

## ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВОК ПО ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГИДРОСРЕДЫ НА ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СИЛУ МЫШЦ КОСМОНАВТОВ

**Т.Б. Кукоба**<sup>1,2</sup>, [tatyana-kukobra@yandex.ru](mailto:tatyana-kukobra@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9550-8066>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский испытательный Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звёздный городок, Московская область, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный социальный университет, Москва, Россия

**Аннотация. Цель:** оценить влияние тренировок при выполнении типовых операций по внекорабельной деятельности (ВКД) в условиях гидросреды (ГС) на физическую работоспособность и силу мышц космонавтов. **Материалы и методы.** На базе гидролаборатории (ГЛ) Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) проведена оценка физической работоспособности шестнадцати космонавтов (средний возраст которых составлял  $39,5 \pm 6,5$  года, средний рост –  $176,7 \pm 4,8$  см, средняя масса тела –  $82,9 \pm 9,2$  кг). Средняя продолжительность тренировок космонавтов в скафандре «Орлан-ГН» (СК) составила  $4 \text{ ч } 50 \text{ мин} \pm 25 \text{ мин}$ . Внутри СК создавалось рабочее избыточное давление воздуха  $0,4 \text{ кг/см}^2$ . В процессе тренировки в реальном масштабе времени регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС), температуру тела заушную (ТТз), рассчитывали величину энергозатрат (ЭТ). До начала и после тренировки измеряли массу тела, силу мышц кисти и спины, оценивали общую физическую работоспособность космонавтов. **Результаты.** За тренировку масса тела снижалась у всех космонавтов. Реакция физиологических систем космонавтов на нагрузку в виде типовых операций ВКД в условиях ГС была в пределах возрастной физиологической нормы на протяжении всей тренировки. Общая физическая работоспособность, сила мышц как кисти, так и спины космонавтов достоверно значимо снижалась после тренировки. **Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о том, что работоспособность и сила мышц космонавтов после тренировки в условиях ГС значительно снижалась, а также наблюдалась дегидратация организма, напряжение деятельности сердечно-сосудистой системы в покое, ухудшение толерантности к физической нагрузке, утомление мышечной системы. Полученные данные необходимо учитывать при планировании операторской деятельности в процессе подготовки космонавтов к космическому полету и выполнению ВКД на МКС.

**Ключевые слова:** космонавты, физическая работоспособность, сила, внекорабельная деятельность

**Для цитирования:** Кукоба Т.Б. Влияние тренировок по внекорабельной деятельности в условиях гидросреды на физическую работоспособность и силу мышц космонавтов // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № 4. С. 119–125. DOI: 10.14529/hsm240415

Original article  
DOI: 10.14529/hsm240415

## PHYSIOLOGICAL IMPACTS OF HYDRO ENVIRONMENT EXTRAVEHICULAR ACTIVITY TRAINING IN COSMONAUTS

**T.B. Kukoba**<sup>1,2</sup>, [tatyana-kukobra@yandex.ru](mailto:tatyana-kukobra@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9550-8066>

<sup>1</sup> Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Star City, Moscow region, Russia

<sup>2</sup> Russian State Social University, Moscow, Russia

**Abstract. Aim.** This paper aims to investigate the effects of standard extravehicular activity (EVA) training in a hydro environment on physical performance and muscle strength in cosmonauts. **Materials and methods.** Sixteen cosmonauts (mean age –  $39.5 \pm 6.5$  years, mean height –  $176.7 \pm 4.8$  cm, mean weight –  $82.9 \pm 9.2$  kg) underwent  $4 \text{ h } 50 \text{ min} \pm 25 \text{ min}$  of training in the Orlan-GN spacesuit (HydroLab, Gagarin Cosmonaut Training Center) at an internal pressure of  $0.4 \text{ kg/cm}^2$ . Physiological measurements

(heart rate, body temperature) and energy consumption were recorded during the EVA training. Anthropometric measurements (body weight), muscle strength (handgrip and back muscles), and physical performance were evaluated pre- and post-training. **Results.** The results obtained demonstrated the following: a decrease in body weight throughout the training period; physiological responses to standard EVA operations within the age-related physiological norm throughout the training period; decreased physical performance and significant muscle fatigue post-training. **Conclusion.** The key findings indicate dehydration, reduced cardiovascular reactivity at rest, decreased exercise tolerance, and increased muscle fatigue. These results have critical implications for space mission planning and EVA operations on the international space station.

**Keywords:** cosmonauts, physical performance, strength, extravehicular activity

**For citation:** Kukoba T.B. Physiological impacts of hydro environment extravehicular activity training in cosmonauts. *Human. Sport. Medicine.* 2024;24(4):119–125. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm240415

**Введение.** В настоящее время в международном космическом сообществе ведется обсуждение приоритетных направлений по программам исследования и освоения дальнего космоса. Рассматриваются различные сценарии освоения дальнего космоса, чаще наблюдается следующая тенденция: первым объектом освоения планируется Луна, вторым Марс, затем освоение околоземных объектов Солнечной системы [12, 13, 15]. Перспективные программы пилотируемых полетов на Луну предусматривают выполнение космонавтами множества исследований на ее поверхности, что обуславливает увеличение времени внекорабельной деятельности (ВКД) [1, 5, 10]. Некоторые условия работы космонавтов на поверхности Луны будут достаточно близки к условиям ВКД на Международной космической станции (МКС). В настоящее время в России накоплен большой опыт и сформированы эффективные системы подготовки космонавтов к ВКД на низких околоземных орбитах. Отбор космонавтов в экипаж осуществляется в том числе и с учетом их физической подготовленности, гарантирующей высокую работоспособность при длительной многоплановой ВКД. Это подтверждается успешной работой космонавтов на МКС при выполнении работ по ВКД [4]. Космонавты проходят отработку операций ВКД на разных технических средствах подготовки космонавтов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК). В нашем исследовании рассматриваются данные, полученные в процессе тренировки в условиях гидросреды (ГС) в гидролаборатории (ГЛ) ЦПК. Эффективность профессиональной деятельности космонавта в специфических условиях ВКД в большей степени определяется уровнем общей физической работоспособности (ОФР) и силовой подготовленности.

Под физической работоспособностью понимают возможности человека, обеспечивающие ему длительное выполнение какой-либо двигательной деятельности без снижения ее эффективности [2, 7]. С физиологической точки зрения работоспособность – это способность человека выполнять в заданных параметрах и конкретных условиях профессиональную деятельность, сопровождающуюся обратимыми, в сроки регламентированного отдыха, функциональными изменениями в организме [8]. Работоспособность представляет собой реакцию организма на определенную нагрузку и указывает на то, какой физиологической ценой для человека обходится эта работа, т. е. чем, например, организм космонавта «расплачивается» за длительное выполнение операций по ВКД в СК в ГС. Специальная работоспособность космонавта в процессе тренировок по ВКД в условиях ГС в значительной мере определяется способностью сердечно-сосудистой и нервно-мышечной систем выдерживать тяжелые длительные физические нагрузки.

**Цель исследования:** оценить влияние тренировок по ВКД в условиях ГС на физическую работоспособность и силу мышц космонавтов.

**Методы и организация исследования.** В исследованиях приняли участие шестнадцать космонавтов, из которых: один космонавт, выполнивший три космических полета (КП); один космонавт, выполнивший два КП; четыре космонавта, выполнивших по одному КП; десять космонавтов, не имеющих опыта КП. Возраст космонавтов в среднем по группе составлял  $39,5 \pm 6,5$  года, средний рост –  $176,7 \pm 4,8$  см, средняя масса тела –  $82,9 \pm 9,2$  кг. В исследовании в качестве модели, воспроизводящей эффекты невесомости, использовали

ГЛ ЦПК. В процессе тренировки в ГЛ космонавты, снаряженные в СК, выполняли типовые операции (ТО) ВКД в условиях ГС.

Средняя продолжительность тренировок космонавтов в скафандре «Орлан-ГН» (СК) по выполнению ТО ВКД в условиях ГС составила 4 ч 50 мин  $\pm$  25 мин. Внутри СК создавалось рабочее избыточное давление воздуха 0,4 кг/см<sup>2</sup>.

В процессе тренировки в реальном масштабе времени с помощью телеметрических комплексов ГЛ осуществлялся оперативный медицинский контроль состояния здоровья космонавтов (частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД), температура тела заушная (ТТз)), а также контроль технических параметров СК (температура воды на входе и выходе костюма водяного охлаждения, температура воздуха на входе и выходе скафандра, расход воздуха и воды, процентное содержание CO<sub>2</sub>).

ЧСС у космонавтов рассчитывалась по кривой ЭКГ, регистрируемой в отведении D-S. ТТз измерялась термистором, укрепленным на коже в заушной ямке космонавта.

Для определения энерготрат (ЭТ) методом непрямой дыхательной калориметрии производили непрерывные измерения расхода вентиляции и концентраций углекислого газа в атмосфере скафандра, а именно: разности концентрации CO<sub>2</sub> на входе и выходе поглотителя CO<sub>2</sub> системы жизнеобеспечения, снабженной контуром вентиляции и контуром водяного охлаждения [1, 3].

До начала и через 15 минут после начала тренировки измеряли массу тела космонавтов.

По результатам теста Руфье – Диксона оценивали ОФР и скорость восстановительных процессов. Силу мышц кисти и спины определяли с помощью кистевой и становой динамометрии соответственно.

Оценка достоверности различий между результатами, полученными до начала тренировки и по её окончании, осуществляли на основе применения t-критерия Стьюдента. Различия считались значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** За тренировку масса тела снижалась у всех космонавтов, средние потери составляли 1,5 %, индивидуальные потери составляли от 1,05 до 1,95 кг.

Анализ данных, полученных во время тренировки, показал, что реакция физиологических систем космонавтов на нагрузку в виде типовых операций ВКД в условиях ГС была в пределах возрастной физиологической нормы на протяжении всей тренировки (см. таблицу).

Средняя ЧСС космонавтов во время тренировки по ВКД в среднем по группе составляла 101  $\pm$  17,0 уд./мин, что указывает на то, что большую часть тренировки нагрузка оценивается как низкоинтенсивная. При выполнении наиболее сложных операций ВКД ЧСС возрастала в среднем до 143  $\pm$  18,1 уд./мин. Диапазон индивидуальных максимальных значений ЧСС за тренировку составлял от 125 до 161 уд./мин. ТТз во время тренировки была в пределах физиологической нормы и находилась в диапазоне (35,2  $\pm$  0,8)–(37,2  $\pm$  0,7) °С. ЭТ в состоянии относительного покоя составляли от 2,2  $\pm$  1,4 ккал/мин, а при максимальных нагрузках достигали 7,4  $\pm$  1,5 ккал/мин, скорость энергопотребления составляла в сред-

**Функциональное состояние космонавтов в процессе тренировки  
по внекорабельной деятельности в условиях моделированной невесомости в гидросреде  
Functional performance in cosmonauts during EVA training in simulated weightlessness under water**

Показатель Parameter	Среднее за тренировку Average per training session X $\pm$ $\sigma$	Максимальное за тренировку Max per training session X $\pm$ $\sigma$	Минимальное за тренировку Min per training session X $\pm$ $\sigma$
ЧСС, уд./мин HR, bmp	101 $\pm$ 17,0	143 $\pm$ 18,1	59 $\pm$ 9,2
ТТз, °С Behind the ear temperature, °С	36,7 $\pm$ 0,3	37,2 $\pm$ 0,7	35,2 $\pm$ 0,8
ЧД, циклов в мин Breathing rate, cycles / min	21 $\pm$ 2,1	40 $\pm$ 1,4	7 $\pm$ 0,2
ЭТ, ккал/мин Energy metabolism, Kcal / min	4,2 $\pm$ 0,7	7,4 $\pm$ 1,5	2,2 $\pm$ 1,4
ЭТ, ккал за тренировку Energy metabolism, Kcal per workout	1133,20 $\pm$ 137,26		

нем  $4,2 \pm 0,7$  ккал/мин. Диапазон индивидуальных максимальных значений ЭТ за тренировку составлял от 5,56 до 10,64 ккал/мин. За время тренировки космонавты в среднем тратили  $1133,20 \pm 137,26$  ккал.

Масса тела космонавтов за период тренировки снизилась в среднем по группе на 1,5 %, индивидуальные потери находились в диапазоне от 1,05 до 1,95 кг. По окончании тренировки ЧСС в состоянии покоя превышала исходный уровень на  $12,6 \pm 8,3$  % ( $P = 0,03$ ). АДд снизилось на  $10,7 \pm 5,9$  % ( $P = 0,01$ ). Показатели АДс и ЧД после тренировки практически не изменились.

До тренировки ОФР у двух космонавтов оценивалась как «отличная», у четырнадцати – как «хорошая». После тренировки оценки «отличная» не выявлено ни у одного космонавта. Оценка «хорошая» осталась у семи космонавтов. У одного космонавта оценка с «отличной» снизилась до «средней», у одного космонавта оценка с «отличной» снизилась до «хорошей». У пяти космонавтов оценка с «хорошей» снизилась до «средней», у двух – с «хорошей» до «слабой». До тренировки в первые 15 с после нагрузки в среднем по группе ЧСС поднималась на 20 уд./мин, после тренировки – на 31 уд./мин. Время восстановления ЧСС после пробы увеличилось у десяти космонавтов, у шести не изменилось.

Сила мышц как кисти, так и спины космонавтов достоверно значимо снижалась после тренировки. До тренировки сила мышц кисти в среднем по группе составляла  $60,0 \pm 6,0$  кг, сила мышц спины составляла  $152,1 \pm 18,0$  кг. После тренировки сила мышц кисти снизилась на 10 % ( $P = 0,04$ ), сила мышц спины снизилась на 12 % ( $P = 0,02$ ).

В связи с планированием в перспективе полетов на Луну интерес вызывают исследования, направленные на определения уровня физической подготовленности человека в условиях микрогравитации [14] и при ВКД в моделируемых эффектах невесомости экспериментах [15, 16]. Полученные нами данные о динамике изучаемых физиологических параметров во время выполнения космонавтами тренировки по ВКД в условиях ГС согласуются с данными, полученными при реальной ВКД, проведенной на Российском сегменте (РС) МКС [6, 9]. В.П. Катунцевым с соавторами было отмечено снижение массы тела у космонавтов после выполнения реального ВКД, у шести из четырнадцати космонавтов потери

составили от 0,1 до 0,6 кг, у пяти – от 1,3 до 2,5 [6]. Было выявлено, что у астронавтов масса тела за пятичасовой выход в открытый космос снижалась до 2,6 кг [11]. Иностранцы специалисты показали, что в условиях моделированной лунной гравитации (1/6 G) в процессе ходьбы со скоростью до 3 км/ч на беговой дорожке в скафандре скорость метаболизма испытуемого составляла примерно  $17 \text{ мл/кг}^{-1}/\text{мин}^{-1}$ , при моделировании марсианской гравитации (1/8 G) –  $28 \text{ мл/кг}^{-1}/\text{мин}^{-1}$  [14].

Во время реальной ВКД энерготраты в периоды *низкоинтенсивной работы* космонавтов составляли 1,5–2,5 ккал/мин, ЧСС при этом находилась в диапазоне 51–60 уд./мин. В нашем случае при минимальных за тренировку по ВКД энерготратах 0,8–3,6 ккал/мин ЧСС составляла 50–68 уд./мин. В период *максимальных нагрузок* во время реального ВКД значения энерготрат могли достигать 8–9,8 ккал/мин при ЧСС 150–168 уд./мин. В тренировках по ВКД в условиях ГС максимальные значения ЭТ были меньше и достигали 5,9–8,9 ккал/мин при ЧСС 125–161 уд./мин. При выполнении операций ВКД в открытом космосе средние ЭТ находились в диапазоне от 3 до 6 ккал/мин, ЧСС при этом варьировала от 75 до 115 уд./мин [6]. В нашем случае средние ЭТ составляли 3,5–4,9 ккал/мин при ЧСС 84–119 уд./мин. Опыт реальной ВКД показал, что в целях обеспечения безопасности выполнения ВКД операции с ЭТ больше 6,0 ккал/мин могут продолжаться не более 10 мин, так как длительная работа высокой интенсивности может привести к резкому снижению физических возможностей космонавта и значительно увеличить время восстановления его работоспособности [6]. Снижение ОФР космонавтов после тренировки подтверждается данными, полученными нами в пробе Руфье – Диксона. У большинства космонавтов снизился индекс Руфье – Диксона, и увеличилось время восстановления ЧСС после дозированной нагрузки.

Известно, что выполнение всех операций как в реальной ВКД, так и в процессе тренировки по ВКД осуществляется преимущественно с помощью рук. Таким образом, длительное время преобладает региональный тип физической нагрузки, направленной на мелкие группы мышц верхних конечностей и плечевого пояса [6]. Это усиливает ощущение утомления как локального (кисти, верхние конечности), так и общего характера. Полученные нами данные динамометрии кисти указывают

на значительное утомление мышц плечевого пояса и верхних конечностей. Снижение силы мышц кисти ( $P = 0,04$ ) космонавтов согласуется с данными, полученными при моделировании в ГС ВКД у астронавтов, сила мышц рук которых после тренировки снижалась на 10 %. Тренировка по ВКД вызывает утомление крупных мышечных групп. Так, нами выявлено снижение силы мышц спины на 13 % ( $P = 0,02$ ), а у астронавтов за пятичасовую ВКД зафиксировано снижение силы мышц бедра до 30 % [10].

**Заключение.** Тренировки по внекорабельной деятельности в условиях гидросреды оказывают негативное влияние на физическую работоспособность и силу мышц космонавтов. Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении физической работоспо-

собности и силы мышц кисти и спины после тренировки. После пятичасовой тренировки у космонавтов наблюдались такие негативные изменения, как: дегидратация организма, напряжение деятельности сердечно-сосудистой системы в покое, ухудшение толерантности к физической нагрузке, признаки утомления мышечной системы.

Полученные данные необходимо учитывать при планировании операторской деятельности в процессе подготовки космонавтов к космическому полету и выполнению ВКД на МКС.

Для планирования подготовки космонавтов к выполнению лунной миссии и осуществлению ВКД на лунной поверхности требуется проведение дополнительных исследований.

### Список литературы

1. Актуальные проблемы пилотируемых полетов к Луне: новые задачи отбора и подготовки экипажей лунных экспедиций / Ю.Б. Сосюрка, И.Г. Сохин, П.П. Долгов, Р.Р. Каспранский // Полет. Общечер. науч.-техн. журнал. – 2014. – № 6. – С. 21–28.
2. Граевская, Н.Д. Спортивная медицина / Н.Д. Граевская, Т.И. Долматова, – М.: Совет. спорт, 2004. – 304 с.
3. Катунцев, В.П. Тепловое состояние космонавтов при автоматическом регулировании теплосъема в период внекорабельной деятельности с борта Международной космической станции / В.П. Катунцев, С.Н. Филипенков // Медицина экстрем. ситуаций. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 300–309.
4. Концептуальные подходы к построению системы отбора космонавтов в свете предстоящих задач перспективных пилотируемых программ / Б.И. Крючков, М.М. Харламов, В.М. Усов и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – Т. 37, № 4. – С. 5–27.
5. Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий / Б.И. Крючков, В.М. Усов, В.И. Ярополов и др. // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 35–57.
6. Российский опыт медицинского обеспечения внекорабельной деятельности космонавтов, проведенной с борта Международной космической станции в 2001–2015 гг. / В.П. Катунцев, Ю.Ю. Осипов, С.Н. Филипенков и др. // Медицина экстрем. ситуаций. – 2016. – Т. 55, № 1. – С. 8–18.
7. Солодков, А.С. Физическая работоспособность спортсменов и общие принципы её коррекции (ч. 1) / А.С. Солодков // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. – 2014. – Т. 109, № 3. – С. 148–158.
8. Сонькин, В.Д. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева. – М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 365 с.
9. Физиолого-гигиенические аспекты обеспечения работы космонавтов в орбитальном полете / И.П. Абрамов, А.С. Барер, М.И. Вакар, и др. // Космич. биология и авиакосмич. медицина. – 1982. – Т. 6, № 6. – С. 16–22.
10. Belobrajdic, B. Planetary extravehicular activity (EVA) risk mitigation strategies for long-duration space missions / B. Belobrajdic, K. Melone, A. Diaz-Artiles // npj Microgravity. – 2021. – Vol. 1 (7). – P. 16. DOI: 10.1038/s41526-021-00144-w
11. Cowell, S.A. The exercise and environmental physiology of extravehicular activity / S.A. Cowell, J.M. Stocks, D.G. Evans // Aviation, space, and environmental medicine. – 2002. – Vol. 1 (73). – P. 54–67. PMID: 11817621.
12. Gastrocnemius medialis contractile behavior during running differs between simulated Lunar and Martian gravities / C. Richter, B. Braunstein, B. Staeudle, et al. // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 1 (94). – P. 22555. DOI: 10.1038/s41598-021-00527-9

13. Pieters, C. M. *Why go Forward to the Moon? Because it is an Integral Part of the Earth – Moon System* / C.M. Pieters, J.W. Head, C.R. Neal // *The Eleventh Moscow Solar System Symposium 11M-S3*. – 2020. – P. 194.

14. *Relationship between simulated extravehicular activity tasks and measurements of physical performance* / C.J. Ade, R.M. Broxterman, J.C. Craig, et al. // *Respiratory physiology & neurobiology*. – 2014. – Vol. 203. – P. 19–27. DOI: 10.1016/j.resp.2014.08.007

15. *Simulation and preparation of surface EVA in reduced gravity at the Marseilles Bay subsea analogue sites* / P. Weiss, B. Gardette, B. Chirié, et al. // *Planetary and Space Science*. – 2012. – Vol. 74. – P. 121–134.

16. Zhang, J.Y., *Performance Risks During Surface Extravehicular Activity and Potential Mitigation Using Multimodal Displays* / J.Y. Zhang, A.P. Anderson // *Aerospace medicine and human performance*. – 2023. – Vol. 1 (94). – P. 34–41. DOI: 10.3357/AMHP.6066.2023

### References

1. Sosyurka Yu.B., Sokhin I.G., Dolgov P.P., Kaspranskiy R.R. [Current Problems of Manned Flights to the Moon. New Tasks of Selecting and Training Crews of Lunar Expeditions]. *Polet. Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal* [Flight. All-Russian Scientific and Technical Journal], 2014, no. 6, pp. 21–28. (in Russ.)

2. Graevskaya N.D., Dolmatova T.I. *Sportivnaya medicina* [Sports Medicine]. Moscow, Soviet Sport Publ., 2004. 304 p.

3. Katuntsev V.P., Filipenkov S.N. [Thermal State of Astronauts During Automatic Regulation of Heat Removal During Extravehicular Activity on Board the International Space Station]. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy* [Emergency Medicine], 2019, vol. 2, no. 2, pp. 300–309. (in Russ.)

4. Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., Usov V.M. et al. [Conceptual Approaches to Building a Cosmonaut Selection System in Light of the Upcoming Tasks of Promising Manned Programs]. *Pilotiruemye polety v kosmos* [Manned Space Flights], 2020, vol. 37, no. 4, pp. 5–27. (in Russ.) DOI: 10.34131/MSF.20.4.5-27

5. Kryuchkov B.I., Usov V.M., Yaropolov V.I. et al. [On the Peculiarities of the Professional Activities of Astronauts During Lunar Missions]. *Pilotiruemye polety v kosmos* [Manned Space Flights], 2016, vol. 19, no. 2, pp. 35–57. (in Russ.)

6. Katuntsev V.P., Osipov Yu.Yu., Filipenkov S.N. et al. [Russian Experience of Medical Support for Extravehicular Activities of Astronauts Carried out on Board the International Space Station in 2001–2015]. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy* [Emergency Medicine], 2016, vol. 55, no. 1, pp. 8–18. (in Russ.)

7. Solodkov A.S. [Physical Performance of Athletes and General Principles of its Correction (Part 1)]. *Uchenyye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta* [Scientific Notes of the University P.F. Lesgaft], 2014, vol. 109, no. 3, pp. 148–158. (in Russ.) DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.03.109.p148-158

8. Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. *Razvitiye myshechnoy energetiki i rabotosposobnosti v ontogeneze* [Development of Muscle Energy and Performance in Ontogenesis]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2010. 365 p.

9. Abramov I.P., Barer A.S., Vakar M.I. et al. [Physiological and Hygienic Aspects of Ensuring the Work of Astronauts in Orbital Flight]. *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya medicina* [Space Biology and Aerospace Medicine], 1982, vol. 6, no. 6, pp. 16–22. (in Russ.)

10. Belobrajdic B., Melone K., Diaz-Artiles A. Planetary Extravehicular Activity (EVA) Risk Mitigation Strategies for Long-duration Space Missions. *Npj Microgravity*, 2021, vol. 1 (7), p. 16. DOI: 10.1038/s41526-021-00144-w

11. Cowell S.A., Stocks J.M., Evans D.G. The Exercise and Environmental Physiology of Extravehicular Activity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2002, no. 1 (73), pp. 54–67.

12. Richter C., Braunstein B., Staeudle B. et al. Gastrocnemius Medialis Contractile behavior During Running Differs between Simulated Lunar and Martian Gravities. *Scientific Reports*, 2021, no. 1 (94), p 22555. DOI: 10.1038/s41598-021-00527-9

13. Pieters C.M., Head J.W., Neal C.R. Why go Forward to the Moon? Because it is an Integral Part of the Earth – Moon System. *The Eleventh Moscow Solar System Symposium 11M-S3*. 2020, 194 p.

14. Ade C.J., Broxterman R.M., Craig J.C. et al. Relationship between Simulated Extravehicular Activity Tasks and Measurements of Physical Performance. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 2014, vol. 203, pp. 19–27. DOI: 10.1016/j.resp.2014.08.007

15. Weiss P., Gardette B., Chirié B. et al. Simulation and Preparation of Surface EVA in Reduced Gravity at the Marseilles Bay Subsea Analogue Sites. *Planetary and Space Science*, 2012, vol. 74, pp. 121–134. DOI: 10.1016/j.pss.2012.06.022

16. Zhang J.Y., Anderson A.P. Performance Risks During Surface Extravehicular Activity and Potential Mitigation Using Multimodal Displays. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 2023, vol. 1 (94), pp. 34–41. DOI: 10.3357/AMHP.6066.2023

#### ***Информация об авторе***

**Кукоба Татьяна Борисовна**, кандидат педагогических наук, начальник научно-исследовательской испытательной лаборатории медицинского управления, Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Московская область, Звездный городок, Россия; доцент кафедры нормальной физиологии, Российский государственный социальный университет, Москва, Россия.

#### ***Information about the author***

**Tatyana B. Kukoba**, Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Moscow region, Star City, Russia; Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Russian State Social University, Moscow, Russia.

***Статья поступила в редакцию 12.03.2024***

***The article was submitted 12.03.2024***