

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Материалы XI Всероссийской  
с международным участием школы-конференции  
по физиологии мышц и мышечной деятельности,  
посвященной 70-летию открытия  
механизма мышечного сокращения  
(Москва, 22–25 апреля 2024 г.)**

*Под общей редакцией*

*доктора биологических наук, профессора О.Л. Виноградовой,  
доктора биологических наук, профессора РАН Д.В. Попова,  
кандидата биологических наук Е.С. Томиловской,  
доктора биологических наук, профессора Б.С. Шенкмана*

Москва  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН  
2024

УДК 612.7+591.17  
ББК 28.707.3+28.673  
М34

**М34     Материалы XI Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной 70-летию открытия механизма мышечного сокращения.** Москва, 22–25 апреля 2024 г. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, с. 188.

ISBN 978-5-902119-82-1

В сборник включены материалы XI Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной 70-летию открытия механизма мышечного сокращения, которая состоится 22–25 апреля 2024 г. в ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Программа конференции включает фундаментальные вопросы управления движением (нейрофизиологические и биомеханические аспекты), структуры и функции скелетных мышц при функциональной разгрузке, напряженной мышечной деятельности в осложненных условиях и другие вопросы, имеющие возможные практические выходы в восстановительную и космическую медицину, спорт. Будут проведены секционные заседания по следующим направлениям: интегративные механизмы регуляции позы и локомоций; электростимуляция как эффективный способ преодоления двигательных расстройств; физиологические механизмы адаптации к двигательной активности; роль миокинов и других регуляторов в активности моторных синапсов; геномные и протеомные исследования скелетной мышцы; молекулярная физиология мышечного сокращения и мышечной пластичности.

Материалы сборника отражают современное состояние соответствующих научных направлений и предназначены для студентов и преподавателей университетов, медицинских, педагогических и физкультурных учебных заведений, специалистов в области физиологии движений, нервно-мышечной физиологии, клеточной физиологии и биохимии мышц, физиологии упражнений, спортивной физиологии и биохимии.

Proceedings of the 11th Russian National Conference with International Participation on Muscle and Exercise Physiology dedicated to the 70th anniversary of the discovery of the mechanism of muscle contraction, which will be held on April 22–25, 2024 at the State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems RAS.

The Program of the Conference include the current fundamental studies in cellular and molecular mechanisms in motor control, hypokinesia, physical exercise, skeletal muscle plasticity, as well as the problems of life science contribution to medicine and with new technologies in space, sport and rehabilitation medicine. This issue is assigned to advanced students, physiologists, clinicians and physical educators.

Edited by O.Vinogradova, B. Shenkman, E. Tomilovskaya and D. Popov – Moscow: SSC RF – IBMP RAS, 2024.

ISBN 978-5-902119-82-1

© ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ  
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –  
ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

НАУЧНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ  
ПАВЛОВСКИЙ ЦЕНТР «ИНТЕГРАТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ –  
МЕДИЦИНЕ, ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ  
И ТЕХНОЛОГИЯМ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ»

## **ПРОГРАММА**

XI Всероссийской  
с международным участием школы-конференции  
по физиологии мышц и мышечной деятельности,  
посвященной 70-летию открытия  
механизма мышечного сокращения  
(Москва, 22–25 апреля 2024 г.)

Москва  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН  
2024

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук

Научный центр мирового уровня (НЦМУ) Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости»

*Конференция проводится при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».*

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

**Орлов Олег Игоревич**, д.м.н., профессор, академик РАН, директор ГНЦ РФ – ИМБП РАН – председатель;

**Балезина Ольга Петровна** – д.б.н., профессор биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова;

**Виноградова Ольга Леонидовна**, д.б.н., профессор, ведущий научный сотрудник ГНЦ РФ – ИМБП РАН;

**Герасименко Юрий Петрович**, д.б.н., член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией Института физиологии им. И.П. Павлова РАН;

**Городничев Руслан Михайлович**, д.б.н., директор НИИ ПСОФК, профессор ВЛГАФК;

**Попов Даниил Викторович** – д.б.н., профессор РАН, зав. лабораторией ГНЦ РФ – ИМБП РАН;

**Рыбникова Елена Александровна** – д.б.н., профессор РАН, научный руководитель НЦМУ "Павловский Центр", заместитель директора по научной работе Института физиологии им. И.П. Павлова РАН;

**Томиловская Елена Сергеевна**, к.б.н., зав. отделом ГНЦ РФ – ИМБП РАН;

**Шенкман Борис Стивович**, д.б.н., профессор, зав. лаб. ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Орлов О.И.** (председатель)

**Виноградова О.Л.**

**Каминская С.В.**

**Кантемирова Е.В.**

**Романов А.Н.**

**Сокольская С.В.**

**Сорокин О.Г.**

**Томиловская Е.С.**

**Федорко А.М.**

**Шарова А.П.**

**Шенкман Б.С.**

Все заседания будут проводиться по адресу:  
г. Москва, 123007, Хорошевское шоссе, д. 76А

Регистрация по месту проведения конференции 22 апреля 2024 г.

## 22 апреля

**9.00–15.00** Регистрация участников

**9.20–9.30** Открытие конференции

Директор ГНЦ РФ – ИМБП РАН, академик РАН **Орлов Олег Игоревич**

**Симпозиум 1. Интегративные механизмы регуляции позы и локомоции**

Председатели: Томиловская Е.С., Боброва Е.В.

**Устные доклады 9.30–11.00**

**09.30–09.55 Андреева И.Г., Тимофеева О.П.** Постуральные реакции испытуемых разных когнитивных стилей в ответ на звуки приближающихся сзади шагов

**09.55–10.10 Мельников А.А., Дроненко М.В., Березин В.С., Зонов А.А.** Снижение постуральной регуляции в тестах со зрительной обратной связью ассоциировано с повышенной бета-мощности электроэнцефалограммы у спортсменов

**10.10–10.30 Боброва Е.В., Решетникова В.В., Вершинина Е.А., Бобров П.Д., Герасименко Ю.П.** Влияние добавления механотерапии к работе нейроинтерфейса на активность мозга и активность мышц нижних конечностей при воображении их движений

**10.30–10.45 Решетникова В.В., Боброва Е.В., Вершинина Е.А., Бобров П.Д., Герасименко Ю.П.** Миографическая активность мышц голени в покое определяет точность классификации сигналов мозга при воображении движений нижних конечностей

**10.45–11.00 Калашников В.Е., Туртикова О.В., Тыганов С.А., Сергеева К.В., Шенкман Б.С.** Спинальные механизмы спонтанной тонической активности постуральной мышцы в условиях моделируемой гравитационной разгрузки

**Кофе-брейк 11.00–11.30**

**Устные доклады 11.30–13.00**

**11.30–11.50 Тяпкина О.В.** Иммунофлуоресцентное исследование GFAP в поясничном отделе спинного мозга крысы при кратковременном антиортостатическом вывешивании задних конечностей

**11.50–12.10 Мейгал А.Ю., Пескова А.Е., Герасимова-Мейгал Л.И., Склярва А.С., Антонен Е.Г.** Характеристика постактивационного эффекта мышц верхних конечностей у лиц с болезнью Паркинсона

**12.10–12.25 Селионов В.А., Солопова И.А.** Изменение состояния мышц руки после приложения вибрации к ее мышцам и произвольного напряжения и изменения скорости реакции мышц на внешние стимулы

**12.25–12.45 Моисеев С.А.** Мышечные синергии в системе управления локомоторными движениями человека

**12.45–12.55 Зобова Л.Н., Миллер Н.В., Бадаквa А.М.** Влияние опорной разгрузки на планирование и контроль движения руки при выполнении зрительно-моторной задачи с помощью джойстика у обезьян и человека

**12.55–13.05 Шигуева Т.А., Абу Шели Н.М.А., Томиловская Е.С.** Исследование активности спинальных рефлексов в условиях опорной разгрузки

### **13.05–15.00 Обед и стендовая сессия:**

#### **1) Интегративные механизмы регуляции позы и локомоции**

**1.1 Бекренева М.П., Савеко А.А., Томиловская Е.С.** Усовершенствование технологии подошвенной имитации опорных нагрузок с целью профилактики и восстановления двигательных функций в условиях безопорности

**1.2 Гайнутдинова Э.А., Шишкин Н.В., Савеко А.А., Томиловская Е.С.** Разработка метода коррекции позы космонавтов на основе проприоцептивной обратной связи по опорной реакции

**1.3 Долганов Д.В., Трофимов А.О., Смолькова Л.В., Долганова Т.И., Черепанов И.Д.** Функция распределения параметров локомоторной активности у детей ортопедически здоровых и с церебральным параличом

**1.4 Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В.** 3D видеоанализ походки в диагностике компенсированных и декомпенсированных нарушений локомоторного профиля

**1.5 Желтухина А.Ф., Балтин М.Э., Шульман А.А., Никулина М.И., Балтина Т.В.** ЭМГ-активность передней большеберцовой и камбаловидной мышц при удержании равновесия в усложняющихся стабильнографических пробах у человека

**1.6 Кравцова Е.Н., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И.** Пространственная ориентация в условиях «в шапке» и «без шапки» у пациента с билатеральной вестибулярной гипофункцией и у здоровых молодых испытуемых

**1.7 Кузьмина А.П., Мейгал А.Ю., Буркин М.М., Герасимова-Мейгал Л.И.** Характеристика постактивационного эффекта мышц верхних конечностей у лиц с заболеваниями шизофренического спектра

**1.8 Ниази Е.С., Назаренко А.С., Платошкина Е.Е., Федянин А.О., Ботова Л.Н.** Возрастные особенности постурального баланса спортсменов, занимающихся спортивной гимнастикой

**1.9 Пескова А.Е., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И., Антонен Е.Г.** Постактивационный эффект в дельтовидной мышце человека в разных моделях гравитационной разгрузки

**1.10 Рябова А.М., Савеко А.А., Бекренева М.П., Курбанова О.Э., Гайнутдинова Э.А.** Постуральные реакции на повторные вращения на центрифуге короткого радиуса в интервальном режиме при различной длительности воздействия

**1.11 Смолькова Л.В.** Возрастные особенности кинетики и кинематики локомоторной активности у детей дошкольного возраста

## **2) Электростимуляция как эффективный способ преодоления двигательных расстройств**

**2.1 Бычкова А.Д., Китов В.В., Саенко Д.Г., Томиловская Е.С., Шигуева Т.А.** Влияние опорной разгрузки на мультисегментарные рефлекторные ответы мышц ног

**2.2 Гладченко Д.А., Алексеева И.В., Челноков А.А.** Влияние чрескожной электрической стимуляции спинного мозга на импульсную активность афферентов мышц голени при выполнении ходьбы с усилием

**2.3 Жедяев Р.Ю., Боровик А.С., Тарасова О.С., Рукавишников И.В., Виноградова О.Л.** Низкоинтенсивная электростимуляция мышц нижних конечностей предотвращает снижение чувствительности кардиального барорефлекса после 7-суточной «сухой» иммерсии

## **Симпозиум 2. Электростимуляция как эффективный способ преодоления двигательных расстройств**

Председатели: Герасименко Ю.П., Рукавишников И.В.

### **Устные доклады 15.00–16.30**

**15.00–15.30 Герасименко Ю.П.** Новая стратегия восстановления ходьбы у парализованных пациентов при мультимодальной спинальной нейромодуляции

**15.30–15.55 Мошонкина Т.Р., Новиков А.Г., Мальдова М.А., Шаманцева Н.Д., Шальмиев И.М., Шошина Е.А., Епоян Н.В., Крутикова Н.Б.** Неинвазивная стимуляция спинного мозга в двигательной реабилитации пациентов со спинальной мышечной атрофией, получающих лечение орфанными препаратами

**15.55–16.15 Ляховецкий В.А., Шкорбатова П.Ю., Горский О.В., Калинина Д.С., Баженова Е.Ю., Меркульева Н.С., Мусиенко П.Е.**

Эпидуральная стимуляция спинного мозга децеребрированной DAT-КО крысы двойными импульсами

**16.15–16.30 Иванов С.М., Лактюшин В.В., Вериго Д.А., Городничев Р.М., Шляхтов В.Н.** Эффекты парной ассоциативной стимуляции на моторную систему и двигательные качества спортсменов

### **Кофе-брейк 16.30–17.00**

#### **Устные доклады 17.00–18.30**

**17.00–17.25 Шапкова Е.Ю., Емельяников Д.В., Штырина Е.В., Мусиенко П.Е.** Технологии тренировки ходьбы в экзоскелете и электростимуляции спинного мозга и мышц для пациентов с нарушением или утратой локомоторной функции

**17.25–17.40 Федянин А.О., Исаков Н.Г., Герасимов О.В., Балтин М.Э., Еремеев А.А.** Эффекты стимуляции спинного мозга у крыс самцов среднего возраста при длительном воздействии антиортостатического вывешивания

**17.40–18.05 Саенко Д.Г.** Электрофизиологическое тестирование как метод оценки сенсомоторной функции в ходе и после пребывания в микрогравитации

**18.05–18.15 Абу Шели Н.М.А., Савеко А.А., Шигуева Т.А., Авдеева М.А., Русакова К.В., Евсеева Н.А., Гудкова А.А., Гехт А.Б., Томиловская Е.С.** Максимальная произвольная сила мышц нижних конечностей у больных с хронической цереброваскулярной недостаточностью после курса электромиостимуляции

**18.15–18.30 Шишкин Н.В., Томиловская Е.С.** Вопрос об эффективности электростимуляции разной частоты в профилактике негативных эффектов гиподинамии и опорной разгрузки



## 23 апреля

### **Симпозиум 3. Физиологические механизмы адаптации к двигательной активности**

Председатели: Виноградова О.Л., Мельников А.А.

#### **Устные доклады 9.30–11.00**

**09.30–9.50 Астратенкова И.В., Рогозкин В.А.** Влияние микробиоты кишечника на метаболизм скелетных мышц

**9.50–10.10 Шапкова Е.Ю.** Концепция и технологии управляемой нейропластичности для восстановления движений при параличах

**10.10–10.25 Ахметзянова А.И., Балтин М.Э., Зюзя Е.А., Порошина С.Д., Балтина Т.В.** Влияние двигательной тренировки на восстановление движения крысы при полной травме спинного мозга

**10.25–10.45 Бердичевская Е.М.** К вопросу об асимметрии в спортивных позах

**10.45–11.00 Андреева А.М., Мельников А.А., Карпенко Н.А., Сергеева О.С., Ганина В.П.** Постуральная устойчивость в вертикальной стойке на подвижной тензоплатформе у футболистов

#### **Кофе-брейк 11.00–11.30**

#### **Устные доклады 11.30–13.00**

**11.30–11.45 Примаченко Г.К., Шпаков А.В., Воронов А.В.** Гендерные различия проявления скоростно-силовых возможностей спортсменов-конькобежцев высокого класса в односуставных и много суставных движениях

**11.45–12.00 Леднев Е.М., Курочкина Н.С., Орлова М.А., Виговский М.А., Вавилов Н.Е.** Биогенез внеклеточного матрикса скелетной мышцы человека при разнонаправленном изменении двигательной активности и старении

**12.00–12.20 Тарасова О.С., Бравый Я.Р., Шарова А.П., Боровик А.С., Виноградова О.Л.** Физиологические подходы к анализу механизмов нервной регуляции системной гемодинамики человека при сокращениях скелетных мышц

**12.20–12.35 Виноградова О.Л., Тарасова О.С., Шарова А.П., Боровик А.С.** Оценка динамических характеристик барорефлекторной регуляции сердечного ритма при изменении интенсивности физической нагрузки

**12.35–12.50 Борзых А.А., Селиванова Е.К., Виноградова О.Л., Тарасова О.С.** Влияние физической тренировки в произвольном режиме на нервную регуляцию сердца крыс

**12.50–15.00 Обед и стендовая сессия:**

**3) Физиологические механизмы адаптации к двигательной активности**

**3.1 Аникеев В.И., Лаптев А.И.** Влияние восьминедельного цикла тренировки дыхательных мышц на параметры внешнего дыхания квалифицированных футболистов 17–20 лет

**3.2 Бахтерева В.Д., Сенаторова Н.А., Кокуева М.А., Романов П.В., Фомина Е.В.** Отработка новых тестов для оценки физической работоспособности в эксперименте SIRIUS-21

**3.3 Белова С.П., Зарипова К.А., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.** Маркеры синтеза и распада белка в постуральной и локомоторной мышцах человека при 21-суточной гипокинезии

**3.4 Буракова А.А., Сенаторова Н.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.** Модификации мотонейронного пула под влиянием профилактических мероприятий в условиях длительного космического полета

**3.5 Волков В.В., Тамбовцева Р.В.** Влияние максимальной анаэробной мощности на мощность отказа при выполнении теста с возрастающей нагрузкой

**3.6 Ганичева А.А., Буракова А.А., Кокуева М.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.** Экспресс-оценка физической работоспособности при выполнении модельных задач космонавтами и участниками наземного эксперимента «SIRIUS-23»

**3.7 Жедяев Р.Ю., Галкин Г.В., Боровик А.С., Попов Д.В.** Динамика силовых и аэробных возможностей мышц бедра и голени при 3-недельном снижении двигательной активности

**3.8 Козлов А.В., Ваваев А.В., Аньшаков Н.И., Сонькин В.Д.** Верификация графического метода расчета анаэробного порога по динамике ЧСС в работе и восстановительном периоде

**3.9 Кокуева М.А., Сенаторова Н.А., Фомина Е.В.** Использование показателей кардиореспираторной кинетики для прогнозирования ЧСС во время бега в годовом космическом полете

**3.10 Кондашевская М.В., Алексанкина В.В.** Морфофункциональное состояние скелетной мышцы задней конечности крыс вистар после полостной операции с применением наркоза

**3.11 Коршунова А.А., Тихомирова И.А.** Особенности кровоснабжения нижней конечности при одностороннем гонартрозе

**3.12 Коряк Ю.А., Ханафиева К.Р., Афоничев Н.К., Кнутова Н.С., Прочий Р.Р.** Влияние динамической тренировки на мышечную силу и механическую эффективность мышц человека при вертикальных прыжках с разной высоты

**3.13 Машкин М.А., Другова С.В., Фадеева О.В., Белоус А.О.** Состояние мышц после биолого-технических испытаний в автоматическом оборудовании для космического эксперимента «БИОН-М» № 2

**3.14 Назаренко А.С., Чершинцева Н.Н., Зверев А.А.** Взаимосвязь постурального баланса и работы сердца бадминтонистов после функциональной нагрузки

**3.15 Платошкина Е.Е., Ниази Е.С., Назаренко А.С., Ботова Л.Н.** Особенности постурального баланса гимнастов высокой квалификации при раздражении зрительного и слухового анализаторов

**3.16 Пономарев И.И., Лакиза Л.Ю., Томиловская Е.С.** Влияние 5-суточной опорной разгрузки на сократительные и вязкоупругие свойства скелетных мышц у женщин репродуктивного возраста

**3.17 Рыболовлев А.А., Васенина В.Г.** Оценка физиологического состояния спортсменов, специализирующихся в стрельбе из винтовки в разные периоды подготовки

**3.18 Троицкая Н.И.** Оценка миогенного компонента регуляции состояния микроциркуляторного русла при развитии синдрома диабетической стопы

**3.19 Шилов А.С.** Влияние гипоксических воздействий на изменения Н-рефлекса у представителей циклических видов спорта

#### **4) Роль миокинов и других регуляторов в активности моторных синапсов**

**4.1 Богачева П.О., Потапова Д.А., Гайдуков А.Е.** Сходство и различия эффектов BDNF и продомена BDNF в регенерирующих моторных синапсах мышцы

**4.2 Ефимова Д.В., Еремеев А.А., Хайруллин А.Е.** Влияние гиподинамии на пуринаргическую сигнализацию в мионервальном синапсе

**4.3 Парщикова Ю.В., Тарасова Е.О., Балезина О.П.** Действие экзогенного анандамида и ингибитора фермента его деградации на спонтанную секрецию ацетилхолина в моторных синапсах мышцы

**4.4 Потапова Д.А., Богачева П.О.** Механизм действия пронейротрофина BDNF в регенерирующих моторных синапсах: выясненные аспекты и неразгаданные тайны

**4.5 Сабирова Д.Э., Федянин А.О., Балтина Т.В., Еремеев А.А.** Нейромоторный аппарат мышц голени крысы в период восстановления двигательной активности после опорной разгрузки тазовых конечностей

**4.6 Соколова А.В., Михайлов В.М.** Структура нейромышечных соединений у мышей MDX улучшается после трансплантации костного мозга

**4.7 Труш В.В., Соболев В.И.** Эффективность некоторых метаболически активных средств в компенсации нарушений М-ответа при стероидной миопатии в экспериментах на крысах

**4.8 Чернышев К.А., Богачева П.О., Балезина О.П.** Эндоканнабиноидная сигнализация в моторных синапсах может требовать участия бета-аррестина-2

#### **Симпозиум 4. Роль миокинов и других регуляторов в активности моторных синапсов**

Председатель: Балезина О.П.

##### **Устные доклады 15.00–16.30**

**15.00–15.30 Балезина О.П., Тарасова Е.О., Богачева П.О.** Скелетная мускулатура как источник эндоканнабиноидов и их активности в моторных синапсах

**15.30–15.50 Тарасова Е.О., Богачева П.О., Балезина О.П.** Роль ферментов синтеза и деградации эндоканнабиноида 2-АГ в реализации его эффектов в моторных синапсах мышцы

**15.50 –16.10 Молчанова А.И., Абрарова Г.Ф., Шепелёв Е.И., Гайдук А.Е.** Особенности комплексного механизма торможения продоменом BDNF синаптической передачи в нервно-мышечных синапсах

**16.10–16.30 Гафурова Ч.Р., Ценцевицкий А.Н., Петров А.М.** Липид-зависимое переключение бета-2 адренергической сигнализации в двигательных нервных окончаниях

##### **Кофе-брейк 16.30–17.00**

##### **Устные доклады 17.00–17.40**

**17.00–17.20 Закирьянова Г.Ф., Кузнецова Е.А., Ценцевицкий А.Н., Мухутдинова К.А., Петров А.М.** Синаптические эффекты 25-гидроксихолестерина в скелетной мышце в норме и в модели бокового амиотрофического склероза

**17.20–17.40 Одношивкина Ю.Г., Хузахметова В.Ф., Петров А.М.** Анализ сократительной способности и ее адренергической регуляции в мышцах разного функционального профиля у молодых и стареющих мышей

## 24 апреля

### **Симпозиум 5. Геномные и протеомные исследования скелетной мышцы**

Председатели: Гусев О.А., Попов Д.В.

#### **Устные доклады 9.30–11.00**

**09.30–10.00 Попов Д.В.** Поиск транскрипционных факторов, регулирующих транскриптом в разных скелетных мышцах человека при снижении двигательной активности

**10.00–10.30 Буян А.И., Мещеряков Г.А., Кулаковский И.В.** От омиксных данных к интерпретации регуляторных вариантов – генетических детерминант заболеваний

**10.30–11.00 Адамейко И.И.** Как мышцы становятся ориентированными и формируют точки прикрепления в процессе эмбрионального развития

#### **Кофе-брейк 11.00–11.30**

#### **Устные доклады 11.30–13.00**

**11.30–12.00 Гайнуллина А.Н.** Применение анализа данных, полученных с помощью секвенирования РНК одиночных клеток, для комплексного изучения биологических систем

**12.00–12.30 Иванова О.А., Игнатъева Е.В., Сорокина М.Ю., Костарева А.А., Дмитриева Р.И.** Комплексный анализ транскриптома (RNA-seq/scRNA-seq) и метаболизма мышечных клеток выявил нарушения, ассоциированные с мутацией LMNA-R482L

**12.30–12.40 Сорокина М.Ю., Дмитриева Р.И.** Влияние функциональной разгрузки на свойства фибро-адипогенных предшественников скелетной мускулатуры

**12.40–12.50 Низамов Ш.Р., Газизова Г.Р., Шагимарданова Е.И., Гусев О.А., Девятяров Р.М.** Гетерогенность профилей экспрессии генов в скелетных мышцах человека

**12.50–13.00 Якупова Э.И., Томилова А.О., Леднев Е.М., Попов Д.В.** Нарушения раннего фосфопротеомного ответа на прием пищи в скелетной мышце при ожирении и сахарном диабете 2-го типа

13.00–15.00 Обед и стендовая сессия:

**5) Геномные и протеомные исследования скелетной мышцы**

**5.1 Газизова Г.Р.,** Девятияров Р.М., Комиссаров А.С., Тяпкина О.В., Гусев О.А. Регуляция экспрессии генов в скелетных мышцах со-ни-полчка во время зимней спячки

**5.2 Курочкина Н.С.,** Жедяев Р.Ю., Махновский П.А., Вепхвадзе Т.Ф., Леднев Е.М. Влияние 3-недельной антиортостатической гипокинезии на транскриптом скелетных мышц с различными функциональными возможностями

**5.3 Махновский П.А.,** Кукушкина И.В., Курочкина Н.С., Попов Д.В. Нокаут генов *Hsp70* снижает скорость локомоций и значительно изменяет экспрессию генов в скелетных мышцах ног *Drosophila melanogaster*

**5.4 Обвинцева О.В.,** Еримбетов К.Т. Возрастные особенности морфометрических и биохимических характеристик скелетных мышц

**5.5 Орлова М.А.,** Жедяев Р.Ю., Вавилов Н.Э., Леднев Е.М., Вепхвадзе Т.Ф. Влияние 3 недель антиортостатической гипокинезии на экспрессию высокопредставленных белков в скелетных мышцах с различными функциональными возможностями

**6) Молекулярная физиология мышечного сокращения и мышечной пластичности**

**6.1 Бабкова А.Р.,** Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М. Оптимизация протокола электростимуляции клеток C2C12 с целью активации анаболического сигнального пути mTORC1/p70S6K

**6.2 Белослудцева Н.В.,** Михеева И.Б., Ильзоркина А.И., Дубинин М.В., Белослудцев К.Н. Изучение возрастных особенностей структурно-функциональных изменений митохондрий скелетных мышц в модели бокового амиотрофического склероза G93A\*SOD1

**6.3 Бильдюг Н.Б.,** Чубинский-Надеждин В.И., Васильева В.Ю., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С. Роль мембранного холестерина в регуляции каналов Piezo1 в миобластах C2C12

**6.4 Вепхвадзе Т.Ф.,** Машкин М.А., Орлова М.А., Другова С.В., Виноградов М.А. Влияние индуктора белков теплового шока BGP-15 на скелетные мышцы мыши при вывешивании

**6.5 Ганке Д.Д.,** Сабурова Е.А., Кравцова В.В., Кривой И.И. Кратковременная гипоксия поддерживает функцию Na,K-АТФазы и электрогенез m. soleus крысы в условиях двигательной разгрузки

**6.6 Кочурова А.М.,** Бельдия Е.А., Матюшенко А.М., Копылова Г.В., Щепкин Д.В. Влияние гипертрофических мутаций сердечного миозин-связывающего белка с на актин-миозиновое взаимодействие в миокарде

- 6.7 Кочурова А.М., Бельдия Е.А., Матюшенко А.М., Копылова Г.В., Щепкин Д.В.** Сердечный миозин-связывающий белок с по-разному модулирует активацию тонкой нити в предсердиях и желудочках
- 6.8 Львова И.Д., Сидоренко Д.А., Шарло К.А., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.** Факторы, влияющие на утомляемость постуральных скелетных мышц при функциональной разгрузке
- 6.9 Милованова К.Г., Капилевич Л.В., Орлова А.А., Коллантай О.В., Шувалов И.Ю.** Влияние бега на беговой дорожке при различных световых циклах на содержание Glut-4 и цитратсинтазы у мышей с метаболическими расстройствами
- 6.10 Нуруллин Л.Ф., Алмазов Н.Д., Волков Е.М.** Выявление наличия  $Ca^{2+}$ -акцепторных белков в двигательной мускулатуре дождевого червя *Lumbricus terrestris*
- 6.11 Потоскуева Ю.К., Герцен О.П., Цыбина А.Е., Спиридонова Н.А., Никитина Л.В.** Прямое влияние ионов свинца и кадмия на актин-миозиновое взаимодействие в левом желудочке
- 6.12 Самойленко Т.В., Шишкина В.В., Атякшин Д.А.** Воздействие факторов космического полета на экспрессию A-SMA в гладкой мышечной ткани тощей кишки мышей C57BL/6N проекта «БИОН-М1»
- 6.13 Секунов А.В., Протопопов В.А., Иванов М.В., Гаврилов Н.Р., Брындина И.Г.** Влияние активации каталитического пути образования церамида на компоненты дистрофин-ассоциированного гликопротеидного комплекса и костамерный гамма-актин в камбаловидной мышце крыс при 14-дневной функциональной разгрузке
- 6.14 Симонова Р.А., Бутова К.А., Мячина Т.А., Хохлова А.Д., Щепкин Д.В.** Особенности сокращения кардиомиоцитов из миокардиальных рукавов легочных вен
- 6.15 Тишкова М.В., Сиренко В.В., Аврова С.В., Боровиков Ю.С., Карпичева О.Е.** Эпигаллокатехин галлат (EGCG) снижает аномальную  $Ca^{2+}$  чувствительность мышечного волокна, вызванную E91G заменой скелетного  $\beta$ -тропомиозина
- 6.16 Токмакова А.Р., Сибгатуллина Г.В., Маломуж А.И.** Влияние карбахолина на начальные стадии миогенеза *in vitro*
- 6.17 Тыганов С.А., Туртикова О.С., Кондратьева Е.А., Кондратьев А.Н., Шенкман Б.С.** Распад цитоскелета камбаловидной мышцы человека при хроническом нарушении сознания

**Симпозиум 6. Молекулярная физиология мышечного сокращения и мышечной пластичности (все заседания симпозиума будут проходить на английском языке)**

Заседание 1.

Председатели: Сергей Бершицкий и Andrei Tsaturyan

**Устные доклады 15.00–16.25**

**15.00–15.20 Бершицкий С.Ю.** История исследования механизма мышечного сокращения

**15.20–15.40 Caterina Squarci, Pasquale Bianco, Theyencheri Narayanan, Massimo Reconditi, Marco Linari, Gabriella Piazzesi, Vincenzo Lombardi.** Dual filament regulation of muscle contraction and the role of titin

**15.40–15.55 Вихлянец И.М.** Гигантский мышечный белок титин/коннектин: структура, функции, изоформы

**15.55–16.10 Koubassova N.A., Tsaturyan A.K., Padrón Raúl, Craig Roger.** Bridging EM and X-ray diffraction in structural studies of relaxed striated muscle

**16.10–16.25 Бельдия Е.А., Кочурова А.М., Матюшенко А.М., Щепкин Д.В., Копылова Г.В.** Влияние тропомодулина на актин-миозиновое взаимодействие в скелетных мышцах определяется изоформами сократительных белков

**Кофе-брейк 16.25–17.00**

**Устные доклады 17.00–19.15**

**17.00–17.15 Кубасова Н.А., Гулеенкова В.Д., Ершова Д.М., Цатурян А.К.** Исследование структурных и функциональных характеристик тонкой нити саркомера сердечной мышцы методами молекулярной динамики

**17.15–17.30 Потоскуева Ю.К., Герцен О.П., Тыганов С.А., Сергеева К.В., Никитина Л.В.** Актин-миозиновое взаимодействие в m.soleus и левом желудочке сердца при функциональной разгрузке и воздействии омекамтив мекарбила

**17.30–18.00 Сергеева К.В., Никитина Л.В., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.** Механические и сигнальные ответы функционально-разгруженной m.soleus крысы в ответ на медикаментозно-индуцированную активность  $\beta$ -миозина



Заседание 2. **Мышечный фенотип и механизмы его пластичности**  
Председатели: Шенкман Б.С., Carlo Reggiani

**18.00–18.30 Carlo Reggiani.** Muscle fiber types and myosin isoforms seen in the omics perspective

**18.30–19.00 Шенкман Б.С.** Гравитационные механизмы поддержания стабильности миозинового фенотипа

**19.00–19.15 Брындина И.Г., Протопопов В.А., Секунов А.В.** Сфинголипид-зависимые механизмы влияния гравитационной разгрузки на фенотип постуральной мышцы

## 25 апреля

### **Симпозиум 6. Молекулярная физиология мышечного сокращения и мышечной пластичности** (продолжение)

Председатели: Шенкман Б.С., Shenhav Cohen

#### **Устные доклады 9.30–11.10**

**9.30–9.50 Кузнецова Е.А., Закирьянова Г.Ф., Петров А.М.** Эффекты иммунного оксистерина в модели митохондриальной дисфункции в диффрагме мышцы

**9.50–10.05 Боков Р.О., Шарло К.А., Томиловская Е.С., Гусев О.А., Шенкман Б.С, Орлов О.И.** Молекулярные механизмы развития атрофии постуральной мышцы человека в условиях длительной безопорности

**10.05–10.20 Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.** Участие АМФ-активируемой протеинкиназы в регуляции дифференцировки первичных миобластов, выделенных из m. soleus крысы после 7-суточной функциональной разгрузки

**10.20–10.40 Shenhav Cohen.** Desmin intermediate filaments couple muscle structural integrity to its metabolic capacity

**10.40–10.55 Немировская Т.Л., Зарипова К.А., Белова С.П., Шенкман Б.С.** Ингибирование ИРЗК замедляет атрофию soleus и регулирует клеточный сигналинг при 3-дневной разгрузке мышц крыс

**10.55–11.10 Захарова А.Н., Капилевич Л.В., Коллантай О.В.** Влияние различных факторов на продукцию IL-6

#### **Кофе-брейк 11.10–11.30**

#### **Устные доклады 11.30–13.05**

**11.30–11.45 Мирзоев Т.М., Парамонова И.И., Тыганов С.А., Вильчинская Н.А., Шенкман Б.С.** Метформин как средство, способствующее уменьшению атрофии постуральных мышц крыс при функциональной разгрузке

**11.45–12.00 Бакеева Л.Е., Вайс В.Б., Вангели И.М., Эльдаров Ч.М., Зоров Д.Б.** Особенности ультраструктурной организации митохондриального аппарата скелетной мышцы

**12.00–12.15 Шарло К.А., Сидоренко Д.А., Львова И.Д., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.** MOTS-C как связующее звено между дисфункцией митохондрий и атрофией мышечных волокон при функциональной разгрузке

**12.15–12.30 Дубинин М.В., Белослудцев К.Н.** Нарушение структуры и функции митохондрий при мышечной дистрофии Дюшенна в модели дистрофин-дефицитных MDX-мышей. возможности коррекции

**12.30–12.45 Bianca M. Marcella, Briana L. Hockey, Jessica L. Braun, Ryan W. Baranowski, Luc J. Wasilewicz, Rebecca E.K. MacPherson, Rene Vandenboom, Val A. Fajardo.** Targetting GSK3 for duchenne muscular dystrophy: lessons from MDX mice

**12.45–13.05 Martin Flück.** Molecular lessons from microgravity on the early window of opportunity to counteract wasting on muscle mass with disuse



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ  
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –  
ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

НАУЧНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ  
ПАВЛОВСКИЙ ЦЕНТР «ИНТЕГРАТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ –  
МЕДИЦИНЕ, ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ  
И ТЕХНОЛОГИЯМ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ»

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

XI Всероссийской  
с международным участием школы-конференции  
по физиологии мышц и мышечной деятельности,  
посвященной 70-летию открытия  
механизма мышечного сокращения

Москва  
ГНЦ РФ – ИМБП РАН  
22–25 апреля 2024 г.



**ИНТЕГРАТИВНЫЕ  
МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ  
ПОЗЫ И ЛОКОМОЦИИ**





# ПОСТУРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ИСПЫТУЕМЫХ РАЗНЫХ КОГНИТИВНЫХ СТИЛЕЙ В ОТВЕТ НА ЗВУКИ ПРИБЛИЖАЮЩИХСЯ СЗАДИ ШАГОВ

*Андреева И.Г., Тимофеева О.П.*

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,  
Санкт-Петербург

E-mail: ig-andreeva@mail.ru

*Введение.* При изучении механизмов контроля позы в ответ на биологически значимые сигналы его показатели важно оценивать с учетом индивидуально-типологических особенностей. В реабилитационных мероприятиях эти данные могут стать базой для индивидуально-ориентированного подхода при лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата.

*Цель исследования.* Оценить влияние перцептивно-когнитивного стиля на формирование позного ответа на биологически значимые звуки, подаваемые сзади.

*Материалы и методы.* Стабилограмму регистрировали для 14-ти испытуемых с закрытыми глазами в возрасте 18–53 лет (в среднем 27 лет), испытуемые обою пола были разделены на две группы: 6 полнезависимых (ПН); 8 полезависимых (ПЗ). Звуковые стимулы – звуки шагов, были созданы на основе предзаписи в помещении с реверберацией. Определяли параметры позы: смещение центра давления тела (ЦД), длину траектории и разброс ЦД по двум осям, площадь доверительного эллипса. Их оценивали в течение 12 периодов по 8 с: до (5), во время (3) и после (4) стимуляции.

*Результаты и обсуждение.* В ответ на звуки шагов выявлены изменения длины траектории ЦД, разброса, его смещения по сагиттальной оси и площади эллипса по сравнению с тишиной, что свидетельствовало об усилении колебаний ЦД. Различия между группами получены для смещения и длины траектории ЦД. ПЗ испытуемые с началом звукового сигнала смещают центр давления вперед, от звука приближающихся сзади шагов, тогда как ПН испытуемые в момент предъявления сигнала они смещают центр давления назад к источнику звука. Увеличение площади эллипса наблюдали только у ПН испытуемых.

*Заключение.* При разных когнитивных стилях обнаружено различие поструральных реакции на биологически значимые звуки, подаваемые в условиях свободного поля.

*Работа выполнена по госзаданию (тема № 075-00264-24-00).*

# **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДОШВЕННОЙ ИМИТАЦИИ ОПОРНЫХ НАГРУЗОК С ЦЕЛЬЮ ПРОФИЛАКТИКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЗОПОРНОСТИ**

***Бекренева М.П., Савеко А.А., Томиловская Е.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: mbekreneva@gmail.com

Пилотируемая экспедиция на Луну является актуальной задачей космонавтики. Выполнение задач, связанных с перемещением по лунной поверхности, будут сопровождаться повышенным риском для опорно-двигательного аппарата. Адаптация к новым экстремальным условиям будет осложнена фактом длительного космического полета, сопровождающимся воздействием негативных факторов и возникновением гипогравитационного двигательного синдрома. Наиболее чувствительны к указанным изменениям мышцы-разгибатели нижних конечностей, в том числе стопы – важного звена в механизме восприятия опоры за счет наличия большого числа механорецепторов. В перспективе межпланетных полетов потребуются применение профилактических технологий, устройство которых должно основываться на современных представлениях о гравитационных механизмах регуляции тонических реакций мышечного аппарата.

Одной из таких технологий является механическая подошвенная имитация опорных нагрузок «КОРВИТ». Пневмокамеры, встроенные в ортезы в зонах плюсны и пятки, имитируют фазу опоры в цикле шага за счет механического давления на области, содержащие большое число механорецепторов, путем активации экстензорных моторных центров (Кремнева Е.И. и др., 2012). Однако последние исследования показывают, что форма, текстура и площадь опорной стимуляции влияют на диапазон деформации кожи стоп, вызывая разный моторный ответ (Palazzo F. et al., 2022). С этой точки зрения «КОРВИТ» стимулирует меньше половины опорных рецепторов, имеющихся в стопе человека (Strzalkowski N.D.J. et al., 2018). Также ранее показано, что после пребывания в условиях опорной разгрузки наблюдается увеличение опорных реакций в латеральной части плюсневой кости (Bekreneva M.P. et al., 2023).

Эта работа посвящена освещению перспектив дальнейшего развития и модификации комплекса «КОРВИТ» на основе современных представлений о распределении опорных нагрузок на стопу.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-25-00354, <https://rscf.ru/project/24-25-00354/>*

# **ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ МЕХАНОТЕРАПИИ К РАБОТЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА НА АКТИВНОСТЬ МОЗГА И АКТИВНОСТЬ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ ВООБРАЖЕНИИ ИХ ДВИЖЕНИЙ**

***Боброва Е.В.<sup>1</sup>, Решетникова В.В.<sup>1</sup>, Вершинина Е.А.<sup>1</sup>, Бобров П.Д.<sup>2</sup>, Герасименко Ю.П.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

E-mail: eabobrov@yandex.ru

Добавление к работе нейроинтерфейса, основанного на кинестетическом воображении движений нижних конечностей, механотерапии приводит к изменению активности соответствующих мышц, а также к изменению активности мозга. Для изучения этих влияний была проведена серия экспериментов с участием 46 здоровых наивных испытуемых с ведущей правой ногой, которые управляли нейроинтерфейсом, основанным на воображении движений, в четырех условиях: при воображении тыльного сгибания стоп без и с добавлением механотерапии с помощью робототехнического аппарата «Биокин» в случае успешного воображения этого движения, оцененного по точности классификации сигналов мозга, а также при воображении ходьбы на месте без и с добавлением механотерапии. Показано, что добавление пассивных перемещений конечностей к работе нейроинтерфейса приводит к увеличению активности мышц, движение которых воображается. Анализ индивидуальной выраженности мышечной активности при воображении движений показал, что добавление механотерапии приводит к увеличению количества индивидуумов, у которых высока активность мышц, движение которых воображается, и к уменьшению количества людей, у которых мышечная активность не выражена. Анализ активности мозга выявил, что добавление механотерапии к работе нейроинтерфейса приводит к увеличению активности мозга в гамма-диапазоне и в бета-2 диапазоне (в меньшей степени), что свидетельствует, как можно предполагать, об увеличении внимания к задаче за счет восходящего потока проприоцептивной информации от мышц перемещаемых конечностей. Данные могут быть использованы для разработки индивидуальных подходов к нейрореабилитации пациентов с нарушениями движений.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОРРЕКЦИИ ПОЗЫ КОСМОНАВТОВ НА ОСНОВЕ ПРОПРИОЦЕПТИВНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ**

*Гайнутдинова Э.А., Шишкин Н.В., Савеко А.А., Томиловская Е.С.*

Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: princelvira@icloud.com

В свете перспектив пилотируемых лунных миссий внекорабельная деятельность (ВКД) на поверхности Луны является одной из наиболее опасных операций (Леванов и др., 2019). Единственный опыт осуществления ВКД на Луне выявил, что выполнение любой двигательной задачи характеризовалось существенной потерей равновесия, точности и скорости движений (Johnston and Hull, 1975). Данные эффекты связаны со снижением постуральной устойчивости вследствие изменения силы тяжести и воздействия безопорности.

Для разработки метода коррекции позы при ВКД необходимо определить влияние данных факторов на характеристики позных коррекционных ответов (ПКО). В работе рассматривалось влияние только воздействия безопорности.

Влияние факторов космического полета на постуральный контроль моделировали с помощью 5-суточной «сухой» иммерсии (СИ, Tomilovskaya E. et al., 2019). Ранее показано, что в условиях 120-суточной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) зависимость ( $r^2$ ) первичного отклонения общего центра тяжести тела от силы толчка изменялась, в контроле она была близка к линейной, на 15-е сутки проявлялась в более узком диапазоне, а начиная с 60-х суток АНОГ - не проявлялась вовсе (Саенко И.В. и др., 2000). В исследовании после 6-часовой СИ изменений характеристик ПКО не наблюдалось (Sayenko et al., 2016). Задачей работы явилось исследование влияния 5-суточной СИ на степень линейности зависимости ( $r^2$ ) отклонений центра давления по саггитали от силы толчков в грудь различной силы. В исследовании приняли участие 6 мужчин ( $35 \pm 4,7$  лет). Тестирование проводили на твердой поверхности с закрытыми глазами с использованием стабиллоплатформы «Стабилан-01» (ОБК «Ритм», Россия).

Полученные результаты показали отсутствие значимых изменений величины  $r^2$  после 5-суточной СИ. Таким образом, можно предположить, что после короткого полета на Луну не произойдет изменений характеристик ПКО, связанных с действием безопорности.

*Работа поддержана Российской академией наук (№ FMFR-2024-0033).*

# **ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛОКОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ДЕТЕЙ ОРТОПЕДИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ И С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ**

*Долганов Д.В., Трофимов А.О., Смолькова Л.В., Долганова Т.И.,  
Черепанов И.Д.*

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии  
и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России, Курган

E-mail: rjik532007@rambler.ru

Определяемая нормальность распределения является необходимым условием для признания исследуемой деятельности двигательным стереотипом. 3D-видеоанализ позволяет оценивать статистические функции распределения элементов опорно-двигательной системы.

*Цель:* оценка гипотезы нормальности распределения параметров локомоторного стереотипа.

Локомоторный профиль походки у ортопедически здоровых детей (8 человек,  $n = 16$ ) и детей с ДЦП (7 человек,  $n = 14$ ) исследовался методом 3D-видеоанализа. Показатели кинематики регистрировались оптическими камерами Qualisys 7+ (8 камер), параметры кинетики - с использованием динамометрических платформ Kistler (6 платформ). Группы сформированы однородные по возрасту (5–6 лет), росту и произвольному самостоятельному привальному темпу передвижения.

*Результаты.* Гипотеза нормальности распределения параметров конечного приспособительного результата в виде локомоции (скорость, GPS, суммарная мощность работы суставов) не отклонялась по 13 одномерным критериям. С  $p < 0,05$  по t-критерию Стьюдента и  $p < 0,01$  по F-критерию Фишера скоростные показатели походки были ниже в группе детей с ДЦП и принадлежали к разным генеральным совокупностям. В сравниваемых группах доверительные интервалы по GPS не пересекались по медианным и математически ожидаемым параметрам. Математически ожидаемые значения кинетических параметров детей с ДЦП статистически значимо не отличались от значений нормы, но по F-критерию Фишера принадлежали к другой совокупности и соответствовали измененному стереотипу.

*Выводы.* В однородных выборочных совокупностях и в произвольно инициированной локомоторной активности бессознательно самоорганизующиеся сенсомоторные системы проявляются в виде локомоторных стереотипов, параметры конечного приспособительного результата которых подчиняются функции нормального распределения. Сенсомоторная активность таких систем онтогенетически детерминирована, но у больных ДЦП искажается и компенсируется за счет формирования системно-комбинированных двигательных стереотипов.

## **3D ВИДЕОАНАЛИЗ ПОХОДКИ В ДИАГНОСТИКЕ КОМПЕНСИРОВАННЫХ И ДЕКОМПЕНСИРОВАННЫХ НАРУШЕНИЙ ЛОКОМОТОРНОГО ПРОФИЛЯ**

*Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В.*

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России, Курган

E-mail: [rjik532007@rambler.ru](mailto:rjik532007@rambler.ru)

Походка с паттерном crouch – это патологический паттерн ходьбы при церебральном параличе, который характеризуется чрезмерным сгибанием бедра, колена и голеностопного сустава. Количественные критерии различия компенсированного, декомпенсированного паттерна типа crouch и «замершего колена» (stiff-knee) в литературе не отражены.

*Цель:* сравнительный анализ количественных параметров компенсированного, декомпенсированного и stiff-knee ассоциированного crouch паттерна.

*Материалы и методы.* Оценка локомоторного профиля методом 3D-видеоанализа проведена у 27 детей ( $n = 54$ ) 8–17 лет со спастической диплегией. Выделены группы: I – паттерн crouch типа «компенсированный» ( $n = 30$ ); II – паттерн crouch типа «декомпенсированный» ( $n = 14$ ); III – паттерн crouch типа «stiff-knee» ( $n = 10$ ).

*Результаты.* По количественным показателям кинематики и кинетики определены критерии их дифференциации. GPS: I – до 16,0; II – до 25,0; III – более 25,0. Угол максимальной тыльной флексии стопы: I – до 20,0°; II – до 30,0°; III – более 30,0°. Амплитуда разгибания коленного сустава: I – более 11,0°; II – 6,0° – 10,0°; III – менее 6,0°. Амплитуда сгибания коленного сустава: I – более 30,0°; II – 20,0° – 30,0°; III – менее 20,0°. Сила мышц разгибателей голени при формировании опорного толчка: I – менее 0,60 Н\*м/kg; II – 0,60–1,0 Н\*м/kg; III – более 1,0 Н\*м/kg. Сила мышц сгибателей голени в середине опорного периода: I – менее 0,25 Н\*м/kg; II – 0,26–0,75 Н\*м/kg; III – более 0,75 Н\*м/kg. Мощность релаксации (отрицательные значения) коленного сустава: I – более -0,70 W/kg; II – -0,70–-0,90 W/kg; III – менее -0,90 W/kg. Полезная пиковая мощность работы суставов: I – более 0,50 W/kg; II – 0,40–0,50 W/kg; III – менее 0,40 W/kg.

*Выводы.* Эволюция прогрессирования процесса при отсутствии третичного компенсаторного отклонения может формироваться со снижением или без снижения мощности работы суставов. Stiff-knee ассоциированный crouch паттерн является наиболее тяжелой формой, когда снижены и все мощностные параметры работы суставов.

# **ЭМГ – АКТИВНОСТЬ ПЕРЕДНЕЙ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦ ПРИ УДЕРЖАНИИ РАВНОВЕСИЯ В УСЛОЖНЯЮЩИХСЯ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИХ ПРОБАХ У ЧЕЛОВЕКА**

**Желтухина А.Ф.<sup>1</sup>, Балтин М.Э.<sup>1</sup>, Шульман А.А.<sup>1</sup>, Никулина М.И.<sup>1</sup>, Балтина Т.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

<sup>2</sup>Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань

E-mail: angelina7385@yamdex.ru

Изучение контроля равновесия имеет важное значение для понимания механизмов его регуляции и разработки эффективных методов диагностики и реабилитации.

Цель работы: оценить стратегию удержания равновесия, используемую субъектами при просмотре видео виртуальной реальности (VR). В исследовании приняли участие 16 здоровых людей в возрасте от 20 до 30 лет. Исследование проводилось строго после подписания участниками добровольного информированного согласия. Протокол исследования одобрен Локальным Этическим Комитетом КФУ. ЭМГ-активность передней большеберцовой (ПБМ) и камбаловидной (КМ) мышц регистрировали с помощью двух пар поверхностных электродов, наложенных на верхнюю треть ПБМ и нижнюю треть КМ соответственно, в стойке на твердой поверхности с открытыми, закрытыми глазами и в шлеме VR, и на мягкой поверхности при выполнении 3 проб. Наши данные показали, что вовлечение мышц голеностопного сустава при поддержании равновесия достаточно индивидуально. Мы выявили несколько общих стратегий при усложнении функциональных проб. Первое, что можно отметить, что мышцы ведущей ноги, как правило раньше включались в поддержание равновесия, второе, при закрытых глазах, на мягкой поверхности увеличивалась активность КМ и особенно при просмотре VR, что говорит о важности проприоцептивной информации. В-третьих, при усложнении пробы первой активировалась ПБМ. Кроме того, в условиях VR, нам удалось выявить субъектов с доминированием тазобедренного, а не голеностопного механизмов удержания баланса. Схожие особенности поструральных стратегий, несмотря на разные условия опоры, позволяют предположить, что сенсорные факторы имеют первостепенное значение для пострурального контроля в спокойной стойке. Таким образом, предлагаем использовать системы виртуальной реальности в качестве эффективной и доступной альтернативы для изучения контроля баланса.

*Работа выполнена в рамках программы «Стратегическое академическое лидерство Казанского федерального университета» (ПРИОРИТЕТ-2030).*

# **ВЛИЯНИЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА ПЛАНИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ РУКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЙ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ДЖОЙСТИКА У ОБЕЗЬЯН И ЧЕЛОВЕКА**

***Зобова Л.Н., Миллер Н.В., Бадаква А.М.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: lnz75@mail.ru

Наиболее адекватной моделью физиологических эффектов невесомости при изучении моторных механизмов является иммерсия, при которой уменьшается приток опорной, тактильной и проприоцептивной афферентации в структуры центральной нервной системы, осуществляющие мультисенсорную конвергенцию афферентных сигналов различной сенсорной модальности.

Проведено исследование воздействия 3-часовой водной иммерсии на состояние нейронов областей коры, связанных с планированием и коррекцией движений руки при выполнении зрительно-моторной задачи с помощью джойстика у 2 обезьян. Также проведен анализ влияния опорной разгрузки на траекторию движения курсора, управляемого джойстиком, при выполнении аналогичной зрительно-моторной задачи в условиях 7-суточной «сухой» иммерсии (СИ) у 10 мужчин.

Показано, что у обезьян после иммерсии достоверно ухудшается точность движения руки; отсутствуют изменения функционального состояния нейронов представительства руки в первичной моторной коре; усиливается нейрональная активность во время выполнения моторной задачи в 3 областях PPC. Из литературных данных известно, что сложное и требующее вычислений планирование движения управляется фронтальным путем, тогда как простые задачи обеспечиваются более быстрым парietальным путем.

Таким образом, результаты исследования на обезьянах показали, что иммерсия воздействует на структуры парietальной коры, ухудшая планирование и контроль движений руки.

Анализ скоростно-точностных характеристик движения руки у мужчин при управлении джойстиком показал ухудшение выполнения задачи в первые дни СИ и последующее восстановление показателей, связанное, по-видимому, с постепенной адаптацией к условиям опорной разгрузки, сопровождающейся изменением стратегии выполнения задачи, что также как и у обезьян свидетельствует о воздействии опорной разгрузки на структуры парietальной коры, участвующие в планировании и контроле движения руки.

*Работа поддержана Российской академией наук (№ FMFR-2024-0033).*



# СПИНАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СПОНТАННОЙ ТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРУЕМОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ

**Калашников В.Е., Туртикова О.В., Тыганов С.А., Сергеева К.В., Шенкман Б.С.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: vitaliy.kalashnikov@ya.ru

Известно, что примерно через трое суток функциональной разгрузки в камбаловидной мышце возобновляется электромиографическая (ЭМГ) активность [Alford et al., 1987; De-donker et al., 2005]. При этом вопрос о природе спонтанной активности мышц в условиях разгрузки оставался открытым.

В 2010 г. опубликована работа [Boulenguez et al., 2010], показавшая на модели спинальной травматизации животных, что снижение содержания в мотонейронах спинного мозга калий-хлоридного котранспортера KCC2 вызывает повышение мышечной активности, и, впоследствии, мышечную спастичность.

Ранее мы обнаружили, что 7-суточная функциональная разгрузка задних конечностей крысы также сопровождается снижением содержания KCC2 в поясничном отделе спинного мозга; и, кроме того, что введение активатора KCC2 прохлорперазина предотвращает как снижение содержания KCC2 в спинном мозге, так и нарастание интегральной ЭМГ камбаловидной мышцы [Kalashnikov et al., 2021]. Полученные данные впоследствии были валидированы в аналогичной серии экспериментов с другим активатором KCC2 – CLP290.

В экспериментах с животными при повреждении спинного мозга снижение содержания KCC2 в спинном мозге предотвращается произвольной двигательной активностью [Xiangzhe et al., 2022]. Мы сочли необходимым проверить этот эффект в экспериментальной модели с селективной активностью постуральных мышц голени. Для проверки была использована низкочастотная непрямая электростимуляция тыльных разгибателей голени. После 7 суток вывешивания в группе с электростимуляцией не было обнаружено достоверного снижения KCC2 в участке спинного мозга, иннервирующем стимулируемую конечность.

Таким образом, мы показали, что спонтанная тоническая активность камбаловидной мышцы вызвана снижением содержания KCC2 в спинном мозге. При этом, устранение спонтанной тонической активности возможно как посредством фармакологической активации KCC2, так и посредством восстановления функциональной активности камбаловидной мышцы.

*Поддержано грантом РФФ № 22-15-00151.*

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ В УСЛОВИЯХ «В ШАПКЕ» И «БЕЗ ШАПКИ» У ПАЦИЕНТА С БИЛАТЕРАЛЬНОЙ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ ГИПОФУНКЦИЕЙ И У ЗДОРОВЫХ МОЛОДЫХ ИСПЫТУЕМЫХ

*Кравцова Е.Н., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И.*

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: e.kravtsova@bk.ru

В январе 2023 г. во время медицинского осмотра мужчина с двусторонней вестибулярной гипofункцией (БВГ) сообщил, что может «свободно ходить и водить машину, и воспринимать пространство только тогда, когда на голову надета его «любимая» бейсболка, плотно сидящая на голове». Литературный поиск убедил в возможности этого феномена (Clément et al., 2007; Bury, Bock, 2018). Для проверки этого феномена этот пациент с БВГ и группа здоровых молодых испытуемых ( $n = 23$ , 2020–2021 г.) были обследованы при помощи стабилотрии (ST150, Мера, Москва, Россия) в четырех условиях, стоя – 1) с открытыми глазами, на твердой поверхности (EOS); 2) с закрытыми глазами, на твердой поверхности (ECS, Тест Ромберга); 3) глаза открыты, стоя на слое поролона (EOF, стопная реакция); 4) глаза закрыты, стоя на слое поролона (ECF, в двух состояниях: 1) «в шапке» и 2) «без шапки». Двукратное обследование субъекта с BVH показало, что в «сложных» условиях (стоя на поролоновой основе или с закрытыми глазами, или и то, и другое) длина и площадь эллипса траектории центра общего давления действительно значительно (на 20–30 %) уменьшались при ношении головного убора. В «обычных» условиях (стояние на твердом основании с открытыми глазами) испытуемый с БВГ стоял вполне одинаково и в шапке, и без нее. Молодые здоровые испытуемые также стояли лучше в условиях «в шапке» при стоянии на поролоне (EOF, ECF,  $p < 0,05$  для длины траектории центра общего давления). Таким образом, ношение шапки действительно влияет на параметры вертикальной стойки, но этот эффект проявляет себя в наиболее «сложных» условиях (стоя на поролоне или при закрывании глаз). Физиологической основой данного феномена (симптома «любимой шапки») может быть создание, в дополнение к зрительной вертикали, своего рода «проприоцептивной» или «эгоцентрической» вертикали (продольной оси) между головой и стопами.

# ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТАКТИВАЦИОННОГО ЭФФЕКТА МЫШЦ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ЛИЦ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ШИЗОФРЕНИЧЕСКОГО СПЕКТРА

*Кузмина А.П., Мейгал А.Ю., Буркин М.М., Герасимова-Мейгал Л.И.*  
Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: ankuzm@gmail.com

При заболеваниях шизофренического спектра (ШС) встречаются нарушения мышечного тонуса, связанные как с антипсихотической терапией, так и с кататонической и субкататонической симптоматикой (каталепсия). У здоровых лиц можно вызвать произвольный мышечный тонус в виде постактивационного эффекта (ПАЭ, Конштамм-эффект). ПАЭ возникает в скелетной мышце после произвольного изометрического сокращения. Цель настоящей работы – оценить возможность инициации ПАЭ у больных шизофренией и шизотипическим расстройством на фоне антипсихотической терапии (АПТ) и при ее отсутствии. Обследовано 43 больных (18 – без терапии и 25 – на фоне АПТ), находящихся как в психотическом состоянии – 15, так и в состоянии ремиссии – 28, при помощи поверхностной электромиографии (ЭМГ, НейроМВП-8, ООО Нейрософт, Иваново, Россия) дельтовидных мышц. Установлено, что ПАЭ вызывался у 11 испытуемых из 18 в состоянии «без терапии» (61 %), и у 3 из 25 больных, получающих АПТ (12 %). При заболеваниях ШС был характерен ПАЭ с очень большой длительностью ( $> 2$  минут). Паттерн ПАЭ с несколькими последовательными «волнами», характерный для здоровых молодых испытуемых, не был зарегистрирован ни разу. Средняя длительность ПАЭ составила 66 и 73 с в правой и левой руке, соответственно. Средняя частота ЭМГ (MNF) –  $69,4 \pm 10,7$  Гц и  $77,6 \pm 11,5$  Гц во время произвольной активности и  $72,3 \pm 13,9$  и  $79 \pm 17$  Гц во время ПАЭ ( $p > 0,05$ , тест Уилкоксона).

Таким образом, 1) частота генерации ПАЭ при заболеваниях ШС (12–61 %) была заметно ниже по сравнению с 91 % у здоровых молодых испытуемых (Письменный, Мейгал, 2009 2) у лиц, получающих АПТ, частота появления ПАЭ была значительно ниже, чем без АПТ, 3) различие средней частоты ЭМГ во время произвольной активности и ПАЭ не было выражено, в отличие от здоровых молодых испытуемых. Можно предположить, что наличие заболеваний ШС и АПТ оказывают влияние на ПАЭ, что указывает на участие дофаминергических систем мозга в генерации ПАЭ.

*Поддержано грантом РФФ № 24-25-00301.*

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТАКТИВАЦИОННОГО ЭФФЕКТА МЫШЦ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ЛИЦ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА**

*Мейгал А.Ю., Пескова А.Е., Герасимова-Мейгал Л.И., Склярова А.С.,  
Антонен Е.Г.*

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: meigal@petrsu.ru

Постакивационный эффект (ПАЭ, Конштамм-эффект) представлен непровольным мышечным тонусом, возникающим в скелетной мышце после ее изометрического сокращения. Для болезни Паркинсона (БП) характерен пластический гипертонус (ригидность) мышц в виде равномерного сопротивления пассивному движению в суставе и флексорная поза (камптокормия). В настоящей работе дана характеристика ПАЭ, возникающего у лиц с БП (6 ж, 8 м, 54,5–66,0 лет, стадия 2 по Хёну и Яру) в антигравитационной дельтовидной мышце (ДЛ) и сгибательной двуглавой мышце плеча (ДВ) при помощи электромиографии (ЭМГ, Нейро-МВП-8, ООО Нейрософт, Иваново, Россия) после (on-medication, UPDRS 33 балла) и до приема лекарства (off, 42 балла). Установлено, что ПАЭ вызывался у 6 испытуемых и в ДЛ был представлен более коротким и высокоамплитудным паттерном (в среднем 50 с, 200–250 мкВ), а в ДВ - длительным низкоамплитудным паттерном (70 с, 100–120 мкВ,  $p < 0,05$  к ДМ). В состоянии off ПАЭ вызывался всего у 3 испытуемых. Средняя частота ЭМГ (MNF, Гц) во время ПАЭ не отличалась от таковой при произвольной активности (56–60 и 51–54 Гц, соответственно,  $p < 0,05$ ). У ряда испытуемых с БП наблюдалась исходно высокая ЭМГ-активность в обеих ДВ и согнутое положение в локтевом суставе, которые оставались и после индуцирующего изометрического сокращения.

Таким образом, 1) вероятность генерации ПАЭ при БП ниже по сравнению со здоровыми испытуемыми, т. е. ПАЭ при БП заторможен, 2) ПАЭ представлен единичным удлинненным паттерном, 3) нет различия MNF между произвольной активностью и ПАЭ, характерного для молодых испытуемых, 4) при БП имеется асимметрия длительности ПАЭ на левой и правой стороне, нехарактерная для молодых испытуемых. Мы предполагаем, что ПАЭ при БП несет характерные черты нарушения тонуса – асимметрия, преобладание активности в сгибательной мускулатуре и склонность к длительному сокращению мышц, что имеет потенциальное диагностическое значение.

*Поддержано грантом РФФ № 24-25-00301.*

# СНИЖЕНИЕ ПОСТУРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ТЕСТАХ СО ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ АССОЦИИРОВАНО С ПОВЫШЕННОЙ БЕТА-МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У СПОРТСМЕНОВ

*Мельников А.А.<sup>1</sup>, Дроненко М.В.<sup>1</sup>, Березин В.С.<sup>1</sup>, Зонов А.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

<sup>2</sup>ООО «Нейроботикс», Москва

E-mail: meln1974@yandex.ru

Регуляция позы со зрительной обратной связью (ЗОС) включает сенсомоторные процессы, которые лежат в корковых и подкорковых нейрональных сетях, активность которых частично отражается на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Показано, что усложнение постуральной задачи сопровождается снижением альфа-мощности и увеличением бета- и тета-ритмов в ЭЭГ. Однако исследования ЭЭГ проявлений регуляции позы в тестах с ЗОС в настоящее время отсутствуют. Целью работы было выявить особенности альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ в тестах с ЗОС возрастающего масштаба у спортсменов с различной устойчивостью позы ( $n = 90$ ). Испытуемые выполняли 7 стабилметрических тестов с ЗОС с возрастающим масштабом смещения ОЦД. ЭЭГ регистрировали с помощью гарнитуры «NeuroPlay-6С» в 6 каналах: О1, О2, Т3, Т4, Fp1, Fp2. В зависимости от площади колебаний ОЦД (S) в тесте с масштабом ЗОС 1/64 выделены группы: с низкой S (LowS,  $n = 22$ ), высокой S (HighS,  $n = 22$ ) и средней S ( $n = 46$ ). Применение ЗОС вызывало снижение альфа-мощности, и степень альфа-депрессии была ниже в группе LowS. Увеличение масштаба ЗОС не отражалось на тета- и альфа-активности, но средняя альфа-мощность за 7 тестов был выше в группе LowS, чем в группе HighS. Двухфакторный ANOVA выявил прирост бета-мощности в лобных отведениях (оба  $p < 0,05$ ) при увеличении масштаба ЗОС в группе со снижением устойчивости позы (HighS). Напротив, бета-мощность в Fp2 снижалась в группе LowS ( $p < 0,05$ ) при значительном увеличении масштаба ЗОС (в 32 и 64 раза). Динамика тета-мощности в тестах с увеличением масштаба ЗОС не различалась в группах, но она снижалась в Fp1 и Fp2 в группе с низкой устойчивостью (LowS).

Таким образом, важными особенностями ЭЭГ у спортсменов с низкой постуральной устойчивостью в тестах с ЗОС было более выраженное снижение альфа- и повышение бета-мощности в лобных долях. У спортсменов с высокой устойчивостью позы, напротив, бета-мощность снижалась.

## **МЫШЕЧНЫЕ СИНЕРГИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОТОРНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА**

**Моисеев С.А.**

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
Великие Луки

E-mail: sergey\_moiseev@vlgafo.ru

Одно из решений проблемы координации множества элементов управляемой системы заключается в формировании низкоразмерных модулей и контроле таких образований посредством управляющих сигналов, генерируемых на различных уровнях центральной нервной системы. Синергия представляет собой механизм, обеспечивающий сопряжение таких уровней, превращая их в единую систему. Система управления мышечными синергиями включает две независимые части, первая из которых определяет степень вовлечения скелетных мышц в синергию, а вторая контролирует временную организацию мышечных модулей.

Исследование синергий с применением факторизации данных и анализом пространственно-временных паттернов активации мышц позволило установить, что в управлении локомоциями задействованы единые мышечные модули, структура которых модифицируется в зависимости от условий их реализации. Закономерности модификации пространственной и временной структуры мышечных синергий определяют небольшое количество стратегий контроля мышечных активаций при ходьбе и беге.

Данные о пространственно-временном структурировании корковой активности свидетельствуют о раздельном управлении мышечными синергиями посредством синхронизации кортикальных команд и временной организации мышечных синергий в низкочастотном диапазоне.

Установлено, что стабильный набор и стереотипные паттерны временной активации основной мышечной синергии при различной мощности афферентного потока от рецепторов нижних конечностей обусловлены реализацией моторных программ синергий, формируемых центральными генераторами, обладающими собственной внутренней организацией. Реализация программ синергий ритмогенерирующей частью нейрональной сети спинного мозга мало зависит от величины и характера опорной афферентации. Только наличие, но не мощность афферентного потока от рецепторного комплекса нижних конечностей вносит существенный вклад в формирование межконечностных синергетических паттернов и регуляцию степени вовлечения мышц в синергии.

# **ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА СПОРТСМЕНОК, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТИВНОЙ ГИМНАСТИКОЙ**

***Ниязи Е.С., Назаренко А.С., Платошкина Е.Е., Федянин А.О., Ботова Л.Н.***

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань

E-mail: katerina58\_98@mail.ru

Формирование и развитие пострурального баланса и контроля начинается в раннем детстве и имеет большое значение для поддержания физического здоровья спортсменов, а также достижения высоких спортивных результатов. Эффективность регуляции позы играет важную роль для предупреждения травм, а также в овладении сложными двигательными действиями и спортивными навыками в разных видах спорта (Мельников А.А., 2022). Совершенствование системы поструральной регуляции и накопление двигательного пострурального опыта ведет к автоматизации управлению позой, что особенно важно в спортивной гимнастике. Целью данного исследования явилось изучение возрастных особенностей пострурального баланса гимнасток.

В исследовании приняли участие 67 гимнасток (от 2 юн. разряда до МС), которые были разделены на 4 возрастные группы 7–8 лет ( $n = 8$ ), 9–10 ( $n = 11$ ), 11–12 ( $n = 15$ ), 13–14 ( $n = 18$ ), 15–17 ( $n = 15$ ). Проводили мониторинг функции равновесия тела на стабилографическом аппаратно-программном комплексе «Стабилан 01-5». Полученные данные определяли на нормальное распределение выборки. Рассчитывали средние значения и стандартное отклонение.

При анализе вертикальной позы гимнасток при выполнении пробы Ромберга были выявлены возрастные отличия в показателях статокинезиограммы. Изменение основных параметров у спортсменок носило волнообразный характер и прямо зависело от возраста и стажа занятий. Критическими оказались возраста 9–10 и 13–14 лет, что может быть связано с несоответствием длины конечностей и туловища, быстрым физическим развитием, гибкостью и мобильностью суставов. Пиковые значения КФР, IV, Q(x,y) в возрастной группе 13–14 лет может свидетельствовать о созревании корковых и сенсорных структур головного мозга участвующих в управлении позы.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства спорта Российской Федерации № 777-00022-24-01 «Разработка научно-обоснованных средств совершенствования нервно-мышечного контроля движений в спортивных видах гимнастики».*

# ПОСТАКТИВАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ДЕЛЬТОВИДНОЙ МЫШЦЕ ЧЕЛОВЕКА В РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ

*Пескова А.Е., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И., Антонен Е.Г.*  
Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: peskova@petsu.ru

Постактивационный эффект (ПАЭ, Конштамм-эффект), произвольно возникающий в скелетной мышце после ее изометрического сокращения, представляет собой удобную модель для исследования свойств мышечного тонуса в условиях гравитационной разгрузки тела. Нами исследован ПАЭ дельтовидной мышцы, билатерально, в условиях 1) после сеанса «сухой» иммерсии (СИ, «МЕДСИМ», ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва,  $n = 15$ ), 2) во время вертикальной разгрузки (ВР) при моделировании полной невесомости (0 g), половины весомости (0,5 g) и обычной земной весомости (1 g) («Орторент», ООО Орторент, Подольск, Россия,  $n = 12$ ) и 3) в положениях «стоя», «сидя» и «стоя на носочках» ( $n = 14$ ). Все испытуемые в возрасте 19–22 лет.

Средняя частота (MNF) электромиограммы (ЭМГ, Нейро-МВП-8, ООО Нейрософт, Иваново, Россия) во время ПАЭ была на 10–12 Гц больше, чем во время индуцирующей произвольной активности ( $p < 0,01$ ). После сеанса СИ частота ЭМГ во время ПАЭ не изменилась, однако длительность ПАЭ увеличилась после СИ с  $77,5 \pm 61$  до  $140 \pm 127$  с ( $p = 0,02$ , критерий Уилкоксона).

Во время ВР длительность ПАЭ не изменялась в зависимости от весомости, хотя была отмечена незначимая тенденция к увеличению времени ПАЭ при полной разгрузке тела (0G) с 69 до 127 с при обычной весомости (1G) ( $p > 0,05$ ). MNF во время ПАЭ при изменении весомости не изменялась. В ряду положений «стоя» – «сидя» – «стоя на носочках» отмечено снижение времени ПАЭ в положении «стоя на носочках» (с 75–80 с до 62,5 с,  $p = 0,081$  по критерию Фридмана).

Таким образом, основным результатом является то, что после сеанса СИ увеличивается время ПАЭ в дельтовидных мышцах, тогда как другие модели разгрузки (вертикальное вывешивание тела и положение сидя) не вызывают однонаправленного эффекта на ПАЭ. Планируется дополнить этот результат данными о влиянии названных моделей разгрузки на ПАЭ двуглавой мышцы плеча, которая, в отличие от дельтовидной мышцы, является сгибательной, а не антигравитационной мышцей.

*Поддержано грантом РФФ № 24-25-00301.*



# **МИОГРАФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ ГОЛЕНИ В ПОКОЕ ОПРЕДЕЛЯЕТ ТОЧНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ МОЗГА ПРИ ВООБРАЖЕНИИ ДВИЖЕНИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

***Решетникова В.В.<sup>1</sup>, Боброва Е.В.<sup>1</sup>, Вершинина Е.А.<sup>1</sup>, Бобров П.Д.<sup>2</sup>,  
Герасименко Ю.П.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

E-mail: 3069@bk.ru

При управлении нейроинтерфейсом, основанным на воображении движений нижних конечностей, происходят изменения активности как мышц ног, так и активности мозга. Последнее выражается в изменении точности классификации сигналов мозга, которая характеризует степень отличия активности мозга при воображении движений от активности в покое, а также стабильность работы нейронных сетей, отвечающих за воображение движений. Для выяснения связи между ЭМГ-активностью мышц и ЭЭГ-активностью мозга было проведено исследование с участием 46 здоровых наивных испытуемых с ведущей правой ногой, которые 4 раза управляли нейроинтерфейсом, основанным на кинестетическом воображении движений: (1) при воображении тыльного сгибания стоп, (2) с добавлением к (1) механотерапии; (3) при воображении ходьбы на месте; (4) с добавлением к (3) механотерапии. Были выявлены значимые корреляции ЭМГ-активности мышц голени с точностью классификации сигналов мозга при воображении как движений стоп, так и локомоции: между активностью левой переднеберцовой мышцы (ПБМ) при инструкции находиться в покое – чем больше напряжена левая ПБМ, тем меньше точность классификации. Это свидетельствует о том, что напряжение в разгибателе голени опорной ноги является фактором, который сказывается на различии сигналов мозга при воображении движений по сравнению с покоем. При подключении механотерапии в случае успешного воображения локомоции также значима отрицательная корреляция с точностью классификации, но не с левой, а с правой ПБМ.

Таким образом, у индивидуумов с повышенным тонусом разгибателей голени опорной ноги уменьшена точность классификации сигналов мозга при работе с нейроинтерфейсом, основанном на воображении движений нижних конечностей, а добавление пассивного перемещения ног при успешном воображении локомоции приводит к тому, что величина точности классификации связана с тонусом не опорной, а ведущей ноги. Полученные данные могут быть применены в разработке индивидуальных подходов в нейрореабилитации.

# ПОСТУРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ НА ПОВТОРНЫЕ ВРАЩЕНИЯ НА ЦЕНТРИФУГЕ КОРОТКОГО РАДИУСА В ИНТЕРВАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Рябова А.М., Савеко А.А., Бекренева М.П., Курбанова О.Э.,  
Гайнутдинова Э.А.*

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: [aleksriabova@yandex.ru](mailto:aleksriabova@yandex.ru)

Риск побочных ортостатических и вестибулярных реакций при использовании центрифуги короткого радиуса (ЦКР; Котовская, 2015) затрудняет внедрение этого метода в клиническую практику, однако, гравитационная терапия может использоваться при ряде заболеваний (Kourtidou-Papadeli, 2021).

Целью явилось исследование постуральных характеристик до и после 3 последовательных сессий вращений ЦКР в интервальном режиме при различной длительности воздействия – 60 мин (1 группа; 6 мужчин) и 47 мин (2 группа; 6 мужчин). Воздействие включало в себя (1) ускорение до достижения 1,27 g (2 мин), (2) чередование нагрузок 1,27 g и 2,06 g с интервалами по 5 минут, (3) торможение до полной остановки ЦКР (2 мин). Воздействие в экспериментальных группах различалось только по количеству интервальных нагрузок: режим вращения 1 группы включал 5 площадок 1,27 g и 4 площадки 2,06 g (45 мин + 11 мин на ускорение и торможению при смене нагрузки), 2 группы – 4 площадки 1,27 g и 3 площадки 2,06 g (35 + 8 мин).

Характеристики вертикальной стойки регистрировали с помощью сенсорной платформы Footscan (RSscan, Бельгия) при выполнении следующей задачи: зафиксировать центр давления в заданной точке с использованием зрительной обратной связи (изображение на экране) в положении стоя, закрыть глаза и продолжать стоять, стараясь сохранять заданное положение, в течение 20 с. Для 6 участников сокращенной ЦКР тренировки дополнительно регистрировали электромиографическую активность мышц голени с помощью Muscle Lab 4000e (Ergotest, Норвегия).

Полученные результаты демонстрируют, что сокращение длительности сессии ЦКР снижало нежелательные постуральные реакции, возникающие после вращения. Так, скорость перемещения центра давления увеличивалась на  $1,95 \pm 0,39$  ( $p < 0,0001$ ) и на  $1,36 \pm 0,38$  ( $p < 0,01$ ) мм/с после первого вращения в 1 и 2 группе, соответственно. После второго сеанса ЦКР данный показатель повышался (на  $1,23 \pm 0,41$  мм/с;  $p < 0,05$ ) только в 1 группе, тогда как во 2 группе не отличался от исходных значений, что указывает на более раннее развитие толерантности к сокращенному протоколу уже после первой сессии ЦКР.

*При поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г., НЦМУ Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».*

# ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МЫШЦ РУКИ ПОСЛЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ К ЕЕ МЫШЦАМ И ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ МЫШЦ НА ВНЕШНИЕ СТИМУЛЫ

**Селионов В.А., Солопова И.А.**

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва

E-mail: selionov@iitp.ru

Применение вибрации во время физических упражнений и реабилитации используется как способ улучшения функций мышц и их производительности. Цель исследования состояла в оценке влияния локальной вибрации (ЛВ) мышц руки, а также сильного произвольного изометрического напряжения двуглавой мышцы плеча на состояние этих мышц и связанное с последствием время реакции (ВР) в локтевом и лучезапястном суставах. После контроля (без вибрации) ЛВ прикладывалась к двуглавой мышце плеча и к сгибательно кисти левой руки с частотами 20 и 60 Гц и длительностью 10, 60 и 90 секунд. Испытуемые выполняли также напряжение двуглавой мышцы руки против упора с последующим расслаблением (феномен Конштамма). Оценивали изменение моторного выхода в вибрируемых мышцах и время реакции (ВР) как интервал времени от начала зрительного стимула до начала движения в суставе. Не наблюдалось различий во влиянии вибрации на мышцы плеча и предплечья. После вибрации бицепса у 10 испытуемых (из 17) наблюдалось значительное ( $p < 0,05$ ) уменьшение ЭМГ во время сгибания на предъявленный стимул. Наблюдалось также уменьшение ЭМГ в мышце, сгибающей кисть ( $p < 0,02$ ). Испытуемые выполняли сгибание в суставах быстрее в конце эксперимента, чем в его начале. Средняя скорость сгибания в двух суставах руки различалась ( $p < 0,05$ ) у половины испытуемых (у остальных различия были незначимыми) и составляла 0,431 с (0,406 с – в конце эксперимента) в локтевом суставе, 0,414 с (0,391 с – в конце) – в лучезапястном суставе. После произвольного изометрического напряжения мышцы ВВ увеличения мышечной активности в бицепсе не происходило, однако при этом среднее значение ВР значимо ( $p < 0,01$ ) укорачивалось в среднем от 0,398 с до 0,368 с у большинства испытуемых.

Таким образом, вибрация вызывала снижение мышечной активности во время выполнения сгибания в суставах, тогда как изометрическое напряжение с последующим расслаблением мало влияло на состояние мышц. Однако, в обеих ситуациях происходило, в основном, укорочение ВР.

# ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ И КИНЕМАТИКИ ЛОКОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

**Смолькова Л.В.**

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган

E-mail: slv@odb45.ru

*Введение.* Одна из проблем в оценке походки у детей младше 7 лет — это критерии физиологической функционально незрелой походки. В литературе описаны типы походки при различной патологии, и не всегда представляется возможным провести четкую грань между начальными стадиями отклонений и всеми вариантами нормы. Определяемая в постуральных и двигательных стереотипах нормальность распределения — это необходимое условие для признания исследуемой деятельности двигательным стереотипом.

*Цель.* Определение критериев возрастной нормы кинетических и кинематических параметров походки у здоровых детей 3–7 лет.

*Материалы и методы.* Проведена комплексная оценка результатов 3D- видеоанализа походки (8 оптических камер Qualisys 7+, 6 силовых платформ Kistler, Швейцария) у 41 здорового ребенка дошкольного возраста (3–7 лет). Обследование проводилось двумя тестами: 1 — это самостоятельная ходьба по дорожке длиной 7 метров, 2 — это ходьба по той же дорожке, но с поддержкой за одну руку от взрослого.

*Результаты и обсуждение.* Локомоторные паттерны у детей до 4 лет оставались привычными вне зависимости от скорости ходьбы и наличия поддержки за руку. У детей в возрасте 5–6 лет при ходьбе за руку нормальность распределения начинает отклоняться, и разница показателей отличается в 2,5 раза. Кинематика движения головы в сагиттальной плоскости, определяющая постуральный контроль для достижения горизонтального взора, имеет значимые гендерные отличия: у девочек зрелость стратегии достижения горизонтального взора формируется быстрее, чем у мальчиков, также во фронтальной плоскости у девочек меньшая амплитуда движения туловища относительно плоскости опоры и, следовательно, более плавная походка. У детей 3–4 лет параметры кинематики таза и мощности мышц тазобедренного сустава имеют достоверную линейную зависимость и могут отражать функциональную зрелость нейромышечного аппарата. Полученные данные можно использовать в качестве нормы для детей дошкольного возраста в привычном темпе ходьбы.

# ИММУНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ GFAP В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ СПИННОГО МОЗГА КРЫСЫ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ВЫВЕШИВАНИИ ЗАДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

**Тяпкина О.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

<sup>2</sup>Казанский государственный медицинский университет, Казань

E-mail: anti-toxin@mail.ru

Воздействие 30 суточного реального космического полета и антиорто статического вывешивания задних конечностей (АОВ) приводит к ответной реакции глии в поясничном отделе спинного мозга у мышей. Однако, о реакции глии при кратковременном пребывании в этих условиях данные практически отсутствуют. В связи с чем целью настоящего исследования явилось проведение иммунофлуоресцентного исследования экспрессии GFAP (глиальный фибриллярный кислый белок – основной компонент промежуточных филаментов в фиброзных и протоплазматических астроцитах ЦНС) в поясничном утолщении спинного мозга у крыс на ранних этапах АОВ и реадaptации до 7 суток. Эксперименты проводили на половозрелых самцах крыс (Wistar). Эксперименты одобрены Комиссией по Биоэтике ФИЦ КазНЦ РАН (№ 12-3 от 28.02.2023 г.). АОВ задних конечностей использовали для воспроизведения неиспользования (модель опорной разгрузки) у крыс, разделенных на 9 групп: Контроль, АОВ 12ч, АОВ 24ч, АОВ 72ч, АОВ 7 сут, Реадаптация 12ч, Реадаптация 24ч, Реадаптация 7 ч и Реадаптация 7 сут, после 7 суток АОВ. Поперечные срезы поясничного отдела спинного мозга (20 мкм) окрашивали первичными антителами к GFAP (1:100, Abcam; 12 часов при +4 °С) и вторичными (IgG ослиные против козла, с Alexa647; 1:500, Invitrogen). Изображения получали на конфокальном микроскопе Leica TCS SP5 MP. Анализировали площади окрашивания и интенсивность флуоресценции в программе ImageJ (НИН, США). Статистическую обработку проводили в программе Origin 8.0 с (U-критерий Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса,  $p \leq 0,05$ ). Анализ площадей окрашивания GFAP на срезах поясничного утолщения у крыс показал увеличение значений на всех сроках после АОВ и реадaptации относительно контрольных значений (на  $11 \pm 5 \%$ ,  $46 \pm 4 \%$ ,  $48 \pm 3 \%$ ,  $54 \pm 5 \%$ ,  $274 \pm 4 \%$ ,  $103 \pm 3 \%$ ,  $109 \pm 3 \%$ ,  $73 \pm 3 \%$ , соответственно).

Таким образом, увеличение площади иммунофлуоресценции GFAP свидетельствует о реактивном астроглиозе в раннем периоде АОВ и реадaptации в поясничном утолщении спинного мозга.

*Исследование проведено в рамках Госзадания.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ СПИНАЛЬНЫХ РЕФЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ**

***Шигуева Т.А., Абу Шели Н.М.А., Томиловская Е.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: t.shigueva@gmail.com

Спинальные рефлексы играют важную роль в контроле позы и локомоции. Исследования, проведенные в предшествующие годы, позволили описать феномен гипогравитационной гиперрефлексии. Однако природа ее возникновения до настоящего времени остается предметом исследования. Большинство исследователей связывают ее с частичной проприоцептивной деафферентацией, обусловленной снижением уровня двигательной активности. Известно, что повышение возбудимости является универсальным следствием деафферентации. Вместе с тем, исследования позволили предположить, что триггером ее является устранение опорной афферентации, обеспечивающей в нормальных условиях модулирующий эффект. Анализ эффектов 21-суточной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) и аналогичного, а также менее длительного воздействия (5–7 суток) «сухой» иммерсии (СИ) позволит описать временную динамику развития гипогравитационной спинальной гиперрефлексии.

Исследовали характеристики возбуждающих и тормозных процессов в системе проприоцептивных рефлексов в условиях различной опорной разгрузки, которая обуславливалась воздействием СИ и АНОГ. В качестве тест-реакций использовали кривые вовлечения Н-рефлекса, описывающие изменения возбудимости в состоянии рефлекторных механизмов на раздражение. В соответствии с задачами работы испытуемые в течение 5–7 и 21 суток находились в иммерсии СИ и 21 суток – в АНОГ, не подвергаясь никаким другим воздействиям.

Результаты исследования показали, что к 5-м суткам СИ проявлялись признаки гиперсензитивности спинальных рефлекторных систем. Однако в ходе 2-й и 3-й недели СИ значимых изменений характеристик Н-рефлекса по сравнению с исходными данными не наблюдалось. По-видимому, начиная с 7-х суток СИ, наблюдается развитие компенсаторных процессов, свидетельствующих о развитии хронических процессов хронической адаптации. Пребывание в АНОГ сопровождалось снижением порогов Н-рефлекса в более поздние сроки, чем в СИ.

*Работа поддержана Российской академией наук (№ FMFR-2024-0033).*

**ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ  
КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ  
ПРЕОДОЛЕНИЯ  
ДВИГАТЕЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ**





# МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОЛЬНАЯ СИЛА МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ПОСЛЕ КУРСА ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИИ

*Абу Шели Н.М.А.<sup>1</sup>, Савеко А.А.<sup>1</sup>, Шигуева Т.А.<sup>1</sup>, Авдеева М.А.<sup>2</sup>,  
Русакова К.В.<sup>2</sup>, Евсеева Н.А.<sup>2</sup>, Гудкова А.А.<sup>2</sup>, Гехт А.Б.<sup>2</sup>,  
Томиловская Е.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Научно-практический психоневрологический центр им. С.М. Соловьева  
Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва

E-mail: nellyabushelly@yandex.ru

Цель работы составило изучение силовых свойств мышц нижних конечностей у больных с хронической цереброваскулярной недостаточностью (ЦВН) и дефицитом двигательной нагрузки до и после курса модулированной электромиостимуляции («русских токов», ЭМС) в условиях стационара.

Исследование проводили в трех группах пациентов (средний возраст 74,5 ± 7,5 лет). В группе со стимуляцией (n = 27) проводили курс ЭМС со средней амплитудой 21,4 ± 5,1 мА, состоящий из 7–9 сессий в течение 14 дней. В группе шэм (англ. sham, «плацебо», n = 7) осуществляли шэм-стимуляцию со средней амплитудой 4,4 ± 2,4 мА. В контрольной группе (n = 10) курс ЭМС не проводили. Динамометрию проводили в положении лежа на спине с помощью специально сконструированной динамометрической педали с тензодатчиком, регистрирующим усилие. Под ведущую ногу устанавливали педаль так, чтобы угол в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах (ГС) составлял 90°.

Определяли максимальное произвольное усилие (МПС) в кг – выполнялись три разгибания в ГС с максимально возможной силой. После курса ЭМС в группе со стимуляцией наблюдалось значительное увеличение МПС при разгибании голеностопного сустава на 19,3 % (p < 0,05). В других группах достоверных изменений не наблюдалось: в контрольной группе регистрировали незначительное повышение МПС на 7,1 %, а в группе шэм – снижение на 8,24 %.

Результаты динамометрии свидетельствуют о том, что модулированную ЭМС можно рассматривать как перспективную меру в реабилитации пациентов с хронической ЦВН с дефицитом двигательной нагрузки, приводящей к ухудшению поструральной устойчивости и сопровождающейся риском падений.

*Исследование поддержано Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».*

# **ВЛИЯНИЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА МУЛЬТИСЕГМЕНТАРНЫЕ РЕФЛЕКТОРНЫЕ ОТВЕТЫ МЫШЦ НОГ**

**Бычкова А.Д.<sup>1</sup>, Китов В.В.<sup>1</sup>, Саенко Д.Г.<sup>1,2</sup>, Томиловская Е.С.<sup>1</sup>,  
Шигуева Т.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Лаборатория нейромодуляции и восстановления, отдел нейрохирургии, центр  
нейрорегенерации, Хьюстонский методистский исследовательский институт,  
Хьюстон, Техас, США

E-mail: alexandra.sdob@mail.ru

Систематическое изучение возбудимости различных двигательных пулов спинного мозга, проецируемых на мышцы ног, необходимо для выявления механизмов нарушений позы и локомоции вследствие воздействия микрогравитации. В настоящее время в качестве неинвазивного электрофизиологического метода исследования используется чрескожная электростимуляция спинного мозга (ЧЭССМ), что дает возможность выявлять мультисегментарные моносинаптические ответы для нескольких мышц одновременно.

Целью исследования являлось изучение влияния безопорности на характеристики вызываемых рефлекторных ответов мышц ног. Для воспроизведения безопорности использовали наземную модель невесомости – «сухую» иммерсию. Двигательные потенциалы вызывали чрескожной электростимуляцией спинного мозга, наносимой с использованием монофазных импульсов, генерируемых стимулятором постоянного тока. Накожный стимулирующий электрод (катод) располагался по средней линии позвоночника между остистыми отростками T11–T12 или T12–L1. Индифферентные электроды (аноды) располагались симметрично по среднечлочичным линиям на 3–5 см ниже реберной дуги. Электростимуляция производилась каждые 10 секунд с интенсивностью от 6 до 120 мА в две сессии - в иммерсионной ванне и на подъемнике. Спинально-вызванные потенциалы регистрировали билатерально с разгибателей и сгибателей мышц бедра и голени методом поверхностной электромиографии. Анализировали кривые вовлечения мышечных ответов.

В ходе иммерсии наблюдалось снижение порога вызванных ответов у всех исследуемых мышц. Также наблюдалась разница между сессиями, проведенными в условиях наличия или отсутствия опоры, а именно – величина порога в сессиях на жестком подъемнике была выше, чем в сессиях в иммерсионной ванне. Изменения амплитуды ответов носили неоднозначный характер.

Таким образом, показана зависимость возбудимости различных двигательных пулов спинного мозга методом ЧЭССМ от опорной разгрузки.

*Работа поддержана Российской академией наук (№ FMFR-2024-0033).*

# **НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХОДЬБЫ У ПАРАЛИЗОВАННЫХ ПАЦИЕНТОВ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СПИНАЛЬНОЙ НЕЙРОМОДУЛЯЦИИ**

***Герасименко Ю.П.***

Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

E-mail: [gerasimenko@infran.ru](mailto:gerasimenko@infran.ru)

В настоящее время реабилитация двигательных функций у пациентов с травматическим поражением головного и спинного мозга, инсультов, нейродегенеративных заболеваний, детского церебрального паралича длительна, затратна и, в целом, мало эффективна. Поэтому разработка новых методов и способов регуляции двигательной активности человека является крайне актуальной социально значимой задачей. Ранее мы показали, что электрическая стимуляция спинного мозга способна активировать нейронные спинальные сети, известные как генераторы шагательных движений, и инициировать локомоторную активность у пациентов с полным моторным поражением спинного мозга. Позже мы доказали, что мультисегментарная стимуляция шейного, грудного и поясничного отделов оказывает синергичный эффект на генераторы шагательных движений и является эффективным методом регуляции шагательных движений.

На основании результатов проведенных исследований была разработана мультифункциональная стимуляция спинного мозга, воздействующая на локомоторные нейронные сети и моторные пулы. Такая пространственно-временная спинальная стимуляция позволяла активировать нейронные сети и ритмически активировать моторные пулы флексорных и экстензорных мышц ног в шагательном цикле в фазе переноса и фазе опоры, соответственно. Использование мультифункциональной стимуляции спинного мозга на постинсультных пациентах показало ее эффективность в регуляции и восстановлении движений в паретичной ноге и улучшении межконечностной координации.

В докладе будут обсуждаться механизмы регуляции двигательных функций при мультифункциональной стимуляции спинного мозга и обоснование ее использования в нейрореабилитации пациентов с двигательной патологией различного генеза.

*Финансовая поддержка исследования – Программа НЦМУ Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2022-303 от 21.04.2022 г.).*

## **ВЛИЯНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА НА ИМПУЛЬСНУЮ АКТИВНОСТЬ АФФЕРЕНТОВ МЫШЦ ГОЛЕНИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ХОДЬБЫ С УСИЛИЕМ**

*Гладченко Д.А., Алексеева И.В., Челноков А.А.*

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
Великие Луки

E-mail: gladchenko84@outlook.com

Целью данной работы являлось изучение импульсной активности различных групп афферентных волокон и ЭМГ-паттернов мышц-антагонистов голени при проталкивании неподвижной ленты тредбана усилиями ног без, во время и после чрескожной электрической стимуляции дорсальных корешков нижнегрудного отдела спинного мозга человека (ЧЭССМ). Использование математической модели, основанной на прогнозировании срабатывания мышечных веретен, выявлена разнонаправленность импульсной активности афферентов I и II групп *m. tibialis anterior* (TA) и *m. gastrocnemius med.* (GM) во время ходьбы с усилием во всех экспериментальных условиях. Установлено, что проталкивание ленты тредбана усилиями ног в отсутствие электростимуляции сопровождалось сильной импульсной активностью афферентов I (Ia и Ib) и II групп GM, повышением возбудимости ее мотонейронного пула, ослаблением афферентной активности и снижением возбудимости двигательных центров спинного мозга TA. Нанесение ЧЭССМ во время ходьбы с усилием ног вызывала сильную импульсную активность II афферентов, умеренную Ia и слабую Ib афферентов мышц-антагонистов голени, при этом более выраженную импульсную активность проявляли II афференты GM, чем аналогичные афференты TA, возбудимость мотонейронного пула GM также превышала TA. В постактивационный период ходьба с проталкиванием неподвижной ленты тредбана сопровождалась еще большим усилением импульсации по афферентным волокнам II группы GM, ослаблением импульсации по афферентным волокнам I и II группы TA до слабых и умеренных значений, соответственно, при этом импульсная активность I группы афферентов GM оставалась на прежнем уровне, как во время ЧЭССМ. ЭМГ-паттерны мышц-антагонистов в постстимуляционный период уменьшились, при этом электрическая активность GM также превышала значения TA. Полученные данные расширяют представление о механизмах действия ЧЭССМ в активации афферентных волокон различных групп во время локомоции человека.

# **НИЗКОИНТЕНСИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРЕДОТВРАЩАЕТ СНИЖЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КАРДИАЛЬНОГО БАРОРЕФЛЕКСА ПОСЛЕ 7-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ**

***Жедяев Р.Ю., Боровик А.С., Тарасова О.С., Рукавишников И.В.,  
Виноградова О.Л.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: zhedyayev-r@mail.ru

Цель исследования: оценить влияние низкоинтенсивной электростимуляции мышц нижних конечностей (ЭМС) на показатели гемодинамики и барорефлекторной регуляции ритма сердца на фоне 7-суточной «сухой» иммерсии (СИ).

У двух групп молодых мужчин до и на первые сутки после недельной СИ без профилактики (группа СИ; n = 9) и с ежедневной ЭМС (группа СИ+ЭМС; n = 10) проводили интервальную ортопробу (5-кратное повторение чередующихся 3-мин периодов ортостаза и горизонтального положения). Регистрировали непрерывно ЭКГ, АД, ударный объем (УО). Оценивали изменения ЧСС, среднего за кардиоцикл АД и УО, а также  $\alpha$ -коэффициента (показатель барорефлекторной регуляции, вычисляемый как отношение амплитуд низкочастотных (НЧ) волн RR-интервала и систолического АД) при вертикализации тела. Влияние ЭМС на работоспособность стимулируемых мышц-разгибателей коленного сустава оценивали по изменению максимальной изометрической произвольной силы (МПС) и максимальной аэробной мощности в тесте с возрастающей нагрузкой ( $W_{max}$ ) до и на первые сутки после СИ.

ЭМС предотвратила падение МПС и  $W_{max}$  мышц бедра, которое наблюдалось в СИ. В горизонтальном положении после СИ в двух группах наблюдалось сходное увеличение ЧСС и АД, а также сходное снижение УО, однако снижение амплитуды НЧ колебаний RR-интервала наблюдалось только в группе СИ. Изменение реакций УО и АД на ортопробу после СИ было сходным в двух группах, но реакция ЧСС в группе СИ+ЭМС изменялась слабее, чем в группе СИ. Прирост амплитуды НЧ волн систолического АД при ортостазе после СИ увеличивался в обеих группах, однако снижение  $\alpha$ -коэффициента при этом было более выраженным только в группе СИ, но не в группе СИ+ЭМС.

Таким образом, низкоинтенсивная ЭМС обладает как локальным влиянием – предотвращает снижение работоспособности стимулируемых мышц, так и системным – предотвращает вызванное СИ снижение чувствительности кардиального барорефлекса при ортопробе.

*При поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2022-298, НЦМУ «Павловский Центр».*

## **ЭФФЕКТЫ ПАРНОЙ АССОЦИАТИВНОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА МОТОРНУЮ СИСТЕМУ И ДВИГАТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНОВ**

***Иванов С.М., Лактюшин В.В., Вериго Д.А., Городничев Р.М.,  
Шляхтов В.Н.***

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,  
Великие Луки

E-mail: sergiusvl@yandex.ru

В работе исследовалось функциональное взаимодействие между нейронами первичной моторной коры и спинного мозга с помощью метода парной ассоциативной стимуляции (ПАС). Данный метод предусматривает многократное сопряжение одиночных импульсов транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) таким образом, что вызванные потенциалы от моторной коры и от корешков спинного мозга поступают на спинальные мотонейроны одновременно или с определенной задержкой. Исследования проведены на 14 спортсменах, тренировки которых направлены на повышение уровня указанных двигательных качеств. Получены данные об эффектах ПАС на параметры вызванных мышечных ответов при ТМС и ЧЭССМ, проявление скоростно-силовых качеств и способность сохранять равновесие. Парная ассоциативная стимуляция (100 пар импульсов на протяжении 800 секунд) приводила к повышению возбудимости мотонейронных пулов спинного мозга, укорочению времени нарастания максимального произвольного усилия (подошвенное сгибание стопы), более высокому результату в тесте по оценке динамического равновесия. Анализ собственных результатов и литературных сведений позволяет предположить, что улучшение скоростно-силовых свойств и способности сохранять равновесие под влиянием парной ассоциативной стимуляции во многом определяется повышением синаптической эффективности и возбудимости нейронных сетей спинного мозга, а также изменением выраженности тормозных процессов в структурах моторной системы.

# ЭПИДУРАЛЬНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СПИННОГО МОЗГА ДЕЦЕРЕБРИРОВАННОЙ DAT-KO КРЫСЫ ДВОЙНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

**Ляховецкий В.А.<sup>1</sup>, Шкорбатова П.Ю.<sup>1</sup>, Горский О.В.<sup>2</sup>,  
Калинина Д.С.<sup>2</sup>, Баженова Е.Ю.<sup>1</sup>, Меркульева Н.С.<sup>1</sup>,  
Мусиенко П.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург

E-mail: v\_la2002@mail.ru

Участие дофаминергической системы в работе спинальных локомоторных сетей изучено менее полно, чем серотонин- и адренергической. Прежде мы показали облегчение вызванных потенциалов (ВП) мышц задних конечностей децеребрированной крысы линии Вистар дикого типа (WT) на второй стимул эпидуральной стимуляции (ЭС) спинного мозга (СМ) (Ляховецкий и др., 2023). Мы задались вопросом, будет ли наблюдаться подобное облегчение у трансгенных крыс с дефицитом транспортера дофамина (DAT-KO), созданных на базе линии Вистар, обладающих особенностями локомоции (Mallien et al., 2022) и паттерна распределения активности гена раннего ответа c-fos после бега по тредбану (Veshchitskii et al., 2023).

Восемь DAT-KO крыс были децеребрированы на преколликулярном уровне. Осуществляли ЭС (10 стимулов на каждом токе, от 10 мкА с шагом 10 мкА) сегментов L2, L4 или L6 СМ одиночными или двойными (20 мс между стимулами) импульсами. Регистрировали ВП в mm. tibialis anterior (TA) и gastrocnemius medialis (GM). Находили минимальный из двух токов, I<sub>min</sub>, при которых возникал максимум амплитуды сенсорного компонента ВП для одиночного стимула или второго стимула пары. На токе I<sub>min</sub> анализировали отношение амплитуд сенсорного компонента ВП на первый (H1/H) и второй (H2/H) стимул к амплитуде сенсорного компонента ВП на одиночный стимул. Аналогично WT для обеих мышц крыс DAT-KO получено облегчение ответа на второй стимул (H2/H > H1/H), что свидетельствует о сходстве структуры их спинальных сетей. У крыс DAT-KO сила тока I<sub>min</sub> при ЭС L2 для ВП TA и отношение H1/H при ЭС L2 и L6 для ВП GM ниже, чем у WT. Эти данные указывают, что по сравнению с WT спинальные сети DAT-KO крыс обладают несколько большей возбудимостью и иным балансом тормозных и возбуждающих процессов, предположительно обусловленными избытком дофамина в синаптической щели.

Работа проводилась в рамках проекта 95445054 СПбГУ, при поддержке гранта РФФ 22-15-00092, ГЗ ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН (№ 1021062411782-5-3.1.8).

# **НЕИНВАЗИВНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СПИННОГО МОЗГА В ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ СО СПИНАЛЬНОЙ МЫШЕЧНОЙ АТРОФИЕЙ, ПОЛУЧАЮЩИХ ЛЕЧЕНИЕ ОРФАННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ**

***Мошонкина Т.Р.<sup>1</sup>, Новиков А.Г.<sup>2</sup>, Мальдова М.А.<sup>2</sup>, Шаманцева Н.Д.<sup>1</sup>,  
Шальмиев И.М.<sup>2</sup>, Шошина Е.А.<sup>2</sup>, Епоян Н.В.<sup>2</sup>, Крутикова Н.Б.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Медицинский реабилитационный центр ЭЙРМед, Санкт-Петербург

E-mail: moshonkina@infran.ru

Спинальная мышечная атрофия (СМА) - генетическое заболевание, характеризующееся развитием прогрессирующей мышечной слабости вследствие нарушения функционирования спинальных мотонейронов. Реабилитация пациентов со СМА направлена на замедление утраты двигательных навыков и снижение бремени болезни. Начиная с 2016 г. в клинической практике начинают использовать орфанные препараты (нусинерсен и др.), корректирующие работу генов, которые имеют непосредственное отношение к патогенезу СМА. Эти препараты тем более эффективны, чем в более молодом возрасте применяются.

Мы исследовали эффективность использования электрической чрезкожной стимуляции спинного мозга (ЧССМ) для реабилитации пациентов со СМА II и III типа на фоне терапии орфанными препаратами. ЧССМ сочетали с физическими упражнениями, направленными на приобретение двигательных навыков. Курс состоял из 10–12 процедур.

До и после курса пациентов исследовали с помощью батареи тестов, являющихся стандартными физиологическими биомаркерами СМА. В исследовании участвовало 23 пациента со СМА II типа и 22 пациента со СМА III типа, возрастом 3–39 и 7–42 лет, соответственно.

После реабилитационного курса как у пациентов со СМА II типа, так и у пациентов со СМА III типа появились новые двигательные навыки, зарегистрирован статистически значимый прирост баллов теста Revised Upper Limb Module, теста Hammersmith Function Motor Scale Expanded, величины форсированной жизненной емкости легких и объема пассивных движений в суставах ног. В докладе будут обсуждаться зависимость эффективности применения ЧССМ от тяжести СМА, от возраста пациентов, от вида орфанных препаратов, используемых в терапии.

*Финансовая поддержка исследования – Программа НЦМУ Минобрнауки РФ (соглашение № 075-15-2022-303 от 21.04.2022 г.).*



# ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ СЕНСОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ В ХОДЕ И ПОСЛЕ ПРЕБЫВАНИЯ В МИКРОГРАВИТАЦИИ

*Саенко Д.Г.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Лаборатория нейромодуляции и восстановления, отдел нейрохирургии, центр  
нейрорегенерации, Хьюстонский методистский исследовательский институт,  
Хьюстон, Техас, США

E-mail: sayenkodimitry@gmail.com

Пребывание в невесомости и использование моделей, имитирующих ее физиологические эффекты, приводит к адаптивным изменениям в центральной нервной системе. Эти изменения включают модификации функции вестибулярных и соматосенсорных входов, а также воздействие на мышечную периферию и центральное управление движениями. В свою очередь, эти изменения приводят к нейромышечной дисфункции и нарушениям двигательной координации. Профилактика соматосенсорных нарушений в космических полетах играет ключевую роль в обеспечении функциональности систем управления позой и локомоции. Эффективность профилактических мер имеет критическое значение не только для успешности операций в полете, но также обеспечивает безопасность экипажа после посадки. Разработка тестов, которые быстро и эффективно оценивают взаимосвязь состояния сенсомоторной системы и показателей функциональной активности в условиях микрогравитации, является важным компонентом поддержания здоровья и работоспособности членов экипажей. Развитие технологий и доступ к неинвазивным методам электрофизиологического тестирования открывает возможности для изучения функции проводимости и возбудимости центральных и периферических моторных путей. В настоящее время большой интерес у нейрофизиологов и клиницистов вызывает чрескожная электростимуляция спинного мозга (ЧЭССМ), представляющая собой чувствительный и неинвазивный электрофизиологический метод. Исследования показывают, что даже при широком фронте стимулирующего тока ЧЭССМ может избирательно воздействовать на спинальные нейрональные структуры, включая первичные афференты и двигательные аксоны. Это происходит с учетом анатомического расположения этих структур в пояснично-крестцовом

утолщении спинного мозга и их проекции на проксимальные и дистальные мышцы ног. Кроме того, было показано, что в сочетании с такими традиционными неинвазивными электрофизиологическими методами как гальваническая вестибулярная стимуляция, транскраниальная магнитная стимуляция головного мозга и электростимуляция периферических нервов, применение ЧЭССМ позволяет исследовать функцию вестибулоспинальных, кортикоспинальных и проприоспинальных проводящих путей. Таким образом, полученная информация не только позволяет детализировать механизмы нарушений моторного контроля в невесомости и оценить эффективность системы профилактики, но также создает основу для разработки инновационных методов предотвращения негативных сенсомоторных эффектов невесомости.

*Поддержано Российской академией наук (№ FMFR-2024-0033).*

# ЭФФЕКТЫ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА У КРЫС САМЦОВ СРЕДНЕГО ВОЗРАСТА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ

**Федянин А.О.<sup>1</sup>, Искаков Н.Г.<sup>1</sup>, Герасимов О.В.<sup>1</sup>, Балтин М.Э.<sup>2</sup>,  
Еремеев А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет физической культуры,  
спорта и туризма, Казань

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Казань

E-mail: artishock23@gmail.com

В процессе старения, а также при целом ряде двигательных нарушений наблюдаются морфофункциональные изменения нейромоторного аппарата, сопровождающиеся негативными последствиями для скелетных мышц. Актуальным представляется изучение терапевтического влияния электрической стимуляции спинного мозга как фактора активации интраспинальных локомоторных схем и процессов нейрональной пластичности. Лабораторные крысы-самцы среднего возраста (10–12 мес.) были разделены на следующие группы: «АОВ» – животные с моделируемой гравитационной разгрузкой задних конечностей; «АОВ+ЭС» – животные с моделируемой гравитационной разгрузкой задних конечностей, комбинируемой с чрескожной электростимуляцией спинного мозга. Оценивали параметры моторного и рефлекторного ответов камбаловидной (КМ) и икроножной (ИМ) мышц при раздражении седалищного нерва. Порог рефлекторного ответа КМ в группе АОВ был снижен до  $80 \pm 9\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС порог составил  $73 \pm 14\%$  ( $p < 0.05$ ). Амплитуда Н-ответа КМ в группе АОВ увеличивалась до  $131 \pm 13\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС амплитуда Н-ответа составила  $124 \pm 8\%$  ( $p < 0.05$ ). Порог М-ответа КМ в группе АОВ составил  $75 \pm 12\%$  ( $p < 0.05$ ), для группы АОВ+ЭС составил  $70 \pm 24\%$  ( $p > 0.05$ ). В группе АОВ амплитуда М-ответа КМ составила  $73 \pm 14\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС –  $76 \pm 9\%$  ( $p < 0.05$ ). В группе АОВ порог Н-ответа ИМ снижался до  $42 \pm 13\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС значение порога составило  $70 \pm 28\%$  ( $p < 0.05$ ). Амплитуда Н-ответа ИМ в группе АОВ увеличивалась до  $145 \pm 17\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС –  $134 \pm 15\%$  ( $p < 0.05$ ). Порог М-ответа ИМ в группе АОВ уменьшался до  $72 \pm 13\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС – до  $75 \pm 11\%$  ( $p < 0.05$ ). Амплитуда М-ответа в группе АОВ увеличивалась до  $130 \pm 13\%$  ( $p < 0.05$ ), в группе АОВ+ЭС составила  $136 \pm 13\%$  ( $p < 0.05$ ).

Таким образом, при длительном сроке вывешивания терапевтическая эффективность стимуляции спинного мозга не наблюдалась: данные в группах АОВ и АОВ+ЭС значительно не различались.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ и Кабинета Министров РТ в рамках научного проекта № 23-25-10 065.*

# **ТЕХНОЛОГИИ ТРЕНИРОВКИ ХОДЬБЫ В ЭКСОСКЕЛЕТЕ И ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА И МЫШЦ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ ИЛИ УТРАТОЙ ЛОКОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ**

**Шапкива Е.Ю.<sup>1,2,3</sup>, Емельяников Д.В.<sup>1,3</sup>, Штырина Е.В.<sup>3</sup>,  
Муслиенко П.Е.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «ФЦМН» ФМБА России, Москва

<sup>2</sup>Лаборатория нейропротезов ИТБМ СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ФГБУ «СПБ НИИ фтизиопульмонологии» Минздрава России,  
Санкт-Петербург

E-mail: shapkova@mail.ru

У 110 пациентов с тяжелым (AIS A-88, B-13, C-9) поражением спинного мозга при ПСМТ, спинальном инсульте, воспалительных заболеваниях позвоночника применялась технология повторных курсовых тренировок ходьбы (3 курса по 24 дня) в экзоскелете в сочетании с сенсорной стимуляцией, физическими упражнениями (суммарно 140–160 мин/день) и разными видами электростимуляции (ЭС) – базовой тонической электростимуляцией спинного мозга (ЭССМ) в стационарном режиме (n = 110) и разными типами электровоздействий в ходьбе – тонической (n = 46) и фазовой (n = 24) ЭССМ и функциональной электростимуляцией мышц (n = 40). Тридцать пациентов получили длительную терапию (до 10 курсов) с разными типами стимуляции в ходьбе.

Оценивали неврологический статус пациентов (шкалы Frankel, AIS), спастичность мышц (MAS), способность к самообслуживанию (шкала независимости SCIM), локомоторные возможности (индекс Хаузера и тетрапедальные тесты – 4м вперед и назад с видеорегистрацией), возбудимость мотонейронов поясничного (H-рефлекс, мультисегментные ответы) и шейного утолщений; глобальную миографию и бароплантографию.

Расширение независимости отмечено у 86 %, локомоторных возможностей у 82–92 %, улучшение чувствительности и облегчение поз сидя и стоя у 65 %, прирост силы паретичных мышц у 40 % пациентов. Самостоятельную ходьбу восстановили 12 пациентов при острых миелопатиях и в случаях неполного поражения спинного мозга. У всех пациентов сформировано позитивное отношение к тренировкам с мотивацией к дальнейшей экзорезабилитации.

Применявшиеся технологии экзорезабилитации и ЭССМ расценены как эффективные для улучшения качества жизни пациентов с парегиями. Оценка различий в эффективности применявшихся способов ЭС в ходьбе затруднена влиянием Covid-19, после которого у 8 участников отмечена утрата достигнутых неврологических сдвигов (с последующим медленным полным или частичным восстановлением на фоне тренировок), у троих – асептический некроз, у 10 – снижение плотности костной ткани в зоне тазобедренных суставов.

## **ВОПРОС ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ РАЗНОЙ ЧАСТОТЫ В ПРОФИЛАКТИКЕ НЕГАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ ГИПОДИНАМИИ И ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ**

**Шишкин Н.В., Томиловская Е.С.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: chachaturan@yandex.ru

Дефицит движения часто встречается у пожилых пациентов. Электростимуляция (ЭМС) может быть альтернативой активным физическим тренировкам.

Стимуляция «русскими токами» (ВЧ ЭМС) (модуляция тока высокой частоты 2,5–5 кГц более низкими частотами [10–100 Гц]) была разработана для тренировки силовых характеристик мышц. Стимуляция более низкой частоты (25 Гц) немодулируемыми токами (НЧ ЭМС) является эффективным способом профилактики гипогравитационных изменений. Однако контроль тренировок, как правило, проводится не по выдаваемой на электрический стимул силе мышечного сокращения, а по величине амплитуды электрического тока.

*Цель исследования:* оценить интенсивность ЭМС токами разной частоты по силе сокращения мышц.

В исследовании приняли участие 10 здоровых добровольцев возрастом  $30,1 \pm 5$  лет. Для создания эффекта гиподинамии использовали модель «сухой» иммерсии (СИ) длительностью 7 суток. До СИ измеряли силу максимального произвольного сокращения (МПС) разгибателей голени и колена под углом  $90^\circ$ . Проводили тест с повышением амплитуды ЭМС до максимально переносимой для определения зависимости амплитуда-сила. Далее проводили ЭМС в условиях СИ: 1 раз/день утром – НЧ ЭМС (1 с стимуляции, 2 с отдых, 45 мин, 15 мин непосредственного воздействия тока), 1 раз/день вечером – ВЧ ЭМС (10 с стимуляции, 50 с отдыха, 10 мин, 100 с воздействия).

Несмотря на то, что тренировка проводилась при максимально переносимой амплитуде стимуляции, сила сокращения во время ЭМС-тренировок составляла 5 % от МПС для ВЧ ЭМС мышц бедра, 1 % – для мышц голени, 9 % для НЧ ЭМС мышц бедра, 10 % – для мышц голени. Стоит отметить падение порога переносимости ЭМС в первые сутки СИ в 1,5–2 раза. К 7-м суткам СИ порог переносимости для мышц бедра возвращался к исходным значениям, оставаясь сниженным для мышц голени.

*Закключение.* Применение ВЧ ЭМС при произвольном выборе испытателем величины амплитуды тока требует дальнейшего изучения. Также, учитывая крайне низкую интенсивность проведенной ВЧ ЭМС, разумно выдвинуть предположение о необходимости корректировки протоколов тренировки.

*При поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г. НЦМУ Павловский центр «Интегративная физиология – медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости».*

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ  
МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ  
К ДВИГАТЕЛЬНОЙ  
АКТИВНОСТИ**





# ПОСТУРАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТОЙКЕ НА ПОДВИЖНОЙ ТЕНЗОПЛАТФОРМЕ У ФУТБОЛИСТОВ

**Андреева А.М.<sup>1,2</sup>, Мельников А.А.<sup>1</sup>, Карпенко Н.А.<sup>1</sup>,  
Сергеева О.С.<sup>1</sup>, Ганина В.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

<sup>2</sup>ФГНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»

E-mail: moymio@yandex.ru

В настоящей работе мы сравнили постануральную устойчивость в вертикальной стойке на подвижной тензоплатформе у футболистов и группы других спортсменов. В нашем исследовании испытуемыми были 19–20-летние футболисты  $n = 11$  (м,  $178,4 \pm 7$  см,  $65,4 \pm 7,2$  кг, стаж  $10,8 \pm 2,7$  лет) и другие спортсмены  $n = 5$  (м, ж;  $180,8 \pm 11,3$  см,  $73 \pm 10,5$  кг, стаж  $11 \pm 3,13$  лет).

Параметры динамического равновесия оценивали с помощью подвижной тензоплатформы Biodex Balance System 3D, стоя на одной и двух ногах с открытыми (ГО, 30 сек) с визуальной биологической обратной связью (БОС) и закрытыми глазами (ГЗ, 30 сек). Угол отклонения платформы по горизонтали – 20 градусов во всех направлениях, диаметр платформы – 55 см.

В общей группе спортсменов ( $n = 16$ ), согласно корреляционному анализу Спирмена, среднее направление колебаний ЦД в стойке на двух ногах с ГО (в секторе I – вперед-вправо) было тем больше, чем выше длина тела спортсменов ( $r = 0,54$ ,  $p < 0,05$ ), а % пребывания в секторе IV (назад-влево) коррелировал ( $r = -0,64$ ,  $p < 0,05$ ) с общим стажем занятий спортом. Чем больше стаж занятий, тем меньше пребывание на левой пятке опорной ноги спортсменов (сектор IV), тем более центральное положение тела спортсменов, стоя на двух ногах с открытыми глазами.

Сравнение параметров динамического равновесия спортсменов двух групп (футбол/другие спортсмены) по критерию Стьюдента показало: больший предел устойчивости футболистов в направлении назад/влево, т.е. на пятке опорной ноги в стойке на двух ногах с ГО ( $60,64 \pm 10,47$  у.е. – футболисты,  $42,8 \pm 13,68$  у.е. – не футболисты,  $p < 0,02$ ); в стойке на одной левой ноге с ГО (опорная нога у 90 % испытуемых группы) риск падения по сагиттали (вперед/назад) у футболистов ниже ( $1,35 \pm 0,32$  у.е. – футбол,  $1,7 \pm 0,23$  у.е. – другие спортсмены,  $p < 0,03$ ); в стойке на одной правой ноге с ГО общий риск падения по сагиттали и фронтالي у футболистов ниже ( $1,84 \pm 0,43$  у.е. – футбол,  $2,62 \pm 0,63$  у.е. – другие спортсмены,  $p < 0,01$ ).

# **ВЛИЯНИЕ ВОСЬМИНЕДЕЛЬНОГО ЦИКЛА ТРЕНИРОВКИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ НА ПАРАМЕТРЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ФУТБОЛИСТОВ 17–20 ЛЕТ**

**Аникеев В.И.<sup>1</sup>, Лаптев А.И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт спорта и спортивной медицины, Москва

E-mail: vasya.anikeev.2017@mail.ru

Вопрос эффективной тренировки дыхательных мышц в футболе актуален. Однако, в обзоре Leon-Morillas F. с соавторами (2021) подчеркивается недостаточность качественных экспериментальных работ на выборках квалифицированных футболистов. Влияние регулярного воздействия тренировок дыхательных мышц на показатели параметров внешнего дыхания квалифицированных футболистов изучалось в нашей работе с помощью дыхательной пробы Штанге, спирометрии (электронный спирограф Спиро-С-100). Испытуемыми (контрольная группа  $n = 3$ , экспериментальная группа  $n = 3$ ) были футболисты-студенты, игроки любительского футбольного клуба 17–22 лет, с длиной тела 180,5 (5,5) см, массой тела 66,5 (3,5) кг, имеющие 8(3) лет стажа спортивных тренировок в футболе, с количеством регулярных тренировочных занятий или игр в неделю 6–8 часов в соревновательном периоде подготовки. Восеминедельная программа дыхательной тренировки включала занятия с дыхательным тренажером O2IN и комплексы упражнений дыхательной гимнастики Стрельниковой А.Н. и Бутейко К.П.

По результатам спирометрии, у футболистов экспериментальной группы средняя прибавка ЖЕЛ под влиянием цикла тренировки дыхательных мышц составила +825,6 мл (22 %), по МВЛ +3,3 л/мин (2,75 %). В контрольной группе наблюдалось ухудшение параметров внешнего дыхания в среднем на -279,3 мл по ЖЕЛ и на -7,9 л/мин по МВЛ. Устойчивость организма к недостатку кислорода (по результатам пробы Штанге) после цикла дыхательной тренировки в экспериментальной группе значительно выросла, в то время как в контрольной – незначительно снизилась (+12,7 с и -2,4 с, соответственно).

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о положительном влиянии восьминедельного цикла дыхательной тренировки с использованием тренажера O2IN и дыхательных гимнастик Стрельниковой А.Н. и Бутейко К.П. на параметры внешнего дыхания и устойчивость к недостатку кислорода квалифицированных футболистов 17–22 лет.

## ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА НА МЕТАБОЛИЗМ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

*Астратенкова И.В.<sup>1</sup>, Рогозкин В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский НИИ физической культуры, Санкт-Петербург

E-mail: astratenkova@mail.ru

Всестороннее изучение микробиоты кишечника привело к обнаружению ее активного влияния на обмен веществ в организме человека, в том числе и на метаболизм в скелетных мышцах. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы образуют короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), в подавляющем большинстве это ацетат, пропионат и бутират, а также производные желчных кислот (ЖЛК) – вторичные ЖЛК, и триптофана – кинуренин и индольные соединения. Все эти метаболиты способны проникать в общий кровоток и могут быть использованы в качестве энергетических субстратов или являются сигнальными и регуляторными молекулами. Наличие рецепторов на энтероэндокринных клетках: GPR43 и GPR41 для КЦЖК, TGR5 и FXR для ЖЛК, GPR35 и AhR для кинуренина, обеспечивает секрецию в кровь глюкагоноподобного пептида 1 (GLP-1), фактора роста фибробластов 19 (FGF19), пептида YY (PYY), гамма-аминомасляной кислоты (GABA), серотонина (5-HT) и других биологически активных молекул, которые в дальнейшем участвуют в регуляции воспалительного иммунитета, подавлении окислительного стресса, функционировании нервной и эндокринной систем [1]. Поглощение КЦЖК колоноцитами в основном через H<sup>+</sup>-зависимые монокарбоксилатные транспортеры (MCT) или Na<sup>+</sup>-зависимые монокарбоксилатные транспортеры (SMCT) и наличие рецепторов GPR43 и GPR41 на миоцитах определяет регуляцию энергетического обмена (активация сигнального пути AMPK/PGC-1 $\alpha$  и PPAR $\alpha$ ), метаболизма белков (активация сигнального пути PI3K/AKT/mTOR и подавление пути PI3K/AKT/FOXO), аутофагии, биогенеза митохондрий в мышцах [2]. КЦЖК способны регулировать экспрессию генов медленных мышечных волокон – сигнальный путь Ca<sup>2+</sup>/кальциневрин/NFAT/MEF2. Несомненно, пробиотики и пребиотики, влияющие на состав микробиоты кишечника, способны повысить массу и улучшить функцию скелетных мышц.

1. Yin Y., Guo Q., Zhou X. et al. *Front Nutr.* 2022. V. 9. P. 947033.

2. Zhou Y., Chu Z., Luo Y. et al. *Foods.* 2023. V. 12, P. 3083.

## **ВЛИЯНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ КРЫСЫ ПРИ ПОЛНОЙ ТРАВМЕ СПИННОГО МОЗГА**

**Ахметзянова А.И.<sup>1</sup>, Балтин М.Э.<sup>2</sup>, Зюзя Е.А.<sup>1</sup>, Порошина С.Д.<sup>1</sup>,  
Балтина Т.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

<sup>2</sup>Поволжский государственный университет физической культуры,  
спорта и туризма, Казань

E-mail: ahmetzyanovaa0@gmail.com

Одним из ключевых элементов реабилитации после травмы спинного мозга является двигательная тренировка, которая направлена на улучшение мышечного тонуса, кровообращения и обменных процессов. Однако, эффективность такой тренировки может зависеть от возраста и степени травмы. Полученные результаты могут помочь улучшить методы реабилитации для людей с повреждениями спинного мозга.

Оценивали влияние двигательной тренировки (ДТ) на восстановление движений задних конечностей у крыс разного возраста в открытом поле, используя систему скрининга по шкале BBB (D.M. Basso, M.S. Beattie, J.C. Bresnahan, 1995) в условиях полной травмы спинного мозга (ПТСМ). Травму наносили на уровне Th8-Th9 по модифицированной методике A.R.Allen с помощью вертикально падающего груза массой 10 г с высоты 2,5 см. Оценка проводилась у молодых (1,5 мес) и зрелых (6 мес) крыс в 4-х экспериментальных группах, в зависимости от периода проведения ДТ: 1) группа с травмой без тренировки; 2) группа с тренировкой после 7-ми суток ПТСМ; 3) животные, обученные бегу на тредбане в предоперационный период; 4) животные, обученные бегу на тредбане до ПТСМ и тренированные после травмы.

Результаты оценки двигательной активности по шкале BBB показали, что восстановление движений у крысы после ПТСМ происходило эффективнее при использовании ДТ. Двигательное обучение крыс в предоперационном периоде облегчало восстановление двигательной активности после ПТСМ, тренированные животные показали более стабильную координацию положения суставов. Однако, мы не получили очевидных различий между крысами разного возраста, возможно это связано с отсутствием устойчивой пластичности ЦНС, характерной для молодых крыс. Необходимы дополнительные исследования, связывающие результаты тренировок с изменениями свойств мотонейронов в спинном мозге, поскольку ДТ не гарантирует восстановление движения.

*Работа выполнена в рамках программы «Стратегическое академическое лидерство Казанского федерального университета» (ПРИОРИТЕТ-2030).*

## **ОТРАБОТКА НОВЫХ ТЕСТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-21**

***Бахтерева В.Д., Сенаторова Н.А., Кокуева М.А., Романов П.В.,  
Фомина Е.В.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: bakhtereva74@gmail.com

В настоящее время стоит задача разработки методов мониторинга физической работоспособности в дальних космических миссиях. Опыт эксплуатации МКС указывает на необходимость повышения прогностических возможностей тестов в отношении послеполетного состояния космонавта. В эксперименте SIRIUS-21 был опробован протокол теста на велоэргометре, используемого для астронавтов. Очевидно, что тест на дорожке является более информативным, т. к. при этом вовлекаются мышцы, обеспечивающие поддержание позы, но с целью стандартизации процедур считаем целесообразным включение нового теста на велоэргометре в российскую программу медицинского контроля.

Целью исследования явился сравнительный анализ информативности тестов на беговой дорожке и велоэргометре. В исследовании представлены результаты 5 членов экипажа, трое мужчин и две женщины в возрасте от 29 до 43 лет. Средний возраст  $36 \pm 7$  лет, рост  $171 \pm 7$  см, ИМТ  $26 \pm 7$ . До и после периода изоляции, а также ежемесячно в течение изоляционного эксперимента уровень физической работоспособности оценивался с помощью тестов: тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой на велоэргометре и интегральный локомоторный тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой в активном и пассивном режиме работы полотна беговой дорожки.

При сравнении в двух тестах МПК (мл/мин/кг) показатели в локомоторном тесте на протяжении всех сессий были выше, чем при тестировании на велоэргометре и значительно различались в 1 сессии ( $p = 0,01$ ). Максимальные значения ЧСС также были выше в локомоторном тесте и различались в 6 сессии ( $p = 0,003$ ). В среднем по группе максимальная достигнутая мощность в тесте со ступенчато-возрастающей нагрузкой на велоэргометре значимо не изменилась в ходе изоляции. Максимальная скорость в интегральном локомоторном тесте снизилась после первого месяца изоляции ( $p = 0,03$ ), что связано с отсутствием физических тренировок. Таким образом, в локомоторном тесте были достигнуты более высокие значения, что обусловлено вовлечением в работу большего количества мышц.

*Работа поддержана базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).*

## **МАРКЕРЫ СИНТЕЗА И РАСПАДА БЕЛКА В ПОСТУРАЛЬНОЙ И ЛОКОМОТОРНОЙ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ 21-СУТОЧНОЙ ГИПОКИНЕЗИИ**

**Белова С.П., Зарипова К.А., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: Swetbell@mail.ru

Антиортостатическая гипокинезия (АНОГ) является моделью механической и функциональной разгрузки скелетных мышц. Принято считать, что атрофия является результатом сигнальных и молекулярных изменений синтеза и распада белка. Однако, соотношение вклада этих процессов в разных моделях разгрузки и на разных мышцах и объектах исследования является предметом дискуссий.

Цель работы – анализ маркеров катаболических и анаболических сигнальных путей в постуральной (m. soleus) и локомоторной (m. vastus lateralis (VL)) мышцах человека при 21-суточной АНОГ.

Экспрессия MuRF-1 после АНОГ увеличивалась на 42 % в m. soleus, но не изменялась в m. VL. Экспрессия MAFbx увеличивалась и в m. soleus и в m. VL на 67 и 47 % соответственно.

Анализ анаболических маркеров показал снижение активности ряда параметров как в m. soleus так и в m. VL. p70S6k и 4E-BP1 – мишени mTORC1, ключевого комплекса, вовлеченного в контроль синтеза белка. pP70S6k было снижено после АНОГ на 54 % в m. VL и 48 % в m. soleus. p4E-BP1 также снижалось после АНОГ и в m. VL (на 18 %) и m. soleus (на 26 %). В m. VL не было обнаружено изменений в содержании IRS-1 после АНОГ, в то время как в m. soleus оно было снижено на 17 %, pP90RSK1 также снижалось только в m. soleus на 18 %. pAMPK снижалось после АНОГ и в m. VL и в m. soleus на 23 и 21 % соответственно. Фосфорилирование eEF2, которое приводит к снижению скорости элонгации трансляции, выросло на 69 % в m. VL, и на 275 – в m. soleus.

Выводы. Данные свидетельствуют о различной интенсивности экспрессии мышечных E3-убиквитинлигаз в постуральной m. soleus и локомоторной m. VL на относительно раннем этапе гипокинезии у человека. В m. soleus экспрессируются обе E3-убиквитинлигазы, в то время как в m. VL – только MAFbx. После 21-суточной АНОГ в постуральной m. soleus наблюдаются более глубокие изменения анаболических маркеров.

*Работа поддержана грантом РФФ № 22-75-00065.*

## **К ВОПРОСУ ОБ АСИММЕТРИИ В СПОРТИВНЫХ ПОЗАХ**

***Бердичевская Е.М.***

Кубанский государственный университет физической культуры,  
спорта и туризма, Краснодар

E-mail: emberd@mail.ru

Физиологическим механизмам постральной регуляции у человека с каждым годом посвящается все больше исследований. Интегральную, логичную и рациональную схему организации позного контроля предложил В.С. Гурфинкель и его ученики. В работе рассматривается еще один фактор, который во многом определяет моторную и сенсорную стратегию человека, специфику нейрогуморальных регуляторных механизмов, а именно, индивидуальный профиль латеральной организации мозга. Известно, что основным афферентным элементом, центральному и эфферентному отделам системы постральной регуляции свойственны признаки морфологических и функциональных асимметрий. К ним можно отнести многочисленную информацию о морфологической и функциональной асимметрии опорно-двигательного аппарата, в первую очередь нижних конечностей и туловища, а также сенсорных входов – зрения, проприоцептивного и кинестетического анализаторов. Спорна, но вероятна асимметрия вестибулярного аппарата. Отдельные признаки асимметрии вертикальной позы у детей и спортсменов описаны в более ранних исследованиях. Приведенные аргументы позволили предположить существование взаимосвязи профиля латеральной организации мозга и устойчивости прямохождения. Нами с помощью моно- и билатеральной компьютерной стабилографии проанализированы случаи асимметрии постральной устойчивости в стандартных и специальных вертикальных стойках у квалифицированных спортсменов, специализирующихся в различных стандартных и ситуационных видах спорта (гребле, эстетической гимнастике, борьбе, спортивных играх). Выявлена зависимость асимметрии позы от координационной сложности и функционального назначения стойки, а также индивидуального сенсомоторного профиля асимметрии спортсменов. Доказана возможность коррекции асимметрии позной устойчивости при необходимости симметризации двигательной деятельности.

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ В ПРОИЗВОЛЬНОМ РЕЖИМЕ НА НЕРВНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ СЕРДЦА КРЫС**

**Борzych А.А.<sup>1</sup>, Селиванова Е.К.<sup>2</sup>, Виноградова О.Л.<sup>1</sup>, Тарасова О.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,  
биологический факультет, Москва

E-mail: borzykh.anna@gmail.com

Физическая тренировка аэробной направленности широко применяется для профилактики и коррекции сердечно-сосудистых расстройств, при этом тренировка с подбором нагрузки самим индивидуумом (с учетом текущего состояния его организма) обеспечивает более выраженные тренировочные эффекты на многие системы организма, однако влияние такой тренировки на регуляцию сердечной деятельности исследовано мало. В экспериментах на крысах индивидуальный выбор нагрузки возможен при произвольном беге в колесе. Целью данной работы было комплексное исследование эффектов беговой тренировки в колесе на нервную регуляцию сердца крыс. Животных делили на две группы: БЕГ (индивидуальный свободный доступ к беговым колесам,  $n = 10$ ) и сидячий контроль (СИД,  $n = 10$ ), через 6 нед. проводили регистрацию ЭКГ у свободноподвижных животных при помощи накожных электродов в покое, после введения блокаторов (подкожно), а также при стрессирующем воздействии (air-jet стресс, 4 мин). Уровень ЧСС в спокойном состоянии в группе БЕГ ( $390 \pm 7$  уд./мин) был ниже, чем в контроле ( $418 \pm 6$  уд./мин). Снижение ЧСС при блокаде бета1-адренорецепторов (атенолол, 2 мг/кг) не различалось между группами, однако введение блокатора М-холинорецепторов (метилатропин, 1 мг/кг) приводило к более значительному повышению ЧСС в группе БЕГ ( $129 \pm 9$  уд./мин), чем в группе СИД ( $98 \pm 12$  уд./мин). Кроме того, после тренировки у крыс наблюдалось увеличение вклада высокочастотных колебаний (0,75–3 Гц) в общую мощность спектра RR-интервала: БЕГ – 11,6 %, СИД – 7,3 %. Повышение ЧСС при air-jet стрессе у тренированных крыс было более выраженным (БЕГ –  $106 \pm 17$  уд./мин, СИД –  $59 \pm 14$  уд./мин). Таким образом, тренировка в произвольном режиме нагрузки вызывает у крыс выраженные изменения нервной регуляции сердца: усиление парасимпатических влияний и снижение уровня ЧСС в покое, что создает основу для более значительного повышения ЧСС при функциональной нагрузке.

*Исследование выполнено по Программе фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (тема FMFR-2024-0032).*



# МОДИФИКАЦИИ МОТОНЕЙРОННОГО ПУЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

**Буракова А.А., Сенаторова Н.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: burakovaanya@yandex.ru

Планирование межпланетных космических полетов (КП) ставит задачу определения эффективности различных средств профилактики негативных влияний невесомости с целью их безопасного чередования для избежания монотонии. Целью исследования явилась оценка изменений работы мотонейронного пула при применении различных средств профилактики негативных влияний микрогравитации в условиях КП.

В космическом эксперименте (КЭ) «Профилактика-2» были протестированы различные режимы тренировок. В исследовании принимали участие российские космонавты, совершившие экспедиции на МКС от 140 до 355 суток. Участие космонавтов в КЭ осуществлялось на основе добровольного информированного согласия.

Эффективность экспериментальных периодов определена с помощью штатного теста на беговой дорожке в пассивном режиме работы полотна (МО-3). Оценивали изменение ЧСС и запись поверхностной электромиограммы (ЭМГ) мышц бедра и голени.

Определена электромиографическая стоимость локомоторной нагрузки (ЛН), выполняемой космонавтом в различные фазы КП. Оценка электромиографической стоимости ЛН свидетельствует о снижении энтропии при увеличении продолжительности полета.

Оценка влияния компенсатора опорной разгрузки (КОР) на состояние физической работоспособности показала увеличение физиологической стоимости нагрузки на ступени среднего и быстрого бега в тесте МО-3. Скорость локомоций после периода тренировок с КОР была снижена на ступени быстрого и медленного бега.

При анализе ЭМГ после периода тренировок с КОР средняя амплитуда при медленном и среднем беге возросла, в то время как средняя скорость значительно не изменилась. Изменение нелинейных параметров ЭМГ указывает на увеличение синхронизации работы мышечных единиц.

Эксперимент позволил оценить эффективность различных режимов тренировок в условиях длительных КП на состояние общей и физической работоспособности космонавтов.

*Исследование поддержано ГК Роскосмос и базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).*

## **ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАРОРЕФЛЕКТОРНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

***Виноградова О.Л., Тарасова О.С., Шарова А.П., Боровик А.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: microgravity@mail.ru

Работа направлена на исследование динамики переходных процессов в барорефлекторном механизме регуляции ЧСС (по взаимосвязи спонтанных колебаний АД и ЧСС в частотном диапазоне барорефлекторных волн) при изменении уровня аэробной велоэргометрической нагрузки у людей с разным уровнем физической подготовленности.

В экспериментах с использованием синусоидально изменяющейся интенсивностью нагрузки с градуально увеличивающейся частотой показано, что длительность временной задержки изменения ЧСС в ответ на изменение нагрузки уменьшается при увеличении частоты модуляции нагрузки. При этом динамика переходных процессов зависит от уровня физической подготовленности человека: временная задержка изменения ЧСС тем короче, чем выше уровень аэробного порога (АП). Напротив, у людей с пониженными функциональными возможностями (пациенты с нейроциркуляторной дистонией) временная задержка изменения ЧСС заметно увеличена, а амплитуда отклика ЧСС на изменение нагрузки значительно снижена.

В тесте со ступенчатым изменением мощности нагрузки показано, что барорефлекторная активность, оцениваемая по индексу фазовой синхронизации (ИФС) спонтанных колебаний АД и ЧСС на барорефлекторной частоте, не изменяется по сравнению со значением в покое при относительно легкой нагрузке (60 % АП), но значительно снижается при повышении нагрузки до 80 % АП. В экспериментах с использованием синусоидально изменяющейся нагрузки обусловленное физической нагрузкой изменение фазовой синхронизации АД и ЧСС на частоте барорефлекторных волн происходило довольно медленно, в течение 1–2 мин, что отражает динамику перестройки работы барорефлекса при физической работе. Метод оценки активности барорефлекса по фазовой синхронизации колебаний АД и ЧСС может быть использован для оценки барорефлекторной регуляции сердечного ритма не только при физической работе, но и в других условиях, в частности при ортостазе.

*Исследование выполнено в рамках Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН, тема FMFR-2024-0032.*

# ВЛИЯНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ АНАЭРОБНОЙ МОЩНОСТИ НА МОЩНОСТЬ ОТКАЗА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕСТА С ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

**Волков В.В., Тамбовцева Р.В.**

Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

E-mail: fitclub@list.ru

При тестировании физической работоспособности спортсменов важную роль играет оценка максимальной анаэробной (МAM) и максимальной аэробной мощности (МАЭМ). МАЭМ определяют как мощность при достижении МПК или при отказе от работы в ступенчатом тесте. В данной работе предпринята оценка взаимосвязи показателей МAM при работе на велоэргометре и показателей МАЭМ в ступенчатом тесте с разной скоростью прироста нагрузки. В эксперименте приняли участие 17 профессиональных спортсменов-единоборцев высокой квалификации (13 мужчин, 4 женщины). В тесте с постепенно возрастающей нагрузкой, в зависимости от протокола и при темпе педалирования 80 оборотов в минуту, мощность работы возрастала на 30 Вт каждые 15, 30, 60, 120 и 240 секунд. Для определения максимальной анаэробной мощности выполнялось спринтерское ускорение на велоэргометре продолжительностью 5 секунд. Тест выполнялся с ходу (со 100 об/мин) с нагрузкой 1,4 Нм на кг массы тела испытуемого. Для всех случаев коэффициенты корреляции абсолютной МAM и абсолютной МАЭМ статистически достоверны ( $p < 0,05$ ). Наблюдается тенденция к увеличению коэффициента корреляции с увеличением скорости прироста нагрузки в ступенчатом тесте (с 0,73 до 0,8) для смешанной группы (мужчины и женщины). Корреляция между относительной МAM и относительной МАЭМ смешанной группы не достигает статистической значимости, но также обнаруживает тенденцию к повышению (с 0,05 до 0,15). Средняя продолжительность ступенчатого теста с самым быстрым приростом нагрузки составила 154 секунды и, видимо, является избыточной для одновременного проявления максимальных аэробных и анаэробных способностей. В дальнейших исследованиях необходимо оценить взаимосвязи МAM и МАЭМ в тестах с еще большей скоростью прироста нагрузки.

# **ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ КОСМОНАВТАМИ И УЧАСТНИКАМИ НАЗЕМНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23**

**Ганичева А.А., Буракова А.А., Кокуева М.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: annaganicheva16@gmail.com

Перспектива увеличения продолжительности и дальности космических полетов ставит перед исследователями задачу изучения факторов, влияющих на физическую работоспособность космонавтов при возвращении в условия гравитации. Полеты на МКС в настоящее время являются лучшей моделью для изучения таких изменений. Однако, наземные эксперименты также имеют большое значение – они позволяют получить представление о выполнении модельных задач участниками, не имеющими опыта полетов и подготовки к ним, и сформировать полную картину влияния факторов полета.

Целью данной работы стало сравнение результатов выполнения модельных задач «Экспресс-теста» участниками космических полетов и эксперимента SIRIUS-23.

Выполнен анализ индивидуальных характеристик системы моторного контроля и физической работоспособности 3 участников космических полетов (1 женщина, 2 мужчин) и 6 участников SIRIUS-23 (4 женщины, 2 мужчин) в рамках так называемого «Экспресс-теста», разработанного на основе «Полевого теста». Тестирование включало управление движением руки, пробу Ромберга, произвольное вставание из положений лежа на спине и лежа на животе, сбор грузов по периметру обозначенного участка, оценку веса грузов, меткость бросков, двойную задачу – ходьбу тандемом с обратным счетом, выполнение физических упражнений – отжиманий и приседаний – за 10 секунд. На протяжении всего теста проводилась регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС).

Результаты показывают, что задачи на оценку веса грузов, двойная задача, а также физические упражнения выполняются участниками космических полетов лучше, чем участниками SIRIUS-23, в то время как различий в выполнении задачи по управлению движением руки, пробы Ромберга, а также в стратегиях подъема не обнаружено.

*Исследование поддержано базовым финансированием РАН (тема FMFR-2024-0037).*

# ДИНАМИКА СИЛОВЫХ И АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЫШЦ БЕДРА И ГОЛЕНИ ПРИ 3-НЕДЕЛЬНОМ СНИЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

**Жедяев Р.Ю., Галкин Г.В., Боровик А.С., Попов Д.В.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: zhedyayev-r@mail.ru

Цель исследования – оценить динамику силовых и аэробных возможностей мышц-сгибателей голеностопного и разгибателей коленного сустава при 3-недельном снижении двигательной активности.

Максимальную изометрическую произвольную силу (МПС) и максимальную аэробную мощность в тесте с возрастающей нагрузкой ( $W_{max}$ ) определяли для мышц-сгибателей голеностопного и разгибателей коленного сустава у молодых здоровых мужчин после недельной «сухой» иммерсии (СИ7;  $n = 10$ ) и 3-недельной антиортостатической гипокинезии (АНОГ21;  $n = 11$ ). Помимо этого, в биопсихических пробах *m. soleus* и *m. vastus lateralis* оценили максимальную АДФ-стимулированную и разобщенную скорость дыхания митохондрий в пермеабелизованных волокнах.

МПС мышц бедра и голени сопоставимо уменьшилась на 4–7 % после СИ7 и на 8–9 % после АНОГ21. Максимальная скорость дыхания митохондрий сопоставимо снизилась для обеих мышц на 20–25 % после СИ7 и на 35–40 % после АНОГ21. Однако выраженное по амплитуде (12 %) снижение  $W_{max}$  было найдено только для мышц голени после АНОГ21.

Трехнедельное снижение двигательной активности оказало сопоставимое для мышц-разгибателей бедра и сгибателей голеностопного сустава прогрессирующее негативное влияние на максимальную силу. Снижение аэробной работоспособности мышц-сгибателей голеностопного сустава, по-видимому, отражает большую чувствительности мышц голени (прежде всего, «медленной» *m. soleus*) к снижению двигательной активности. Отсутствие корреляции между изменением аэробной работоспособности и дыханием митохондрий, скорее всего, связано с тем, что последнее отражает максимальные (потенциальные) возможности митохондрий, измеренные *in vitro*.

Работа поддержана грантом РФФ № 24-15-00456.

# ВЕРИФИКАЦИЯ ГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА АНАЭРОБНОГО ПОРОГА ПО ДИНАМИКЕ ЧСС В РАБОТЕ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

**Козлов А.В.<sup>1</sup>, Ваваев А.В.<sup>1</sup>, Аньшаков Н.И.<sup>1,2</sup>, Сонькин В.Д.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Департамента спорта города Москвы, Москва

<sup>2</sup>Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

<sup>3</sup>Институт развития, здоровья и адаптации ребенка Минпроса РФ, Москва

E-mail: sonkin@mail.ru; 89165363085a@mail.ru

Цель исследования – оценка валидности графического метода определения анаэробного порога (АнП). Для этого проводили инкрементный тест до отказа под контролем ЧСС, лактата крови и газоанализа в различных протоколах нагрузки: рамп–тест на беговой дорожке у смешанной группы спортсменов ( $n = 32$ ) и футболистов ( $n = 27$ ), а также ступенчатый тест на велоэргометре у велосипедистов ( $n = 14$ ), на лыжероллерном тредбане у биатлонистов ( $n = 18$ ) и на гребном эргометре у гребцов-академистов ( $n = 19$ ).

На графике динамики ЧСС во время работы и 10 мин восстановления, где ОХ–время от начала процедуры тестирования, ОУ–величина ЧСС в данный момент времени, фиксировали:

- $t_{\max}$ –время от начала тестирования до отказа;
- $t_{sl}$ –время, соответствующее точке перегиба динамики ЧСС во время восстановления и перехода из быстрой фазы восстановления в медленную;
- $ЧСС_{\max}$ –максимальная величина ЧСС в тесте;
- $ЧСС_{sl}$ –величина ЧСС в момент времени  $t_{sl}$ ;

Далее проводили две прямые: 1 – соединяет точки с координатами  $(0; ЧСС_{\max})$  и  $(t_{\max}; 0)$ ; 2 – соединяет точки с координатами  $(0; 0)$  и  $(t_{sl}; ЧСС_{sl})$ . Проекция точки пересечения этих прямых на шкалу абсцисс ( $t_{cr}$ ) соответствует точке достижения АнП.

Независимо от протокола нагрузки, у всех групп, кроме гребцов, статистический анализ не выявил значимых различий между одноименными эргометрическими и физиологическими показателями АнП, который определялся по динамике легочной вентиляции, неметаболического излишка  $CO_2$ , и графическим методом ( $t_{cr}$ ). При этом, между одноименными характеристиками АнП, который определялся разными способами, установлены высокие корреляции ( $r > 0,9$ ,  $p < 0,05$ ).

Графический метод показал высокую информативность оценки АнП, если нагрузка была непрерывной. При нарушении этого условия (в группе гребцов, у которых после каждой ступени был 30-секундный перерыв для взятия крови) информативность метода снижалась.

Ключевые слова: анаэробный порог, динамика ЧСС в работе и восстановлении, графический метод определения АнП.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ КИНЕТИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ БЕГА В ГОДОВОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

**Кокуева М.А., Сенаторова Н.А., Фомина Е.В.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: kokueva.m@yandex.ru

*Введение.* Пилотируемая космонавтика совершает переход от орбитальных полетов к межпланетным. Полеты за пределы орбиты Земли будут отличаться автономностью и высокими требованиями к уровню физической работоспособности экипажа. Необходимо разработать методы тестирования физической работоспособности, которые могут применяться часто, не предполагают максимальных физических усилий при выполнении и прямого участия специалистов с Земли.

*Методы.* В годовом космическом полете, являющемся моделью полета к Марсу, была проведена серия экспериментальных тестирований на беговой дорожке по методике авторов из Университета наук о спорте, г. Кёльн. Тест включал чередование интервалов ходьбы со скоростью 3 и 6 км/ч и ступенчато-возрастающую нагрузку до 15 км/ч. Проводили кросс-корреляцию значений ЧСС при ходьбе с двумя скоростями ходьбы, на основе полученной функции прогнозировали ЧСС при выполнении бега. Космонавт выполнял тест до и после полета, 4 раза в ходе полета.

*Результаты и обсуждение.* Более высокое пиковое значение кросс-корреляционной функции отражает более оптимальную адаптацию организма к изменению скорости локомоций. В полете данный показатель имел волнообразную динамику, снижаясь к третьей четверти миссии. После полета значения были снижены относительно предполетных. Данные изменения согласуются с динамикой ЧСС во время бега и восстановления в этом же тесте.

До полета прогнозируемая максимальная ЧСС отличалась от фактической на 6 уд./мин. На 60-е сутки полета прогноз был наиболее точный с разницей в 3 уд./мин. Далее в полете фактические значения были ниже прогноза на 10-20 уд./мин, что может быть вызвано адаптацией к невесомости и сниженной осевой нагрузкой. После полета прогноз был превышен на 24 и 16 уд./мин на 9-е и 13-е сутки соответственно. Необходимо совершенствовать прогностические возможности теста, т.к. пребывание в невесомости снизило точность прогнозирования ЧСС.

*Авторы выражают благодарность проф. Уве Хоффману.*

*Работа поддержана базовым финансированием РАН FMFR-2024-0037.*

# МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ЗАДНЕЙ КОНЕЧНОСТИ КРЫС ВИСТАР ПОСЛЕ ПОЛОСТНОЙ ОПЕРАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАРКОЗА

**Кондашевская М.В., Алексанкина В.В.**

НИИ морфологии человека им. акад. А.П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва

E-mail: histologist77@mail.ru

Состояние скелетных мышц часто определяет процессы реабилитации пациентов после полостных оперативных вмешательств. Цель работы – изучить влияние полостной операции с применением наркоза на морфофункциональное состояние длинного разгибателя большого пальца стопы (*Musculus extensor hallucis longus*) половозрелых самок крыс Вистар.

Эксперименты проведены на половозрелых самках крыс Вистар ( $n = 20$ , масса тела 200–230 г), разделенных на 2 равные группы – оперированные и интактные животные. Выведение животных из эксперимента производили через 4 недели после операции. Кровь брали из шейных вен, определяли уровень интерлейкинов (IL) IL-2, IL-6, IL-4, IL-10 с использованием соответствующих наборов для ИФА (FineTest) на микропланшетном иммуноферментном анализаторе Anthos 2010 (Biochrom). Мышцу фиксировали в нейтральном формалине, заливали в парафин, применяя стандартную методику, изготавливали срезы толщиной 5–7 мк, окрашивали на гликоген, используя ШИК-реакцию, методом ван-Гизона и методом ГОФП по Ли. На микрофотографиях определяли среднее количество капилляров, контактирующих с каждым мышечным волокном. Для анализа и обработки изображений использовали программу ImageJ. Полученные данные статистически обрабатывали с помощью программы Statistica10. Различия считали достоверными при  $p \leq 0.05$ .

Выявлено, что у оперированных крыс сохранялась структура и поперечная исчерченность мышечных волокон (МВ). Гистохимическая окраска ГОФП позволила установить, что у этой группы животных не наблюдалось участков МВ, находящихся в состоянии гипоксии, не обнаруживалось избытка коллагеновых волокон. Однако, судя по ШИК-реакции, уровень гликогена оказался сниженным на 20 % по сравнению с контролем. Кроме того, на 11 % снижалось среднее количество капилляров, контактирующих с каждым МВ. В то же время, уровень провоспалительных и противовоспалительных IL не отличался от таковых контрольных крыс. Таким образом, в эксперименте было установлено, что оперативное вмешательство сказалось на энергетике и кровоснабжении МВ.

*Работа выполнена в рамках Госзадания, Минобрнауки РФ гос. регистрация № 122030200535-1.*



## ОСОБЕННОСТИ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ГОНАРТРОЗЕ

*Коршунова А.А.<sup>2</sup>, Тихомирова И.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Ярославский государственный педагогический университет  
им. К.Д. Ушинского, Ярославль

<sup>2</sup>ЧУЗ «КБ «РЖД – Медицина», Ярославль

E-mail: alexandra.corshunowa@yandex.ru

Эффективное функционирование мышц нижних конечностей во многом определяет качество жизни человека и тесно взаимосвязано как с состоянием крупных суставов, так и с кровоснабжением конечности. Показано, что ноцицептивные влияния из зоны пораженного коленного сустава носят тормозной характер и в той или иной степени сказываются на всех мышцах, находящихся рядом с ним, независимо от их участия в деятельности сустава, что проявляется уже на ранних стадиях гонартроза. Как при этом изменяется кровоснабжение в пораженной конечности изучено недостаточно.

Целью исследования была сравнительная оценка кровоснабжения и резервных возможностей кровотока нижних конечностей в условиях одностороннего поражения коленного сустава. В исследование были включены 62 здоровых добровольца, 57 пациентов с правосторонним ( $n = 26$ ) и левосторонним гонартрозом ( $n = 31$ ). Состояние микроциркуляции и функционирование ее регуляторных механизмов оценивали одновременно на обеих конечностях (в области средней трети голени) методом ЛДФ с помощью 2 портативных анализаторов «ЛАЗМА ПФ» (НПП «ЛАЗМА», Россия). Для оценки резервных возможностей микрокровотока применялась функциональная проба с задержкой дыхания. У пациентов отмечено выраженное снижение перфузии в пораженной конечности в сравнении с контрлатеральной, разница составила 26 % ( $p < 0,01$ ) при левостороннем гонартрозе (ЛГА) и 35 % ( $p < 0,01$ ) при правостороннем (ПГА) при значительном повышении напряженности функционирования регуляторных механизмов микрокровотока в пораженной конечности. О падении резервных возможностей микрокровотока в пораженной конечности свидетельствует почти 2-кратная разница ( $p < 0,001$ ) в процентном снижении перфузии в пораженной конечности в сравнении с контрлатеральной в условиях локальной гипоксии при задержке дыхания. Выявленные неблагоприятные изменения кровоснабжения нижней конечности на начальных стадиях гонартроза свидетельствуют о необходимости оптимизации кровоснабжения конечности при деформирующем артрозе крупных суставов.

# ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА МЫШЕЧНУЮ СИЛУ И МЕХАНИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРЫЖКАХ С РАЗНОЙ ВЫСОТЫ

Коряк Ю.А.<sup>1</sup>, Ханафиева К.Р.<sup>2</sup>, Афоничев Н.К.<sup>2</sup>, Кнутова Н.С.<sup>1</sup>,  
Прочий Р.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>МАИ (Национальный исследовательский университет), Москва

E-mail: yurikoryak@mail.ru

Механическая мощность мышц зависит от нагрузки, и когда этот фактор удален, то отмечается снижение мышечных функций (Ronin et al., 2023). С другой стороны, тренировка предотвращает снижение функций мышц (Blazevich et al., 2003). Высота вертикального прыжка представляет важную информацию о функциональных возможностях мышечного аппарата (Bui et al., 2015). Целью настоящего исследования было изучить изменение сократительных свойств мышц человека в результате 6-недельной тренировки с легкой нагрузкой. В исследовании приняли участие студенты ( $23,9 \pm 2,0$  года) без ортопедических отклонений. Тренировка выполнялась 3 дня в неделю на протяжении 6 недель. Испытуемый на брус (10 x 10 см) выполнял подъем и опускание на носки в 5 подходах по 10 повторений. Максимальный суставной момент мышц-разгибателей стопы регистрировали с использованием динамометра Biodex (USA). Испытуемый выполнял 3 попытки, и лучшая принималась за показатель максимальной произвольной силы (МПС). Скоростно-силовые свойства мышц-разгибателей стопы оценивали по скорости развития произвольного изометрического сокращения мышцы, выполненного при условии «сократить максимально быстро и сильно» и рассчитывали значение силы с интервалом 50 мс ( $F_{50}$ ,  $F_{100}$ ,  $F_{150}$ ) от начала развиваемого усилия (Коряк и др., 2023). Прыжковый тест представлял собой спрыгивание (СП) с лестницы высотой 20 (СП<sub>20</sub>) и 60 (СП<sub>60</sub>) см на контактную платформу. После тренировки МПС увеличилась на 17,0% ( $F_{50}$  – на 25%,  $F_{100}$  – на 16%,  $F_{150}$  – на 2%). Скорость отталкивания при СП<sub>20</sub> в 2 раза превышала скорость при СП<sub>60</sub>. Абсолютная мощность при СП<sub>20</sub> была выше, чем при СП<sub>60</sub>. Снижение эффективности СП с увеличением высоты может быть результатом торможения сухожильного органа Гольджи и механического соскальзывания поперечного мостика (Souise et al., 2007). Снижение высоты прыжков при увеличении высоты СП, может быть обусловлено снижением жесткости мышц ног и голеностопных суставов (Arampatzis et al., 2001). Таким образом, динамическая тренировка с легкой нагрузкой в течение 6 недель сопровождается значительным увеличением МПС и взрывной силы. Можно предположить, что эти изменения обусловлены не только нейронной адаптацией, но и изменением внутренней организации мышцы (длины и угла наклона волокон), что определяет более эффективную передачу силы волокон мышцы на сухожилие.

*Исследование выполнено при поддержке РАН (FMFR-2024-0033).*

# **БИОГЕНЕЗ ВНЕКЛЕТОЧНОГО МАТРИКСА СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗНОНАПРАВЛЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И СТАРЕНИИ**

***Леднев Е.М.<sup>1</sup>, Курочкина Н.С.<sup>1</sup>, Орлова М.А.<sup>1</sup>, Виговский М.А.<sup>2</sup>,  
Вавилов Н.Е.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного  
университета им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт биомедицинской химии  
им. В.Н. Ореховича, Москва

E-mail: ledhauz@gmail.com

Гипокинезия и старение вызывают выраженные нарушения функциональных возможностей и механических свойств скелетных мышц, а также ремоделирование внеклеточного матрикса (ВКМ). Цель исследования – изучить влияние хронического снижения двигательной активности и возраста на биогенез ВКМ в скелетной мышце. Для количественного масс-спектрометрического протеомного анализа и РНК-секвенирования были взяты биопсические пробы из *m. vastus lateralis* у 15 молодых здоровых добровольцев, 8 молодых и 37 пожилых пациентов с многолетним первичным остеоартрозом коленного/тазо-бедренного сустава – модель для изучения эффектов хронического снижения двигательной активности мышц. Было детектировано 1022 мРНК и 101 белок ВКМ и ассоциированных с ВКМ белков (матрисом). У пожилых и молодых пациентов было выявлено специфическое увеличение экспрессии двух десятков высокопредставленных белков матрикса. По сравнению с белками, изменения экспрессии мРНК, кодирующих белки матрикса, в частности, мРНК энзиматических регуляторов и секретируемых белков, включающих ростовые факторы-регуляторы биогенеза ВКМ, различались в меньшей степени. Сопоставление с предыдущими протеомными и транскриптомными данными показало, что описанные нами изменения матрикса выражено отличались от изменений, вызванных аэробной физической тренировкой у молодых людей, в частности, по экспрессии доминирующих белков ВКМ и, особенно, по экспрессии мРНК энзиматических регуляторов ВКМ и секретируемых белков. Сопоставление профилей изменений экспрессии этих регуляторных генов может быть полезно для поиска фармакологических мишеней для профилактики неблагоприятных изменений/активации биогенеза ВКМ при различных патологических состояниях/физической тренировке.

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 21-15-00405 и бюджетной темы НИР ФФМ МГУ им. М.В. Ломоносова. Масс-спектрометрические измерения выполнены на оборудовании ЦКП «Протеом человека» на базе НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича.*

## **СОСТОЯНИЕ МЫШЕЙ ПОСЛЕ БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «БИОН-М» № 2**

**Машкин М.А.<sup>1</sup>, Другова С.В.<sup>2</sup>, Фадеева О.В.<sup>2</sup>, Белоус А.О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет  
космических исследований, Москва

E-mail: sofyadrugova@gmail.com

Для содержания животных на космическом аппарате «БИОН-М № 2» разработано оборудование МЛЖ-02, обеспечивающее жизнедеятельность мышей и регистрацию данных на протяжении 35 суток. Условия содержания влияют на физиологические параметры, поэтому целью работы являлась оценка общего состояния мышей после содержания в МЛЖ-02.

Мышей (самцы С57BL/6, возрастом 12 нед.), общим числом 30 особей, содержали в МЛЖ-02 на пастообразном корме («Паста») или сухом корме и гелированной воде («Брикет»). Контрольные группы содержали в стандартных условиях вивария («ВИВ») на пасте, брикете или комбикорме ПК-120 и воде («ПК-120»). После 35 суток экспозиции оценивали состояние мышей.

Обнаружили, что масса тела после экспозиции по сравнению с контролем не изменялась. Гематологические и биохимические показатели крови не различались. После содержания в МЛЖ-02 снижалась масса тимуса ( $p = 0,0001$ ) и возрастала – надпочечников ( $p < 0,05$ ). В «открытом поле» мыши проходили одинаковый путь, но у МЛЖ-02 мышей был выше латентный период (ЛП) выхода в центр ( $p < 0,05$ ) и меньше время нахождения в центре арены ( $p < 0,05$ ). В «приподнятом крестообразном лабиринте» у МЛЖ-02 мышей был выше ЛП выхода в открытые лучи лабиринта ( $p < 0,01$ ) и ниже – время, проведенное в них ( $p < 0,01$ ). Время удержания на ротароде у МЛЖ-02 мышей не изменялось, а тактильная чувствительность ( $p < 0,05$ ) и сила хвата задних конечностей ( $p < 0,0001$ ) – возрастали, что, по-видимому, обусловлено особенностями конструкции МЛЖ-02 (решетчатый пол).

Можно заключить, что содержание мышей в МЛЖ-02 не оказывает существенного влияния на большинство исследованных показателей. Увеличенная масса надпочечников и сниженная масса тимуса свидетельствуют о некотором стрессирующем влиянии условий содержания. Изменения поведения, предположительно, обусловлены необычной средой обитания. Полученные данные будут использованы для дифференцировки эффектов собственно космического полета и содержания в полетной аппаратуре «БИОН-М № 2».

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА И АКТИВНОСТИ СЕРДЦА БАДМИНТОНИСТОВ ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

**Назаренко А.С., Чершинцева Н.Н., Зверев А.А.**

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань

E-mail: chersinceva@mail.ru

Постуральный баланс необходим при выполнении большинства видов деятельности и является результатом взаимодействия между сенсорной информацией и двигательными функциями человека. Диагностика постурального баланса является одним из ключевых этапов биомеханической оценки спортсменов. Целью данного исследования явилось изучение особенностей сопряженных реакций статокINETической функции и физиологических механизмов адаптации работы сердца к двигательной активности юных бадминтонистов. В исследованиях принимали участие бадминтонисты мужского пола в возрасте 8–10 лет ( $n = 15$ ) и 11–13 лет ( $n = 16$ ). Все исследуемые были здоровы и не имели каких-либо ограничений для занятий спортом. Функциональное состояние статокINETической системы оценивали на стабиланализаторе «Стабилан 01-5». Одновременно производили регистрацию ЭКГ на установке PowerLab (Австралия).

Обработку производили в программном обеспечении LabChartPro. Проводили 3-минутный велоэргометрический тест с нагрузкой из расчета 1 Вт на 1 кг массы тела. После нагрузки проводили модифицированную пробу Ромберга в течение 20 сек. (3 раза), во время которой регистрировали ЭКГ. В наших исследованиях физическая нагрузка приводила к ухудшению качества функции равновесия в обеих возрастных группах. Восстановление основных параметров стабилОграммы происходило к окончанию первой минуты. Необходимо отметить, что в возрасте 11–13 лет происходило полное восстановление и преобладание фронтальных движений над сагиттальными. Двигательная активность бадминтонистов нарастала к концу периода восстановления. Наблюдаемые изменения сопровождалось незначительным увеличением ЧСС в первые 20 секунд, только в возрасте 11–13 лет, что сопровождалось увеличением длительности QT и JT интервалов. Реакция сердца на физическую нагрузку была позднее, чем изменения в постуральном балансе. Данные изменения могут быть связаны со спецификой вида спорта, механизмами нервно-мышечного и постурального контроля.

# **ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА ГИМНАСТОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ ЗРИТЕЛЬНОГО И СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРОВ**

***Платошкина Е.Е., Ниази Е.С., Назаренко А.С., Ботова Л.Н.***

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань

E-mail: platoshkina\_75@mail.ru

Способность поддерживать функцию равновесия тела в различных условиях это сложный процесс, который требует постоянного баланса между сенсорными системами, а также работой нервной и мышечной системы человека. Большинство исследований доказывают, что опыт занятий конкретным видом спорта влияет не только на формирование сложных поз, но и на постуральный баланс. В соревновательной программе гимнастов отсутствует большая вариативность свободных движений в поддержании постурального баланса, а также длинные периоды выполнения элементов между ними. Целью исследования явилось изучение постурального баланса при раздражении зрительного и слухового анализаторов.

В исследовании приняли участие юноши-студенты «Поволжский ГУФКСиТ», занимающиеся спортивной гимнастикой, имеющие спортивную квалификацию КМС и МС РФ, в составе 11 человек (18–20 лет). Оценка постурального баланса производилась с помощью стабиланализатора «Стабилан 01-5». Гимнастам демонстрировали видео с различными вращениями со звуком и без звука, и одновременной регистрацией «Модифицированной пробы Ромберга».

Наибольшее изменение в параметрах стабилограммы наблюдалось при выполнении адаптированной пробы Ромберга с поворотом на 180 градусов с закрытыми глазами и стойкой на одной ноге. Наибольший эффект на параметры постурального баланса оказало видео с вращениями назад без звука. Движения во фронтальной и сагиттальной плоскости наблюдались больше при просмотре видео без звука, однако скоростные параметры стабилограммы и площадь центра давления были больше при просмотре видео со звуком. У гимнастов, возможно, выработался особый тип адаптации на визуализацию исполнения элементов, присущих соревновательной программе.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства спорта Российской Федерации № 777-00022-24-01 «Разработка научно-обоснованных средств совершенствования нервно-мышечного контроля движений в спортивных видах гимнастики».*

# **ВЛИЯНИЕ 5-СУТОЧНОЙ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА СОКРАТИТЕЛЬНЫЕ И ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА**

***Пономарев И.И., Лакиза Л.Ю., Томиловская Е.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: [ponom.96@mail.ru](mailto:ponom.96@mail.ru)

Пребывание в условиях опорной разгрузки, создаваемой с помощью модели «сухой» иммерсии (СИ), приводит к развитию структурно-функциональных изменений в постуральных мышцах вследствие снижения их сократительной активности (Shenkman, 2004). Было показано, что снижение опорной и двигательной нагрузки вызывает множество рефлекторных реакций, сопровождающихся мышечной атрофией (Fitts et al., 2010; Buehring et al., 2011), снижением скоростно-силовых возможностей мышц (Grigor'ev et al., 2004) и мышечного тонуса (Poltavskaya et al., 2018; Amirova et al., 2021). «Сухая» иммерсия широко используется как наземная модель физиологических эффектов невесомости, однако подавляющее большинство данных в этих условиях получено с участием мужчин, поскольку женщины не участвовали в таких экспериментах до 2020 г. (Tomilovskaya, 2021).

Цель работы заключалась в исследовании влияния 5-суточной СИ на сократительные и вязкоупругие свойства скелетных мышц нижних конечностей у женщин репродуктивного возраста.

В исследовании приняло участие 23 женщины ( $30 \pm 5,2$  лет). Исследование сократительных и вязкоупругих свойств мышц нижних конечностей проводили с помощью двух методов: поверхностной пальпации MyotonPro (Myoton AS, Эстония) и тензиомиографии (TMG-VMC Ltd.; Люблина, Словения).

Наиболее выраженные достоверные изменения наблюдались в передней большеберцовой мышце голени. После завершения СИ амплитуда мышечного сокращения (Dm) была достоверно выше исходных значений: на 31,6 % ( $p < 0,05$ ) в 1-е сутки и на 36 % ( $p < 0,05$ ) – во 2-е сутки. Поперечная жесткость мышцы в 1-е сутки после СИ была ниже на 7 % ( $p < 0,05$ ), а во 2-е сутки – на 12 % ( $p < 0,05$ ) относительно фоновых данных.

Приведенные данные согласуются с существующим представлением о гравитационных механизмах работы мышечно-тонической системы (Kozlovskaya, 2007), а также выявляют схожесть влияний опорной разгрузки на сократительные (Simunic, 2019) и вязкоупругие (Amirova, 2021) свойства мышц у женщин и мужчин.

*Работа поддержана проектом РФФ № 19-15-00435.*

# ГЕНДЕРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ-КОНЬКОБЕЖЦЕВ ВЫСОКОГО КЛАССА В ОДНОСУСТАВНЫХ И МНОГОСУСТАВНЫХ ДВИЖЕНИЯХ

**Примаченко Г.К.<sup>1</sup>, Шпаков А.В.<sup>1,2</sup>, Воронов А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва

E-mail: g.k.primachenko@mail.ru

Цель работы – определение гендерных различий скоростно-силовых возможностей спортсменов, специализирующихся в скоростном беге на коньках.

В исследовании приняли участие спортсмены сборной России по конькобежному спорту (МС и МСМК): 8 женщин (23,3 ± 2,2 лет, 170,1 ± 6,5 см, 65,7 ± 5,9 кг) и 4 мужчин (20,0 ± 1,7 лет, 181,5 ± 5,2 см, 64,0 ± 7,3 кг). Для оценки скоростно-силовых возможностей мышц-разгибателей коленного сустава (односуставное движение) использовали тестирование на динамометре «BIODEX System 4 Pro» в изокинетическом режиме на угловых скоростях 300, 240, 180, 150, 120, 90, 60 и 30 град./с. Анализировали максимальный момент силы (ММС), как показатель максимальной произвольной силы (МПС) мышц-разгибателей коленного сустава и ЭМГ-активность *m. vastus lateralis* (VL), *m. rectus femoris* (RF), *m. vastus medialis* (VM). Для оценки скоростно-силовых возможностей мышц нижних конечностей в многосуставном движении использовали прыжковые тесты (прыжок из приседа, прыжок с подседом, прыжок с подседом и с махом руками). Анализировали максимальную высоту прыжка (МВП) как показатель, отражающий МПС мышц нижних конечностей.

Результаты исследования не выявили существенных различий проявления скоростно-силовых качеств в данной группе спортсменов по МВП. Показателям МВП соответствовали средне популяционным для спортсменов данной возрастной группы и пола.

Результаты тестирования на динамометре позволили выявить различия в градиенте силы, т. е. способности проявлять МПС в наименьший промежуток времени. По данному показателю конькобежцы значительно превосходили конькобежек. Также нами были обнаружены гендерные отличия во вкладе мышц-разгибателей коленного сустава в ММС. Если у мужчин ММС достигается преимущественно активностью VL и VM, то у женщин вклад VL, VM и RF был практически одинаковым для достижения ММС мышц-разгибателей коленного сустава.



## **ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В СТРЕЛЬБЕ ИЗ ВИНТОВКИ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ПОДГОТОВКИ**

***Рыболовлев А.А., Васенина В.Г.***

Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва

E-mail: [vaseninav@yandex.ru](mailto:vaseninav@yandex.ru)

В тезисах представлены данные по физиологическому состоянию спортсменов стрелков в разные периоды подготовки к наиболее ответственным соревнованиям.

Физиологические показатели работоспособности с учетом индивидуальной реакции на нагрузку у спортсменов, специализирующихся в стрельбе из винтовки, могут помочь в подготовке спортсменов высокого класса и позволяет оценить регуляторные механизмы при адаптации к различным условиям среды.

При оценке спортивной работоспособности были использованы методы оценки центральной нервной системы и вегетативной нервной системы (вариабельность сердечного ритма, оценка кожной проводимости – соотношение симпатической и парасимпатической нервных систем) с целью коррекции тренировочного процесса при подготовке спортсменов разной квалификации.

Исследования проводились на базе стрелковых тиров ГЦОЛИФК, ЦСКА и тира ДОСААФ Измайлово с участием высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в стрельбе из винтовки с разным стажем подготовки.

Преимущественное преобладание парасимпатической нервной системы связано с процессами, регулируемыми центры активации и передачи нервных импульсов в различные разделы ЦНС. Полученные данные свидетельствуют о стабилизации процессов передачи в ЦНС, ответственной за скорость выполнения упражнения в стрельбе. Показано, что участие ВНС и регуляции ЦНС у спортсменов может быть различным.

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ МЕХАНИЗМОВ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СОКРАЩЕНИЯХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

**Тарасова О.С.<sup>1,2</sup>, Бравый Я.Р.<sup>1</sup>, Шарова А.П.<sup>1</sup>, Боровик А.С.<sup>1</sup>,  
Виноградова О.Л.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Биологический факультет, Москва

E-mail: ost.msu@gmail.com

Повышение артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) при физической нагрузке может быть обусловлено влиянием центральной команды, рефлексов от мышечных механо- и метаборецепторов. Целью работы был анализ вклада этих механизмов в экспериментах с использованием специфических режимов мышечной активности.

Молодые мужчины выполняли статические сокращения мышц-разгибателей коленного сустава или мышц-сгибателей лучезапястного сустава в режиме чередования 20-с периодов сокращения и отдыха с усилием 25–30 % от максимальной произвольной силы. Во время тестов непрерывно регистрировали АД (фотокомпенсационным методом) и ЭКГ. В части экспериментов также регистрировали адресованную сосудам мышц симпатическую нервную активность (МСНА) в малоберцовом нерве методом микронейрографии.

Вклад центральной команды оценивали путем сопоставления изменений АД и ЧСС при произвольном и вызванном электронейростимуляцией сокращениях мышц; показано, что центральная команда не влияла на реакцию АД, но увеличивала реакцию ЧСС. Изменение активности механорецепторов мышц путем снижения скорости развития произвольного сокращения приводило к уменьшению амплитуды реакции АД, но не влияло на реакцию ЧСС. Влияние метаборефлекса при произвольном сокращении мышц увеличивалось с развитием утомления, при этом реакция АД возрастала сильнее, чем реакция ЧСС.

МСНА возрастала в начале фазы сокращения (на 2–3 с, влияние механорефлекса), снижалась к 5 с (влияние барорефлекса), а затем вновь увеличивалась (влияние метаборефлекса, превалирующее над барорефлекторным торможением); утомление мышц приводило к увеличению обоих пиков МСНА и амплитуды колебаний АД на барорефлекторной частоте (~0.1 Гц).

Таким образом, механорефлекс по сравнению с метаборефлексом характеризуется более быстрой динамикой воздействия на МСНА и АД, влияние этих механизмов на ЧСС менее выражено. При мышечной работе также происходит изменение работы барорефлекса.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 23-15-00331).*

# ОЦЕНКА МИОГЕННОГО КОМПОНЕНТА РЕГУЛЯЦИИ СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ПРИ РАЗВИТИИ СИНДРОМА ДИАБЕТИЧЕСКОЙ СТОПЫ

**Троицкая Н.И.**

Читинская государственная медицинская академия Минздрава России, Чита

E-mail: troicachita@mail.ru

*Актуальность.* Сахарный диабет является самым распространенным эндокринным заболеванием в мире, от которого страдают 4–8 % населения планеты. Синдром диабетической стопы является одним из часто развивающихся осложнений сахарного диабета, при котором происходят патологические изменения периферической нервной системы, артериального и микроциркуляторного русла, представляющие непосредственную угрозу развития язвенно-некротического процесса и гангрены стопы.

*Цель работы* – оценить роль миогенного компонента регуляции микроциркуляции у больных сахарным диабетом 2 типа в зависимости от развития синдрома диабетической стопы.

*Материалы и методы.* С целью изучения микроциркуляции проводилась запись осцилляций кровотока на аппарате (НПП «Лазма», Россия). В исследование включено 90 человек. Контрольная группа составила 30 здоровых человек. В 1 группу были включены 30 пациентов с сахарным диабетом 2 типа без синдрома диабетической стопы. 2 группа составила 30 больных сахарным диабетом 2 типа с синдромом диабетической стопы. Измерения проводились в точке соответствующей тыльной поверхности проксимального фаланга первого пальца стопы. ЛДФ-грамма регистрировалась в течение 15 минут. Оценивался показатель максимальной амплитуды миогенного диапазона (Ам). Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с помощью пакета программ «IBM SPSS Statistics Version 25.0».

*Результаты.* Уровень показателя Ам в группе больных с неосложненным течением сахарного диабета и контрольной группе значимо не отличался. Значение Ам при развитии синдрома диабетической стопы было ниже в 1,6 раза относительно здоровых лиц ( $p < 0,001$ ). У пациентов с синдромом диабетической стопы отмечалось снижение значения Ам по сравнению с неосложненным течением сахарного диабета в 1,3 раза соответственно ( $p = 0,026$ ).

*Вывод.* При синдроме диабетической стопы выявлено ухудшение показателей микрогемодинамики, что вызвано застоем крови в венозном русле, нарушением соотношения регуляторных механизмов микроциркуляции.

# КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОЙ НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ПАРАЛИЧАХ

**Шапкива Е.Ю.**<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «ФЦМН» ФМБА России, Москва

<sup>2</sup>Лаборатория нейропротезов ИТБМ СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>СПб НИИ фтизиопульмонологии Минздрава России, Санкт-Петербург

E-mail: ey.shapkova@mail.ru

На протяжении 30 лет у 500 детей и 240 взрослых при лечении параличей разной этиологии применяли чрескожную электростимуляцию спинного мозга (ЭССМ) с многократно повторяемой двигательной активностью, формируя активность-зависимую нейропластичность. При нарушении/утрате функции ходьбы ЭССМ прикладывали к средней части поясничного утолщения, позы – к каудальной, движений рук – к шейному утолщению; одновременно ЭССМ активизировала проводящие пути и проприоспинальные системы. В соответствии с ведущей реабилитационной задачей тренировали позу, би/тетрапедальную ходьбу, движения рук.

Контролировали неврологический статус пациентов (Frankel, AIS), спастичность мышц (MAS), локомоторные возможности (индекс Хаузера, тетрапедальные тесты с видео), способность к самообслуживанию (SCIM), возбудимость мотонейронов поясничного (H-рефлекс, мультисегментные ответы) и шейного утолщений, глобальную ЭМГ и плантографию.

ЭССМ в сочетании с тренировкой позволили абсолютному большинству (до 84 %) детей и взрослых освоить/улучшить доступные формы локомоторной активности, поз сидя и стоя. От 56 до 67 % пациентов восстановили/сформировали компенсаторную чувствительность; 92 % значительно расширило независимость, эти показатели не зависели от полноты и давности поражения спинного мозга, но были достоверно выше при повторных курсах. При хронических двигательных расстройствах нейропластичность проявлялась в расширении целевых двигательных навыков и независимости, с динамикой или без изменений неврологических характеристик.

Интенсивная, со значительным объемом стимулирующих воздействий, электростимуляция целевых спинальных мотонейронов и интернейронных систем создает условия для пластических перестроек, а синергичная двигательная активность формирует активность-зависимую нейропластичность. Эффективность реабилитации пациентов разного возраста, нозологий, уровня, тяжести и длительности поражения ЦНС позволяет сформулировать концепцию управляемой нейропластичности и обсуждать ее универсальность.

# **ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ Н-РЕФЛЕКСА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА**

**Шилов А.С.**

ФИЦ Коми научный центр Уральского отделения РАН, Сыктывкар

E-mail: shelove@list.ru

Гипоксические состояния организма характерны для реализации соревновательных упражнений во многих видах спорта, особенно они часто проявляются в циклических дисциплинах, где результат во многом связан с минимальным временем прохождения дистанции, а само выступление может длиться от нескольких десятков секунд до нескольких часов в олимпийских видах программы. В данном контексте особенно актуальны разработки, связанные с изучением удержания высокой спортивной работоспособности в процессе выполнения высокоинтенсивных физических упражнений и накапливающегося утомления, особенно в условиях развивающейся гипоксемии организма. Применение интермиттирующих видов гипоксических воздействий давно используется в практике спортивной подготовки для решения этой проблемы. Целью данного исследования было изучение изменений Н-рефлекса у спортсменов после острых (ОГВ) и интервальных гипоксических воздействий (ИГВ).

Исследования выполнены с участием квалифицированных (КМС, МС) представителей спортивного плавания, легкой атлетики и лыжных гонок. Исследуемые подвергались острым и интервальным гипоксическим (нормобарическим, изокапническим) воздействиям ( $\text{FiO}_2 = 11\text{--}12\% \text{ O}_2$ ,  $\text{CO}_2 = 0,03\text{--}0,04\%$ ), гипоксическая экспозиция длилась 5 мин для ОГВ и от 30 до 50 мин для ИГВ. Для оценки изменений Н-рефлекса, получаемого с медиальной икроножной и камбаловидной мышц, использовали электронейромиограф НМА 4-01 «Нейромиан» (Россия).

Вне зависимости от спортивной специализации выявлены общие изменения в рекрутировании Н-рефлекса у представителей всех исследуемых групп, так сразу после ОГВ и ИГВ наблюдалось увеличение амплитуд спинального моносинаптического Н-рефлекса с последующим нивелированием данных изменений. Длительность возврата к фоновым значениям Н-рефлекса была крайне вариативной, что особенно появлялось после ОГВ. Максимальный М-ответ после ИГВ вызывался при меньших силах тока. Данные индивидуальные особенности должны учитываться при формировании тренировочных программ и тейп-ринге в спорте.



**РОЛЬ МИОКИНОВ  
И ДРУГИХ РЕГУЛЯТОРОВ  
В АКТИВНОСТИ  
МОТОРНЫХ СИНАПСОВ**





## СКЕЛЕТНАЯ МУСКУЛАТУРА КАК ИСТОЧНИК ЭНДОКАННАБИНОИДОВ И ИХ АКТИВНОСТИ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ

*Балезина О.П., Тарасова Е.О., Богачева П.О.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: balezina@mail.ru

Скелетная мускулатура известна сегодня не только своей двигательной, но и секреторной активностью. Среди биомолекул, секретируемых мышцами, обнаружилось и классические эндоканнабиноиды (ЭГ) – анандамид (АЕА) и 2-арахидонилглицерол (2-АГ). Условия высвобождения и характер действия миогенных эндоканнабиноидов (миоЭК) на моторные синапсы остаются не изученными. В наших микроэлектродных исследованиях миниатюрных и вызванных потенциалов концевой пластинки (соответственно – МПКП и ПКП) в синапсах изолированных мышц – диафрагмы и мышцы голени (m.EDL) мыши удалось обнаружить реактивность их моторных нервных терминалей к экзогенным ЭК. Впервые в синапсах диафрагмы и m. EDL выявлены неканонические пресинаптические воздействия экзогенного 2-АГ в виде стимулирования размеров квантов АХ и, как следствие, роста амплитуды МПКП и ПКП, предотвращавшиеся блокадой каннабиноидных рецепторов СВ1-типа с помощью их антагониста AM251. Кроме того, нами впервые обнаружен рост размеров квантов АХ, зависящий от активации пресинаптических СВ1 рецепторов, запускаемый эндогенными миоЭК, высвобождаемыми из мышцы m.EDL в результате ее продолжительной высокочастотной сократительной активности в ответ на непрямую электростимуляцию. Аналогичный эффект – рост амплитуды МПКП и квантов АХ, зависящий от активности СВ1рецепторов, выявлен нами и в синапсах при аппликации JZL184 (1мкМ) – ингибитора фермента DAGL, гидролизующего 2-АГ в мышцах. Эффект JZL184 развивался только на фоне периодической залповой активности синапсов.

Таким образом, впервые выявлены состояния скелетной мускулатуры, способствующие высвобождению из мышц миоЭК и проявлению их неканонического потенцирующего действия на амплитуду МПКП/ПКП и нервно-мышечную передачу. Это – интенсивная и продолжительная сократительная активность мышц, либо – залповая активность их синапсов в отсутствие сокращений, но при подавленной активности фермента, расщепляющего миоЭК в мышцах.

*Проект поддержан грантом РФФ № 23-25-00065.*

## **СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЯ ЭФФЕКТОВ BDNF И ПРОДОМЕНА BDNF В РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ**

**Богачева П.О., Потапова Д.А., Гайдуков А.Е.**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: untergang@inbox.ru

Нейротрофины всегда вызывали огромный интерес физиологов благодаря способности регулировать дифференцировку нейронов и обеспечивать ретроградную сигнализацию в синапсах. Но оказалось, что и пронейротрофины, и их продомены также обладают биологической активностью и могут участвовать в регуляции синаптической передачи. Спектр эффектов этих молекул зависит от взаимодействия с различными рецепторами: Trk, p75 и сортилином.

Мы проводили сравнение эффектов зрелого нейротрофина мозга (BDNF) и его продомена в регенерирующих после травмы нерва моторных синапсах мышцы. Регистрировали спонтанные и вызванные стимуляцией нерва потенциалы концевой пластинки (МПКП и ПКП) при помощи стандартной микроэлектродной техники отведения.

BDNF увеличивал амплитуду МПКП за счет увеличения размера кванта медиатора. Это предотвращалось блокатором везикулярного транспортера ацетилхолина везамиколом. BDNF увеличивал и амплитуду ПКП, не влияя при этом на их квантовый состав (КС). Эти потенцирующие эффекты BDNF требовали активации рецепторов TrkB и запуска MAPK сигнального пути, поскольку предотвращались блокатором TrkB рецепторов циклотраксином В и блокатором MEK/ERK U0126.

Продомен BDNF также увеличивал амплитуду МПКП за счет возрастания размера кванта и этот эффект предотвращался везамиколом. Но при этом он снижал КС ПКП, оставляя амплитуду ПКП неизменной. Такое двунаправленное действие продомена предотвращалось блокадой TrkB рецепторов циклотраксином В и блокадой MAPK сигнального пути U0126, а также требовало и участия рецепторов p75, так как не проявлялось на фоне их блокады LM11A31. Ключевую роль в реализации разнонаправленных эффектов продомена BDNF играли Ca<sup>2+</sup>-каналы L-типа: их блокада нитрендипином предотвращала влияние продомена на размер кванта и КС ПКП.

Таким образом, и BDNF и его продомен способны увеличивать размер кванта медиатора. Однако в случае продомена это не приводит к усилению вызванной секреции, так как параллельно снижается КС ПКП.

*Работа поддержана грантом РФФ № 24-25-00073.*

## **ЛИПИД-ЗАВИСИМОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ БЕТА2-АДРЕНЕРГИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ В ДВИГАТЕЛЬНЫХ НЕРВНЫХ ОКОНЧАНИЯХ**

**Гафурова Ч.Р.<sup>1</sup>, Ценцевицкий А.Н.<sup>2</sup>, Петров А.М.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский государственный медицинский университет, Казань

<sup>2</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

E-mail: gafurova7090@gmail.com

Катехоловые амины через активацию  $\beta$ -адренорецепторов регулируют метаболические процессы в скелетной мускулатуре. В частности, активация  $\beta$ 2-адренорецепторов способствует усилению анаболических реакций, препятствуя атрофии мышц. Также  $\beta$ 2-адренорецепторы могут контролировать нейротрофические процессы, влияя на количество постсинаптических холинорецепторов. Нейротрофические процессы зависят также от мобилизации и экзоцитоза синаптических везикул, однако роль  $\beta$ 2-адренорецепторов в их регуляции остается мало изученной.

В данной работе исследовали влияние агониста  $\beta$ 2-адренорецепторов фенотерола на синаптическую передачу в диафрагме мышей с использованием электрофизиологического метода и флуоресцентных красителей.

$\beta$ 2-Агонист фенотерол (1–10 мкМ) усиливал освобождение FM-красителя из синаптических везикул и замедлял развитие депрессии секреции нейромедиатора при высокочастотной активности (20 Гц), а также потенцировал облегчение освобождения нейромедиатора вначале каждого нового эпизода активности при прерывистой стимуляции нерва.

$\beta$ 2-адренорецепторы имеют высокоафинные сайты для взаимодействия с холестерином и локализуются в липидных рафтах, обогащенных сфингомиелином и холестеринем. Гидролиз сфингомиелина мембран, окисление мембранного холестерина и хроническое блокирование синтеза холестерина аторвастатином приводили к инверсии эффекта активации  $\beta$ 2-адренорецепторов: наблюдалось уменьшение темпа экзоцитоза и усиление депрессии секреции нейромедиатора. Схожим образом, оксихолестерин подавлял опосредуемое фенотеролом усиление экзоцитоза.

$\beta$ 2-адренорецепторы могут оказывать эффекты как через стимулирующий Gs-, так и ингибирующий Gi-белки. С использованием коклюшного токсина (РТХ), блокирующего Gi-белок, и ингибитора ацилтрансферазы показали, что гидролиз сфингомиелина приводит к переключению сигнализации  $\beta$ 2-адренорецепторов на Gi-белок-зависимую сигнализацию, в результате наблюдается инверсия эффекта фенотерола.

Таким образом, активация  $\beta$ 2-адренорецепторов способна увеличивать надежность нервно-мышечной передачи. Однако в условиях дестабилизации липидных рафтов  $\beta$ 2-адренорецепторы оказывают угнетающее действие на нервно-мышечную передачу, что может усиливать прогрессирование мышечной атрофии.

*Финансовая поддержка: грант РНФ № 23-75-10022.*

## ВЛИЯНИЕ ГИПОДИНАМИИ НА ПУРИНЕРГИЧЕСКУЮ СИГНАЛИЗАЦИЮ В МИОНЕВРАЛЬНОМ СИНАПСЕ

**Ефимова Д.В.<sup>1,2</sup>, Еремеев А.А.<sup>2</sup>, Хайруллин А.Е.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский государственный медицинский университет Минздрава России, Казань

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

E-mail: dika.ef@yandex.ru

*Введение.* Исследования гиподинамии и моделирующих ее условий (гипокинезию, иммерсию, безопорные стенды) показали, что обусловленный этими условиями двигательный синдром характеризуется наличием изменений во всех звеньях двигательной системы. Вместе с тем, в существующих работах остаются не выявленными ключевые звенья, в большей степени ответственные за адаптацию двигательных единиц к опорной разгрузке. Мы предполагаем, что P2-рецепторы могут играть роль демпферной системы, обеспечивающей устойчивость работы нервно-мышечного аппарата.

*Цель исследования.* Определение вовлеченности P2-сигнализации в нервно-мышечном синапсе на модели гиподинамии.

*Материалы и методы.* Была использована модель антиортостатической разгрузки. Выделенные m. soleus и m. EDL погружали в резервуары объемом 10 мл, наполненные раствором Кребса. Электростимуляцию мышц проводили в течение 2 мин. Силу сокращений мышц регистрировали с помощью датчика двигательной активности. Полученные в течение 2 минут ответы усредняли и обрабатывали как один результат. Для оценки эффектов пуринаргических агонистов и антагонистов в ванночку добавляли 100 мкМ АТФ либо сурамина и через 10 мин оценивали механические ответы мышцы. Расчет производился в % относительно исходных показателей, полученных в начале эксперимента.

*Результаты:* Семидневная гиподинамия усиливала сократимость m. soleus на  $18,3 \pm 5,0\%$  ( $n = 8$ ,  $p < 0,05$ ) и на  $21,1 \pm 7,1\%$  ( $n = 9$ ,  $p < 0,05$ ) от контроля для m. EDL. Апликация АТФ в концентрации 100 мкМ вызывала обратимую потенциацию амплитуду вызванных стимуляцией электрическим полем сокращений m. soleus, но снижала сократимость m. EDL как интактных, так и животных, подверженных гиподинамией. Неселективный антагонист P2-рецепторов сурамин в концентрации 100 мкМ отменял модулирующие эффекты АТФ на обеих мышцах.

*Заключение.* Полученные данные о потенциации мышечных усилий и сохранности P2-сигнализации согласуются с теорией о вовлеченности этого сигнального пути в механизмы пластичности нервно-мышечного перехода.

## **СИНАПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ 25-ГИДРОКСИХОЛЕСТЕРИНА В СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЕ В НОРМЕ И В МОДЕЛИ БОКОВОГО АМИОТРОФИЧЕСКОГО СКЛЕРОЗА**

**Закирьянова Г.Ф.<sup>1,2</sup>, Кузнецова Е.А.<sup>3</sup>, Ценцевицкий А.Н.<sup>2</sup>,  
Мухутдинова К.А.<sup>2</sup>, Петров А.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский государственный медицинский университет Минздрава России, Казань

<sup>2</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

<sup>3</sup>Казанский федеральный университет, Казань

E-mail: farraguz12@gmail.com

Оксистерины являются производными холестерина, и исследования последних лет показывают многофункциональность и специфичность их эффектов в различных системах организма. Одним из таких оксистеринов является 25-гидроксихолестерин (25ГХ), который усиленно вырабатывается макрофагами, дендритными клетками и микроглией при воспалении. Скелетная мышца содержит большое количество макрофагов, где они участвуют в регенеративных процессах, следовательно, этот оксистерин может иметь влияние на нервно-мышечную передачу. Также было обнаружено, что уровень 25ГХ повышается при боковом амиотрофическом склерозе (БАС) – заболевании, поражающим систему мотонейрон – нервно-мышечный синапс – мышечное волокно.

Используя электрофизиологические и флуоресцентные методы, нами было показано, что 25ГХ (1мкМ) усиливает синаптическую передачу за счет ускорения мобилизации синаптических везикул при интенсивной активности в нервно-мышечных препаратах диафрагм мышей. В дополнение, 25ГХ ускорял темп эндоцитоза синаптических везикул после завершения высокочастотной активации нерва.

Механизм действия 25ГХ опосредовался активацией мембрано-связанных LX (liver X)-рецепторов с последующей активацией сигнального пути: G-белок /  $\beta\gamma$ -димер G-белка / фосфолипаза C / протеинкиназа C. В дополнение, 25ГХ увеличивал цитозольный уровень кальция в синаптическом регионе за счет его выхода из эндоплазматического ретикулума через инозитолтрифосфатные рецепторы.

У mSOD мышей с моделью БАС на ранней стадии 25ГХ подавлял увеличение перекисного окисления липидов, уровня внеклеточного ацетилхолин/холина и нарушение кластеризации никотиновых ацетилхолиновых рецепторов. Также 25ГХ восстанавливал такие синаптические изменения, как увеличение текучести мембраны, накопление церамида, снижение упорядоченности упаковки мембранных липидов.

Все вышеперечисленное в перспективе позволяет рассматривать 25ГХ как модулятор нервно-мышечной передачи и нейропротектор при нервно-мышечных заболеваниях.

*Работа поддержана грантом РФФИ № 23-75-10022.*

# ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА ТОРМОЖЕНИЯ ПРОДОМЕНОМ BDNF СИНАПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ В НЕРВНО-МЫШЕЧНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ

**Молчанова А.И., Абрарова Г.Ф., Шепелёв Е.И., Гайдуков А.Е.**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, Москва

E-mail: gaydukov@gmail.com

Нейротрофин мозга (BDNF) – модулятор синаптической передачи в ЦНС и может функционировать как миокин в периферических синапсах. BDNF синтезируется в виде предшественника пронейротрофина (проBDNF), который подвергается протеолизу с образованием зрелого BDNF и продомена. Последний обладает в ЦНС собственным синаптическим действием, но его регуляторное влияние на нервно-мышечную передачу находится в начале изучения.

Регистрировали спонтанные (миниатюрные) и многоквантовые (вызванные стимуляцией моторных аксонов) постсинаптические потенциалы концевой пластинки (МПКП и ПКП, соответственно) в зрелых моторных синапсах дифрагмы мыши.

Продомен BDNF (1 нМ) оказывает комплексное ингибирующее действие на квантовый выброс ацетилхолина (АХ) - вызывает снижение амплитуды и частоты МПКП, а также амплитуды и квантового состава ПКП по всему ходу коротких ритмических залпов (50 Гц, 1 с).

Анализ механизма тормозного действия продомена BDNF показал, что оно реализуется за счет активации им рецепторного комплекса p75/сортилин (но не TrkB). Это запускает сигнальный путь с участием Rho-GDI-RhoA-ROCK-PTEN. Финальные мишени такого сигналинга – калиевые каналы GIRK и SK. Стимулирование GIRK требует эндогенной активности паннексинов 1 и A1-рецепторов аденозина и сопряжено с активацией PTEN, увеличивающей уровень PIP2. Активность SK-каналов зависит от функционирования фосфолипазы C (PLC) и обеспечивается активацией риаудиновых рецепторов пресинаптических кальциевых депо. Именно сочетанная активность PLC, SK-каналов и GIRK обеспечивает снижение амплитуд постсинаптических потенциалов.

Таким образом, продомен BDNF в моторных синапсах млекопитающих выступает в качестве функционального антагониста зрелого BDNF и тормозит нервно-мышечную передачу благодаря активации сигнального пути с участием PTEN, обеспечивающей дуальное вовлечение в негативную регуляцию квантовой секреции АХ калиевых каналов GIRK и SK.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта 24-25-00073.*

# АНАЛИЗ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ И ЕЕ АДРЕНЕРГИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ В МЫШЦАХ РАЗНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ У МОЛОДЫХ И СТАРЕЮЩИХ МЫШЕЙ

**Одношивкина Ю.Г.<sup>1,2</sup>, Хузахметова В.Ф.<sup>2</sup>, Петров А.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский государственный медицинский университет, Казань

<sup>2</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

E-mail: Odnoshivkina\_Y@mail.ru

Исследование механизмов, обуславливающих потерю сократительной способности мышц с возрастом, имеет потенциальное значение для разработки новых терапевтических и реабилитационных стратегий, направленных на коррекцию нарушений двигательной активности и саркопении. Целью исследования было измерение силы сокращений нервно-мышечных препаратов («быстрой» разгибателя большого пальца (EDL), «медленной» камбаловидной мышцы (Sol), и дыхательной мышцы «смешанного» типа диафрагмы) у 3-месячных мышшей, и у стареющих животных (12 мес.) в контроле и после аппликации неселективного агониста адренорецепторов (адреналина 10 мкМ) или селективного бета2-агониста (фенотерола 10 мкМ). Изометрические сокращения препаратов регистрировали с использованием 4-канальной установки Tissue Bath System. Анализировали одиночные мышечные сокращения при стимуляции с частотой 0,1 Гц в течение 10 мин и тетанические сокращения по 40 стимулов с частотами 10, 20, 50, 70 Гц. Далее подавали адреналин или фенотерол на 20 мин и повторяли протокол стимуляции.

Получили, что амплитуда одиночных и тетанических сокращений EDL и SOL у мышшей с возрастом достоверно не изменяется. Однако, у молодых мышшей аппликация адреналина оказывала стимулирующий эффект, увеличивая амплитуду сокращений при высокочастотной стимуляции на ~50–60 % (n = 7 для EDL и SOL; p ≤ 0.05). С возрастом этот эффект адреналина исчезал. Аппликация фенотерола, наоборот, приводила к снижению амплитуды сокращений у молодых мышшей на ~40-50 % (n = 8 для EDL и SOL; p ≤ 0.05), а с возрастом эффект становился более выраженным, и амплитуда сокращений снижалась на ~60–70 % (n = 8 для EDL и SOL; p ≤ 0.05). На диафрагме с возрастом была обнаружена тенденция к увеличению амплитуды сокращений. Адреналин и фенотерол действовали в одном направлении и снижали амплитуду сокращений при высокочастотной стимуляции на 33 ± 14 % (n = 7; p ≤ 0.05) у молодых мышшей и на 45 ± 12 % (n = 7; p ≤ 0.05) – у стареющих мышшей.

Таким образом, сократительная способность скелетных мышц разного функционального профиля устойчива к возрастным изменениям, в то время как адренергическая регуляция претерпевает значительные изменения.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-15-00124, <https://rscf.ru/project/23-15-00124/>*

# ДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННОГО АНАНДАМИДА И ИНГИБИТОРА ФЕРМЕНТА ЕГО ДЕГРАДАЦИИ НА СПОНТАННУЮ СЕКРЕЦИЮ АЦЕТИЛХОЛИНА В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ

**Парщикова Ю.В., Тарасова Е.О., Балезина О.П.**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва

E-mail: julia.parschikova@yandex.ru

*Введение.* Анандамид (АЭА) – эндогенный каннабиноид липидной природы. За его деградацию отвечает фермент гидролаза амидов жирных кислот (ФААН), на фоне его блокады в синапсах ЦНС наблюдались эффекты эндогенно вырабатываемого АЭА. В нервно-мышечных синапсах теплокровных животных АЭА, активируя СВ1-рецепторы, действует как возбуждающий медиатор, и его экзогенная аппликация приводит к увеличению как спонтанной, так и вызванной секреции ацетилхолина (АХ). В данной работе проводили сравнительный анализ эффектов ингибитора фермента деградации АЭА URB597 (1 мкМ) с действием экзогенного АЭА в различных концентрациях.

*Материалы и методы.* Эксперименты проводили на изолированных нервно-мышечных препаратах диафрагмы мыши. Регистрировали спонтанные одноквантовые миниатюрные потенциалы концевой пластинки (МПКП) с использованием стандартной микроэлектродной методики отведения биопотенциалов. Статистическую обработку проводили при помощи критериев Стьюдента и Манна – Уитни.

*Результаты.* Ингибирование ФААН при помощи URB597 приводило к увеличению как частоты, так и амплитуды МПКП в моторных синапсах диафрагмы мыши. При этом, действие URB597 снималось при его совместной аппликации с антагонистом СВ1-рецепторов AM251 (1 мкМ) – в данном случае не наблюдалось увеличения частоты и амплитуды МПКП. В отличие от эффектов URB597, действие экзогенного АЭА в концентрации 30 мкМ приводило лишь к значимому возрастанию частоты спонтанной секреции АХ, при этом амплитуда МПКП оставалась неизменной. Аппликация АЭА в меньших концентрациях (1, 5 и 10 мкМ) не вызывало прироста амплитуды и частоты МПКП.

Таким образом, экзогенный АЭА (30 мкМ) и URB597 сходным образом действуют на рост частоты спонтанной секреции, но отличаются по влиянию на амплитуду МПКП. Предположительно, причины таких различий обусловлены накоплением на фоне действия URB597 других эндоканнабиноидов, в норме подвергающихся гидролизу со стороны ФААН, что требует дополнительной проверки.

*Работа поддержана грантом РФФ № 23-25-00065.*



# **МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПРОНЕЙРОТРОФИНА BDNF В РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ МОТОРНЫХ СИНАПСАХ: ВЫЯСНЕННЫЕ АСПЕКТЫ И НЕРАЗГАДАННЫЕ ТАЙНЫ**

***Потапова Д.А., Богачева П.О.***

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, Москва

E-mail: potapovadiana2001@mail.ru

Наша работа была нацелена на изучение механизмов действия пронеуротрофина BDNF (проBDNF) в новообразованных моторных синапсах мышцы. Этот продукт созревания нейротрофина мозга играет важную роль в процессах конкуренции и элиминации синапсов при регенерации и на ранних этапах онтогенеза, однако механизм его действия в новообразованных синапсах еще не до конца изучен.

Исследования проводили на новообразованных в ходе регенерации нерва моторных синапсах m. EDL мышцы. Регистрировали одноквантовые миниатюрные потенциалы концевой пластинки (МПКП) при помощи стандартной микроэлектродной методики.

Действие проBDNF в новообразованных моторных синапсах было направлено на снижение частоты МПКП без изменения их амплитуды. Этот эффект был опосредован активацией TrkB рецепторов и, что удивительно, не требовал участия рецепторов  $\rho 75$ , что было продемонстрировано при помощи антагонистов этих рецепторов, соответственно, циклотраксина В и LM11A31. Снижение частоты МПКП достигалось путем активации калиевых каналов входящего выпрямления GIRK и последующей локальной гиперполяризации мембраны нервной терминали, так как не проявлялось в присутствии блокатора каналов GIRK тертиапина Q. Открытым вопросом оставался механизм активации этих каналов. Предположили, что наряду с взаимодействием пронеуротрофина с TrkB рецепторами и запуском их сигнальных каскадов необходима коактивация метаболитных рецепторов: пуриновых или мускариновых. При использовании антагониста A1 аденозиновых рецепторов DPCPX наблюдали свойственное пронеуротрофину снижение частоты МПКП. Инкубация нервно-мышечного препарата с MR S2211, конкурентным антагонистом P2Y<sub>13</sub> рецепторов, или метоктрамином, антагонистом M<sub>2</sub> метаболитных рецепторов ацетилхолина также не предотвратила действие проBDNF. Поэтому окончательное выяснение механизмов влияния проBDNF на частоту спонтанной секреции в функционально незрелых моторных синапсах требует дальнейших исследований.

*Работа была поддержана грантом РФФ № 22-25-00111.*

# НЕЙРОМОТОРНЫЙ АППАРАТ МЫШЦ ГОЛЕНИ КРЫСЫ В ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПОСЛЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ ТАЗОВЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*Сабилова Д.Э., Федянин А.О., Балтина Т.В., Еремеев А.А.*

Казанский федеральный университет, Казань

E-mail: sabirova.dianka@list.ru

Целью исследования являлась оценка функционального состояния центрального и периферического звеньев нейромоторного аппарата мышц голени крысы в условиях реадaptации к действию силы реакции опоры и осевой нагрузке после моделируемой микрогравитации. Самцов лабораторных крыс весом 190–210 г делили на экспериментальные группы: В - восстановление после микрогравитации ( $n = 23$ ); К – контроль (интактные животные,  $n = 7$ ). Микрогравитацию имитировали методом антиорто-статического вывешивания в течение 35 сут. Затем животных переводили в естественное положение с обычными условиями локомоций. На 1, 3, 7 и 14-е сут реадaptации: в камбаловидной (КМ), икроножной (ИМ) и передней большеберцовой (ПБМ) мышцах регистрировали рефлекторный и моторный ответы, оценивали соответствующие параметры; проводили декремент-тест М-ответа; анализировали сырой и сухой вес мышц.

В 1-е сут восстановительного периода обнаружено снижение рефлекторной возбудимости мотонейронов (МН) спинальных двигательных центров КМ и ПБМ ( $p < 0.05$ ). Повышение рефлекторной возбудимости отмечали на следующих этапах: на 3-и сут реадaptации – для МН КМ ( $p < 0,05$ ); 7-е сут – для МН ПБМ ( $p < 0,05$ ); 7 и 14-е сут – для МН ИМ ( $p < 0,05$ ). Также, на всех исследуемых сроках восстановления обнаружили увеличение длительности регистрируемых ответов КМ ( $p < 0,05$ ), нарушение надежности синаптической передачи во всех изучаемых двигательных системах ( $p < 0,05$ ). Вес мышц к 14-м сут восстановительного периода приближался к уровню контроля, за исключением сухого веса КМ, который оставался сниженным ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, в условиях реадaptации к действию силы реакции опоры и осевой нагрузке после моделируемой микрогравитации наблюдается изменение состояния как центральных, так и периферических структур нейромоторного аппарата мышц голени крысы. Наиболее существенные преобразования обнаружены в познотонической камбаловидной мышце.

*Работа выполнена в рамках программы «Стратегическое академическое лидерство Казанского федерального университета» (ПРИОРИТЕТ-2030).*

## СТРУКТУРА НЕЙРОМЫШЕЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У МЫШЕЙ mdx УЛУЧШАЕТСЯ ПОСЛЕ ТРАНСПЛАНТАЦИИ КОСТНОГО МОЗГА

*Соколова А.В., Михайлов В.М.*

Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург

E-mail: avsookolova@inbox.ru

Мышечная дистрофия Дюшенна (МДД) – одна из наиболее тяжелых и распространенных мышечных дистрофий, при которой нарушен синтез белка дистрофина. Мыши mdx – лабораторная модель МДД. Для поперечнополосатых мышечных волокон (ППМВ) мышей mdx характерно отсутствие дистрофина, высокий уровень гибели и нарушение структуры нейромышечных соединений (НМС), выражающееся в распаде больших кластеров ацетилхолиновых рецепторов (АХРов), имеющих форму ветвей, на мелкие кластеры, имеющие форму островков. Активно исследуется возможность использования стволовых клеток костного мозга (ККМ) для лечения миодистрофии мышей mdx. Ранее нами было показано, что у мышей mdx после облучения в дозе 3 Гр и последующей трансплантации ККМ мышей C57BL/6 увеличивалась доля дистрофин-положительных ППМВ, улучшалась структура и функция НМС. В данной работе мышам mdx проводили внутривенную трансплантацию ККМ мышей СЗНА через сутки после облучения лучами Рентгена в дозе 2 или 3 Гр. После трансплантации животным вводился эндоксан (циклофосфамид) в качестве иммуносупрессора в различных дозировках. Наиболее успешно аллогенная трансплантация прошла в группе мышей mdx, облученных в дозе 3 Гр, которым трансплантировали ККМ мышей СЗНА и дополнительно внутрибрюшинно ввели эндоксан 30 мг/кг на первый и второй день после введения ККМ. В этой группе достоверно по сравнению с контрольными мышами mdx возрастала доля дистрофин-положительных ППМВ с  $0,86 \pm 0,15$  % до  $4,6 \pm 0,5$  %, доля ППМВ, не имеющих центрально расположенных ядер, возрастала с  $11,4 \pm 1,3$  % до  $23,8 \pm 1,6$  %, и снижалась доля погибших ППМВ с  $3,1 \pm 0,6$  % до  $0,7 \pm 0,3$  %. Во всех экспериментальных группах также наблюдалось достоверное увеличение доли НМС, сформированных кластерами АХР в форме ветвей, что характерно для нормальных мышей.

Таким образом, немиелоаблативная трансплантация ККМ мышей СЗНА вызывает у мышей mdx нарастание доли дистрофин-положительных ППМВ, нарастание доли ППМВ без центрально расположенных ядер, а также улучшение структуры НМС.

## **РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ СИНТЕЗА И ДЕГРАДАЦИИ ЭНДОКАННАБИНОИДА 2-АГ В РЕАЛИЗАЦИИ ЕГО ЭФФЕКТОВ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ**

***Тарасова Е.О., Богачева П.О., Балезина О.П.***

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, Москва

E-mail: cate1990@list.ru

Известно, что скелетная мускулатура содержит ферменты синтеза и деградации эндоканнабиноида 2-арахидоноилглицерола (2-АГ). Недавно нами установлено, что экзогенный 2-АГ способен стимулировать рост размеров квантов ацетилхолина (АХ) и, как следствие, увеличивать амплитуду миниатюрных потенциалов концевой пластинки (МПКП) и вызванных потенциалов концевой пластинки (ПКП) в зрелых синапсах диафрагмы и длинного разгибателя пальцев (m.EDL), а также в новообразованных синапсах m.EDL.

В данной работе при помощи стандартной микроэлектродной техники регистрировали МПКП и вызванные электрической стимуляцией ПКП (50 Гц, 1 сек) в изолированных нервно-мышечных препаратах диафрагмы и m.EDL мышей при аппликации ингибитора фермента синтеза 2-АГ (DO34) или ингибитора деградации 2-АГ (JZL 184).

Действие DO34 (1 мкМ) в течение 2 часов не приводило к достоверным сдвигам параметров МПКП в покое. DO34 также не оказывал влияния ни на амплитуду ПКП, ни на другие параметры вызванной секреции АХ в коротких залпах. При изучении спонтанной секреции АХ аппликация JZL 184 (1 мкМ) не вызывала изменений амплитуды и частоты МПКП в покоящихся синапсах по сравнению с контролем. Однако при работе зрелых синапсов диафрагмы и m.EDL в режиме коротких периодических залпов ПКП, в присутствии JZL 184 наблюдался достоверный прирост амплитуды МПКП и ПКП, предотвращавшийся блокадой CB1-рецепторов при помощи AM251 (1мкМ). Аналогичные эффекты DO34 и JZL 184 наблюдались и в новообразованных синапсах m.EDL.

Итак, нами было показано, что подавление синтеза 2-АГ при помощи DO34 никак не сказывается ни на спонтанной, ни на вызванной секреции АХ в моторных синапсах мыши. В то же время, ингибирование ферментативного расщепления 2-АГ в интактных и в новообразованных нервно-мышечных синапсах мышей приводит к проявлению потенцирующего действия эндогенного 2-АГ на секрецию АХ в виде увеличения амплитуды МПКП и ПКП при работе моторных синапсов в режиме коротких ритмических залпов.

*Работа поддержана грантом РФФ № 23-25-00065.*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕДСТВ В КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ М-ОТВЕТА ПРИ СТЕРОИДНОЙ МИОПАТИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ

**Труш В.В.<sup>1</sup>, Соболев В.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Донецкий государственный университет, Донецк

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь

E-mail: ver.trush@yandex.ru

В исследовании на крысах изучали эффективность некоторых метаболитически активных веществ – таурина (ТАУ, 60 мг/кг/сутки),  $\alpha$ -липоевой кислоты ( $\alpha$ -ЛК, 35 мг/кг/сутки) и аргинина (АРГ, 100 мг/кг/сутки) – в компенсации эффектов дексаметазона (ДМ, 0,25 мг/кг, 1 раз в 2 суток, на протяжении 10, 30 и 60 дней – 10ДМ-, 30ДМ- и 60ДМ-группы) на параметры М-ответа m. tibialis anterior.

Спустя первые 10 дней введения ДМ наблюдалось ( $p < 0,05$  относительно контроля) укорочение латентного периода М-ответа (на 12 %) на фоне нормальных его амплитуды и длительности, спустя 30 дней введения ДМ – удлинение его латентного периода (на 19 %) и уменьшение амплитуды (на 37 %) на фоне неизменной длительности, у 40 % особей регистрировались полифазные потенциалы сниженной амплитуды. По окончании 2-месячного периода введения ДМ латентный период и амплитуда М-ответов нормализовывались, тогда как их длительность существенно увеличивалась (на 52 %,  $p < 0,05$  относительно контроля), что на фоне уменьшенных ( $p < 0,05$  относительно контроля) массы мышцы (на 8 %) и количества активируемых двигательных единиц (ДЕ, на 40 %) свидетельствует в пользу возможного увеличения площади ДЕ мышцы.

Все используемые средства предотвратили типичное для 30ДМ-группы уменьшение амплитуды и удлинение латентного периода М-ответов. Отсутствие же типичного для 60ДМ-группы увеличения длительности М-ответов отмечалось только в случае комплексного применения ДМ с антиоксидантами (ТАУ или  $\alpha$ -ЛК), тогда как в ДМ+АРГ-группе спустя 30–60 дней введения препаратов сохранялось удлинение М-волны (на 38–35 % соответственно,  $p < 0,05$  относительно контроля) на фоне нормальной их амплитуды, что на фоне нормальной массы мышцы и количества активируемых ДЕ косвенно указывает в пользу нейропатических изменений, которые в ДМ-группах, по всей видимости, маскировались выраженными миопатическими нарушениями.

## **ЭНДОКАННАБИНОИДНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МОЖЕТ ТРЕБОВАТЬ УЧАСТИЯ БЕТА-АРРЕСТИНА-2**

**Чернышев К.А., Богачева П.О., Балезина О.П.**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: cherkir2000@yandex.ru

Эндоканнабиноидная регуляция играет важную роль, как в центральной, так и в периферической нервной системе, где регулирует синаптическую передачу, пластичность и нейрогенез. В моторных синапсах позвоночных животных сигналинг в рамках этой системы осуществляют 2-арахидоноилглицерин (2-АГ) и арахидоноилэтаноламид (анандамид или АЭА). Это ретроградные мессенджеры, которые синтезируются в нервных, глиальных или мышечных постсинаптических клетках «по требованию», в ответ на деполяризацию, из фосфолипидов клеточной мембраны. Механизмы сигналинга эндоканнабиноидной системы сейчас активно изучаются и являются предметом данного исследования.

В данной работе исследовали влияние 2-АГ и АЭА на параметры спонтанных миниатюрных и вызванных стимуляцией нерва потенциалов концевой пластинки (МПКП и ПКП) в зрелых моторных синапсах мышцы с использованием стандартного микроэлектродного метода отведения биопотенциалов.

Применение экзогенного 2-АГ увеличивало амплитуду МПКП за счет увеличения размера кванта медиатора. Это сопровождалось и увеличением амплитуды ПКП. Применение экзогенного АЭА также увеличивало амплитуду ПКП, но не за счет увеличения размера кванта, а за счет повышения количества секретируемых квантов. Эффекты обоих эндоканнабиноидов полностью предотвращались в присутствии обратного агониста каннабиноидных рецепторов СВ1 типа AM251, и антагониста этих рецепторов AM6545, показывая специфичность их рецепторного действия. Используя мышей с нокаутом по гену бета-аррестина-2, мы наблюдали отсутствие прироста амплитуды МПКП и ПКП под действием 2-АГ. Однако эффект АЭА, приводящий к увеличению квантового состава ПКП, у таких мышей сохранялся.

Таким образом, нами были обнаружены новые аспекты сигналинга эндоканнабиноидной системы в зрелых моторных синапсах: 2-АГ и АЭА реализуют свои эффекты путем активации СВ1 рецепторов, но для проявления влияния 2-АГ необходимо также участие бета-аррестина-2.

*Работа поддержана грантом РФФ № 23-25-00065.*

**ГЕНОМНЫЕ И ПРОТЕОМНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ**





# КАК МЫШЦЫ СТАНОВЯТСЯ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ И ФОРМИРУЮТ ТОЧКИ ПРИКРЕПЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

**Адамейко И.И.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Karolinska Institute, Sweden

<sup>2</sup>Vienna Medical University, Austria

E-mail: extreme.biology.lab@gmail.com

Формирование ориентированных миофибрилл является ключевым событием в развитии скелетно-мышечной системы. Однако механизмы, которые управляют ориентацией и слиянием миоцитов для контроля направленности мышц у взрослых, практически неизвестны. В нашей работе мы показали, что развивающийся скелет инструктирует направленный рост скелетных мышц и других мягких тканей во время морфогенеза конечностей и лица у рыбок данио и мышей. Покадровая живая визуализация показывает, что на ранних стадиях черепно-лицевого развития миобласты конденсируются в круглые скопления, соответствующие будущим группам мышц. Эти кластеры подвергаются ориентированному растяжению и выравниванию во время эмбрионального роста. Генетические нарушения структуры или размера хряща влияют на направленность и количество миофибрилл *in vivo*. Лазерная абляция точек прикрепления скелетно-мышечной системы выявляет напряжение, вызванное расширением хряща на формирующиеся миофибриллы. Применение постоянного напряжения с использованием искусственных точек прикрепления или растягивающихся мембранных субстратов достаточно, чтобы вызвать поляризацию популяций миоцитов *in vitro*. Таким образом, нами описан биомеханический механизм управления, который потенциально полезен для разработки функциональных скелетных мышц.

# ОТ ОМИКСНЫХ ДАННЫХ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕГУЛЯТОРНЫХ ВАРИАНТОВ - ГЕНЕТИЧЕСКИХ ДЕТЕРМИНАНТ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Буян А.И.<sup>1</sup>, Мещеряков Г.А.<sup>2</sup>, Кулаковский И.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт белка РАН, Пушкино

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Казань

E-mail: ivan.kulakovskiy@gmail.com

Сегодня как никогда высок интерес к генетической природе заболеваний. Благодаря доступности результатов крупномасштабных исследований генетических ассоциаций и функциональных карт генома человека стало понятно, что множество генетических вариантов, связанных с предрасположенностью к заболеваниям или их осложненным течением, не локализуется в кодирующих областях генов. Варианты в некодирующих областях не могут напрямую влиять на последовательность гена и, в свою очередь, структуру и функцию белков. Однако, они могут изменять активность гена в различных типах клеток при различных условиях, в процессе эмбрионального развития или в тканях взрослого организма. Особый интерес представляют однонуклеотидные варианты в цис-регуляторных районах генов, промоторах и энхансерах, напрямую влияющие на аффинность связывания белков-факторов транскрипции, и таким образом, модулирующие экспрессию генов, в том числе, ассоциированных с различными патологиями человека. Идентификация таких вариантов и интерпретация задействованных молекулярных механизмов становится возможной с использованием современных омиксных методов и биоинформатических подходов. В докладе пойдет речь о регуляторных вариантах как феномене и о возможности изучать активность генов в зависимости от аллеля, используя омиксные данные и информацию, естественным образом предоставленную диплоидным геномом человека. Мы также разберем конкретные примеры механизмов, объясняющих ассоциацию регуляторных вариантов с патологиями, связанными с мышечными клетками.

*Работа поддержана грантами РФФ № 20-74-10075 и Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2021-601.*

# РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ СОНИ-ПОЛЧКА ВО ВРЕМЯ ЗИМНЕЙ СПЯЧКИ

*Газизова Г.Р.<sup>1</sup>, Девятяров Р.М.<sup>1</sup>, Комиссаров А.С.<sup>2</sup>, Тяпкина О.В.<sup>3</sup>, Гусев О.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, Казань

<sup>2</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

E-mail: grgazizova@gmail.com

Атрофия скелетных мышц по причине их неиспользования до сих пор остается актуальной проблемой при различных состояниях, связанных с продолжительной иммобилизацией конечностей или микрогравитацией. Среди млекопитающих давно известны представители, которые, оставаясь долгое время обездвиженными, демонстрируют крайне низкую степень атрофии скелетных мышц, или она у них полностью отсутствует. Такие животные обладают уникальной способностью впадать в зимнюю спячку, тем самым переживая неблагоприятные условия окружающей среды, и являются удобной моделью для изучения механизмов, защищающих скелетные мышцы от потери ими массы и силы во время длительных периодов иммобилизации. В данной работе было проведено исследование реакции скелетных мышц в ответ на их продолжительное неиспользование во время зимней спячки сони-полчка (*Glis glis*) на уровне экспрессии мРНК и геномных регуляторных элементов (энхансеров и промоторов).

Были изучены два типа мышц («медленная» *m. soleus* и «быстрая» *m. EDL*) в двух группах животных: активных и находящихся в торпидном состоянии в течение 14 дней. Из образцов мышц была выделена тотальная РНК, которая была использована для подготовки библиотек для секвенирования по классическому методу RNA-seq и по методу CAGE-seq, позволяющему определить сайты начала транскрипции (TSS). Для адекватного анализа экспрессии генов и активности геномных регуляторных элементов была произведена сборка и аннотация генома сони-полчка. В результате исследования были определены ключевые регуляторы, принимающие участие в поддержании мышечного гомеостаза во время зимней спячки у сонь-полчков. Дальнейшая работа в данном направлении позволит глубже понять механизмы резистентности зимнеспящих животных к атрофии скелетных мышц и возможность их применения к другим организмам.

*Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки К(П)ФУ в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.*

## **КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСКРИПТОМА (RNA-Seq/scRNA-Seq) И МЕТАБОЛИЗМА МЫШЕЧНЫХ КЛЕТОК ВЫЯВИЛ НАРУШЕНИЯ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С МУТАЦИЕЙ LMNA-R482L**

***Иванова О.А., Игнатьева Е.В., Сорокина М.Ю., Костарева А.А., Дмитриева Р.И.***

ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, НЦМУ «Центр персонализированной медицины»

E-mail: renata.i.dmitrieva@gmail.com

В исследовании выявлены клинически значимые изменения в миобластах, несущих мутацию в гене LMNA, ассоциированную с семейной парциальной липодистрофией Даннигана второго типа (FPLD2). Данные были получены с использованием генетически модифицированной линии миобластов мышцы C2C12: было выполнено секвенирование транскриптома (RNA-Seq) и секвенирование транскриптома одноклеточных клеток (scRNA-Seq), а также ряд функциональных экспериментов, направленных на изучение метаболизма пролиферирующих миобластов и метаболического ре-программирования в ходе мышечной дифференцировки. Полученные результаты расширяют наши знания о молекулярных механизмах развития осложнений со стороны скелетной мускулатуры, ассоциированных с мутацией LMNA-R482L, и позволяют предложить новые подходы к профилактике и лечению этих осложнений.

Нами было показано: (1) транскрипционное разнообразие культивируемых *in vitro* миобластов C2C12 указывает на то, что миобласты «специализируются» для выполнения различных функций в составе мышечного волокна на ранних стадиях дифференцировки независимо от внешних физиологических стимулов; (2) существенные нарушения в регуляции гликолиза, обусловленные мутацией LMNA-R482L, нарушают баланс между катаболическими процессами, необходимыми для синтеза АТФ, нуклеотидов, белков и фосфолипидов, что может сопровождаться дегенеративным изменениям скелетных мышц у пациентов с FPLD2; (3) LMNA-R482L – индуцированные изменения в молекулярных механизмах, которые контролируют метаболизм и развитие скелетных мышц, связаны, по крайней мере частично, с тяжелыми метаболическими дефектами, клеточным стрессом и нарушением регуляции в механизмах, которые контролируют накопление и/или удаление активных форм кислорода.

# **ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕКВЕНИРОВАНИЯ РНК ОДИНОЧНЫХ КЛЕТОК, ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

***Гайнуллина А.Н.***

Life Improvement by Future Technologies (LIFT) Center, Skolkovo, 143025  
Moscow, Russia

E-mail: [anastasiia.gainullina@gmail.com](mailto:anastasiia.gainullina@gmail.com)

Секвенирование РНК одиночных клеток (scRNA-seq) произвело революцию в области изучения экспрессии генов, позволив углубиться в исследование тканей на уровне отдельных клеток. Получая представление об экспрессии генов в отдельных клетках, можно изучать гетерогенность ткани, а также обнаруживать в ней ранее неизвестные клеточные субпопуляции, идентифицируя тонкие вариации фенотипа и новые специализированные функции.

Первым этапом в процессе освоения данных scRNA-seq является их обработка, от которой зависит качество последующего анализа и надежность финальных интерпретаций. Непосредственно анализ данных scRNA-seq включает в себя большое разнообразие постоянно развивающихся и совершенствующихся вычислительных методов. Среди наиболее популярных подходов можно выделить такие, как кластеризация клеточных типов, анализ дифференциальной экспрессии, построение траекторий развития и реконструкция сетей взаимодействия (регуляторных, белок-белковых, метаболических и так далее). Выявляя специфические профили экспрессии генов, связанные с различными субпопуляциями клеток, scRNA-seq облегчает выбор новых маркеров, которые могут служить определяющими характеристиками этих клеток. Эта информация имеет неограниченное значение для таких последующих применений, как сортировка клеток и целевые функциональные анализы.

Таким образом, секвенирование РНК одиночных клеток – это мощный инструмент для изучения клеточного разнообразия, выявления новых субпопуляций, сравнения типов клеток, выбора маркерных генов и отслеживания дифференцировки клеток. В совокупности такой анализ открывает путь к более глубокому пониманию биологических систем, механизмов заболеваний и, как следствие, к потенциальному открытию новых терапевтических целей и персонализированной медицине.

# **ВЛИЯНИЕ 3-НЕДЕЛЬНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ НА ТРАНСКРИПТОМ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

**Курочкина Н.С., Жедяев Р.Ю., Махновский П.А., Вепхвадзе Т.Ф., Леднев Е.М.**

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: nadia\_sk@mail.ru

Длительное снижение двигательной активности, в т. ч. пребывание в условиях микрогравитации, снижает содержание митохондрий, размер мышечных волокон и функциональные возможности скелетных мышц; при этом изменения, происходящие в мышцах с различными функциональными возможностями, могут значительно различаться. Цель исследования – изучить изменения транскриптомного профиля в *m. vastus lateralis* и *m. soleus* после 20-суточной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) и сопоставить эти изменения с изменениями силовых возможностей мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава.

У 12 молодых мужчин брали пробы ткани из *m. vastus lateralis* и *m. soleus* за 14 суток до и на 20-е сутки АНОГ для оценки изменений транскриптомного профиля методом РНК-секвенирования. До АНОГ и через 21 сутки пребывания в АНОГ оценивали максимальную произвольную силу и аэробную работоспособность мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава.

АНОГ вызвала сопоставимое снижение максимальной произвольной силы мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава (на 7 %) и снижение выносливости только мышц-разгибателей голени (на 12 %). Транскриптомные профили изучаемых мышц до начала эксперимента сильно различались. В *m. vastus lat.* относительно *m. soleus* отмечалось снижение экспрессии мРНК, кодирующих белки митохондрий и повышение экспрессии мРНК ряда мембранных и регуляторных белков. Пребывание в АНОГ привело к выраженным изменениям транскриптомного профиля *m. soleus* (повышение экспрессии мРНК, ассоциированных с иммунным ответом, снижение экспрессии мРНК митохондриальных и мембранных белков). Изменения экспрессии генов в *m. vastus lat.*, оказались значительно менее выраженными.

Таким образом, было показано, что 3-недельное снижение двигательной активности оказало более выраженное влияние на функциональные возможности мышц голени и экспрессию генов в «медленной» *m. soleus*, чем в «смешанной» *m. vastus lateralis*.

*Работа поддержана грантом РФФ № 24-15-00456.*

# НОКАУТ ГЕНОВ HSP70 СНИЖАЕТ СКОРОСТЬ ЛОКОМОЦИЙ И ЗНАЧИТЕЛЬНО ИЗМЕНЯЕТ ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ НОГ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*Махновский П.А.<sup>1</sup>, Кукушкина И.В.<sup>2</sup>, Курочкина Н.С.<sup>1</sup>, Попов Д.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: maxpuel@gmail.com

Функции генов белков теплового шока Hsp70 изучали на линии *D. melanogaster* с нокаутом шести из тринадцати генов этого семейства. А именно, исследовали влияние нокаута генов Hsp70 (Hsp70<sup>-</sup>) на скорость локомоций мух при отрицательном геотаксисе (скорость бега вверх) и их способность адаптироваться к тренировкам (1,5 часа в день, 7 дней в неделю, 3 недели).

Семи- и 23-дневные мухи Hsp70<sup>-</sup> продемонстрировали сопоставимое снижение (в 2 раза) скорости локомоций и масштабные изменения транскриптома скелетных мышц ног (RNA-seq) по сравнению с мухами w1118. Для выявления функций генов, связанных со снижением скорости локомоций, были проанализированы общие для двух возрастов дифференциально экспрессируемые гены: гены с повышенным уровнем экспрессии кодировали внеклеточные белки, регуляторы метаболизма ксенобактерицидов и антиоксидантного метаболизма, тогда как гены с пониженной экспрессией кодировали регуляторы углеводного обмена и трансмембранные белки. С помощью метода позиционных весовых матриц для мух Hsp70<sup>-</sup> была предсказана активация транскрипционных факторов, связанных с нарушением структуры фибрилл и реакцией на тепловой шок (Hsf). У контрольных мух адаптация к регулярным тренировкам была связана главным образом с реакцией генов на однократное упражнение, в то время как предсказанные факторы транскрипции были связаны со стрессором/иммунным (Hsf, NF-κB и т. д.) и ранним генным ответом. Напротив, мухи Hsp70<sup>-</sup> не продемонстрировали никакой адаптации к тренировкам (не увеличили скорость локомоций); более того, их транскриптомный ответ генов на однократное упражнение был значительно подавлен.

В заключение, нокаут генов Hsp70 не только снижает физическую работоспособность, но и нарушает адаптацию к регулярным физическим тренировкам, что связано с изменениями в транскриптоме скелетных мышц ног и нарушением ответа генов на физическую сократительную активность.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 21-15-00405.*

# ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПРОФИЛЕЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА

**Низамов Ш.Р., Газизова Г.Р., Шагимарданова Е.И., Гусев О.А.,  
Девятняров Р.М.**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, Казань

E-mail: nizamov.1999@gmail.com

Мышечная система человека и других млекопитающих характеризуется высоким разнообразием типов скелетных мышц: они различаются по иннервации, составу волокон, происхождению в эмбриогенезе и устойчивости к заболеваниям. Мышечные дистрофии представляют собой группу дегенеративных заболеваний мышц, характеризующуюся прогрессирующей мышечной слабостью и патологическими дистрофическими изменениями (Mercuri et al., 2019). Но не все мышцы восприимчивы к мышечным заболеваниям, например, экстраокулярные мышцы не теряют своей функции при мышечной дистрофии Дюшенна (Stuelsatz et al., 2015). Молекулярные механизмы данного феномена остаются неизвестными.

Цель исследования: изучение особенностей экспрессии генов и механизмов ее регуляции в скелетных мышцах человека для лучшего понимания патологических процессов и определения молекулярных мишеней для разработки методов лечения мышечных заболеваний.

Образцы тотальной РНК использовали для подготовки библиотек *Cage-seq* и дальнейшего секвенирования на платформе Illumina. Анализ данных секвенирования включал: выравнивание с помощью *bwa+hisat2* на геномную сборку GRCh38, кластеризацию с экспрессией  $>10$  TPM как минимум в одном образце (расстояние между ближайшими сайтами инициации транскрипции *CAGE* не более 20 п.о.) (Kuono et al., 2019), аннотацию кластеров в пределах  $\pm 500$  п. о. от начала транскрипта (Deviatiarov et al., 2023), анализ дифференциальной экспрессии в пакете *edgeR* для R.

Количество активных точек инициации транскрипции в мышцах варьирует от 12000 до 17000, количество генов – 12438. 14231 *CAGE*-пик был аннотирован как промотор или ассоциированный с ним. Мышцы были разделены на группы согласно профилю экспрессии. Наиболее выраженным было отличие языка и глазных мышц от всех остальных – в них была отмечена высокая активность таких генов-маркеров, как *LMNA*, *TUBB3*, *TUBB4B*, *LUM*, *PEG3*, *MYH13*, *APOD* и др.

Анализ дифференциальной экспрессии подтвердил наличие функциональных различий между группами мышц, выявив от 10 до 35 специфических генов для каждой группы. Полученные данные об активных регуляторных элементах будут использованы в создании атласа транскрибируемых регуляторных элементов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2021-601).*



## **ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ**

***Обвинцева О.В., Еримбетов К.Т.***

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Боровск Калужской обл.

E-mail: obvintseva.olga@yandex.ru

Скелетные мышцы относятся к динамичным и пластичным тканям, которая способна изменять свой собственный размер или силу под воздействием различных факторов. Известно несколько мышечных дистрофических расстройств, но разработка методов их лечения находится на ранней стадии. Мышечная дисфункция встречается не только у пациентов с дистрофией, но и в процессе старения происходит постепенная потеря мышечной функции, что оказывает негативное воздействие на здоровье, увеличивая риск падений и повреждений, потерю подвижности и независимости.

*Цель.* Изучить возрастные особенности морфометрических и биохимических характеристик скелетных мышц в эксперименте.

*Материал и методы.* Эксперименты были проведены на лабораторных животных (свиньях) в постнатальный период онтогенеза (с 1 до 220 суточный возраст). Изучали особенности биохимических характеристик скелетных мышц с помощью изотопов  $^{15}\text{N}$ -глицин и  $^{14}\text{C}$ -лейцин. С помощью методов гистологии и цитохимии, морфометрии оказалось возможным анализировать гистоархитектонику ткани.

*Результаты.* Результаты исследований показали, что повышение скорости обновления мышечных белков имеет место только в первые дни жизни, поскольку на последующих этапах онтогенеза эффективность их синтеза снижается (интенсивность включения  $^{14}\text{C}$ -лейцина в белки снижается на 70 %). Интенсивность синтеза белков в молодом возрасте выше, чем скорость их деградации. В раннем возрасте процессы синтеза преобладают над деградацией, разница между ними более заметна и составляет долю аккреции белков. Далее эта разница сокращается, и у взрослого процессы синтеза и деградации приходят в равновесие. С 1 по 105 суточный возраст масса мышц, диаметр мышечного волокна, общее число ядер увеличивается в 44, 5, 200 раз соответственно. Аналогичные изменения отмечены по площади поперечного сечения волокон, их количеству в первичном мышечном пучке, соотношению разных типов волокон.

*Заключение.* В ближайшей перспективе на основе функциональной геномики, метаболомики и протеомики появляется возможность раскрыть потери мышечной функции и оценить влияния на этот процесс экспрессии генов, синтеза белков и регуляции метаболизма.

# **ВЛИЯНИЕ 3 НЕДЕЛЬ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ НА ЭКСПРЕССИЮ ВЫСОКОПРЕДСТАВЛЕННЫХ БЕЛКОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

**Орлова М.А.<sup>1</sup>, Жедяев Р.Ю.<sup>1</sup>, Вавилов Н.Э.<sup>2</sup>, Леднев Е.М.<sup>1</sup>, Вепхвадзе Т.Ф.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича, Москва

E-mail: meera.orlova@gmail.com

Длительная антиортоstaticкая гипокинезия (АНОГ) негативно влияет на функциональные возможности (сила и выносливость) скелетных мышц (прежде всего, мышц ног). Эти эффекты могут значительно различаться в мышцах с различными функциональными возможностями (например, в «смешанной» *m. vastus lateralis* и «медленной» *m. soleus*). Цель исследования – изучить изменения содержания белков в *m. vastus lateralis* и *m. soleus* после 20-суточной АНОГ и сопоставить эти изменения с изменениями функции митохондрий и силовых возможностей мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава.

Пробы из *m. vastus lateralis* и *m. soleus* брали у 12 молодых мужчин за 14 дней до и после 20 суток пребывания в АНОГ для оценки дыхания митохондрий в пермеабиллизированных мышечных волокнах (полярграфия) и содержания высокопредставленных мышечных белков (протеомный профиль; панорамная количественная (с использованием изобарической изотопной метки) масс-спектрометрия). До и через 21 сутки пребывания в АНОГ оценивали максимальную произвольную силу и аэробную работоспособность (выносливость) мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава.

АНОГ вызвала сопоставимое для обеих мышц снижение максимального АДФ-стимулированного и разобщенного дыхания митохондрий (на 40 %), а также максимальной произвольной силы мышц-разгибателей коленного и сгибателей голеностопного сустава (на 7 %). При этом снижение аэробной работоспособности (на 12 %) было найдено только для мышц-сгибателей голеностопного сустава.

В результате протеомного анализа было детектировано 1844 белка, представленных во всех анализируемых пробах. Как и ожидалось, до АНОГ протеомный профиль исследуемых мышц значительно различался (более 300 белков). АНОГ вызвала относительно небольшие изменения протеомного профиля: 169 и 126 белков в *m. vastus lateralis* и *m. soleus*, соответственно. В докладе обсуждаются различия в биологических функциях белков, изменивших экспрессию.

*Работа поддержана грантом РФФ № 24-15-00456.*

# **ПОИСК ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ТРАНСКРИПТОМ В РАЗНЫХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СНИЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ**

**Попов Д.В.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: danil-popov@yandex.ru

Резкое снижение двигательной активности оказывает негативное влияние на функции скелетных мышц и на организм в целом. Изменения в скелетных мышцах связаны с масштабными изменениями в экспрессии генов; при этом механизмы, регулирующие эти изменения (в частности, транскрипционные факторы), изучены явно недостаточно.

В докладе обсуждается влияние резкого снижения двигательной активности (6-суточная «сухая» иммерсия) на изменения транскриптомного профиля (RNA-seq) «медленной» *m. soleus* – основной постуральной мышцы, и «смешанной» *m. vastus lateralis*. В базальном состоянии экспрессия генов значительно различается между этими мышцами (~1500 мРНК). После иммерсии в *m. soleus* происходят значительно более выраженные изменения транскриптома (562 мРНК увеличили и 996 мРНК снизили экспрессию), чем в *m. vastus lateralis* (209 мРНК увеличили и 392 мРНК снизили экспрессию).

Среди генов, изменивших экспрессию, были выделены кластеры со сходным экспрессионным профилем – предположительно, корегулируемые гены. Поиск транскрипционных факторов, ассоциированных с изменением экспрессии, проводили для каждого кластера методом позиционных весовых матриц. Для этого искали мотивы связывания транскрипционных факторов в индивидуальном для каждого гена промоторном регионе – открытый хроматин вокруг старта инициации транскрипции по данным ATAC-seq, DNase-seq и CAGE-seq.

Предложенный нами подход позволил выявить группы коэкспрессируемых генов и несколько десятков транскрипционных факторов, ассоциированных с разнонаправленными изменениями экспрессии генов в них. Часть из этих транскрипционных факторов выделены как потенциальные мишени для предотвращения негативного влияния гипокинезии на функции скелетных мышц. Значимость этих факторов для развития указанных негативных эффектов требует дальнейшей проверки в модельных исследованиях с подавлением/увеличением экспрессии генов на клетках и/или животных.

*При поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-298 от 18.04.2022 г.*

# ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ НА СВОЙСТВА ФИБРО-АДИПОГЕННЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ СКЕЛЕТНОЙ МУСКУЛАТУРЫ

*Сорокина М.Ю., Дмитриева Р.И.*

ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург

E-mail: sorokinamy96@yandex.ru

*Введение.* Поддержание регенеративного потенциала мышечной ткани обеспечивается совместной работой сателлитных клеток (MuSCs) и фибро-адипогенных предшественников (FAPs), которые обеспечивают трофическую поддержку сателлитным клеткам. Поведение MuSCs и FAPs при ранении, мышечной дистрофии Дюшенна описано хорошо, сведения о влиянии функциональной разгрузки здоровой мышцы на свойства FAPs ограничены.

*Цель исследования.* Оценить влияние функциональной разгрузки на метаболические и пролиферативные свойства FAPs.

*Материалы и методы.* В исследовании была использована модель функциональной разгрузки задних конечностей крыс в течение 7 и 14 дней (HS7 и HS14). Из контрольных (Contr) и разгруженных m. soleus были выделены FAPs и выведены в культуру. Адипогенез индуцировался in vitro заменой ростовой среды на дифференцировочную (IBMX/Insulin/Rosiglitazone). Анализ клеточного метаболизма проводили с использованием технологии Seahorse. Из недифференцированных FAPs и клеток на 3 день жировой дифференцировки выделяли РНК для подготовки библиотек и последующего транскриптомного анализа. Пролиферативный потенциал FAPs оценивался с помощью теста на застание раны. Анализ проводили: (i) на недифференцированных FAPs; (ii) на C2C12 при сокультивировании с FAPs; (iii) на C2C12, под воздействием FAPs-кондиционированной среды.

*Результаты и выводы.* Функциональная разгрузка существенно влияет на свойства FAPs. HS7/HS14 FAPs показали снижение адипогенного потенциала, пролиферативная активность в образцах HS14 была повышена. В образцах HS7/HS14 активность митохондриальной системы окислительного фосфорилирования (OXPHOS) была снижена по сравнению с контролем. Транскриптомный анализ подтвердил результаты функциональных экспериментов, а также показал подавление PPAR $\gamma$  сигнального пути и снижение экспрессии основных переносчиков жирных кислот. HS14 воздействие приводило к увеличению скорости застания раны при сокультивировании C2C12 и FAPs, а также C2C12 под FAPs-кондиционированной средой.

## **НАРУШЕНИЯ РАННЕГО ФОСФОПРОТЕОМНОГО ОТВЕТА НА ПРИЕМ ПИЩИ В СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЕ ПРИ ОЖИРЕНИИ И САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 2 ТИПА**

**Якупова Э.И.<sup>1</sup>, Томилова А.О.<sup>2</sup>, Леднев Е.М.<sup>1</sup>, Попов Д.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>НМИЦ эндокринологии Минздрава России, Москва

E-mail: yakupova.mira@mail.ru

Сахарным диабетом 2-го типа (СД2Т) страдают более 6 % людей в мире; с этим заболеванием ежегодно связано более 1 миллиона смертей. Нарушение инсулиновой чувствительности скелетных мышц (связанное с дефектами канонического инсулинового каскада), играет ключевую роль в патогенезе ожирения и СД2Т; при этом нарушения других инсулинозависимых сигнальных путей остаются малоизученными. Цель работы – сравнить ранний фосфопротеомный ответ на прием пищи в скелетной мышце здоровых людей и людей с ожирением и СД2Т.

В исследовании приняло участие 8 здоровых человек с индексом массы тела (ИМТ) ~23 кг/м<sup>2</sup> (норма 18,5–25 кг/м<sup>2</sup>), и 8 пациентов с ожирением и СД2Т (ИМТ ~40 кг/м<sup>2</sup>). Пробы венозной крови и биопсию из *m. vastus lateralis* брали натощак до и через 1 ч после приема смешанной пищи (25 кДж/кг массы тела). В пробах крови определяли содержание глюкозы и С-пептида (маркер секреции инсулина). В пробах скелетной мышцы определяли фосфорилирование различных белков при помощи метода количественного (с использованием изобарической метки) фосфопротеомного масс-спектрометрического анализа.

Как и ожидалось, у пациентов, в отличие от здоровых добровольцев, прием пищи вызвал увеличение содержания глюкозы в крови, при сопоставимом приросте С-пептида, что свидетельствует о выраженных нарушениях углеводного обмена. В контрольной группе наблюдалось изменение уровня фосфорилирования белков канонического инсулинового каскада, а также других сигнальных путей. У пациентов были найдены изменения фосфопротеомного ответа на прием пищи, преимущественно вне канонического инсулинового каскада.

Таким образом, было показано, что у пациентов с ожирением и СД2Т при приеме пищи, нормированной на массу тела, наблюдается сопоставимый прирост С-пептида в крови и нарушения в фосфорилировании ряда сигнальных белков в скелетной мышце.

*Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда № 21-75-10146.*



**МОЛЕКУЛЯРНАЯ  
ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЕЧНОГО  
СОКРАЩЕНИЯ И МЫШЕЧНОЙ  
ПЛАСТИЧНОСТИ**





# **DESMIN INTERMEDIATE FILAMENTS COUPLE MUSCLE STRUCTURAL INTEGRITY TO ITS METABOLIC CAPACITY**

***Shenhav Cohen***  
***Technion, Haifa, Israel***

E-mail: shenhavc@technion.ac.il

Desmin intermediate filaments link the contractile myofibrils to the sarcolemma and cellular organelles, contributing to muscle structural and cellular integrity. This cytoskeletal network abuts the plasma membrane at costameres, discrete areas containing the fundamental structural module in muscle, dystrophin glycoprotein complex (DGC). Here, we show by tandem native protein complex purification approach, super-resolution STED microscopy, and Proximity Ligation Assay that the DGC is structurally and functionally linked to the insulin receptor via the desmosomal component plakoglobin (gamma-catenin). The integrity of this high-molecular-mass assembly renders skeletal muscle susceptibility to insulin because DGC-insulin receptor dissociation by plakoglobin downregulation reduces insulin signaling, and causes desmin loss and atrophy. Furthermore, low insulin receptor activity in muscles from diabetic, dystrophic, aged, or fasted mice decreases desmin-plakoglobin-DGC-insulin receptor content, but not when plakoglobin is overexpressed. Consequently, plakoglobin seems to preserve muscle structure, size, and metabolic capacity by maintaining the integrity of DGC-insulin receptor co-assemblies and the bound desmin filaments. Our findings imply plakoglobin as a structural sensor, enabling muscle to respond to external signals.

# MOLECULAR LESSONS FROM MICROGRAVITY ON THE EARLY WINDOW OF OPPORTUNITY TO COUNTERACT WASTING ON MUSCLE MASS WITH DISUSE

**Martin Flück**

University of Fribourg, Section de médecine, Heart repair & regeneration laboratory, Chemin du Musée 5, University of Fribourg, 1700 Fribourg, Switzerland

E-mail: martin.flueck@unifr.ch

Wasting of muscle material and metabolic reserves, and failure to recover the lost capacity are a major problem for subjects being exposed to real and simulated microgravity under concomitant inactivity. If untreated, the ensuing loss of contractile ability can persist for month even after return to normal gravitational loading and physical activity. This necessitates disproportionate efforts to treat frailty and co-morbidities (such as insulin resistance, cardiovascular deconditioning) that arise as secondary consequence.

Molecular alterations of regulatory and structural aspects of muscle cell functioning and the associated neuronal and vascular bed early on underpin the loss of contractile and metabolic functioning that becomes manifest macroscopically beyond few days of disuse. Physiological and pharmacological interventions that trigger mechano- and metabolo-dependent biochemical pathways mitigate the initiation of catabolic reactions in disused muscle by blocking aspects of the degenerative process. This includes the inhibition of catabolic reactions under concomitant stimulation of anabolic processes, to delay the ensuing transformation process of muscle fibers (types) over the first days of disuse which is accompanied by the regression of capillary and motoneuronal structures. Examples of which include the block of calpain-mediated proteolysis of focal adhesions and connected myofibrillar structures, nutraceuticals to prevent disintegration of mitochondria and electrostimulation/agents to promote blood borne delivery of O<sub>2</sub> and amino acids to muscle fibers via NO-mediated vasodilatation. Measures against muscle disuse should early on tackle the drop in adenylate energy charge and enhance protein synthesis rates in order to compensate for the initiated autophagy all of which is fiber type specific. Untacked beyond the first week, such as in severe clinical cases, disused muscle inevitably transforms into a tissue with irreversibly lower contractile ability.

# BRIDGING EM AND X-RAY DIFFRACTION IN STRUCTURAL STUDIES OF RELAXED STRIATED MUSCLE

***Natalia A. Koubassova<sup>1</sup>, Andrey K. Tsaturyan<sup>2</sup>, Raúl Padrón<sup>3</sup>,  
Roger Craig<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Institute of Mechanics, Moscow University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Department of Physiology and Pharmacology, Sackler Faculty of Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

<sup>3</sup>Division of Cell Biology and Imaging, Department of Radiology, University of Massachusetts, Chan Medical School, Worcester, Massachusetts, USA

E-mail: andrey.tsaturyan@gmail.com

Electron microscopy (EM) and low-angle X-ray diffraction are the main experimental techniques used for studying muscle structure for 7 decades. Both techniques have their advantages and limitations. Recent cryo-EM studies revealed the structure of the thin (actin-based) and thick (myosin-based) filaments of relaxed striated muscle at a near-atomic resolution, while X-ray diffraction studies on the modern synchrotron radiation sources provided structural information from muscle in situ and in vivo at a millisecond time scale in various physiological states. The use of cryo-EM-derived atomic structures for modeling the X-ray diffraction data allows one to validate structure preservation in cryo-EM samples and improve interpretation of the X-ray diffraction data. This approach was used to check the quality of a model of the thick filaments in relaxed tarantula muscle where the two heads of a myosin molecule fold into an interacting-heads motif (IHM) and interact with neighbor IHMs forming a 4-strand helical structure with a ~43.5 nm axial repeat (Alamo et al., *Biophys Rev*, 2017; doi: 10.1007/s12551-017-0295-1). A 2-nm-resolution cryo-EM structure of thick filaments of tarantula muscles was used to model X-ray diffraction data from ex vivo and in situ tarantula muscle in different physiological states (Padrón et al., *PNAS*, 2020; doi: 10.1073/pnas.1921312117). Critiques regarding the presence of IHM in relaxed skeletal muscles were addressed and rejected by fitting

X-ray diffraction data from single fibers from a fish muscle with an IHM atomic model (Koubassova et al., *Biophys J*, 2020; doi: 10.1016/j.bpj.2022.03.023). Our ongoing research aims to annotate X-ray diffraction patterns of striated muscle using a 0.6 nm-resolution structure of a 43 nm long repeat of the C-zone of the thick filaments of cardiac muscle (Dutta et al., *Nature*, 2023; doi: 10.1038/s41586-023-06691-4) elucidating the contributions of myosin heads, tails, titin, and MyBP-C to X-ray reflections.

## TARGETTING GSK3 FOR DUCHENNE MUSCULAR DYSTROPHY: LESSONS FROM MDX MICE

**Bianca M. Marcella<sup>1,2</sup>, Briana L. Hockey<sup>1,2</sup>, Jessica L. Braun<sup>1,2</sup>, Ryan W. Baranowski<sup>1,2</sup>, Luc J. Wasilewicz<sup>1,2</sup>, Rebecca E.K. MacPherson<sup>3</sup>, Rene Vandenboom<sup>1,2</sup>, Val A. Fajardo<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Kinesiology, Brock University, St. Catharines, ON, Canada

<sup>2</sup>Centre for Bone and Muscle Health, Brock University, St. Catharines, ON, Canada

<sup>3</sup>Department of Health Sciences, Brock University, St. Catharines, ON, Canada

E-mail: vfajardo@brocku.ca

Duchenne muscular dystrophy (DMD) is a severe muscle-wasting disorder caused by an X-linked mutation to the dystrophin gene that affects 1 in 5,000 boys. The absence of dystrophin protein leads to muscle fragility and makes muscles vulnerable to contraction-induced tears and eventual necrosis. By the time affected boys reach their teenage years, most of them will become wheelchair-bound for the rest of their lives. A previous study found the enzyme glycogen synthase kinase 3 (GSK3) to be overactive in muscles from the preclinical *mdx* mouse model of DMD. Furthermore, inhibiting GSK3 in mice can lead to effects that mimic regular exercise, such as promoting the oxidative fiber type, mitochondrial biogenesis, and overall muscle endurance. Here, we tested whether inhibition of GSK3 could improve muscle performance and endurance in the *mdx* mouse. To inhibit GSK3, we treated *mdx* mice (DBA/2J and C57BL/10) with tideglusib, which irreversibly binds to and inhibits GSK3 (10 mg/kg body mass per day via oral gavage). Treatment started at 6–7 weeks of age and lasted a total of 4 weeks. We also generated a muscle-specific *mdx* GSK3 knockdown mouse (*mdx*/GSK3<sup>mKD</sup>) that exhibits an approximate 30–40% reduction in GSK3 protein compared to *mdx*/GSK3<sup>fllox</sup> controls. Daily cage activity was collected and hangwire tests were performed to assess muscle performance and endurance *in vivo*. *Ex vivo*, isolated extensor digitorum longus (EDL) muscles underwent an isometric fatigue protocol of 70 Hz stimulation every 2s for 160 seconds. Tideglusib treatment showed some improvements in hangwire performance (DBA/2J,  $p = 0.04$ ; C57BL/10,  $p = 0.09$ ) and cage activity (DBA/2J,  $p = 0.11$ ; C57BL/10,  $p = 0.01$ ) in *mdx* mice when compared with vehicle controls. Tideglusib also enhanced EDL muscle fatigue resistance with a rightward shift in the fatigue curve (DBA/2J,  $p < 0.0001$ ; C57BL/10,  $p < 0.0001$ ). A similar result was found in EDL muscles obtained from *mdx*/GSK3<sup>mKD</sup> mice at 4–6 weeks and 10–12 weeks of age ( $p < 0.0001$  for both age groups). Altogether, these findings demonstrate that pharmacological and genetic inhibition of GSK3 led to some improvements in muscle performance and endurance in *mdx* mice. Future studies will investigate the underlying cellular mechanisms.

# MUSCLE FIBER TYPES AND MYOSIN ISOFORMS SEEN IN THE OMICS PERSPECTIVE

***Carlo Reggiani***

University of Padova, Padova, Italy

E-mail: carlo.reggiani@unipd.it

Myosin isoforms, and in particular myosin heavy chain (MYH) isoforms, have been considered the best markers of fiber types since the pioneering studies of Padikula, Engel and Dubovitz in the mid 20th century. A number of methods from histochemical ATPase with acido or alkali pre-incubation, to immunohistochemistry with specific antibodies and to gel electrophoresis and Western blots have been implemented for their identification. Recently, analytic tools based on transcriptomics and proteomics has led to the definition of the molecular differences between fibers in terms of thousands of gene products. The availability of a virtually complete complement of gene products in individual fibers has showed a continuum spectrum of variations, with some combinations arising more frequently. Such combinations cannot be generalized. For example, the highest expression of OXPHOS subunits occurs in fibers expressing MYH7 in humans, while it is associated with MYH2 in mice. Moreover, in fast fibers expressing MYH1, OXPHOS subunits are rather low in humans but high in rodents.

Importantly, proteomics has shown that most fibers express more than one MYH isoform. Co-expression of MYH isoforms can be due to diversity in transcription among myonuclei or to the transcription of two or more isoforms in individual myonuclei. Taking into account that MYH isoforms are not only the most abundant proteins in each fiber but also the determinants of the kinetics of chemo-mechanical energy conversion, we believe that MYH isoforms remain the best marker in defining fiber types. We suggest that fiber type assignment should be based on the identification of the predominant MYH isoform setting a suitable and reasonable threshold. Further biomarkers can either be complementary to myosin or define fiber subtypes, independently of contractile properties.

## DUAL FILAMENT REGULATION OF MUSCLE CONTRACTION AND THE ROLE OF TITIN

**Caterina Squarci<sup>1</sup>, Pasquale Bianco<sup>1</sup>, Theyencheri Narayanan<sup>2</sup>, Massimo Reconditi<sup>1</sup>, Marco Linari<sup>1</sup>, Gabriella Piazzesi<sup>1</sup>, Vincenzo Lombardi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PhysioLab, University of Florence, Italy

<sup>2</sup>European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France

E-mail: vincenzo.lombardi@unifi.it

Muscle contraction consists in generation of force and/or shortening that at the level of the sarcomere, the  $\sim 2 \mu\text{m}$  long structural unit of the striated (skeletal and cardiac) muscles, are due to ATP-fueled cyclical interactions of myosin motors with actin promoting reciprocal sliding between myosin containing thick filaments and actin containing thin filaments.  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent thin filament activation triggers contraction making actin sites available for interaction with myosin motors. However, in the resting muscle myosin motors lie folded back on their tails on the surface of the thick filament (OFF state) unable to reach the actin filament and split ATP. Previous X-ray diffraction experiments demonstrated that during contraction a mechano-sensing mechanism in the thick filament switches myosin motors ON moving them away from their OFF state as a function of the load. The molecular basis of the OFF-ON switch has still to be defined together with the role played by proteins like the accessory protein MyBP-C, lying on the central 1/3 of each half-thick filament and binding the thin filament with its N-terminus, and the cytoskeleton protein titin, spanning the whole half-sarcomere, from the Z-line at the sarcomere extremity to the tip of the thick filament and, associated to the thick filament, up to the M-line at the sarcomere centre.

The role of titin in thick filament regulation has been investigated by combining half-sarcomere mechanics and X-ray diffraction in single muscle cells of the frog (*Rana esculenta*). It was found that, upon activation, titin behaves as a mechanical rectifier, resisting an increase in load with an effective stiffness 100 times larger than at rest while it allows free sarcomere shortening. Under these conditions the periodic interactions of titin with myosin motors on the surface of the thick filament alter motor resting disposition in a load-dependent manner, biasing the azimuthal orientation of the motors toward actin. These results set the stage for future investigations on muscle preparations from animal models and human biopsies to define the scaffold and mechano-sensing-based signaling functions of titin in health and disease.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ КЛЕТОК C2C12 С ЦЕЛЬЮ АКТИВАЦИИ АНАБОЛИЧЕСКОГО СИГНАЛЬНОГО ПУТИ mTORC1/p70S6K

**Бабкова А.Р., Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: tasiabar@mail.ru

Сокращение миотуб *in vitro* с помощью импульсной электростимуляции (ЭС) используется для имитации сократительной активности мышц и моделирования разных типов физических упражнений. Цель данной работы состояла в подборе оптимальных параметров ЭС культуры клеток C2C12 для активации сигнального пути mTORC1/p70S6K, что в будущем позволит исследовать роль механоактивируемых каналов в регуляции анаболических процессов в мышечных клетках. Для этих целей проводилась стимуляция миотуб C2C12 на 6-й день их дифференцировки с помощью системы C-Pace EP. Для стимуляции клеток были применены следующие режимы: 1) 4 ч при напряжении 14 В, длительность импульса 2 мс и частоте 30 Гц, сбор биоматериала осуществлялся сразу после стимуляции и через 3 ч; 2) 1ч / 3ч при напряжении 21 В, длительность импульса 2 мс и частоте 45 Гц, сбор биоматериала осуществлялся через 1 ч и 4 ч. По завершении эксперимента миотубы C2C12 использовались для выделения тотальной фракции белка и определения содержания фосфорилированной и тотальной формы p70S6K с помощью вестерн-блоттинга. После стимуляции миобластов в режиме 30 Гц, 14 В, 2 мс, 4 ч, обнаружено достоверное ( $p < 0,05$ ) снижение содержания фосфо-p70S6K (Thr389) по сравнению с контрольными миобластами. При стимуляции миобластов в режиме 45 Гц, 21 В, 2 мс, 1 ч выявлена тенденция к повышению фосфорилирования p70S6K по сайту Thr389. При применении данного режима на протяжении 3 часов и сборе биоматериала через 1 час после стимуляции наблюдается стойкая тенденция к увеличению фосфо-p70S6K (Thr389), а при сборе материала через 4 часа после стимуляции наблюдается достоверное увеличение содержания фосфо-p70S6k (Thr389) на 95 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольными значениями. Таким образом, нами был определен оптимальный режим стимуляции миобластов C2C12 (45 Гц, 21 В, 2 мс, 3ч) и установлено время после окончания ЭС, необходимое для активации анаболического сигнального пути mTORC1/p70S6K.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 22-75-10046.*

## **ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО АППАРАТА СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ**

**Бакеева Л.Е., Вайс В.Б., Вангели И.М., Эльдаров Ч.М., Зоров Д.Б.**

НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: Bakeeva@belozersky.msu.ru

Структура митохондриального аппарата скелетных мышц (СМ), обеспечивающая механизм, с помощью которого энергия, генерируемая окислительным фосфорилированием, распределяется внутри клеток СМ, является предметом активных исследований в течение многих лет. Нами (Bakeeva et al., 1978) было показано, что в СМ весь митохондриальный материал с участием межмитохондриальных контактов собран в единую митохондриальную систему – митохондриальный ретикулум (МР). Позднее Kirkwood et al. (1986) методом высоковольтной электронной микроскопии (ЭМ) продемонстрировал, что МР не является артефактом в результате процесса фиксации или стагнации мышечной ткани. Методами современной сканирующей ЭМ показана объемная организация МР скелетной мышцы, подтвержденная иммунохимическими методами. МР определен как функциональный синцитий, обеспечивающий механизм транспорта митохондриального мембранного потенциала по клетке СМ (Glancy et al., 2015). В то же время некоторые авторы, обнаруживая протяженные митохондрии, рассматривают этот факт как признак миопатии (Pellegrini et al., 1985) или старения (Leduc-Gaudet et al., 2015). Мы провели сравнительный анализ структуры митохондриального аппарата СМ мышцы и голого землекопа (*H. glaber*) на срезах интактной ткани методом конфокальной флуоресцентной микроскопии. Морфология МР мышечного волокна в живой ткани СМ мышцы полностью соответствует ультраструктуре МР, выявляемой трансмиссионной ЭМ. У землекопа принцип построения МР в скелетной мышце другой и схож с организацией МР в кардиомиоците (Vaays et al., 2020). Т. е. впервые на ткани, исследуемой непосредственно после взятия пробы, не подвергавшейся ни фиксации, ни замораживанию, показана действительно существующая особая организация митохондриального аппарата, что указывает на реальную возможность использования мембранного потенциала в качестве переносимой формы энергии в различные области внутриклеточного объема, как предполагал ранее В.П. Скулачев (1969, 1971).

*Поддержано РФФ (№ 24-14-00141).*



# ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МИТОХОНДРИЙ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ В МОДЕЛИ БОКОВОГО АМИОТРОФИЧЕСКОГО СКЛЕРОЗА G93A\*SOD1

**Белослудцева Н.В.<sup>1</sup>, Михеева И.Б.<sup>1</sup>, Ильзоркина А.И.<sup>1</sup>, Дубинин М.В.<sup>2</sup>, Белослудцев К.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пушкино

<sup>2</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

E-mail: nata.imagination@gmail.com

Боковой амиотрофический склероз (БАС), неизлечимое на сегодняшний день нейродегенеративное заболевание, характеризуется прогрессирующей дисфункцией двигательных нейронов и скелетных мышц. Генетические причины БАС ассоциированы с изменениями более чем в 45 генах. Наиболее клинически значимые мутации локализуются в гене, кодирующем Cu/Zn супероксиддисмутазу 1 (mSOD1). Модельные мыши линии G93A\*SOD1 имеют повсеместную экспрессию mSOD1 во всех тканях, что приводит к характерным для БАС нарушениям, включая слабость конечностей и параличи. В настоящее время внутриклеточные механизмы прогрессирующей атрофии мышечной ткани и ее вклад в патофизиологию БАС остаются невыясненными. Примечательно, что модели со специфичным ограничением экспрессии mSOD1 в нейронах или астроцитах не повторяют фенотип заболевания БАС.

В работе был проанализирован временной ход развития структурно-функциональных изменений субсарколеммальных митохондрий и волокон скелетных мышц G93A\*SOD1 мышей в возрасте 8, 12 и 22 недель. Электронно-микроскопическое исследование выявило увеличение с возрастом мозаично расположенных деструктивных изменений миофибрилл, саркоплазматического ретикулума и митохондрий в волокнах скелетных мышц TG+ мышей в сравнении с контрольными группами (WT и TG-). Обнаружено также повышение доли митохондрий шаровидной формы с разрушенными кристами и зонами светлого матрикса; во внешней мембране накапливались разрывы. Морфометрический анализ выявил увеличение с возрастом среднего размера митохондрий при БАС. Параллельно, в скелетных мышцах с возрастом снижались уровни экспрессии генов белков, ответственных за митохондриальный биогенез. Это сопровождалось патологическими изменениями параметров митохондриального дыхания, скорости продукции АФК, образования mPTP поры. В ходе проведения поведенческих тестов было выявлено снижение моторной координации и сопротивляемости усталости у TG+ мышей по сравнению с WT и TG-.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-25-00286.*

# ВЛИЯНИЕ ТРОПОМОДУЛИНА НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ИЗОФОРМАМИ СОКРАТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ

**Бельдия Е.А.<sup>1</sup>, Кочурова А.М.<sup>2</sup>, Матюшенко А.М.<sup>3</sup>, Щепкин Д.В.<sup>2</sup>,  
Копылова Г.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

<sup>2</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>3</sup>Институт биохимии им. А.Н. Баха ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва

E-mail: zgupkabeldya@gmail.com

Для реализации сократительной функции поперечнополосатых мышц требуется строго упорядоченная и стабильная структура саркомера миофибрилл. К белкам саркомера, определяющим его стабильность, относятся белки семейства тропомодулинов (Tmod). На модели мышцей с нокаутом гена TMOD1 показано, что изоформы Tmod влияют на формирование поперечных мостиков и, следовательно, на силу сокращения скелетных мышц (Ochala et al., FASEB, 2014). Цель нашей работы заключалась в изучении роли Tmod в регуляции актин-миозинового взаимодействия в скелетных мышцах. Мы сравнили влияние Tmod1, Tmod3 и Tmod4 на актин-миозиновое взаимодействие в быстрых и медленных скелетных мышцах, используя *in vitro* подвижную систему.

В быстрых и медленных скелетных мышцах экспрессируется специфический спектр изоформ миозина, тропонина и тропомиозина (Trp). Для исследования влияния Tmod на актин-миозиновое взаимодействие в медленных мышцах мы использовали миозин и тропоминовый комплекс, выделенные из медленной скелетной мышцы (m. soleus) кролика, с Trp3.12, а также с гетеродимером Trp2.2/Trp3.12; а в быстрых мышцах – миозин и тропоминовый комплекс, выделенные из быстрой скелетной мышцы (m. psoas) кролика, с Trp1.1 и Trp3.12.

Обнаружено, что изоформы Tmod по-разному активируют тонкий филамент и влияют на характеристики взаимодействия изоформ скелетного миозина с актином, а также параметры кальциевой регуляции этого взаимодействия (максимальную скорость скольжения тонких филаментов и кальциевую чувствительность актин-миозинового взаимодействия). Эффекты Tmod на характеристики кальциевой регуляции актин-миозинового взаимодействия зависели также от изоформ тропомиозина. Таким образом, Tmod принимает участие в тонкой настройке работы сократительного аппарата скелетных мышц.

*Исследование поддержано Гос. темой 122022200089-4.*

# ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

**Бершицкий С.Ю.**

Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

E-mail: serg.bersh@gmail.com

Мышца – один из важнейших и интереснейших биологических объектов, обеспечивающих функции множества органов и систем живых организмов. Мышца, как наиболее очевидный биологический мотор, давно интересовала исследователей, но его систематическое изучение началось, фактически, в первой половине XX века, хотя первые сведения о строении мышц появились в XVII веке, а затем позднее, в XIX.

К концу XIX века было известно, что скелетная мышца имеет поперечную исчерченность из чередующихся темных и светлых полос; было обнаружено двулучепреломление полосы А, не зависящее от растяжения мышцы, означающее, что преломляющей структурой являются «стержни» постоянной длины; при изменении длины мышцы меняется только ширина полосы I. Из мышцы был экстрагирован белок, т. н. «миозин», при этом вымывались только А диски, при добавлении АТФ такой «миозин» сокращается. Straub в 1942 г. показал, что такой белок состоит из двух компонентов – актина и миозина.

Стало понятно, что два типа нитей саркомера различаются составом белков: толстые нити – это миозин, тонкие – актин. В связи с этим появился ряд идей, объясняющих механизм сокращения мышцы взаимодействием нитей. Однако все эти идеи основывались на том, что сокращение происходит из-за изменения длины нитей.

В 1953 г. J. Hanson и H. Huxley с помощью электронной микроскопии показали, что зона А саркомера мышечного волокна содержит только толстые нити, тогда как тонкие нити тянутся от Z-линии до перерыва с толстыми в зоне А в состоянии покоя и выходят из нее при растяжении волокна. В 1954 г. A. Huxley, Niedergeser и H. Huxley, Hanson опубликовали в одном номере Nature две статьи с результатами, доказывающими постоянство длин обоих типов нитей, что вело к идее их взаимного скольжения при сокращении саркомера, т. е. к теории скользящих нитей, ставшей основой понимания механизма мышечного сокращения. Там же было высказано предположение об участии в механизме сокращения обнаруженных Hanson и H. Huxley «поперечных связях» между толстыми и тонкими нитями.

## РОЛЬ МЕМБРАННОГО ХОЛЕСТЕРИНА В РЕГУЛЯЦИИ КАНАЛОВ PIEZO1 В МИОБЛАСТАХ C2C12

**Бильдюг Н.Б.<sup>1</sup>, Чубинский-Надеждин В.И.<sup>1</sup>, Васильева В.Ю.<sup>1</sup>, Мирзоев Т.М.<sup>2</sup>, Шенкман Б.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: nbildyug@gmail.com

Каналы Piezo1 представляют собой механоактивируемые катионные каналы, которые играют важную роль в физиологии скелетных мышц. Поскольку известно, что активность механоактивируемых каналов может зависеть от содержания холестерина в клеточной мембране, задача работы заключалась в изучении роли мембранного холестерина в регуляции Piezo1 на модели мышечных миобластов C2C12. Piezo1 выявляли с помощью иммунофлуоресценции. Стимуляция клеток Yoda1 – селективным химическим активатором Piezo1 – вызывала увеличение интенсивности флуоресцентного сигнала. Активация Piezo1 в ответ на стимуляцию была подтверждена в экспериментах по измерению уровня внутриклеточного кальция с помощью флуоресцентного красителя Fluo8. Добавление Yoda1 к клеткам приводило к увеличению интенсивности флуоресценции Fluo8, что свидетельствует о входе ионов Ca<sup>2+</sup> через каналы Piezo1.

Электрофизиологические эксперименты с помощью метода patch-clamp подтвердили активацию каналов Piezo1 в плазматической мембране миобластов. Для исследования роли мембранного холестерина в регуляции Piezo1 клетки обрабатывали акцептором холестерина метил-бета-циклодекстрином (МБЦД). Холестеринсодержащие липидные рафты выявляли с помощью FITC-конъюгированной бета-субъединицы холерного токсина (FITC-СТВ). Было показано, что обработка МБЦД вызывала снижение интенсивности флуоресценции FITC-СТВ по сравнению с контролем, что указывает на успешное разрушение липидных рафтов. При этом устранение холестерина из плазматической мембраны сопровождалось повышением интенсивности окраски на Piezo1. При обработке миобластов сфинголипидом сфингозин-1-фосфатом наблюдалось повышение интенсивности сигнала FITC-СТВ и снижение окраски на Piezo1. Добавление к клеткам Yoda1 приводило к подавлению сигнала FITC-СТВ и устранению эффекта сфингозин-1-фосфата на липидные рафты. Полученные данные могут свидетельствовать об обратной корреляции между Piezo1 и липидными рафтами в мембране миобластов C2C12.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-75-10046.*

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ АТРОФИИ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ БЕЗОПОРНОСТИ

**Боков Р.О.<sup>1</sup>, Шарло К.А.<sup>1</sup>, Томиловская Е.С.<sup>1</sup>, Гусев О.А.<sup>2</sup>,  
Шенкман Б.С.<sup>1</sup>, Орлов О.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Казань

E-mail: romanbokov94@yandex.ru

Хроническое снижение сократительной активности ведет к атрофии мышечных волокон, снижает работоспособность мышц и изменяет метаболизм. Постуральные мышцы активны до 16 ч/сут, поэтому устранение опоры ведет к изменениям сигнальных механизмов их регуляции, а также структурным и функциональным негативным последствиям. При сухой иммерсии (СИ) действие опоры минимально. Однако исследование механизмов атрофии мышц при СИ пока ограничивалось краткосрочными воздействиями. Цель работы – оценить молекулярные механизмы развития атрофии постуральной мышцы человека при длительной СИ.

Восемь здоровых мужчин участвовали в 21-суточной СИ. До и после СИ были взяты пробы ткани из *m. soleus*. Изменение миозинового фенотипа определяли с помощью иммуногистохимии, содержания мРНК – с помощью ПЦР в реальном времени и РНК секвенирования, белков – с помощью Вестерн-блота.

ППС медленных волокон уменьшилась на 23 %, быстрых – на 13 %. Доля медленных волокон уменьшилась на 9 %, быстрых – увеличилась на 6 %. 642 гена уменьшили экспрессию, 309 – увеличили. Анализ Gene Ontology показал, что гены с пониженной экспрессией преимущественно вовлечены в процессы дыхания и генерации энергии, а с повышенной – в транспорт кальция и функционирование мышц. Содержание мРНК медленных ТЦМ I уменьшилось в 2 раза, быстрых ТЦМ IIА и IID/X увеличилось в 3 и 20 раз, соответственно. Гены, вовлеченные в процессы синтеза белка, преимущественно уменьшили экспрессию, протеолиза – практически не изменили, организации митохондрий – преимущественно уменьшили. Важно отметить, что содержание белка TOM20 (маркер плотности митохондрий) уменьшилось в 2 раза.

Суммируя, длительная СИ ведет к комплексной перестройке сигнальных путей в постуральной мышце человека. Это способствует развитию атрофии мышечных волокон и сопровождается сдвигом паттерна изоформ миозинов в быструю сторону, нарушением функционирования митохондрий и процессов синтеза белка, но без изменения процессов протеолиза.

*Работа выполнена по госзаданию ГНЦ РФ – ИМБП РАН (FMFR-2024-0032).*

# СФИНГОЛИПИД-ЗАВИСИМЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ НА ФЕНОТИП ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ

**Брындина И.Г., Протопопов В.А., Секунов А.В.**

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» МЗ РФ,  
Ижевск

E-mail: i\_bryndina@mail.ru

К настоящему времени не вызывает сомнения тот факт, что сфинголипиды (СЛ), как внутриклеточные мессенджеры, играют важную роль в регуляции ряда процессов, приводящих к атрофии и дисфункции скелетных мышц в условиях их разгрузки. Влияние СЛ на механизмы регуляции фенотипа постуральных мышц в условиях гипогравитации изучено недостаточно. Нами ранее показано, что ингибитор кислой сфингомиелиназы (ASM) кломипрамин ограничивает экспрессию быстрых изоформ миозина в *m. soleus* крыс при 14-дневной функциональной разгрузке (*hindlimb unloading, HS*). Мы предположили, что продукт усиления сфингомиелиназного гидролиза керамид может быть вовлечен в перестройку мышечного фенотипа, воздействуя на определенные внутриклеточные мишени, известные как регуляторы данного процесса. С целью подтверждения этой гипотезы мы исследовали влияние ингибитора ASM амитриптилина на экспрессию генов тяжелых цепей миозина (ТЦМ) и уровень протеинов GSK3 $\beta$  и p-GSK3 $\beta$  (Ser9). Известно, что керамид способен активировать GSK3 $\beta$ , тем самым снижая эффективность экспрессии медленных изоформ ТЦМ.

Эксперименты проведены на крысах-самцах Вистар массой 180–230 г, вывешенных в течение 7 дней и получавших амитриптилин (*per os* с питьевой водой). Установлено, что амитриптилин ослаблял такие признаки атрофии мышцы как уменьшение площади поперечного сечения и диаметра Ферета. С помощью иммунофлуоресцентного исследования, РТ-ПЦР и вестерн-блоттинга установлено, что амитриптилин также частично предотвращал перестройку мышечного фенотипа *m. soleus* в сторону экспрессии “быстрых” изоформ миозина. При этом показано, что в процесс регуляции такой перестройки может включаться действие керамида на GSK3 $\beta$ : при разгрузке уровень инактивирующего фосфорилирования данного белка по Ser9 уменьшался, а введение блокатора образования керамида предотвращало эти изменения.

Полученные результаты подтверждают описанные нами ранее эффекты ингибиторов ASM как препаратов, ограничивающих влияние разгрузки на атрофический процесс и изменение фенотипа постуральной мышцы. Наши данные также свидетельствуют в пользу того, что уменьшение степени активации GSK3 $\beta$  при вывешивании может частично объяснять действие этих ингибиторов на экспрессию медленных и быстрых изоформ ТЦМ.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 23-25-00420).*

## **ВЛИЯНИЕ ИНДУКТОРА БЕЛКОВ ТЕПЛООВОГО ШОКА BGP-15 НА СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ МЫШИ ПРИ ВЫВЕШИВАНИИ**

***Вепхвадзе Т.Ф.<sup>1</sup>, Машкин М.А.<sup>1</sup>, Орлова М.А.<sup>1</sup>, Другова С.В.<sup>2</sup>,  
Виноградов М.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: anegina13@gmail.com

Вещество BGP-15 разрабатывалось для борьбы с инсулиновой резистентностью. В некоторых случаях BGP-15 активировало биогенез митохондрий и предотвращало атрофию в скелетных мышцах мышей. Цель работы – изучить влияние хронического введения BGP-15 на скелетные мышцы мыши при снижении двигательной активности и последующей реадаптации.

Мышей вывешивали за хвост в течение 4 недель, а также исследовали влияние 3-суточного восстановления. Перед вывешиванием под кожу вживляли осмотическую помпу, содержащую физраствор или BGP-15. После окончания вывешивания у всех животных были выделены и взвешены мышцы задней конечности, оценена площадь поперечного сечения мышечных волокон и скорость дыхания митохондрий в пермеабелизованных мышечных волокнах (полярография).

Вывешивание привело к падению массы всех мышц примерно на 20–40 %, как в контрольной, так и в экспериментальной группе, а также к сопоставимому падению площади поперечного сечения мышечных волокон. После трех дней реадаптации не наблюдалось полного восстановления массы мышц ни в одной из групп. Максимальное АДФ-стимулированное дыхание не изменилось ( $p = 0,12$ ) в группе с физраствором, но снизилось в группе, применявшей препарат ( $p = 0,03$ ). При реадаптации в обеих группах наблюдалась тенденция к повышению скорости максимального АДФ-стимулированного дыхания ( $p = 0,09$  и  $p = 0,11$ , соответственно). В группе с физраствором чувствительность к АДФ не изменилась ни после вывешивания, ни на 3-и сутки реадаптации. Однако в группе, применявшей препарат, обнаружена тенденция ( $p=0,055$ ) к повышению этого показателя при реадаптации.

Хроническое введение вещества BGP-15 не оказало влияние на потерю и восстановление мышечной массы и максимальное АДФ-стимулированное дыхание митохондрий; при этом наблюдалась тенденция к повышению чувствительности к АДФ во время восстановления после вывешивания.

*Работа поддержана грантом РФФ № 24-15-00456.*

## **УЧАСТИЕ АМФ-АКТИВИРУЕМОЙ ПРОТЕИНКИНАЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ ПЕРВИЧНЫХ МИОБЛАСТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ M. SOLEUS КРЫСЫ ПОСЛЕ 7-СУТОЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ**

***Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: vilchinskayanatalia@gmail.com

Известно, что АМФ-активируемая протеинкиназа (АМРК) участвует в регуляции процессов пролиферации и дифференцировки миобластов. Цель работы состояла в исследовании роли АМРК в регуляции процессов дифференцировки миобластов, полученных из камбаловидной мышцы после действия моделируемой гравитационной разгрузки. Для активации АМРК в миобластах применяли аналог АМФ – вещество АICAR (5-Aminoimidazole-4-carboxamide ribonucleotide). Для оценки процессов дифференцировки миобластов применили иммуноцитохимические методы, вестерн- блоттинг и ПЦР. В дифференцирующихся миобластах, выделенных из m. soleus крысы после 7-суточной функциональной разгрузки, наблюдалось значительное снижение уровня фосфорилирования АМРК и АСС (acetyl-CoA carboxylase), повышенный индекс дифференцировки миотуб, повышение экспрессии миогенных регуляторных факторов (МРФ) и факторов слияния миобластов, снижение экспрессии «медленной» изоформы тяжелых цепей миозина (ТЦМ) и усиление экспрессии «быстрых» изоформ ТЦМ. Применение АICAR при дифференцировке миобластов, полученных из атрофированной m. soleus, предотвращало снижение фосфорилирования АМРК и АСС, возвращало уровень экспрессии МРФ и «быстрых» изоформ ТЦМ к уровню контрольных значений, поддерживало экспрессию «медленной» изоформы ТЦМ.

Таким образом, аномально ускоренная дифференцировка миобластов, выделенных из m. soleus крысы после 7-суточной функциональной разгрузки, способна компенсироваться за счет поддержания контрольного уровня активности АМРК с помощью АICAR. При этом нормализуется повышенная экспрессия МРФ, факторов слияния миобластов, а также ряда изоформ ТЦМ.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 20-75-10080).*



## **ГИГАНТСКИЙ МЫШЕЧНЫЙ БЕЛОК ТИТИН/ КОННЕКТИН: СТРУКТУРА, ФУНКЦИИ, ИЗОФОРМЫ**

***Вихлянцев И.М.***

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино

E-mail: iv1000@mail.ru

До открытия титина мышечное сокращение рассматривалось с позиции взаимодействия в саркомере двух типов нитей: толстых (миозинсодержащих) и тонких (актинсодержащих). Открытие титина (коннектина), состоявшееся более 40 лет назад [Wang et al., 1979; Maruyama et al., 1981], разрушило старые представления о двунитевой структуре саркомера и определило интерес многих исследователей к выяснению роли этого белка в поддержании структуры и функционировании мышечных клеток. Проведенные исследования показали, что титин является третьим по количеству (после актина и миозина) белком в саркомерах сердечной и скелетных мышц позвоночных. Его молекулы длиной около 1 мкм и диаметром 3–4 нм перекрывают половину саркомера от М-линии до Z-диска и формируют третью филаментную систему в миофибриллах – эластичные нити.

Титин является одним из ключевых компонентов саркомерного цитоскелета поперечно-полосатых мышц. Показано, что этот белок является каркасом для сборки толстых нитей и саркомера; участвует в поддержании высокоупорядоченной саркомерной структуры и, вследствие этого, сократительной функции мышцы; вносит вклад в пассивное напряжение, развиваемое мышцей при растяжении, и развивает возвратную силу при сокращении саркомера; участвует в запуске и регуляции актин-миозинового взаимодействия. Кроме этого, титин как эластичный механосенсор играет важную роль в процессах внутриклеточной сигнализации, участвуя в регуляции экспрессии мышечных генов и белкового обмена в саркомере.

В докладе будут представлены данные о структуре, агрегационных свойствах титина, его влиянии на актин-миозиновое взаимодействие, а также об изоформном составе этого белка с акцентом на результаты собственных исследований. В частности, будут представлены доказательства присутствия в мышцах млекопитающих наряду с известными изоформами титина более высокомолекулярных изоформ этого белка.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00224-24-00.*

## **КРАТКОВРЕМЕННАЯ ГИПОКСИЯ ПОДДЕРЖИВАЕТ ФУНКЦИЮ Na,K-АТФАЗЫ И ЭЛЕКТРОГЕНЕЗ M. SOLEUS КРЫСЫ В УСЛОВИЯХ ДВИГАТЕЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ**

**Ганке Д.Д., Сабурова Е.А., Кравцова В.В., Кривой И.И.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

E-mail: st069458@student.spbu.ru

Поддержание мембранного потенциала покоя необходимо для нормального функционирования скелетной мышцы, что особенно важно в условиях интенсивной двигательной активности. Среди механизмов поддержания электрогенеза, сократительной функции и работоспособности скелетных мышц основную роль играет активность Na,K-АТФазы. Скелетные мышцы ко-экспрессируют альфа1- и альфа2-изоформы каталитической и транспортной альфа-субъединицы Na,K-АТФазы, которая является специфическим рецептором для убаина и других кардиотонических стероидов. Нарушения функционирования альфа2-изоформы, сопровождающиеся деполяризацией сарколеммы, являются общим признаком различных форм двигательных нарушений. Известно, что активность Na,K-АТФазы играет важную роль в адаптации к гипоксии. В нашем исследовании самцов крыс Вистар подвергали гипобарической гипоксии при атм. давлении 530 мм рт.ст. (соответствует высоте 3000 м над уровнем моря) в течение 3 ч с использованием барокамеры. Через 18 ч после нахождения в барокамере крыс подвергали антиортостатическому вывешиванию задних конечностей (hindlimb suspension – HS) в течение 6 ч. В изолированных m. soleus с помощью микроэлектродной техники регистрировали мембранный потенциал покоя. Плотность распределения альфа2-изоформы Na,K-АТФазы в сарколемме оценивали по флуоресценции меченого убаина (Ouabain-Bodipy) с помощью конфокальной микроскопии. Гипоксия предотвращала деполяризацию сарколеммы, вызываемую HS. Этот эффект сопровождался увеличением концентрации эндогенного убаина в крови, а также увеличением плотности распределения альфа2-изоформы Na,K-АТФазы в сарколемме, что соответствует способности гипоксии и убаина влиять на интернализацию Na,K-АТФазы и ее внутриклеточный трафик.

Таким образом, превентивное действие гипоксии по поддержанию электрогенеза m. soleus крысы в условиях HS, предположительно реализуется за счет увеличения мембранного пула и электрогенной активности альфа2-изоформы Na,K-АТФазы.

*Финансовая поддержка: грант РФФ № 24-25-00032.*

# НАРУШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИИ МИТОХОНДРИЙ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДИСТРОФИИ ДЮШЕННА В МОДЕЛИ ДИСТРОФИН-ДЕФИЦИТНЫХ MDX-МЫШЕЙ. ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ

*Дубинин М.В.<sup>1</sup>, Белослудцев К.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

<sup>2</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пушкино

E-mail: Dubinin1989@gmail.com

Мышечная дистрофия Дюшенна (МДД) представляет собой наследственное заболевание, обусловленное мутациями в гене, кодирующем белок дистрофин, который необходим для поддержания структуры и функции мышечной ткани. Развитие патологии сопровождается дегенерацией мышечных волокон, фиброзом и кальцификацией мышечной ткани. Одним из важных факторов, способствующих прогрессированию этой патологии, является дисфункция биоэнергетического аппарата мышц, представленного митохондриями. Нами показано, что митохондрии модельных дистрофин-дефицитных мышечных линий mdx характеризуются ультраструктурными и функциональными изменениями. Это выражается в нарушении целостности мембран органелл, набухании и снижении плотности упаковки крист внутренней мембраны. Такие изменения сопровождаются снижением эффективности окислительного фосфорилирования и синтеза АТФ в митохондриях и развитием окислительного стресса. Установлено, что дисфункция митохондрий скелетных мышц mdx мышечной связана с Ca<sup>2+</sup>-перегрузкой органелл, ведущей к снижению их чувствительности к индукции неселективной МРТ-поры во внутренней мембране, а также угнетением трансмембранного транспорта Ca<sup>2+</sup> и K<sup>+</sup> в органеллах. Такая дисрегуляция ионного гомеостаза в митохондриях скелетных мышц трансгенных животных обусловлена перестройками в белковых системах, обеспечивающих транспорт Ca<sup>2+</sup> и K<sup>+</sup> через внутреннюю мембрану органелл. При этом ингибирование МРТ-поры с помощью циклического пептида алиспоривира или активация транспорта K<sup>+</sup> через внутреннюю мембрану митохондрий путем применения уридина (предшественник УДФ – активатора АТФ-зависимого K<sup>+</sup> канала) или NS1619 (активатор Ca<sup>2+</sup>-зависимого K<sup>+</sup> канала) приводит к улучшению ультраструктуры и функции митохондрий, что сопровождается снижением интенсивности деструктивных процессов в мышечной ткани и улучшением мышечной функции. В работе обсуждается перспективность применения митохондриально-направленных подходов для вспомогательной терапии МДД.

*Работа поддержана грантом РФФИ (№ 23-75-10006).*

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКЦИЮ ИЛ-6**

**Захарова А.Н., Капилевич Л.В., Коллантай О.В.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск

E-mail: azakharova91@gmail.com

ИЛ-6 относится к наиболее изученному в настоящее время миокину. ИЛ-6 оказывает ряд эндокринных эффектов на различные органы. Установлена роль ИЛ-6 в регуляции обмена веществ и обеспечении противовоспалительного действия при системном воспалении. В связи с широким спектром разнообразных эффектов данного миокина, изучение влияния различных условий на его продукцию является важным аспектом в разработке немедикаментозных средств коррекции и лечения многих заболеваний.

В исследовании проводился анализ изменения уровня ИЛ-6 в плазме крови у мужчин, в мышечной ткани мышей, в мышечных клетках С2С12 на фоне электростимуляции.

Влияние вида физической нагрузки. При статической и динамической нагрузке концентрация ИЛ-6 в плазме и в мышечной ткани увеличилась. После динамической нагрузки изменения оказались более значительными.

Влияние уровня тренированности. На системном уровне физическая нагрузка привела к увеличению концентрации ИЛ-6 в плазме независимо от уровня тренированности. В мышечной ткани у нетренированных животных уровень миокина оказался выше, чем у тренированных.

Влияние интенсивности физической нагрузки. Изменение ИЛ-6 в мышечной ткани отмечено прямо пропорционально степени увеличения интенсивности физической нагрузки.

Влияние времени после физической нагрузки. Наибольшие изменения ИЛ-6 в мышечной ткани выявлены в ближайшие временные промежутки после физической нагрузки (0–60 мин).

Влияние времени суток. Физическая нагрузка в разное время суток оказывает разное влияние на уровень ИЛ-6 в мышечной ткани. При тренировке в утреннее время отмечено увеличение уровня белка, при тренировке в вечернее время отмечено его снижение.

Возраст и метаболические нарушения. Метаболические нарушения привели к значительному увеличению ИЛ-6 в мышечной ткани у мышей предстарческого возраста. При этом такого значительного прироста не выявлено у мышей молодого возраста.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-15-00118.*

# ВЛИЯНИЕ ГИПЕРТРОФИЧЕСКИХ МУТАЦИЙ СЕРДЕЧНОГО МИОЗИН-СВЯЗЫВАЮЩЕГО БЕЛКА С НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МИОКАРДЕ

**Кочурова А.М.<sup>1</sup>, Бельдия Е.А.<sup>1,2</sup>, Матюшенко А.М.<sup>3</sup>,  
Копылова Г.В.<sup>1</sup>, Щепкин Д.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург

<sup>3</sup>Институт биохимии им. А.Н. Баха ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва

E-mail: g\_rodionova@mail.ru

Около 45 % мутаций белков саркомера, связанных с гипертрофическими кардиомиопатиями (ГКМП), приходится на долю сердечного миозин-связывающего белка С (сМуВР-С). Молекулярные механизмы развития ГКМП при точечных мутациях сМуВР-С практически не изучены. Целью работы было исследование влияния ГКМП мутаций в N-концевой части молекулы сМуВР-С на актин-миозиновое взаимодействие.

Миозин получали из левого желудочка сердца свиньи. C0-C2 фрагмент сМуВР-С человека дикого типа (WT) и с ГКМП мутациями D75N, P161S и L352P, сердечные тропомиозин и тропонин человека экспрессировали в *E. coli*. Влияние мутаций на актин-миозиновое взаимодействие изучали в *in vitro* подвижной системе.

Обнаружено, что при добавлении C0-C2 фрагментов в концентрации 500 нМ мутация P161S увеличивает максимальную скорость скольжения тонких нитей при насыщающей концентрации  $Ca^{2+}$  на 30 %, а мутации D75N и L352P уменьшают ее на 20 % и 70 % по сравнению с WT C0-C2 фрагментом. Мутации P161S и D75N существенно снижали  $Ca^{2+}$  чувствительность актин-миозинового взаимодействия. В присутствии 500 нМ L352P C0-C2 фрагмента скорость тонких нитей не зависела от концентрации  $Ca^{2+}$ . При 300 нМ L352P C0-C2 фрагмента  $Ca^{2+}$  зависимость скорости была сигмоидальной, а  $Ca^{2+}$  чувствительность скорости была выше, чем при добавлении 300 нМ WT C0-C2 фрагмента.

Мутации P161S и D75N ухудшали активацию тонких нитей, увеличивая концентрацию миозина, при которой скорость нитей полумаксимальная.

Мы исследовали влияние эффектора функции миозина омекамтив мекарбила (ОМ) на активацию тонких нитей с C0-C2 фрагментами. В присутствии WT и P161S C0-C2 фрагментов ОМ уменьшал скорость тонких нитей на 30 % и по-разному влиял на  $Ca^{2+}$  чувствительность актин-миозинового взаимодействия, увеличивая ее с WT C0-C2 фрагментом и не влияя на нее с P161S C0-C2 фрагментом.

Таким образом, исследованные мутации сМуВР-С нарушают активацию тонких нитей, что может быть одним из механизмов развития ГКМП.

*Исследование поддержано грантом РФФ № 22-24-00729.*

# СЕРДЕЧНЫЙ МИОЗИН-СВЯЗЫВАЮЩИЙ БЕЛОК С ПО-РАЗНОМУ МОДУЛИРУЕТ АКТИВАЦИЮ ТОНКОЙ НИТИ В ПРЕДСЕРДИЯХ И ЖЕЛУДОЧКАХ

**Кочурова А.М.<sup>1</sup>, Бельдия Е.А.<sup>1,2</sup>, Матюшенко А.М.<sup>3</sup>,  
Копылова Г.В.<sup>1</sup>, Щепкин Д.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург

<sup>3</sup>Институт биохимии им. А.Н. Баха ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва

E-mail: g\_rodionova@mail.ru

Сердечный миозин-связывающий белок С (сМуВР-С) является одним из элементов контроля цикла миозинового мостика. С-терминальная часть сМуВР-С располагается на поверхности толстой нити, а N-концевая часть сМуВР-С взаимодействует с актином, миозином и тропомиозином, влияя как на кинетику цикла гидролиза АТФ и время жизни поперечного мостика, так и на  $Ca^{2+}$  регуляцию актин-миозинового взаимодействия, и модулируя сократительную функцию миокарда. Роль сМуВР-С в сокращении предсердий практически не изучена. Мы исследовали влияние N-терминального C0-C1-m-C2 (C0-C2) фрагмента сМуВР-С на актин-миозиновое взаимодействие, используя предсердный и желудочковый миозин в *in vitro* подвижной системе (ИПС).

Мы обнаружили, что фрагмент C0-C2 сМуВР-С снижает на 50 % и 30 % максимальную скорость скольжения тонких нитей по предсердному и желудочковому миозину в ИПС и существенно увеличивает кальциевую чувствительность взаимодействия. Для полной активации тонкой нити необходимо образование поперечных мостиков. Предсердный миозин слабее активирует тонкую нить, чем желудочковый.

Предсердный и желудочковый миозин различаются аффинностью к нуклеотидам и временем жизни актомиозинового комплекса, которое является одним из факторов, определяющих активацию тонкой нити. Мы обнаружили, что сМуВР-С увеличивает аффинность желудочкового миозина к АДФ и уменьшает аффинность предсердного миозина, таким образом, по-разному влияя на активацию тонкой нити этими изоформами миозина.

*Исследование поддержано грантом РФФ № 22-24-00729.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОЙ НИТИ САРКОМЕРА СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

**Кубасова Н.А.<sup>1</sup>, Гулеенкова В.Д.<sup>1</sup>, Ершова Д.М.<sup>1</sup>, Цатурян А.К.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт механики, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Медицинский факультет, Университет Тель Авива, Тель Авив, Израиль

E-mail: natalia@imec.msu.ru

Сокращение миокарда регулируют тропонин и тропомиозин – белки тонких, или актиновых, нитей в саркомерах клеток сердечной мышцы. В зависимости от концентрации ионов  $Ca^{2+}$  тропониновый комплекс перестраивается и смещает тропомиозин по поверхности нити, открывая или закрывая доступ моторных доменов миозина к актину. Известны многочисленные точечные аминокислотные замены в тропомиозине, приводящие к серьезным патологиям, мио- и кардиомиопатиям. В настоящее время основным методом изучения влияния таких замен на функциональные свойства регуляторного комплекса являются биохимические модели *in vitro*. На основе последних данных криоэлектронной микроскопии мы построили модель актиновой нити и исследовали ее характеристики с помощью молекулярной динамики (МД), а затем предложили усовершенствованные модели регуляторного комплекса тонкой нити. Параметры актиновой спирали, механические характеристики тонкой нити, оцененные по МД-расчетам, были близки к найденным экспериментально. Молекулярно-динамическая модель регуляторной единицы сердечной мышцы была верифицирована на нескольких хорошо изученных мутациях: двойной стабилизирующей замене D137L/G126R и кардиомиопатической замене S215L. Результаты исследования показали, что качество модели достаточно для того, чтобы проводить исследование влияния одиночных аминокислотных замен на структуру и динамику тонких нитей *in silico*. Модель может быть использована как полезный инструмент выяснения молекулярных механизмов некоторых генетических заболеваний и оценки патогенности вновь обнаруженных генетических вариантов.

# ЭФФЕКТЫ ИММУННОГО ОКСИСТЕРИНА В МОДЕЛИ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ В ДИАФРАГМЕ МЫШИ

**Кузнецова Е.А.<sup>1</sup>, Закирьянова Г.Ф.<sup>2</sup>, Петров А.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, Казань

<sup>2</sup>Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань

E-mail: eva.korshak@mail.ru

Холестерин является не только важным структурным компонентом мембран клеток, но и предшественником сигнальных оксистеринов, среди которых 25-гидроксихолестерин (25-ГХ), вероятно, имеет особое значение, поскольку его синтез многократно усиливается при воспалении. Главными продуцентами 25-ГХ являются макрофаги, которые в мышечной ткани вовлечены в регенерационные процессы. Ранее нами была показана способность 25-ГХ повышать эффективность нервно-мышечной передачи в диафрагмальной мышце мыши.

В данной работе оценивалась способность 25-ГХ в субмикромольной концентрации препятствовать окислительному стрессу, вызванному нарушением функций митохондрий в мышечных волокнах диафрагмы мыши.

Индуктор окислительного стресса – блокатор III комплекса электрон-транспортной сети митохондрий – антимицин А увеличивал митохондриальную продукцию активных форм кислорода, вызывал накопление кальция в митохондриях и деполяризацию мембраны митохондрий. Это сопровождалось перекисным окислением липидов плазмалеммы. 25-ГХ снижал эти нарушения, вызванные митохондриальным ядом.

Исследование цитозольного уровня ионов кальция и фармакологический анализ показали, что сам по себе 25-ГХ повышал внутриклеточный кальций посредством активации мембранных эстрогеновых рецепторов альфа (ЭР) и инозитолтрифосфатных (ИТФ)-рецепторов саркоплазматического ретикулаума (СПР). Хелатирование внутриклеточного кальция и ингибирование ЭР и ИТФ-рецепторов подавляло антиоксидантное действие 25-ГХ в условиях моделирования митохондриальной дисфункции.

Такие антиоксидантные свойства 25-ГХ могут быть связаны с активацией ЭР и последующим изменением кальциевой сигнализации в системе СПР-митохондрии. Учитывая, что митохондриальные нарушения возникают при многих мышечных патологиях, 25-ГХ может рассматриваться как протективный оксистерол, и стратегии, направленные на увеличение его локальной продукции в мышцах, могут иметь терапевтический потенциал.

*Финансовая поддержка: грант РФФИ № 23-75-10022.*



# **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УТОМЛЯЕМОСТЬ ПОСТУРАЛЬНЫХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ**

***Львова И.Д., Сидоренко Д.А., Шарло К.А., Тыганов С.А.,  
Шенкман Б.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: irrtra1@yandex.ru

В ряде работ показано, что при реальной и моделируемой гравитационной разгрузке снижается устойчивость скелетных мышц к утомлению. В рамках нашей работы мы рассмотрели, какие молекулярные механизмы играют роль в развитии утомляемости.

Мы измерили уровень утомляемости *m. soleus* крыс на фоне 7-суточной функциональной разгрузки и при воздействии различных факторов при данном воздействии.

В каждом из экспериментов был свой виварный контроль (группа С) и группа 7-суточной функциональной разгрузки (7HS) (методика вывешивания задних конечностей по Ильину-Новикову в модификации Morey-Holton.) Мы проанализировали следующие эксперименты: группа 7HS+B – внутрибрюшинное введение  $\beta$ -GPA на фоне 7-суточной функциональной разгрузки (роль АМПК), 7HS+N – внутрибрюшинное введение нифедипина на фоне 7-суточной функциональной разгрузки (роль накопления кальция), 7HS+P – механическая стимуляция опорных афферентов на фоне 7-суточной функциональной разгрузки (роль опорной афферентации). Индекс утомления камбаловидной мышцы измерялся *ex vivo*: проводилась серия из 20 тетанических сокращений за 1 минуту, с перерывом в 1 секунду между сокращениями. За индекс утомления брали силу сокращения после 20 повторений, деленную на максимальную силу сокращения, измеренную в течение всего теста.

Мы обнаружили, что в каждом эксперименте индекс утомления в группе 7HS оказался достоверно ниже уровня контроля. В группах 7HS+B и 7HS+P индекс утомления был на уровне контрольных значений, в группе 7HS+N индекс утомления также не отличался от контроля и был достоверно выше, чем в группе 7HS.

Таким образом, на развитие утомляемости при разгрузке могут влиять следующие факторы: снижение активности АМПК, накопление кальция и устранение опорной афферентации.

*Работа поддержана грантом РФФ № 21-75-00063.*

# **ВЛИЯНИЕ БЕГА НА БЕГОВОЙ ДОРОЖКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОВЫХ ЦИКЛАХ НА СОДЕРЖАНИЕ GLUT-4 И ЦИТРАТСИНТАЗЫ У МЫШЕЙ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ**

***Милованова К.Г., Капилевич Л.В., Орлова А.А., Коллантай О.В., Шувалов И.Ю.***

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск

E-mail: milovanova.ks@mail.ru

Сахарный диабет 2-го типа составляет около 90 % случаев и считается одной из важнейших проблем современности. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных метаболизму глюкозы, молекулярные механизмы его регуляции остаются недостаточно изученными. Большую актуальность приобретают немедикаментозные методы лечения метаболических нарушений, в том числе физическая активность. Метаболические изменения под ее влиянием очень сложны и до сих пор трудны для понимания.

Цель исследования – углубить понимание влияния физических нагрузок на метаболические изменения у мышей с сахарным диабетом. Мы разработали диабетическую модель метаболических нарушений, вызванную высокожировой диетой. Мышей подвергали принудительному бегу на беговой дорожке 4-й недели, применялось 3 режима тренировок: в светлую и темную фазу дня и сменный режим (по 2-й недели). Мы анализировали Glut4 и цитратсинтазу (CS) в мышечной ткани *m.gastrocnemius* с помощью вестерн-блоттинга.

На 12-й неделе у молодых мышей с ожирением масса тела снизилась на 17 %, у старых мышей не изменилась. На 14 и 16-й неделях снижение было более значительным у молодых мышей (на 17 %) по сравнению со старыми (на 6 %),  $p < 0,05$ . Эффект от физической активности зависит от времени суток. Большой эффект наблюдается при выполнении сменных тренировок и когда животные пассивны (светлая фаза). У молодых мышей тренировки в светлую фазу оказывали влияние на увеличение содержания Glut4 в мышечной ткани ( $84,3 \pm 11,3$  %,  $p < 0,05$  против контрольной группы –  $59,3 \pm 7,8$  %). У старых мышей сменный режим вызывал повышение уровня Glut4 в мышечной ткани ( $71,3 \pm 4,1$  %,  $p < 0,05$  против контрольной группы –  $56,4 \pm 10,9$  %). В группе старых мышей отмечен более низкий уровень CS во всех группах. У молодых мышей наблюдалось повышение уровня CS во время тренировок в светлой фазе –  $135,8 \pm 7,0$  %, когда как в темной фазе –  $113,3 \pm 7,7$  % ( $p = 0,0006$ ). У старых мышей, питавшихся обычным кормом, содержание CS снизилось ( $58,2 \pm 5,0$  %), а в группе с высокожировой диетой увеличилось ( $94,9 \pm 8,8$  %).

## **МЕТФОРМИН КАК СРЕДСТВО, СПОСОБСТВУЮЩЕЕ УМЕНЬШЕНИЮ АТРОФИИ ПОСТУРАЛЬНЫХ МЫШЦ КРЫС ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ**

***Мирзоев Т.М., Парамонова И.И., Тыганов С.А., Вильчинская Н.А.,  
Шенкман Б.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: tmirzoev@yandex.ru

Функциональная разгрузка задних/нижних конечностей млекопитающих сопровождается атрофией постуральных камбаловидных мышц. Поскольку активность АМР-активируемой протеинкиназы (АМРК) в камбаловидной мышце крыс подавляется на ранних стадиях функциональной разгрузки, мы предположили, что получение крысами метформина (активатора АМРК) до начала разгрузки способно оказать благоприятное воздействие на данную постуральную мышцу. Функциональная разгрузка осуществлялась методом антиорто-статического вывешивания (HS). Крысы Вистар были разделены на 4 группы: 1) контроль (С), 2) контроль + метформин в течение 10 дней (С+Met), 3) разгрузка в течение 7 дней (HS), 4) метформин в течение 7 суток до разгрузки и в течение первых 3 суток 7-суточной разгрузки (HS+Met). Крысы получали метформин (300 мг/кг/сутки) с питьевой водой. Анаболические и катаболические маркеры оценивали с помощью вестерн-блоттинга и ПЦР; размер «быстрых» и «медленных» волокон оценивали с помощью иммуногистохимии. Применение метформина частично предотвратило вызванное разгрузкой уменьшение размера «медленных» волокон камбаловидной мышцы. Метформин также предотвращал трансформацию «медленных» волокон в «быстрые». Абсолютная сила изолированной камбаловидной мышцы в группе «HS+Met» увеличилась по сравнению с группой «HS». Фосфорилирование GSK-3 $\beta$  (Ser9) было значительно увеличено в группе «HS+Met» по сравнению с группой «HS». Потребление крысами метформина частично предотвратило вызванное разгрузкой снижение содержания рибосомальных РНК 18S и 28S.

Таким образом, потребление крысами метформина в течение 7 суток до начала функциональной разгрузки и в течение первых 3 суток 7-суточной разгрузки способно частично купировать сопутствующие разгрузке атрофические изменения в постуральной камбаловидной мышце.

*Работа поддержана РФФ (проект № 17-75-20152).*

# ИНГИБИРОВАНИЕ IP3К ЗАМЕДЛЯЕТ АТРОФИЮ M. SOLEUS И РЕГУЛИРУЕТ КЛЕТОЧНЫЙ СИГНАЛЛИНГ ПРИ 3-СУТОЧНОЙ РАЗГРУЗКЕ МЫШЦ КРЫС

**Немировская Т.Л., Зарипова К.А., Белова С.П., Шенкман Б.С.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: Nemirovskaya@bk.ru

Исследовали роль IP3-киназы гамма (IP3K) в активации маркеров кальций-зависимых сигнальных путей, IP3-рецепторов (IP3R) и экспрессии E3-лигаз при функциональной разгрузке m. soleus. IP3Ks принимают участие в регуляции баланса между синтезом и деградацией белка во время мышечной атрофии, вызванной неиспользованием/ бездействием (Schiaffino, S., et al., 2013). IP3K находится в сарколемме в одном каскаде с P2Y1/2 и паннексиновыми рецепторами. IP3 киназа катализирует фосфорилирование фосфатидилинозитолдифосфата (PIP2), давая IP3 высоко заряженный остаток, который рекрутирует фосфолипазу C (PLC) в мембрану, запуская гидролиз PIP2 на диацилглицерин (DAG) и инозитол-1,4,5-трифосфат (IP3). IP3 связывается с рецепторами IP3 (IP3R), присутствующими как в ядерной оболочке, так и в саркоплазматической сети, вызывая слабый сигнал высвобождения кальция, как в цитозоле, так и в нуклеоплазме, что способствует активации факторов транскрипции, приводящих к экспрессии или репрессии генов, вовлеченных в фенотип мышечных клеток (May C, et al., 2006). Проведен эксперимент с 3-суточным вывешиванием крыс и ингибированием IP3K с помощью ингибитора LY294002. Взяты 21 крыса Wistar (по 7 крыс в группе контроля (К), вывешивания (В), вывешивания+LY (В+LY)). Ингибирование фосфоинозитид-3-киназы при функциональной разгрузке soleus (IP3K) предотвращает накопление в ней АТФ, замедляет атрофию m. soleus, а также экспрессию E3 лигаз (MuRF1, MAFbx) и убиквитина, предотвращает повышение экспрессии IP3-рецепторов, регулирует активность кальций-зависимых сигнальных путей посредством снижения экспрессии кальций-зависимых маркеров мРНК CaN, а также снижения фосфорилирования CaMKII (Ca-кальмодулинкиназы II); влияет на регуляцию маркеров анаболической передачи сигналов в ненагруженных мышцах: 4E-BP, фосфорилирование рибосомного белка S6, предотвращает снижение скорости элонгационных процессов, предотвращая фосфорилирование eEF2.

*Работа поддержана РНФ (проект № 21-15-00228).*

# ВЫЯВЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ $Ca^{2+}$ -АКЦЕПТОРНЫХ БЕЛКОВ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ МУСКУЛАТУРЕ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ *LUMBRICUS TERRESTRIS*

*Нуруллин Л.Ф.<sup>1</sup>, Алмазов Н.Д.<sup>1</sup>, Волков Е.М.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

<sup>2</sup>Казанский государственный медицинский университет, Казань

E-mail: leniz2001@mail.ru

$Ca^{2+}$ -акцепторные белки участвуют в модуляции различных форм секреции медиатора и нейрональной пластичности как в центральных, так и периферических синапсах. Иммунофлуоресцентная идентификация  $Ca^{2+}$ -акцепторных белков в двигательной нервно-мышечной системе аннелид ранее не проводилась. Целью настоящего исследования стало иммунофлуоресцентное выявление наличия ряда  $Ca^{2+}$ -сенсорных белков в двигательной мускулатуре аннелид на примере дождевого червя. Фрагменты кожно-мышечного мешка дождевого червя окрашивались флуоресцентными антителами к  $Ca^{2+}$ -акцепторным белкам. Исследование проводилось на лазерном сканирующем конфокальном микроскопе. Нами было установлено, что в соматических мышечных клетках дождевого червя обнаруживается ряд ключевых  $Ca^{2+}$ -акцепторных белков, а именно: кальмодулин,  $Ca^{2+}$ -кальмодулин зависимая протеинкиназа 1 и 2, синаптотагмин 2 и 7, кальциневрин А. Некоторые из данных белков, такие как кальмодулин и  $Ca^{2+}$ -кальмодулин зависимая протеинкиназа типа 1 определяются как в синаптических, так и внесинаптических областях мышечных препаратов, без выраженной привязки своей локализации к зонам нервно-мышечных контактов. В то же время такие белки как  $Ca^{2+}$ -кальмодулин зависимая протеинкиназа 2, синаптотагмин 2, синаптотагмин 7 и кальциневрин А хотя представлены и во внесинаптических регионах соматической мышцы, отчетливо демонстрируют свое присутствие именно в зонах концевых пластинок мионевральных синапсов. При этом для синаптотагмина 7 и кальциневрина А это присутствие выражено наиболее отчетливо.

Основываясь на данных литературы, можно предполагать, что данные белки могут играть существенную роль как в процессах квантовой секреции медиатора, рециклировании постсинаптических канально-рецепторных комплексов, так и нейрональной пластичности двигательных нервно-мышечных синапсов.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00239, <https://rscf.ru/project/23-24-00239/>).*

# **АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В M. SOLEUS И ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ СЕРДЦА ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ И ВОЗДЕЙСТВИИ ОМЕКАМТИВ МЕКАРБИЛА**

***Потоскуева Ю.К.<sup>1</sup>, Герцен О.П.<sup>1</sup>, Тыганов С.А.<sup>2</sup>, Сергеева К.В.<sup>2</sup>,  
Никитина Л.В.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>2</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: iu.k.potoskueva@iip.uran.ru

Поддержание функции скелетной и сердечной мускулатуры при разгрузке является значимой проблемой для космической, клинической и реабилитационной медицины.

Целью исследования было сохранение функции камбаловидной мышцы и миокарда в условиях антиортостатического вывешивания с использованием селективного активатора медленного  $\beta$ -миозина омекамтив мекарбила (ОМ). В качестве модели использовались крысы линии Wistar, разделенные на 4 группы: контрольную (С); контрольную с инъекцией ОМ (1,2 мг/кг/сут) (СОМ); антиортостатическим вывешиванием (14 дней) с инъекциями ОМ (НОМ) или без (Н). Исследование функциональных и структурных характеристик миозина проводилось методами искусственной подвижной системы (ИПС) и электрофоретическим разделением тяжелых (ТЦМ), легких существенных (СЛЦ) и легких регуляторных (РЛЦ) цепей миозина в ПААГ.

В камбаловидной мышце групп Н и НОМ содержание  $\beta$ -ТЦМ снизилось на 26 %, а в миокарде левого желудочка – возросло на 8 и 6 % соответственно. В m. soleus групп вывешивания впервые обнаружено отсутствие изоформы СЛЦ 1s, при этом содержание изоформы 1f повышалось на 13 %. В ИПС скорость скольжения актина по миозину m. soleus повышалась на 24 % в группе Н и снижалась на 27 % в группе СОМ; скорость реконструированного тонкого филамента (РТФ) в группах Н и НОМ повышалась на 19 и 13 % соответственно, в группе СОМ – снижалась на 7 %. В левом желудочке скорость скольжения актина по миозину повышалась на 15 % в группе НОМ, а в группе СОМ – снижалась на 8 %.

Антиортостатическое вывешивание способно изменять функцию не только скелетных мышц, но и левого желудочка сердца, приводя к изменению соотношения изоформ ТЦМ. Так как ОМ является активатором  $\beta$ -миозина, его влияние на характеристики актин-миозинового взаимодействия в левом желудочке крыс, где преобладает  $\beta$ -изоформа, невелико. В m. soleus воздействие ОМ частично поддержало функцию на молекулярном уровне, не влияя на экспрессию изоформ.

*Финансовая поддержка: грант Российского научного фонда № 22-25-00602.*

# ПРЯМОЕ ВЛИЯНИЕ ИОНОВ СВИНЦА И КАДМИЯ НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ

*Потоскуева Ю.К.<sup>1</sup>, Герцен О.П.<sup>1</sup>, Цыбина А.Е.<sup>1</sup>, Спиридонова Н.А.<sup>2</sup>,  
Никитина Л.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: iu.k.potoskueva@iip.uran.ru

Свинец и кадмий являются известными антропогенными ксенобиотиками, которые ухудшают качество жизни населения и сокращают продолжительность жизни. Эти металлы оказывают отрицательное воздействие на большинство органов и систем, включая сердечно-сосудистую. Свинцовая интоксикация ассоциирована с 4,6 % ежегодных случаев возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. Свинец и кадмий способны проникать в кардиомиоциты и вмешиваться в клеточный цикл, однако их прямое влияние на актин-миозинное взаимодействие еще не исследовалось.

Для исследования использовался миозин, выделенный из левого желудочка сердца быка. Прямое влияние свинца и кадмия на актин-миозинное взаимодействие исследовалось методом искусственной подвижной системы (ИПС), путем добавления растворов солей (PbCl<sub>2</sub> и CdCl<sub>2</sub>) по отдельности и в комбинации непосредственно в проточную камеру в концентрациях от 0 до 1600 мкмоль/л.

Во всех случаях добавление раствора соли приводило к постепенному снижению скорости скольжения актина по миозину, причем кривая зависимости «концентрация-эффект» имела двухфазный вид, что может объясняться наличием двух потенциальных сайтов связывания металлов на миозине. Прямое воздействие кадмия приводило к остановке движения в меньших концентрациях, чем воздействие свинца, а также свинца и кадмия в комбинации. При низких концентрациях (<500 мкмоль/л) комбинация металлов приводила к более резкому снижению скорости, чем свинец и кадмий по отдельности. При высоких концентрациях (>500 мкмоль/л) кадмий и комбинация металлов вызывали примерно одинаковое снижение скорости, тогда как свинец имел меньший эффект.

Полученные впервые данные поддерживают гипотезу о наличии прямого влияния свинца и кадмия на актин-миозинное взаимодействие. Также, результаты предполагают наличие на миозине как минимум двух сайтов связывания ионов тяжелых металлов, и что они способны конкурировать друг с другом за эти сайты.

*Финансовая поддержка: грант Российского научного фонда № 22-74-00128.*

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ЭКСПРЕССИЮ $\alpha$ -SMA В ГЛАДКОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ТОЩЕЙ КИШКИ МЫШЕЙ C57BL/6N ПРОЕКТА «БИОН-М1»

**Самойленко Т.В.<sup>1</sup>, Шишкина В.В.<sup>1</sup>, Атякшин Д.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко Минздрава России, НИИ экспериментальной биологии и медицины, Воронеж

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Научно-образовательный ресурсный центр «Инновационные технологии иммунофенотипирования, цифрового пространственного профилирования и ультраструктурного анализа», Москва

E-mail: antailkka@mail.ru

Одним из основных, обеспечивающих сократительную функцию, морфо-функциональных компонентов полых органов, обладающих в своей структуре высоким уровнем гладкомышечного актина ( $\alpha$ -SMA), является гладкая мышечная ткань (ГМТ). Воздействия факторов космического полета на ГМТ остается актуальной проблемой космической биомедицины.

Целью исследования стало изучение уровня экспрессии  $\alpha$ -SMA ГМТ в оболочках тощей кишки мышей C57BL/6N 30-суточного полетного эксперимента «БИОН-М1».

В программе исследования участвовало 26 самцов мышей. Забор биоматериала полетной группы ( $n = 5$ ) осуществлялся через 9–11 часов после приземления биоспутника. Группа реадaptации ( $n = 5$ ) для исследования процессов восстановления после космического полета находилась 7 суток в виварийных условиях. Каждой экспериментальной группе соответствовал виварийный контроль ( $n = 8$ ). Фиксация тощей кишки проводилась в 10 % формалине. Срезы 2 мкм окрашивали иммуногистохимически антителами к  $\alpha$ -SMA (1:100, No. MSK030, Zytomed Systems). Подсчет площади экспрессии проведен по 40 полям зрения на микроскопе ZEISS Axio Imager.A2 с помощью программы ImageJ 1.51J8.

В результате анализа иммунопозитивной площади  $\alpha$ -SMA в мышечной оболочке тощей кишки установлено снижение в группе космического полета более, чем на 12 %, по сравнению с группой контроля, что может указывать на снижение функциональной активности ГМТ после влияния факторов космического полета. В слизистой оболочке отмечалось повышение экспрессии  $\alpha$ -SMA не в мышечной пластинке, а за счет отдельно локализованных позитивных клеток в строме ворсин. В группе реадaptации выявлено незначительное снижение экспрессии в мышечной оболочке, что может указывать на необходимость более длительного восстановления функциональных возможностей. Сбалансированная координация сократительной деятельности ГМТ органов пищеварительной системы необходима для адекватной перистальтики, изменения которой лежат в основе формирования нарушений эвакуаторной функции кишечника.



# **ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПУТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕРАМИДА НА КОМПОНЕНТЫ ДИСТРОФИН-АССОЦИИРОВАННОГО ГЛИКОПРОТЕИДНОГО КОМПЛЕКСА И КОСТАМЕРНЫЙ ГАММА-АКТИН В КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЕ КРЫС ПРИ 14-СУТОЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ**

*Секунов А.В., Протопопов В.А., Иванов М.В., Гаврилов Н.Р.,  
Брындина И.Г.*

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» МЗ РФ,  
Ижевск

E-mail: d1key@inbox.ru

Дистрофин, бета-дистрогликан и гамма-актин формируют систему, лежащую в основе защиты сарколеммы от механических альтераций. Показано, что дистрофин и бета-дистрогликан проявляют чувствительность к изменениям в композиции сарколеммальных липидных доменов, а также могут реагировать на изменения сарколеммы при функциональной разгрузке. Ранее нами была показана взаимосвязь между составом липидных доменов сарколеммы и ростом уровней церамида в постуральных мышцах крыс при функциональной разгрузке. Однако влияние данной липидной динамики на изменения компонентов дистрофин-ассоциированного гликопротеидного комплекса и костамерного гамма-актина до конца не исследованы.

Целью данной работы стала оценка влияния ингибирования сфингомиелиназного гидролиза на уровни компонентов дистрофин-ассоциированного гликопротеидного комплекса и костамерного гамма-актина при 14-суточной функциональной разгрузке постуральных мышц крыс.

Объектом исследования стали 36 половозрелых белых крыс-самцов Вистар. Функциональная разгрузка была воспроизведена посредством антиортостатического вывешивания (АОВ) экспериментальных групп животных в течение 14 суток под углом 30 градусов согласно модели Ильина – Новикова, в модификации Morey-Holton. В качестве метода воздействия на активность кислой сфингомиелиназы применяли препараты группы препаратов, являющихся функциональными ингибиторами данного фермента. Взятый для исследования материал *m. soleus* был подвергнут иммунофлуоресцентному исследованию и вестерн-блот

анализу. Для сравнения полученных результатов применялся непараметрические критерии Краскела – Уоллиса и Манна – Уитни.

К 14-м суткам функциональной разгрузки в постуральной *m. soleus* нами было достоверно отмечено снижение уровней иммунофлуоресценции и иммуноэкспрессии дистрофина и бета-дистрогликана, а также прирост уровней костамерного гамма-актина ( $p < 0,05$ ) относительно контроля. Введение amitriptилина предотвращало данные изменения с параллельным ограничением вызванного разгрузкой повышения уровня сарколеммального церамида. В данном исследовании нами показано, что ингибирование процесса сфингомиелиназного гидролиза способно частично предотвращать деструкцию дистрофин-ассоциированного гликопротеидного слоя и снижать рост костамерного гамма-актина в *m. soleus* крыс при 14-суточной функциональной разгрузке.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-315-90099).*

# МЕХАНИЧЕСКИЕ И СИГНАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-РАЗГРУЖЕННОЙ M. SOLEUS КРЫСЫ В ОТВЕТ НА МЕДИКАМЕНТОЗНО- ИНДУЦИРОВАННУЮ АКТИВНОСТЬ $\beta$ -МИОЗИНА

*Сергеева К.В.<sup>1</sup>, Никитина Л.В.<sup>2</sup>, Тыганов С.А.<sup>1</sup>, Шенкман Б.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

E-mail: sergeeva\_xenia@mail.ru

Известно, что при функциональной разгрузке скелетных мышц млекопитающих наиболее выраженным атрофическим изменениям подвергается постуральная камбаловидная мышца (Ohira Y. et al., 2002), содержащая преимущественно волокна медленной изоформы тяжелых цепей миозина типа I( $\beta$ ). Вместе с тем, в ряде работ было обнаружено наличие автономной нервно-мышечной активности мышц, регистрируемой через 3 суток функциональной разгрузки (Alford E.K. et al., 1987; Kawano F. et al., 2002).

Целью настоящего исследования было изучение терапевтического потенциала активатора  $\beta$ -миозина Омекамтив Мекарбила (ОМ) в профилактике атрофии и сохранении функции медленных скелетных мышц. ОМ стабилизирует рычаг миозина в положении ON, увеличивает количество поперечных мостиков и продлевает время их жизни и, таким образом, ОМ должен увеличивать интенсивность, длительность и механическую эффективность спонтанной сократительной активности. Нами обнаружено, что ОМ частично предотвратил снижение изометрической силы и собственной жесткости камбаловидной мышцы после двух недель экспозиции в условиях безопорности. Кроме того, инъекции препарата ОМ сохранили скорость синтеза белка на уровне контрольных значений. Между тем, применение препарата привело к активации протеолиза, что не позволило предотвратить снижение площади поперечного сечения быстрых и медленных мышечных волокон.

Таким образом, химически-индуцированное увеличение мощности и продолжительности низкоинтенсивных спонтанных сокращений камбаловидной мышцы на фоне разгрузки создает предпосылки для синтеза белка. При этом, следует полагать, что применение ОМ целесообразно с фармакологическими препаратами, ингибирующими экспрессию убиквитинлигаз.

*Финансовая поддержка: грант № 22-25-00602.*

## **ОСОБЕННОСТИ СОКРАЩЕНИЯ КАРДИОМИОЦИТОВ ИЗ МИОКАРДИАЛЬНЫХ РУКАВОВ ЛЕГОЧНЫХ ВЕН**

**Симонова Р.А., Бутова К.А., Мячина Т.А., Хохлова А.Д., Щепкин Д.В.**

Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург

E-mail: cmybp@mail.ru

Область впадения легочных и полых вен (ЛВ и ПВ) в левое и правое предсердие (ЛП и ПП) является очагом эктопической активности. Обнаружено, что электрофизиологические характеристики кардиомиоцитов миокардиальных «рукавов» ЛВ и ПВ отличаются от таковых кардиомиоцитов ЛП и ПП. Механическая активность кардиомиоцитов влияет на динамику внутриклеточного кальция и может способствовать их спонтанной активности и аритмогенезу. Мы сравнили характеристики сокращения одиночных кардиомиоцитов из миокардиальных «рукавов» ЛВ и миокарда ЛП.

Исследование проведено на морских свинках в соответствии с Директивой 2010/63/ЕС и одобрено этическим комитетом ИИФ УрО РАН. Одиночные кардиомиоциты из ЛП и ЛВ получены методом перфузии по Лангендорфу с модификацией (Butova et al., MethodsX, 2021). Динамика сокращения-расслабления саркомеров в механически ненагруженных кардиомиоцитах измерена при 36-370С и частоте стимуляции 1 Гц на системе IonOptix (IonOptix Corporation, США).

Обнаружено, что амплитудные и временные характеристики сокращения саркомеров кардиомиоцитов ЛВ и ЛП не отличаются, но есть особенности корреляции параметров сократительной функции саркомеров и длины кардиомиоцитов. В ЛП и в ЛВ максимальные скорости укорочения-удлинения положительно коррелировали с амплитудой укорочения-удлинения саркомеров. Только в ЛП амплитуда укорочения саркомеров увеличивалась с увеличением длины кардиомиоцита. Эта корреляция ранее описана для кардиомиоцитов желудочков [Khokhlova et al., J Mol Cell Cardiol., 2022] и может быть важна для поддержания напряжения при хроническом увеличении конечно-диастолического объема желудочка [Russel et al., J. Mol. Cell. Cardiol, 2010; Wilson et al., Cell. Mol. Life Sci., 2014]. Отсутствие такой корреляции свидетельствует о меньшей адаптивной способности сократительной функции кардиомиоцитов в ЛВ.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-24-00356.*

# ЭПИГАЛЛОКАТЕХИН ГАЛЛАТ (EGCG) СНИЖАЕТ АНОМАЛЬНУЮ $Ca^{2+}$ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА, ВЫЗВАННУЮ E91G ЗАМЕНОЙ СКЕЛЕТНОГО $\beta$ -ТРОПОМИОЗИНА

*Тишкова М.В., Сиренко В.В., Аврова С.В., Боровиков Ю.С., Карпичева О.Е.*

Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург

E-mail: mariiatiskova@gmail.com

Тропомииозин, тропонин и  $Ca^{2+}$  регулируют актин-миозиновое взаимодействие в скелетной мышце; точечные замены в последовательности тропомииозина ассоциированы с различными миопатиями. Ранее нами была исследована аминокислотная замена E91G в  $\beta$ -тропомииозине, приводящая к развитию дистального артрогрипоза, гипертрофичности и повышенной  $Ca^{2+}$  чувствительности. Возможность снижения  $Ca^{2+}$  чувствительности оценивали с применением EGCG, эффективность которого показана при изучении гипертрофической кардиомиопатии на одиночных скелетных мышечных волокнах. В работе использовали теневые мышечные волокна, содержащие актиновые нити, декорированные рекомбинантным  $\beta$ -тропомииозином, тропонином и флуоресцентно-меченным S1, полученными из скелетных мышц кролика. Поляризованную флуоресценцию 1,5-IAEDANS-S1 использовали для изучения молекулярных механизмов регуляции актин-миозинового взаимодействия при моделировании АТФазного цикла.

Показано, что замена E91G приводит к наклону миозиновых головок к оси актина и генерации более сильной формы связывания (уменьшению ФЕ), что указывает на аномальное увеличение  $Ca^{2+}$  чувствительности. Добавление EGCG в отсутствие нуклеотидов при низком уровне  $Ca^{2+}$  заметно повышало ФЕ до значений, характерных для дикого типа и указывало на возможность снижения кальциевой чувствительности с помощью EGCG. В системе с АДФ и высоким уровнем  $Ca^{2+}$  EGCG также ослаблял связывание миозина (увеличение с  $43,3^\circ$  до  $45,9^\circ$ ); однако, показатель поднимался выше, чем характерно для дикого типа (ФЕ = 43,6). При моделировании слабой формы связывания (АТФ, низкая концентрация кальция) EGCG увеличил ФЕ с  $47,4^\circ$  до  $50,2^\circ$ ; для дикого типа этот показатель составлял  $52,3^\circ$ , т. е. восстановление расслабления было неполным.

Таким образом, установлено, что в системе одиночного теневого мышечного волокна в цикле гидролиза АТФ  $30 \mu M$  EGCG частично ослабляет влияние мутации, снижает кальциевую чувствительность регуляторной системы, не влияя на АТФазную активность.

*Поддержано грантом РНФ № 23-24-00534.*

## ВЛИЯНИЕ КАРБАХОЛИНА НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ МИОГЕНЕЗА IN VITRO

*Токмакова А.Р.<sup>1</sup>, Сибгатуллина Г.В.<sup>1</sup>, Маломуж А.И.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань

E-mail: annna.tok@gmail.com

Изучение процесса миогенеза мышечной ткани имеет значение не только с точки зрения эмбриологии и фундаментальной биологии, но и с точки зрения прикладной медицины. В настоящее время стали появляться данные о том, что процесс образования мышечной ткани может модулироваться не только целым рядом известных регуляторных факторов (белки *Mef*, *Wnt*, *MyoD* и т. д.), но и сигнальными молекулами, играющими роль нейромедиатора в зрелом организме.

Целью нашего исследования стала оценка влияния карбахолина (структурного аналога ацетилхолина) на развитие первичной культуры миоцитов, полученной из новорожденных крысят. Оценивали такие параметры как индекс деления (ИД, соотношение делящихся клеток на общее количество клеток) на 2 сутки и индекс слияния (ИС, соотношение ядер в миотрубках к общему количеству клеток в поле зрения) на 4 сутки культивирования.

Установлено, что карбахолин в концентрации 0.1 нМ увеличивает ИС на 54 %, тогда как в концентрациях 10 нМ и 1 мкМ это увеличение составляло лишь 22 % и 10 %, соответственно. ИД при инкубации с холинотропом (0.1 нМ) увеличивался на 17 %, а в присутствии более высоких концентраций (10 нМ и 1 мкМ) снижался на 17–20 %. Эффект карбахолина на ИД не устранялся ни атропином (блокатором мускариновых холинорецепторов) ни тубокурарином (блокатором никотиновых холинорецепторов). При этом было отмечено, что в присутствии тубокурарина снижается общее количество клеток. Снижение выживаемости культуры при инкубации с тубокурарином было подтверждено с помощью МТТ-теста.

Таким образом, мы можем заключить, что наномолярные концентрации холинотропа оказывают трофотропное влияние на культуру миоцитов млекопитающего.

## РАСПАД ЦИТОСКЕЛЕТА КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ НАРУШЕНИИ СОЗНАНИЯ

*Тыганов С.А.<sup>1</sup>, Туртикова О.С.<sup>1</sup>, Кондратьева Е.А.<sup>2</sup>,  
Кондратьев А.Н.<sup>2</sup>, Шенкман Б.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

<sup>2</sup>Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт им.  
профессора А.Л. Поленова, Санкт-Петербург

E-mail: sentackle@yandex.ru

Достижения в области интенсивной терапии позволили большему количеству пациентов пережить острое критическое состояние и перейти из состояния комы в состояния хронического нарушения сознания (вегетативное состояние и состояние минимального сознания). Миопатия критических состояний (critical illness myopathy, CIM) представляет собой нервно-мышечное расстройство, часто наблюдаемое в отделении интенсивной терапии. Целью данной работы было подробной изучение состояния цитоскелета камбаловидной мышцы в условиях CIM.

Инцизионные мышечные биопсии из камбаловидной мышцы были взяты у 8 пациентов, проходящих лечение в отделении анестезиологии и реанимации РНХИ им. проф. А.Л. Поленова. Мышечные биоптаты, взятые у пациентов, замораживались в жидком азоте сразу после взятия. Содержание белков цитоскелета было проанализировано с помощью вестерн-блоттинга, ПЦР в реальном времени и гистохимического анализа. Морфологическое исследование камбаловидных мышц у пациентов с ХНС показало атрофию мышечных волокон и замещение их объема соединительной тканью. Мы наблюдали снижение площади поперечного сечения мышечных волокон на 73%, экспрессию эмбриональных миозинов, указывающую на денервацию, нарушение структуры цитоскелетных белков, фиброз, отложение липидов и снижение запасов гликогена, которые могут оказать негативное влияние на качество жизни больного, а также существенно осложнить этап реабилитации. Дальнейшее изучение цитоскелета с помощью ПЦР и вестерн-блоттинга помимо очевидного подтверждения атрофических изменений показало сдвиг миозинового фенотипа в сторону «быстрых» (гликолитических) мышечных волокон. Об этом свидетельствует как смена экспрессии самих тяжелых цепей миозина, так и вспомогательных структурных белков актининов, талина, тропомиозина. Разрастание же внеклеточного матрикса, по нашим данным, идет за счет повышения экспрессии коллагена 1а и коллагена ба.

# **MOTS-C КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО МЕЖДУ ДИСФУНКЦИЕЙ МИТОХОНДРИЙ И АТРОФИЕЙ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ**

***Шарло К.А., Сидоренко Д.А., Львова И.Д., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.***

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: sharlokris@gmail.com

В условиях функциональной разгрузки отсутствие опорной афферентации приводит к инактивации постуральных мышц, затем возникает атрофия мышечных волокон, и наряду с этим снижаются показатели митохондриальной плотности. Ряд авторов предполагал, что нарушение работы митохондрий может вносить вклад в развитие атрофии (Cannavino, Brocra et al. 2014), однако сигнальные механизмы этих эффектов оставались неизвестными.

Несколько лет назад были открыты биологически активные пептиды митохондрий, или митокины, к которым, в частности, относится пептид MOTС-С. Экспрессия MOTС-С повышается в условиях упражнений на выносливость и снижается при функциональной разгрузке; также было показано, что MOTС-С влияет на регуляторы протеостаза (Kumagai, Coelho et al. 2021). Целью нашей работы было изучение эффектов введения экзогенного MOTС-С на фоне 7-суточной функциональной разгрузки крыс на параметры протеостаза их камбаловидных мышц. Животные были поделены на три группы: С – виварный контроль; 7HS – 7-суточное вывешивание с внутрибрюшинным введением физиологического раствора; 7HSM – 7-суточное вывешивание с ежедневным внутрибрюшинным введением MOTС-с (40 мг/кг).

Мы обнаружили, что введение митокина MOTС-с на фоне 7 суток функциональной разгрузки (в модели антиортостатического вывешивания по Ильину-Новикову в модификации Morey-Holton) приводит к частичному предотвращению снижения площади поперечного сечения «медленных» волокон камбаловидной мышцы, предотвращает рост экспрессии мРНК убиквитинлигаз MuRF-1 и Atrogin и способствует частичному предотвращению снижения содержания рибосомальных РНК. В группе 7HSM уровень ингибирующего фосфорилирования (Ser9) GSK3β был на 97 % выше, а содержание тотальной Akt было на 70 % выше, чем в группе 7HS. Таким образом, нарушение митохондриальных функций, приводящее к снижению содержания MOTС-С при функциональной разгрузке, по-видимому, может вносить вклад в нарушения протеостаза и развитие атрофии в данных условиях.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-75-10048.*



# ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ МИОЗИНОВОГО ФЕНОТИПА

**Шенкман Б.С.**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: bshenkman@mail.ru

Известно, что камбаловидная мышца (SOL) млекопитающих (в частности, крысы и человека) выполняет основную работу по стабилизации позы и локомоции в земных условиях [Hodgson et al., 2000]. При устранении силы реакции опоры активность SOL и особенно ее медленных двигательных единиц резко снижается [Alford et al., 1987; Киренская и др., 1983; Kawano et al., 2002; 2004; Sharlo et al., 2023]. При продолжительном устранении опоры в SOL крысы многократно наблюдали трансформацию части медленных волокон в быстрые [См. обзор Shenkman, 2016]. Эта трансформация обусловлена снижением экспрессии гена медленного миозина (*myh7*) и повышением экспрессии генов быстрых изоформ (*myh1*, 2, 4). Трансформацию типов волокон в условиях разгрузки можно предотвратить, если механически раздражать кожные рецепторы опорных зон стопы [Shenkman et al., 2004; Sharlo et al., 2021]. Нами были проанализированы несколько механизмов, действующих в SOL в условиях моделируемой гравитационной разгрузки, и приводящих к снижению экспрессии мРНК медленного миозина. В начальный период разгрузки на фоне накопления молекул АТФ в мышце и соответствующего дефосфорилирования АМФ-активируемой протеин киназы гистондеацетилаза 4 (HDAC4) импортируется в миомера и блокирует экспрессию гена *myh7* [Vilchinskaya et al., 2017; Lvova et al., 2023]. Снижение содержания оксида азота (NO) в SOL, наблюдаемое в условиях гравитационной разгрузки, также приводит к снижению экспрессии гена *myh7* через активацию киназы гликогенсинтазы (GSK3 $\beta$ ) и экспорт транскрипционного фактора NFATc1 из миомер [Sharlo et al., 2020]. Мало того, оказалось, что при искусственном снижении содержания NO механическая стимуляция стопы не может предотвратить трансформацию медленных волокон в быстрые [Sharlo et al., 2021]. Недавно показано, что избыток Ca<sup>2+</sup>, обнаруженный при разгрузке [Ingalls et al., 1999, 2001; Gao et al., 2022] способен путем активации МАПкиназ приводить к экспорту NFATc1 из миомер и соответственно к снижению экспрессии гена *myh* [Sharlo et al., 2019]. Таким образом, тоническая мышечная активность, регулируемая гравитационно-зависимой опорной афферентацией [Kozlovskaya et al., 1983] через комплекс вторичных мессенджеров мышечного волокна контролирует миозиновый фенотип.

*Поддержано Программой фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН (FMFR-2024-0032).*

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА .....	3
ТЕЗИСЫ .....	21

### ИНТЕГРАТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ПОЗЫ И ЛОКОМОЦИИ

ПОСТУРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ИСПЫТУЕМЫХ РАЗНЫХ КОГНИТИВНЫХ СТИЛЕЙ В ОТВЕТ НА ЗВУКИ ПРИБЛИЖАЮЩИХСЯ СЗАДИ ШАГОВ <i>Андреева И.Г., Тимофеева О.П.</i> .....	25
--	----

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДОШВЕННОЙ ИМИТАЦИИ ОПОРНЫХ НАГРУЗОК С ЦЕЛЬЮ ПРОФИЛАКТИКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЗОПОРНОСТИ <i>Бекренева М.П., Савеко А.А., Томиловская Е.С.</i> .....	26
--	----

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ МЕХАНОТЕРАПИИ К РАБОТЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА НА АКТИВНОСТЬ МОЗГА И АКТИВНОСТЬ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ ВООБРАЖЕНИИ ИХ ДВИЖЕНИЙ <i>Боброва Е.В., Решетникова В.В., Вершинина Е.А., Бобров П.Д., Герасименко Ю.П.</i> .....	27
--	----

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОРРЕКЦИИ ПОЗЫ КОСМОНАВТОВ НА ОСНОВЕ ПРОПРИОЦЕПТИВНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ <i>Гайнутдинова Э.А., Шишкин Н.В., Савеко А.А., Томиловская Е.С.</i> .....	28
--	----

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛОКОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ДЕТЕЙ ОРТОПЕДИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ И С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ <i>Долганов Д.В., Трофимов А.О., Смолькова Л.В., Долганова Т.И., Черепанов И.Д.</i> .....	29
--	----

3D ВИДЕОАНАЛИЗ ПОХОДКИ В ДИАГНОСТИКЕ КОМПЕНСИРОВАННЫХ И ДЕКОМПЕНСИРОВАННЫХ НАРУШЕНИЙ ЛОКОМОТОРНОГО ПРОФИЛЯ <i>Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В.</i> .....	30
--	----

ЭМГ – АКТИВНОСТЬ ПЕРЕДНЕЙ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ И КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦ ПРИ УДЕРЖАНИИ РАВНОВЕСИЯ В УСЛОЖНЯЮЩИХСЯ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИХ ПРОБАХ У ЧЕЛОВЕКА <i>Желтухина А.Ф., Балтин М.Э., Шульман А.А., Никулина М.И., Балтина Т.В.</i> .....	31
--	----

ВЛИЯНИЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА ПЛАНИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ РУКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЙ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ДЖОЙСТИКА У ОБЕЗЬЯН И ЧЕЛОВЕКА <i>Зобова Л.Н., Миллер Н.В., Бадаква А.М.</i> .....	32
СПИНАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СПОНТАННОЙ ТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРУЕМОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ <i>Калашников В.Е., Туртикова О.В., Тыганов С.А., Сергеева К.В., Шенкман Б.С.</i> .....	33
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ В УСЛОВИЯХ «В ШАПКЕ» И «БЕЗ ШАПКИ» У ПАЦИЕНТА С БИЛАТЕРАЛЬНОЙ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ ГИПОФУНКЦИЕЙ И У ЗДОРОВЫХ МОЛОДЫХ ИСПЫТУЕМЫХ <i>Кравцова Е.Н., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И.</i> .....	34
ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТАКТИВАЦИОННОГО ЭФФЕКТА МЫШЦ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ЛИЦ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ШИЗОФРЕНИЧЕСКОГО СПЕКТРА <i>Кузьмина А.П., Мейгал А.Ю., Буркин М.М., Герасимова-Мейгал Л.И.</i> .....	35
ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТАКТИВАЦИОННОГО ЭФФЕКТА МЫШЦ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ЛИЦ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА <i>Мейгал А.Ю., Пескова А.Е., Герасимова-Мейгал Л.И., Склярова А.С., Антонен Е.Г.</i> .....	36
СНИЖЕНИЕ ПОСТУРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ТЕСТАХ СО ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ АССОЦИИРОВАНО С ПОВЫШЕННОЙ БЕТА-МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У СПОРТСМЕНОВ <i>Мельников А.А., Дроненко М.В., Березин В.С., Зонов А.А.</i> .....	37
МЫШЕЧНЫЕ СИНЕРГИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОТОРНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА <i>Моисеев С.А.</i> .....	38
ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТИВНОЙ ГИМНАСТИКОЙ <i>Ниази Е.С., Назаренко А.С., Платошкина Е.Е., Федянин А.О., Богова Л.Н.</i> .....	39
ПОСТАКТИВАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ДЕЛЬТОВИДНОЙ МЫШЦЕ ЧЕЛОВЕКА В РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ <i>Пескова А.Е., Мейгал А.Ю., Герасимова-Мейгал Л.И., Антонен Е.Г.</i> .....	40

МИОГРАФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ ГОЛЕНИ В ПОКОЕ ОПРЕДЕЛЯЕТ ТОЧНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ МОЗГА ПРИ ВООБРАЖЕНИИ ДВИЖЕНИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*Решетникова В.В., Боброва Е.В., Вершинина Е.А.,  
Бобров П.Д., Герасименко Ю.П.* ..... 41

ПОСТУРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ НА ПОВТОРНЫЕ ВРАЩЕНИЯ НА ЦЕНТРИФУТЕ КОРОТКОГО РАДИУСА В ИНТЕРВАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Рябова А.М., Савеко А.А., Бекренева М.П.,  
Курбанова О.Э., Гайнутдинова Э.А.* ..... 42

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МЫШЦ РУКИ ПОСЛЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ К ЕЕ МЫШЦАМ И ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ МЫШЦ НА ВНЕШНИЕ СТИМУЛЫ

*Селионов В.А., Солопова И.А.* ..... 43

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ И КИНЕМАТИКИ ЛОКОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

*Смолькова Л.В.* ..... 44

ИММУНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ GFAP В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ СПИННОГО МОЗГА КРЫСЫ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОМ ВЫВЕШИВАНИИ ЗАДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*Тяпкина О.В.* ..... 45

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ СПИНАЛЬНЫХ РЕФЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ

*Шигуева Т.А., Абу Шели Н.М.А., Томиловская Е.С.* ..... 46

## **ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРЕОДОЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ**

МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОЛЬНАЯ СИЛА МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ПОСЛЕ КУРСА ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИИ

*Абу Шели Н.М.А., Савеко А.А., Шигуева Т.А.,  
Авдеева М.А., Русакова К.В., Евсеева Н.А., Гудкова А.А.,  
Гехт А.Б., Томиловская Е.С.* ..... 49

ВЛИЯНИЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА МУЛЬТИСЕГМЕНТАРНЫЕ РЕФЛЕКТОРНЫЕ ОТВЕТЫ МЫШЦ НОГ

*Бычкова А.Д., Китов В.В., Саенко Д.Г.,  
Томиловская Е.С., Шигуева Т.А.* ..... 50

<p>НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХОДЬБЫ У ПАРАЛИЗОВАННЫХ ПАЦИЕНТОВ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СПИНАЛЬНОЙ НЕЙРОМОДУЛЯЦИИ</p> <p><b>Герасименко Ю.П.</b> .....</p>	51
<p>ВЛИЯНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА НА ИМПУЛЬСНУЮ АКТИВНОСТЬ АФФЕРЕНТОВ МЫШЦ ГОЛЕНИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ХОДЬБЫ С УСИЛИЕМ</p> <p><b>Гладченко Д.А., Алексеева И.В., Челноков А.А.</b> .....</p>	52
<p>НИЗКОИНТЕНСИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРЕДОТВРАЩАЕТ СНИЖЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КАРДИАЛЬНОГО БАРОРЕФЛЕКСА ПОСЛЕ 7-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ</p> <p><b>Жедяев Р.Ю., Боровик А.С., Тарасова О.С., Рукавишников И.В., Виноградова О.Л.</b> .....</p>	53
<p>ЭФФЕКТЫ ПАРНОЙ АССОЦИАТИВНОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА МОТОРНУЮ СИСТЕМУ И ДВИГАТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА СПОРТСМЕНОВ</p> <p><b>Иванов С.М., Лактюшин В.В., Вериго Д.А., Городничев Р.М., Шляхтов В.Н.</b> .....</p>	54
<p>ЭПИДУРАЛЬНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СПИННОГО МОЗГА ДЕЦЕРЕБРИРОВАННОЙ DAT-КО КРЫСЫ ДВОЙНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ</p> <p><b>Ляховецкий В.А., Шкорбатова П.Ю., Горский О.В., Калинина Д.С., Баженова Е.Ю., Меркульева Н.С., Мусиенко П.Е.</b> .....</p>	55
<p>НЕИНВАЗИВНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СПИННОГО МОЗГА В ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ СО СПИНАЛЬНОЙ МЫШЕЧНОЙ АТРОФИЕЙ, ПОЛУЧАЮЩИХ ЛЕЧЕНИЕ ОРФАННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ</p> <p><b>Мошонкина Т.Р., Новиков А.Г., Мальдова М.А., Шаманцева Н.Д., Шальмиев И.М., Шошина Е.А., Епоян Н.В., Крутикова Н.Б.</b> .....</p>	56
<p>ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ СЕНСОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ В ХОДЕ И ПОСЛЕ ПРЕБЫВАНИЯ В МИКРОГРАВИТАЦИИ</p> <p><b>Саенко Д.Г.</b> .....</p>	57
<p>ЭФФЕКТЫ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА У КРЫС САМЦОВ СРЕДНЕГО ВОЗРАСТА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ</p> <p><b>Федянин А.О., Искаков Н.Г., Герасимов О.В., Балтин М.Э., Еремеев А.А.</b> .....</p>	59

ТЕХНОЛОГИИ ТРЕНИРОВКИ ХОДЬБЫ В ЭКЗОСКЕЛЕТЕ И ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА И МЫШЦ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ ИЛИ УТРАТОЙ ЛОКОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ <i>Шапкова Е.Ю., Емельяников Д.В., Штырина Е.В., Мусиенко П.Е.</i> .....	60
--	----

ВОПРОС ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ РАЗНОЙ ЧАСТОТЫ В ПРОФИЛАКТИКЕ НЕГАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ ГИПОДИНАМИИ И ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ <i>Шишкин Н.В., Томиловская Е.С.</i> .....	61
---	----

### **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ К ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ**

ПОСТУРАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТОЙКЕ НА ПОДВИЖНОЙ ТЕНЗОПЛАТФОРМЕ У ФУТБОЛИСТОВ <i>Андреева А.М., Мельников А.А., Карпенко Н.А., Сергеева О.С., Ганина В.П.</i> .....	65
---	----

ВЛИЯНИЕ ВОСЬМИНЕДЕЛЬНОГО ЦИКЛА ТРЕНИРОВКИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ НА ПАРАМЕТРЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ФУТБОЛИСТОВ 17–20 ЛЕТ <i>Аникеев В.И., Лаптев А.И.</i> .....	66
--	----

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА НА МЕТАБОЛИЗМ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ <i>Астратенкова И.В., Рогозкин В.А.</i> .....	67
---	----

ВЛИЯНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ КРЫСЫ ПРИ ПОЛНОЙ ТРАВМЕ СПИННОГО МОЗГА <i>Ахметзянова А.И., Балтин М.Э., Зюзя Е.А., Порошина С.Д., Балтина Т.В.</i> .....	68
--	----

ОТРАБОТКА НОВЫХ ТЕСТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SIRIUS-21 <i>Бахтерева В.Д., Сенаторова Н.А., Кокуева М.А., Романов П.В., Фомина Е.В.</i> .....	69
---	----

МАРКЕРЫ СИНТЕЗА И РАСПАДА БЕЛКА В ПОСТУРАЛЬНОЙ И ЛОКОМОТОРНОЙ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ 21-СУТОЧНОЙ ГИПОКИНЕЗИИ <i>Белова С.П., Зарипова К.А., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.</i> .....	70
--	----

К ВОПРОСУ ОБ АСИММЕТРИИ В СПОРТИВНЫХ ПОЗАХ <i>Бердичевская Е.М.</i> .....	71
ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ В ПРОИЗВОЛЬНОМ РЕЖИМЕ НА НЕРВНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ СЕРДЦА КРЫС <i>Борзых А.А., Селиванова Е.К., Виноградова О.Л., Тарасова О.С.</i> .....	72
МОДИФИКАЦИИ МОТОНЕЙРОННОГО ПУЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА <i>Буракова А.А., Сенаторова Н.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.</i> .....	73
ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАРОРЕФЛЕКТОРНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ <i>Виноградова О.Л., Тарасова О.С., Шарова А.П., Боровик А.С.</i> .....	74
ВЛИЯНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ АНАЭРОБНОЙ МОЩНОСТИ НА МОЩНОСТЬ ОТКАЗА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕСТА С ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ <i>Волков В.В., Тамбовцева Р.В.</i> .....	75
ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ КОСМОНАВТАМИ И УЧАСТНИКАМИ НАЗЕМНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА SIRIUS-23 <i>Ганичева А.А., Буракова А.А., Кокуева М.А., Бахтерева В.Д., Фомина Е.В.</i> .....	76
ДИНАМИКА СИЛОВЫХ И АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЫШЦ БЕДРА И ГОЛЕНИ ПРИ 3-НЕДЕЛЬНОМ СНИЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ <i>Жедяев Р.Ю., Галкин Г.В., Боровик А.С., Попов Д.В.</i> .....	77
ВЕРИФИКАЦИЯ ГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА АНАЭРОБНОГО ПОРОГА ПО ДИНАМИКЕ ЧСС В РАБОТЕ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ <i>Козлов А.В., Ваваев А.В., Аньшаков Н.И., Сонькин В.Д.</i> .....	78
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ КИНЕТИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ БЕГА В ГОДОВОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ <i>Кокуева М.А., Сенаторова Н.А., Фомина Е.В.</i> .....	79

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ЗАДНЕЙ КОНЕЧНОСТИ КРЫС В ИСТАРЕ ПОСЛЕ ПОЛОСТНОЙ ОПЕРАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАРКОЗА <i>Кондашевская М.В., Алексанкина В.В.</i> .....	80
ОСОБЕННОСТИ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ГОНАРТРОЗЕ <i>Коршунова А.А., Тихомирова И.А.</i> .....	81
ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА МЫШЕЧНУЮ СИЛУ И МЕХАНИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРЫЖКАХ С РАЗНОЙ ВЫСОТЫ <i>Коряк Ю.А., Ханafiева К.Р., Афоничев Н.К., Кнутова Н.С., Прочий Р.Р.</i> .....	82
БИОГЕНЕЗ ВНЕКЛЕТОЧНОГО МАТРИКСА СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗНОНАПРАВЛЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И СТАРЕНИИ <i>Леднев Е.М., Курочкина Н.С., Орлова М.А., Виговский М.А., Вавилов Н.Е.</i> .....	83
СОСТОЯНИЕ МЫШЕИ ПОСЛЕ БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «БИОН-М» № 2 <i>Машкин М.А., Другова С.В., Фадеева О.В., Белоус А.О.</i> .....	84
ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА И АКТИВНОСТИ СЕРДЦА БАДМИНТОНИСТОВ ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ <i>Назаренко А.С., Чершинцева Н.Н., Зверев А.А.</i> .....	85
ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА ГИМНАСТОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ ЗРИТЕЛЬНОГО И СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРОВ <i>Платошкина Е.Е., Ниази Е.С., Назаренко А.С., Ботова Л.Н.</i> .....	86
ВЛИЯНИЕ 5-СУТОЧНОЙ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ НА СОКРАТИТЕЛЬНЫЕ И ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА <i>Пономарев И.И., Лакиза Л.Ю., Томиловская Е.С.</i> .....	87
ГЕНДЕРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ-КОНЬКОБЕЖЦЕВ ВЫСОКОГО КЛАССА В ОДНОСУСТАВНЫХ И МНОГОСУСТАВНЫХ ДВИЖЕНИЯХ <i>Примаченко Г.К., Шпаков А.В., Воронов А.В.</i> .....	88



ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В СТРЕЛЬБЕ ИЗ ВИНТОВКИ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ПОДГОТОВКИ <i>Рыболовлев А.А., Васенина В.Г.</i> .....	89
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ МЕХАНИЗМОВ НЕРВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СОКРАЩЕНИЯХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ <i>Тарасова О.С., Бравый Я.Р., Шарова А.П., Боровик А.С., Виноградова О.Л.</i> .....	90
ОЦЕНКА МИОГЕННОГО КОМПОНЕНТА РЕГУЛЯЦИИ СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ПРИ РАЗВИТИИ СИНДРОМА ДИАБЕТИЧЕСКОЙ СТОПЫ <i>Троицкая Н.И.</i> .....	91
КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОЙ НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ПАРАЛИЧАХ <i>Шапкова Е.Ю.</i> .....	92
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ Н-РЕФЛЕКСА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА <i>Шилов А.С.</i> .....	93

## **РОЛЬ МИОКИНОВ И ДРУГИХ РЕГУЛЯТОРОВ В АКТИВНОСТИ МОТОРНЫХ СИНАПСОВ**

СКЕЛЕТНАЯ МУСКУЛАТУРА КАК ИСТОЧНИК ЭНДОКАННАБИНОИДОВ И ИХ АКТИВНОСТИ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ <i>Балезина О.П., Тарасова Е.О., Богачева П.О.</i> .....	97
СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЯ ЭФФЕКТОВ BDNF И ПРОДОМЕНА BDNF В РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ <i>Богачева П.О., Потапова Д.А., Гайдуков А.Е.</i> .....	98
ЛИПИД-ЗАВИСИМОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ БЕТА2-АДРЕНЕРГИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ В ДВИГАТЕЛЬНЫХ НЕРВНЫХ ОКОНЧАНИЯХ <i>Гафурова Ч.Р., Ценцевичский А.Н., Петров А.М.</i> .....	99
ВЛИЯНИЕ ГИПОДИНАМИИ НА ПУРИНЕРГИЧЕСКУЮ СИГНАЛИЗАЦИЮ В МИОНЕВРАЛЬНОМ СИНАПСЕ <i>Ефимова Д.В., Еремеев А.А., Хайруллин А.Е.</i> .....	100

СИНАПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ 25-ГИДРОКСИХОЛЕСТЕРИНА В СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЕ В НОРМЕ И В МОДЕЛИ БОКОВОГО АМИОТРОФИЧЕСКОГО СКЛЕРОЗА <i>Закирьянова Г.Ф., Кузнецова Е.А., Ценцевичкий А.Н., Мухутдинова К.А., Петров А.М.</i> .....	101
ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНИЗМА ТОРМОЖЕНИЯ ПРОДОМЕНОМ BDNF СИНАПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ В НЕРВНО-МЫШЕЧНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ <i>Молчанова А.И., Абрарова Г.Ф., Шепелёв Е.И., Гайдуков А.Е.</i> .....	102
АНАЛИЗ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ И ЕЕ АДРЕНЕРГИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ В МЫШЦАХ РАЗНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ У МОЛОДЫХ И СТАРЕЮЩИХ МЫШЕЙ <i>Одношивкина Ю.Г., Хузахметова В.Ф., Петров А.М.</i> .....	103
ДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННОГО АНАНДАМИДА И ИНГИБИТОРА ФЕРМЕНТА ЕГО ДЕГРАДАЦИИ НА СПОНТАННУЮ СЕКРЕЦИЮ АЦЕТИЛХОЛИНА В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ <i>Парщикова Ю.В., Тарасова Е.О., Балезина О.П.</i> .....	104
МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПРОНЕЙРОТРОФИНА BDNF В РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ МОТОРНЫХ СИНАПСАХ: ВЫЯСНЕННЫЕ АСПЕКТЫ И НЕРАЗГАДАННЫЕ ТАЙНЫ <i>Потапова Д.А., Богачева П.О.</i> .....	105
НЕЙРОМОТОРНЫЙ АППАРАТ МЫШЦ ГОЛЕНИ КРЫСЫ В ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПОСЛЕ ОПОРНОЙ РАЗГРУЗКИ ТАЗОВЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ <i>Сабирова Д.Э., Федянин А.О., Балтина Т.В., Еремеев А.А.</i> .....	106
СТРУКТУРА НЕЙРОМЫШЕЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У МЫШЕЙ MDX УЛУЧШАЕТСЯ ПОСЛЕ ТРАНСПЛАНТАЦИИ КОСТНОГО МОЗГА <i>Соколова А.В., Михайлов В.М.</i> .....	107
РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ СИНТЕЗА И ДЕГРАДАЦИИ ЭНДОКАННАБИНОИДА 2-АГ В РЕАЛИЗАЦИИ ЕГО ЭФФЕКТОВ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ МЫШИ <i>Тарасова Е.О., Богачева П.О., Балезина О.П.</i> .....	108
ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ СРЕДСТВ В КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ М-ОТВЕТА ПРИ СТЕРОИДНОЙ МИОПАТИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ <i>Труш В.В., Соболев В.И.</i> .....	109

ЭНДОКАННАБИНОИДНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ В МОТОРНЫХ СИНАПСАХ  
МОЖЕТ ТРЕБОВАТЬ УЧАСТИЯ БЕТА-АРРЕСТИНА-2

**Чернышев К.А., Богачева П.О., Балезина О.П.** ..... 110

## ГЕНОМНЫЕ И ПРОТЕОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

КАК МЫШЦЫ СТАНОВЯТСЯ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ  
И ФОРМИРУЮТ ТОЧКИ ПРИКРЕПЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ  
ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

**Адамейко И.И.** ..... 113

ОТ ОМИКСНЫХ ДАННЫХ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕГУЛЯТОРНЫХ  
ВАРИАНТОВ - ГЕНЕТИЧЕСКИХ ДЕТЕРМИНАНТ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Буян А.И., Мещеряков Г.А., Кулаковский И.В.** ..... 114

РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ  
СОНИ-ПОЛЧКА ВО ВРЕМЯ ЗИМНЕЙ СПЯЧКИ

**Газизова Г.Р., Девятяров Р.М., Комиссаров А.С.,  
Тяпкина О.В., Гусев О.А.** ..... 115

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСКРИПТОМА (RNA-Seq/scRNA-Seq)  
И МЕТАБОЛИЗМА МЫШЕЧНЫХ КЛЕТОК ВЫЯВИЛ НАРУШЕНИЯ,  
АССОЦИИРОВАННЫЕ С МУТАЦИЕЙ LMNA-R482L

**Иванова О.А., Игнатьева Е.В., Сорокина М.Ю.,  
Костарева А.А., Дмитриева Р.И.** ..... 116

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ  
СЕКВЕНИРОВАНИЯ РНК ОДИНОЧНЫХ КЛЕТОК, ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Гайнуллина А.Н.** ..... 117

ВЛИЯНИЕ 3-НЕДЕЛЬНОЙ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ  
НА ТРАНСКРИПТОМ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ С РАЗЛИЧНЫМИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

**Курочкина Н.С., Желяев Р.Ю., Махновский П.А.,  
Вепхвадзе Т.Ф., Леднев Е.М.** ..... 118

НОКАУТ ГЕНОВ HSP70 СНИЖАЕТ СКОРОСТЬ ЛОКОМОЦИЙ  
И ЗНАЧИТЕЛЬНО ИЗМЕНЯЕТ ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ  
В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ НОГ DROSOPHILA MELANOGASTER

**Махновский П.А., Кукушкина И.В., Курочкина Н.С.,  
Попов Д.В.** ..... 119

ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПРОФИЛЕЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА <i>Низамов Ш.Р., Газизова Г.Р., Шагимарданова Е.И., Гусев О.А., Девятяров Р.М.</i> .....	120
---	-----

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ MORFOMETРИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ <i>Обвинцева О.В., Еримбетов К.Т.</i> .....	121
--	-----

ВЛИЯНИЕ 3 НЕДЕЛЬ ANTIOPТОСТАТИЧЕСКОЙ ГИПОКИНЕЗИИ НА ЭКСПРЕССИЮ ВЫСОКОПРЕДСТАВЛЕННЫХ БЕЛКОВ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ <i>Орлова М.А., Жедяев Р.Ю., Вавилов Н.Э., Леднев Е.М., Вепхвадзе Т.Ф.</i> .....	122
--	-----

ПОИСК ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ТРАНСКРИПТОМ В РАЗНЫХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ СНИЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ <i>Попов Д.В.</i> .....	123
---	-----

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ НА СВОЙСТВА ФИБРО-АДИПОГЕННЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ СКЕЛЕТНОЙ МУСКУЛАТУРЫ <i>Сорокина М.Ю., Дмитриева Р.И.</i> .....	124
---	-----

НАРУШЕНИЯ РАННЕГО ФОСФОПРОТЕОМНОГО ОТВЕТА НА ПРИЕМ ПИЩИ В СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЕ ПРИ ОЖИРЕНИИ И САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 2 ТИПА <i>Якупова Э.И., Томилова А.О., Леднев Е.М., Попов Д.В.</i> .....	125
---	-----

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ И МЫШЕЧНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

DESMIN INTERMEDIATE FILAMENTS COUPLE MUSCLE STRUCTURAL INTEGRITY TO ITS METABOLIC CAPACITY <i>Shenhav Cohen</i> .....	129
---	-----

MOLECULAR LESSONS FROM MICROGRAVITY ON THE EARLY WINDOW OF OPPORTUNITY TO COUNTERACT WASTING ON MUSCLE MASS WITH DISUSE <i>Martin Flück</i> .....	130
---	-----

BRIDGING EM AND X-RAY DIFFRACTION IN STRUCTURAL STUDIES OF RELAXED STRIATED MUSCLE <i>Natalia A. Koubassova, Andrey K. Tsaturyan, Raúl Padrón, Roger Craig</i> .....	131
--	-----

TARGETTING GSK3 FOR DUCHENNE MUSCULAR DYSTROPHY:  
LESSONS FROM MDX MICE

**Bianca M. Marcella, Briana L. Hockey, Jessica L. Braun,  
Ryan W. Baranowski, Luc J. Wasilewicz, Rebecca E.K. MacPherson,  
Rene Vandenboom, Val A. Fajardo** ..... 132

MUSCLE FIBER TYPES AND MYOSIN ISOFORMS SEEN IN THE OMICS  
PERPECTIVE

**Carlo Reggiani** ..... 133

DUAL FILAMENT REGULATION OF MUSCLE CONTRACTION  
AND THE ROLE OF TITIN

**Caterina Squarci, Pasquale Bianco, Theyencheri Narayanan,  
Massimo Reconditi, Marco Linari, Gabriella Piazzesi,  
Vincenzo Lombardi** ..... 134

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ КЛЕТОК  
C2C12 С ЦЕЛЬЮ АКТИВАЦИИ АНАБОЛИЧЕСКОГО СИГНАЛЬНОГО  
ПУТИ mTORC1/p70S6K

**Бабкова А.Р., Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М.** ..... 135

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
МИТОХОНДРИАЛЬНОГО АППАРАТА СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

**Бакеева Л.Е., Вайс В.Б., Вангели И.М., Эльдаров Ч.М.,  
Зоров Д.Б.** ..... 136

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МИТОХОНДРИЙ  
СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ В МОДЕЛИ БОКОВОГО АМИОТРОФИЧЕСКОГО  
СКЛЕРОЗА G93A\*SOD1

**Белослудцева Н.В., Михеева И.Б., Ильзоркина А.И.,  
Дубинин М.В., Белослудцев К.Н.** ..... 137

ВЛИЯНИЕ ТРОПОМОДУЛИНА НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ  
ИЗОФОРМАМИ СОКРАТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ

**Бельдия Е.А., Кочурова А.М., Матюшенко А.М.,  
Щепкин Д.В., Копылова Г.В.** ..... 138

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

**Бершицкий С.Ю.** ..... 139

РОЛЬ МЕМБРАННОГО ХОЛЕСТЕРИНА В РЕГУЛЯЦИИ КАНАЛОВ PIEZO1  
В МИОБЛАСТАХ C2C12

**Бильдюг Н.Б., Чубинский-Надеждин В.И., Васильева В.Ю.,  
Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.** ..... 140

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ АТРОФИИ ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ БЕЗОПОРНОСТИ <i>Боков Р.О., Шарло К.А., Томлювская Е.С., Гусев О.А., Шенкман Б.С., Орлов О.И.</i> .....	141
СФИНГОЛИПИД-ЗАВИСИМЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ НА ФЕНОТИП ПОСТУРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ <i>Брындина И.Г., Протопопов В.А., Секунов А.В.</i> .....	142
ВЛИЯНИЕ ИНДУКТОРА БЕЛКОВ ТЕПЛОВОГО ШОКА BGP-15 НА СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ МЫШИ ПРИ ВЫВЕШИВАНИИ <i>Вепхвадзе Т.Ф., Машкин М.А., Орлова М.А., Другова С.В., Виноградов М.А.</i> .....	143
УЧАСТИЕ АМФ-АКТИВИРУЕМОЙ ПРОТЕИНАКИНАЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ ПЕРВИЧНЫХ МИОБЛАСТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ M. SOLEUS КРЫСЫ ПОСЛЕ 7-СУТОЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ <i>Вильчинская Н.А., Мирзоев Т.М., Шенкман Б.С.</i> .....	144
ГИГАНТСКИЙ МЫШЕЧНЫЙ БЕЛОК ТИТИН/КОННЕКТИН: СТРУКТУРА, ФУНКЦИИ, ИЗОФОРМЫ <i>Вихлянец И.М.</i> .....	145
КРАТКОВРЕМЕННАЯ ГИПОКСИЯ ПОДДЕРЖИВАЕТ ФУНКЦИЮ NA,K-АТФАЗЫ И ЭЛЕКТРОГЕНЕЗ M. SOLEUS КРЫСЫ В УСЛОВИЯХ ДВИГАТЕЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ <i>Ганке Д.Д., Сабурова Е.А., Кравцова В.В., Кривой И.И.</i> .....	146
НАРУШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИИ МИТОХОНДРИЙ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДИСТРОФИИ ДЮШЕННА В МОДЕЛИ ДИСТРОФИН-ДЕФИЦИТНЫХ МДХ-МЫШЕЦ. ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ <i>Дубинин М.В., Белослудцев К.Н.</i> .....	147
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКЦИЮ IL-6 <i>Захарова А.Н., Капилевич Л.В., Коллантай О.В.</i> .....	148
ВЛИЯНИЕ ГИПЕРТРОФИЧЕСКИХ МУТАЦИЙ СЕРДЕЧНОГО МИОЗИН-СВЯЗЫВАЮЩЕГО БЕЛКА С НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МИОКАРДЕ <i>Кочурова А.М., Бельдия Е.А., Матюшенко А.М., Копылова Г.В., Щепкин Д.В.</i> .....	149
СЕРДЕЧНЫЙ МИОЗИН-СВЯЗЫВАЮЩИЙ БЕЛОК С ПО-РАЗНОМУ МОДУЛИРУЕТ АКТИВАЦИЮ ТОНКОЙ НИТИ В ПРЕДСЕРДИЯХ И ЖЕЛУДОЧКАХ <i>Кочурова А.М., Бельдия Е.А., Матюшенко А.М., Копылова Г.В., Щепкин Д.В.</i> .....	150

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОЙ НИТИ САРКОМЕРА СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ <i>Кубасова Н.А., Гулеенкова В.Д., Ершова Д.М., Цатурян А.К.</i> .....	151
ЭФФЕКТЫ ИММУННОГО ОКСИСТЕРИНА В МОДЕЛИ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ В ДИАФРАГМЕ МЫШИ <i>Кузнецова Е.А., Закирьянова Г.Ф., Петров А.М.</i> .....	152
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УТОМЛЯЕМОСТЬ ПОСТУРАЛЬНЫХ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ <i>Львова И.Д., Сидоренко Д.А., Шарло К.А., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.</i> .....	153
ВЛИЯНИЕ БЕГА НА БЕГОВОЙ ДОРОЖКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОВЫХ ЦИКЛАХ НА СОДЕРЖАНИЕ GLUT-4 И ЦИТРАТСИНТАЗЫ У МЫШЕЙ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ <i>Милованова К.Г., Капилевич Л.В., Орлова А.А., Коллантай О.В., Шувалов И.Ю.</i> .....	154
МЕТФОРМИН КАК СРЕДСТВО, СПОСОБСТВУЮЩЕЕ УМЕНЬШЕНИЮ АТРОФИИ ПОСТУРАЛЬНЫХ МЫШЦ КРЫС ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ <i>Мирзоев Т.М., Парамонова И.И., Тыганов С.А., Вильчинская Н.А., Шенкман Б.С.</i> .....	155
ИНГИБИРОВАНИЕ ИРЗК ЗАМЕДЛЯЕТ АТРОФИЮ M. SOLEUS И РЕГУЛИРУЕТ КЛЕТОЧНЫЙ СИГНАЛИНГ ПРИ 3-СУТОЧНОЙ РАЗГРУЗКЕ МЫШЦ КРЫС <i>Немировская Т.Л., Зарипова К.А., Белова С.П., Шенкман Б.С.</i> .....	156
ВЫЯВЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ $Ca^{2+}$ -АКЦЕПТОРНЫХ БЕЛКОВ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ МУСКУЛАТУРЕ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ LUMBRICUS TERRESTRIS <i>Нуроллин Л.Ф., Алмазов Н.Д., Волков Е.М.</i> .....	157
АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В M. SOLEUS И ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ СЕРДЦА ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ И ВОЗДЕЙСТВИИ ОМЕКАМТИВ МЕКАРБИЛА <i>Потоскуева Ю.К., Герцен О.П., Тыганов С.А., Сергеева К.В., Никитина Л.В.</i> .....	158
ПРЯМОЕ ВЛИЯНИЕ ИОНОВ СВИНЦА И КАДМИЯ НА АКТИН-МИОЗИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ <i>Потоскуева Ю.К., Герцен О.П., Цыбина А.Е., Спридонова Н.А., Никитина Л.В.</i> .....	159

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ЭКСПРЕССИЮ $\alpha$ -SMA В ГЛАДКОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ТОЩЕЙ КИШКИ МЫШЕЙ C57BL/6N ПРОЕКТА «БИОН-М1» <i>Самойленко Т.В., Шишкина В.В., Атякшин Д.А.</i> .....	160
ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПУТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕРАМИДА НА КОМПОНЕНТЫ ДИСТРОФИН-АССОЦИИРОВАННОГО ГЛИКОПРОТЕИДНОГО КОМПЛЕКСА И КОСТАМЕРНЫЙ ГАММА-АКТИН В КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЕ КРЫС ПРИ 14-СУТОЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ <i>Секунов А.В., Протопопов В.А., Иванов М.В., Гаврилов Н.Р., Брындина И.Г.</i> .....	161
МЕХАНИЧЕСКИЕ И СИГНАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО- РАЗГРУЖЕННОЙ M. SOLEUS КРЫСЫ В ОТВЕТ НА МЕДИКАМЕНТОЗНО- ИНДУЦИРОВАННУЮ АКТИВНОСТЬ $\beta$ -МИОЗИНА <i>Сергеева К.В., Никитина Л.В., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.</i> .....	163
ОСОБЕННОСТИ СОКРАЩЕНИЯ КАРДИОМИОЦИТОВ ИЗ МИОКАРДИАЛЬНЫХ РУКАВОВ ЛЕГОЧНЫХ ВЕН <i>Симонова Р.А., Бутова К.А., Мячина Т.А., Хохлова А.Д., Щепкин Д.В.</i> .....	164
ЭПИГАЛЛОКАТЕХИН ГАЛЛАТ (EGCG) СНИЖАЕТ АНОМАЛЬНУЮ $Ca^{2+}$ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА, ВЫЗВАННУЮ E91G ЗАМЕНОЙ СКЕЛЕТНОГО $\beta$ -ТРОПОМИОЗИНА <i>Тишкова М.В., Сиренко В.В., Аврова С.В., Боровиков Ю.С., Карпичева О.Е.</i> .....	165
ВЛИЯНИЕ КАРБАХОЛИНА НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ МИОГЕНЕЗА IN VITRO <i>Токмакова А.Р., Сибгатуллина Г.В., Маломуж А.И.</i> .....	166
РАСПАД ЦИТОСКЕЛЕТА КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ НАРУШЕНИИ СОЗНАНИЯ <i>Тыганов С.А., Туртикова О.С., Кондратьева Е.А., Кондратьев А.Н., Шенкман Б.С.</i> .....	167
MOTS-C КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО МЕЖДУ ДИСФУНКЦИЕЙ МИТОХОНДРИЙ И АТРОФИЕЙ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКЕ <i>Шарло К.А., Сидоренко Д.А., Львова И.Д., Тыганов С.А., Шенкман Б.С.</i> .....	168
ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ МИОЗИНОВОГО ФЕНОТИПА <i>Шенкман Б.С.</i> .....	169



Для заметок

Для заметок

Для заметок

*Научное издание*

Под общей редакцией  
О.Л. Виноградовой, Д.В. Попова,  
Е.С. Томиловской, Б.С. Шенкмана

**Материалы XI Всероссийской  
с международным участием школы-конференции  
по физиологии мышц и мышечной деятельности,  
посвященной 70-летию открытия  
механизма мышечного сокращения  
(Москва, 22 – 25 апреля 2024 г.)**

Редактор *О.Г. Сорокин*  
Верстка *Е.В. Рзаевой*

---

Подписано в печать 27.03.2024. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 10,93. Тираж 100 экз. Заказ № ....

---

Издательство ГНЦ РФ – ИМБП РАН  
123007, г. Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А  
тел. +7 (499) 195-68-74, +7 (499) 195-65-12  
<http://www.imbp.ru>. E-mail: [library@imbp.ru](mailto:library@imbp.ru)

Отпечатано в типографии ООО ИПЦ «Научная книга»  
394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 11/5  
тел. +7 (473) 229-32-87  
<http://www.n-kniga.ru>. E-mail: [nautyp@yandex.ru](mailto:nautyp@yandex.ru)