

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора биологических наук, профессора, заведующего кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК» Мельникова Андрея Александровича на диссертационную работу Шпакова Алексея Васильевича «**Механизмы адаптационных перестроек опорно-двигательного аппарата человека при различных уровнях гравитационной разгрузки**», представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 3.3.7 – Авиационная, космическая и морская медицина.

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа А.В. Шпакова посвящена решению крупной научной проблемы современной космической медицины – расшифровке адаптационных перестроек опорно-двигательного аппарата человека при различных уровнях гравитационной разгрузки. Предметом исследований были изменения биомеханических характеристик ходьбы и скоростно-силовых способностей разгибателей бедра под влиянием различных-моделируемых антигравитационных воздействий.

Значимость работы А.В. Шпакова связана с тем, что проблема адаптации опорно-двигательного аппарата человека к изменяющимся условиям внешней среды является одной из актуальных в физиологии мышечной деятельности, космической и авиационной физиологии. Изучение функционального состояния опорно-двигательного аппарата и нервной регуляции его функционирования у человека в условиях космического полета, «сухой» иммерсии, антиортостатической гипокинезии и разгрузки методом вертикального вывешивания имеет фундаментальное значение для космической физиологии и медицины, а также для физиологии мышечной деятельности. Результаты изучения состояния опорно-двигательного аппарата после космических полетов или модельных экспериментальных исследований гравитационной разгрузки могут быть востребованы в таких практических областях, как диагностика двигательных способностей и функций мышечного аппарата у космонавтов, оценки эффективности средств и методов профилактики невесомости, применяемых космонавтами во время полетов, а также для разработки послеполетного восстановления двигательных функций. Кроме того, исследование биомеханических характеристик локомоций человека (ходьба, бег) и скоростно-силовых свойств мышц является одним важным направлением в комплексной диагностике функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека в различных областях спортивной деятельности, а также в

клинической практике. В связи с этим диссертационная работа А.В. Шпакова, несомненно, актуальна.

Новизна научного исследования и полученных результатов.

К принципиально новым результатам, полученных автором можно отнести следующие.

- 1) Важным выводом проведённых исследований можно считать заключение о схожей направленности адаптационных перестроек опорно-двигательного аппарата человека при различном уровне гравитационной разгрузки, которые выражаются в нарушении нормальной биомеханической структуры циклических локомоций (кинематики движений, межмышечной координации, изменения координационной структуры локомоций), увеличении физиологической стоимости работы мышц при локомоциях (ходьбе, беге), и в снижении скоростно-силовых способностей мышц нижних конечностей, включая возрастание вклада быстрых двигательных единиц.
- 2) Автором показана динамика восстановления биомеханических характеристик ходьбы человека в послеполетном периоде в зависимости от объема и интенсивности физических тренировок, выполняемых космонавтами в длительных космических полетах. Важным новым результатом является то, что динамика восстановления биомеханических характеристик ходьбы в послеполетном периоде не зависела от объема и интенсивности тренировочных нагрузок, что ставит под сомнение идею увеличения тренировочных нагрузок в космическом полете.
- 3) Впервые изучены эффекты ортостатической гипокинезии с углом наклона тела относительно горизонта $+9,6$ градуса, моделирующей условия лунной гравитации и снижения опорной реакции до величины $1/6G$, на биомеханические показатели ходьбы, бега и скоростно-силового способности мышц. Новым являются факты о том, что 7-суточная гипокинезии с переменным углом (группа « $9,6^\circ$ +горизонт») положения тела вызывает более серьезные изменения ЭМГ-активности и скоростно-силовых способностей мышц нижних конечностей, тестируемых на динамометр «Соп-Ттех», по сравнению с ортостатической гипокинезией с постоянным углом наклона тела относительно горизонта $+9,6$ градуса. Наибольшим негативным изменениям после экспериментального воздействия подверглись все скоростно-силовые показатели при тестировании на скоростях $0,1$ и $0,7$ м/с, т.е. на самой высокой и самой

низкой скоростях, кроме того, ЭМГ-стоимость работы мышц нижних конечностей при ходьбе увеличивалась у большего числа мышц.

- 4) В серии проведенных работ впервые была использована разработанная автором совместно с коллегами модель гипогравитации – ортостатической гипокинезии с углом наклона тела относительно горизонта +9,6 градуса, а также методология комплексного исследования биомеханических характеристик локомоторных движений человека, которые имеют важное практическое значения для дальнейших исследований по этой проблематике. Модель ортостатической гипокинезии может быть внедрена в практику наземных исследований для дальнейшего изучения влияния на различные физиологические системы организма человека пониженных уровней гравитации, соответствующих уровню гравитации на поверхности Луны и Марса.
- 5) Впервые показано, что ходьба при разгрузке опорно-двигательного аппарата до 38% и 17% веса тела реализуется по двум двигательным стратегиям. Первая характеризуется увеличением вариативности кинематических характеристик голеностопного сустава, которое компенсируется уменьшением кинематических характеристик тазобедренного и коленного суставов. Для второй локомоторной стратегии характерно уменьшение площадей фазовых траекторий в суставах за счет уменьшения амплитуды и снижения угловых скоростей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений диссертации.

Результаты диссертационного исследования выполнены в соответствии с поставленными целями и задачами. Достоверность защищаемых положений ($n=5$) и выводов ($n=3$) обусловлена:

- тщательностью планирования и проведения исследований (7 экспериментальных условий), в которых приняли участие от 9 до 39 человек в обследуемых группах (всего $n= 146$);
- использованием высокотехнологичных методов исследования:
 - а) для регистрации и анализа биомеханической и электромиографической информации (электромиограф «СпортЛаб») во время локомоций (ходьба, бег, велоэргометрия) использовали комплекс «Видеоанализ-3D Биософт» (НМФ «Биософт», Россия);
 - б) для регистрации опорных реакций и пространственно-временных характеристик локомоций использованы силовые платформы «Kistler»;

- с) для оценки скоростно-силовых способностей нижних конечностей использовался изокинетический динамометр «BIODEX System 4 Pro».
- выбором адекватных методов статистики для обработки полученных данных с учетом нормальности распределения.
 - выводы вытекают из полученных результатов, обладают научной новизной и практической значимостью.
 - апробацией материалов работы на более 30 конференциях международного и российского уровня и в виде 60 печатных работ, в том числе 24 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, часть из которых находятся в базах Scopus и Web of Science, и 36 тезисов докладов.

Таким образом, можно заключить о высокой степени обоснованности и достоверности представленных выводов и положений.

Личный вклад автора заключается в: разработке направлений и создании концепции исследований, планировании и проведении экспериментов, сборе данных и анализе полученных результатов, формулировании положений, выносимых на защиту, постановке цели и задач исследования, написания текста диссертации, формировании выводов, подготовка публикаций по материалам диссертации.

Научно-практическая значимость результатов, полученных в диссертации.

Диссертационная работы А.В. Шпакова охватывает достаточно широкий спектр экспериментальных условий (все используются в космической медицине) и методов исследований опорно-двигательного аппарата. Ключевой особенностью работы является предложенная автором методология комплексного исследования биомеханических характеристик локомоторных движений человека (ходьбы, бега, велоэргометрии), использование которой возможно при проведении обследований космонавтов в пред- и послеполётный период, а также в комплексных наземных исследованиях применительно к решению задач космической медицины.

Полученные в работе результаты, характеризующие состояние опорно-двигательного аппарата в различных условиях гравитационной разгрузки, могут использоваться в качестве теоретической основы при разработке новых и совершенствовании действующих средств и методов профилактики неблагоприятных эффектов микро- и гипогравитации на организм космонавтов.

Особое значение предложенные методические подходы могут иметь практическое в спорте для контроля скоростно-силовых способностей опорно-двигательного аппарата и биомеханики локомоций у спортсменов на этапах профессионального отбора и в процессе их спортивной подготовки, а также для сравнительной оценки эффективности тренировочных программ. Полученные методические наработки при некоторых доработках могут использоваться в реабилитации не только космонавтов, но также для оценки адекватности восстановления двигательных функций у неврологических пациентов.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация объемом 325 страниц состоит из следующих разделов: «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», 6 глав с результатами собственных исследований с обсуждением, «Заключение», «Выводы», «Список сокращений и условных обозначений», «Список литературы», «Приложения». Текст содержит 94 рисунка, 24 таблицы. В список литературы включено 399 источников, из которых 116 русскоязычных и 283 источника на иностранных языках. Основному содержанию диссертация предшествует оглавление. В целом диссертация аккуратно оформлена, иллюстративный и табличный материал соответствуют результатам и содержанию диссертации. Общая схема построения работы логична, стиль изложения информативен, ясен, доходчив.

Во «Введении» автором обоснована актуальность направления работы, сформулирована научная новизна диссертации, ее теоретическая и практическая значимость. Для решения поставленной цели работы, сформулированы семь задач исследования. Также во «Введении» сформулированы выносимые на защиту пять концептуальных научных положения, содержатся сведениями по апробации работы (количеству публикаций автора и его выступлений с докладами по теме диссертации на научных мероприятиях). Таким образом, «Введение» содержит все требуемые сведения.

Первая глава посвящена обзору литературы по теме диссертации. Эта глава разделена на 3 раздела. В первом разделе автор рассматривает особенности циклических локомоций человека. Приводятся сведения о кинематических и электромиографических характеристиках локомоций, различия между ходьбой и бегом, об особенностях регуляции и управления локомоциями человека. Второй раздел обзора литературы посвящен влиянию гравитационной разгрузки на костно-мышечную систему человека. Автор приводит сведения по изучению влияния невесомости во время

космических полетов и физиологических эффектов микрогравитации в условиях модельных наземных экспериментов. Кроме того, в данном разделе подробно рассмотрены изменения в мышечной системе человека, изменения биомеханических характеристик движений, обусловленные опорной разгрузкой разной продолжительности и способа моделирования. В третьем разделе обзора автором представлены сведения о влиянии физических нагрузок в условиях гравитационной разгрузки на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата человека. Представлен своего рода экскурс в историю развития системы профилактики неблагоприятного влияния невесомости на организм человека и опорно-двигательный аппарат, в частности. Автор рассматривает различные подходы к средствам и методам профилактики, преимущества и недостатки различных тренажерных устройств на борту космической станции.

В целом, «Обзор литературы» является расширенным обоснованием поставленных во «Введении» задач исследования и дает все основания для предпринятой автором работы. Его основу составляют наиболее значимые результаты медико-биологических исследований по проблеме влияния гипогравитации и физических нагрузок в условиях гравитационной разгрузки на состояние опорно-двигательного аппарата ведущих отечественных и зарубежных специалистов, основная часть которых опубликована в течение последних 10 лет.

Во второй главе «Материалы и методы исследования» приведено описание общих принципов организации экспериментальных исследований, представлен объем экспериментального материала, характеристика экспериментальных условий и подробно описаны методы исследований, которые автор использовал в своей работе.

Исследования по теме диссертации выполнены с участием 146 добровольцев-испытуемых (137 мужчин и 9 женщин). В качестве экспериментальных условий автором выбраны следующие: длительные космические полеты, наземные модели физиологических эффектов невесомости («сухая» иммерсия и антиортостатическая гипокинезия) и лунной гравитации (ортостатическая гипокинезия), и их последовательное воздействие. Для изучения особенной организации локомоций в условиях сниженной гравитационной нагрузки на опорно-двигательный аппарат выбрана разгрузка опорно-двигательного аппарата методом вертикального вывешивания на беговой дорожке до величин 70%, 38% и 17% веса тела испытуемого. Основные методы, которые использовались при подготовке работы являются видеоанализ движений, электромиография,

изокинетическая динамометрия, регистрация опорных реакций и пространственно-временных характеристик локомоций.

Для решения поставленных в диссертации цели и задач автором выполнено 6 блоков экспериментальных исследований.

Первый блок исследований был посвящен оценке влияния длительных космических полетов на биомеханические характеристики ходьбы человека, а также влиянию объем и интенсивности физических тренировок космонавтов во время длительных полетов на динамику восстановления биомеханических характеристик ходьбы в послеполетном периоде.

Второй блок составили исследования функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека в экспериментах с антиортостатической гипокинезией различной продолжительности (3 суток и 21 сутки). Состояние опорно-двигательного аппарата оценивали по результатам анализа биомеханических характеристик медленной и быстрой ходьбы, скоростно-силового тестирования мышц-разгибателей коленного сустава и электромиографическим характеристикам мышц нижних конечностей при выполнении велоэргометрического теста.

Изучение влияния 5-суточной «сухой» иммерсии на женский организм, в частности, на скоростно-силовые показатели мышц-разгибателей коленного сустава составляло основу *третьего блока* исследований.

Исследования *четвертого блока* включали изучение функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека при моделировании физиологических эффектов лунной гравитации. В качестве экспериментального воздействия использовали модель ортостатической гипокинезии различной продолжительности (7 суток и 14 суток).

Самый объемный *пятый блок* исследований был направлен на изучение биомеханических характеристик ходьбы и скоростно-силовых возможностей человека до и после наземного моделирования последовательного воздействия физиологических эффектов невесомости и лунной гравитации. Кроме того, часть исследований была направлена на оценку профилактической эффективности велоэргометрических тренировок в ходе экспериментального воздействия.

Основу *шестого блока* исследований составило изучение особенностей организации локомоций в условиях различной по величине разгрузки (17%, 38%, 70% веса тела) опорно-двигательного аппарата человека. В качестве экспериментальной модели использовали метод вертикального вывешивания во время выполнения локомоций (ходьба, бег) на беговой дорожке.

Все исследования с участием человека проведены в полном соответствии с современными принципами биомедицинской этике.

Описанию полученных автором результатов и их обсуждению посвящены шесть глав диссертации:

Глава 3 – представлены данные об адаптационных изменениях биомеханических характеристик циклических локомоций человека после длительных космических полетов, а также динамике послеполетного восстановления биомеханических характеристик локомоций после длительных космических полетов в зависимости от объема и интенсивности физических тренировок;

Глава 4 – результаты исследований в экспериментах с антиортостатической гипокинезией (биомеханические характеристики локомоций, скоростно-силовые свойства мышечного аппарата нижних конечностей в условиях длительной гипокинезии, состояние мышечного аппарата нижних конечностей при циклической физической нагрузке в эксперименте с 3-суточной антиортостатической гипокинезией);

Глава 5 содержит результаты о влиянии иммерсионной гипокинезии на состояние опорно-двигательного аппарата человека (скоростно-силовые свойства мышечного аппарата нижних конечностей в условиях 5-суточной «сухой» иммерсии у женщин);

Глава 6 – результаты исследований в условиях наземного моделирования лунной гравитации методом ортостатической гипокинезии (состояние мышечного аппарата нижних конечностей при выполнении физической нагрузки до и после пребывания в условиях 7-суточной ортостатической гипокинезии, оценка скоростно-силовых возможностей мышц нижней конечности в условиях наземного моделирования физиологических эффектов лунной (пониженной) гравитации, биомеханические характеристики ходьбы и бега при 14-суточной ортостатической гипокинезии);

Глава 7 посвящена исследованиям функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека последовательного воздействия анти- и ортостатической гипокинезии различной продолжительности;

в Главе 8 – рассматриваются особенности организации локомоций человека в условиях различной по величине гравитационной разгрузки опорно-двигательного аппарата методом вертикального вывешивания.

К числу новых и наиболее значимых результатов настоящей работы можно отнести следующие заключения:

1. Оптимальное сочетание объема и интенсивности физических тренировок во время космического полета, а также соблюдения принципов интервальности и цикличности физических нагрузок оказывает влияние на динамику восстановления биомеханических характеристик ходьбы в послеполетном периоде.

2. Реализация локомоций в условиях измененной гравитационной нагрузки осуществляется по двум двигательным стратегиям. Первая характеризуется уменьшением амплитуды движений в проксимальных суставах (тазобедренный и коленный) и увлечением вариативности кинематических характеристик в дистальном (голеностопном) суставе. При второй локомоторной стратегии нарушается стабильность и эффективность походки вследствие уменьшения углов и угловых скоростей во всех суставах нижних конечностей.

3. Пребывание человека в условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии с углом наклона тела -6° и 5-суточной «сухой» иммерсии несмотря на различную продолжительность приводит к существенным изменениям скоростно-силовых возможностей мышц нижних конечностей. При этом снижение силовых показателей в обеих моделях гравитационной разгрузки происходит преимущественно за счет изменения в активности медленных двигательных единиц.

4. В условиях моделирования физиологических эффектов невесомости и лунной гравитации различной продолжительности биомеханические характеристики циклических локомоций человека изменяются независимо от формы гипокинезии (анти- или ортостатическая), способа выполнения локомоций (естественные локомоции или на тренажере), а также скорости и темпа их реализации.

5. Моделирование физиологических эффектов лунной гравитации методом ортостатической гипокинезии с переменным углом наклона тела обуславливало более выраженные изменения как биомеханических характеристик ходьбы и бега, так и скоростно-силовых свойств мышечного аппарата нижних конечностей. Это связано с периодическим перераспределением опорных стимулов при переводе испытуемых из ортостатического положения в горизонтальное, а также постоянной адаптацией к изменяющимся условиям в организме в целом.

6. Снижение скоростно-силовых возможностей в условиях последовательного воздействия анти- и ортостатической гипокинезии сопровождалось увеличением показателей электромиографической

активности мышц, что указывает на снижение использования мышечного потенциала мышц-разгибателей коленного сустава.

7. Анализ функционального состояния опорно-двигательного аппарата человека в условиях наземного моделирования физиологических эффектов лунной гравитации указывает на сравнительно менее выраженные по сравнению с моделированием невесомости изменения.

8. Применение тренировок на велоэргометре в условиях последовательного воздействия анти- и ортостатической гипокинезии как средства профилактики обуславливает меньшие силовые потери, а также нивелирует постэкспериментальные изменения циклических локомоций человека.

В «Заключении» автор подводит итоги проделанной работы и дает интерпретацию полученным данным. Заключение охватывает все разделы выполненной работы. Общая схема изменений функционального состояния опорно-двигательного аппарата, представленная в «Заключении», подводит итог выполненным исследованиям и помогает визуальному восприятию материала.

Делая общее заключение о работе, можно отметить, кроме уже выделенных, ряд положительных особенностей.

Во-первых, тема работы, посвященная обеспечению космических полетов, является уникальной, и автор с успехом справился с решением всех поставленных задач.

Во-вторых, проведено масштабное многолетнее исследование, в рамках которого выполнено значительное количество экспериментов, всесторонне анализирующих эффекты невесомости и различных уровней гравитационной разгрузки на биомеханические параметры локомоций и скоростно-силовые способности мышц нижних конечностей.

В-третьих, накопленные исследовательские базы данных и технологии электромиографии и биомеханики локомоций могут внедряться в других практических сферах: реабилитации, спортивной тренировке, научных исследованиях.

Существенных замечаний к диссертационной работе А.В. Шпакова нет. Однако, при рассмотрении диссертации возникли вопросы дискуссионного характера:

1. Не совсем корректно сформулирована гипотеза исследований. Фактически она представляет утверждение, однако гипотеза должна

формулироваться в виде предположения, которое автор доказывает своим исследованием.

2. Представляется, что при рассмотрении вопросов профилактики и послеполетного восстановления биомеханических характеристик локомоций после длительных космических полетов, учет реакции сердечно-сосудистой системы позволил бы более полно обосновать оптимальные режимы физических упражнений в рамках адаптации целостного организма.
3. Согласно результатам исследований с участием космонавтов сделано заключение о минимальных изменениях кинематических характеристик в тазобедренном суставе, что автор связывает со стабилизацией сустава большим количеством мышечных групп. Что является причиной столь явной разницы между изменениями мышц окружающих тазобедренный, коленный и голеностопный суставы? При чем это прослеживается и при анализе результатов модельных экспериментов.
4. Являлись ли бы достаточными тренировки на велоэргометре в качестве средства профилактики в условиях антиортостатической гипокинезии при использовании тренировочных протоколов по аналогии с последовательным экспериментом с анти- и ортостатической гипокинезией?

Отмеченные замечания носят дискуссионный характер и не снижают высокой положительной оценки выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работы Шпакова А.В. «Механизмы адаптационных перестроек опорно-двигательного аппарата человека при различных уровнях гравитационной разгрузки» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области космической медицины. Помимо высокой научной значимости результаты этой работы имеют большое практическое значение для совершенствования системы медицинского обеспечения длительных орбитальных полетов и перспективных космических миссий за пределы околоземной орбиты. Диссертация А.В. Шпакова соответствует паспорту научной специальности 3.3.7. – Авиационная, космическая и морская медицина и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

доктора наук (пп. №9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ, утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. с последующими дополнениями и изменениями), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 3.3.7. – Авиационная, космическая и морская медицина.

Официальный оппонент
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой физиологии
Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»



Мельников
Андрей Александрович

подпись

« 20 » марта 2025 г

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»
105122, г. Москва, Сиреневый бульвар, д. 4
Тел.: +7 (495) 961-31-11
E-mail: rectorat@gtsolifk.ru Интернет: <https://gtsolifk.ru/>

Подпись заведующего кафедрой физиологии, доктора биологических наук,
профессора Мельникова Андрея Александровича **УДОСТОВЕРЯЮ**

Заместитель начальника управления кадров и
делопроизводства – начальник общего отдела



В.М. Зотова

подпись