

Самсонова, А.В. Косьмина Е.А. Срочные тренировочные эффекты применения силовых упражнений методом "до отказа" / А.В. Самсонова, Е.А. Косьмина //Труды кафедры биомеханики Университета им. П.Ф. Лесгафта.- Вып. 5. – СПб., 2011.- С. 71-79.

УДК 796.011

А.В. Самсонова

д.п.н., заведующая кафедрой биомеханики НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург

Е.А. Косьмина

аспирантка кафедры биомеханики НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург

СРОЧНЫЕ ТРЕНИРОВОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ МЕТОДОМ ДО «ОТКАЗА»

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доказано, что больший эффект в развитии гипертрофии и силы скелетных мышц приносят силовые упражнения, выполняемые с субмаксимальными отягощениями (80% от максимума) по сравнению с небольшими (40% от максимума) (T.L. DeLorm, 1945; R.A. Hellerbrandt, S.J. Houtz, 1956; P.A. Роман, 1956; С. МакРоберт, 1999; L. Incledon, 2005; J. Stoppani, 2006; M.K. LeBoeuf, L.F. Butler, 2008). В то же время существуют данные о том, что использование в тренировке начинающих метода до «отказа» позволяет, применяя небольшие отягощения (40% от максимального) добиваться таких же успехов в развитии силовых качеств, как и с применением субмаксимальных отягощений (В.М. Зациорский, 1966; Ю.Ф. Курамшин 2004).

Существует большое количество фактического материала о воздействии силовой тренировки, проводимой *в различных режимах* мышечного сокращения (концентрическом, изометрическом и эксцентрическом) на структурные, физиологические, биохимические и биомеханические показатели скелетных мышц (P.J. Rasch, L.E. Morehouse, 1957; D.A. Jones, O.M. Rutherford, 1987; Б.И. Прилуцкий, 1991; E.J. Hagbie et al., 1996; G.R. Adams et al., 2004; А.И. Нетреба, 2007). В то же время менее исследовано воздействие на аналогичные показатели *различных методов силовой тренировки*: максимальных и субмаксимальных усилий, а также метода до «отказа». Также недостаточно данных о срочных и отставленных тренировочных эффектах воздействия на скелетные мышцы отягощений различной массы, посредством применения метода до «отказа».

Целью исследования являлось изучение срочных тренировочных

эффектов воздействия отягощений различной массы на скелетные мышцы начинающих спортсменов при выполнении силовых упражнений методом до «отказа».

МЕТОДИКА

Во время выполнения силового упражнения регистрировалась поверхностная электромиограмма (ЭМГ) *m. vastus lateralis* с помощью ПАК «Миоком» (разработчик ОКБ Ритм г. Таганрог). В цикле движения оценивались: длительность с; максимальная амплитуда, мВ, а также суммарная электрическая активность (СЭА), мВс. Одновременно с ЭМГ движение исследуемого фиксировалось видеокамерой Canon PowerShot SX10 IS. Частота съемки составляла 30 кадр/с, разрешение 640x480 px.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследовании приняли участие 10 начинающих спортсменов (возраст $18,2 \pm 0,3$ лет, рост $178,4 \pm 2,5$ см, масса $74,3 \pm 2,5$ кг). Исследуемые выполняли однократную силовую тренировку мышц-разгибателей голени (*m. quadriceps femoris*) на тренажере фирмы Technogym (рис.1). Одной ногой они делали пять подходов до «отказа» упражнения с отягощением в 80% от 1 ПМ (1ПМ – максимальное отягощение, которое исследуемый мог поднять один раз), затем



Рис. 1. Момент проведения эксперимента. Выполнение силового упражнения на тренажере

другой – пять подходов до «отказа» с отягощением, 40% от 1 ПМ. Пауза отдыха между подходами составляла две минуты.

Упражнение выполнялось следующим образом. Из исходного положения, сидя на тренажере, тестируемая нога под валиком, угол между голенью и бедром 90 град. По команде экспериментатора исследуемый начинал повторно разгибать и сгибать ногу в коленном суставе до

полного отказа от выполнения задания. Чтобы устранить влияние на результат доминантной ноги, половина исследуемых выполняла

физическую нагрузку (ФН) с отягощением 40% от 1ПМ более сильной ногой, остальные – более слабой ногой.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ. На основе данных видеосъемки, антропометрических показателей исследуемых и данных, полученных на трупном материале (I.M.Kozlov, A.V.Samsonova, A.B.Sinukhin, 1996) посредством разработанной модели (И.М.Козлов, А.В.Самсонова, В.Г.Соколов, 1988) рассчитывались длина и скорость сокращения *m. vastus lateralis*. После этого строились фазовые траектории в плоскости «относительная длина – скорость сокращения мышцы» и определялась площадь, ограниченная фазовой траекторией в стандартном и «отказном» циклах движения.

Посредством пакета STATGRAPHICS Centurion XV рассчитывались среднее арифметическое и его ошибка ($M \pm m$) при выполнении стандартного (второй, третий и четвертый цикл второго подхода) и «отказного» циклов (последний цикл пятого подхода), а также проверялись статистические гипотезы (критерии: Стьюдента, Фишера, Манна-Уитни и Вилкоксона).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Полученные данные свидетельствуют о том, что площадь, ограниченная фазовой траекторией *m. vastus lateralis* при выполнении упражнения в отказном цикле *значительно меньше* аналогичной характеристики стандартного цикла (рис. 2 и 3, табл. 1).

Таблица 1

Площадь, ограниченная фазовыми траекториями *m. vastus lateralis* при выполнении стандартного и отказного циклов движения с отягощением в 40% и 80% от 1ПМ, см/с ($M \pm m$, n=10)

Величина отягощения, %	Стандартный цикл	Отказной цикл	Достоверность различий
40	203±8	102±7	p≤0,001
80	134±12	103±10	p≤0,05
Достоверность различий	p≤0,001	p>0,05	

Например, площадь, ограниченная фазовой траекторией, в стандартном цикле при выполнении ФН с отягощением в 40% от 1ПМ составляет 203±8 см/с, а в отказном цикле – 102±7 см/с (p≤0,001). Площадь, ограниченная фазовой траекторией, при выполнении ФН с отягощением в 80% от 1 ПМ в стандартном цикле равна 134±12 см/с, а в отказном – 103±10 см/с (p≤0,05).

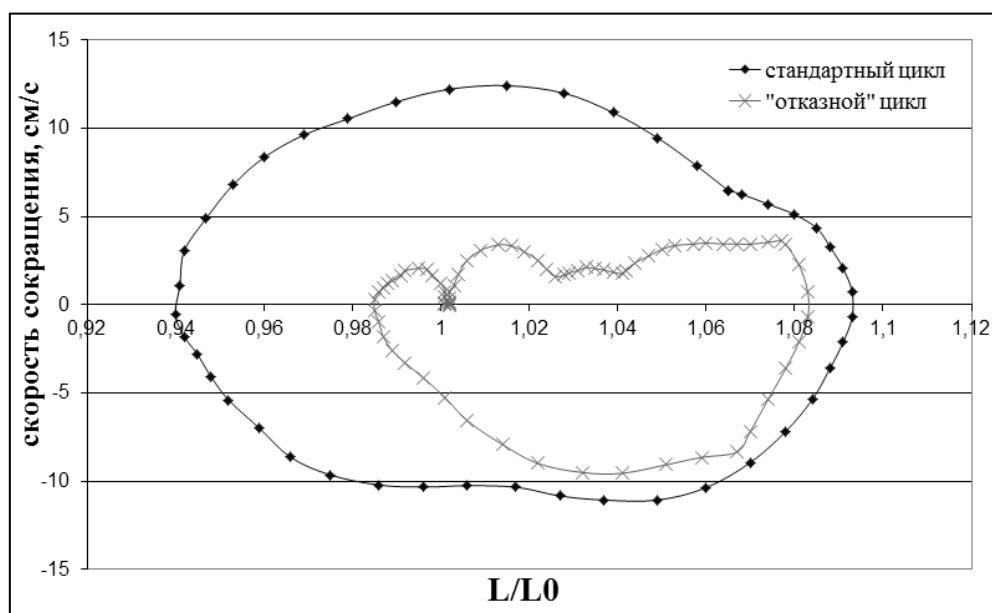


Рис. 2. Фазовый портрет *m.vastus lateralis* при выполнении силовых упражнений с отягощением 40% от максимума (Исслед. П.А.), левая нога

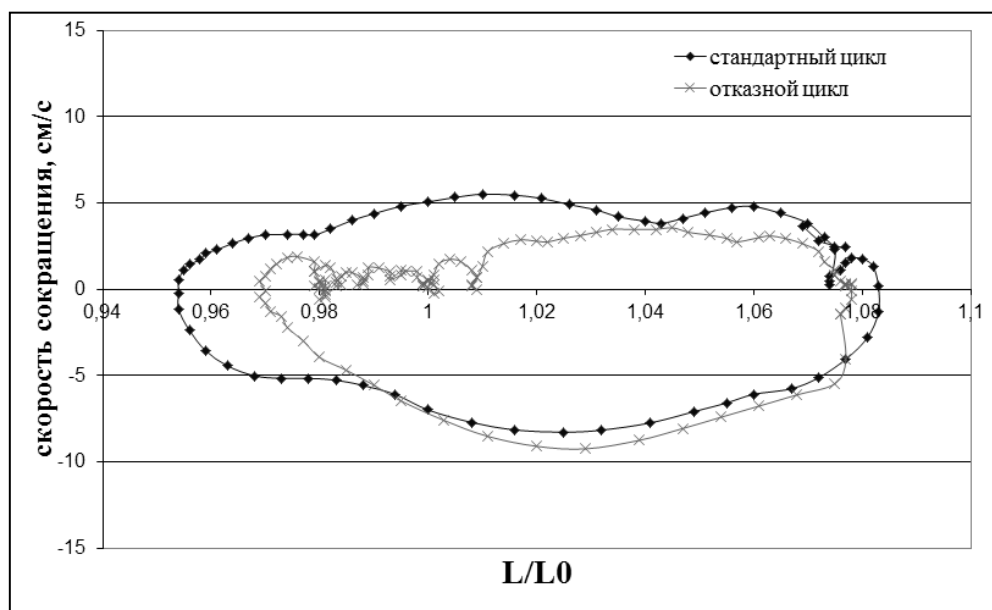


Рис. 3. Фазовый портрет *m.vastus lateralis* при выполнении упражнения с отягощением 80% от 1ПМ (Исслед. П.А.), правая нога

Следует отметить, что значительное уменьшение площади, ограниченной фазовой траекторией во время выполнения отказного цикла движения с нагрузкой в 40% и 80%, связано, прежде всего, с *понижением скорости сокращения мышцы в концентрическом режиме* (на фазовой кривой эта область располагается над осью абсцисс), табл. 2. При этом, скорость сокращения *m. vastus lateralis* в концентрическом режиме в отказном цикле при выполнении ФН с

отягощением с отягощением в 40% составляет $7,4 \pm 0,6$ см/с, а в стандартном цикле с отягощением в 80% – $7,1 \pm 1,4$ см/с, различия недостоверны ($p > 0,05$). Другими словами скорость сокращения *m. vastus lateralis* во время выполнения отказного цикла с небольшим отягощением такая же, как и во время выполнения стандартного цикла с субмаксимальным отягощением.

Таблица 2

Максимальная скорость сокращения *m. vastus lateralis* при выполнении стандартного и отказного циклов с различной внешней нагрузкой, см/с (n=10)

Значение внешней нагрузки в % от максимума	Стандартный цикл		Отказной цикл		Достоверность различий	
	КР _{СТ}	ЭР _{СТ}	КР _{ОТ}	ЭР _{ОТ}	КР _{СТ} -КР _{ОТ}	ЭР _{СТ} -ЭР _{ОТ}
40	$10,3 \pm 0,4$	$-11,0 \pm 0,4$	$7,4 \pm 0,6$	$-8,0 \pm 0,4$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,01$
80	$7,1 \pm 1,4$	$-10,5 \pm 1,2$	$3,7 \pm 0,5$	$-8,6 \pm 0,4$	$p \leq 0,05$	$p > 0,05$
Достоверность различий	$p \leq 0,05$	$p > 0,05$	$p \leq 0,001$	$p > 0,05$		

Примечание КР – концентрический режим сокращения мышцы, ЭР – эксцентрический режим сокращения мышцы

Таблица 3

Электромиографические характеристики *m. vastus lateralis* при выполнении стандартного и отказного циклов ($M \pm m$), n=10

Величина отягощения, %	Характеристики ЭМГ	Стандартный цикл	Отказной цикл	Достоверность различий
40	Длительность ЭМГ, с	$1,4 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,2$	$p \leq 0,001$
	Максимальная амплитуда ЭМГ, мВ	$0,5 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,2$	$p \leq 0,05$
	Суммарная ЭМГ, мВс	$0,6 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,4$	$p \leq 0,05$
80	Длительность ЭМГ, с	$1,9 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,5$	$p \leq 0,001$
	Максимальная амплитуда ЭМГ, мВ	$0,7 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,2$	$p \leq 0,01$
	Суммарная ЭМГ, мВс	$1,0 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,3$	$p \leq 0,01$

Результаты исследования ЭАМ *m. vastus lateralis* свидетельствуют о том, что повышение ФН во время выполнения *стандартного* цикла с 40% до 80% приводит к достоверному ($p \leq 0,05$) увеличению всех характеристик ЭМГ: *длительности, максимальной амплитуды и СЭА* (табл. 3). Аналогичным образом изменяются характеристики ЭМГ под воздействием ФН методом до «отказа». Они *достоверно возрастают* во время *отказного* цикла по сравнению со *стандартным* (табл. 3, рис. 4). Следует отметить, что вариативность СЭА *m. vastus lateralis* в отказном цикле достоверно выше ($p \leq 0,05$) по сравнению со стандартным как при выполнении ФН с отягощением в 40%, так и с отягощением в 80% от 1 ПМ.

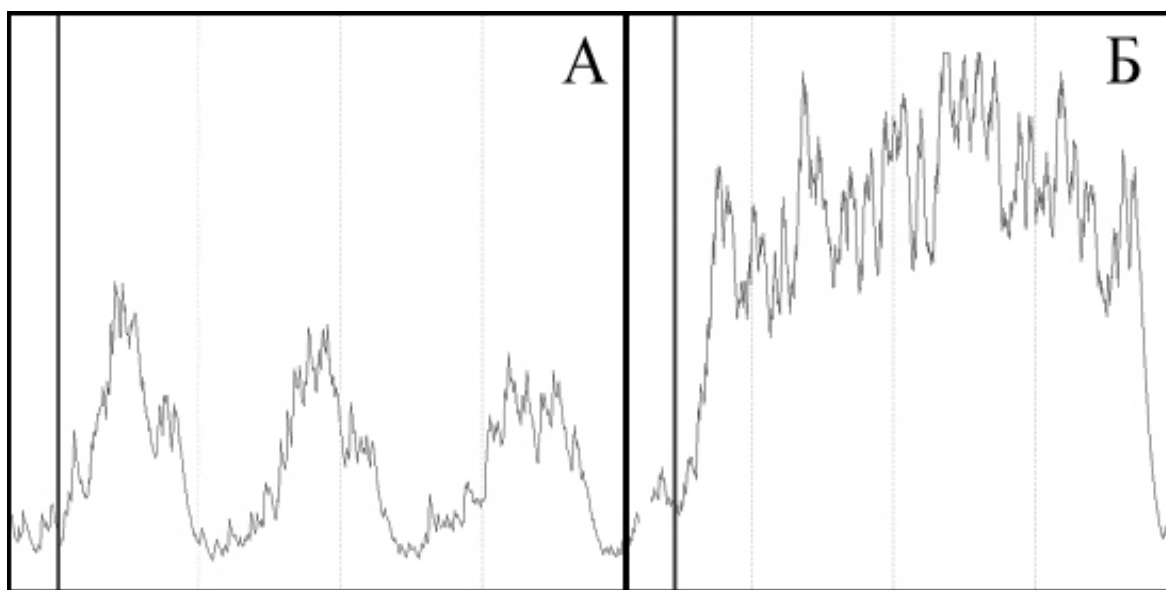


Рис. 4. Суммарная электрическая активность *m. vastus lateralis* при выполнении 2, 3 и 4 стандартных циклов (А) и отказного цикла (Б) силового упражнения с отягощением в 40% от 1ПМ. Вертикальные линии соответствуют началу цикла

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Давно известно, что *увеличение внешней нагрузки* на скелетную мышцу приводит к *уменьшению скорости сокращения мышцы в концентрическом режиме*. Эту зависимость описывает характеристическое уравнение А. Хилла «сила-скорость» (А. Хилл, 1972). Аналогичным образом действует выполнение силовых упражнений, выполненных методом до «отказа».

В отказном цикле по сравнению со стандартным, значительно *уменьшается скорость сокращения мышцы в концентрическом режиме*. По нашему мнению это связано с уменьшением уровня силы, развиваемого *m. quadriceps femoris*.

На возрастание внешней нагрузки *m. vastus lateralis* реагирует увеличением всех показателей ЭМГ: *длительности, амплитуды и*

СЭА. Аналогичные изменения происходят во время выполнения силовых упражнений методом до «отказа». В отказном цикле по сравнению со стандартным, существенно возрастают длительность, амплитуда и СЭА. Эта закономерность справедлива при выполнении силовых упражнений с отягощением в 40 и 80% от 1 ПМ.

Падение уровня силы мышц-разгибателей голени может быть обусловлено двумя факторами. Первым фактором может являться уменьшение количества активных ДЕ и как следствие – силы, развиваемой *m. quadriceps femoris*. Вторым фактором может быть уменьшение уровня силы, развиваемой двигательными единицами. При этом их количество может оставаться неизменным или даже возрастать. Зарегистрированное в эксперименте увеличение вариативности СЭМ во время отказного цикла при выполнении ФН с отягощением в 40% и 80% от максимального свидетельствует о возрастании количества активных мышечных волокон (B. Biro, D.L. Patridge, 1971; А. Гидиков, 1975). Предположение, что во время отказного цикла возрастает количество активных ДЕ согласуется с мнением ряда авторов (В.М. Зациорский, 1966; V.M. Zatsiorsky, W.J. Kraemer, 2006).

Увеличение амплитуды ЭМГ свидетельствует о синхронизации работы ДЕ (Р.С.Персон, 1985), а также об активации больших ДЕ (А.А.Гидиков, 1975). Из этого можно сделать вывод, что во время выполнения отказного цикла при ФН с отягощениями в 40 и 80% с одной стороны, активируется большое количество медленных ДЕ, мышечные волокна которых развивают небольшое усилие, во-вторых, дополнительно активируются большие ДЕ, мышечные волокна которых способны развить высокий уровень силы.

Необходимость в активности дополнительных ДЕ, по-видимому, связана с тем, что при ФН с отягощением 40% основным фактором, вызывающим прекращение активности ДЕ является истощение энергетических ресурсов в иннервируемых мышечных волокнах, так как длительность подхода с 40% отягощением варьирует от $28,6 \pm 2$ с (второй подход) до $23,8 \pm 2$ с (пятый подход). Поэтому для выполнения двигательной задачи организм вынужден дополнительно активировать большое количество медленных, а также часть быстрых ДЕ.

Необходимость дополнительной активации ДЕ при выполнении ФН с отягощением в 80% от максимума связана с их механическим повреждением (J.Frieden, R.L.Lieber, 1992). Так, M. Gibala et al. (1995) показано, что при однократном тренировочном занятии силовыми упражнениями с отягощением 80% от максимального повреждается от 30 до 80% мышечных волокон. Вследствие этого организм для выполнения двигательной задачи вынужден активировать большое количество медленных, а также часть быстрых ДЕ, которые до этого не принимали участие в двигательном действии.

СЭА *m. vastus lateralis* в отказном цикле значительно превышает аналогичный показатель стандартного как при отягощении в 40%, так и 80% от 1 ПМ. Однако увеличение СЭА *m. vastus lateralis* связано в основном с возрастанием длительности ЭАМ. Увеличение длительности отказного цикла при работе с отягощением в 40 и 80% от максимального вызвано уменьшением уровня силы, которую способна развить мышца. В связи с этим было выдвинуто предположение (А.В.Самсонова, 2011), что увеличение длительности может быть связано с необходимостью развития большего импульса силы (произведение силы мышцы на время ее активности) для того, чтобы сообщить внешнему отягощению достаточную скорость для его подъема вверх.

ВЫВОДЫ

1. При выполнении силовых упражнений в последнем (отказном) цикле движения значительно *уменьшается скорость сокращения *m. vastus lateralis** и площадь, ограниченная ее фазовой траекторией.

2. При выполнении силовых упражнений в отказном цикле движения *значительно возрастают все характеристики ЭМГ: длительность, амплитуда и СЭА*. Зарегистрированные результаты справедливы при выполнении силовых упражнений с отягощением в 40% и 80% от максимального.

3. По внешним (скорость сокращения и площадь фазовой траектории *m.vastus lateralis*) и внутренним (характеристики ЭАМ) проявлениям срочных тренировочных эффектов влияние ФН методом до «отказа» аналогично увеличению внешнего отягощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидиков, А.А. Теоретические основы электромиографии. Биофизика и физиология двигательных единиц / А.А. Гидиков.— Л.: Наука, 1975.— 182 с.

2. Зациорский, В.М. Физические качества спортсменов / В.М. Зациорский.— М.: Физкультура и спорт, 1966.— 209 с.

3. Козлов, И.М. Морфометрическая характеристика мышц нижних конечностей при движениях человека / И.М. Козлов, А.В. Самсонова, В.Г. Соколов //Архив анатомии, гистологии и эмбриологии, 1988.— Т. 94.— № 2.— С. 47-52.

4. Курамшин, Ю.Ф. Силовые способности и методика их развития / Ю.Ф. Курамшин //В кн.: Теория и методика физической культуры: Учебник / Под ред. Ю.Ф. Курамшина.— М.: Советский спорт, 2004.— С. 122-134.

5. МакРоберт, С. Думай! Бодибилдинг без стероидов

/МакРоберт С.— М.:Уайлер спорт, 1997.— 223 с.

6. Нетреба, А.Л. Специфические изменения скоростно-силовых возможностей скелетных мышц под влиянием тренировки в изотоническом и изокинетическом режимах мышечного сокращения и при гипокинезии / А.Л. Нетреба: Автореф. дис.... канд. биол. наук. — М., 2007. — 24 с.

7. Персон, Р.С. Спинальные механизмы управления мышечным сокращением / Р.С. Персон.— М.: Наука, 1985.— 183 с.

8. Прилуцкий, Б.И. Уступающий режим активности мышц при локомоциях человека / Б.И. Прилуцкий: Автореф. дис. канд. пед. наук. — М., 1990.— 24 с.

9. Роман, Р.А. Изменение мышечной силы при занятиях тяжелой атлетикой / Р.А. Роман //Теория и практика физической культуры, 1958.— Т.ХХI.— Вып.9.— С. 663-670.

10. Самсонова, А.В. Гипертрофия скелетных мышц человека: монография / А.В. Самсонова. — СПб.: 2011. — 203 с.

11. Хилл, А. Механика мышечного сокращения / А. Хилл .— М.: Мир, 1972.— 183 с.

12. Adams, G.R. Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration / G.R. Adams, D.C. Cheng, F. Haddad, K.M. Baldwin // Journal of Applied Physiology, 2004. — V. 96. — P. 1613–1618.

13. Biro, G. L. Analysis of the multiunit spike records / G. Biro, L. Patridge // Journal of Applied Physiology, 1971.— V. 30.— P. 521-526.

14. DeLorme, T.L. Restoration of muscle power by heavy resistance exercises / T.L. DeLorme //Journal of Bone and Joint Surgery.— V. 27.— P.645-667.

15. Fridén, J. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury / J. Fridén, R.L. Lieber // Medicine and Science in Sports and Exercise, 1992. — V. 24. — № 5. — P. 521-530.

16. Gibala, M.J. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise /M.J. Gibala, J.D. MacDougall, M.A. Tarnopolsky, W.T. Stauber, A. Elorriaga //Journal of Applied Physiology, 1995.— V.78.— P. 702-708.

17. Hellebrandt, F.A. Mechanisms of muscle training in man: experimental demonstration of the overload principle / F.A. Hellebrandt, S.J. Houtz // Physical therapy review, 1956.— V.36.— N. 6.— P.371-383.

18. Higbie, E.J. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation / E.J. Higbie, K.J. Cureton, G.L. Warren III, B.M. Prior // Journal of Applied Physiology, 1996. — V.81.— № 5. — P. 2173-2181.

19. Incledon, L. Strength Training for Women / L. Incledon: Human Kinetics, 2004. 232 p.

20. Jones, D.A. Human Muscle Strength Training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes / D.A. Jones, O.M. Rutherford // Journal of Physiology, 1987. – № 391. – P. 1-11.
21. Kozlov, I.M. Anatomical Data for Biomechanical Calculations / I.M. Kozlov, A.V. Samsonova, A.V. Sinukhin // Current Research in Sport Sciences. An International Perspective: Plenum Press.– New York-London, 1996.– P. 117-121.
22. LeBoeuf M.K., Butler L.F. Fit and active: the West Point physical development program / M.K. LeBoeuf, L.F. Butler. – 2008: Human Kinetics.– 427 p.
23. Rasch, P.J. Effect of Static and Dynamic Exercises on Muscular Strength and Hypertrophy / P.J. Rasch, L.J. Morehouse // Journal of Applied Physiology, 1957. – V.11. – P. 29–34.
24. Stoppani, J. Encyclopedia of Muscle and Strength / J. Stoppani.– 2006: Human Kinetics. – 408 p.
25. Zatsiorsky, V.M. Science and Practice of Strength / V.M. Zatsiorsky, W.J. Kramer.– 2006: Human Kinetics.– 251 p.

E-mail: alla_samsonova@rambler.ru

195426 Санкт-Петербург, ул. Ленская дом. 3 корп.2 кв. 606

Тел. (812) 696-271-14, 8-911-294-78-78

Самсонова Алла Владимировна

E-mail: enet@list.ru

197341 Санкт-Петербург, пр. Королева дом. 9 кв. 277

Тел. 8-911-952-17-84

Косьмина Елена Алексеевна