сустава у космонавтов относительно мужчин добровольцев

Показатели	Уровень (на основе контр. группы)			Показатель осн. группы	Уровень
	Низкий	Средний	Высокий		
Мышцы-разгибатели коленного сустава					
Крутящий момент макс, Нм	<26,4	26,4-100,6	>100,6	104,8	высокий
Крутящий момент средний, Нм	<10	10-88,1	>88,1	34,1	средний
Мощность средняя, Вт	<19,2	19,2-50,3	>50,3	16	низкий
Работа – утомление, Дж/с	<0,13	0,13-0,34	>0,34	0,38	высокий
Общая работа, Дж	<220	220-1065	>1065	420,7	средний
Мышцы-сгибатели коленного сустава					
Крутящий момент макс, Нм	<22,7	22,7-50,3	>50,3	50,2	средний
Крутящий момент средний, Нм	<32	32-48	>48	24,5	низкий
Мощность средняя, Вт	<14,4	14,4-32,4	>32,4	13,9	низкий
Работа утомление, Дж/с	<0,07	0,07-0,18	>0,18	0,01	низкий
Общая работа, Дж	<421	421-840,8	>840,8	361,5	низкий

Исходный уровень физической работоспособности космонавтов определяли с помощью велоэргометрической пробы PWC 170. Результаты исследований показали величину 1607,5 [1564,5; 1677,0] кгм/мин. Согласно нормативам для мужчин данного возраста, данный показатель оценивается как высокий (>1200), следовательно космонавты имели высокий уровень физической работоспособности.

Заключение. Таким образом, функциональный статус опорно-двигательного аппарата космонавтов характеризуется хорошими показателями костной ткани, высоким уровнем физической работоспособности, но небольшом мышечным компонентом массы тела и меньшими максимальными силовыми возможностями, особенно в правых конечностях, по сравнению с обычными мужчинами. Имеется сильный дисбаланс в развитии мышц: больше развиты мышцы левых конечностей, что указывает на необходимость применения и разработки специальных восстановительных и реабилитационных мероприятий для повышения функциональных возможностей опорно-двигательного аппарата космонавтов и оптимизации баланса мышц левой и правой половины тела.

Полученные данные будут использованы при разработке программы 2 этапа ПР космонавтов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popova, N.K. Risk neurogenes for long-term spaceflight: dopamine and serotonin brain system / N.K. Popova, A.V. Kulikov, E.M. Kondaurova // Mol. Neurobiol. – 2014. – Vol. 51. – No. 3. – P. 1443-1451.
2. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher [et al] // Journal of applied physiology. – 2009. – No. 106(4). – P. 1159-1168. DOI: 10.1152/japplphysiol.91578.2008.
3. Lee, J.K. Spaceflight-Associated Brain White Matter Microstructural Changes and Intracranial Fluid Redistribution / J.K. Lee, V. Koppelmans, R.F. Riascos // JAMA Neurol. – 2019. – Vol. 76. – No. 4. – P. 412-419. DOI: 10.1001/jamaneurol.2018.4882.
4. Jillings, S. Macro- and microstructural changes in cosmonauts' brains after long-duration spaceflight / S. Jillings, A. Van Ombergen, E. Tomilovskaya // Science Advances. – 2020. – Vol. 6. – No. 36. – P. eaaz9488. DOI: 10.1126/sciadv.aaz9488.
5. Nicogossia, A.E. Space physiology and medicine: from evidence to practice / A.E. Nicogossian, R.S. Williams, C.L. Huntoon. – NY: Springer, 2016. – P. 509. DOI: 10.1007/978-1-4939-6652-3.
6. Санаторно-курортный этап реабилитации космонавтов после космических полетов на МКС – современное состояние вопроса / М.Г. Потапов, А.В. Васин, М.А. Скедина, А.А. Ковалева // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52. – № 4. – С. 34-38.
7. Корягина Ю.В. Динамика общего функционального состояния организма космонавтов в период санаторно-курортного лечения / Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2024. – Т. 101. – № 3-2. – С. 103-104.
8. Применение программы послеполетной реабилитации космонавтов в санаторно-курортных условиях: описание серии клинических случаев / Г.Н. Тер-Акопов, Н.В. Ефименко, Ю.В. Корягина [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2023. – Т. 22. – № 6. – С. 107-116.
9. О разработке программ и новых медицинских технологий санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации в ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России / Г.Н. Тер-Акопов, Н.В. Ефименко, А.Н. Глухов, А.С. Кайсинова // Курортная медицина. – 2022. – № 1. – С. 5-14.
10. Тер-Акопов, Г.Н. Новые технологии восстановления спортсменов на учебно-тренировочной базе в условиях среднегорья / Г.Н. Тер-Акопов // Современные вопросы биомедицины. – 2017. – Т. 1. – №. 1 (1). – С. 4-16.

REFERENCES

1. Popova N.K. Kulikov A.V., Kondaurova E.M. Risk neurogenes for long-term spaceflight: dopamine and serotonin brain system. *Mol. Neurobiol*, 2014, vol. 51, vo. 3, pp. 1443-1451.
2. Trappe S., Costill D., Gallagher P., Creer A., Peters J.R., Evans H., Riley D.A., Fitts R.H. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station. *Journal of applied physiology*, 2009, no. 106(4), pp. 1159-1168. DOI: 10.1152/japplphysiol.91578.2008
3. Lee J.K., Koppelmans V., Riascos R.F. Spaceflight-Associated Brain White Matter Microstructural Changes and Intracranial Fluid Redistribution. *JAMA Neurol*, 2019, vol. 76, no. 4, pp. 412-419. DOI: 10.1001/jamaneurol.2018.4882.
4. Jillings S., Van Ombergen A., Tomilovskaya E. Macro- and microstructural changes in cosmonauts' brains after long-duration spaceflight. *Science*

Advances, 2020, vol. 6, no. 36, p. eaaz9488, DOI: 10.1126/sciadv.aaz9488.
5. Nicogossia A.E., Williams R.S., Huntoon C.L. Space physiology and medicine: from evidence to practice. NY: Springer, 2016. p. 509. DOI: 10.1007/978-1-4939-6652-3.
6. Potapov M.G., Vasin A.V., Skedina M.A., Kovaleva A.A. Spa- and health-resort-based rehabilitation of cosmonauts after space missions to the ISS: current status. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2018, vol. 52, no. 4, pp. 34-38. (in Russ.)
7. Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N., Abutalimova S.M. Dynamics of the total functional state of the body of astronauts during sanatorium-resort treatment. *Problems of balneology, physiotherapy and exercise therapy*, 2024, vol. 101, no. 3-2, pp. 103-104. (in Russ.)
8. Ter-Akopov G.N., Efimenko N.V., Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Lunina N.V. The post-flight rehabilitation program for astronauts in health resort: case report series. *Bulletin of rehabilitation medicine*, 2023, vol. 22, no. 6, pp. 107-116. (in Russ.)
9. Ter-Akopov G.N., Efimenko N.V., Glukhov A.N., Kaisinova A.S. About the development of programs and medical technologies of sanatorium treatment and medical rehabilitation in FSBI NCFSCC FMBA of Russia. *Resort medicine*, 2022, no. 1, pp. 5-14. (in Russ.)
10.Ter-Akopov G.N. New technologies for the rehabilitation of athletes on the training camp n the conditions of middle altitude. *Modern Issues of Biomedicine*, 2017, vol. 1, no. 1(1), pp. 4-16. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Юлия Валериевна Кушнарева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: u.v.kushnareva@skfmba.ru.
Сергей Викторович Нопин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: work800@yandex.ru.
Сабина Маликовна Абуталимова – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Yulia V. Kushnareva – Senior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: u.v.kushnareva@skfmba.ru.
Sergej V. Nopin – Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru.
Sabina M. Abutalimova – Candidate of Medical Sciences, Lead Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Для цитирования: Особенности функционального статуса опорно-двигательного аппарата и физической работоспособности космонавтов в сравнении с данными здоровых добровольцев / Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева, С.В. Нопин, С.М. Абуталимова // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4. – № 2(14). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_4

For citation: Koryagina Yu.V., Kushnareva Yu.V., Nopin S.V., Abutalimova S.M. Functional status of the musculoskeletal system and physical working capacity of astronauts compared to healthy volunteers. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2025, vol. 4, no. 2(14). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_4