

## НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КОМПОЗИЦИИ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

*В статье рассмотрены неинвазивные (неповреждающие или косвенные) методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека, позволяющие определить предрасположенность спортсменов к занятиям тем или иным видом спорта, разработать программу тренировки с учетом индивидуальных особенностей.*

**Ключевые слова:** *Композиция мышечных волокон, скелетные мышцы, неинвазивные методы, спортсмены различной квалификации.*

**Постановка проблемы. Анализ последних источников и публикаций.** 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 IIВ типа (быстрые, гликолитические) обладают высокими значениями скорости сокращения и силы, но быстро утомляются. МВ IIА типа (быстрые, окислительно-гликолитические) обладают промежуточными свойствами (Дж. Уилмор, Д.Л. Костилл, 1997). 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 (*fiber type composition*).

Установлено, что композиция МВ предопределена генетически (В.В. Язвиков, В.Г. Петрухин, 1991; Е.Б. Сологуб, В.А. Таймазов, 2000), что позволяет определить предрасположенность спортсменов к занятиям тем или иным видом спорта. Кроме того, знание композиции МВ позволяет подбирать средства и методы тренировки с учетом их индивидуальных особенностей. В связи с этим, возникает проблема выбора метода для оценки композиции МВ в скелетных мышцах человека.

По степени повреждения методы оценки композиции МВ в скелетных мышцах человека можно разделить на две группы: инвазивные (повреждающие или прямые) и неинвазивные (неповреждающие или косвенные). Наиболее точным инвазивным методом является биопсия скелетной мышцы с последующим гистохимическим анализом (Дж. Уилмор, Д.Л. Костилл, 1997). Однако этот метод дорогостоящий, к тому же очень болезненный.

**Целью настоящего исследования** является обзор публикаций, посвященных неинвазивным (косвенным) методам оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека.

**Результаты исследования.** Неинвазивные методы оценки композиции МВ можно условно 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 (неселективные методы).

### **Неинвазивные селективные методы оценки композиции МВ**

Оценку композиции МВ в скелетных мышцах человека можно провести на основе: М-ответа мышцы, мионометрии, 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 (Р.М. Городничев, 2005). 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 (Я.М. Коц, 1975).

#### *Оценка композиции МВ на основе мионометрии*

В конце XX века в России для оценки композиции мышечных волокон была разработана методика **мионометрии** (М.С. Цветков, В.В. Язвиков, 1986; Н.В. Зимкин, А.С. Мозжухин, М.С. Цветков, 1987; Н.В. Зимкин, М.С. Цветков, 1988;). Суть этой методики заключается в следующем. На скелетную мышцу посредством двух электродов подаются электрические импульсы, вызывающие ее одиночное сокращение. Посредством датчика, укрепленного на брюшке мышцы, регистрируется изменение 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 три вершины (рис. 1). Согласно этой методике, вершины, возникающие при развитии одиночного сокращения за время до 50 мс, соответствуют активности МВ IIВ типа; до 90 мс – МВ IIА типа, более 90 мс – I типа.

Установлена высокая корреляционная зависимость (М.С. Цветков, В.В. Язвиков, 1986) 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; IIА типа –  $r = 0,85$ ; IIВ типа –  $r = 0,72$ .

### Оценка композиции МВ на основе тензиомиографии (ТМГ)

В конце XX века в Словении для оценки композиции МВ была предложена методика **тензиомиографии**, идея которой полностью повторяла разработки исследователей из России. В 2004 году Войко Валенчич (Valenčič V., 2004) получил патент на изобретение метода и устройства селективной 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.

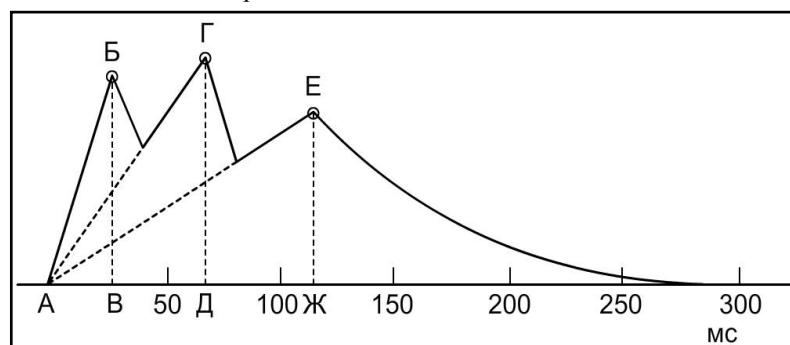


Рис. 1. Схема определения на кривых одиночного сокращения площадей, соответствующих МВ IIВ типа (АБВ), МВ IIА типа (АГД) и МВ I типа (АЕЖ). Пунктир – предполагаемая скрытая часть восходящей кривой МВ IIА типа и МВ I типа (Н.В. Зимкин, М.С. Цветков, 1988)

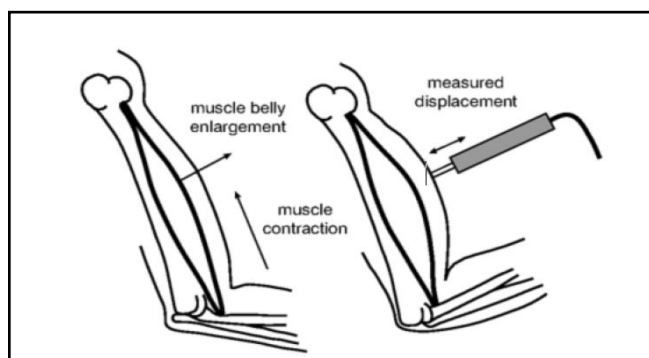


Рис. 2. Принцип ТМГ-методики: когда мышца сокращается, ее брюшко увеличивается; увеличение радиуса может быть измерено посредством сенсора смещения (Dahmane R. et al, 2001)

В исследовании R. Dahmane et al. (2001), рис. 2 была сделана попытка обоснования методики ТМГ. С этой целью сравнивались результаты, полученные посредством ТМГ и биопсии. Тем не менее, было показано, что существует высокая корреляционная зависимость между временем сокращения мышцы, полученное посредством ТМГ и содержанием в мышцах МВ I типа ( $r=0,93$ ). Было также показано (R. Dahmane et al., 2005), что распределение МВ различных типов внутри мышцы неоднородно. На поверхности мышцы находится преимущественно МВ IIВ типа, а в более глубоких слоях мышц – МВ I типа. МВ IIА типа распределены по мышце равномерно.

Следует отметить, что в отличие от российских исследователей ученым из Словении удалось разработать компактное и удобное

устройство для оценки композиции мышц, которое могло бы быть применено в тренировочном процессе и реабилитации спортсменов различной квалификации.

### Неселективные 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.

P.V. Komi, P. Tesch (Komi P.V., Tesch P.A. 1979) изучали максимальные произвольные разгибания ноги в колене на изокINETическом 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.

Суть неинвазивного метода косвенного определения композиции МВ в мышцах-разгибателях ноги, предложенного В.Н. Селуяновым, Ю.В. Верхошанским и С.К. Сарсания (1985) 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 (В.Н. Селуянов, М.П. Шестаков, 2000)**

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 (2008) на основе идей, высказанных P.V. Komi, P. Tesch (1985) предложен метод косвенной оценки композиции МВ. Анализировалось изменение 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 исчерпанием 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.

Следует, однако, заметить, что методы, используемые в исследованиях отечественных авторов 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 (1994) предлагает 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 (1994) 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.

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

**Выводы.** 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.

#### Использованные источники

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., Верхошанский Ю.В., Сарсания С.К. Метод оценки быстроты напряжения мышц-разгибателей ноги // Теория и практика физической культуры, 1985. – № 9. – С. 17-19.
6. Селуянов В.Н., Шестаков М.П. Определение одаренностей и поиск талантов в спорте. – М.: СпортАкадемПресс, 2000. – 112 с.
7. Сологуб Е.Б., Таймазов В.А. Спортивная генетика: учебное пособие. – М.: Терра-спорт, 2000. – 127 с.
8. Уилмор Дж., Костил Д.Л. Физиология спорта и двигательной активности. – Киев: Олимпийская литература, 1997. – 503 с.
9. Цветков М.С., Язвиков В.В. Сравнительная характеристика результатов определения состава двигательных единиц в мышцах путем миотонометрии 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.
10. Шишкина А.В. Биодинамическая оценка мышечной композиции // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта, 2008. – №11. – С. 108-111.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Pipes T.V. Strength training and fiber types // Scholastic Coach, 1994. – V. 63. – №8. – P. 67-71.
15. 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.
16. Valenčič V. Method and device for selective and non-invasive detection of skeletal muscles contraction process // European Patent EP 1424938, Date of publication 09.06.2004.

*Samsonova A., Barnikova I., Krestinina A.*

#### NON-INVASIVE METHODS OF THE ASSESSMENT OF MUSCLE FIBERS COMPOSITION

*The article concerns non-invasive (non-damaging or indirect) assessment methods of the muscle fibers composition in the human skeletal muscle, allowing to determine athlete's predisposition to training in one or another kind of sport (event) and to develop a training program taking into account the individual features of an athlete.*

**Key words:** *The composition of the muscle fibers, skeletal muscle, noninvasive methods, athletes of various qualifications*

*Стаття надійшла до редакції 28.08.2014 р.*