

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-322>

УДК 612.812



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ЛОКОМОТОРНЫХ ТРЕНИРОВОК В ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Н.Ю. Лысова[✉], О.А. Савенко, О.В. Котов

Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

Введение. Основным средством российской системы профилактики негативного влияния невесомости являются локомоторные тренировки, выполняющиеся по строго заданным протоколам, без индивидуального подхода и периодизации тренировочного процесса.

Цель. Изучение влияния периодизации локомоторных тренировок на работоспособность членов экипажей длительных космических миссий.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 12 космонавтов. Космонавты были разделены на две группы: группа БД ($n = 6$), участники которой выполняли локомоторные тренировки в строгом соответствии со стандартной системой бортовой документации; группа ИД ($n = 6$), в которой выполнялись тренировки с использованием индивидуальных протоколов и периодизацией тренировочного процесса. Оценка физической работоспособности проводилась до космического полета (КП) и 3 раза в КП по результатам штатного ступенчатого локомоторного теста. Оценивали достигнутые скорости на наиболее интенсивных ступенях тестирования, пройденное за тест расстояние, пульсовую стоимость тестирования. Статистическая обработка проведена в программе Statistica10, использовали непараметрические методы описательной статистики.

Результаты. Было показано, что во второй части КП космонавты группы ИД достигали больших скоростей на ступенях среднего и быстрого бега, а также преодолевали большее расстояние на 18,5–20,7% ($p \leq 0,05$) и 5–12% ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой БД и с фоновым тестированием соответственно. Пульсовая стоимость нагрузки в группе ИД была ниже на протяжении всего КП по сравнению с фоновыми значениями и ниже по сравнению с группой БД во 2-й и 3-й полетной сессии.

Выводы. Использование периодизации и индивидуального подхода в условиях КП обладает большей профилактической эффективностью по сравнению со стандартными бортовыми тренировками.

Ключевые слова: космический полет; профилактика негативного влияния невесомости; физическая работоспособность; локомоторные тренировки; периодизация; индивидуальный подход

Для цитирования: Лысова Н.Ю., Савенко О.А., Котов О.В. Новые подходы к организации локомоторных тренировок в длительных космических полетах. *Медицина экстремальных ситуаций.* 2025;27(2):197–204. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-322>

Финансирование: работа выполнена в рамках базовой тематики РАН 65.1.

Соответствие принципам этики: исследование не требовало одобрения локального этического комитета в связи с тем, что работа проведена в рамках медицинского сопровождения космических полетов.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Лысова Наталья Юрьевна cehbr@list.ru

Статья поступила: 18.11.2024 **После доработки:** 20.03.2025 **Принята к публикации:** 18.04.2025 **Online first:** 04.06.2025

NEW APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF LOCOMOTOR TRAINING DURING LONG-TERM SPACEFLIGHT

Nataliya Yu. Lysova[✉], Olga A. Savenko, Oleg V. Kotov

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Introduction. In Russia, locomotor training is the key approach to mitigating the negative effects of weightlessness. Locomotor training is performed according to strictly defined protocols, without individualization and periodization of the training process.

Objective. To study the effect of periodization of locomotor training on the performance of crewmembers during long-term space missions.

Materials and methods. The study involved 12 cosmonauts, who were divided into two groups. The first group (BD, $n = 6$) included the participants who performed locomotor training in strict accordance with the standard on-board documentation system. The second group (ID, $n = 6$) included the participants who performed training using individual protocols and periodization of the training process. The assessment of physical performance was carried out according to the results of a regular stepwise locomotive test prior to a spaceflight (SF) mission and three times during SF. The test evaluated the achieved speeds at the most intensive stages of testing, the distance traveled during the test, and heart beats per distance (pulse value performance). Statistical processing was carried out in Statistica 10; nonparametric methods of descriptive statistics were used.

Results. In the second part of SF, cosmonauts in the ID group reached higher speeds at the stages of medium and fast running and covered a greater distance by 18.5–20.7% ($p < 0.05$) and 5–12% ($p < 0.05$) compared with the BD group and with the baseline testing, respectively. The beats per distance in the ID group was lower throughout the SF compared to both the baseline values and the BD group in the 2nd and 3rd flight testing sessions.

Conclusions. In the conditions of SF, locomotor training programs based on periodization and individualization demonstrate a greater preventive effectiveness compared to standard on-board training.

Keywords: space flight; prevention of the negative effects of weightlessness; physical performance; locomotor training; periodization; individual approach

For citation: Lysova N.Yu., Savenko O.A., Kotov O.V. New approaches to the organization of locomotor training during long-term spaceflight. *Extreme Medicine.* 2025;27(2):197–204. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-322>

Funding: the work was carried out within the framework of the basic theme of RAS 65.1.

Compliance with the ethical principles: the study did not require the approval of the local ethics committee due to the fact that the work was carried out as part of the medical support of space flights.

Potential conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

✉ Nataliya Yu. Lysova cehbr@list.ru

Received: 18 Nov. 2024 **Revised:** 20 Mar. 2025 **Accepted:** 18 Apr. 2025 **Online first:** 4 Jun. 2025

© Н.Ю. Лысова, О.А. Савенко, О.В. Котов, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных систем медицинского обеспечения длительных космических полетов (КП) является система профилактики негативного влияния невесомости, которая предназначена для поддержания уровня физической работоспособности членов длительных космических экспедиций, а также для ослабления симптомов микрогравитационного адаптационного синдрома и включает в себя комплекс мероприятий, позволяющих снизить негативный эффект или способствующих восстановлению измененной функции [1].

Одним из элементов данной системы в длительных КП являются физические тренировки, направленные на сохранение физической работоспособности и основных физических качеств. Использование физических тренировок в российской системе профилактики условно подразделяется на 3 этапа:

- первый — начальный этап адаптации к микрогравитации продолжительностью примерно 30 дней, на данном этапе физические тренировки выполняются с нагрузкой, составляющей 50% от рекомендованной, с последующим постепенным увеличением до рекомендованного уровня;
- на втором этапе (стабилизации) продолжительностью 110–130 дней в зависимости от длительности полета физические тренировки планируются по стандартной схеме, нагрузка на данном этапе существенно не меняется;
- на заключительном этапе, начинающемся за 30 дней до посадки, физические тренировки выполняются с увеличенной локомоторной нагрузкой, кроме того, применяются тренировки с отрицательным давлением на нижнюю часть тела [1, 2].

Стоит отметить, что в условиях КП и, в частности, на МКС выполнение физических тренировок ограничено имеющимися на борту средствами: беговая дорожка — основное средство, велоэргометр, нагрузочный силовой, силовой тренажер ARED (Advanced Resistive Exercise Device) американского сегмента МКС, эспандеры. В данном исследовании будут рассмотрены только режимы локомоторных тренировок с учетом периодизации физической нагрузки.

Периодизация — это циклическое упорядочение тренировочных упражнений в соответствии с принципами специфичности объема и интенсивности для достижения максимальной работоспособности во время наиболее важных этапов в физической подготовке. Применительно к КП этапам пилотируемой экспедиции, предъявляющими наибольшие требования к физической работоспособности космонавта, являются внекорабельная деятельность и возвращение на Землю. Периодизация физических тренировок необходима для управления физической работоспособностью путем снижения риска развития утомления и предотвращения снижения тренированности. Периодизация включает в себя долгосрочное (макро- и мезоциклы) и краткосрочное (микроциклы) планирование физических тренировок [3]. Циклическое изменение объема, интенсивности и видов упражнений в тренировочных циклах позволяет избежать эффекта перетренированности, а также способствует достижению пикового уровня физической работоспособности в соответствующие этапы КП [4].

В настоящее время локомоторные тренировки на беговой дорожке «БД-2» осуществляются согласно бортовой

документации в 4-дневном микроцикле, каждый день которого направлен на поддержание определенного физического качества: 1-й день — скорости, 2-й день — силы, 3-й день — выносливости, 4-й день микроцикла является днем активного отдыха, в который космонавты не выполняют тренировки совсем или выполняют их по собственному желанию [5, 6]. Более длительная периодизация в мезо- и макроциклах практически не осуществляется, вследствие чего данный подход противоречит современным представлениями о построении тренировочного процесса [7].

Цель исследования — изучение влияния периодизации локомоторных тренировок на работоспособность членов экипажей длительных космических миссий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 12 космонавтов — участников длительных космических экспедиций (средний возраст 42 ± 5 лет).

Участники были разделены на две группы в зависимости от выбранного подхода к выполнению локомоторных тренировок во время КП:

- группа БД (бортовая документация) ($n = 6$), в которой участники выполняли тренировки в строгом соответствии со стандартной системой, определенной бортовой документацией, по 4-дневному микроциклу, без периодизации тренировочного процесса, то есть с постоянной нагрузкой, за исключением первого месяца КП;
- группа ИД (индивидуальные тренировки) ($n = 6$); в ней участники выполняли локомоторные тренировки с использованием индивидуальных протоколов, разработанных специалистами по профилактике гипогравитационных нарушений и обеспечивающих периодизацию тренировочного процесса.

В индивидуальных протоколах группы ИД использовали интервальный метод тренировки, интенсивность используемых интервалов составляла 70–80% от максимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), регистрируемой в тесте (медицинское обследование 3) МО-3 [1] во время предполетного тестирования. В группе ИД космический полет представлял собой макроцикл, условно разделенный на 5–6 мезоциклов продолжительностью 4–5 недель в зависимости от задач и продолжительности полета. В данной группе применялся пирамидальный подход к периодизации: уменьшение объема и увеличение интенсивности нагрузки [8–10]. Кроме того, в группе ИД в середине КП (2–3-й мезоцикл) происходило запланированное снижение интенсивности физической нагрузки, а также использовались разгрузочные микроциклы при переходе к новому мезоциклу.

Оценка физической работоспособности была проведена на основе штатного медицинского теста МО-3. Данный тест выполнялся в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки (т.е. полотно дорожки перемещалось посредством силы ног космонавтов) и имел строгую временную структуру: 3 мин ходьбы, 2 мин медленного бега, 2 мин среднего бега, 1 мин быстрого бега и 3 мин ходьбы; скорости в данном тесте выбирались членами экипажей субъективно по самочувствию.

Локомоторные тренировки, а также тестирование МО-3 были выполнены на беговой дорожке БД-2 (Россия, ГНЦ РФ — ИМБП РАН). До КП тестирование выполнялось на полном аналоге беговой дорожки БД-2, но без системы

виброизоляции и тренировочно-нагрузочного костюма. ЧСС регистрировали с помощью ЧСС-монитора фирмы «Polar» (Polar Electro Oy, Финляндия).

Этапы исследования

Предполетный этап. Все космонавты-испытатели, принявшие участие в исследовании, выполнили тест МО-3 за 60–30 суток до КП (фоновое исследование).

Полетный этап. В процессе полета космонавты-испытатели выполняли тестирование в соответствии с приведенными сутками полета:

- 1-я полетная сессия — 40–50-е сутки КП;
- 2-я полетная сессия — 80–100-е сутки КП;
- 3-я полетная сессия — 130–150-е сутки КП.

Результаты тестирования анализировались по группам, описание которых представлено выше.

Анализировали пройденное в тесте расстояние, максимальные скорости локомоций на наиболее интенсивных ступенях: средний и быстрый бег. Ступень среднего бега (3-я предмаксимальная ступень нагрузки в тесте МО-3), выполняемая со скоростью, которую космонавты определяют для себя как средней интенсивности; в нашем исследовании средняя скорость локомоций на данной ступени составляла 8 км/ч. Ступень быстрого бега (4-я ступень в тесте МО-3), выполняемая с максимальной интенсивностью; в нашем исследовании средняя скорость локомоций на данной ступени составляла 9,5 км/ч.

В качестве интегрального показателя работоспособности была рассчитана пульсовая стоимость как отношение суммы ЧСС за тест к пройденному расстоянию:

$$ПС = \frac{\sum HR}{S},$$

где ПС — пульсовая стоимость;
 $\sum HR$ — сумма ЧСС во время теста (уд/мин);
 S — расстояние, пройденное во время теста (м).

Следует отметить, что величина осевой нагрузки при выполнении тестирования в условиях космического полета была существенно ниже, чем на Земле (60–70% от веса тела), однако мы не можем внести данный параметр в формулу пульсовой стоимости, так как его влияние на ответ ЧСС, по всей видимости, нелинейно, учитывая отсутствие статистически значимых различий между группами по данному параметру (рис. 1); группы подлежат сравнению между собой.

Кроме того, нами был рассчитан пульсовой долг как разница между суммой ЧСС в течение 5 мин восстановления и ЧСС покоя перед началом тестирования.

Статистическая обработка проведена в программе Statistica 10, использовали непараметрические методы описательной статистики, при сравнении показателей внутри группы — *T*-критерий Вилкоксона, с поправкой Бенъямини-Йекутили [11], при сравнении между группами — *U*-критерий Манна-Уитни. Рассчитывалась медиана *Me*, межквартильный размах, а также проценты изменения относительно фона. Для более полного описания выборки дополнительно представлены выбросы — значения, которые сильно отличаются от выборки, и экстремумы — крайние значения в выборке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения объема и интенсивности нагрузки в группах БД и ИД мы рассмотрели средние расстояния, пройденные за каждую тренировку, и расстояния, пройденные в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки. Количество тренировок у космонавтов обеих групп было практически идентично: таким образом, среднее расстояние, пройденное за тренировку, может свидетельствовать об объеме выполненной работы.

Нами не было выявлено различий между группами по среднему расстоянию, пройденному за тренировку, на протяжении всего КП (рис. 2).

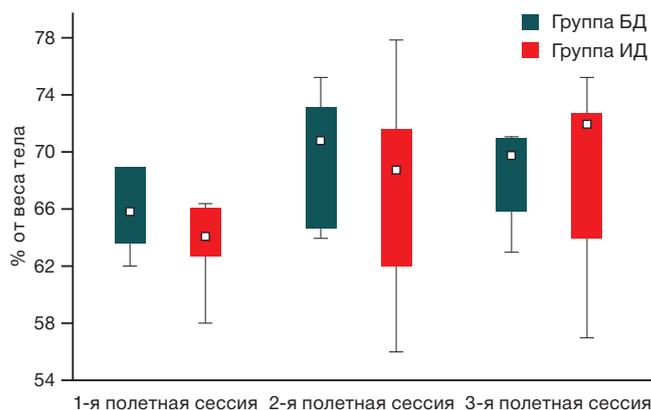


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 1. Величина осевой нагрузки в группах при выполнении теста МО-3

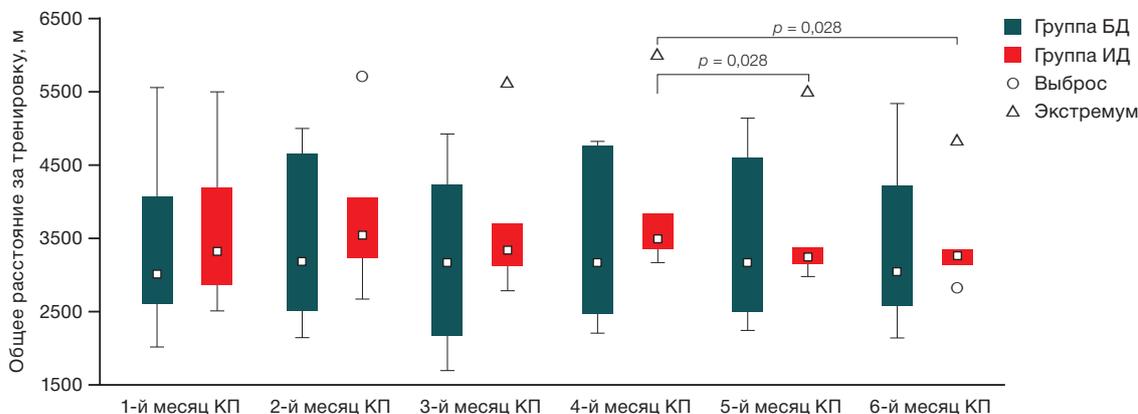


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 2. Общее расстояние за тренировку

Примечание: данные представлены в виде медианы (*Me*) значений нижнего и верхнего квартилей *Q* [25–75%].

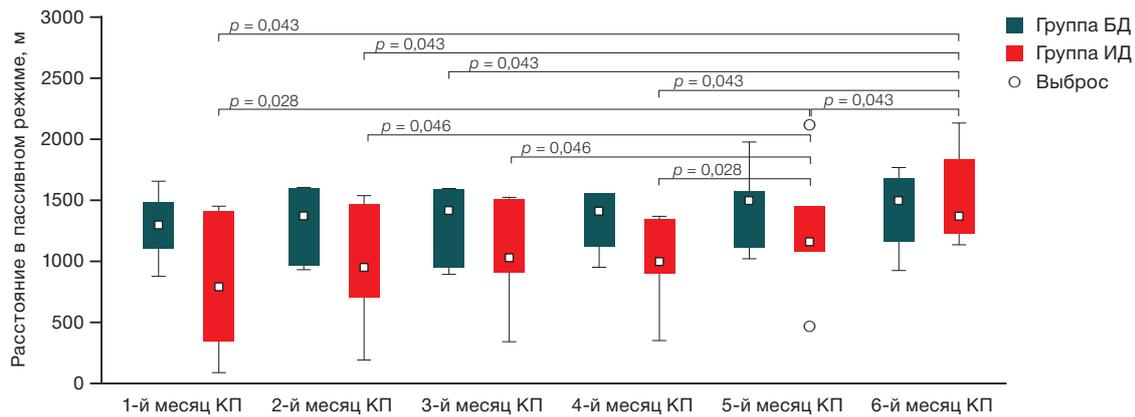


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 3. Расстояние, пройденное в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки

Примечание: данные представлены в виде медианы (Me) значений нижнего и верхнего квартилей Q [25–75%].

Среднее расстояние, пройденное за тренировку в группе ИД, в первый месяц полета составляло 3326 м, ко второму месяцу полета оно увеличилось на 6,6% и составило 3547 м. В третьем месяце полета происходило снижение данного показателя на 5,8% до 3341 м по сравнению со вторым месяцем КП. В четвертом месяце полета для осуществления волнообразности тренировочной нагрузки пройденное расстояние увеличивалось на 4,3% по сравнению с предыдущим месяцем КП, что соответствовало 3484 м. На пятый месяц полета данный показатель снижался на 7% до 3241 м и значительно отличался от четвертого месяца ($p \leq 0,05$). В шестом месяце КП среднее расстояние, пройденное в тренировке, составляло 3261 м и также значительно отличалось от данного показателя в четвертом месяце КП ($p \leq 0,05$) (рис. 2).

В группе БД в первый месяц КП среднее расстояние за тренировку составляло 3018 м. Во второй месяц КП данный показатель увеличивался на 5,1% и составлял 3172 м. Далее (в третьем, четвертом и пятом месяцах КП) изменения пройденного расстояния составляли менее 1%; на шестом месяце КП данный показатель снижался на 3,8% в сравнении с пятым месяцем и составлял 3055 м.

Для оценки интенсивности нагрузки мы использовали расстояние, пройденное в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки. Данный режим является наиболее нагрузочным по сравнению с активным режимом, так

как его выполнение требует приложения дополнительного усилия 3,5 кгс [12]. Кроме того, общее время тренировки оставалось неизменным, а расстояние, пройденное в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки, зависело от скорости и от времени выполнения данного режима. С учетом вышесказанного мы считаем, что изменение расстояния, пройденного в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки за тренировку, может свидетельствовать об изменении интенсивности нагрузки. Данные по среднему расстоянию, пройденному в активном режиме работы полотна беговой дорожки, не рассматривались, так как он является менее нагрузочным, и его представление с точки зрения интенсивности будет являться менее показательным.

На протяжении всего КП значимых различий между группами по среднему расстоянию, пройденному в пассивном режиме, зафиксировано не было (рис. 3).

В группе ИД от первого к третьему месяцу КП происходило увеличение расстояния, пройденного в пассивном режиме (рис. 3). В первый месяц КП данный показатель составлял 787 м, во второй — 955 м, в третий — 1024 м. На четвертый месяц КП в соответствии с периодизацией тренировочного процесса происходило уменьшение расстояния, пройденного в пассивном режиме, до 1004 м. На пятом месяце КП происходило увеличение данного показателя на 15,9% по сравнению с четвертым месяцем, до 1167 м; этот показатель также был значительно выше, чем во все предыдущие месяцы КП ($p \leq 0,05$). На шестой месяц полета пройденное расстояние в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки увеличивалось на 17,7% относительно пятого и составляло 1369 м, этот показатель также был значительно выше ($p \leq 0,05$), чем во все предыдущие месяцы КП (рис. 3).

В группе БД данный показатель менялся не столь значительно на протяжении всего КП. В первый месяц он составлял 1297 м, во второй — 1367 м (+5,5%), в третий — 1418 м (+3,7%), в четвертый — 1413 м (-0,3%), в пятый — 1494 м (+5,7%), в шестой — 1497 м (+0,2%).

Пройденное до полета расстояние в тесте МО-3 между группами не отличалось и составляло в группе ИД 1144,5 м, в группе БД — 1095 м (рис. 4).

В первой полетной сессии в группе ИД происходило увеличение пройденного расстояния на 6,9% (1202,5 м) по сравнению с фоном. В группе БД происходило снижение пройденного расстояния на 7,3% (1040 м) по сравнению с предполетным обследованием, при этом

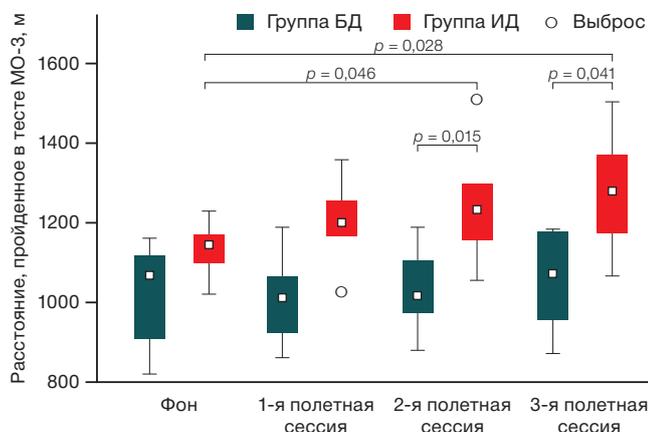


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 4. Расстояние, пройденное в тесте МО-3

Примечание: данные представлены в виде медианы (Me) значений нижнего и верхнего квартилей Q [25–75%].

значимых различий между группами зарегистрировано не было. Во второй полетной сессии в группе ИД происходило дальнейшее увеличение пройденного расстояния (1234,5 м), что было значимо выше по сравнению с фоновым тестированием ($p \leq 0,05$). В группе БД пройденное расстояние практически не менялось, при этом данный показатель был значимо ниже по сравнению с группой ИД ($p \leq 0,05$) и составлял 1022 м. В третьей полетной сессии происходило увеличение пройденного расстояния в обеих группах: в группе ИД оно составило 1281 м и было значимо выше по сравнению с фоновыми значениями и по сравнению с группой БД ($p \leq 0,05$). В группе БД данный показатель составил 1126 м, что практически соответствовало предполетному значению (рис. 4).

Скорость локомоций на ступени быстрого бега до полета в группе ИД составляла 9,65 км/ч, в группе БД — 9,2 км/ч; при этом значимых различий между группами зарегистрировано не было (рис. 5). В первой полетной сессии в группе ИД происходило увеличение данного показателя на 5,2% (10,15 км/ч) по сравнению с фоном, в то же время в группе БД выявлено снижение скорости на 4,9% (8,7 км/ч) по сравнению с фоновым тестированием.

Во второй полетной сессии в группе ИД происходило дальнейшее увеличение скорости на ступени быстрого бега до 10,45 км/ч ($p \leq 0,05$), что на 8,3% выше относительно значения фонового тестирования. В группе БД данный показатель составлял 8,9 км/ч, при этом между группами было зарегистрировано значимое различие по данному показателю ($p \leq 0,05$). В третьей полетной сессии скорость локомоций на ступени быстрого бега в группе ИД составляла 10,35 км/ч и была значимо выше по сравнению с группой БД, где данный показатель составил 8,95 км/ч.

На ступени среднего бега до КП значимых различий между группами выявлено не было (рис. 6). Вместе с тем в группе ИД скорость локомоций от сессии к сессии увеличивалась и составляла: 8,2 км/ч в фоновом тестировании, 8,45 км/ч в первой полетной сессии, 8,63 км/ч во второй полетной сессии, 8,78 км/ч в третьей полетной сессии; во второй и третьей полетных сессиях были показаны значимые различия по сравнению с фоном ($p \leq 0,05$).

В группе БД скорость локомоций на ступени среднего бега на протяжении всего КП была снижена относительно

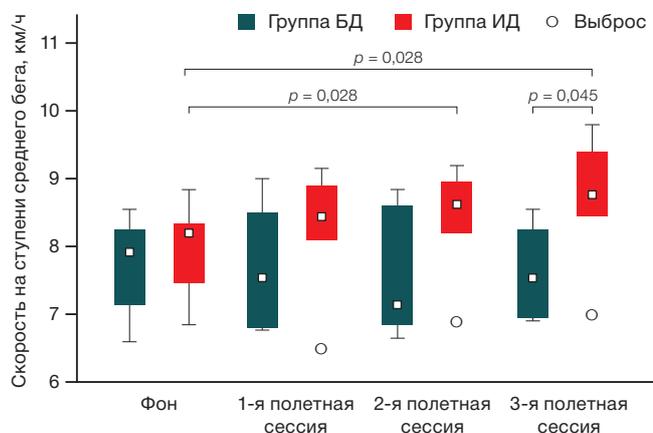


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 6. Скорость локомоций на ступени среднего бега в тесте МО-3
Примечание: данные представлены в виде медианы (Me) значений нижнего и верхнего квартилей Q [25–75%].

фона на 4,7–8,7 %, а именно: 7,55 км/ч в первой полетной сессии, 7,15 км/ч во второй полетной сессии, 7,55 км/ч в третьей полетной сессии против фоновых значений 7,93 км/ч. К тому же в третьей полетной сессии в группе БД скорость была значимо ниже по сравнению с группой ИД (рис. 6).

Пульсовая стоимость нагрузки в тестировании до полета между группами значимо не отличалась. В группе ИД данный показатель до полета составлял 1,48 уд/мин/м, в группе БД — 1,54 уд/мин/м (рис. 7).

В КП в группе ИД во всех полетных сессиях зафиксировано значимое снижение пульсовой стоимости по сравнению с фоном: в первой полетной сессии она составляла 1,35 уд/мин/м (-8,8%), во второй — 1,28 уд/мин/м (-13,2%), в третьей — 1,31 уд/мин/м (-11,3%). В группе БД данный показатель имел тенденцию к снижению, однако уровня значимости не достигал ни в одной полетной сессии и составлял: 1,44 уд/мин/м в первой полетной сессии (-6,7%), 1,48 уд/мин/м — во второй (-4,2%) и 1,43 уд/мин/м — в третьей (-7,1%). Кроме того, во второй и третьей полетных сессиях в группе ИД пульсовая стоимость нагрузки была значимо ниже по сравнению с группой БД (рис. 7).

По показателю «пульсовой долг» нами не было обнаружено статистически значимых различий как между группами, так и внутри групп.

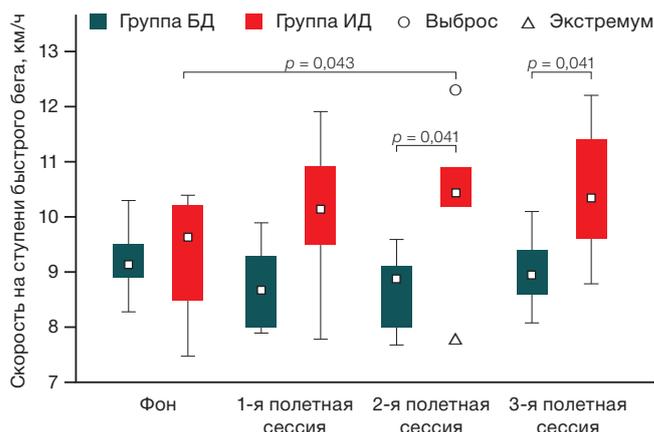


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 5. Скорость локомоций на ступени быстрого бега в тесте МО-3
Примечание: данные представлены в виде медианы (Me) значений нижнего и верхнего квартилей Q [25–75%].

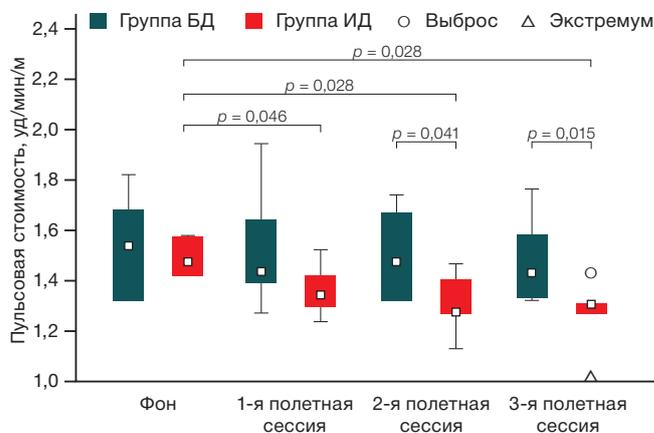


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 7. Пульсовая стоимость нагрузки в тесте МО-3
Примечание: данные представлены в виде медианы (Me) значений нижнего и верхнего квартилей Q [25–75%]; p — уровень статистической значимости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Длительное пребывание в условиях КП приводит к снижению уровня физической работоспособности [13]. Снизить негативные эффекты факторов КП позволяют физические тренировки, к тому же важными являются как сами средства, так и организация тренировочного процесса, в том числе его периодизация. Применение периодизации физической нагрузки в условиях длительного КП за счет принципа волнообразности было предложено специалистами, разработавшими российскую систему профилактики [14]. Кроме того, разработчики данной системы отмечали необходимость индивидуального подхода с учетом избирательного отношения членов экипажей к рекомендованным средствам и методам физической тренировки [14]. Важно отметить, что в нашем исследовании рассматривали только тренировки, выполняемые на беговой дорожке, вместе с тем применение других средств профилактики также оказывало эффект на уровень физической работоспособности членов экипажей. Однако выполнение тренировок на велоэргометре и силовом тренажере было схожим в обеих группах, кроме того, данные тренировки выполнялись через день, в то время как тренировки на беговой дорожке выполнялись ежедневно и, соответственно, оказывали больший эффект на физическую работоспособность членов экипажей.

В нашем исследовании было показано, что в группе БД в первой полетной сессии, несмотря на сниженную осевую нагрузку, происходило уменьшение изучаемых показателей (пройденного расстояния, скорости локомоций на ступенях быстрого и среднего бега), свидетельствующих о снижении физической работоспособности. В дальнейшем в ходе полета происходило незначительное увеличение данных показателей, за исключением скорости на ступени среднего бега, что свидетельствовало о некотором восстановлении работоспособности. В группе ИД пройденное расстояние и скорость локомоций увеличивались в первой полетной сессии по сравнению с фоном.

Результаты, полученные в группе БД, согласуются с результатами других исследователей, показавших, что в полете индекс работоспособности снижается на раннем этапе, но постепенно нормализуется с увеличением продолжительности полета, что, по всей видимости, связано с выполнением профилактических мероприятий [15].

Тест МО-3 можно представить как аналог теста Купера [16], в котором оценка работоспособности производится по пройденному расстоянию. Ступенчатая структура данного тестирования позволяет выделить наиболее значимые этапы, свидетельствующие о максимальной достигаемой мощности в тестировании, — средний и быстрый бег. Выполнение тестирования в пассивном режиме требует от членов экипажей дополнительного усилия 3,5 кгс для поддержания скорости полотна БД-2 [12], что в условиях КП значительно осложнено вследствие развивающейся мышечной атонии и атрофии [17]. Следует также отметить, что в условиях КП использование пассивного режима существенно затруднено из-за особенностей биомеханики движения на дорожке, находящейся на системе виброизоляции, и использования тренировочно-нагрузочного костюма. До КП при выполнении тестирования космонавты упираются руками в специальные поручни, расположенные

спереди на уровне плеч, благодаря чему проталкивают полотно дорожки назад. В условиях КП использование данных поручней невозможно из-за наличия пассивной системы виброизоляции. При дополнительной опоре руками спереди общий центр масс блока полотна беговой дорожки будет существенно смещаться вперед и выходить за пределы центра масс системы виброизоляции, что существенно увеличивает тангаж и приводит к наклону передней части полотна вниз, при этом задняя часть полотна поднимается и упирается в раму. Чтобы избежать данного эффекта, в качестве опоры космонавты используют тренировочно-нагрузочный костюм, что требует дополнительного наклона тела для создания силы, проталкивающей назад полотно дорожки, при этом длина шага существенно снижается.

Изменения пульсовой стоимости в КП, показанные в нашем исследовании, согласуются с результатами, полученными Moore et al. [15]. Постепенное снижение пульсовой стоимости нагрузки в КП свидетельствовало о повышении работоспособности, при этом в группе ИД эти изменения были более выраженными. Снижение уровня физической работоспособности в течение первого месяца КП может быть обусловлено многими факторами [18]: снижением объема плазмы [19], снижением массы левого желудочка [20, 21], мышечной атрофией [22, 23]. Значимо более низкие показатели пульсовой стоимости в группе ИД начиная со второй полетной сессии могут свидетельствовать, что использование периодизации тренировочного процесса позволяет более эффективно сохранить мышечную силу и работоспособность в условиях КП.

В других космических агентствах периодизация физических тренировок проводится ограниченно. В National Aeronautics and Space Administration (NASA) в тренировках на беговой дорожке происходит постепенное увеличение осевой нагрузки с 60 до 80%; протоколы тренировок создаются индивидуально для каждого из членов экипажа, или астронавт выполняет тренировки по своему усмотрению. На силовом тренажере ARED используется периодизация тренировок, включающая 2 трехмесячных макроцикла. Каждый макроцикл состоит из 4 мезоциклов по 3 недельных микроцикла. Микроцикл состоит из 6 тренировок, выполняющихся с тяжелой (4 подхода, 6 повторений), легкой (4 подхода, 12 повторений) и средней (4 подхода, 8 повторений) нагрузкой последовательно, при этом используются 3 протокола тренировок. В мезоцикле тренировки варьируются таким образом, чтобы при выполнении каждого протокола использовался тяжелый, легкий и средний день. В каждом микроцикле происходит постепенное увеличение «веса» отягощения на 5% от повторного максимума. Во втором трехмесячном макроцикле «вес» отягощения увеличивается на основе значений, полученных за последние недели первого макроцикла [24].

В Европейском космическом агентстве весь период полета условно разделен на 3 этапа, как и в российской системе профилактики: начальный (первые 20 суток КП), основной (примерно 130–150 суток), заключительный (15–30 суток перед посадкой). На начальном этапе полета нагрузка на беговой дорожке и велоэргометре низкая и постепенно увеличивается по усмотрению экипажа. На силовом тренажере нагрузка составляет 50–60% от повторного максимума. На основном этапе происходит постепенное увеличение нагрузки на всех используемых средствах.

На заключительном этапе нагрузка поддерживается на высоком уровне, при этом увеличивается доля тренировок, выполняемых на силовом тренажере и беговой дорожке, и снижается количество тренировок на велоэргометре [25].

Таким образом, во всех рассматриваемых системах профилактики негативного влияния невесомости периодизация тренировочного процесса используется не в полном объеме. Основным подходом является постепенное увеличение нагрузки (скорость, величина осевой нагрузки, «вес» отягощения), вместе с тем ни в одной из рассматриваемых систем не учитываются различные фазы адаптации, а также разница во времени между восстановлением и адаптацией в ходе тренировочного процесса.

Литература / References

1. Григорьев АИ, Дитлайн ЛФ, Козловская ИБ, Соуин ЧФ. Профилактические мероприятия в кратковременных и длительных космических полетах. В кн.: Пестов ИД, Дитлайн ЛФ, ред. Космическая биология и медицина. *Здоровье, работоспособность, безопасность космических экипажей*. СПб.: Наука; 2001. С. 63–98. Grigorev AI, Ditley LF, Kozlovskaya IB, Souin ChF. Countermeasures in short-term and long-term space flights. In: Pestov ID, Ditley LF, ed. *Space biology and medicine. Health Performance safety of space crews*. Saint-Peterburg: Nauka; 2001. P. 63–98 (In Russ.).
2. Paladugu P, Ong J, Kumar R, Waisberg E, Zaman N, Kamran SA, Lee AG. Lower body negative pressure as a research tool and countermeasure for the physiological effects of spaceflight: a comprehensive review. *Life Sciences in Space Research*. 2024;42:8–16. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2024.03.007>
3. Plisk SS, Stone MH. Periodization strategies. *Strength & Conditioning Journal*. 2003;25(6):19–37. <https://doi.org/10.1519/00126548-200312000-00005>
4. Haff GG. Roundtable discussion: Periodization of training. Part 1. *Strength & Conditioning Journal*. 2004;26(1):50–69. <https://doi.org/10.1519/00126548-200402000-00016>
5. Козловская ИБ, Пестов ИД, Егоров АД. Система профилактики в длительных космических полетах. *Авиакосм. и экол. мед.* 2008;42(6):66–73. Kozlovskaya IB, Pestov ID, Egorov AD The countermeasure system in long-duration space flights. *Aerospace and environmental medicine*. 2008;42(6):66–73 (In Russ.). EDN: [QBAVLZ](https://doi.org/10.1016/j.lssr.2024.03.007)
6. Фомина ЕВ, Лысова НЮ, Козловская ИБ. Профилактика неблагоприятного влияния невесомости. В кн.: Григорьев АИ, Ушаков ИБ, ред. Космическая медицина и биология. Сборник научных статей. М.: ИМБП; 2013. С. 61–79. Fomina EV, Lysova NYu, Kozlovskaya IB. Countermeasure of the negative effects of weightlessness. In: Grigor'ev AI, Ushakov IB, ed. *Space medicine and biology. Collection of scientific articles*. Moscow: IMBP, 2013. P. 61–79 (In Russ.).
7. Bompa TO, Buzzichelli C. *Periodization: theory and methodology of training*. 5th ed. USA: Human kinetics; 2019.
8. Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine*. 2010;40:189–206. <https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>
9. Casado A, González-Mohíno F, González-Ravé JM, Foster C. Training periodization, methods, intensity distribution, and volume in highly trained and elite distance runners: a systematic review. *International journal of sports physiology and performance*. 2022;17(6):820–33. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0435>
10. Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes?. *International journal of sports physiology and performance*. 2010;5(3):276–91. <https://doi.org/10.1123/ijspp.5.3.276>
11. Benjamini Y, Yekutieli D. The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *Annals of statistics*. 2001;1165–88. <https://doi.org/10.1214/aos/1013699998>
12. Ярманова ЕН, Козловская ИБ. Подходы к разработке тренажера «бегущая дорожка» для пилотируемых космических станций. М.: Петит; 2020. Yarmanova EN, Kozlovskaya IB. Approaches to the development of the treadmill simulator for manned space stations. Moscow: Petit; 2020 (In Russ.).
13. Hackney KJ, Scott JM, Hanson AM, English KL, Downs ME, Ploutz-Snyder LL. The astronaut-athlete: optimizing human performance in space. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(12):3531–45. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001191>
14. Григорьев АИ, Степанцов ВИ, Тишлер АВ, Михайлов ВМ, Пометов ЮД, Дорохова БР. Средства и методы профилактики неблагоприятного влияния невесомости. В кн.: Гуровский НН, ред. Результаты медицинских исследований, выполненных на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6» — «Союз». М., 1986. С. 125–145. Grigorev AI, Stepantsov VI, Tishler AV, Mikhaylov VM, Pometov YuD, Dorokhova BR. Means and methods of countermeasure of the adverse effects of weightlessness. In: Gurovskiy NN, ed. *The results of medical research performed at the orbital research complex "Salyut-6" — "Soyuz"*. Moscow, 1986. P. 125–45 (In Russ.).
15. Moore AD, Lynn PA, Feiveson AH. The first 10 years of aerobic exercise responses to long-duration ISS flights. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2015;86(12):A78–86. <https://doi.org/10.3357/AMHP.EC10.2015>
16. Apte S, Troxler S, Besson C, Gremaux V, Aminian K. Augmented Cooper test: Biomechanical contributions to endurance performance. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2022;4:935272. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.935272>
17. Виноградова ОЛ, Томиловская ЕС, Козловская ИБ. Гравитационный фактор как основа эволюционного приспособления животных организмов к деятельности в наземных условиях. *Авиакосм. и экол. мед.* 2020;54(6):5–26. Vinogradova OL, Tomilovskaya ES, Kozlovskaya IB. The gravitational factor as the basis of the evolutionary adaptation of animal organisms to activity in Earth conditions. *Aerospace and environmental medicine*. 2020;54(6):5–26 (In Russ.). <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2020-54-6-5-26>
18. Pramanik J, Kumar A, Panchal L, Prajapati B. Countermeasures for Maintaining Cardiovascular Health in Space Missions. *Current Cardiology Reviews*. 2023;19(5):57–67. <https://doi.org/10.2174/1573403X19666230330083225>
19. Alfrey CP., Udden MM, Leach-Huntoon C, Driscoll T, Pickett MH. Control of red blood cell mass in spaceflight. *Journal of applied physiology*. 1996;81(1):98–104. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.98>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение локомоторных тренировок с учетом принципов периодизации и индивидуального подхода позволило членам экипажей выполнить тестирование с большей мощностью и с большим объемом работы по сравнению с тренировками, рекомендованными бортовой документацией.

Пульсовая стоимость нагрузки в тестировании в группе космонавтов, выполнявших индивидуальные тренировки, была ниже, несмотря на больший объем нагрузки и развиваемую мощность.

Таким образом, использование принципов периодизации и индивидуального подхода в условиях КП обладает большей профилактической эффективностью по сравнению со стандартными бортовыми тренировками.

20. Perhonen MA, Franco F, Lane LD, Buckey JC, Blomqvist CG, Zerwekh JE, et al. Cardiac atrophy after bed rest and space-flight. *Journal of applied physiology*. 2001;91(2):645–53. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.2.645>
21. Shibata S, Wakeham DJ, Thomas JD, Abdullah SM, Platts S, Bungo MW, Levine BD. Cardiac effects of long-duration space flight. *Journal of the American College of Cardiology*. 2023;82(8):674–84. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.05.058>
22. Fitts RH, Colloton PA, Trappe SW, Costill DL, Bain JL, Riley DA. Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle enzyme and substrate profiles. *Journal of applied physiology*. 2013;115(5):667–79. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00489.2013>
23. Satcher RL, Fiedler B, Ghali A, Dirschl DR. Effect of Spaceflight and Microgravity on the Musculoskeletal System: A Review. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2024;32(12):535–41. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-23-00954>
24. Loehr JA, Williams ME, Petersen N, Hirsch N, Kawashima S, Ohshima H. Physical training for long-duration space-flight. *Aerospace medicine and human performance*. 2015;86(12):A14–23. <https://doi.org/10.3357/AMHP.EC03.2015>
25. Petersen N, Jaekel P, Rosenberger A, Weber T, Scott J, Castrucci F, et al. Exercise in space: the European Space Agency approach to in-flight exercise countermeasures for long-duration missions on ISS. *Extreme physiology & medicine*. 2016;5:1–13. <https://doi.org/10.1186/s13728-016-0050-4>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Н.Ю. Лысова — проведение исследований, обработка данных, написание статьи; О.А. Савенко — медицинское сопровождение в космических полетах; О.В. Котов — организация исследования.

ОБ АВТОРАХ

Лысова Наталия Юрьевна, канд. биол. наук
<https://orcid.org/0000-0003-3697-3165>
cehbr@list.ru

Савенко Ольга Анатольевна
<https://orcid.org/0009-0005-6120-2743>
cool.savenko-olga@yandex.ru

Котов Олег Валериевич, канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-4784-7586>
kotov2710@gmail.com