

УДК 612.063

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КОСМОНАВТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФАКТОРОВ ПЯТИГОРСКОГО КУРОРТА И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФИЗИОТЕРАПИИ И МЕХАНОТЕРАПИИ****Г.Н. Тер-Акопов, Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, А.Ш. Абуталимов, Н.В. Ефименко**

Канд. экон. наук Г.Н. Тер-Акопов; докт. биол. наук, проф. Ю.В. Корягина; канд. мед. наук С.М. Абуталимова; А.Ш. Абуталимов; докт. мед. наук, проф. Н.В. Ефименко (ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России)

Восстановление функционального состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА) космонавтов – важная задача, решение которой стоит перед специалистами в области космической медицины на всех этапах медицинского сопровождения. Цель исследования – разработать и научно обосновать методику восстановления ОДА космонавтов с применением факторов Пятигорского курорта и современных технологий физиотерапии и механотерапии в период санаторно-курортного лечения. Работа проводилась на базе санатория им. С.М. Кирова ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в городе Пятигорске. В исследовании приняли участие 5 космонавтов мужского пола, медианный возраст – 55 лет. Результаты исследования показали, что разработанная методика восстановления ОДА космонавтов в санаторно-курортных условиях доказала свою эффективность в виде улучшения функциональных и морфологических показателей членов отряда космонавтов. При этом максимальная эффективность достигается именно при комплексном применении факторов Пятигорского курорта, современных технологий физиотерапии и роботизированной механотерапии.

**Ключевые слова:** космонавты, опорно-двигательный аппарат, нервно-мышечный аппарат, роботизированная механотерапия, пелоидотерапия, бальнеотерапия, физиотерапия, восстановление, реабилитация

**Restoration of the Musculoskeletal System of Cosmonauts Using Natural Factors of Pyatigorsk Resort and Existing Technologies of Physiotherapy and Mechanotherapy. G.N. Ter-Akopov, Yu.V. Koryagina, S.M. Abutalimova, A.Sh. Abutalimov, N.V. Efimenko**

Restoring the functional state of cosmonauts' musculoskeletal system is an important task for the specialists in the field of space medicine at all stages of medical support. The purpose of the study is to develop and scientifically substantiate a method for restoring the musculoskeletal system of cosmonauts using natural factors of Pyatigorsk and existing technologies of physiotherapy and mechanotherapy during the period of sanatorium-resort treatment. The work was carried on at the Sanatorium named after S.M. Kirov (FSBI SKFNKC FMBA

of Russia) in Pyatigorsk. 5 male cosmonauts (their median age was 55 years) took part in the study. The results of the study showed that the developed methodology for restoring the human musculoskeletal system in sanatorium-resort conditions has proven its effectiveness for improving cosmonauts' functional and morphological indicators. At the same time, maximum efficiency is achieved precisely with the integrated use of factors from the Pyatigorsk resort, modern technologies of physiotherapy and robotic mechanotherapy.

**Keywords:** cosmonauts, musculoskeletal system, neuromuscular system, robot-assisted mechanotherapy, mud therapy, balneotherapy, physiotherapy, recovery, rehabilitation

Работа космонавтов относится к чрезвычайно сложным видам деятельности, сопряженной со значительными эмоциональными, интеллектуальными и физическими нагрузками на фоне постоянного воздействия на организм специфических факторов космического полета, таких как невесомость, перегрузки, радиационные воздействия, вибрация, гипокинезия, условия замкнутой среды обитания, психологические особенности космического полета (эмоциональная напряженность, изоляция). Все это приводит к существенным морфологическим и функциональным изменениям, которые следует рассматривать как адаптационные. Воздействие микрогравитации в условиях космического полета влияет практически на все физиологические системы человека. Наиболее уязвимыми системами, которые имеют ключевое значение, являются опорно-двигательный и нейровестибулярный аппараты [1–3]. В связи с чем повышение функций ОДА членов отряда космонавтов, еще не выполнявших космические полеты, и их восстановление в период послеполетной реабилитации является важной задачей, решение которой стоит перед специалистами в области космической медицины на всех этапах медицинского сопровождения [4–6].

Учитывая, что функциональное состояние ОДА космонавтов нельзя отнести к состоянию патологии [7–9], то можно заключить, что для восстановления функций ОДА космонавтов не могут применяться протоколы лечения патологий, принятых в общеклинической практике.

Наиболее мощным природным реабилитационным потенциалом обладает особо охраняемый эколого-курортный регион Российской Федерации – Кавказские Минеральные Воды. Его уникальность обусловлена исключительным разнообразием типов минеральных вод всемирно известных курортов Ессентуки, Пятигорск, Кисловодск, Железноводск, наличием природной иловой сульфидной грязи Тамбуканского озера с выраженными лечебными свойствами, благоприятными ландшафтно-климатическими условиями, тренирующим эффектом умеренной высотной гипоксии на маршрутах терренкуров. Таким образом, актуальным является разработка методики восстановления ОДА космонавтов в период санаторно-курортного лечения, что в дальнейшем позволит рекомендовать ее к применению на 2-м этапе послеполетной реабилитации космонавтов в санаторно-курортных условиях.

## Цель исследования

Разработать и научно обосновать методику восстановления ОДА космонавтов с применением факторов Пятигорского курорта и современных технологий физиотерапии и механотерапии в период санаторно-курортного лечения.

## Методы и организация исследования

Работа проводилась на базе санатория им. С.М. Кирова ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в городе Пятигорске. В исследовании приняли участие пять космонавтов мужского пола. Медианные показатели возраста – 55 (52; 56) лет; массы тела – 89 (82; 101) кг; роста – 176 (172; 178) см.

Программа санаторно-курортного лечения включала воздействие природными факторами, физиотерапию и механотерапию.

Механотерапия глубоких мышц туловища проводилась на роботизированном комплексе (РБК) CENTAUR. Использовались программы «круговой импульс» и «космическое вращение», наклон от исходного вертикального положения составлял 45°. Задержка в заданных ротационных углах (0; 45; 90; 135; –45; –90; –135; 180°) составляла 5 секунд. Длительность процедуры – 10–15 минут. Всего проводилось 10 процедур [10].

Роботизированная механотерапия на РБК CON-TREX проводилась в режимах концентрического и эксцентрического сопротивления при выполнении движений сгибания и разгибания. Модуль TP использовался для механотерапии мышц туловища в грудном и поясничном отделах позвоночника. Время процедуры – 15–20 минут. Для механотерапии мышечного аппарата коленного сустава использовался модуль MJ. Длительность процедуры на один сустав составляла 15–20 минут. Всего проводилось по 10 процедур [6].

Также применялись углекисло-сероводородные ванны, пелоидотерапия лечебной грязью Тамбуканского озера, гидромассаж, магнитотерапия. Углекисло-сероводородные ванны имели 40–50 % концентрацию CO<sub>2</sub>, сероводорода – 15–20 мг/л, температура – 37 °С, время воздействия – 20 минут. Курс – 10 процедур. Для грязелечения использовался аппликатор лечебной грязевой Тамбуканский (одноразовый), область воздействия – пораженные суставы, температура применения – 41–42 °С, время процедуры – 20 минут. Курс – 10 процедур.

Гидромассаж проводился с помощью аппарата AQUATIZER (Minato, Япония), время воздействия – 10 минут, температура воды – 30 °С, интенсивность – тах, область воздействия – все тело, режим – общий массаж тела. Курс – 10 процедур. Магнитотерапию проводили на аппарате для магнитотерапии Physiomed Mag-Expert, катушка 60 см, область воздействия – коленный и голеностопный суставы, время воздействия – 15 минут, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц. Курс – 10 процедур.

Исследование функционального состояния ОДА космонавтов осуществлялось с помощью комплекса методов, включающего денситометрию, биоимпедансометрию, стабилотрию и различные методы динамометрии.

Денситометрия, отражающая плотность костных структур, проводилась однократно на аппарате Hologic Inc. (США). Исследование компонентного состава тела проводилось на аппаратно-программном комплексе ESTECK System Complex (LD Technology, США). Стабилографический контроль проводился на платформе ST-150, в программе STPL (Мера-ТСП, Москва).

Динамометрическое исследование ОДА выполнялось с помощью РБК CON-TREX (модули MJ – для мышц и связок суставов нижних конечностей и модули TP – для мышц туловища) (Physiomed, Германия) и РБК CENTAUR (диагностика автохтонных мышц туловища).

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 13.0. Сравнение показателей для анализа динамики данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона, все данные представлены в виде медиан и 1, и 3 квартилей (Me (Q1; Q3)).

## Результаты исследования и их обсуждение

Применение разработанной методики восстановления ОДА в санаторно-курортном лечении космонавтов на Пятигорском курорте включало механотерапию глубоких мышц туловища РБК CENTAUR, роботизированную механотерапию на РБК CON-TREX, углекисло-сероводородные ванны, гидромассаж и магнитотерапию с параметрами, представленными выше. Результаты исследования функционального состояния ОДА до и после применения разработанной методики показали следующее:

– при проведении денситометрии значения Т-критерия у всех обследуемых 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 динамики показателей состава тела по данным биоимпедансометрии до и после курса санаторно-курортного лечения выявил снижение жировой массы тела и увеличение мышечной массы тела (табл. 1).

Таблица 1

Показатели состава тела космонавтов по данным биоимпедансометрии до и после санаторно-курортного лечения, Me (Q1; Q3), n=5

Показатели	В начале	В конце	P<	Норма
Безжировая масса, кг	69,7 (65,4; 70,2)	69,7 (65,4; 70,2)	–	–
Жировая масса, кг	21,7 (20,3; 26)	20 (19; 25)	0,04	–
Общее количество воды в организме, %	57,4 (54,2; 58,4)	57,4 (55; 59)	–	52–62,2
Индекс массы тела, у.е.	23,9 (22,6; 24,3)	21 (21; 22)	–	23–25
Мышечная масса, кг	28,7 (27,7; 31,9)	29 (29; 32)	0,04	–
Фазовый угол, °	7,9 (7,9; 8)	7,9 (7,9; 8)	–	5,4–7,8

Примечание: P – по критерию Вилкоксона.

Параметры крутящего момента мышечных групп туловища до проведения сеансов механотерапии представлены на рис. 1, после – на рис. 2. Коррекция дисбаланса поверхностных мышц туловища во фронтальной анатомической плоскости проводилась в изокинетическом баллистическом режиме на РБК CON-TREX TP. Несмотря на то, что нагрузка при этом была динамической, проводилась активная компенсация прилагаемого космонавтом усилия, в результате чего осуществлялся контроль за усилением слабых мышечных групп и расслаблением спазмированных участков мышц. В результате такой нагрузки был сформирован правильный динамический стереотип движений, при этом сознательное управление мышечным напряжением способствует формированию правильных двигательных навыков в повседневной жизни.

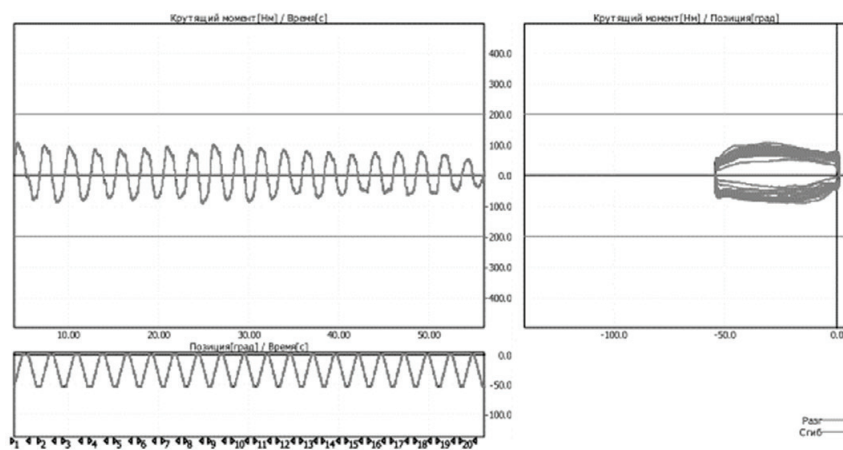


Рис. 1. Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей туловища в начале санаторно-курортного лечения

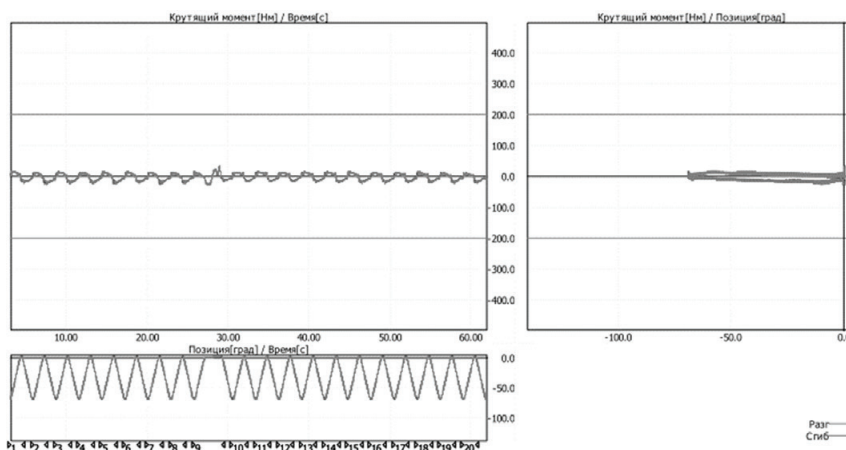


Рис. 2. Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей туловища после санаторно-курортного лечения

При проведении динамометрического исследования до курса механотерапии были получены данные параметров силы и мышечной работы правого коленного сустава, приведенные на рис. 3.

По результатам динамометрического исследования мышечного аппарата коленных суставов была построена программа лечебной гимнастики в изокинетическом баллистическом режиме с последовательным использованием эксцентрического и концентрического типов сопротивления. После курса механотерапии было выявлено снижение параметров крутящего момента (см. рис. 3).

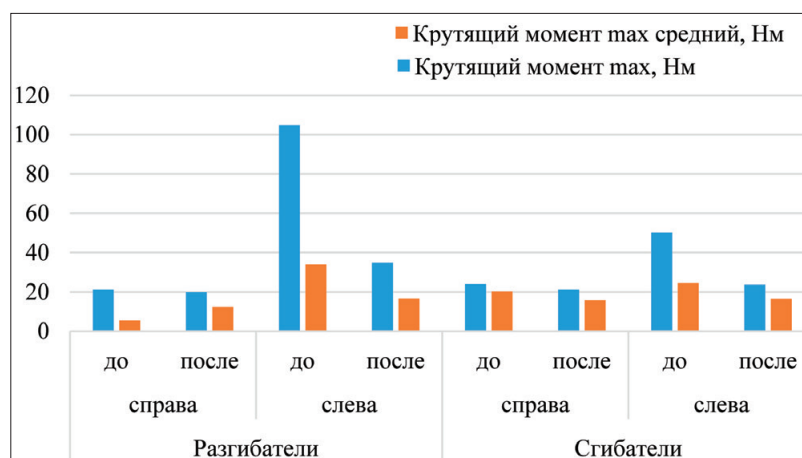


Рис. 3. Показатели крутящего момента силы (Нм) мышц-сгибателей правого и левого коленных суставов космонавтов до и после санаторно-курортного лечения

Длительность сеанса механотерапии на один сустав составляла 15–20 минут. При этом работа в изокинетическом баллистическом режиме позволяла совершать высокоамплитудные движения с приложением минимального усилия. Результаты показывают, что при осуществлении движения после курса механотерапии происходит значительное снижение прикладываемой космонавтом силы, при этом, как следствие, снижается коэффициент утомления, оптимизируется работа мышечно-связочного аппарата.

Данные диагностического исследования, проведенные на РБК CENTAUR, позволили построить программу тренировки в режиме «круговой импульс» на укрепление глубокой мускулатуры позвоночного столба путем отклонения от вертикальной оси на  $45^\circ$  в заданных ротационных углах ( $0; 45; 90; 135; -45; -90; -135; 180^\circ$ ). Кроме того, тренировка включала режим «космического вращения» под углами  $45; 90; -45; -90^\circ$  с экспозицией в заданных плоскостях. Повторное динамометрическое исследование показало, что подобная статическая нагрузка способствует оптимизации и стабилизации общей мускулатуры спины, пресса и повышает координацию автохтонных мышц туловища космонавтов (рис. 4).

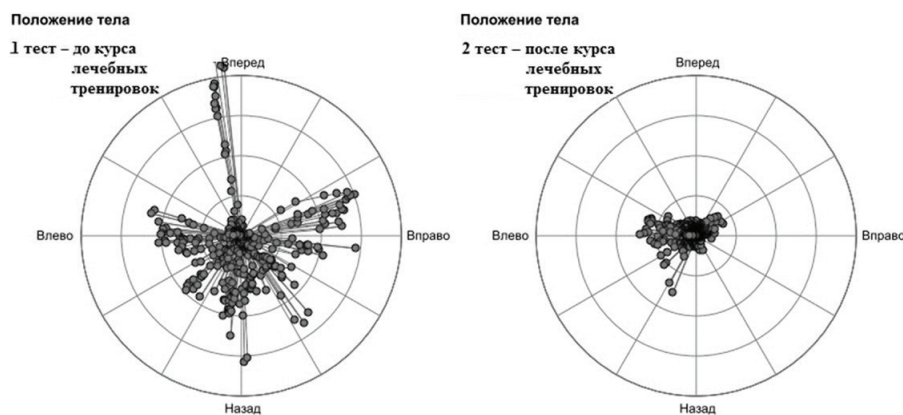


Рис. 4. Показатели силы глубоких мышц туловища, обеспечивающих постральную стабильность, на роботизированном комплексе CENTAUR до и после санаторно-курортного лечения

Также после курса санаторно-курортного лечения у космонавтов статистически значимо увеличилась сила правой кисти (в начале – 28,6 (22,2; 34,5) кг; в конце – 29,5 (25,7; 36,9) кг,  $P < 0,04$ ) и ее силовая выносливость (динамометрия 50 % от макс. силы на время: в начале – 150 (140; 162) с; в конце – 162 (160; 181) с,  $P < 0,04$ ).

Исследование на стабиллоплатформе включало оценку функции равновесия, проприорецептивной системы, зрительного анализатора, вестибулярной устойчивости тела и когнитивного контроля. В ходе анализа стабилметрических показателей пробы Ромберга выявлено, что при первом тестировании преобладал преимущественно зрительный контроль; к концу пребывания в санатории зрительно-проприоцептивный контроль был сбалансированным. Как видно из рис. 5, площадь статокинезиограммы в первом тестировании при открытых глазах составила 99,1 мм<sup>2</sup> против 47 мм<sup>2</sup> – во втором; при закрытых глазах – 199,3 мм<sup>2</sup> в первое тестирование и 171,4 мм<sup>2</sup> – во второе. По результатам пробы Ромберга прослеживается тенденция к улучшению функции равновесия и нормализации баланса зрительно-проприоцептивного контроля после прохождения санаторно-курортного лечения.

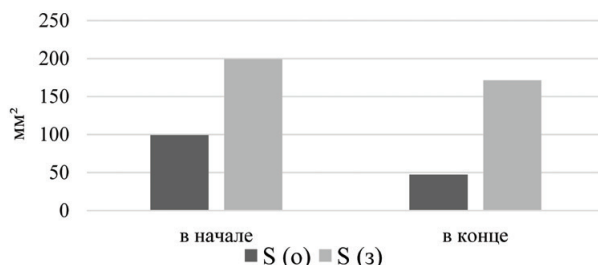


Рис. 5. Площадь статокинезиограммы при открытых S (o) и закрытых S (z) глазах

Комплексное сочетанное потенцирующее влияние природных лечебных факторов Пятигорского курорта (углекисло-сероводородные ванны, пелоидотерапия лечебной грязью Тамбуканского озера, лечебно-оздоровительный потенциал биоклимата курортного региона), а также современных методов физиотерапии и роботизированной механотерапии позволило скорректировать имеющиеся нарушения, восстановить и повысить функциональные возможности ОДА космонавтов (оптимизировалась и стабилизировалась общая мускулатура спины, пресса, повысилась координация автохтонных мышц туловища, вестибулярная устойчивость). Также у космонавтов качественно улучшился состав тела (снизилась жировая масса и увеличилась мышечная), увеличились силовые показатели.

## Выводы

Таким образом, методика восстановления ОДА космонавтов, реализованная в ходе курса санаторно-курортного лечения, включающая комплексное применение факторов Пятигорского курорта и современных технологий физиотерапии и механотерапии, доказала свою эффективность в виде улучшения функциональных и морфологических показателей членов отряда космонавтов, что позволяет ее рекомендовать к использованию в составе программы 2-го этапа послеполетной реабилитации космонавтов в санаторно-курортных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bloomberg, J.J. Risk of Impaired Control of Spacecraft/Associated Systems and Decreased Mobility Due to Vestibular Sensorimotor Alterations Associated with Space flight / J.J. Bloomberg, M.F. Reschke, C.R. Climent. – Houston: the Lyndon B. Johnson Space Center (JSC), 2016. – 155 p.
- [2] Tsybko, A. Effect of Microgravity on Glial Cell Line Derived Neurotrophic Factor and Cerebral Dopamine Neurotrophic Factor Gene Expression in the Mouse Brain // Journal of Neuroscience Research. – 2015. – Vol. 93, No 9. – P. 1399–1404.
- [3] 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. – DOI: 10.1126/sciadv.aaz9488
- [4] Санаторно-курортный этап реабилитации космонавтов после космических полетов на МКС / М.Г. Потапов, А.В. Васин, М.А. Скедина, А.А. Ковалева // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52, № 9. – С. 4.
- [5] Динамика психофизиологического состояния космонавтов в период послеполетной медицинской реабилитации на санаторно-курортном этапе / Ю.В. Корягина, Н.В. Ефименко, С.М. Абуталимова, С.В. Нопин [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7, № 3. – С. 189–196.
- [6] Технологии медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервной системы космонавтов в санаторно-курортных условиях / Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, А.Ш. Абуталимов, С.В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 248–256.



- [7] Бекаев, Е.А. Влияние легкой физиологически полноценной воды на качество жизни и уровень функциональных резервов организма космонавта / Е.А. Бекаев, Е.А. Пятов // Валеология: Здоровье, Болезнь, Выздоровление. – 2022. – № 4. – С. 55–61.
- [8] Белик, В.В. Активный отдых в поддержании работоспособности космонавтов / В.В. Белик, А.А. Меденков, Т.Б. Нестерович // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. – Т 50, № 5. – С. 21–23.
- [9] Лысова, Н.Ю. Кинематические характеристики усложненных локомоций после длительных космических полетов / Н.Ю. Лысова, Е.В. Фомина // Новые подходы к изучению классических проблем [Текст]: материалы IX Всероссийской с международным участием конференции с элементами научной школы по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной памяти Е.Е. Никольского (г. Москва, 18–21 марта 2019 г.) / под общ. ред. И.Б. Козловской, О.Л. Виноградовой, Б.С. Шенкмана. – Москва: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2019. – С. 53.
- [10] Костюк, Е.В. Методика оптимизации нейромышечного баланса мышечного корсета позвоночника у спортсменов на роботизированной системе «Кентавр» / Е.В. Костюк, Ю.В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2017. – Т. 1, № 1(1). – С. 23–30.

## REFERENCES

- [1] Bloomberg, J.J. Risk of Impaired Control of Spacecraft/Associated Systems and Decreased Mobility Due to Vestibular Sensorimotor Alterations Associated with Space flight / J.J. Bloomberg, M.F. Reschke, C.R. Climent. – Houston: the Lyndon B. Johnson Space Center (JSC), 2016. – 155 p.
- [2] Tsybko, A. Effect of Microgravity on Glial Cell line Derived Neurotrophic Factor and Cerebral Dopamine Neurotrophic Factor Gene Expression in the Mouse Brain // Journal of Neuroscience Research. – 2015. – Vol. 93, No 9. – P. 1399–1404.
- [3] 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. – DOI: 10.1126/sciadv.aaz9488
- [4] Sanatorium-Resort Stage of Rehabilitation of Astronauts After Space Flights to the ISS / M.G. Potapov, A.V. Vasin, M.A. Skedina, A.A. Kovaleva // Aerospace and Environmental Medicine. – 2018. – Vol. 52, No 9. – P. 4.
- [5] Dynamics of the Psychophysiological State of Astronauts During Post-Flight Medical Rehabilitation at the Sanatorium-Resort Stage / Yu.V. Koryagina, N.V. Efimenko, S.M. Abutalimova, S.V. Nopin [et al.] // Modern Issues of Biomedicine. – 2023. – Vol. 7, No 3. – P. 189–196.
- [6] Technologies of Medical Rehabilitation of the Musculoskeletal System and Nervous System of Astronauts in Sanatorium Conditions / Yu.V. Koryagina, S.M. Abutalimova, A.Sh. Abutalimov, S.V. Nopin // Modern Issues of Biomedicine. – 2023. – Vol. 7, No 2. – P. 248–256.
- [7] Bekaev, E.A. The Influence of Light Physiologically Full-Fledged Water on the Quality of Life and the Level of Functional Reserves of the Cosmonaut's Body / E.A. Bekaev, E.A. Pyatov // Valeology: Health, Illness, Recovery. – 2022. – No 4. – P. 55–61.

- [8] Belik, V.V. Active Rest in Maintaining the Working Capacity of Astronauts / V.V. Belik, A.A. Medenkov, T.B. Nesterovich // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2016. – Vol. 50, No 5. – P. 21–23.
- [9] Lysova, N.Yu. Kinematic Characteristics of Complicated Locomotions after Long-term Space Flights / N.Yu. Lysova, E.V. Fomina // *New Approaches to the Study of Classical Problems [Text]: Materials of the IX All-Russian Conference with International Participation With Elements of a Scientific School on the Physiology of Muscles and Muscular Activity Dedicated to Memory E.E. Nikolsky (Moscow, March 18–21, 2019)* / Under the General Editorship of I.B. Kozlovskaya, O.L. Vinogradova, B.S. Shankman. – Moscow: SSC RF – IMBP RAS, 2019. – P. 53.
- [10] Kostyuk, E.V. Methodology for Optimizing the Neuro-muscular Balance of the Muscular Spine Corset in Athletes on the Robotic System “Centaur” / E.V. Kostyuk, Yu.V. Koryagina // *Modern Issues of Biomedicine*. – 2017. – Vol. 1, No 1(1). – P. 23–30.