

А.В. Самсонова, д.п.н., профессор

И.Э. Барникова, к.п.н., доцент

М.А. Борисевич, доцент

А.В. Вахнин, аспирант

кафедра биомеханики НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КОМПОЗИЦИИ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН В СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦАХ ЧЕЛОВЕКА

ВВЕДЕНИЕ

В скелетных мышцах человека различают три типа мышечных волокон (МВ). МВ I типа (медленные, окислительные) характеризуются невысокими значениями скорости сокращения и силы, однако обладают высокой устойчивостью к утомлению. МВ IIB типа (быстрые, гликолитические) обладают высокими значениями скорости сокращения и силы, но быстро утомляются. МВ IIA типа (быстрые, окислительно-гликолитические) обладают промежуточными свойствами [11].

В русскоязычной литературе для обозначения соотношения в скелетных мышцах волокон различных типов используются словосочетания *состав мышечных волокон* и *композиция мышц*. В англоязычной литературе для обозначения соотношения различных типов МВ в скелетных мышцах применяется словосочетание композиция мышечных волокон (*fibertypecomposition*).

Установлено, что у спринтеров в икроножной мышце преобладают МВ II типа. У стайеров, наоборот, в икроножной мышце преобладают МВ I типа [11]. Исследования свидетельствуют о том, что композиция мышц предопределена генетически [14, 10], что позволяет заранее определить предрасположенность спортсменов к занятиям тем или иным видом спорта. Однако установлено [9] значительное повышение содержания в мышцах МВ I типа в предпубертатный период и их вытеснение МВ II типа с началом полового созревания.

Знание композиции МВ спортсмена позволяет подбирать средства и методы тренировки с учетом его индивидуальных особенностей. В связи с этим, возникает проблема выбора метода для оценки композиции МВ в скелетных мышцах человека.

Целью настоящей статьи является обзор существующих методов оценки композиции мышц.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методы оценки композиции скелетных мышц можно разделить на две группы: инвазивные (повреждающие или прямые) и неинвазивные (неповреждающие или косвенные). Каждый из методов, входящих в эти группы, имеет свои достоинства и недостатки.

Инвазивные методы оценки композиции скелетных мышц человека

К инвазивным методам оценки состава МВ относятся различные гистологические и гистохимические методы.

В середине XX века для разделения МВ на быстрые и медленные

использовались *гистологические* методы. Из скелетных мышц посредством биопсии извлекался кусочек мышечной ткани, быстро замораживался и разрезался на тонкие слои. Затем производилось исследование мышечной ткани под микроскопом. Подсчитывалось количество медленных и быстрых МВ. Первоначально критерием разделения МВ на медленные и быстрые являлось *количество и расположение митохондрий* [27, 24]. Затем предпочтение стали отдавать такому показателю как *толщина Z-дисков*. Было найдено, что у медленных волокон I типа, Z-диски существенно толще, чем у быстрых волокон II типа [20, 26]. В качестве еще одного критерия разделения МВ на типы использовалась толщина М-диска. При продольных срезах расслабленной скелетной мышцы видно, что в МВ I типа содержится пять М-линий, имеющих одинаковую плотность; в МВ IIA типа – три линии средней плотности, ясно видимые и две линии, имеющие небольшую плотность, в МВ IIB типа – три линии средней плотности и две внешние, едва различимые [29, 17]. Показано, что по данным гистологического анализа внешний вид М-дисков позволяет классифицировать более 95% МВ передней большеберцовой мышцы человека, толщина Z-дисков – 70% МВ [28].

В настоящее время для определения типа МВ в основном применяют *гистохимические* методы. Для взятия образцов мышечной ткани используют биопсию. Затем кусочек мышечной ткани очищают, подготавливают для последующего исследования, быстро замораживают и разрезают на тонкие слои толщиной 10 мкм.

Тип МВ в срезах определяют несколькими методами: по активности окислительного фермента сукцинатдегидрогеназы (СДГ); активности АТФазы миозина; на основе определения изоформ тяжелых цепей миозина. Самым распространенным является определение активности АТФазы миозина. Установлено, что молекула миозина имеет сложное строение и несет на одном из своих активных центров фермент АТФазу, действие которого обеспечивает высвобождение энергии, необходимой для сокращения МВ. Степень активности АТФазы миозина связана с типом миозина, содержащемся в данном волокне. В медленных МВ активность АТФазы низка, в быстрых – высока. Высокая активность АТФазы миозина способствует высокой скорости сокращения МВ II типа.

Определение типа МВ гистохимическим способом производится на основании измерения активности АТФазы до и после преинкубации препарата в растворе с кислой (pH=4,6) или щелочной (pH=10,3-10,4) средой. Это связано с тем, что АТФаза «медленного» миозина устойчива к кислой среде и ее активность не утрачивается после кислой преинкубации. «Быстрый» миозин инактивируется в кислой среде, но сохраняет АТФазную активность после выдерживания в щелочной среде [30].

После преинкубации в кислой или щелочной средах мышечные волокна, содержащие различные типы миозина, приобретают разную окраску. Так, после *преинкубации в кислой среде (pH=4,3 - 4,6) медленные МВ окрашиваются в темный цвет, а быстрые становятся светлыми*. Наоборот, после процедуры преинкубации в щелочной среде (pH=10,3-10,4) *быстрые МВ приобретают темную окраску, а медленные становятся светлыми*. Миозин промежуточных МВ (IIA типа) сохраняет активность на низком уровне после кислой и щелочной преинкубации. Поэтому на препаратах после кислой преинкубации мышечные волокна промежуточного типа (IIA) отличаются от волокон I типа значительно менее интенсивным окрашиванием, в то время как волокна IIB типа не окрашиваются вовсе [9]. После этого становится возможным классификация МВ и их подсчет.

В настоящее время существуют и другие классификации МВ в зависимости от использованных методов исследования, количество которых за последнее время значительно возросло. В частности, имеется классификация МВ на основе определения изоформ тяжелых цепей миозина (MyosinHeavyChainisoform). МВ, классифицированные на основе этих критериев, обозначаются следующим образом: МНСI, МНСIIa, МНСIIx [31, 15, 16]. По своим свойствам МВ IIB типа соответствуют МВ МНСIIx.

Основной недостаток гистохимических методов кроется в процедуре биопсии. Во-первых, эта методика достаточно болезненна. Так как в мышцах много болевых рецепторов, чтобы уменьшить боль, мышцу перед взятием биопсии «замораживают». Во-вторых, установлено, что распределение мышечных волокон разных типов значительно варьирует в разных участках одной и той же мышцы [21, 19]. Поэтому изменение места извлечения мышечной ткани может существенно повлиять на полученные результаты. Тем не менее, гистологические методы являются основными при оценке типа МВ.

Болезненность и сложность процедур, связанных с биопсией и последующим гистохимическим анализом привели к тому, что стали разрабатываться различные неинвазивные методы оценки композиции МВ, основанные на анализе физиологических и биомеханических показателей, которые можно было бы использовать при проведении тренировочного процесса.

Неинвазивные методы оценки композиции МВ скелетных мышц человека

Неинвазивные методы оценки композиции МВ условно можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы, позволяющие оценить композицию МВ в одной мышце (селективные методы). Ко второй группе относятся методы, основанные на оценке предрасположенности нескольких мышц к быстрому или медленному типу, например мышц, входящих в состав четырехглавой мышцы бедра или мышц нижней конечности, вовлеченных в выполняемое упражнение.

Неинвазивные селективные методы оценки композиции МВ

Оценку композиции МВ можно провести на основе:

- *М-ответа мышцы;*
- *миотонометрии;*
- *тензиомиографии.*

Оценка композиции МВ на основе М-ответа мышцы

М-ответ – суммарный электрический потенциал, регистрируемый на скелетной мышце в ответ на одиночное электрическое раздражение двигательного или смешанного нерва [2]. Форма М-ответа является высокоинформативным параметром, поскольку отражает вклад в ответ разных типов ДЕ исследуемой мышцы. Установлено, что М-ответ медиальной икроножной мышцы имеет форму многофазного потенциала, в котором часто можно выделить два компонента – ранний и поздний, которые связаны с активацией двух типов ДЕ [5].

Оценка композиции МВ на основе миотонометрии

В середине 80-х годов XX века в России для оценки композиции мышечных волокон была разработана методика **миотометрии** [12, 3, 4]. Суть этой методики заключается в следующем. На скелетную мышцу посредством двух электродов подаются электрические импульсы определенной амплитуды и частоты, вызывающие ее одиночное сокращение. Посредством датчика, укрепленного на брюшке мышцы, регистрируется изменение напряжения (тонуса) мышцы, возникающего вследствие изменения ее формы. О процентном соотношении МВ различных типов судят по значениям соответствующей площади на кривой одиночного сокращения. Установлено, что на кривой одиночного сокращения обычно регистрируется несколько вершин (рис. 1). В преобладающем числе случаев у большинства мышц можно выделить три вершины. Исключение составляет камбаловидная мышца, одиночное сокращение которой почти во всех случаях характеризуется двумя вершинами. Согласно этой методике, вершины, возникающие при развитии одиночного сокращения за время до 50 мс, соответствуют активности МВ IIВ типа; до 90 мс – МВ IIA типа, более 90 мс – I типа.

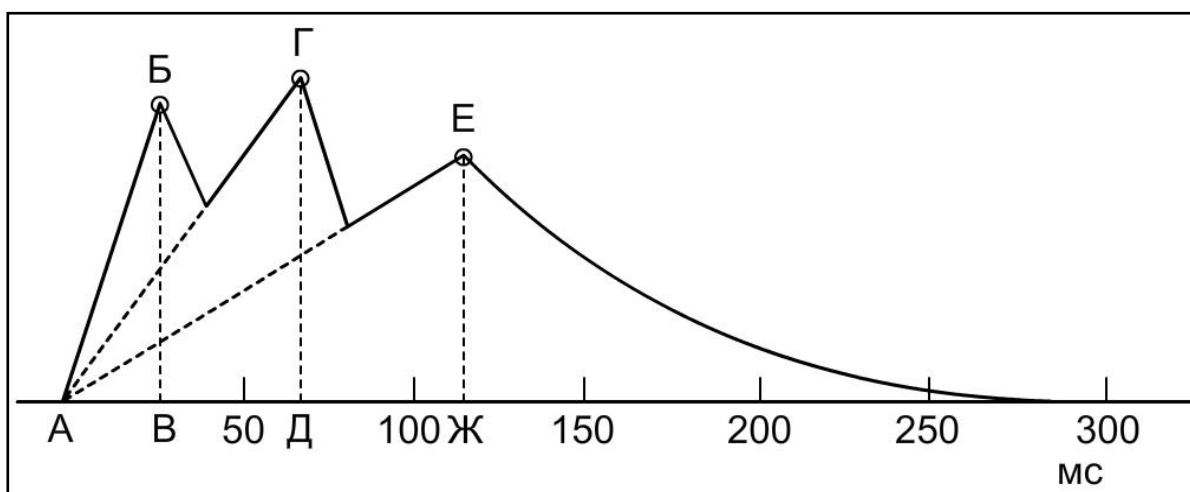


Рис. 1. Схема определения на кривых одиночного сокращения площадей, соответствующих МВ IIВ типа (АБВ), МВ IIA типа (АГД) и МВ I типа (АЕЖ). Пунктир – предполагаемая скрытая часть восходящей кривой МВ IIA типа и МВ I типа [4]

Установлена высокая корреляционная зависимость [12] между площадью одиночного сокращения, соответствующей активности МВ различных типов, и показателями биопсии. Для МВ латеральной широкой мышцы бедра I типа коэффициент корреляции (r) равен 0,88; IIA типа – $r = 0,85$; IIВ типа – $r = 0,72$. В последующем на основе этой идеи С.А. Бойцов с соавт. [1] разработали устройство для определения композиции МВ. Посредством этого устройства установлена сильная положительная корреляция между максимальным потреблением кислорода (МПК) и процентным содержанием МВ I типа в скелетных мышцах человека.

Оценка композиции МВ на основе тензиомиографии (ТМГ)

В конце XX века в Словении для оценки композиции МВ была предложена методика **тензиомиографии** [32], идея которой полностью повторяла разработки исследователей из России. В 2004 году Войко Валенчич [33] получил патент на изобретение метода и устройства селективной и неинвазивной оценки контрактильных свойств мышц. При использовании тензиомиографии посредством датчика измеряется радиальное увеличение мышечного брюшка. Важнейшим параметром, оцениваемым по кривой ТМГ, является длительность сокращения мышцы.

В настоящее время активно проводятся исследования с использованием этого метода [18, 19] (рис. 2). В исследовании R. Dahmaneetal. [18] была сделана попытка обоснования методики ТМГ. С этой целью сравнивались результаты, полученные посредством ТМГ и биопсии. Данные биопсии были получены с семи мышц верхней и нижней конечности трупов 15 мужчин, погибших в возрасте 17-40 лет, а данные ТМГ – на аналогичных мышцах здоровых мужчин в возрасте 17-40 лет. Тем не менее, было показано, что

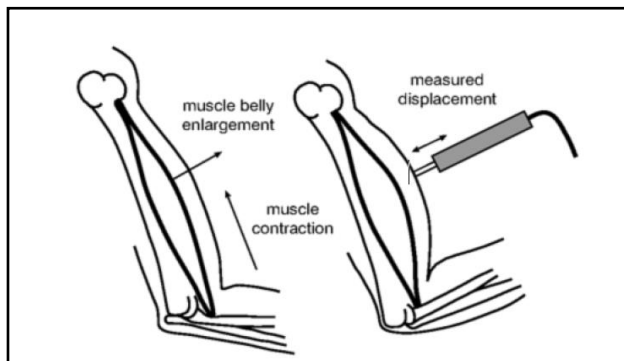


Рис. 2. Принцип ТМГ-методики: когда мышца сокращается, ее брюшко увеличивается; увеличение радиуса может быть измерено посредством сенсора смещения [18]

существует высокая корреляционная зависимость между временем сокращения мышцы, полученное посредством ТМГ и содержанием в мышцах МВ I типа ($r=0,93$).

Исследование, проведенное R. Dahmaneetal. [19] посредством биопсии и ТМГ-методики показало, что распределение МВ различных типов внутри мышцы неоднородно. На поверхности мышцы находится преимущественно МВ IIB типа, а в более глубоких слоях мышц – МВ I типа. МВ IIA типа распределены по мышце равномерно. Авторы, однако, не смогли объяснить

целесообразность такого распределения МВ.

Следует отметить, что в отличие от российских исследователей ученым из Словении удалось разработать компактное и удобное устройство для оценки композиции мышц (рис.3), которое могло бы быть применено в тренировочном процессе и реабилитации спортсменов различной квалификации. В настоящее время это устройство используется во многих известных футбольных клубах Европы, таких как: FCBarcelona, FCLiverpool, FCParma, FCManchester city, ФК Динамо (Киев).



Рис.3. Внешний вид ТМГ-методики

Неинвазивные методы оценки композиции МВ в нескольких скелетных мышцах

В настоящее время предложено несколько простых, неинвазивных методов оценки композиции мышц на основе измерения различных биомеханических характеристик [22, 6, 7, 8, 23, 13].

P.V. Komi, P. Tesch [22] изучали максимальные произвольные разгибания ноги в колене на изокинетическом тренажере. Было установлено, что здоровые люди, имеющие большой процент быстрых мышечных волокон демонстрировали более высокий момент силы при разгибании ноги, но быстрее утомлялись. После 100 сокращений мышцы у людей, имеющих высокий процент быстрых МВ, достоверно снижалась интегрированная ЭМГ. Авторы предполагают, что в быстрых МВ быстрее наступает отказ от работы.

Суть неинвазивного метода косвенного определения композиции МВ в мышцах-разгибателях ноги, предложенного В.Н. Селуяновым, Ю.В. Верхошанским и С.К. Сарсания [6] заключается в следующем. Исследуемый располагается на силоизмерительной установке. Его туловище находится в вертикальном

положении, угол между туловищем и бедром составляет 35 град., между голенью и бедром – 110 град. Стопа устанавливается на динамометрической площадке. После этого исследуемый выполняет два теста:

1. *Тест МПС.* Исследуемый с максимальной силой разгибает ногу в суставах (выполняется три попытки, выбирается лучшая).

2. *Тест МБС.* Исследуемый максимально быстро развивает изометрическую силу (выполняется 5-9 попыток, из них выбирается попытка, в которой достигается максимальный «градиент нарастания силы» (I)). Градиент нарастания силы вычисляется по формуле (1):

$$I = \frac{F_i - 300}{dt}, \quad (1)$$

где F_i – максимальное значение силы в тесте, Н; dt – время проявления силы, начиная от 300 Н до максимума F_i , мс.

После этого рассчитывается коэффициент K , который, по мнению авторов, может характеризовать отношение в мышцах-разгибателях ноги быстрых волокон к медленным. Коэффициент K вычисляется по формуле (2):

$$K = \frac{I + 4}{(0,1 \cdot F_{\max})^{0,5}} \quad (2)$$

Дальнейшее исследование с участием спортсменов различной квалификации показало, что имеются достоверные различия между значениями K у спортсменов различных специализаций (табл. 1).

Таблица 1

Скоростно-силовые характеристики мышц-разгибателей ноги у спортсменов разной специализации [8]

Характеристики	Штангисты n=10	Спринтеры n=5	Стайеры n=10
Масса тела, кг	75,0±6,8	66,6±5,0	66,0±4,6
Длина тела, см	1,693±0,065	1,774±0,064	1,636±0,076
МПС ($F_{\max}$), Н	2490±500	1786±780	1636±189
I , Н/мс	12,50±1,80	9,58±3,10	4,99±1,17
K	1,05±0,07	1,03±0,03	0,72±0,04

А.В. Шишкиной [13] на основе идей, высказанных P.V. Komi, P. Tesch [22] предложен метод косвенной оценки состава мышечных волокон. Однако, вместо работы на изокинетическом тренажере, анализировались изменения высоты выпрыгивания при прыжках с места. С этой целью исследуемые должны были выполнить от 40 до 50 прыжков в удобном для них темпе с установкой: «Прыгать вверх из положения полуприседа как можно выше в каждом прыжке». Посредством видеосъемки регистрировалась высота выпрыгивания. Затем рассчитывался показатель содержания медленных волокон в четырехглавой мышце бедра по следующей формуле:

$$K = \frac{H_{30}}{H_{\max}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где H_{30} – среднее арифметическое значение высоты тридцать первого, тридцать второго и тридцать третьего прыжков; $H_{\max}$ – среднее арифметическое высоты

трех первых прыжков.

Выбор показателя H_{30} обоснован истощением алактатных источников энергообеспечения после выполнения тридцати прыжков (приблизительно 40 с). При этом предполагается, что выполнение тридцатых прыжков обеспечивается только медленными мышечными волокнами. Таким образом, если высота прыжков будет быстро уменьшаться к концу выполнения задания – это будет свидетельствовать о значительном содержании в четырехглавой мышце бедра МВ II типа. Наоборот, если высота последних прыжков незначительно отличается от высоты первоначальных, это свидетельствует о преобладании в мышце МВ I типа. Установлена высокая положительная корреляция ($r=0,93$) между значениями показателя K и результатами оценки композиции МВ посредством биопсии [13].

Следует, однако, заметить, что методы, используемые в исследованиях отечественных авторов [6, 8, 13] обладают существенным недостатком – они дают косвенную оценку композиции МВ в среднем для нескольких мышц (или мышечных групп) конечности, например, для мышц-разгибателей ноги. Однако, как указывалось выше, композиция МВ в различных скелетных мышцах даже у одного и того же исследуемого различна. Поэтому эти методы дают приближенную оценку состава скелетных мышц человека.

Следует упомянуть также об упрощенных методах оценки композиции МВ, которые, однако, обладают селективностью. Так T.V. Pipes [25] и N. Nilsson [23] предлагают следующую последовательность действий при определении композиции МВ в скелетных мышцах.

Вначале необходимо определить максимальное значение в изолирующем упражнении (например, сгибание-разгибание рук со штангой), которое можно выполнить только один раз. Это значение будет составлять 1ПМ (1RM) – повторный максимум. Затем установить вес, равный 80% от 1ПМ и выполнить столько повторений, сколько спортсмен может, то есть работать до «отказа». После этого оценить результаты.

По T.V. Pipes [25]: мышца спортсмена, который выполнил меньше семи повторений, содержит более 50% быстрых МВ. Если спортсмен выполнил от 7 до 12 повторений, в его мышце находится одинаковое количество быстрых и медленных волокон. Если спортсмен смог выполнить более 12 повторений его мышца содержит более 50% медленных МВ.

По N. Nilsson [23]: если спортсмен выполнил не более 4-7 повторений, в его мышце преобладают быстро сокращающиеся волокна (IIB тип). Если спортсмен выполнил от 10 до 12 повторений – в его мышце преобладают промежуточные МВ IIA типа. Если спортсмен сумел выполнить от 15 до 20 повторений – в его мышце преобладают медленно сокращающиеся волокна I типа.

Следует заметить, что эти рекомендации основаны на эмпирическом подходе тренеров и не имеют экспериментального подтверждения посредством экспериментальных методик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определить в мышцах живого человека композицию МВ можно с достаточно большой погрешностью. Это связано с тем, что инвазивные (повреждающие) методы, основанные на биопсии, позволяют проанализировать состав скелетных мышц только в определенной части мышцы. Точность оценки композиции МВ посредством косвенных методов значительно ниже, однако они проще в использовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография. – Великие Луки:

ВЛГАФК, 2005. – 216 с.

2. Зимкин Н.В., Мозжухин А.С., Цветков М.С. Особенности соотношения напряжений, развиваемых мышечными волокнами двигательных единиц различных типов // Мат. научн. конф. посвященной 150-летию со дня рождения П.Ф. Лесгафта «Современная морфология – физической культуре и спорту». – Л., 1987. – С. 176.

3. Зимкин Н.В., Цветков М.С. Физиологическая характеристика особенностей сократительной деятельности мышц у стайеров и спринтеров // Физиология человека, 1988. – Т. 14. – № 1. – С. 129-137.

4. Коц Я.М. Организация произвольного движения (Нейрофизиологические механизмы). – М.: Наука, 1975. – 248 с.

5. Селуянов В.Н. Методы построения физической подготовки спортсменов высокой квалификации на основе имитационного моделирования: автореф. дис.... докт. пед. наук. – М., 1992. – 47 с.

6. Селуянов В.Н., Верхшанский Ю.В., Сарсания С.К. Метод оценки быстроты напряжения мышц-разгибателей ноги // Теория и практика физической культуры, 1985. – № 9. – С. 17-19.

7. Селуянов В.Н., Шестаков М.П. Определение одаренностей и поиск талантов в спорте. – М.: СпортАкадемПресс, 2000. – 112 с.

8. Сологуб Е.Б., Таймазов В.А. Спортивная генетика: учебное пособие. М.: Терра-спорт, 2000. – 127 с.

9. Сонькин В.Д., Тамбовцев Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. – М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2011. – 368 с.

10. Структурно-функциональное состояние поперечно-полосатой мускулатуры у больных с хронической сердечной недостаточностью различных функциональных классов /Бойцов С.А., Кириченко А.Н., Пинегин А.Н. [и др.]/ Сердечная недостаточность, 2003. – Т. 4. – № 4. – С. 194-198.

11. Уилмор Дж., Костил Д.Л. Физиология спорта и двигательной активности. – Киев: Олимпийская литература, 1997. – 503 с.

12. Цветков М.С., Язвиков В.В. Сравнительная характеристика результатов определения состава двигательных единиц в мышцах путем миотометрии при вызванных одиночных сокращениях и микробиопсии // В кн.: Функциональные резервы спортсменов различной квалификации и специализации. – Л.: ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 1986. – С.96-102.

13. Шишкина А.В. Биодинамическая оценка мышечной композиции // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта, 2008. – №11. – С. 108-111.

14. Язвиков В.В., Петрухин В.Г. Состав мышечных волокон смешанных скелетных мышц как фактор конституции человека // Теория и практика физической культуры, 1991. – № 1. – С. 38-40.

15. Chromiak J.A., Antonio J. Skeletal Muscle Plasticity // Essentials of sport Nutrition and Supplements // Ed. J. Antonio, D. Kalman, J.R. Stout, M. Greenwood, D.S. Willoughby, G.G. Haff, 2008.

16. Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response /Dahmane R., Valenčič V., Knez N., Eržen I./ Medical & Biological Engineering & Computing, 2001. – V.39. – P.51-55.

17. Fine structure of fiber types in normal human muscle /Shaiq S.A., Gorycri M., Goldstone L., Milhorat A.T./ Anat Rec., 1966. – V.156. – P. 283-301.

18. Fridén J., Sjöström M., Ekblom B. Muscle fiber type characteristics in endurance trained and untrained individuals // Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 1984. – V. 52. – № 3. – P. 266-271.

19. Garamvölgyi N. Slow and fast muscle cells in human striated muscle // Acta biochim. Biophys. Acad. Hung., 1972. – V.7. – P. 165-172.

20. Hoppeler H. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle // International Journal Sports Medicine, 1986. – V.7. – P. 187-204.
21. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads /Staron R.S., Hikida R.S., Hagerman F.C., Dudley G.A., Murray I.F./ Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 1984. – V.32. – № 2. – P. 146-152.
22. Komi P.V., Tesch P.A. EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1979. – V. 42. – P. 41–50.
23. Morphometric analysis of human muscle fiber types /Sjöström M., Ångquist K.A., Bylund A.C., Fridén J., Gustavsson L., Schersten N./ Muscle Nerve, 1982.– V.5.– P. 538-553.
24. Nilsson N. Training to Maximize Your Muscle Fiber Types Feb 02 2004. [Электронный ресурс].URL: <http://www.bodybuilding.com/fun/betteru25.htm> (дата обращения: 20.07.2012).
25. Ogata T., Murata F. Cytological features of three fiber types in human striated muscle // Tohoku J. Exp. Med. 1969.– V. 99.– P. 225-245.
26. Pipes T.V. Strength training and fiber types // Scholastic Coach, 1994.– V.63.– №8.– P. 67–71.
27. Saltis L.M., Mendell J.R. The fine structural differences in human muscle fiber types based on peroxidatic activity // J. Neuropathol. Exp. Neurol, 1974. – V.33.– P. 632-640.
28. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women /Staron R.S., Karapondo D.L., Kramer W.J., Fry A.C., Gordon S.E., Falkel J.E., Hagerman F.C., Hikida R.S./ Journal of Applied Physiology, 1994. – V.76. – № 3. – P. 1247-1255.
29. Skeletal muscle Hypertrophy and structure and function of skeletal muscle fibers in male body builders /Antona G.D., Lanfranconi F., Pellegrino M.A., Brocca L., Adami R., Rossi R., Moro G., Miotti D., Canepari M., Botinelli R./ Journal of Physiology, 2006.– V. 570.– P. 611-627.
30. Spatial fiber type distribution in normal human muscle histochemical and tensiomyographical evaluation /Dahmane R., Djordjevič S., Šimunič B., Valenčič V./ Journal of Biomechanics, 2005.– V. 38.– P. 2451–2459.
31. Valenčič V., and Knez, N. (1997): Measuring of skeletal muscles dynamic properties //, Artific. Org., 1994.–V. 21.– P. 240-242.
32. Valenčič Vojko Method and device for selective and non-invasive detection of skeletal muscles contraction process // European Patent EP 1424938, Date of publication 09.06.2004.
33. Z- and M-band appearance in different histochemically defined types of human skeletal muscle fibers /Sjöström M., Kidman S., Henriksoon-Larsen K., Ångquist K.A./ J. Histochem. Cytochem., 1982.– V.30.– P. 1-11.