

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

Физико-математические науки

УСТОЙЧИВОСТЬ.

ЛОКАЛЬНО-ОДНОМЕРНАЯ СХЕМА В РАВНОМЕРНОЙ МЕТРИКЕ

Саиев Т. Х.

Северо-Кавказский государственный технический университет, Ставрополь, Россия

Для параболических уравнений с нелокальным источником в многомерной области

$$\frac{y^{j+\frac{\alpha}{p}} - y^{j+\frac{\alpha-1}{p}}}{\tau} = \Lambda_{\alpha} y^{j+\frac{\alpha}{p}} + \frac{1}{p} \sum_{j=0}^j k(x_i, t_j, t_{j'}) y(x_i, t_{j'}) \tau + \Phi_{\alpha}^{j+\frac{\alpha}{p}}. \quad (1)$$

Приведём схему к каноническому виду

$$\left[\frac{1}{\tau} + \frac{2}{h_{\alpha}^2} \right] y_{i_{\alpha}}^{j+\frac{\alpha}{p}} = \frac{1}{h_{\alpha}^2} \left(y_{i_{\alpha+1}}^{j+\frac{\alpha}{p}} + y_{i_{\alpha-1}}^{j+\frac{\alpha}{p}} \right) + F_{\alpha}^{j+\frac{\alpha}{p}}; \quad y^{j+\frac{\alpha}{p}} \Big|_{\gamma_{h_{\alpha}}} = 0 \quad y(x, 0) = u_0(x)$$

$$\text{То имеем} \quad \left\| y^{j+\frac{\alpha}{p}} \right\|_C \leq \left\| \frac{F_{\alpha}^{j+\frac{\alpha}{p}}}{D} \right\|_C \quad \|y\|_C = \max_{\omega_h} |y|. \quad (2)$$

Из неравенства (2) выводим априорную оценку для решения задачи (1):

$$\|y^{j+1}\|_C \leq M \left(\|u_0\|_C + \sum_{j=0}^j \tau \sum_{\alpha=1}^p \left\| \Phi_{\alpha}^{j+\frac{\alpha}{p}} \right\|_C \right) \quad (3)$$

С помощью оценки (3) для решения задачи (1) получаем оценку

$$\|z^{j+1}\|_C \leq M (|h|^2 + \tau) \quad |h|^2 = h_1^2 + \dots + h_p^2$$

Биологические науки

НЕЙРОМЫШЕЧНАЯ АДАПТАЦИЯ К ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКЕ У МОЛОДЫХ МУЖЧИН И ЖЕНЩИН

Коряк Ю. А.

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

Циолковский Э. К., не вдаваясь в научный анализ и предвидя влияние невесомости, писал: «... когда взрывание прекратится... тяжесть должна исчезнуть... Тогда путешественники... будут подобно рыбам в воде...» [1]. Безопорность, или иначе снятие весовой нагрузки, под влиянием которых фило- и оттогенетически развивается все живое на Земле, обуславливает изменение в функционировании ряда жизненно важных органов и систем организма, в частности, двигательной системе [2-5]. Перспективными моделями в исследованиях влияния микрогравитации у

человека в условиях Земли являются — «сухая» водная иммерсия [6] и жесткая постельная анти-ортостатическая (под углом – 6°) гипокинезия — АНОГ [7-9]. Первая модель хорошо воспроизводит физиологические эффекты коротких космических полетов продолжительностью 7-10 дней, вторая – длительные космические полеты продолжительностью более 120 суток.

Влияние условий микрогравитации на сократительные свойства скелетных мышц у человека интенсивно исследуется. Ранее выполненные исследования описали нейромышечную адаптацию к микрогравитации, где в качестве испытуемых были мужчины [10-15] или группа, объединяющих мужчин и женщин [5, 16-19]. Исследований, посвященных сравнительному анализу степени изменений сократительных свойств скелетных мышц у мужчин и женщин под влиянием микрогравитации, с их количественным анализом не было выполнено, тем более на уровне отдельной

мышцы, участвующей как в произвольных, так и непроизвольных (электрически вызванных) сокращениях, хотя последнее в значительной степени, если не целиком, предопределяют общую работоспособность человека и позволяет исследовать механизмы, лежащие в основе этих изменений.

Вопрос, в какой степени микрогравитация оказывает влияние на функциональные свойства нервно-мышечного аппарата (НМА) у женщин и мужчин, чрезвычайно важен, по крайней мере, по двум соображениям. Во-первых, известно, что женщины лучше адаптируются к внешним условиям, чем мужчины [20]. Величина мышечной силы, оцениваемой по величине максимальной произвольной силы, развиваемой при изометрическом режиме сокращения, больше у мужчин, чем у женщин [21, 22]. Интересно отметить, что если величина относительной силы у мужчин и женщин в результате тренировки увеличивается в одинаковой степени, то степень относительной гипертрофии меньше у женщин [23]. Эти поло-зависимые различия могут быть, во-первых, результатом различий в метаболических характеристиках скелетных мышц – у женщин отмечается большая площадь волокон типа I, чем у мужчин [20]. Во-вторых, вклад центральных и периферических факторов, формирующих функциональные свойства НМА у женщин и мужчин, существенно различается [23, 24].

Цель настоящей работы – исследовать адаптационные реакции НМА на длительную гравитационную разгрузку у группы женщин и мужчин.

В исследовании приняли участие 14 добровольцев, которые прошли специальный медицинский отбор и отличались относительно высокой устойчивостью к ортостатической нагрузке. Все участники эксперимента были разделены на две группы – *группу женщин* ($n = 8$), и *группу мужчин* ($n = 6$). Влияние длительной гравитационной разгрузки на функциональные свойства НМА у человека изучали на модели 120-суточной АНОГ [7].

Исследовалась трехглавая мышца голени (ТМГ). Сократительные свойства ТМГ оценивали дважды — за 10-8 дней до «закладки» испытуемых и на 3 день после «выхода» из АНОГ. Регистрацию механического ответа ТМГ осуществляли методом тендометрии [25] с использованием тендометрического динамометра [25, 26].

Силовые свойства ТМГ рассчитывали по тендограммам изометрического максимального произвольного усилия, развиваемого испытуемым (максимальная произвольная сила — МПС), одиночного сокращения (ОС) в ответ на одиночный электрический стимул супрамаксимальной силы при раздражении *n. tibialis* прямоугольным импульсом длительностью 1 мс (сила одиночного сокращения – СОС) и тетанического сокращения при стимуляции *n. tibialis* частотой 150 имп/с (максимальная сила — МС) [26]. По разнице между МС и МПС, отнесенной к МС и выраженной в процентах, определяли силовой дефицит (СД).

Скоростные свойства ТМГ оценивали по тендограмме изометрического ОС; рассчитывали время достижения пика ОС (ВОС), время полурасслабления ($1/2$ ПР) и общее время сокращения (ОВС) [26]. Рассчитывали показатель тетанического индекса (ТИ), определяемый по отношению СОС/ МС.

Скоростно-силовые свойства мышцы определяли по тендограммам произвольного изометрического сокращения, выполненного при условии «сократить максимально быстро и сильно», и электрически вызванного тетанического сокращения в ответ на электрическое раздражение *n. tibialis* частотой 150 имп/с [12, 26], рассчитывали время нарастания изометрического напряжения мышцы до 25, 50, 75 и 90 % от МПС или МС, соответственно.

Полученные данные после АНОГ обнаружили, что СОС ТМГ (для обеих групп) уменьшилась на 27.8 % ($p < 0.01$) по сравнению с контрольной величиной. Однако межгрупповое сравнение степени изменения СОС обнаружило существенное различие. Так, после АНОГ у группы мужчин величина СОС была на 35.7 % меньше, а в группе женщин – на 11.2 % ($p < 0.05$), чем до АНОГ. МПС в объединенной группе мужчин и женщин после АНОГ уменьшилась на 40.5 % ($p < 0.01$), но в группе мужчин МПС уменьшилась в среднем на 44.4 % ($p < 0.01$), а в группе женщин — на 32.9 % ($p < 0.01$), соответственно. Величина МС для целой популяции испытуемых (объединенная группа мужчин и женщин) уменьшилась на 29.6 % ($p < 0.01$). Вместе с тем, анализ межгрупповых данных изменений МС, обнаружил существенное отличие. Так, если в группе мужчин МС уменьшилась на 33.7 % ($p < 0.01$), то в группе женщин – на 16.0 % ($p < 0.01$).

Показатель СД, характеризующий степень совершенства центрально-нервного (координационного) управления мышечным аппаратом, в обобщенной группе мужчин и женщин, после АНОГ увеличился на 40.1 % ($p < 0.001$). Анализ межгрупповых показателей обнаружил, что у группы мужчин величина СД после АНОГ увеличилась в большей степени по сравнению с группой женщин. Так, величина СД в группе мужчин увеличилась в среднем на 60.2 % ($p < 0.001$), а в группе женщин – на 40.2 % ($p < 0.001$), соответственно.

Косвенный показатель скоростных свойств мышц ТИ до и после АНОГ было меньше у группы мужчин по сравнению с группой женщин ($p < 0.05$). Величина ТИ у группы женщин в контроле и после АНОГ составило 8.3 % ($p < 0.001$) и 4.4 % ($p < 0.01$), соответственно. После АНОГ величина ТИ у группы женщин было меньше на 4.2 % ($p < 0.05$), чем в контроле; тогда как в группе мужчин различий не отмечалось ($p > 0.05$).

ВОС ТМГ после АНОГ для объединенной группы женщин и мужчин было меньше в среднем на 9.3 % ($p < 0.05$), чем до АНОГ. Анализ межгрупповых данных до АНОГ не обнаружил существенных различий. Однако различия обнаруживаются между группами мужчин и женщин при сравнении данных до и после АНОГ. Так, после АНОГ ВОС у группы мужчин было на 11.5 % ($p < 0.05$), а в группе женщин — на 13.6 % ($p < 0.01$) больше, чем в контроле.

1/2 ПР ТМГ для объединенной группы женщин и мужчин уменьшилось после АНОГ в среднем на 4.9 % по сравнению с исходной (контрольной) величиной. Однако после АНОГ в группе мужчин средняя величина 1/2 ПР была на 9.2 % ($p < 0.05$) больше, тогда как в группе женщин – на 19.2 % ($p < 0.01$) меньше, чем в контроле.

ОВС ТМГ (для обеих групп испытуемых) после АНОГ было меньше на 2.9 % ($p < 0.05$) и межгрупповых различий до АНОГ не было обнаружено. Такие различия обнаружались после АНОГ. Так, в группе мужчин величина ОВС была на 22.9 % ($p < 0.05$) больше, а в группе женщин – на 17.7 % ($p < 0.01$) меньше по сравнению с контрольной величиной (рис. 2, левая панель).

Анализ данных изменения скорости нарастания изометрического напряжения ТМГ после АНОГ обнаружил значительное снижение скорости нарастания произвольного сокращения у группы женщин, что отмечалось в уменьшении выпуклости кривой *сила – время*, оцениваемой

в относительных величинах ($p < 0.001$). Однако оценка кривой *сила – время* при электрически вызванном сокращении ТМГ после 120-суточной АНОГ не обнаружила существенных межгрупповых различий.

Полученные результаты показывают, что сократительные свойства ТМГ разнятся у группы женщин и мужчин. В условиях сниженной гравитационной нагрузки глубина изменений силовых показателей у мужчин больше, чем у женщин, оцениваемых как по данным МПС, так и МС. Это указывает на изменения не только сократительной способности самих мышечных волокон, т. е. на периферическую природу изменений, но и на изменения в центральном механизме управления произвольными движениями. По-видимому, у мужчин в большей степени «страдает» нервный компонент в развитии медленной силы, что находит подтверждение в большем увеличении величины СД у группы мужчин по сравнению с группой женщин. С другой стороны, мужчины, по-видимому, способны лучше интегрировать информацию, поступающую от различных других сенсорных систем в результате гравитационной разгрузки, при выполнении двигательной задачи «взрывного» характера, когда требуется проявления мышечной силы в наикратчайшее время.

Таким образом, изложенные данные показывают, во-первых, о необходимости дифференцированного подхода к анализу влияния невесомости на изменения сократительных свойств скелетных мышц у женщин и мужчин, и, во-вторых, в связи с разной степенью изменений удельного вклада периферических и центральных факторов, определяющих и лимитирующих функциональные свойства периферического НМА у женщин и мужчин, следует учитывать это при привлечении женщин и мужчин к выполнению профессиональных операций в космической экспедиции и, наконец, в-третьих, эти особенности необходимо учитывать при разработке и рекомендации по использованию средств профилактики на борту орбитальной космической станции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Циолковский Э. К. Вне Земли. М., Сов. Россия. 1958
2. Kozlovskaya I. B., Kreidich Yu. V., Rakhmanov A. S. Mechanisms of the effects of weightlessness on the motor system of man//Physiologist 1981. V. 24. S59-S64

3. West J.B. Spacelab – the coming of age of space physiology research//*J Appl. Physiol.* 1984. V. 57. 1625-1631
4. Kozlovskaya I.B. Neurophysiological effects caused by short- and long-term exposures to microgravity//*Aerospace Sci./Ed. Yajima K Nihon Univ Tokyo.* 1991. P. 145-150
5. Day M.K., Allan D.L., Mohajerani L., Greenisen M.C., Roy R.R., Edgerton V.R. Adaptations of human skeletal muscle fibers to spaceflight//*J Gravit. Physiol.* 1995. V. 2. P47-P50
6. Шульженко Е.В., Виль-Вильямс И.Ф. Возможность проведения длительной водной иммерсии методом «сухого» погружения//*Косм. биол. и авиакосм. мед.* 1976. Т. 10. 82-84
7. Генин А.М., Сорокин П.А. Длительное ограничение подвижности как модель влияния невесомости на организм человека//*Проблемы косм. биол. М., 1969.* С. 9-16
8. 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. 251-255
9. Sandler H., Hernikos J Inactivity: Physiological Effects//Orlando, Fl: Academic, 1986. P. 1-9
10. Dudley G.A., Duvoisin M.R., Convertino V.A., Buchanan P Alterations of the in vivo torque-velocity relationship of human skeletal muscle following 30 days exposure to simulated microgravity//*Aviat. Space Environ. Med.* 1989. V. 60. 659-663
11. Koryak Yu. A. 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
12. Koryak Yu. A. Contractile properties of the human triceps surae muscle during simulated weightlessness//*Eur. J Appl. Physiol.* 1995. V. 70. 344-350
13. Koryak Yu. A. Mechanical and electrical adaptation of skeletal muscle to gravitational unloading//*J Gravit. Physiol.* 1995. V. 2. P76-P79
14. Koryak Yu. A. Mechanical and electrical changes in human muscle after *dry* immersion//*Eur. J Appl. Physiol.* 1996. V. 74. 133-140
15. Koryak Yu. A. 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
16. Dudley G.A., Duvoisin M.R., Adams G.R., Meyer R.A., Belew A.H., Buchanan P Adaptations to unilateral lower limb suspension in humans//*Aviat. Space Environ. Med.* 1992. V. 63. 678-683
17. Suzuki Y., Murakami T., Haruna Y., 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. 5-18
18. Suzuki Y., Kashihara H., Takenaka K., Kawakubo K., Makita Y., Goto S., Ikawa S., Gunji A. Effects of daily mild supine exercise on physical performance after 20 days bed rest in young persons//*Acta Astronautica* 1994. V. 33. 101-111
19. 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. P72-P73
20. Nygaard E. Women and exercise – with special reference to muscle morphology and metabolism//*Biochemistry of exercise – IVB/Eds. Poortmans J., Niset G. University Park Press, Baltimore, 1981.* 161-175
21. Petrofsky J.S., Burse R.L., Lind A.R. Comparison of physiological responses of women and men to isometric exercise//*J Appl. Physiol.* 1975. V. 38. 863-868
22. Astrand P.O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, Munksgaard. 1952
23. Komi P.V. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors//*Int. J. Sports Med.* [Suppl.] 1986. V. 7. 10-15
24. Коряк Ю.А. Сократительные свойства трехглавой мышцы голени у высококвалифицированных спортсменов-многоборцев мужчин и женщин//*Физиология человека.* 1994. Т. 20. 113-122
25. Коц Я.М., Абсалямов Т.М., Зорин В.П., Коряк Ю.А., Кузнецов С.П., Син Л.Д. Модификация тендометрического метода измерения силы сокращения отдельных мышц у человека//*Физиология человека.* 1976. Т. 2. 1045-1048
26. Коряк Ю.А. Методы исследования нервно-мышечного аппарата у спортсменов М., ИМБП. 1992