

Материалы III Общероссийской научной конференции**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ****ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ,****Сочи, 22 -25 сентября 2010 г.****Биологические науки****ВЛИЯНИЕ ФТОРИДОВ
НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
ПОЧВЕННОГО МИКРОБНОГО
СООБЩЕСТВА****Берсенева О.А., Саловарова В.П.,
Приставка А.А.**

Из существующих загрязняющих веществ металлургического производства особую опасность для живых организмов представляют соединения фтора. Известно, что высокие концентрации фторсодержащих соединений приводят к различным нарушениям функционирования природных экосистем, изменению компонентов почвенной среды, в том числе и почвенных микросообществ (Шебалова, 2002; Franzaring et al., 2006).

Микроорганизмы особенно чувствительны к изменениям химических условий среды, что позволяет использовать показатели микробных сообществ в целях биологической индикации в частности, фторид ионов. В этой связи представлялось важным изучить влияние фторидов на почвенные микроорганизмы, в зависимости от степени антропогенного воздействия.

По результатам модельного эксперимента установлено, что минимально действующей концентрацией фторид иона для серой лесной почвы, до которой не происходит нарушений видового состава, и структуры микробного сообщества, является концентрация F^- 10 мг/кг. Дальнейшее повышение уровня загрязнения фторидами серой лесной почвы ведет к заметному снижению численности почвенной микро-

биоты, подавлению роста и уменьшению видового разнообразия микробного сообщества.

По устойчивости к фториду почвенную микробиоту можно расположить в следующий убывающий ряд: спорообразующие бактерии > микроскопические грибы > аспорогенные бактерии > актиномицеты.

Наиболее показательными тестами на загрязнение почв фторид ионом оказались: доминирование в загрязненных почвах представителей рр. *Penicillium*, а также многочисленных бактериальных штаммов р. *Bacillus*. Актиномицеты, как наиболее чутко реагирующие на присутствие фторида натрия в почве резким снижением численности, биомассы и гибелью клеток можно рекомендовать к использованию в биоиндикационных целях.

**НЕЙПРОМЫШЕЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ПОД ВЛИЯНИЕМ СЕМИСУТОЧНОЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ
МЫШЕЧНОГО АППАРАТА
У ЧЕЛОВЕКА****Коряк Ю.А.**

*Учреждение РАН «Государственный
научный центр РФ — Институт медико-
биологических проблем РАН»
Москва, Россия*

Для продуктивного и безопасного исследования космического пространства человеком необходимы ясные понимания того, как нервная система управляет движениями в условиях широкого разнообразия внешней среды и, особенно, в условиях отсутствия гравитационных сил, с которыми человек столкнется в космиче-

ских полетах. Космонавты должны поддерживать функциональную целостность нервно-мышечного аппарата (НМА), чтобы успешно и эффективно выполнять поставленные задачи при исследовании космоса. Это важно не только для успешной деятельности человека в космосе, но может быть более важным для того, чтобы избежать несоответствующих движений в критический момент и, особенно, при посадке, что может отразиться на здоровье космонавта и поставить под угрозу само выживание.

Нейромышечная система у человека и/или животных в фило- и онтогенезе развивается в условиях гравитационных сил Земли и организована применительно к действию этих сил. Предполагалось, что длительное пребывание в условиях микрогравитации может существенно нарушить нейромышечную функцию. Позже результаты многочисленных исследований как в полетах короткой длительности (Козловская и др., 1984; Jaweed et al., 1991; Day et al., 1995; Antonutto et al., 1999), так и после продолжительных космических полетов подтвердили эту концепцию (Kozlovskaya et al., 1981; Tschan et al., 1994; Siconolfi et al., 1996; Koryak et al., 1997).

Понимание механизма(ов), лежащего в основе этих изменений могло бы существенно продвинуть понимания роли гравитации в нейромышечной системе. Механизмы, лимитирующие и определяющие сократительные свойства мышц, остаются неизвестными. Однако ни одно из исследований не обеспечило определения удельного вклада периферических (мышечных) или центральнонервных (координационных) факторов, определяющих и лимитирующих функциональные свойства периферического НМА у человека в условиях микрогравитации, поскольку во всех ранее выполненных исследованиях рассматриваются характеристики изменения сократительных свойств мышц с использованием показателей произвольных сокращений. Последние, как известно, являются интегральными показателями, отражающими свойства как самих мышц

(размер, композиция мышц), так и систему их управления (паттерн моторной посылки), что не позволяет определить степень изменений каждого фактора в формировании паттерн мышечного сокращения.

Для определения удельного вклада каждого из указанных факторов в исследовании на ряду с произвольными сокращениями изучаются и свойства самих мышц, посредством электрически вызванных (непроизвольных) сокращений. Параметры электрически вызванного сокращения — сила, скорость и длительность сокращения — при выбранном способе электрического раздражения обусловлены только функциональными свойствами самой исследуемой мышцы.

Иммерсия интенсивно используется как модель для изучения влияния устранения гравитационной нагрузки на мышечный аппарат у человека в условиях Земли. Влияние микрогравитации на сократительные свойства мышц у человека вызывает большой интерес, поскольку рассматривается как фактор, контролирующей функцию мышц. К сожалению, выполнено немного сопоставимых исследований с участием человека относительно восстановления функции мышцы после механической разгрузки. В предыдущем исследовании (Корыак, 1995) мы показали, что продолжительная механическая разгрузка мышц-разгибателей стопы (жесткий постельный режим на протяжении 120-суток), или пребывание в условиях реальной невесомости (продолжительный космический полет более 120-суток) продуцируют увеличение силы и времени одиночного сокращения, уменьшение максимальной произвольной и электрически вызванной (частота 150 имп/с) тетанической силы сокращения. Мы постулируем, что изменения в механике одиночного сокращения, возможно, произошли из-за изменения кинетики потребления-освобождения Ca^{2+} саркоплазматическим ретикуломом, а большее уменьшение МПС относительно электрически вызванной силы сокращения мышцы отражает

снижение центрального нервного драйва, как результат произвольной инактивации.

Целью настоящей работы было оценить функциональные свойства НМА (на примере трехглавой мышцы голени - ТМГ) у людей, находящихся в условиях «сухой» водной иммерсии, моделирующей механическую разгрузку, в течение 7 суток.

В исследовании приняла участие группа из 6 человек со средним возрастом $22,7 \pm 3,5$ лет; ростом $176,3 \pm 2,5$ см и массой $68,5 \pm 2,4$ кг. Все испытуемые прошли специальный медицинский отбор и клинически были оценены как здоровые и находились в хорошем физическом состоянии.

В исследованиях с участием человека руководствовались принципами Хельсинской Декларации по правам человека на участие в эксперименте в качестве испытуемого. Участники подписывали информированное согласие на добровольное участие в эксперименте с участием человека.

Для моделирования механической разгрузки мышечного аппарата использовали модель «сухой» водной иммерсии (Шульженко, Виль-Вильямс, 1976).

Для регистрации механических ответов ТМГ использовали метод тендометрии (Коц и др., 1976). Экспериментальная процедура и установка для регистрации электрических ответов и механического ответа ТМГ у человека в условиях *in situ* в деталях описана ранее (Коряк, 1985, 1992, 2006). Коротко, испытуемый удобно располагался в специальном кресле при стандартной позиции — угол в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах составлял $\sim 90^\circ$. Конечность жестко фиксировали, создавая, таким образом, изометрический режим сокращения мышцы. Динамометр, представляющий стальное кольцо с вмонтированными в него тензодатчиками, плотно прижимали к Ахиллову сухожилию мышцы. Механическая деформация динамометра при сокращении мышцы преобразовывалась в электрические сигналы, и после усиления усилителем

(тип «АНЧ-7м»; СССР) регистрировали на световом осциллографе (тип «К-115», СССР). Степень прижатия датчика составляла 5 кг и оставалась постоянной на протяжении исследования. До и после исследования динамометр калибровали.

N. tibialis электрически стимулировали прямоугольными супрамаксимальными импульсами длительностью каждого 1 мс, используя монополярный электрод (диаметром 1 см). По тендограмме изометрического одиночного сокращения мышцы в ответ на одиночный электрический импульс, нанесенный на *n. tibialis*, измеряли силу одиночного сокращения (P_{oc}), время достижения пика одиночного сокращения (ВОС), время полурасслабления ($1/2$ ПР) и общее время сокращения (ОВС). Максимальную изометрическую силу тетанического сокращения (P_o) регистрировали в ответ на стимуляцию *n. tibialis* с частотах 150 имп/с (Коряк, 1985, 2006). По разнице между МПС и P_o , отнесенной к P_o и выраженной в процентах определяли величину силового дефицита (P_d). После отдыха (~ 30 с) испытуемых инструктировали, как реагировать на звуковой сигнал — «сократить максимально сильно». У каждого испытуемого регистрировали обычно от двух до трех произвольных максимальных сокращений и наибольшая величина из трех попыток (интервал отдыха 1 мин) принималась за показатель максимальной произвольной силы (МПС). Испытуемых также инструктировали, как реагировать на звуковой сигнал — «сократить максимально быстро и сильно». В кривой сила—время определяли время развития изометрического напряжения от начала сокращения мышцы до 25, 50, 75 и 90 % от максимума (Коряк, 1992). Аналогично определяли время развития электрически вызванного сокращения мышцы в ответ на электрическое раздражение *n. tibialis* с частотах 150 имп/с (Коряк, 1985, 2006).

Работоспособность НМА исследовали при выполнении дозированной серии из

60 ритмических изометрических 1-с электрически вызванных (частота 50 имп/с) сокращений разделенных паузой отдыха той же длительности в течение 2 мин (Коряк и др., 1975). Работоспособность (утомляемость) периферического НМА оценивали по показателю индекса утомления (ИУ) — отношению (в процентах) средней силы 5 последних сокращений к средней силе 5 первых сокращений. Электрическую активность мышцы регистрировали биполярными $Ag-AgCl$ поверхностными электродами (\varnothing 8 мм; межэлектродное расстояние 23 мм). Поверхностный потенциал действия (ППД) анализировали по амплитуде отдельных электрических ответов — М-ответов [«от пика до пика» (22, 23)], по амплитуде, длительности и площади негативной фазы ППД в конце 1-, 3-, 5-, 31-, 61-, 91- и 121-с от начала тетанизации нерва. Для определения относительной степени изменения сократительного (С) и электрического (Э) ответов мышцы в результате утомления вычисляли Э/С—отношение (26), где Э—отношение амплитуды электрического пост-рабочего М-ответа к пре-рабочему М-ответу, а С—отношение пост-рабочего к соответствующему пре-рабочему механическому ответу ТМГ. Э/С—отношение определяли в конце 1, 3, 5, 7 и 121 с от начала тетанизации нерва.

После 7-суток пребывания в условиях, моделирующих микрогравитацию, сократительные свойства ТМГ существенно изменяются. Силовые показатели, развиваемые ТМГ, у всех испытуемых уменьшились. Так, величина МПС снизилась в среднем на 33.8 % ($p < 0.01$) по сравнению с исходной величиной, а P_0 — в среднем на 8.2 % ($p > 0.05$). Одновременно существенно увеличилась величина силового дефицита в среднем на 44.1 % ($p < 0.001$).

Уменьшение МПС связано с существенным замедлением скорости развития произвольного изометрического сокращения ТМГ, выраженной в относительных величинах. Анализ кривой *сила–время* электрически вызванного со-

кращения не обнаружил существенных различий, но скорость расслабления соответствующего мышечного изометрического напряжения показала небольшое, но существенное увеличение.

ВОС ТМГ не изменилось, а время 1/2 ПР и ОВС — снизилось в среднем на 5.3 и 2.8 %, соответственно, но P_{oc} существенно не изменилась. Отношение P_{oc}/P_0 снизилось в среднем на 8.7 %.

Сила электрически вызванных ритмических сокращений на протяжении 120 с уменьшается, достигая в среднем 57 % начальной величины. Индекс утомления существенно не различался до и после ИМ, составляя 36.2 ± 5.4 и 38.6 ± 2.8 %, соответственно ($p > 0.05$). Продолжительность ППД существенно увеличилась (на 18.8 %), а амплитуда и площадь — существенно снизились (на 14.6 и 2.8 %; $p < 0.05-0.01$).

Это первое исследование с количественной оценкой в условиях *in situ* у человека степени изменений функциональных свойств периферического НМА после экспозиции человека в условиях механической разгрузки («сухой» водной иммерсии). Результаты настоящего исследования подтверждают и расширяют ранее полученные результаты относительно влияния разгрузки на механические характеристики ТМГ (Коряк, 1995, 1996).

Изменения максимальной тетанической изометрической силы (P_0) были значительно меньше по сравнению с МПС. Величина P_0 — показатель способности мышцы генерировать силу и прямо отражает число активных взаимодействий между актиновыми и миозиновыми нитями (Close, 1972). Наши результаты показали, что «продолжительная» разгрузка несущественно уменьшает P_0 ТМГ, что может указывать, что общее число и плотность активных поперечных мостов было после разгрузки не было уменьшенным.

Большие изменения МПС по сравнению с P_0 после разгрузки согласуются с ранними резуль-

татами (Kogyak, 1995, 1996) и позволяют предполагать либо на нежелание, либо на неспособность испытуемых выполнить задание «развить МПС». Намного большее и прогрессивное снижение МПС по сравнению с незначительным изменением P_0 после разгрузки указывает на неспособность центральной нервной системы активизировать ТМГ и увеличение P_d поддерживает нашу точку зрения о снижении моторного контроля нервной системой в управлении произвольным движением. Является ли это из-за недостатка мотивации со стороны испытуемого, или ненамеренного снижения активности нервной системы, трудно различить, хотя наши испытуемые были высоко мотивированы и не имели никакого дискомфорта при выполнении задания «развить МПС», что могло бы отразиться на развиваемой величине МПС.

Кривые *сила—время* ТМГ при электрически вызванном и произвольном сокращении определяли, как описано ранее (Коряк, 1992; Когяк, 1995) и анализ полученных данных показал, что после разгрузки скорость развития силы при произвольно сокращении замедляется без существенных изменений в кривой развития электрически вызванного тетанического сокращения, что хорошо согласуется с наблюдениями Witzmann et al. (1982) об относительно постоянной механике тетанического сокращения и современной теории (поперечных мостиков) мышечного сокращения (Simmons, Jewell, 1974). Исходя из посылки, что форма кривой *сила—время*, восходящая фаза изометрического тетанического сокращения, определяется числом и главным образом скоростью образования и разрыва поперечных мостиков (Simmons, Jewell, 1974). Таким образом, форма кривой *сила—время* вероятно управляется отношением образования и разрыва поперечных мостиков (Ranatunga, 1982), поэтому можно предположить, что цикличность поперечных мостиков мало изменяется (или совсем не изменяется) под воздействием разгрузки.

Большее изменение скорости развития произвольного изометрического сокращения ТМГ по сравнению с электрически вызванным сокращением, позволяет предполагать, что способность ЦНС активизировать мышечный аппарат снижена, возможно, разгрузка затрагивает характер центрального управления, в частности уменьшением максимальной частоты импульсации без изменения в скорости рекрутирования и некоторые авторы (Duchateau, Hainaut, 1990) связывают это с тем, что при разгрузке ограничивается модуляция частоты моторной единицы (МЕ). Снижение максимальной частоты импульсации могло быть в связи с изменениями в проприорецептивных афферентах мотонейронов (Mayer et al., 1981) и/или уменьшенной способности активизировать МЕ (Sale et al., 1982), что подтверждается снижением величины потенцирования рефлекса после разгрузки, которая контролируется центральным драйвом (Upton et al., 1971). Кроме того, снижение максимальной мощности после пребывания в условиях реальной невесомости (космический полет), некоторые авторы (Bachl et al., 1997) связывают с влияниями невесомости на паттерн рекрутирования фракции высокопороговых МЕ, обеспечивающих максимальную «взрывную» мощность.

Действительно, порядок рекрутирования низкочастотных и высокочастотных МЕ может быть изменен блокадой активности проприорецептивных афферентов (Grimby, Hannez, 1976), а во время произвольного сокращения при применении поверхностной электрической стимуляции (Garnett, Stephens, 1981). Эти данные прямо подтверждают возможность, что проприорецептивные входы играют важную роль в рекрутировании МЕ, как во время произвольной (сильного) сокращения, так и во время произвольных («взрывных») сокращений. Можно предположить, что паттерн афферентного входа на мотонейронный пул может быть измененным во время разгрузки и это изменение может частично быть ответственным

за прогрессивное уменьшение частоты импульсации МЕ.

Полученные данные нашего исследования не обнаруживают различий в снижении работоспособности периферического НМА после «сухой» водной иммерсией, что хорошо согласуется с ранее полученными данными (White, Davies, 1984; St.-Pierre, Gardiner, 1985) и поддерживают точку зрения Merton (1954), что периферические механизмы играют важную роль в снижении силы мышечного сокращения. Полученные данные показывают, во-первых, что скорость снижения силы сокращения мышцы во время ритмической стимуляции на утомление не различается в контроле и после *неупотребления*, во-вторых, во время стимуляции ППД, зарегистрированные с помощью поверхностных электродов, показывают заметное снижение амплитуды и увеличение длительности, предполагая наличие нарушений в процессе периферической генерации ПД мышечными волокнами и, в-третьих, сопоставление электрических и механических ответов мышцы показывает, что удельная роль утомления «электрогенного» и «сократительного» звеньев НМА изменяется в процессе развития периферического утомления. Результаты показывают, что (i) скорость снижения силы сокращения мышцы во время ритмических сокращений в тесте на утомление не изменяется до и после неупотребления; (ii) амплитуда поверхностного потенциала действия снижается и увеличивается его длительность, что отражает периферические изменения в генерации потенциалов действия мышечными волокнами; и (iii) корреляция между электрическими и механическими ответами мышцы показывает, что удельная роль утомления «электрогенного» и «сократительного» звеньев НМА изменяется в процессе развития периферического утомления. Сравнение электрических и механических изменений, зарегистрированных во время произвольных и электрически вызванных сокращений, предлагает, что разгрузка изменяет не только периферические процессы, связанные с

сокращением, но также и изменяет центральную и/или нервную команду сокращения. Из периферических факторов, по-видимому, внутриклеточные процессы играли большую роль в снижении сократительных свойств, зарегистрированных во время разгрузки.

АНАТОМИЯ ГРУДНОГО ПРОТОКА КРОЛИКА

Петренко В.М.

*Санкт-Петербургская государственная медицинская академия им. И.И. Мечникова
Санкт-Петербург, Россия*

Литературные данные о строении и топографии грудного протока (ГП) кролика ограничены и противоречивы (Pensa A., 1908; Иосифов И.М., 1931; Ottaviani G., 1932; Baum H., Trautmann A., 1933; Жданов Д.А., 1942). О.Кампмейер (1969) приводит обобщенную схему строения и топографии ГП кролика по данным разных исследователей: из левосторонней цистерны ГП выходит ГП, он теряется в ретроаортальном сплетении, откуда выходит уже правосторонний ГП. Он переходит на левую сторону около шеи, идет позади внутренней и наружной яремных вен и впадает в заднюю стенку левого венозного угла шеи. Я.А.Рахимов (1968) изучил анатомию ГП у 25 кроликов и нашел, что ГП чаще всего представлен одним стволом, иногда раздваивающимся на своем протяжении, впадающим в левый венозный угол, образованный левой наружной яремной и левой подключичной венами. В 64% случаев ГП начинался из краниального конца цистерны небольшим расширением или сплетением позади аорты на уровне XIII-IX грудных позвонков. Затем ГП смещался на правый край аорты и лежал между аортой и непарной веной. У 16% кроликов ГП начинался 2 стволами, которые проходили справа и слева от аорты, они соединялись на уровне VII грудного позвонка или ниже I левого ребра (× 2 случая); у 12% кроликов правосторонний ГП