

УДК 612.816+612.73/.74

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ПАССИВНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ СРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИЙ?

Ю.А. Коряк

Государственный научный центр РФ
– Институт медико-биологических
проблем РАН

Целью исследования было оценить сократительные свойства трехглавой мышцы голени (ТМГ) у человека после 60-суточного пребывания в условиях антиортостатической (-6°) гипокинезии (АНОГ) с применением пассивного растяжения (ПР) мышц-разгибателей стопы. В исследовании участвовала группа ($n = 7$) мужчин-добровольцев, которые на протяжении 60 суток находились на строгом постельном режиме и группа ($n = 7$) испытуемых, которые ежедневно во время 60 суточной АНОГ применяли ПР по $\sim 4-5$ час/день. После АНОГ в группе с ПР максимальная произвольная сила (МПС) ТМГ уменьшилась на 43%, максимальная сила (P_0 ; частота 150 имп/с) на 19,4% и значительно увеличилась величина силового дефицита (на 100%). В группе испытуемых без ПР ТМГ МПС уменьшилась на 33,5%, P_0 – на 18,0% и величина силового дефицита увеличилась на 61%. Полученные данные указывают, что продолжительное ПР мышцы не обнаруживает профилактических облегчений сократительных свойств мышечного аппарата от негативных влияний механической разгрузки и более того вызывает некоторую модификацию поведения сократительного материала мышцы.

Ключевые слова: антиортостатическая гипокинезия – статическое (пассивное) растяжение – сократительные свойства – трехглавая мышца голени.

Известно, что скелетные мышцы, как животных, так и человека относительно быстро адаптируются к условиям, особенно это проявляется при иммобилизации конечности, реальной или моделируемой невесомости. Наибольшему воздействию в результате механической разгрузки подвергаются антигравита-

STATIC STRETCH TRAINING IN CONDITIONS SIMULATED MICROGRAVITY MAINTAINS CONTRACTILE PROPERTIES OF MUSCLES?

YU.A. KORYAK

The effect of a 60-day 6° head-down tilt (HDT) of bed-rest with and without long-term passive stretching (PS) on the mechanical properties of human the triceps surae muscle (TS) was studied in 12 healthy men subjects. One group ($n = 6$) underwent a 60-day HDT and a second group ($n = 6$) underwent HDT with long-term PS. After HDT without PS the maximal voluntary contraction (MVC) the TS declined by 33,5 %, the electrically evoked tetanic tension at 150 Hz (P_0) by 17,3%, respectively, increased. P_d increased by 61%. The rate of rise of voluntary contractions calculated according to a relative scale significantly reduced, but the electrically evoked contraction no substantial changes were observed. After HDT with PS caused decrease by 43,0% in MVC, and P_0 by 19,4%, respectively. P_d increased significantly by 100 %. The rate of rise of electrically evoked tetanic tension did not change significantly during HDT with PS but the rate of rise in on isometric voluntary tension development were decreased. These data indicate that prolonged PS of a single muscle decreases voluntary strength. Thus, the received data specify, that the long-term PS of a muscle does not find out preventive facilitate contractile properties of the muscular device from negative influences of mechanical unloading. This study presents evidence that prolonged passive muscle stretching can lead to some modification of contraction material behavior.

KEYWORDS: bed-rest – static (passively) stretching – contractile properties – triceps surae muscle.

ционных мышц-разгибатели бедра и стопы [8] и более значительно — разгибатели стопы [2, 8], вероятно, из-за большей их механической нагрузки в гравитационных условиях Земли.

Признано, что главным фактором, ответственным за изменение ряда физиологических функций,

является внезапное устранение проприоцептивной информации от мышц и сухожилий в ответ на отсутствие весовой нагрузки [27]. Чтобы устранить дефицит нагрузок используют различные средства – это от искусственно создаваемой опоры для стопы [35] до комплекса физических упражнений [7]. Однако ни одно из перечисленных средств полностью не предотвращает мышечных нарушений [5, 8]. Высказывалось предположение, что ПР мышц может быть одним из профилактических средств негативных влияний, оказываемых невесомостью. Но продолжительное ПР снижает сократительные свойства мышцы.

Многие показатели сократительных свойств мышцы изменяются непосредственно под влиянием ее ПР. Так, ПР мышцы в течение 45 с. уменьшает ее жесткость [30], а повторное растяжение увеличивает длину мышцы [29]. Снижение жесткости мышцы оказывает влияние на амплитуду и форму электрически вызванного одиночного сокращения мышцы, поскольку требуется больше времени для растяжения «слабых», последовательно расположенных компонентов мышцы [15]. Увеличенная длина мышцы изменяет тонкий баланс внутренней организации мышцы и суставной кинематики, которые объединяются, чтобы продуцировать силу при данном суставном угле [28]. Изменение отношения длина – сила оказывает влияние на нервные паттерны активации из-за нарушений проприоцептивной обратной связи [14], из-за уменьшения афферентного потока [20]. ПР продолжительностью 30 мин. вызывает уменьшение максимальной тетанической силы сокращения мышцы на 13% [20], на протяжении 2 часов – существенным снижением (на 61%) силы одиночного сокращения [10]. Более того, продолжительное, в течение 1 ч. ПР сопровождается снижением максимальной произвольной силы (МПС), общей длительности одиночного сокращения и ЭМГ активности мышцы [12]. Причина снижения сократительных ответов мышцы в увеличенной податливости сухожилий мышцы, вызванной растяжением, что нарушает механизм передачи силы от волокон через сухожилие к кости [20] и изменение проприоцептивной обратной связи [12].

Целью настоящего исследования было, во-первых, оценить сократительные свойства отдельной скелетной мышцы в условиях *in situ* у человека после пребывания в условиях 60 суточной АНОГ, во-вторых, изучить изменения сократительных свойств мышц в результате продолжительного ПР и, в-третьих, проверить гипотезу «положительного» влияния продолжительного ПР мышц в условиях их механической разгрузки.

В качестве объекта изучения были выбраны параметры механических ответов трехглавой мышцы голени (ТМГ). Предварительное сообщение об этих результатах было представлено ранее [4].

Ю. А. КОРЯК
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ПАССИВНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ
МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ
РАЗГРУЗКИ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ
СРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИЙ?

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемые. В исследовании участвовала группа ($n = 14$) клинически здоровых молодых мужчин добровольцев, которая была разделена на две подгруппы. Испытуемые первой подгруппы ($n = 7$) на протяжении всего эксперимента находились на строгом постельном режиме, а испытуемые второй подгруппы ($n = 7$) во время экспозиции применяли продолжительное ПР. Все экспериментальные процедуры были выполнены в соответствии с Хельсинской Декларацией 1975 г. по правам человека на участие в эксперименте в качестве испытуемого и программа исследований была одобрена комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Постельный режим. В качестве воздействия, имитирующего длительное влияние фактора невесомости, использовали модель постельной АНОГ. Длительность механической разгрузки мышечного аппарата составляла 60 суток. Во время экспозиции на протяжении 24 часов испытуемые постоянно находились под контролем медицинского персонала и проводился мониторинг поведения испытуемых.

Пассивное растяжение. ПР мышц разгибателей стопы создавали выносными амортизаторами профилактически нагрузочного костюма «Пингвин»¹ [1]. Величина усилия амортизаторов при суставном угле в коленном суставе 180° составляла 1,5–2,5 кгс, что приводило к максимальному тыльному сгибанию стопы под углом 10° . Время пребывания испытуемых в таком положении составляло ~ 4–5 часов/день от общего времени (~ 10 ч) «ношения» профилактически нагрузочного костюма «Пингвин».

Тестирующая процедура и измерения. Методы и установка для измерения произвольной и электрически вызванной (непроизвольной) силы сокращения отдельной мышцы у человека в условиях *in situ* описаны в деталях ранее [5]. Сократительные свойства ТМГ исследовали дважды – за 10–8 дней до начала эксперимента и на 2–3 день после подъема с постельного режима.

Силовые свойства. При выполнении произвольного сокращения каждого испытуемого инструктировали, как реагировать на звуковой сигнал – «сократить максимально сильно». Каждому испытуемому предоставлялось от 2 до 3 попыток максимальных сокращений и наилучшая принималась за показатель МПС. Интервал отдыха между каждой попыткой составлял не менее 1 мин.

Изометрические тетанические сокращения ТМГ вызывали электрическим раздражением *n. tibialis*, используя прямоугольные импульсы длительностью 1 мс

¹ Исследование выполнено сотрудником АО НПП «Звезда», В.М. Сининым

супрамаксимальной силы и частотой 150 имп/с от нейро-мышечного электростимулятора (тип «ЭСУ-1», СССР) [5]. Общая длительность тетанического раздражения составляла ~ 0,5 с.

Для стимуляции *n. tibialis* использовали монополярный электрод, установленный в подколенной ямке. Для регистрации электрического ответа мышцы применяли поверхностные биполярные чашечные (Ø 8 мм) Ag-AgCl электроды с межэлектродным расстоянием 25 мм. Электроды располагали на уровне 6 см ниже головок *m. gastrocnemius* по средней линии *m. soleus*. Амплитуда сокращения мышцы в ответ на тетаническую ритмическую стимуляцию являлась показателем максимальной силы (P_o) сокращения ТМГ [5]. Для количественной оценки степени совершенства центрально-нервных (координационных) механизмов управления произвольным движением рассчитывали величину силового дефицита (P_d), определяемую как дельта между P_o и МПС [5].

Скоростно-силовые свойства. По тендограмме изометрического произвольного сокращения ТМГ, выполненного при условии «сократить максимально быстро и сильно», рассчитывали время нарастания мышечного сокращения, используя «относительные показатели», т.е. время достижения 25, 50, 75 и 90% уровня напряжения [5]. Аналогично по тендограмме электрически вызванного сокращения при стимуляции *n. tibialis* с частотой 150 имп/с определяли время нарастания электрически вызванного сокращения. Точность измерения составляла 2 мс. Максимальную скорость (dP/dt) развития изометрического напряжения определяли дифференцированием кривой сила – время с помощью аналоговой машины.

Статистика. При обработке полученных результатов исследования рассчитывали среднюю и стандартную ошибку средней ($M \pm m$). Различия между фоновыми показателями и показателями, зарегистрированными после АНОГ, оценивали с помощью параметрического *t*-критерия Стьюдента и величину значеня $p < 0,05$ принимали как существенную.

РЕЗУЛЬТАТЫ

АНОГ без ПР мышцы

Силовые свойства. После АНОГ обнаружено снижение силы сокращения ТМГ (рис. 1 А, верхняя панель). Так, МПС уменьшилась в среднем на 33,5% (до $52,6 \pm 4,3$ кг после $35,0 \pm 3,8$ кг; $p < 0,05$), а P_o — на 18,0% (до $68,8 \pm 5,3$ кг после $56,4 \pm 5,3$ кг; $p < 0,05$). Величина P_d составляла в фоновых исследованиях в среднем $23,1 \pm 4,8$ %, а после АНОГ — $37,2 \pm 6,6$ % ($p < 0,001$) (рис. 1, Б, верхняя панель).

Скоростно силовые свойства. Уменьшение МПС было связано с существенным замедлением скорости развития напряжения во время выполнения «взрывного» произвольного изометрического сокра-

щения (рис. 2, верхняя панель), что видно в уменьшении выпуклости кривой сила–время и максимальной $dPnc/dt$ (до $0,79 \pm 0,04$ кг·мс⁻¹ после $0,55 \pm 0,06$ кг·мс⁻¹), когда измерение было выполнено в абсолютных величинах. Нормализованная (% МПС) величина $dPnc/dt$ уменьшилась на 18,7%.

Анализ электрически вызванных сокращений ТМГ не обнаружил существенных различий кривых сила–время (рис. 2, верхняя панель) и максимальной $dPmc/dt$ (до $0,76 \pm 0,04$ кг·мс⁻¹ после $0,77 \pm 0,05$ кг·мс⁻¹), тогда как максимальная нормализованная величина $dPmc/dt$ увеличилась на 23,6%.

АНОГ с ПР мышцы

Силовые свойства. После АНОГ все силовые показатели ТМГ были значительно снижены по сравнению с исходными данными (рис. 1, А, нижняя панель). Так, МПС уменьшилась на 43,0% (до $49,3 \pm 3,6$ кг против $28,1 \pm 3,2$ кг; $p < 0,05$), а P_o — на 19,4% (до $63,0 \pm 5,8$ кг против $50,8 \pm 2,3$ кг; $p < 0,05$). Величина P_d после АНОГ увеличилась на 100% (до $21,7 \pm 1,8$ % против $44,7 \pm 3,1$ %; $p < 0,02$) (рис. 1, Б, нижняя панель).

Скоростно силовые свойства. Анализ результатов обнаружил, во-первых, что скорость нарастания изометрического напряжения ТМГ при произвольном «взрывном» сокращении значительно меньше, чем при электрически вызванном сокращении и, во-вторых, кривые сила – время существенно различаются (рис. 2, нижняя панель). Снижение МПС (43,0%) сопровождалось большим замедлением времени (обратная величина скорости) развития произвольного изометрического сокращения мышцы «взрывного» типа и снижением максимальной $dPnc/dt$ (до $0,39 \pm 0,03$ кг·мс⁻¹ после $0,13 \pm 0,05$ кг·мс⁻¹), когда выражали в абсолютных величинах. Нормализованная (% от МПС) величина $dPnc/dt$ увеличилась на 12,5% ($p < 0,05$).

Анализ кривой сила–время электрически вызванного тетанического сокращения ТМГ обнаружил снижение скорости нарастания изометрического напряжения (рис. 2, нижняя панель) и уменьшение максимальной $dPmc/dt$ (до $0,84 \pm 0,04$ кг·мс⁻¹ после $0,78 \pm 0,02$ кг·мс⁻¹), когда измерение было выполнено в абсолютных величинах. Нормализованная (% МПС) величина $dPmc/dt$ увеличилась на 14,9% ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

АНОГ без ПР. Данные настоящей работы подтверждают ранее полученные результаты [5], что сократительные свойства медленносокращающейся ТМГ [3] относительно быстро изменяются под воздействием механической разгрузки: обнаружено уменьшение P_o ТМГ (-18%). Величина P_o является показателем способности мышцы генерировать максимальную силу и отражает число активных мостиков между актиновыми и миозиновыми нитями [16]. Сни-

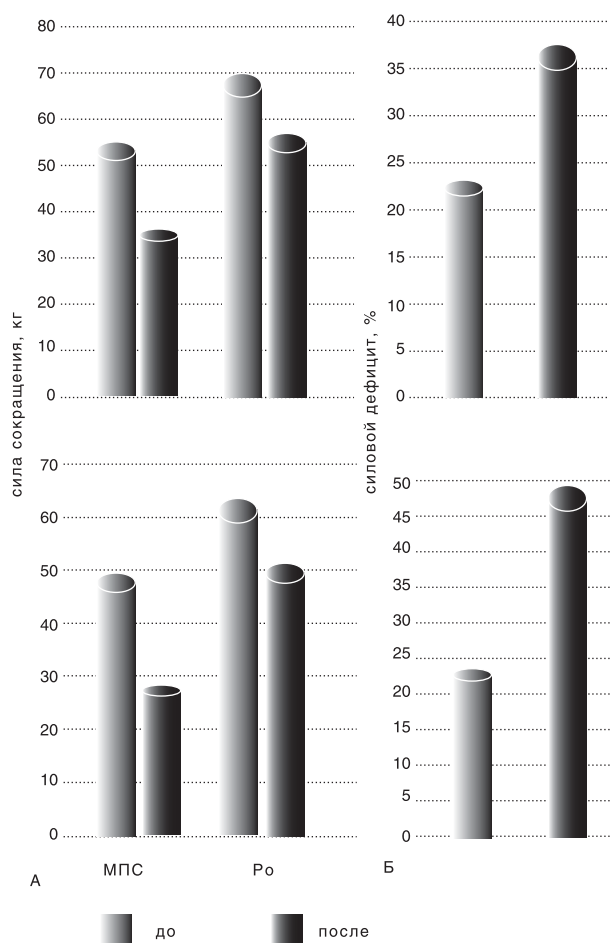


РИС. 1.

А. Влияние 60-суточной АНОГ без ПР (верхняя панель) и с применением продолжительного ПР ТМГ (нижняя панель) на максимальную произвольную силу (МПС) и максимальную силу (P_o) сокращения. Б. Влияние АНОГ без ПР (верхняя панель) и с применением продолжительного ПР ТМГ (нижняя панель) на величину силового дефицита

жение P_o [5, 18], вероятно, отражает снижение числа активных поперечно-полосатых мостиков и как следствие – уменьшение работоспособности. По этому случаю можно высказать два предположения: после АНОГ общее количество поперечно-полосатых мостиков было уменьшено и сила, развиваемая каждым мостиком, была снижена. Однако когда удельная сила мышцы рассчитывается на единицу площади поперечного сечения (ППС), то сила оказывается одинаковой после неупотребления [34]. Это указывает, что предположение об уменьшении максимального числа поперечных мостиков более адекватно к нашим результатам, чем изменение их плотности. Таким образом, снижение P_o ТМГ может быть непосредственно связано с уменьшением диаметра волокон и с атрофией мышцы.

Снижение P_o мышцы предполагает, что продолжительная механическая разгрузка может затронуть не-

Ю. А. КОРЯК
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ПАССИВНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ СРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИЙ?

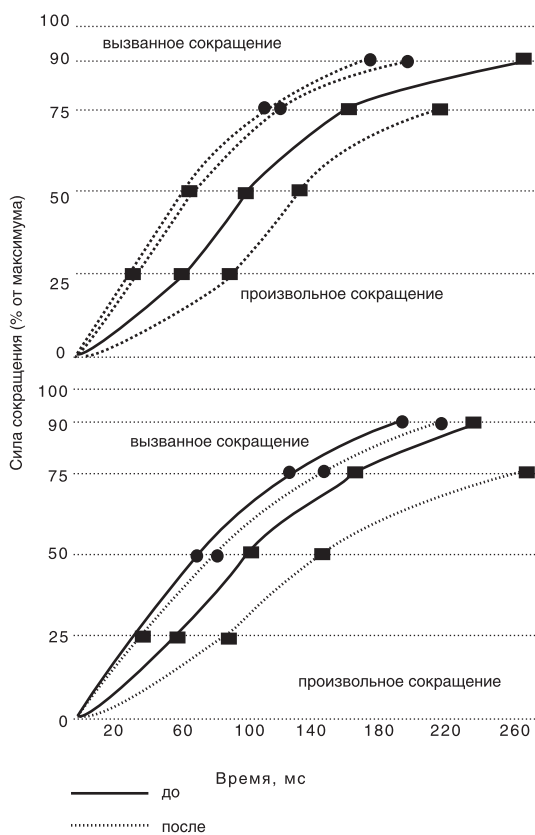


РИС. 2.

Влияние 60-суточной АНОГ без ПР (верхняя панель) и с применением продолжительного ПР ТМГ (нижняя панель) на кривые сила-время электрически вызванного и произвольного сокращений мышцы

которые этапы связи возбуждение – сокращение [25]. Это может быть изменение в саркомере потенциала действия, изменение движения заряда в Т-тубулярных каналах и/или прямое влияние на потребление Ca^{2+} СР. Альтернативно, неупотребление, вызывая атрофию мышцы, может увеличить внеклеточное пространство и напряженность мышцы, в целом, уменьшиться больше, чем ППС волокна.

Механизмы, ответственные за потерю силы мышцы при неупотреблении, остаются не вполне ясными. Уменьшение ППС медленно и быстросокращающихся волокон мышцы не может быть одним из возможных механизмов, ответственных за снижение силы, хотя атрофия мышцы, вероятно, вносит вклад в потерю силы. Морфологические исследования нами не были выполнены. Однако Р. Хикида [23] показали, что относительные изменения в размере мышцы и волокон были меньше, чем относительное изменение в

силе. Эти авторы установили, что ультраструктурные изменения, возможно, уменьшили способность продуцировать силу сокращения мышцы во время и после продолжительной механической разгрузки.

Большее снижение МПС (34%), по сравнению с незначительными изменениями в величине P_o (18%) после 60-дневной АНОГ указывает на неспособность центральной нервной системы нормально активировать ТМГ. Является ли это недостатком мотивации со стороны отдельных испытуемых, или произвольное уменьшение нервного драйва, трудно распознать. Хотя все испытуемые были крайне высоко мотивированы и не сообщали о возможном дискомфорте или жесткости в коленном суставе при выполнении тестовых испытаний (развитие МПС), которые могли бы объяснить низкий показатель МПС. Увеличение P_a свидетельствует о снижении центрального драйва в нервной системе, что уменьшает моторный контроль произвольного сокращения мышцы. Во время выполнения МПС ЭМГ активность была значительно измененной в результате механической разгрузки [21]. Кроме того, снижение амплитуды после разгрузки предполагает, что меньшее число двигательных единиц (ДЕ) мышцы было активировано при неупотреблении [21], и более того, было обнаружено уменьшение максимальной частоты импульсации ДЕ [18]. Уменьшение в максимальной частоте импульсации мотонейронов можно было бы объяснить изменениями в проприоцептивных афферентах [31].

После АНОГ скорость развития вызванного сокращения в ответ на электрическую стимуляцию нерва и рассчитанная в относительной шкале изменилась незначительно. Это наблюдение согласуется с ранее полученными данными, что при разгрузке мышц не отмечалось существенных изменений в скоростно-силовых характеристиках [36] и поддерживает наблюдения об относительном постоянстве механизма тетанического сокращения и современной (поперечных мостиков) теории мышечного сокращения [32]. Поэтому, по-видимому, разумно заключить, что неупотребление (например, АНОГ) оказывает небольшое влияние на цикл поперечных мостиков или на активность миозина [16].

АНОГ с ПР мышцы. Наше исследование подтверждает ранее полученные данные, что продолжительное ПР мышцы у человека может быть причиной значительных снижений силовых возможностей [12, 13, 20]. Продолжительное (в нашем случае 5 часов/день на протяжении 60 дней) ПР ТМГ приводит к снижению МПС (на 43%) и собственно силовых свойств мышцы, оцениваемых по величине P_o (на 19%). Снижение МПС было более значительным по сравнению с тем, что сообщалось ранее [12, 20]. Существенно большая потеря силы сокращения ТМГ может частично быть обусловлена сниженной активностью мышцы в условиях АНОГ и, частично, благодаря

уменьшению способности генерировать силу. Более того, дефицит силы может быть связан и нарушением в передаче силы от волокон мышцы к ее сухожилию, поскольку возможно повреждение мышечно-сухожильного соединения, которое крайне чувствительно и восприимчиво к чрезмерному растяжению и легко повреждаются из-за высокого напряжения, развивающегося на концах утонченных мышечных волокон в результате продолжительного растяжения [22]. В результате можно ожидать нарушение связи между жесткостью мышцы и сократительной работоспособностью и как следствие этого уменьшится жесткость мышечного пучка и уменьшится величина генерированной силы [12, 20].

Кроме изменений жесткости мышцы в результате продолжительного ПР можно предположить изменение и соединительной ткани, вызванной повреждением мышцы, что будет дополнительным фактором, вызывающим снижение генерирования силы [10]. Подтверждением этого является чрезвычайно повышенная активность креатинкиназы как маркера степени повреждения мышцы при выполнении упражнений. Обнаружено значительное увеличение (на 250%) активности креатинкиназы после сильного, резкого, растяжения мышцы [11] и только на 62% после ПР на протяжении 17 минут [33].

При обсуждении нервных механизмов, определяющих смену в сократительных свойствах мышцы в ответ на ее растяжение, обычно рассматривают изменения в афферентах мотонейронного пула [17]. Действительно, нейромышечные ответы, по принципу обратной связи, могут внести свой вклад в ослабление активации мышцы после продолжительного ПР и, в частности, сухожильный рефлекс Гольджи, механорецепторы (афференты типа III) и рецепторы боли (афференты типа IV). Сухожильный рефлекс Гольджи вызывает аутогенное торможение, когда сухожильный орган, расположенный в сухожильно-мышечных суставах, регистрирует крайне высокое напряжение, развиваемое мышцей при ее растяжении. По принципу обратной связи афференты, организованные сухожильным органом Гольджи, вызовут торможение агониста [19], что понизит уровень генерирования силы и уменьшит потенциально «вредное» напряжение на мышцу. Активность сухожильного органа Гольджи повышается при чрезвычайно интенсивном растяжении мышцы [24] и частота импульсации их рецепторов во время растяжения не является постоянной и поэтому его эффект возникает практически мгновенно [9]. Действительно, величина МПС после продолжительного ПР ТМГ составила в среднем только 43% от исходной величины. Снижение в активности после прекращения растяжения, возможно, частично объясняется активностью сухожильного органа Гольджи [24], как одного из вероятных механизмов в уменьшении МПС (сократительных свойств) в условиях

настоящего эксперимента. ПР аннулирует не только возбуждение афферентов от мышечных веретен [9], но и возбудимость мотонейронного пула может быть ослаблена непрямо через волокна I-а пре-синаптическим торможением I-а афферентов [17].

Увеличенная податливость мышечно-сухожильного комплекса может также внести свой вклад в ослабление нервной активности по принципу обратной связи [20]. Обнаружено значительное (84,8%) снижение амплитуды стреч-рефлекса после быстрых ритмических ПР мышцы на протяжении одного часа [13]. Снижение амплитуды стреч-рефлекса было связано с существенным уменьшением в пассивной сопротивляющейся силе растяжения мышцы, позволяя предположить, что источник уменьшения рефлекторной чувствительности – это снижение активности афферентов большого диаметра как результат уменьшенной механической чувствительности мышечных веретен к растяжению [13].

Снижение силовых сократительных свойств (в частности, уменьшение МПС и P_0) после продолжительного ПР в условиях АНОГ может быть связано с дискомфортом и болевыми ощущениями от продолжительного растяжения мышцы. Действительно, механорецепторы (центростремительные афференты типа III) и рецепторы боли (афференты типа IV), по принципу обратной связи могут уменьшить центральную посылаку [24]. Однако в настоящем исследовании сообщений о дискомфорте или боли от испытуемых во время выполнения МПС после продолжительной, двухмесячной «тренировки» с ПР мышц-разгибателей стопы, не поступало и, таким образом, восприятие растяжения и дискомфорт рассматривать, как причину временного отказа от активности может быть отвергнуто, хотя некоторые испытуемые сообщали, что их «мышцы не хотят сокращаться» после продолжительного ПР, несмотря на максимальное произвольное усилие.

Уменьшенная способность генерировать силу мышцы во время произвольных максимальных усилий после продолжительного ПР может быть вызвана другими, дополнительными факторами, чем снижение центральной моторной активности определяющей величину МПС в условиях АНОГ [6, 26] и, в частности, изменения в отношении длина – напряжение и/или податливой деформации соединительной ткани. Снижение МПС, как можно предположить, обусловлено удлинением (увеличением длины) мышечных волокон. Ультразвуковые исследования, выполненные после ПР с измерением длины волокон отдельных головок ТМГ, обнаружили увеличение длины мышечных волокон в *m. soleus*, *m. medial gastrocnemius* и *m. medial gastrocnemius* на 8, 8 и 2 мм, соответственно [25]. В результате взаимодействия актиновых и миозиновых нитей приходится на менее «оптимальную» часть характеристической

Ю. А. КОРЯК
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ПАССИВНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ
МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ
РАЗГРУЗКИ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ
СРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИЙ?

кривой длина – напряжение и соответственно развивается меньшая величина напряжения мышцы. Изменение характеристик длина – напряжение, вызванное максимальным ПР ТМГ, оказывает влияние на паттерн нервной активности: обнаруживается существенное уменьшение активности ДЕ и амплитуды ЭМГ [20]. Более того, уровень нервной модификации, вызванной ПР, зависит от общего растяжения мышечно-сухожильного комплекса [12].

В настоящей работе продолжительное ПР мышцы было существенно отличимым от применяемого в спортивной практике при выполнении спортсменами требуемого движения/упражнения. Интенсивность и продолжительность растяжения мышцы, необходимые для длительного изменения жесткости, неизвестны [32]. Более того, жесткость по своему вязко-эластическому характеру имеет тенденцию очень быстро возвращать мышцу к состоянию уровня покоя и/или генетически и биомеханически определять длину мышцы. В этой связи представляется сомнительным противостоять этой тенденции, используя продолжительное ПР мышцы, чтобы увеличить работоспособность, когда, в целом работоспособность мышцы может быть поставлена под угрозу, изменяя тонкий динамический баланс нервных, архитектурных и электрофизиологических факторов, которые существуют в мышце, чтобы генерировать силу. Элементы, вносящие свой вклад в жесткость мышцы, могут «стабилизировать» мышцу, чтобы генерировать силу, и любое изменение этих элементов ставит под угрозу производство силы.

Настоящее исследование показывает, что продолжительное ПР мышц в условиях сниженной механической разгрузки не обнаруживает профилактического облегчения сократительных свойств. Снижение МПС обусловлено отчасти снижением активности мышцы и отчасти способностью генерировать силу.

Автор выражает благодарность всему обслуживающему персоналу и особая признательность всем испытуемым, принявшим участие в эксперименте, без которых невозможно было бы получить фактический материал

ЛИТЕРАТУРА

1. БАРЕР А.С., САВИНОВ А.П., СЕВЕРИН Г.И., СТОКЛИЦКИЙ А.Ю., ТИХОМИРОВ Е.П. Физиолого-гигиеническое обоснование конструкции некоторых индивидуальных средств профилактики неблагоприятного действия невесомости // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1975. Т. 9. С. 41–47.
2. КОЗЛОВСКАЯ И.Б., ГРИГОРЬЕВА Л.С., ГЕВЛИЧ Г.И. Сравнительный анализ влияний невесомости и ее моделей на скоростно-силовые свойства и тонус скелетных мышц человека // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1984. Т. 6. С. 22–26.

3. **КОРЯК Ю.А.** Сравнение сократительных свойств мышц нижних конечностей у человека // Физиол. ж. 1994. Т. 40. С. 30–38.
4. **КОРЯК Ю.А.** Влияние пассивного растяжения трехглавой мышцы голени (ТМГ) у человека на ее сократительные свойства // Тезисы XII конф. по косм. биол. и авиакосм. мед. М., 2002. 182–183.
5. **КОРЯК Ю.А.** Адаптация скелетных мышц человека к изменению нагрузки. Экспериментальное исследование. LAM LAMBERT Acad. Publ. GmbH & Co. Germany. 2011. 402 с.
6. **КОРЯК Ю.А., КОЗЛОВСКАЯ И.Б.** Возбудимость мотонейронного пула у человека в условиях длительной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) // Мат. VII Всерос. симпоз. «Эколого-физиол. пробл. адаптации». М., 1994. С. 127–128.
7. **СТЕПАНЦОВ В.И., ТИХОНОВ М.А., ЕРЕМИН А.В.** Физическая тренировка как метод предупреждения гиподинамического синдрома // Косм. биол. и авиакосм. мед. 1972. Т. 6. С. 64–69.
8. **АКИМА Н., КУБО К., ИМАИ М., КАНЕХИСА Н., СУЗУКИ Y., ГУНДЖИ А., ФУКУНАГА Т.** Inactivity and muscle: effect of resistance training during bed rest on muscle size in the lower limb // Acta Physiol. Scand. 2001. V. 172. P. 269–278.
9. **ALTER M.J.** Science of Flexibility. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.
10. **ARMSTRONG R.B., DUAN C., DELP M.D., HAYES D.E., GLENN G.M., ALLEN G.D.** Elevations in rat soleus muscle $[Ca^{+2}]$ with passive stretch // J. Appl. Physiol. 1993. V. 74. P. 2990–2997.
11. **ASHMORE R.C., HITCHCOCK L., LEE Y.B.** Passive stretch of adult chicken muscle produces myopathy remarkably similar to hereditary muscular dystrophy // Exp. Neurol. 1988. V. 100. P. 341–353.
12. **AVELA J., FINNI T., LIUKAVAINIO T., NIEMELA E., KOMI P.V.** Neural and mechanical responses of the triceps surae muscle group after 1 h of repeated fast passive stretches // J. Appl. Physiol. 2004. V. 96. P. 2325–2332.
13. **AVELA J., KYRÖLÄINEN H., KOMI P.V.** Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. // J. Appl. Physiol. 1999. V. 86. P. 1283–1291.
14. **BIGLAND-RITCHIE B.R., FURBUSH F.H., GANDEVIA S.C., THOMAS C.K.** Voluntary discharge frequencies of human motoneurons at different muscle lengths // Muscle & Nerve. 1992. V. 15. P. 130–137.
15. **CALDWELL G.E.** Tendon elasticity and relative length: effects on the Hill two-component muscle model. // J. Appl. Biomech. 1995. V. 11. P. 1–24.
16. **CLOSE R.I.** Dynamic properties of mammalian skeletal muscle // Physiol. Rev. 1972. V. 52. P. 129–197.
17. **DELWAIDE P.J.** Human monosynaptic reflexes and presynaptic inhibition. An interpretation of spastic hyperreflexia. New Dev. Electromyogr. Clin. Neurophysiol. (ed. Desmedt J.E.). Karger, Basel. 1973. V. 3. P. 508–522.
18. **DUCHATEAU J., HAINAUT K.** Effects of immobilization on contractile properties, recruitment and firing rates of human motor units // J. Physiol. 1990. V. 422. P. 55–65.
19. **ECCLES J.C., ECCLES R.M., LUNDBERG A.** Synaptic actions on motoneurons caused by impulses in Golgi tendon organ afferents // J. Physiol. 1957. V. 138. P. 227–252.
20. **FOWLES J.R., SALE D.G., MACDOUGALL J.D.** Reduced strength after passive stretch of the human plantar flexors // J. Appl. Physiol. 2000. V. 89. P. 1179–1188.
21. **FUGLSANG-FREDERIKSEN A., SCHEEL U.** Transient decrease in number of motor units after immobilization in man // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 1978. V. 41. P. 924–929.
22. **GARRETT W.E., SAFRAN M.R. JR., SEABER A.V., GLISSON R.R., RIBBECK B.M.** Biomechanical comparison of stimulated and nonstimulated skeletal muscle pulled to failure // Am. J. Sports Med. 1987. V. 15. 448–454.
23. **HIKIDA R.S., GOLLNICK P.D., DUDLEY G.A., CONVERTINO V.A., BUCHANAN P.** Structural and metabolic characteristics of human skeletal muscle following 30 days of simulated microgravity. // Aviat. Space Environ. Med. 1989. V. 60. P. 664–670.
24. **HOUK J.C., SINGER J.J., GOLDMAN M.R.** Adequate stimulus for tendon organs with observation on mechanics of the ankle joint // J. Neurophysiol. 1971. V. 34. P. 1051–1065.
25. **KAWAKAMI Y., ABE T., KUNO S.Y., FUKUNAGA T.** Training-induced changes in muscle architecture and specific tension // Eur. J. Appl. Physiol. 1995. V. 72. P. 37–43.
26. **KOZLOVSKAYA I.B., BURLACHKOVA N.I.** Effects of microgravity on spinal reflex mechanisms // 12th Man in Space Symp.: The Future of Human in Space. Washington, 1997. P. 310–311.
27. **LETERME D., FALEMPIN M.** Contractile properties of rat soleus motor units following 14 days of hindlimb unloading // Pflugers Arch. 1996. V. 432. P. 313–319.
28. **LIEBER R.L., BOAKES J.L.** Sarcomere length and joint kinematics during torque production in frog hindlimb // Am. J. Physiol. Cell. Physiol. 1988. V. 254. P. C759–C768.
29. **MAGNUSSON S.P.** Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review // Scand. J. Med. Sci. Sports. 1998. V. 8. P. 65–77.
30. **MAGNUSSON S.P., SIMONSEN E.B., AÆGAARD P., DYHRE-POULSEN P., MCHUGH M.P., KJAER M.** Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. // Arch. Phys. Med. Rehabil. 1996. V. 77. P. 373–378.
31. **MAYER R.F., BURKE R.E., TOOP J., HODGSON J.A., KANDA K., WALMSLEY B.** The effect of long-term im-

- mobilization on the motor unit population of the cat medial gastrocnemius muscle // *Neuroscience*. 1981. V. 6. P. 725–739.
32. **SIMMONS R.M., JEWELL B.R.** Mechanics and models of muscular contraction // *Rec. Adv. Physiol.* 1974. V. 9. P. 87–147.
33. **SMITH L.L., BRUNETZ M.H., CHENIER T.C., MCCAMMON M.R., HOUMARD J.A., FRANKLIN M.E., ISRAEL R.G.** The effects of static and ballistic stretching on delayed-onset muscle soreness and creatine kinase // *Res. Q. Exerc. Sport*. 1993. V. 64. P. 103–107.
34. **STEVEN L., MOUNIER Y., HOLY X., FALEMPIN M.** Contractile properties of rat soleus muscle after 15 days of hindlimb suspension // *J. Appl. Physiol.* 1990. V. 68. P. 334–340.
35. **STUMP C.S., OVERTON J.M., TIPTON C.M.** Influence of single hindlimb support during simulated weightlessness in the rat // *J. Appl. Physiol.* 1990. V. 68. P. 627–634.
36. **WITZMANN F.A., KIM D.H., FITTS R.H.** Recovery time course in contractile function on fast and slow skeletal muscle after hind limb immobilization // *J. Appl. Physiol.* 1982. V. 52. 677–682.

Ю. А. КОРЯК
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ПАССИВНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ
МЫШЦЫ В УСЛОВИЯХ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ
РАЗГРУЗКИ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ
СРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИЙ?

Коряк Юрий Андреевич,
д.б.н., профессор, в.н.с. Государственного научного центра
РФ – Института медико-биологических проблем РАН

☎ 123007, г. Москва, Хорошевское ш., д. 76-А,
тел.: +7 (499) 193-74-43, e-mail: yurikoryak@mail.ru