

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ГИПЕРТРОФИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ЧЕЛОВЕКА

В статье рассмотрены методы оценки показателей, характеризующих степень гипертрофии скелетных мышц в историческом аспекте и на современном уровне. Описаны способы оценки площади поперечного сечения мышцы, а также ее объема.

Ключевые слова: площадь поперечного сечения мышцы, объем мышцы, магниторезонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ), ультразвуковое исследование (УЗИ).

Постановка проблемы. Под гипертрофией скелетных мышц понимается степень увеличения их объема или массы. В настоящее время существует ряд показателей, посредством которых оценивается степень гипертрофии скелетных мышц. Разнообразие показателей связано с методическими трудностями проведения исследований. Чаще все о степени гипертрофии судят на основе изменения площади поперечного сечения мышцы (D.A. Jones, O.M. Rutherford, 1987; J.D. MacDougall et al., 1984; S.T. Alway et al., 1989). Значительно реже пытаются оценить изменение ее объема (E.J. Hagbie et al., 1996; F.M. Ivey et al., 2000).

Цель исследования: дать характеристику современным методам оценки морфологических показателей, характеризующих степень гипертрофии скелетных мышц человека.

Результаты. В многочисленных исследованиях степень гипертрофии скелетных мышц оценивается на основе измерения площади ее поперечного сечения и сравнения полученного результата и предыдущим, измеренным ранее. Исторически сложилось так, что вначале из-за методических трудностей прижизненная оценка площади поперечного сечения мышц была невозможна, поэтому для исследований использовался трупный материал. Чаще всего измерялась максимальная площадь поперечного сечения мышцы в плоскости, перпендикулярной линии, соединяющей ее начало и конец. Измеренная площадь получила название *анатомического поперечника мышцы* (рис. 1 а).

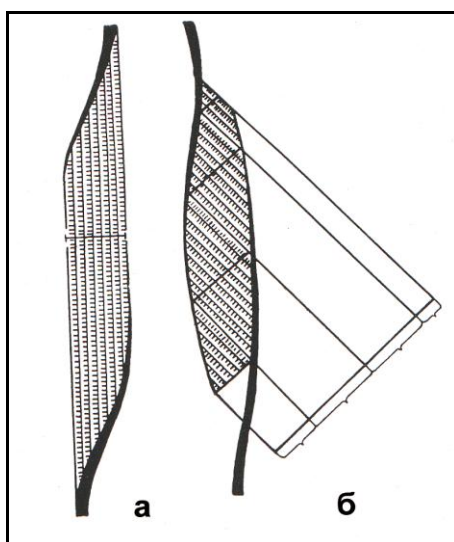


Рис. 1. Схема определения анатомического (а) и физиологического поперечника (б) у мышц с различным ходом пучков мышечных волокон (К. Tittel, 1974)

Однако из-за существования мышц с различным ходом пучков мышечных волокон (параллельным или перистым) было введено понятие *физиологического поперечника мышцы* (S_{mf}). Чтобы определить его значение необходимо провести разрез мышцы в плоскости, перпендикулярной ходу мышечных волокон, измерить площадь полученных фигур, после чего вычислить сумму площадей (А.А. Ухтомский, 1927; К. Tittel, 1973; М.Ф. Иваницкий, 1985; R. Wirhed, 2006), рис. 2 б. Однако, даже на трупном материале провести подобные измерения достаточно трудно. В связи с этим, для оценки физиологического поперечника вначале измерялся объем мышцы и длина ее волокон, а затем по

формуле (1) оценивалось его значение (Y. Kawakami, T. Abe, T. Fukunaga, 1993): $S_{мф} = \frac{V_m}{l_{мв}} \cdot \cos \alpha$ (1),

где: V_m – объем мышцы, $l_{мв}$ – длина мышечного волокна, α – угол перистости, табл. 1.

Таблица 1

Значения физиологического поперечника ($S_{мф}$) мышц нижних конечностей человека, см², полученного на трупном материале

Название мышцы	Р.М. Энока (1998)	G. Schumacher, E. Wolff, 1966
Подвздошно-поясничная	-	14,51±4,30
Большая ягодичная	-	28,58±8,86
Средняя ягодичная	-	20,86±6,95
Малая ягодичная	-	9,41±3,86
Гребенчатая	2,9	2,49±1,14
Длинная приводящая	6,8	5,38±2,15
Короткая приводящая	4,7	4,64±1,69
Большая приводящая	18,2	20,65±7,76
Тонкая	1,8	1,60±0,89
Напрягатель широкой фасции бедра		2,37±1,36
Четырехглавая бедра	-	56,0±11,0
Прямая бедра	12,7	-
Промежуточная широкая бедра	22,3	-
Латеральная широкая бедра	30,6	-
Медиальная широкая бедра	21,1	-
Портняжная	-	1,67±1,06
Двуглавая бедра	12,8	11,53±5,10
Полусухожильная	5,4	3,87±1,62
Полуперепончатая	16,9	13,33±7,17
Передняя большеберцовая	9,9	7,02±2,49
Длинный разгибатель пальцев	5,6	2,95±0,98
Икроножная	-	14,41±6,95
Камбаловидная	58,0	23,18±9,11
Задняя большеберцовая	20,8	5,17±2,54
Длинный сгибатель пальцев	5,1	2,39±1,83
Длинная малоберцовая	12,3	3,95±1,77
Короткая малоберцовая	5,7	1,73±0,81
Длинный разгибатель большого пальца	1,8	1,61±0,54
Длинный сгибатель большого пальца	5,3	4,51±1,73

Измерение объема скелетных мышц на трупном материале производится методом водного погружения. Отпрепарированная мышца помещается в сосуд с водой. Как известно, объем жидкости, вытесненный телом из сосуда, равен объему погруженного в жидкость тела. Поэтому, измерив объем жидкости, вытесненный мышцей, можно оценить ее объем (В.М. Зацюрский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов, 1981).

Оценка анатомического и физиологического поперечников мышц, полученная с использованием трупного материала не позволяла оценить степень гипертрофии мышц под воздействием тренировки. Появление современных методов исследования позволило решить эту проблему – оценить анатомический поперечник и объем мышц у живого человека. С этой целью в настоящее время используется компьютерная или магниторезонансная томография.

Компьютерная томография (КТ) – метод неразрушающего, послойного исследования внутренней структуры объекта, основанный на измерении и сложной компьютерной обработке степени ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями. На рис. 2 представлено изображение поперечного сечения мышц плеча человека. Видны проекции на плоскость: плечевой кости, мышц-сгибателей и разгибателей плеча. Буквами ВВ обозначено поперечное сечение двуглавой мышцы плеча (m. biceps brachii). После получения снимка на основе математических методов определялась площадь поперечного сечения мышцы.

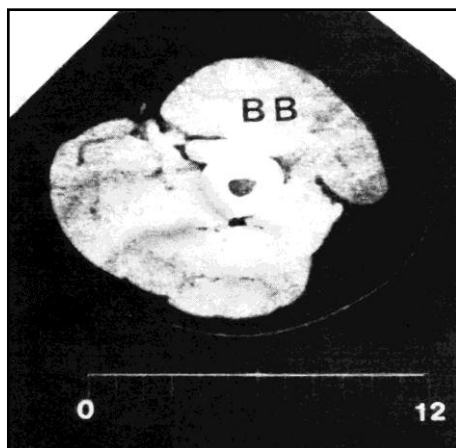


Рис. 2. Компьютерная томография сгибателей предплечья (S.T. Alway et al., 1989) ВВ - m. biceps femoris

Магниторезонансная томография (МРТ) – метод исследования внутренних органов и тканей человека и животных с использованием физического явления ядерного магнитного резонанса. Метод основан на измерении электромагнитного отклика ядер атомов водорода на возбуждение их определённой комбинацией электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости. Из-за высокого разрешения, МРТ считается лучшим методом определения площади поперечного сечения и объема скелетных мышц (J.P. Folland, A.G. Williams, 2007).

В табл.2. приведены значения анатомического поперечника скелетных мышц человека, полученные посредством компьютерной и магниторезонансной томографии.

Таблица 2

Значение анатомического поперечника мышц нижних конечностей у людей, не занимающихся спортом

Автор, год	Мышца	Метод исследования	N	Пол	Возраст	S_{MA} , см ²
J.D. MacDougall et al., 1984	Двуглавая плеча	КТ	13	м	22,5±0,5	14,12±2,91
S.E. Alway et al., 1992		КТ	2	м	26-29	15,0±0,6
G.E. MacCall et al., 1996		МРТ	8	м	18-25	11,78±2,7
S.E. Alway et al., 1992		КТ	2	ж	26-32	8,9±0,9
G.E. MacCall et al., 1996	Трехглавая плеча	МРТ	12	м	18-25	24,75±6,5
D.A. Jones, O.M. Rutherford, 1987	Четырехглавая бедра	КТ	6	м	27,5±5,7	73,8±10,7

Для оценки объема скелетной мышцы *in vivo* необходимо измерить площадь поперечного сечения мышцы в разных местах. Чем больше будет таких "срезов", тем точнее результат. E.J. Higbie et al. (1996) выполнили семь поперечных "срезов" четырехглавой мышцы бедра и получили значения площади поперечного сечения мышцы в интервале от 20 до 80% длины бедра, рис.3. Эта информация позволила авторам оценить изменение объема четырехглавой мышцы достаточно точно.

F.M. Ivey et al. (2000) посредством МРТ изучали изменения объема четырехглавой мышцы бедра под влиянием силовой тренировки. С этой целью были выполнены снимки поперечного сечения мышцы через 1 см от ее начала до места прикрепления. После этого по снимкам измерялась площадь поперечного сечения мышцы. Это позволило вычислить воздействие силовой тренировки на изменение объема четырехглавой мышцы бедра у мужчин и женщин с высокой степенью точности. В исследовании, проведенном этими авторами, установлено, что объем четырехглавой мышцы бедра у молодых мужчин равен 2297±170 см³, у молодых женщин – 1435±82 см³, у мужчин преклонного возраста – 1753 ±44 см³, у женщин преклонного возраста – 1125 ±53 см³.

Для оценки степени гипертрофии также используется ультразвуковое исследование (М.Ф. Иванецкий, 1985; Y. Kawakami, T. Abe, T. Fukunaga, 1993; В.А. Щуров, С.Н. Елизарова, Л.А. Гребенюк, 2004).

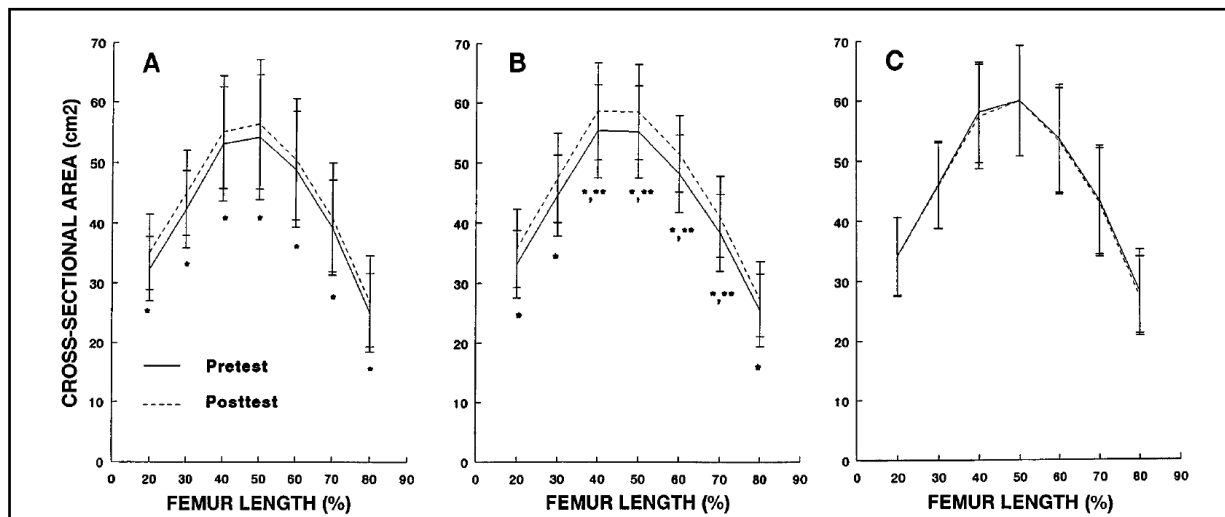


Рис. 3. Изменение площади поперечного сечения (CSA, см²) четырехглавой мышцы бедра, полученное посредством МРТ на 7 уровнях до и после тренировки в концентрическом (А), эксцентрическом (В) режимах и у контрольной группы (С) (Е.Ј. Hagbi et al. 1996)

Ультразвуковое исследование (УЗИ) – неинвазивное исследование организма человека или животного с помощью ультразвуковых волн. Однако, этот метод менее точен по сравнению с КТ и МРТ. Он позволяет оценить относительное изменение объема мышцы, но не позволяет измерить площадь ее поперечного сечения. Из-за этих недостатков УЗИ очень редко используется для оценки степени гипертрофии скелетных мышц.

Прижизненное измерение анатомического поперечника или объема мышцы у человека возможно, но трудно. С этой целью, как указывалось выше, используется дорогостоящее оборудование. Отсутствие такого оборудования при исследованиях, проводимых в области физической культуры и спорта, приводит к тому, что до сих пор о степени гипертрофии мышц конечностей судят на основании измерения обхватов конечностей через определенный тренировочный период. Этот метод очень прост. Однако он не обладает селективностью, то есть посредством этого метода невозможно оценить гипертрофию отдельной мышцы. В таблице 3 приведены значения обхватов верхних и нижних конечностей у представителей различных видов спорта.

Таблица 3

Значения обхватов верхних и нижних конечностей у спортсменов высших разрядов в различных видах спорта, правая сторона тела, см (Ф.А. Завилейский, 1968)

Спортивная специализация	Название звена ОДА	Мужчины	Женщины
Спортивная гимнастика	Плечо	31,0±1,5	27,5±1,0
	Предплечье	28,3±1,1	24,9±1,2
	Бедро	54,3±2,0	56,4±3,0
	Голень	36,5±1,2	35,7±1,6
Велосипедный спорт	Плечо	30,2±1,3	28,2±2,1
	Предплечье	26,7±1,0	25,0±1,0
	Бедро	58,0±2,4	59,4±2,6
	Голень	38,3±1,7	36,9±1,3
Конькобежный спорт	Плечо	29,3±1,5	28,9±2,0
	Предплечье	27,8±1,1	26,3±1,4
	Бедро	57,2±2,3	58,7±3,5
	Голень	37,9±2,2	36,6±2,0
Плавание	Плечо	30,4±1,8	27,7±1,4
	Предплечье	28,8±1,5	24,8±1,0
	Бедро	56,1±3,0	58,5±2,1
	Голень	37,5±1,8	36,4±1,5

Выводы. В настоящее время для оценки степени гипертрофии скелетных мышц используется измерение площади поперечного сечения мышцы (анатомический поперечник) и объема скелетной мышцы посредством магниторезонансной или компьютерной томографии. Метод ультразвукового сканирования позволяет оценить относительное изменение объема скелетной мышцы. Метод магниторезонансной томографии самый дорогой, однако, он наиболее точен.

Использованные источники

1. Завилейский, Ф.А. Физическое развитие студентов ГЦОЛИФК / Ф.А. Завилейский // Теория и практика физической культуры, 1968. – № 11. – С. 39-44.
2. Закиорский, В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Закиорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
3. Иваницкий, М.Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии) / М.Ф. Иваницкий: учеб. для ин-тов физ. культ. / Под ред. Б.А. Никитюка, А.А. Гладышевой, Ф.В. Судзиловского. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 544 с.
4. Ухтомский, А.А. Физиология двигательного аппарата / А.А. Ухтомский // Соб. соч. Т. 3. – Л. ЛГУ, 1951. – 165 с.
5. Щуров, В.А. Функциональные и структурные свойства мышц нижних конечностей у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса / В.А. Щуров, С.Н. Елизарова, Л.А. Гребенюк // Теория и практика физической культуры, 2004. – №1. – С. 40-41.
6. Энока, Р. Основы кинезиологии / Р. Энока. – Киев: Олимпийская литература, 1998. – 399 с.
7. Alway, S. E. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders / S.E. Alway, W.H. Grumbt, W.J. Gonyea, J. Stray-Gundersen // Journal of Applied Physiology, 1989. – V. 67. – P. 24-31.
8. Alway, S.E. Effects of resistance training on elbow flexors of highly competitive bodybuilders / S.E. Alway, W.H. Grumbt, W.J. Gonyea, J. Stray-Gundersen // Journal of Applied Physiology, 1992. – V. 72. – P.1512 – 1521.
9. Folland, J.P. The adaptation to Strength Training. Morphological and Neurological contribution to Increased Strength / J.P. Folland, A.G. Williams // Sports Medicine, 2007. – V.37. – № 2. – P. 145-168.
10. 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.
11. Ivey, F.M. Effects of Age, Gender, and Myostatin Genotype on the Hypertrophic Response to Heavy Resistance Strength Training / F.M. Ivey, S.M. Roth, R.E. Ferrell, B.L. Tracy et al // Journal of Gerontology, 2000.– V. 55A.– N 11.– P.641-648.
12. 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.
13. Kawakami, Y. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles / Y. Kawakami, T. Abe, T. Fukunaga // Journal of Applied Physiology, 1993. – V.74. – № 6. – P. 2740-2744.
14. MacCall, G.E. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia and capillary density in college men after resistance training / G.E. MacCall, W.C. Byrnes, A. Dickinson, P.M. Pattany, S.J. Fleck // Journal Applied Physiology, 1996. – V 81. – № 5. – P. 2004-2012.
15. MacDougall, J.D. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects / J.D. MacDougall, D.G. Sale, S.E. Alway, J.R. Sutton // Journal Applied Physiology, 1984. – V 57. – № 5. – P. 1399-1403.
16. Schumacher, G. Trockengewicht and phisiologischen Querschnitt des menschlichen Skelettmusculatur / G. Schumacher, E. Wolff // Anatomie Anzaitung, 1966. – Bd.119. – S. 259-269.
17. Tittel, K. Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen / K. Tittel. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1974. – 644 s.
18. Wirhed, R. Athletic Ability and the Anatomy of motion / R. Wirhed, 2006: Elsevier. – 214 s.

Samsonova A.V.

METHODS OF THE ASSESSMENT OF DEGREE OF THE HYPERTROPHY OF HUMAN SKELETAL MUSCLES

In article methods of an assessment of the indicators characterizing degree of a hypertrophy of skeletal muscles in historical aspect and at modern level are considered. Ways of an assessment of cross-section area of a muscle, and also its volume are described.

Key words: *cross-section area (CSA) of muscle, muscle volume, magnetic resonance tomography (MRT), computed tomography (CT), ultrasonic research (ultrasonography).*

Стаття надійшла до редакції 18.09.2013 р.