

60–СУТОЧНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ РАЗГРУЗКА МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА

Коряк Ю.А.

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН,

Москва, Россия

К.Э. Циолковский писал «... мы, земные жители, ... мечтаем о межпланетных путешествиях...» [1] и, несмотря на сложность проблемы, стоящей перед человечеством, по словам К.Э. Циолковского «... эта задача может быть решена. Решение основывается на особом приеме изучения людей...» [2]. Современное развитие мировой космонавтики подтвердили надежды К.Э. Циолковского: в первую декаду десятилетия нового столетия человечество ожидает первый межпланетный пилотируемый полет на Марс, поскольку Марс является потенциально приемлемым для жизни планета. Полеты на эту планету обеспечит волнующие и уникальные возможности увеличить наши знания о происхождении, эволюции и распределении жизни во Вселенной.

Влияние условий микрогравитации на сократительные свойства скелетных мышц у человека интенсивно исследуется [3–13]. Замечено, что «разгрузка» двигательного аппарата у пациентов с гипсовым ограничением в течение нескольких недель в условиях клиники вызывает значительное снижение массы и силы сокращения мышцы [14–16], степень которой пропорциональна длительности механической разгрузки [17]. Аналогичные структурные и функциональные изменения скелетных мышц отмечаются и у космонавтов/астронавтов после пребывания в условиях реальной невесомости [4, 5, 10, 18–20], или у человека после пребывания в модельных условиях, имитирующих невесомость [5, 6, 8, 9, 11, 21–24]. Эти изменения связывают с локальными факторами — сниженной (уменьшенной) мышечной нагрузкой и/или относительной иммобилизацией сустава и соответствующих мышц [16, 25–27]. Главным фактором, ответственным за все эти изменения — это устранение проприоцептивной информации от мышц (особенно с опорных зон стопы [28, 29]) и сухожилий в ответ на отсутствие механической нагрузки и, соответственно, в этой связи антигравитационные или постуральные мышцы являются основной мишенью для действия функциональной разгрузки.

Перспективной моделью в условиях Земли, имитирующей физиологические эффекты гравитационной разгрузки многих функций и органов живого организма у человека и, в частности скелетных мышц, выполняющих основную двигательную функцию, является жесткая постельная антиортостатическая (-6°) гипокинезия (АНОГ) [3, 30]. Ранее выполненные исследования обнаружили тесную связь между уровнем снижения силы сокращения мышц у человека, находящегося в условиях реальной невесомости, и в наземных условиях имитирующих ее [5]. Показано, что 120–суточное пребывание в условиях АНОГ, вызывает уменьшение максимальной произвольной силы (МПС) и максимальной силы (P_0) сокращения трехглавой мышцы голени (ТМГ) в среднем на 45.5 и 33.7 %, соответственно, увеличение силового дефицита (на 60 %) и времени изометрического одиночного сокращения мышцы [6, 22, 24]. 370–суточная АНОГ также обнаруживает снижение сократительных свойств (возможностей) ТМГ, но сдвиги в силовых сократительных свойствах были существенно меньше (однако, следует учесть, что после 120-суток пребывания в условиях АНОГ, испытуемые стала применять комплекс физических упражнений). Так, величина МПС и P_0 уменьшилась в среднем на 21.9 и 24.9 %, соответственно (впервые представлены, ранее неопубликованные данные). Целью настоящей работы было исследовать сократительные свойства ТМГ у человека и их изменения после пребывания в условиях 60–суточной АНОГ. В исследовании приняли участие клинически здоровые мужчины ($n = 6$; возраст – 30.8 ± 3.1 лет, рост – 181.3 ± 2.3 см, вес – 79.8 ± 7.7 кг), которые прошли специальный медицинский отбор и отличались относительно высокой устойчивостью к ортостатической нагрузке. Экспериментальные процедуры были выполнены в соответствии с Хельсинской Декларацией и испытуемые после полной информации о процедурах и задачах исследования дали письменное согласие на участие. Программа исследований была одобрена комиссией по биомедицинской этике при ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

Влияние гравитационной «разгрузки» на функциональные свойства нервно-мышечного аппарата (на примере трехглавой мышцы голени — ТМГ) у человека изучали на модели 60–суточной АНОГ [30].

Сократительные свойства ТМГ в условиях *in situ* оценивали дважды — за 10–8 дней до «закладки» испытуемых на постельный режим и на 3 день после «выхода» из АНОГ. Регистрацию изометрических механических ответов ТМГ осуществляли с использованием тендометрического динамометра [31]. *Силовые свойства* ТМГ оценивали по тендограммам: изометрического максимального произвольного усилия, развиваемого испытуемым (максимальная произвольная сила — МПС), выполненного при условии «сократить максимально сильно», изометрического одиночного сокращения (ОС) мышцы, развиваемого в ответ на электрическое раздражение *n. tibialis* супрамаксимальной силой одиночным импульсом прямоугольной формы длительностью 1 мс (сила одиночного сокращения — P_{oc}) и изометрического тетанического сокращения (максимальная сила — P_0), развиваемой

мышцей в ответ на электрическое тетаническое ритмическое раздражение *n. tibialis* с частотой 150 имп/с [31]. По разнице между P_0 и МПС, отнесенной к P_0 и выраженной в процентах, определяли силовой дефицит (P_d). Скоростные свойства ТМГ оценивали по тендограмме развития изометрического ОС. Рассчитывали: время достижения пика ОС (время одиночного сокращения — ВОС), время от артефакта раздражения до пика ОС; время полурасслабления (1/2ПР) — время от пика до половины расслабления и общее время сокращения (ОВС) мышцы — время от артефакта раздражения до полного расслабления [31]. Скоростно-силовые свойства ТМГ оценивали по времени достижения изометрического произвольного сокращения до 25 %-, 50 %- и 75 %-уровня напряжения от максимума, выполненного при условии «сократить максимально быстро и сильно». Аналогично рассчитывали временные параметры развития электрически вызванного сокращения при электрической стимуляции *n. tibialis* с частотой 150 имп/с [31].

После 60-суточной АНОГ величина $P_{ос}$, МПС и P_0 ТМГ уменьшилась в среднем на 17.3, 33.5 и 18.0 %, соответственно, ($p < 0.01$). Показатель P_d , характеризующий степень совершенства центральнонервных координационных механизмов управления мышечным аппаратом, увеличился на 61.0 %. ВОС и время 1/2ПР ТМГ уменьшилось на 3.4 ($p > 0.05$) и 7.2 %, соответственно, а ОВС незначительно (на 1.3 %; $p > 0.05$) увеличилось. Время нарастания изометрического напряжения, или иначе градиент, произвольного сокращения ТМГ значительно увеличилось при достижении любого относительного уровня напряжения мышцы, составив 45.6, 89.1 и 29.6 %, соответственно ($p < 0.001$), тогда как кривые *сила-время* при электрически вызванном сокращении обнаруживают тенденцию к увеличению вогнутости.

Таким образом, результаты настоящего исследования, во-первых, подтверждают ранее полученные наши данные [6, 8, 22], что неупотребление мышц ассоциируется как с уменьшением сократительных способностей самих мышц (периферический фактор), так и снижением центральной (моторной) посылки (центрально-нервный фактор). Изменения в скоростных сократительных свойствах мышцы предполагает изменение в кинетики развития активного состояния контрактильных элементов мышцы [33, 34]. Во-вторых, максимальные значения степени изменений функциональных свойств нервно-мышечного аппарата у человека достигают, по-видимому, на относительно раннем этапе воздействия микрогравитации и глубина этих изменений медленно дрейфует по мере увеличения срока пребывания в условиях микрогравитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Циолковский Э.К. Космическая философия. // В кн.: Очерки о вселенной (составители Н.Г. Белова, Л.А. Кутузова, Т.В. Чугрова). М. ПАИМС. 1992. С. 229-237.
2. Циолковский Э.К. Горе и гений. // В кн.: Очерки о вселенной (составители Н.Г. Белова, Л.А. Кутузова, Т.В. Чугрова). М. ПАИМС, 1992. С. 20-30.
3. Convertino V.A., Bisson R., Bates R., Goldwater D., Sandler H. Effects of antiorthostatic bedrest on the cardiorespiratory responses to exercise. // Aviat. Space Environ. Med. 1981. V. 52. p. 251-255
4. 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. // Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1984. Т. 18. с. 22-26.
5. Григорьева Л.С., Козловская И.Б. Влияние невесомости и гипокинезии на скоростно-силовые свойства мышц человека. // Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1987. Т. 21. с. 27-30.
6. Коряк Ю.А., Козловская И.Б. Влияние длительной постельной антиортостатической гипокинезии на функциональные свойства нервно-мышечного аппарата у человека. // Физиол. ж. 1992. Т. 38. с. 67-75.
7. Suzuki Y., Murakami T., Kawakuba K., Goto S., Makita Y., Ikawa S., Gunji A. Effects of 10 and 20 days bed rest on leg muscle mass and strength in young subjects. // Acta Physiol. Scand. [Suppl. 616]. 1994. V. 150. p. 5-18.
8. Koryak Yu. Contractile characteristics of the triceps surae muscle in healthy males during 120-days head-down tilt (HDT) and countermeasure. // J. Gravit. Physiol. 1994. V. 1. P141-P143.
9. Koryak Yu. Mechanical and electrical adaptation of skeletal muscle to gravitational unloading. // J. Gravit. Physiol. 1995. V. 2. P76-P79.

10. LeBlanc A., Rowe R., Schneider V., Evans H., Hedrick T. Regional muscle loss after short duration spaceflight. // *Aviat. Space Environ. Med.* 1995. V. 66. p. 1151-1154.
11. Koryak Yu. Mechanical and electrical changes in human muscle after *dry* immersion. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 1996. V. 74. p. 133-140.
12. Koryak Yu. Changes in the action potential and contractile properties of skeletal muscle in human's with repetitive stimulation after long-term *dry* immersion. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 1996. V. 74. 496-503.
13. Koryak Yu. The effect of 120-days of bed rest with and without countermeasures on the mechanical properties of the triceps surae muscle in young women. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 1998. V. 78. p. 128-135
14. Lippman R.K., Selig S. An experimental study of muscle atrophy. // *Surg. Gynecol. Obstet.* 1928. V. 47. p. 512-522.
15. Dietrick J.E., Whedon G.D., Shorr E. Effects of immobilization upon various metabolic and physiologic function of normal man. // *Am. J. Physiol.* 1948. V. 4. p. 3-38.
16. Appell H.J. Muscular atrophy following immobilization. A review // *Sports Med.*, 1990. V. 10. p. 42-58.
17. Palmer I. On the injuries to the ligaments of the knee joint. // *Acta Chir. Scand.* 1938. V. 91 [Suppl.]. p. 53-60.
18. Antonutto G., Capelli C., Giradis M., Zamparo P., di Prampero P.E. Effects of microgravity on muscular explosive power of the lower limbs in humans. // *Acta Astronautica.* 1995. V. 36. p. 473-478.
19. Koryak Yu., Kozlovskaya I. The effects of a 115-day spaceflight on neuromuscular function in crewman. // 18th Ann. Inter. Gravit. Physiol. Meeting. 1997. P. 92.
20. Koryak Yu., Siconolfi S.F., Kozlovskaya I.B., Gilbert J.H., Layne C.S. Maximal voluntary (MVC), tetanic (P_0) and single twitch (P) contractions before & after space flight. // *FASEB J.* 1997. A-1408.
21. Коряк Ю.А., Козловская И.Б. Возбудимость мотонейронного пула у человека в условиях длительной антиортостатической гипокинезии (АНОГ). // *Матер. VII Всерос. симп. «Эколого-физиолог. пробл. адаптации».* М. 1994. с. 127-128.
22. Koryak Yu. Contractile properties of the human triceps surae muscle during simulated weightlessness. // *Eur. J. Appl. Physiol.* 1995. V. 70. p. 344-350.
23. Jaweed M.M., Grana E.A., Glennon T.P., Monga T.N., Mirabi B. Neuromuscular adaptations during 30 days of cast-immobilization and head-down bedrest. // *J. Gravit. Physiol.* 1995. V. 2. p. 72-P73.
24. Коряк Ю.А. Реакция скелетной мышцы у человека на снижение гравитации. // *Физиол. ж.* 1997. Т. 43. с. 96-108.
25. Booth F.W., Gollnick P.D. Effects of disuse on the structure and function of skeletal muscle. // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1983. V. 15. p. 415-420.
26. Fitts R.H., Metzger J.M., Riley D.A., Unsworth B.R. Models of disuse : a comparison of hindlimb suspension and immobilization. // *J. Appl. Physiol.* 1986. V. 60. p. 1946-1953.
27. Goldspink D.F., Morton A.J., Loughna P., Goldspink G. The effect of hypokinesia and hypodinamia on protein turnover and the growth of four skeletal muscles of the rat. // *Pflügers Arch.* 1986. V. 407. p. 333-340.
28. Kozlovskaya, I.B., Aslanova, I.F., Grigorieva, L.S. & Kreidich, Yu.V. Experimental analysis of motor effects of weightlessness. *The Physiologist*, 1982. V. 25 [(Suppl.)]. S49-S52.
29. Kozlovskaya, I., Dmitrieva, I., Grigorieva, L., Kirenskaya, A. & Kreydich, Yu. (1988) Gravitational mechanisms in the motor sistem. Studies in real and simulated weightlessness. // *Stance and Motion. Facts and Concepts.* (eds. Gurfinkel V.S., Ioffe M.Ye., Massion J.). Plenum, New York. p. 37-48.
30. Генин А.М., Сорокин П.А. Длительное ограничение подвижности как модель влияния невесомости на организм человека // *Пробл. космич. биол. М.*, 1969. С. 9-16.

31. Коряк Ю.А. Методы исследования нервно-мышечного аппарата у спортсменов М. ИМБП. 1992.
32. Hill A.V. The abrupt transition from rest to activity in muscle // Proc. Roy. Soc. Ser. B, 1949, V. 136, p. 399-420.
33. Rosenfalck P. Staircase phenomenon of human muscle: relation to the active state. // Nature, 1968. V. 218. p. 958-959.
34. Rosenfalck P. Change in active state during the staircase phenomenon of human muscle. // Acta Physiol. Scand. 1974. V. 92. p. 12-20.