

Самсонова, А.В. Влияние тренировки с большими отягощениями на гипертрофию скелетных мышц человека /А.В. Самсонова // Труды кафедры биомеханики: сборник статей. НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург; под общей редакцией А.В. Самсоновой, В.Н. Томилова.- СПб.: [б.и.], 2009.– Вып.3.– С. 8-16.

## **ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВКИ С БОЛЬШИМИ ОТЯГОЩЕНИЯМИ НА ГИПЕРТРОФИЮ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА**

А.В.Самсонова

профессор, доктор педагогических наук

**Введение.** Уже в середине XX века было установлено, что тренировка с применением больших отягощений приводит к возрастанию силы скелетных мышц и их гипертрофии. Тренировка с малыми отягощениями, которые повторялись многократно, такого эффекта не вызывала (Т.L.DeLorme, 1945). Найденная эмпирическим путем закономерность в настоящее время активно используется в атлетизме для увеличения массы мышц и их силы (А.Н.Воробьев, 1988; Д.Вейдер, 1992; С.МакРоберт, 1997; А.С.Медведев, 1998; А.Шварценеггер, 2003; В.Н.Курысь, 2004; Л.С.Дворкин, 2005, В.Н.Платонов, 2005; М.Н.Stone, M.Stone, W.A.Sands, 2007; Т.R.Baechle et all., 2008; V.M.Zatsiorsky, W.J.Kraemer, 2008; Г.П. Виноградов, 2009; Я.Кинг, Лу Шулер, 2009). Однако до настоящего времени не до конца объяснены процессы, происходящие в мышце при выполнении силовых упражнений с большими отягощениями.

**Цель работы** состояла в обосновании механизмов гипертрофии мышц при выполнении силовых упражнений с большими отягощениями на основе *междисциплинарного* подхода.

**Результаты.** В основе междисциплинарного подхода, используемого в данной статье, лежит описание феномена гипертрофии мышц при тренировке с большими отягощениями с позиций различных научных дисциплин.

плин: гистологии, анатомии, физиологии, биохимии, спортивной медицины и биомеханики.

Из *анатомии* известно, что скелетные мышцы состоят из мышечных волокон. Мышечные волокна, пучки мышечных волокон и всю мышцу в целом окружают соединительно-тканые оболочки: эндо- пери- и эпимизий, которые соединены между собой (В.С.Гурфинкель, Ю.С.Левик, 1985; Дж.Уилмор, Д.Л.Костилл, 1997; А.Дж. Мак-Комас, 2001).

Существуют различные типы мышечных волокон: медленные, быстрые и промежуточные, табл. 1. Основная функция волокон **I типа** – выполнение длительной работы низкой интенсивности. Они активны также при поддержании позы. Мышечные волокна **IIА** и **IIВ (IIХ) типа** способны сокращаться с большой силой и скоростью.

Таблица 1

Характеристика	<b>I тип</b>	<b>IIА тип</b>	<b>IIВ (IIХ) тип</b>
Название мышечных волокон	красные, медленные, устойчивые к утомлению, окислительные	промежуточные, быстрые, устойчивые к утомлению, окислительно-гликолитические	белые, быстрые, быстроутомляемые, гликолитические
Скорость сокращения	низкая	высокая	высокая
Максимальная сила	небольшая	большая	очень большая
Сопротивление утомлению	высокое	среднее	очень низкое

Основу сократительного аппарата мышечных волокон скелетных мышц человека составляют миофибриллы, которые в свою очередь состоят из саркомеров. Саркомеры соединяются друг с другом посредством Z-дисков. Внутри саркомера находится М-диск. Саркомеры состоят из толстых и тонких филаментов. Основу толстых филаментов составляет белок миозин, тонких – актин. Тонкие филаменты крепятся к Z-дису, толстые – к М-дису. При помощи белка титина толстые филаменты соединены с Z-

диском (рис.1).

При сокращении мышцы тонкие филаменты скользят относительно толстых, расстояние между Z-дисками уменьшается, длина саркомера укорачивается. Одновременное сокращение всех саркомеров приводит к уменьшению длины миофибриллы и мышечного волокна. Ввиду того, что саркомер представляет собой не плоскую, а объемную структуру, при его сокращении происходит также увеличение площади его поперечного сечения (когда тонкие нити входят в промежутки между толстыми), площади

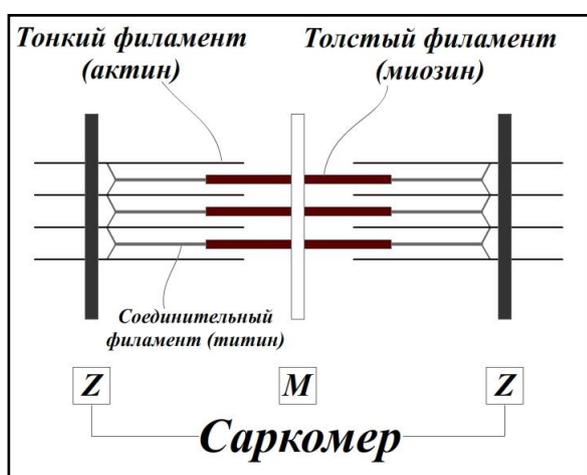


Рис. 1. Схема строения саркомера (по: G.H.Pollak, 1990) рисунок модифицирован

Н.Норпельер, 1986; В.Л.Быков, 1998). Это же характерно и для М-дисков, которые шире в волокнах **I типа** по сравнению с волокнами **II типа** (M.Sjöström et al., 1982; А.Дж. Мак-Комас, 2001).

**Физиологами** найдено, что управление мышцей со стороны ЦНС осуществляется посредством активации двигательных единиц<sup>1</sup>. По классификации Р.Берка с соавт. (R.E.Burke et al. 1973) ДЕ делятся на три типа: **S** (slow) – медленные, устойчивые к утомлению; **FR** (fast resistant) – быстрые, устойчивые к утомлению, **FF** – fast fatigable – быстрые, быстроутомляемые. ДЕ различных типов соответствуют различные виды мышечных

<sup>1</sup> Двигательная единица (ДЕ) – мотонейрон и иннервируемые им мышечные волокна.

поперечного сечения мышечных волокон и всей мышцы.

Для понимания механизма гипертрофии существенны факты, установленные *гистологами*. У мышечных волокон различных типов толщина Z- и М-дисков различна. Медленные волокна **I типа** имеют более толстые Z-диски по сравнению с волокнами **II типа** (N.Garamvölgyi, 1972; L.M.Saltis, J.R. Mendell, 1974;

волокон (табл. 2). Строение и функции мотонейрона соответствуют морфологическим характеристикам мышечных волокон, которые он иннервирует. Так мотонейрон ДЕ типа **S** имеет небольшое клеточное тело и иннервирует от 10 до 180 мышечных волокон, а мотонейрон ДЕ типа **FF** – имеет большое клеточное тело и иннервирует от 300 до 800 мышечных волокон (Дж.Уилмор, Д.Л.Костилл, 1997).

Таблица 2

Соответствие типов ДЕ и видов мышечных волокон

Тип ДЕ	S	FR	FF
Тип мышечного волокна	I тип	IIA тип	IIB тип

Число ДЕ, активных в процессе сокращения мышцы, определяется «принципом размера». Установлено, что имеется стабильный порядок вовлечения в работу (рекрутирования) ДЕ: вначале рекрутируются ДЕ **S** типа, затем **FR** типа, последними в сокращение вовлекаются ДЕ **FF** типа (Е.Неннеман, С.В.Олсон, 1965). Если внешнее сопротивление небольшое (менее 20% от  $1 \text{ RM}$ )<sup>2</sup> рекрутируются только мышечные волокна **I** типа, при этом уровень силы, развиваемый мышцей, невысокий (В.С.Гурфинкель, Ю.С.Левик, 1985; В.Н.Платонов, 2005). Для преодоления

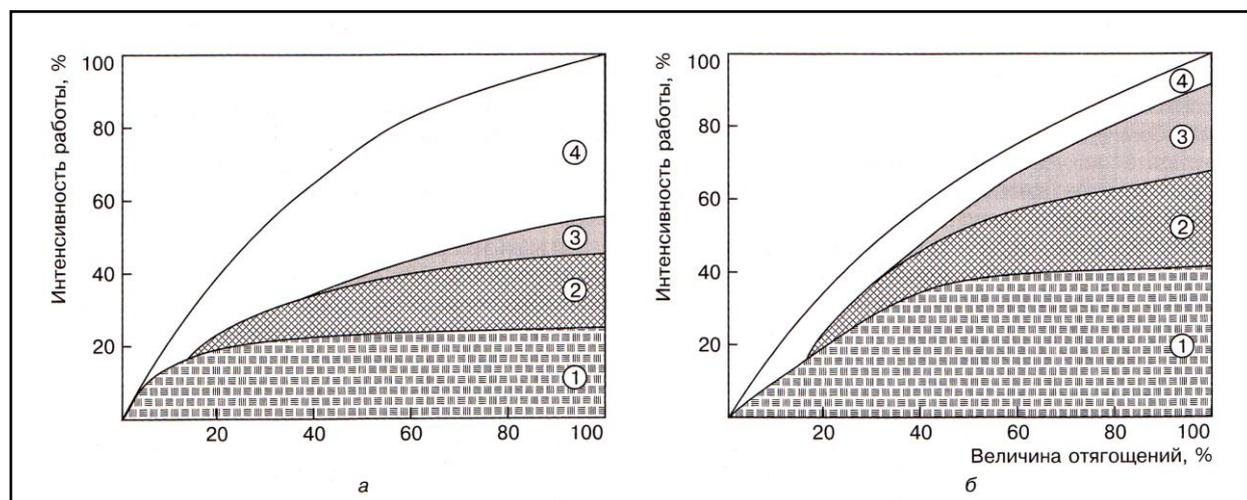


Рис.2. Вовлечение в работу мышечных волокон различного типа в зависимости от интенсивности работы и квалификации спортсменов  
 Обозначения: а – лица, не занимающиеся спортом, б – квалифицированные спортсмены; 1 – мышечные волокна **I** типа, 2 – мышечные волокна **IIA** типа, 3 – мышечные волокна **IIB** типа, 4 – волокна не вовлеченные в работу. По: В.Н.Платонову, 2005

большого внешнего сопротивления (более 70% **1 RM**) мышца должна развить большую силу. Поэтому в сокращение последовательно вовлекаются *все типы мышечных волокон*, в том числе и **ПВ типа** (рис. 2).

Специалистами в области *спортивной медицины* установлено, что тренировка с применением больших отягощений вызывает мышечные боли у спортсменов, как во время, так и после ее окончания (Б.И.Прилуцкий, 1989; В.И.Морозов, Г.А.Сакута, М.И.Калинский, 2006; Г.А.Макарова, 2008). Существует несколько гипотез о природе болезненных ощущений в мышцах. Так, факторами, вызывающими мышечные боли называют: повреждение миофибрилл и мышечных волокон; повреждение соединительной ткани; накопление в мышце продуктов метаболизма, в том числе молочной кислоты; локализованный спазм ДЕ. Однако, как указывает М.Дж.Алтер, (2001) в настоящее время накоплено достаточное количество фактов, свидетельствующих о том, что *болезненные ощущения в мышцах в первую очередь связаны с их повреждением*, рис.3.

Установлено, что механические повреждения мышечных волокон более существенны при эксцентрическом режиме сокращения мышцы (J.Friedén, M.Sjöström,1983; В.Ekblom J.Fridén, R.L. Lieber, 1992; Gibala, M.J., 1995; E. Hagbie et all., 1996; T.N.Shepstone et all.,2005). Так, по данным М.Ж.Гибала, (1995) выполнение гипертрофической силовой тренировки (8 подходов с 8 повторениями и внешней нагрузкой, составляющей 80% от 1 RM) в эксцентрическом режиме сокращения мышц приводит к повреждению 82% мышечных волокон, в концентрическом – только 33%.

С *биомеханической* точки зрения при выполнении силовых упражнений с большими отягощениями в эксцентрическом режиме внутренние силы, возникающие при взаимодействии толстых и тонких филаментов, стремятся уменьшить длину саркомера, а, следовательно, и всего сократительного компонента мышцы. Однако под действием внешней силы длина мышцы увеличивается. Такой характер работы может привести к разрыву

и повреждению миофибрилл и мышечных волокон (А.Дж.Мак-Комас, 2001).

Установлено, что более сильные повреждения обнаруживают в волокнах **II типа** (J.Frieden, M.Siostrom, B.Ekblom,1983), дающих максимальный прирост площади поперечного сечения мышцы. *Мы предполагаем, что это связано с тем, что миофибриллы волокон **II типа** имеют бо-*



Рис.3. Электронная фотография мышечного волокна человека после выполнения эксцентрических упражнений. Обозначения: \* - миофибриллы с разрушенными Z-дисками; o – миофибрилла с неповрежденным Z диском.

по: J.G.Yu, L.Carlsson,  
L.E. Thomell, 2004.

*лее тонкие по сравнению с волокнами **I типа** Z- и M-диски, которые легче повреждаются. Следствием этого является разрыв миофибрилл и мышечных волокон.*

Повреждение мышечных волокон проявляется на **биохимическом** уровне: в крови появляются цитоплазматические и структурные белки (А.Дж.Мак-Комас, 2001). По их количеству можно оценить степень повреждения мышцы (В.И.Морозов, Г.А.Сакута, М.И.Калинский, 2006). По мнению исследователей наиболее информативными маркерами повреждения являются уровень активности фермента креатинкиназы и концентрация миоглобина в плазме или сы-

воротке крови. Показано, что после эксцентрических упражнений уровень креатинкиназы в крови возрастает от 5 до 10 раз (А.Дж.Мак-Комас, 2001). Исследования М. Guerrero et all. (2008) свидетельствуют о том, что при повреждениях мышц первой степени (самых незначительных) концентрация в крови быстрой формы фермента миозин-АТФ-азы («быстрый» миозин) в

два раза больше, чем медленной («медленный» миозин). Быстрая форма фермента миозин-АТФ-азы присуща волокнам **II типа**, медленная – волокнам **I типа**. Это подтверждает гипотезу о том, что волокна **II типа** повреждаются легче, чем волокна **I типа**.

Повреждение мышечных волокон и миофибрилл приводит к запуску процессов регенерации, в которых большую роль играют клетки-сателлиты (А.Н.Студитский, 1972, 1980; А.Дж.Мак-Комас, 2001; В.И.Морозов, Г.А.Сакута, М.И.Калинский, 2006; К.Shortreed, А.А.Johnston, Т.Дж.Нэвк, 2007). Результатом процессов регенерации является повышенный синтез белка и гипертрофия мышц (А.Дж.Мак-Комас, 2001; Т.Р.Ваechle et al., 2008; V.M.Zatsiorsky, W. J, Kramer, 2008).

**Выводы и заключение.** В статье предложен *междисциплинарный* подход к проблеме влияния тренировки с большими отягощениями на гипертрофию скелетных мышц спортсменов. *Гистологами* установлено, что волокна **II типа** имеют более тонкие по сравнению с мышечными волокнами **I типа** Z- и M-диски. *Мы предполагаем, что из-за этих особенностей волокна II типа легче повреждаются.* Эта гипотеза подтверждается исследованиями J.Frieden, M.Siostrom, В.Екblom (1983), которые показали, что при выполнении эксцентрических сокращений мышц на велоэргометре более сильные повреждения обнаруживаются в волокнах **II типа**. *Биохимическими* исследованиями установлено, что при повреждениях мышц первой степени, концентрация «быстрого» миозина в крови в два раза больше, чем «медленного» (M. Guerrero et al., 2008). Так как «быстрый» миозин является специфическим маркером мышечных волокон **II типа**, это свидетельствует об их большем повреждении.

Гипотеза механического повреждения мышечных волокон и их последующей регенерации подтверждается фактами, полученными представителями *спортивной медицины* о наличии болезненных ощущений в мышцах при выполнении силовых упражнений с большими отягощениями

во время и после окончания тренировочного занятия (синдром DOMS).

**Физиологический** «принцип размера» позволяет понять, почему тренировка с большими отягощениями приводит к значительной гипертрофии скелетных мышц. Главным фактором является вовлечение в деятельность *всех типов ДЕ и особенно FR и FF типа*, в состав которых входят мышечные волокна **II типа**. Эти мышечные волокна легче повреждаются. Повреждение мышечных волокон запускает процессы регенерации, которые приводят к гипертрофии мышцы. **Биомеханический** анализ процесса сокращения саркомера позволяет уяснить, каким образом происходит повреждение Z- и M- дисков при тренировке с большими внешними отягощениями.

### Литература

1. Алтер, М.Дж. Наука о гибкости / М.Дж.Алтер.– Киев: Олимпийская литература, 2001.– 421 с.
2. Быков, В.Л. Цитология и общая гистология [Текст] /Быков, В.Л.// СПб: СОТИС, 1998.
3. Вейдер Д. Строительство тела по системе Джо Вейдера [Текст] /Д. Вейдер // М.: Физкультура и спорт, 1992.– 112 с.
4. Виноградов, Г.П. Атлетизм: Теория и методика тренировки [Текст]: Учебник для высших учебных заведений /Г.П.Виноградов // М.: Советский спорт, 2009.– 328 с.
5. Воробьев, А.Н. Тяжелая атлетика [Текст] /Воробьев А.Н.// М.: Физкультура и спорт, 1988.
6. Гистология: [Текст]: Учебник /Ю.И.Афанасьев, Н.А.Юрина, Б.В.Алешин и др./Под ред. Ю.И.Афанасьева и Н.А.Юриной // М.: Медицина, 1989.– 672 с.
7. Гистология. [Текст]: Учебник /Под ред. Э.Г.Улумбекова, Ю.А.Чельшевой // М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002.– 672 с.
8. Гурфинкель, В.С. Скелетная мышца. Структура и функция [Текст] /В.С Гурфинкель, Ю.С.Левик // М.: Наука, 1985.– 142 с.
9. Дворкин, Л.С. Тяжелая атлетика [Текст]: Учебник для высших учебных заведений / Л.С. Дворкин // М.: Советский спорт, 2001.–
10. Кинг, Я. Большая книга мышц /Ян Кинг, Лу Шулер; [перевод с англ.] // М.: Эксмо: 2009.– 36- с.
11. Курьсь, В.Н. Основы силовой подготовки юношей. [Текст] / В.Н.Курьсь //М.: Советский спорт, 2004.– 264 с.
12. Макарова, Г.А. Спортивная медицина: Учебник [Текст]

/Макарова Г.А.// М.: Советский спорт, 2008.– 480 с.

13. Мак-Комас, А. Дж. Скелетные мышцы. Строение и функции [Текст] /А. Дж. Мак-Комас // Киев: Олимпийская литература, 2001.– 407 с.

14. МакРоберт С. Думай! Бодибилдинг без стероидов [Текст] /С.МакРоберт // М.:Уайлер спорт, 1997.– 223 с.

15. Медведев, А.С. Проблема дальнейшего совершенствования методики тренировки тяжелоатлетов на современном этапе [Текст] /Медведев А.С.// Теория и практика физической культуры, 1998.– № 6.– С.

16. Морозов, В.И. Морфологические и биохимические аспекты повреждения и регенерации скелетных мышц при физических нагрузках и гиподинамии /В.И.Морозов, Г.А.Сакута, М.И.Калинский //Морфология, 2006.– Т. 129.– № 3.– С. 88-96.

17. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения. [Текст] /В.Н.Платонов // М.: Советский спорт, 2005.– 820 с.

18. Прилуцкий, Б.И. Мышечные боли, вызванные непривычными физическими упражнениями [Текст] / Б.И.Прилуцкий // Теория и практика физической культуры, 1989.– № 2.– С. 16-21

19. Солодков, А.С., Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: Учебник [Текст]/ А.С.Солодков, Е.Б. Сологуб //М.: Терра-Спорт, Олимпия пресс, 2001.– 520 с. ил.

20. Студитский, А.Н. Мышечная ткань [Текст] /В кн.: Гистология /Под ред В.Г.Елисеева // М.: Медицина, 1972.– С. 210-223

21. Студитский, А.Н. Мышцы, движение, спорт [Текст] / А.Н.Студитский // М.: Знание, 1980.– 64 с.

22. Шварценеггер, А. Энциклопедия современного бодибилдинга в 3-х т. Т.1 [Текст] /А. Шварценеггер, Б. Доббинс //М.: Физкультура и спорт, 1993. -255 с.

23. Шварценеггер, А. Энциклопедия современного бодибилдинга [Текст] /А. Шварценеггер; Пер. с англ.// Т.3. // М.: Физкультура и спорт, 1993.– 152 с.

24. Уилмор, Дж. Физиология спорта и двигательной активности [Текст] // Дж.Уилмор, Д.Л Костил // Киев: Олимпийская литература, 1997.– 503 с.

25. Baechle, T.R. Resistance Training [Text] // In: Essentials of Strength Training and Conditioning / T.R.Baechle, R.W. Earle, D.Wathen: Human Kinetics, 2008.– P.382-412.

26. Burke, R.E. Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius [Text] / R.E.Burke D.N. Levine, P Tsaris., F.E.Zajac //Journal of Physiology, 1973.– V. 234.- P.723-748

27. DeLorm, T.L. Restoration of muscle power by heavy resistance exercises / T.L. DeLorm // Journal of Bone and Joint Surgery, 1945.– V. 27.– P. 645-667.

28. Friedén, J. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man [Text] / J.Friedén, M.Sjöström, B.Ekblom // *International Journal of Sport Medicine*, 1983.- Aug;4(3).– P.170-176
29. Fridén, J. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. [Text] /J. Fridén, R.L. Lieber // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992 May; 24(5):521-530.
30. 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 Applied of Physiology* 78: 702-708, 1995;
31. Garamvölgyi, N. Slow and fast muscle cells in human striated muscle [Text] / N.Garamvölgyi // *Acta Biochim. Biophys. Acad. Sci. Hung.* 7:165-172, 1972.
32. Guerrero, M. Fast and slow myosins as markers of muscle injury [Text] /M. Guerrero, M. Guiu-Comadevall, J. A. Cadefau, J. Parra, R. Balius, A. Estruch, G. Rodas, J. L. Bedini, R. Cussó// *British Journal of Sports Medicine* 2008.– V.42.– P.581-584
33. Henneman, E. Relations between structure and function in the design of skeletal muscle [Text] /E.Henneman, C.B.Olson // *J. Neurophysiology*, 1965. – V.28.– P.581–589.
34. Higbie, E.J. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation [Text] / E.J.Higbie, K.J.Cureton, G.L.III Warren., B.M.Prior // *Journal of Applied Physiology*, 1996.- V.81.- N 5.- P. 2173-2181.
35. Hoppeler H. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle [Текст] / H.Hoppeler // *International Journal of Sport Medicine*, 1986.– V.7.– P.187-204.
36. Pollack G.H. *Muscles & molecules: Uncovering the principles of biological motion.* [Text] / G.H.Pollack // Seattle: Ebner&Sons, 1990.
37. Saltis L.M., Mendell J.R. The fine structural differences in human muscle fiber types based on peroxidatic activity [Text] / L.M. Saltis, J.R. Mendell.// *J. Neuropatol. Exper. Neurol.* , 1974.- V. 33.- P. 632-640.
38. Sjöström, M. Z- and M-band appearance in different histochemically defined types of human skeletal muscle fibers [Text] / M. Sjöström, S.Kidman, Larsén K.Henriksson, K.A. Ångquist // *J Histochem Cytochem* 30: 1-11, 1982.
39. Shepstone, T.N. Short-term high vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men [Text] /T.N. Shepstone, J.E.Tang, S.Dallaire, M.D.Schuenke, R.S.Staron, S.M.Phillips // *J.Applied of Physiology*.–2005.–V.98.–P.1768-1776
40. Shortreed, K. *Satelite Cells and Muscle Repair* /in: *Skeletal Muscle Damage and Rapair*/ Ed. P.M.Tiidus, A.Johnstom,T.J.Hawke.– *Human Kinetics*, 2007.– P.77-88.

41. Stone, M.H. Principles and Practice of Resistance Training [Text] / M.H.Stone, M.Stone, W.A.Sands,: Human Kinetics, 2007.– 376 P.
42. Yu, J.G. Evidence for myofibril remodeling as opposed to miofibril damage in human muscle with DOMS: An ultrastructural and immunoelectron microscopic study [Text] / J.G.Yu, L.Carlsson, L.E. Thomell //J. Histochem. Cell Biol., 2004.– 121 (3): 219-227.
43. Zatsiorsky, V.M. Science and Practice of Strength [Text] / Zatsiorsky V.M., Kramer W.J.// Sec. editing: Human Kinetics, 2006.– 251 p.