

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕАДАПТАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЫШЦ ТОРСА КОСМОНАВТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНОТЕРАПИИ НА РОБОТИЗИРОВАННОМ БИОМЕХАНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ CENTAUR

Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Е.В. Костюк, А.Ш. Абуталимов, С.В. Нопин

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

Аннотация. Введение. Результаты многолетних исследований установлено отрицательное влияние факторов космического полета на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата космонавтов, в том числе и мышц туловища, в связи с чем существует необходимость разработки эффективных методов их восстановления и укрепления. Целью является разработка методики роботизированной механотерапии на аппарате Centaur для послеполетной реабилитации опорно-двигательного аппарата космонавтов. **Методы.** В исследовании приняли участие 7 космонавтов-мужчин и контрольная группа (здоровые мужчины). Исследование силы мышц торса проводилось на комплексе Centaur (диагностика и тренировка автохтонных мышц туловища). **Результаты.** На основе данных теоретического анализа и диагностики силовых показателей мышц торса космонавтов и мужчин добровольцев разработана методика роботизированной механотерапии на аппарате Centaur для послеполетной реабилитации опорно-двигательного аппарата космонавтов. Методика заключается во вращении пациента вокруг собственной оси с заданными параметрами для укрепления различных групп мышц торса и отличается в зависимости от диагностированных параметров мышечного баланса. **Заключение.** Разработанная методика направлена на оптимизацию баланса автохтонных мышц торса, ликвидацию дефицита и восстановление силовых параметров мышц туловища, централизацию движения и нагрузки по основным анатомическим осям.

Ключевые слова: космонавты, послеполетная реабилитация, опорно-двигательный аппарат, мышцы туловища, роботизированная механотерапия.

DEVELOPING THE METHOD OF READAPTATION AND RECOVERY OF THE TORSO MUSCLES OF ASTRONAUTS USING MECHANOTHERAPY ON THE CENTAUR COMPLEX

Yu.V. Koryagina, S.M. Abutalimova, E.V. Kostyuk, A.Sh. Abutalimov, S.V. Nopin

North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

Abstract. Introduction. The results of many years of research have established the negative influence of space flight factors on the functional state of the musculoskeletal of astronauts, including the torso muscles. Therefore, there is a need to develop efficient methods for their restoration and strengthening. Objective – to develop a method of robot-assisted mechanotherapy on the Centaur complex for post-flight rehabilitation of the astronauts' musculoskeletal system. **Methods.** The study involved 7 male astronauts and the control group (healthy men). The study of the torso muscles' force was carried out on the Centaur complex (diagnosis and training of the autochthonous torso muscles). **Results.** Taking into account the data of theoretical analysis and diagnosis of the force parameters of the torso muscles of astronauts and male volunteers, a method of robot-assisted mechanotherapy on the Centaur complex for the post-flight rehabilitation of the musculoskeletal system was developed. The technique consists in rotating the patient around their own axis with preset parameters to strengthen various muscle groups of the torso and differs depending on the diagnosed parameters of muscle balance. **Conclusion.** The developed technique is aimed at optimizing the balance of the autochthonous torso muscles, eliminating the deficit and restoring the force parameters of the muscles, centralizing movement and load along the main anatomical axes.

Keywords: astronauts, post-flight rehabilitation, musculoskeletal system, torso muscles, robot-assisted mechanotherapy.

Введение. Работа космонавтов на орбите относится к чрезвычайно сложным видам деятельности, сопряженным со значительными физическими нагрузками на фоне постоянного воздействия на организм специфических факторов космического полета (КП), таких как невесомость, перегрузки, радиационные воздействия, вибрация, гипокинезия. Все это приводит к существенным морфологическим и функциональным изменениям, которые следует рассматривать как адаптационные. Воздействие микрогравитации в условиях КП влияет практически на все функциональные системы организма человека [1-4]. Наиболее уязвимым является опорно-двигательный аппарат (ОДА). Состояние невесомости или микрогравитация, исключая физиологическую осевую нагрузку на скелетно-мышечную систему и суставы как основу амортизации при вертикальном перемещении в пространстве, смещение центра тяжести и нарушение адекватного мышечного стимула, нарушение баланса кальция и других микроэлементов вызывают значительные изменения функции органов опоры и движения космонавтов. Снижение тонуса мышц приводит к уменьшению мышечной массы, перераспределению объема циркулирующей крови и жидкостных сред организма, деминерализации костной ткани, что, в свою очередь, ведет к нарушению осанки, смещению внутренних органов и другим негативным изменениям [5-6].

Установлено, что на ранних этапах реадaptации после опорной разгрузки редукция поясничного утолщения спинного мозга не компенсируется, объем белого и серого веществ остаются уменьшенными, что сопровождается снижением средних значений размеров тел мотонейронов [7].

Отсутствие влияния веса тела в условиях микрогравитации влечет за собой каскад нарушений, в первую очередь связанных с осевой нагрузкой на опорный скелет, суставы и мышечную систему. Отсутствие гравитационных стимулов блокирует антигравитационные реакции со стороны ОДА. Представление о цепочке патологических нарушений, впервые высказанное как гипотеза на основе теоретических предпосылок, впоследствии было подтверждено в процессе полетов и послеполетных реакций.

Уменьшение афферентной импульсации в микрогравитационной среде формирует нарушение ответов всех физиологических функций. Анализ особенностей процесса реадaptации у космонавтов, а также наблюдения, проведенные при длительной гиподинамии, свидетельствуют об изменениях со стороны общей реактивности, регуляции вегетативных и двигательных функций. Несовершенством обратной афферентации можно объяснить нарушения координации движений в статике и динамике после окончания космических полетов [8].

Отсутствие компрессионных воздействий на костно-мышечную систему изменяет воздействие на внешний сосудистый тонус и кровообращение. Функциональная недогруженность мышц в условиях микрогравитации является пусковым механизмом, который снижает тонус антигравитационных мышц, уменьшает их противодействие и снижает их рабочий ответ. При микрогравитации снижается тонус мышц, обеспечивающих вертикальное положение тела, и мышц-разгибателей с развитием атрофических/атонических процессов, что, в свою очередь, снижает сопротивляемость сосудистой стенки с развитием дилатационных эффектов [9].

Нарушение метаболизма в костных и мышечных структурах также является следствием снижения нагрузки на ОДА. При этом интенсифицируется белковый катаболизм, развиваются дефицит калия в мышечной ткани, дисбаланс эндокринного статуса [8].

Было показано, что хроническое снижение двигательной активности вызывает масштабные изменения в транскриптоме (несколько тысяч мРНК), а также в протеоме скелетной мышцы. Эти изменения прежде всего связаны с активацией воспалительного ответа и перестройкой внеклеточного матрикса, а также со снижением экспрессии генов, кодирующих различные митохондриальные ферменты [10].

Снижение тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования с развитием диспропорции потребности и энергозатрат указывает на возможность увеличения потребления O_2 и дефицита оксигенации [11].

Десятилетний опыт наблюдения за состоянием космонавтов обобщает сложные сдвиги, происходящие в макро- и микроэлементной базе. Микрогравитация и

неизбежно следующая за ней адаптация клинико-биохимических, гормональных и метаболических процессов ОДА касаются костной и мышечной ткани. При отсутствии гравитационного стимула происходит нарушение макро- и микроэлементного баланса с вымыванием ионов натрия, воды, ионов калия, хлора и железа. При этом развивается отрицательный азотистый баланс, который вместе с потерей воды приводит к снижению массы тела вследствие потери жидкости, мышечной массы, минерального состава с развитием новых корреляций химических элементов биологических сред [12].

Исследования, проведенные на стареющих мышцах, показали снижение синтеза основных сократительных белков – тяжелых цепей миозина, которые коррелируют со снижением мышечной силы, содержанием инсулиноподобного фактора роста, дегидроэпиандростерона сульфата, свободного тестостерона. В свою очередь снижение белкового синтеза в мышцах можно объяснить их пониженной чувствительностью к инсулину и аминокислотам [13].

Следовательно, результатами многолетних исследований установлено отрицательное влияние факторов КП на функциональное состояние ОДА космонавтов и в том числе мышц туловища, в связи с чем существует необходимость разработки эффективных методов их восстановления и укрепления. В качестве данных методов может применяться механотерапия на роботизированных

биомеханических комплексах (РБК), например, таких как РБК Centaur, которые в настоящее время уже успешно применяются в восстановительной и спортивной медицине [14-17].

Целью является разработка методики роботизированной механотерапии на аппарате Centaur для послеполетной реабилитации ОДА космонавтов.

Методы и организация исследования. Исследование было проведено в Федеральном государственном бюджетном учреждении Северо-Кавказском федеральном научно-клиническом центре Федерального медико-биологического агентства России. В исследовании приняли участие 7 космонавтов мужчин (Me [Q1; Q3]), возраст – 55 [52; 57] лет, рост – 176 [172; 178] см, вес – 89 [82; 102] кг и контрольная группа (КГ) – здоровые мужчины, по профессии – тренеры по различным видам спорта. Все участники дали информированное согласие в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации, а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом по экспертизе биомедицинских исследований ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (протоколы № 2 от 26.01.2021, № 2 от 14.05.2024).

Исследование силы мышц торса проводилось на РБК Centaur (диагностика и тренировка автохтонных мышц туловища) (BFMS, Германия) (рис.).



Рис. Исследование функционального состояния опорно-двигательного аппарата космонавта на роботизированном биомеханическом комплексе Centaur

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 13.0. Рассчитывались стандартные показатели описательной статистики (медиана, первый и третий квартили). Нормальность распределения определялась с помощью теста Шапиро-Уилка. Сравнение показателей проводилось с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни.

Результаты исследований и их обсуждение. Сравнение показателей силы автохтонных мышц туловища у космонавтов и мужчин КГ показало, что общий показатель максимальной силы мышц торса, приложенной для поддержания позы тела при изменении заданных ротационных углов во время тестирования, а также показатели максимальной силы, приложенной для поддержания

позы тела при отклонении тренажерного комплекса влево и вправо статистически значимо больше у космонавтов, чем у мужчин КГ.

Следовательно, космонавты прикладывали больше максимальных усилий для поддержания позы тела во время вращения, по сравнению с КГ, по-видимому, это связано с большим весом тела. Прикладываемая относительная сила у них была меньше. Также нужно отметить, что исследование проводилось в условиях гравитации. В целом можно свидетельствовать о больших силовых показателях и лучшей координации работы автохтонных глубоко залегающих мышц туловища космонавтов, что может быть связано с адаптацией их работы в условиях гравитации и невесомости.

Таблица

Показатели приложенной человеком мышечной силы для поддержания позы тела при изменении заданных ротационных углов во время динамометрического тестирования на аппарате Centaur у космонавтов и мужчин КГ, Ме [Q1; Q3]

Показатели	Космонавты (n=7)	КГ (n=54)	P<
ММС, Нм	241 [240; 247]	167,3 [137,9; 214,2]	0,03
ОМС, %	100 [94,9; 100]	218,53 [179,19; 309,61]	-
ММСЛ, Нм	226 [217,2; 240]	159,8 [132,6; 206,8]	0,05
ОММСЛ, %	89 [88; 100]	100 [100; 100]	-
ММСП, Нм	240 [224,4; 242]	160,7 [132,6; 206,8]	0,04
ОММСП, %	94,9 [90,9; 100]	100 [99,9; 100]	-
Дисбаланс, Нм	4,1 [0; 8,2]	0 [0; 0,75]	-

Примечание: КГ – контрольная группа; ММС – показатель максимальной мышечной силы, ОМС – показатель относительной мышечной силы; ММСЛ – показатель максимальной мышечной силы для поддержания позы тела при отклонении тренажерного комплекса влево во время тестирования; ОММСЛ – относительный показатель максимальной мышечной силы, приложенной человеком для поддержания позы тела при отклонении тренажерного комплекса влево во время тестирования; ММСП – показатель максимальной мышечной силы, приложенной человеком для поддержания позы тела при отклонении тренажерного комплекса вправо во время тестирования; ОММСП – относительный показатель максимальной мышечной силы, приложенной человеком для поддержания позы тела при отклонении тренажерного комплекса вправо во время тестирования; дисбаланс – показатель разницы между параметрами максимальной мышечной силы справа и слева, приложенной человеком для поддержания позы тела при отклонении тренажерного комплекса во время тестирования.

В результате проведенной диагностики исходного уровня силы мышц торса были определены задачи программы послеполетной реабилитации ОДА космонавтов:

1) Укрепление и повышение силы мышечных групп верхних и нижних конечностей, оптимизация баланса силы мышц правой и левой половины тела.

2) Поддержание силовых характеристик мышц торса.

Для поддержания силы мышц торса и оптимизации их баланса была разработана специальная методика для выполнения на аппарате Centaur.

Методика восстановления функционального состояния автохтонной стабилизирующей мускулатуры позвоночника включает применение роботизированного комплекса Centaur в режиме «Вращение в пространстве» в виде вращения пациента вокруг собственной

оси с заданными параметрами для укрепления различных групп мышц торса. Данная методика отличается при диагностировании мышечного дисбаланса в разных отделах позвоночника.

Программа при мышечном дисбалансе в грудном отделе позвоночника:

1. Гипотония мышечных групп слева:

- угол вращения (наклона) – индивидуально, согласно протоколу диагностики, в диапазоне от 0 до 90°;

- количество серий – 5;

- количество повторов для одной серии – индивидуально, в зависимости от количества заданных углов наклона в серии (протокол диагностики);

- время перемещения – 5 с;

- продолжительность наклона – 5-6 с;

- количество пауз – 4;

- длительность паузы – 7 с.

2. Гипотония мышечных групп справа:

- угол вращения (наклона) – индивидуально, согласно протоколу диагностики, в диапазоне от 0 до -90°;

- количество серий – 5;

- количество повторов для одной серии – индивидуально, в зависимости от количества заданных углов наклона в серии (протокол диагностики);

- время перемещения – 5 с;

- продолжительность наклона – 5-6 с;

- количество пауз – 4;

- длительность паузы – 7 с.

Программа при мышечном дисбалансе в поясничном отделе позвоночника:

1. Гипотония мышечных групп слева:

- угол вращения (наклона) – индивидуально, согласно протоколу диагностики, в диапазоне от 90 до 179°;

- количество серий – 5;

- количество повторов для одной серии – индивидуально, в зависимости от количества заданных углов наклона в серии (протокол диагностики);

- время перемещения – 5 с;

- продолжительность наклона – 5-6 с;

- количество пауз – 4;

- длительность паузы – 7 с.

2. Гипотония мышечных групп справа:

- угол вращения (наклона) – индивидуально, согласно протоколу диагностики, в диапазоне от - 90 до -180°;

- количество серий – 5;

- количество повторов для одной серии – индивидуально, в зависимости от количества заданных углов наклона в серии (протокол диагностики);

- время перемещения – 5 с;

- продолжительность наклона – 5-6 с;

- количество пауз – 4;

- длительность паузы – 7 с.

Физиологический механизм действия заключается в оптимизации баланса автохтонных мышц торса, ликвидации дефицита работы поддерживающей мускулатуры. Происходит оптимизация мышечно-суставного чувства, восстановление силовых параметров мышц туловища и централизации движения и нагрузки по основным анатомическим осям.

Ожидаемые эффекты применения.

Повышение функциональных возможностей опорно-двигательного аппарата за счет восстановления мышечного баланса торса и улучшения нервно-мышечной координации. Ускорение восстановления нервно-мышечного аппарата.

Показания: состояние после КП, дегенеративные заболевания позвоночника, функциональные боли в спине, слабость и дисбаланс мышц спины, необходимость повышения функциональных возможностей ОДА, недостаточный уровень развития отдельных мышечных групп.

Противопоказания к применению методики: острые травмы, болезненные состояния, сопровождающиеся острым болевым синдромом, лихорадочными состояниями.

Заключение. На основе данных теоретического анализа и диагностики силовых показателей мышц торса космонавтов и мужчин добровольцев, разработана методика роботизированной механотерапии на аппарате Centaur для послеполетной реабилитации ОДА космонавтов.

Методика восстановления функционального состояния автохтонной стабилизирующей мускулатуры позвоночника реализуется на РБК Centaur в режиме «Вращение в пространстве» в виде вращения пациента вокруг собственной оси с заданными параметрами для укрепления различных групп мышц торса. Данная методика отличается в зависимости от установленных параметров мышечного баланса в разных отделах позвоночника.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. – Vol. 106(4). – P. 1159-1168. DOI: 10.1152/jappphysiol.91578.2008
2. 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.
3. Перспективные направления мониторинга состояния здоровья человека в условиях длительного космического полета / В.А. Иванов, Я.Д. Шанский, К.А. Прусаков [и др.] // *Медицина экстремальных ситуаций*. – 2024. – Т. 26(4). – С. 114-122. DOI: 10.47183/mes.2024-26-4-114-122
4. The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight / S.R. Zwart, A.P. Mulavara, T.J. Williams [et al.] // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2021. – Vol. 127. – P. 307-331. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.10.008
5. Гуровский, Н.Н. Основные механизмы влияния невесомости / Н.Н. Гуровский, А.И. Григорьев, А.Д. Егоров // *Космическая биология и медицина. Руководство по физиологии* / ред. О.Г. Газенко. – М.: Наука, 1987. – С. 49-59.
6. Хромова, И.В. Исследование влияния гиподинамии в условиях длительной невесомости / И.В. Хромова, И.М. Ульяновкин // *Наука. Промышленность. Оборона. Материалы Всероссийской научно-технической конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых*. – 2017. – С. 308-310.
7. Уйба, В.В. Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов / В.В. Уйба, И.Б. Ушаков, А.О. Сапеецкий // *Медицина экстремальных ситуаций*. – 2017. – № 1. – С. 45-66.
8. Тяпкина, О.В. Морфологические изменения в поясничном отделе спинного мозга крыс после недельной опорной разгрузки не компенсируются за неделю реадaptации / О.В. Тяпкина, С.Р. Мустакимов, Л.Ф. Нуруллин // *Тезисы XVIII конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием. Земля – орбита – дальний космос (7-9 ноября 2023 г.)* – 2013. – С. 464.
9. Григорьев, А.И. Роль опорной афферентации в организации тонической мышечной системы / А.И. Григорьев, И.Б. Козловская, Б.С. Шенкман // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. – 2004. – Т. 90. – № 5. – С. 508-521.
10. Эффекты хронического снижения двигательной активности на транскриптом и протеом скелетной мышцы человека / Н.С. Курочкина, М.А. Орлова, М.А. Вигровский [и др.] // *Тезисы XVIII конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием. Земля – орбита – дальний космос (7-9 ноября 2023 г.)*. – 2013. – С. 247-248.
11. Влияние длительной гипокинезии на содержание циклических нуклеотидов и биоэнергетику скелетных мышц крыс / С.В. Буравков, Э.С. Маилян, Л.Б. Буравкова [и др.] // *Циклические нуклеотиды. Тезисы докладов III Всесоюзного симпозиума*. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 73-74.
12. Исследования метаболизма, изучение взаимодействия эндокринной, почечной системы и циркуляторных факторов в поддержании объемного и электролитного гомеостаза в условиях микрогравитации: российско-американский проект / А.И. Григорьев, К. Хантун, Б.И. Моруков [и др.] // *Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. Т. 2. Медико-биологические эксперименты*. – М.: Слово, 2002. – Гл. 3. – С. 69-85.
13. Caspase-3 activation in astrocytes following postnatal excitotoxic damage correlates with cytoskeletal remodeling but not with cell death or proliferation / L. Acarin, S. Villapol, M. Faiz [et al.] // *Glia*. – 2007. – Vol. 55. – No. 9. – P. 954-965.
14. 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.
15. Визуализация постуральной функции мышц спины и живота в процессе проведения реабилитационных мероприятий / С.В. Додонов, Е.А. Анисимов, В.В. Кармазин, А.А. Павлова // *Сборник материалов тезисов XIV международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СПОРТМЕД-2019»*. – 2019. – С. 72-73.
16. 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.
17. 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. – № 7(2). – С. 248-256.

REFERENCES

1. 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, vol. 106(4), pp. 1159-1168. DOI: 10.1152/jappphysiol.91578.2008
2. 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.
3. Ivanov V.A., Shansky Y.D., Prusakov K.A., Bespyatykh J.A., Basmanov D.V. Prospective directions in human health monitoring during long-term spaceflights. *Extreme Medicine*, 2024, vol. 26(4), pp. 114-122. DOI: 10.47183/mes.2024-26-4-114-122 (in Russ.)
4. Zwart S.R., Mulavara A.P., Williams T.J., George K., Smith S.M. The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2021, no. 127, pp. 307-331. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.10.008
5. Gurovsky N.N., Grigoriev A.I., Egorov A.D. Main mechanisms of zero gravity influence. Space biology and medicine. Physiology manual. O.G. Gzenko, ed. Moscow: Nauka, 1987. pp. 49-59. (in Russ.)
6. Khromova I.V., Ulyankin I.M. Effect of sedentary lifestyle in zero-gravity conditions. Science. Industry. Defense. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference for students, postgraduates and young scientists. 2017. pp. 308-310. (in Russ.)
7. Ujba V.V., Ushakov I.B., Sapetskij A.O. The medical and biological risks associated with operations in deep space missions. *Extreme Medicine*, 2017, no. 1, p. 45-66. (in Russ.)
8. Tyapkina O.V., Mustakimov S.R., Nurullin L.F. Morphological changes in the lumbar spine of rats after a week of support unloading are not compensated during the readaptation week. Abstracts of the XVIII Conference on Space Biology and aerospace medicine with International Participation. Earth – Orbit – Far Space (November 7-9th, 2023). 2013. p. 464. (in Russ.)
9. Grigor'ev A.I., Kozlovskaya I.B., Shenkman B.S. The role of support afferentation in the organization of the tonic muscular system. *Russian Journal of Physiology*, 2004, vol. 90, no. 5, pp. 508-521. (in Russ.)
10. Kurochkina N.S., Orlova M.A., Vigovskij M.A., Vepkhvadze T.F., Makhnovsky P.A., Grigor'eva O.A. N., Lednev E.M., Efimenko A.Yu., Popov D.V. Effects of chronic decreased motor activity on the transcriptome and proteome of human skeletal muscle. Abstracts of the XVIII Conference on Space Biology and aerospace medicine with International Participation. Earth – Orbit – Far Space (November 7-9th, 2023). 2013. pp. 247-248. (in Russ.)
11. Buravkov S.V., Mailyan E.S., Buravkova L.B., Kovalenko E.A., Kokareva L.V. The effect of prolonged hypokinesia on the cyclic nucleotide content and bioenergetics of rat skeletal muscles. Cyclic nucleotides. Abstracts of the III All-Union Symposium. Kiev: Naukova dumka, 1980. pp. 73-74. (in Russ.)
12. Grigoriev A.I., Huntun K., Morukov B.I., Lane H., Larina I.M., Smith S. Studies of metabolism, the study of the interaction of the endocrine, renal system and circulatory factors in maintaining volumetric and electrolyte homeostasis in microgravity: a Russian-American project. The Mir Space Station. Space biology and medicine. Volume 2. Biomedical experiments. Moscow: Slovo, 2002. Chapter 3. pp. 69-85. (in Russ.)
13. Acarin L., Villapol S., Faiz M., Rohn T., Castellano B., Gonzalez B. Caspase-3 activation in astrocytes following postnatal excitotoxic damage correlates with cytoskeletal remodeling but not with cell death or proliferation. *Glia*, 2007, vol. 55, no. 9, pp. 954-965.
14. Ter-Akopov G.N. New technologies for the rehabilitation of athletes on the training camp in the conditions of middle altitude. *Modern Issues of Biomedicine*, 2017, vol. 1, no. 1 (1), pp. 4-16. (in Russ.)
15. Dodonov S.V., Anisimov E.A., Karmazin V.V., Pavlova A.A. Visualization of the postural function of the back and abdominal muscles during rehabilitation activity. Collection of abstracts of the XIV International Scientific Conference on the state and prospects of development of medicine in elite sports "SPORTMED-2019". 2019. pp. 72-73. (in Russ.)
16. Kostyuk E.V., Koryagina Yu.V. The method of optimization of the neuro-muscular balance of the muscular corpset of the spine in athletes at the robotized system "Centaur". *Modern Issues of Biomedicine*, 2017, vol. 1, no. 1 (1), pp. 23-30. (in Russ.)
17. Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Abutalimov A.Sh., Nopin S.V. Medical rehabilitation technologies for the musculoskeletal and nervous systems of astronauts in sanatorium-resort conditions. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 248-256. (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.

Сабина Маликовна Абуталимова – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

Елена Витальевна Костюк – врач-травматолог-ортопед, заведующая отделением, Центр спортивной медицины и реабилитации, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки.

Али Шамильевич Абуталимов – врач-травматолог-ортопед МЦ Юность ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: abutalimov05@mail.ru.

Сергей Викторович Нопин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: work800@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.

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.

Elena V. Kostyuk – Trauma Orthopedist, Head of the Department, Center of Sports Medicine and Rehabilitation, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki.

Ali Sh. Abutalimov – Trauma Orthopaedist of Medical Center “Yunost”, branch of the North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: abutalimov05@mail.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.

Для цитирования: Разработка методики реадaptации и восстановления мышц торса космонавтов с использованием механотерапии на роботизированном биомеханическом комплексе Centaur / Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Е.В. Костюк [и др.] // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2025. – Т. 4. – № 3(15). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_03_5

For citation: Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Kostyuk E.V., Abutalimov A.Sh., Nopin S.V. Developing the method of readaptation and recovery of the torso muscles of astronauts using mechanotherapy on the Centaur complex. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2025, vol. 4, no. 3(15). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_03_5