

Самсонов, Г.А. Влияние увеличения площади поперечного сечения саркомера на соотношение тонких и толстых филаментов / Г.А. Самсонов, А.В. Самсонова // Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф.Лесгафта, 2016.- Вып.10.- С. 22-27.

УДК 611.73

ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ САРКОМЕРА НА СООТНОШЕНИЕ ТОНКИХ И ТОЛСТЫХ ФИЛАМЕНТОВ

Самсонов Глеб Александрович, к.п.н.

Самсонова Алла Владимировна, д.п.н., профессор, заведующая кафедрой Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, кафедра биомеханики

Аннотация. Установлено, что в одном саркомере миофибриллы диаметром 1 мкм содержится 1261 толстый филамент и 5292 тонких филаментов. В одном саркомере миофибриллы диаметром 1 мкм содержится 1261 структурный элемент (сот). Площадь сота равна $6,225 \cdot 10^{-4} \text{ мкм}^2$. При увеличении площади саркомера отношение тонких филаментов к толстым изменяется с 12 (12 тонких филаментов на один толстый филамент) до 4,19 (5292 тонких филаментов на 1261 толстый филамент).

Ключевые слова: саркомер, сот, соотношение толстых и тонких филаментов в саркомере.

THE EFFECT OF THE SARCOMERE CROSS-SECTIONAL AREA INCREASE ON THE THIN-TO-THICK FILAMENT RATIO

Gleb A. Samsonov, PhD

Alla V. Samsonova, HD, Professor, Head of Department

Lesgaft National State University of Physical Culture, Sports and Health, St. Petersburg, Department of Biomechanics

Abstract. It was established that one myofibril sarcomere with a diameter of 1 mkm contains 1261 thick and 5292 thin filaments. One myofibril sarcomere with a diameter of 1 mkm contains 1261 structure elements (sots). The area of sot is $6.225 \cdot 10^{-4} \text{ mkm}^2$. Increase in a cross-sectional area of the sarcomere changes the ratio of thin-to-thick filaments from 12 (12 thin to 1 thick) to 4.19 (5292 thin to 1261 thick).

Key words: sarcomere, sot, the ratio of thin to thick filaments in sarcomere.

ВВЕДЕНИЕ

Основу мышечных волокон составляют миофибриллы. Миофибриллы состоят из цилиндрических элементов – саркомеров, которые расположены последовательно, друг за другом вдоль миофибриллы. Саркомеры разделены Z–дисками. Так как миофибриллы идут от одного конца мышечного волокна до другого, их длина соответствует длине волокна. Длина одного саркомера в среднем составляет 2,5 мкм. Поэтому в одной миофибрилле длиной 5 см находится до 20 000 саркомеров. Внутри саркомера находится большое количество толстых и тонких филаментов, организованных в сложные структуры – соты (по аналогии с пчелиными сотами) [5].

Установлено, что под воздействием силовых упражнений возрастает площадь поперечного сечения миофибриллы (саркомера). Возрастание площади поперечного сечения саркомера связано с увеличением количества структурных элементов саркомера [7, 8], которые мы называем сотами [5]. При увеличении площади поперечного сечения саркомера соты добавляются на его внешней поверхности [3]. Доказано, что силовая тренировка не влияет на расстояние между толстыми филаментами [6]. Это означает, что площадь поперечного сечения сота не изменяется. Вследствие увеличения количества структурных элементов саркомера (сот) возрастают площадь поперечного сечения (а также и объем) саркомера, миофибриллы и мышцы в целом.

Сложность организации структуры саркомера приводит к тому, что в учебной литературе приводятся различные данные о количестве толстых и тонких филаментов в саркомере и об их соотношении. Так, В.Л. Быков [1] указывает, что в саркомере насчитывается несколько сотен толстых филаментов, при этом каждый толстый филамент окружен шестью тонкими. По мнению В.О. Самойлова и Е.В. Бигдай [4], в саркомере насчитывается до 2500 толстых и тонких филаментов. А.К. Гайтон, Дж.Э. Холл [5] считают, что каждая миофибрилла собрана примерно из 1500 смежных нитей миозина и 3000 нитей актина. Н. Claassen et al. [6] указывает, что отношение числа тонких филаментов к числу толстых в саркомере составляет 3,94. Это соотношение не меняется в процессе тренировки.

Цель исследования – оценить влияние увеличения площади поперечного сечения саркомера на отношение тонких и толстых филаментов.

Задачи исследования:

- 1) Определить количество сот в саркомере, имеющем диаметр 1 мкм.
- 2) Установить зависимость между возрастанием площади саркомера и количеством толстых филаментов.
- 3) Установить зависимость между возрастанием площади саркомера и количеством тонким филаментов.
- 4) Выявить зависимость между количеством толстых и тонких филаментов в саркомере при увеличении его площади поперечного сечения.

Гипотеза исследования: предполагается, что с увеличением площади поперечного сечения саркомера, что имеет место при силовой тренировке, отношение количества тонких филаментов к количеству толстых изменяется.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Задача 1. Определить количество сот в саркомере, имеющем диаметр 1 мкм.

Мы считаем, что точно указать, какое количество толстых филаментов содержит саркомер, можно только в том случае, если будет указан его диаметр или площадь поперечного сечения. По данным В.Л. Быкова [1] среднее значение диаметра миофибриллы (саркомера) в скелетных мышцах человека составляет 1 мкм. В этом случае значение площади поперечного сечения миофибриллы (саркомера) $S_{МФ}$, если считать ее кругом, будет равно:

$$S_{МФ} = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot 0,5^2 = 0,785 \text{ мкм}^2, \quad (1)$$

где R – радиус круга.

Claassen Н. et al. [6] установлено, что в 1 мкм² саркомера человека содержится 1604 толстых филамента. Тогда на площади 0,785 мкм² саркомера содержится: $n = 0,785 \cdot 1604 = 1259 \approx 1260$ толстых филаментов. Так как в структуре сота [5] имеется один толстый филамент, можно утверждать, что в саркомере, имеющем диаметр 1 мкм, содержится приблизительно 1260 сот.

Задача 2. Установить зависимость между возрастанием площади саркомера и количеством толстых филаментов.

Для решения второй задачи было введено предположение, что площадь саркомера возрастает путем добавления «слоев», состоящих из сот вокруг центрального сота (рис. 1).

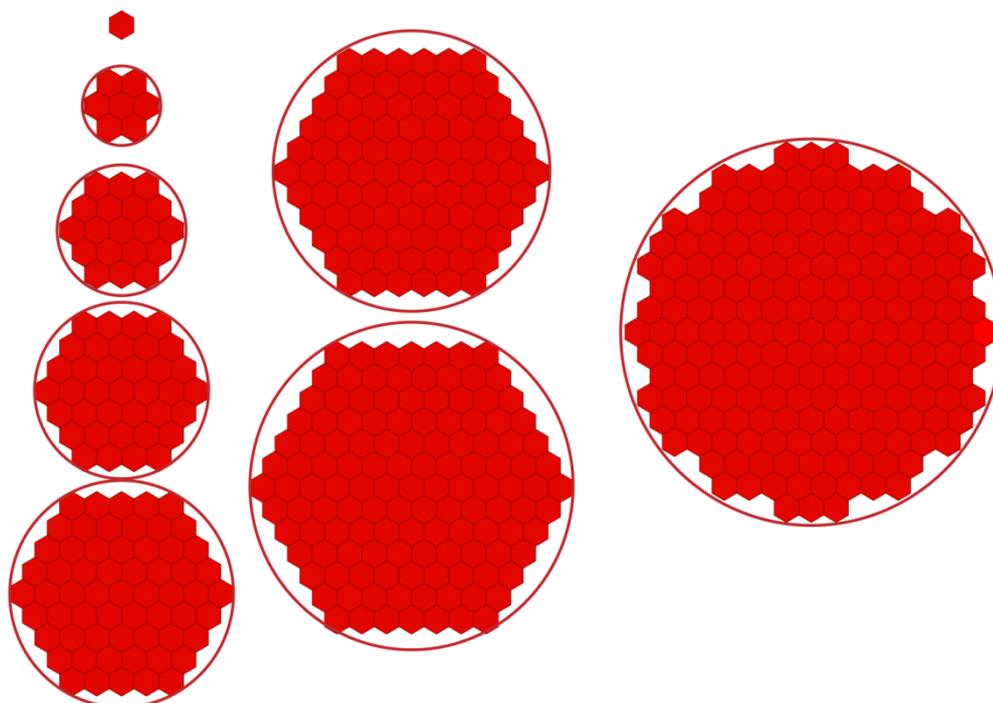


Рис. 1. Площадь поперечного сечения саркомера возрастает за счет добавления «слоев» вокруг сота, расположенного в центре

В этом случае нужно установить зависимость между номером «слоя» и числом толстых филаментов. Если рассматривать центральный сот как нулевой «слой», то добавление сот представляется как увеличение количества «слоев» вокруг центрального сота, что приводит к возрастанию площади поперечного сечения саркомера.

Мы установили, что количество толстых филаментов в каждом «слое» возрастает на шесть. Так, например, в первом «слое» – шесть толстых филаментов. Во втором «слое» – 12, в третьем – 18 и т.д. В этом случае количество толстых филаментов (N_{thick}) в каждом «слое» определяется по формуле:

$$N_{thick} = 6 \cdot n \quad (n \geq 1), \quad (2)$$

где n – номер слоя.

Чтобы определить количество толстых филаментов в нескольких слоях, нужно найти сумму толстых филаментов, приходящихся на каждый «слой». Так, например, сумма толстых филаментов в нулевом «слое» – 1, в нулевом и первом «слоях» – 7; в нулевом, первом и втором «слоях» – 19, в нулевом, первом, втором и третьем «слоях» – 37 и т.д. В таблице 1 представлено изменение суммарного количества толстых филаментов с возрастанием номера «слоя».

Таблица 1.

Отношение числа толстых филаментов к числу тонких филаментов в саркомере при увеличении площади поперечного сечения саркомера

Слой	Количество толстых	Суммарное количество	Суммарное количество	Суммарное количество	Отношение количества
------	--------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

	филаментов в «слое»	толстых филаментов	тонких филаментов в полусаркомере	тонких филаментов в саркомере	тонких филаментов к количеству толстых филаментов в саркомере
0	1	1	6	12	12
1	6	7	24	48	6,85
2	12	19	54	108	5,68
3	18	37	96	192	5,18
4	24	61	150	300	4,91
5	30	91	216	432	4,74
6	36	127	294	588	4,62
7	42	169	384	768	4,54
8	48	217	486	972	4,47
9	54	217	600	1200	4,42
10	60	331	726	1452	4,38
11	66	397	864	1728	4,35
12	72	469	1014	2028	4,32
13	78	547	1176	2352	4,29
14	84	631	1350	2700	4,27
15	90	721	1536	3072	4,26
16	96	817	1734	3468	4,24
17	102	919	1944	3888	4,23
18	108	1027	2166	4332	4,21
19	114	1141	2400	4800	4,20
20	120	1261	2646	5292	4,19

Задача 3. Установить зависимость между возрастанием площади саркомера и количеством тонких филаментов.

При решении третьей задачи необходимо учесть, что в саркомере тонкие филаменты располагаются вокруг толстого филамента с двух сторон [4, рис. 2].

В связи с этим используем стандартное понятие полусаркомера и будем вначале рассматривать изменение количества тонких филаментов, расположенных с одной стороны от толстого филамента (рис. 3).

Нами установлено, что в каждом новом «слое» уместается на 12 тонких филаментов больше, чем в предыдущем (рис. 3). Т.е. в нулевом «слое» имеется шесть тонких филаментов (с одной стороны от толстого филамента); в первом «слое»: $6 + 12 = 18$. Во втором «слое» $18 + 12 = 30$ тонких филаментов. В третьем «слое»: $30 + 12 = 42$ тонких филамента. Количество тонких филаментов (N_{thin}) в каждом «слое» определяется по формуле:

$$N_{thin} = 6 + 12 \cdot n, \quad (3)$$

где n – номер слоя.

Всего в саркомере, состоящем из одного «слоя» (включая нулевой) – 24 тонких филамента: $(6)+(6+12)=24$. Всего в саркомере состоящем, из двух «слоев» – 54 тонких филамента: $(6)+(6+12)+(18+12)=54$, а в саркомере, имеющем три «слоя», всего 96 тонких филаментов: $(6)+(6+12)+(18+12)+(30+12)=96$. Полученные результаты обобщены в таблице 1.

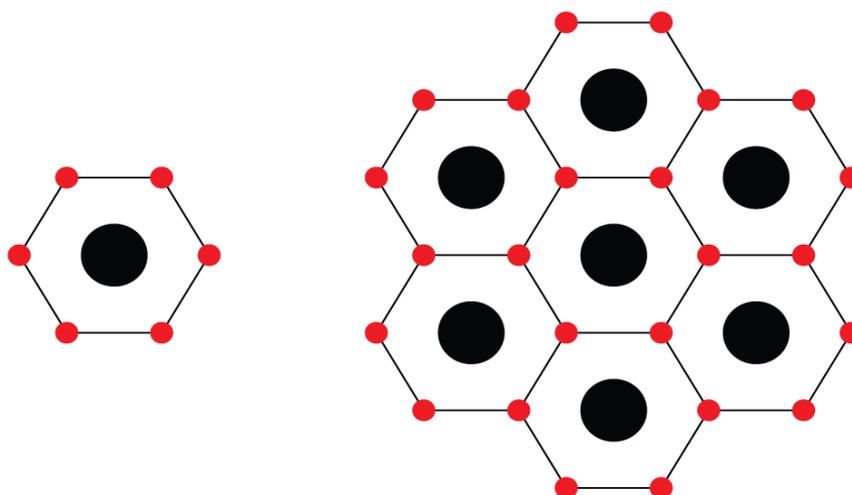


Рис. 3. Модель взаимного расположения толстого и тонких филаментов в соте (слева) и сот в саркомере. Соседние соты имеют общие тонкие филаменты

Из результатов, представленных в таблице 1 следует, что полусаркомер, имеющий 20 «слоев», содержит 2646 толстых филаментов и, соответственно, 5292 тонких филамента.

Задача 4. Выявить зависимость между количеством толстых и тонких филаментов в саркомере при увеличении его площади поперечного сечения.

При решении первой задачи было выявлено, что в саркомере, имеющем диаметр 1 мкм, содержится приблизительно 1260 толстых филаментов. Из таблицы 1 следует, что саркомер, имеющий 20 «слоев», содержит 1261 толстый филамент. Из этого следует, что саркомер, имеющий диаметр 1 мкм, состоит из 20 «слоев» сот. Это позволяет вычислить площадь одного сота. Она равна: $S_{\text{сот}} = \frac{S_{\text{мф}}}{1261} = \frac{0,785}{1261} \approx 6,225 \cdot 10^{-4} \text{мкм}^2$.

Из таблицы 1 также следует, что с увеличением площади поперечного сечения саркомера, что имеет место при силовой тренировке, изменяется соотношение между количеством тонких и толстых филаментов. В одном соте на один толстый приходится 12 тонких филаментов (по 6 тонких филаментов с одного и другого конца толстого филамента). С увеличением количества слоев это соотношение уменьшается. В саркомере, имеющем 20 «слоев», на 1261 толстый филамент приходится 5292 тонких.

ВЫВОДЫ

- 1) В одном саркомере миофибриллы диаметром 1 мкм содержится 1261 толстый филамент и 5292 тонких филаментов.
- 2) В одном саркомере миофибриллы диаметром 1 мкм содержится 1261 структурный элемент (сот).
- 3) Площадь сота равна $6,225 \cdot 10^{-4} \text{мкм}^2$.
- 4) При силовой тренировке отношение тонких филаментов к толстым изменяется с 12 (12 тонких филаментов на один толстый филамент) до 4,19 (5292 тонких филаментов на 1261 толстый филамент).

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В.Л. Цитология и общая гистология. – СПб.: СОТИС, 1998. – 520 с.
2. Жуков Е.К. Развитие сократительной функции мышц двигательного аппарата. – Л.: Наука, 1974. – С. 35-48.
3. Самойлов В.О., Бигдай Е.В. Клеточные и молекулярные основы биомеханики // Математические модели и компьютерное моделирование в биомеханике. – СПб.: Из-во Политехнического университета, 2004. – С. 29-102.
4. Самсонова А.В., Самсонов Г.А. Сот-структурная единица саркомера // Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф. Лесгафта: сб. науч. тр. / НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. – СПб., 2016. – Вып. 10. – С. 16-21.
5. Гайтон А.К., Холл Дж. Э. Медицинская физиология. – М.: Логосфера. – 2008. – 1296 с.
6. Claassen H., Gerber C., Hoppeler H., Luthi J.M., Vock P. Muscle filament spacing and short-term heavy-resistance exercise in humans // Journal of Physiology (London) – 1989. – P. 491-495.
7. MacDougall J.D. Hypertrophy and Hyperplasia // Encyclopaedia of Sport Medicine. Strength and Power in Sport; Ed. P.V. Komi. – Blackwell Publishing, 2003. – Vol. 3. – P. 252-264.
8. Zatsiorsky V.M., Kramer V.M. Science and Practice of Strength Training. – Human Kinetics, 2006. – 251 P.