

*А.А. Савеко, И.В. Рукавишников, В.И. Брыков,
С.Н. Рязанский, Е.С. Томиловская, И.Б. Козловская*

ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ СТЕРЕОТИПЫ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ СТОП У КОСМОНАВТОВ В ХОДЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, лаборатория гравитационной физиологии сенсомоторной системы, Москва, Россия

Резюме. Доклад посвящён исследованию биомеханических характеристик опорных реакций стоп у космонавтов до, во время и после длительных космических полетов. Исследование выполнено с участием 5-ти членов экипажей МКС. Выявлены изменения распределения величин опорной нагрузки между пяточной и предплюсневой зонами, а также структуры шага при выполнении шагов ходьбы и бега, что свидетельствует об изменении локомоторной стратегии в условиях микрогравитации.

Ключевые слова: локомоции, невесомость, подограмма, опорные реакции, микрогравитация, биомеханика ходьбы, биомеханика бега.

В комплексе расстройств, вызываемых снижением гравитационных нагрузок, важное место занимают нарушения функций опорно-двигательного аппарата [4, с. 37]. При воздействии невесомости и в условиях, её моделирующих, у человека и животных отмечаются снижение мышечного тонуса, мышечная атрофия, нарушение вертикальной устойчивости, изменение структуры локомоторных актов и другие двигательные отклонения [2, с. 18]. Роль изменений опорных свойств стопы в генезе этих нарушений до настоящего времени изучена недостаточно. Цель настоящей работы составляло исследование биомеханических характеристик опорных реакций (ОР) стоп у космонавтов до, во время и после длительных космических полетов (КП).

На борту Международной космической станции (МКС) исследование поведено в рамках, выполняющегося с участием российских членов экипажей эксперимента «Мотокард», цель которого состояла в получении объективных количественных данных о характеристиках ходьбы и бега (локомоций) в различные фазы длительного космического полета.

Исследования по программе «Мотокард» на российском сегменте МКС проводились ежемесячно в ходе выполнения локомоторных тренировок.

До начала КП и после его завершения проводится по две сессии эксперимента. В каждом исследовании локомоторный протокол выполняется дважды — в пассивном и активном режимах беговой дорожки. В пассивном режиме полотно дорожки приводится в движение силой ног испытателя, а в активном — электроприводом. Выполняемая космонавтами локомоторная нагрузка состоит из 3-х минут разминочной ходьбы, 2-х минут медленного и среднего бега, 1 минуты максимально быстрого бега, завершающегося 3-мя минутами заминочной ходьбы. При выполнении полётных сессий космонавты используют систему притяга, фиксирующую их к полотну беговой дорожки и обеспечивающую их нагружение величиной в 60-70% от наземного их веса.

При выполнении теста регистрировались подограмма, электромиограммы латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра и 3-х мышц голени: медиальной

К 100 летию физиологического общества им. И.П. Павлова головки икроножной мышцы, камбаловидной и передней большеберцовой мышц, частота сердечных сокращений (ЧСС) и регистрируемые устройствами беговой дорожки (БД-2) величины реакций опоры, скорости локомоций.

В исследованиях приняли участие 5-ть членов экипажей МКС, длительность полетов которых составляла от 5 до 12 месяцев.

Результаты исследования выявили в ходе полёта закономерные изменения динамики распределения нагрузок при выполнении шагов ходьбы и бега между пяточной и предплюсневой зонами в активном и пассивном режимах локомоторного теста. Если до КП различия в сагиттальной плоскости (отношение величины ОР при переднем толчке к заднему толчку) составляли $2,85 \pm 0,86\%$, то к концу первого месяца полёта этот показатель возрастал до $52,39 \pm 0,8\%$, сохраняясь в этих пределах и во втором полётном месяце ($51,78 \pm 2,6\%$). В дальнейшем он достоверно снижался, достигая к концу третьего месяца — величины $37,8 \pm 0,56\%$. Полётный тип распределения ОР сохранялся и после завершения полёта: на 8-е ($6,68 \pm 0,56\%$), на 12-е сутки ($5,14 \pm 0,65\%$).

Определённые изменения были отмечены также в структуре шага на ступенях разминочной и заминочной ходьбы: в конце первого месяца полёта отмечались удлинение двуопорной фазы шага и фазы переноса конечности над опорой на $1,55 \pm 0,27\%$ и $2,08 \pm 0,54\%$, соответственно. Аналогично удлинению периода переноса конечности над опорой при ходьбе, в КП увеличивается длительность фаз полёта и переноса на $1,03 \pm 0,32\%$ и $2,56 \pm 0,78\%$, соответственно. При этом имеет место увеличение площади опоры. Похожие тенденции в подограмме были отмечены ранее в экспериментах с наклонным вывешиванием испытуемых [3, с. 56] и медицинской практике после эндопротезирования тазобедренного сустава [1, с. 38-40] и, по-видимому, являются результатом постановки ноги предпочтительно на переднюю часть стопы, преобладания сгибательной позиции нижних конечностей в опорной фазе, что повышает амортизацию, обеспечивает более выраженный наклон тела над поверхностью опоры, способствуя увеличению угловой скорости падения, а следовательно, облегчая механическую работу мышц при ходьбе и беге.

Описанные изменения свидетельствуют об изменении локомоторной стратегии в условиях микрогравитации [5, с. 1], дальнейший анализ данных позволит получить информацию для корректировки и совершенствования режимов и методов физической тренировки в длительных космических экспедициях.

Исследование поддержано Российской академией наук.

Список литературы.

1. Долганова, Т. И. Приспособительные стереотипы опорных реакций стоп у больных коксартрозом после эндопротезирования тазобедренного сустава / Т. И. Долганова, Е. А. Волокитина и др. // Гений Ортопедии. – 2009. – №3. – С. 34-40.
2. Козловская, И. Б. Авиакосмическая медицина / И. Б. Козловская и др. – М., 1979. – Ч. 1. – 18 с.
3. Панфилов, В. Е. Временная структура процесса и моделированного лунного тяготения / В. Е. Панфилов, В. С. Гурфинкель // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2009. – Т. 43, №5. – С. 54-57.
4. Эрнандес Корво, Р. Влияние 7-суточного космического полёта на структуру и функцию опорно-двигательного аппарата человека / Р. Эрнандес Корво, И. Б. Козловская, Ю. В. Крейдич и др. // Кос. биол. авиакосм. мед. – 1983. – №2. – С. 37-44.
5. De Witt, J. K. Biomechanics of treadmill locomotion on the International Space Station / J. K. De Witt, R. L. Cromwell, L. L. Ploutz-Snyder // NASA Human Research Program Investigators. – 2014. – P. 1.

A.A. Saveko, I.V. Rukavishnikov, V.I. Brykov, S.N. Ryazansky, E.S. Tomilovskaya, I.B. Kozlovskaya
SOLES GROUND REACTION FORCES ADAPTIVE STEREOTYPES IN COSMONAUTS DURING LONG-TERM SPACE FLIGHTS

IBMP RAS, laboratory of gravitational physiology of sensory-motor system (O-), Moscow, Russia

The present report is dedicated to the research of sole ground reaction forces (GRF) biomechanical characteristics in cosmonauts before, during and after long-term space flights. The research is carried out with participation of five ISS crewmembers. Changes in GRF distributing values between heel and tarsus areas were discovered as well as in step structure while performing steps in terms of walking and running, revealing that changes of locomotive strategy in 0G conditions.

Keywords: locomotions, weightlessness, 0G, GRF, ground reaction forces, walking biomechanics, running biomechanics

УДК: 612.8

Т.А. Шигуева, А.З. Закирова, Е.С. Томиловская, И.Б. Козловская
**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЙ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРМОЗНЫХ И ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
СПИННОГО МОЗГА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ АКТИВНОСТИ
ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ**

ФГБУН Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем РАН, лаборатория гравитационной физиологии сенсомоторной системы, Москва, Россия

Резюме. Анализ гистограмм распределения межимпульсных интервалов активности двигательных единиц (ДЕ) экстензоров голени (*m.soleus* и *m.gastrocnemius lat.*) выявил высокую зависимость порядка рекрутирования ДЕ от уровня активности опорного входа. Показано, что в условиях снижения опорных нагрузок наблюдается выраженное снижение интенсивности тормозных и возбудительных процессов в мотонейронном пуле разгибателей, устраняемое при предъявлении опорной нагрузки.

Ключевые слова: мотонейроны, двигательные единицы, период молчания, микрогравитация, «сухая» иммерсия, опорная афферентация.

Введение. Ранее показано, что устранение опорной афферентации сопровождается нарушением порядка рекрутирования мотонейронов мышц разгибателей голени [2, с.627] и бедра [4, р.83] при выполнении произвольных двигательных задач поддержания небольшого усилия. Накапливаются данные, позволяющие предполагать, что модуляция активности двигательных рефлекторных реакций в условиях меняющейся гравитационной среды обеспечивается опорной афферентацией, несущей информацию о гравитационной нагрузке [1, с.508; 3, р.285].

Целью данной работы являлось дальнейшее изучение влияний опорной афферентации на характеристики тормозных и возбудительных процессов в спинальных мотонейронных пулах разгибателей голени (*m.soleus* и *m.gastrocnemius lat.*).

Методика. Опорная разгрузка воспроизводилась условиями «сухой» иммерсии (СИ), являющейся высоко адекватной наземной моделью эффектов невесомости. Работа выполнялись с участием 18-ти здоровых мужчин, подразделявшихся на две равные по численности группы – контрольную («Иммерсия») и экспериментальную