

Самсонова, А.В. Сот - структурная единица саркомера // А.В. Самсонова, Г.А. Самсонов // Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф.Лесгафта, 2016.- Вып.10.- С. 16-21.

УДК 611.73

## СОТ – СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА САРКОМЕРА

**Самсонова Алла Владимировна**, д.п.н., профессор, заведующая кафедрой  
**Самсонов Глеб Александрович**, к.п.н.

Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, кафедра биомеханики

**Аннотация.** В статье рассмотрена структура саркомера. Предложен новый термин для обозначения структурной единицы саркомера – сот. Введение нового термина позволяет правильно понять состав и пространственную организацию саркомера, дать количественную характеристику саркомерам различных скелетных мышц, выразить площадь поперечного сечения саркомера через площадь поперечного сечения сота и количество сот в саркомере. Введение нового термина позволяет также дать количественную характеристику влияния различных видов физической нагрузки на характеристики саркомера и параметры, определяющие площадь его поперечного сечения.

**Ключевые слова:** скелетная мышца, миофибрилла, структура саркомера, сот.

## THE SOT AS A STRUCTURE COMPONENT OF A SARCOMERE

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

**Gleb A. Samsonov**, PhD

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

**Abstract.** This article concerns the structure of a sarcomere. A new term – sot - is proposed for the naming of a structural sarcomere element. Introduction of a new term allows correct understanding a composition and a geometry of a sarcomere, quantifying sarcomeres of different muscle types and describing the cross-section area of a sarcomere through the cross-section area of a sot and the number of sots in a sarcomere. It also allows quantifying the influence of different physical activity types on a sarcomere mechanical characteristics and parameters defining its cross-section area.

**Key words:** skeletal muscle, myofibrils, structure of a sarcomere, sot.

### ВВЕДЕНИЕ

Описание состава и структуры скелетной мышцы является предметом нескольких учебных дисциплин: анатомии, гистологии, цитологии, физиологии, биохимии и биомеханики.

Известно, что состав и структура мышцы как органа, осуществляющего движения звеньев опорно-двигательного аппарата человека, очень сложны. Чаще всего мышцу рассматривают как сложнейшую многоуровневую систему. На первом уровне (уровень мышцы) она представляет собой орган, состоящий из мышечных волокон, окруженных соединительно-тканными оболочками. На втором уровне (уровень мышечного волокна) – это миосимпласт, основной объем которого составляют структурные единицы – миофибриллы. На третьем уровне (уровень

миофибриллы) – это органелла специального назначения, состоящая из структурных единиц – саркомеров.

Четвертый уровень организации мышцы – уровень саркомера. В большинстве учебников, в которых описывается строение саркомера, указывается, что основу саркомера составляют толстые и тонкие филаменты. Так, в учебнике анатомии М.Ф. Иваницкого указывается: «С помощью электронного микроскопа установлено, что каждая миофибрилла состоит из протофибрилл, имеющих две разновидности: толстые (16 нм) и тонкие (5-7 нм) нити» [4, С. 33]. В учебнике «Гистология» Э.Г. Улумбекова и Ю.А. Чельшевой указывается: «Саркомер образуют расположенные параллельно тонкие (актиновые) и толстые (миозиновые нити)» [2, С. 170]. В учебниках В.Л. Быкова [1], а также М.Г. Ткачук, И.А. Степаник [7] обращается внимание на то, что «... структура саркомера представлена упорядоченной системой толстых и тонких белковых нитей – миофиламентов». То есть, в учебной литературе при описании структуры саркомера используются более мелкие его элементы – толстый и тонкий филаменты. В результате пропускается весьма важная область знаний о пространственной структуре элементов саркомера, которую можно выделить в отдельный (пятый) уровень организации элементов в мышце. Мы считаем, что в учебниках, содержащих описание состава и структуры саркомера, целесообразно ввести описание пятого уровня организации мышцы – а именно структурных элементов, из которых состоят саркомеры.

*Цель предлагаемой статьи* – выделить структурный элемент саркомера и предложить новый термин для его описания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Известно, что каждая миофибрилла состоит из структурных элементов – саркомеров, расположенных последовательно друг за другом и разделенных Z-дисками. Если рассмотреть известную фотографию саркомера Н.Е. Huxley [9] (рис. 1), то отчетливо видно, что каждый саркомер скелетной мышцы состоит из большого количества одинаковых структурных элементов. Внутри каждого структурного элемента находится толстый филамент, который окружен шестью тонкими филаментами. Чаще всего этот структурный элемент в учебниках и учебных пособиях, описывающих состав и строение саркомера, никак не называется и внимание занимающихся на его присутствии не акцентируется. Тем не менее, еще в 1972 году известный гистолог А.Н. Студитский выделил этот структурный элемент в составе саркомера. Для его описания он использовал следующее образное сравнение: «На поперечных срезах в миофибриллах открывается картина взаимного расположения филамент, гексогональная упаковка, напоминающая связку карандашей, повернутую концами к зрителю» [6, С. 217]. Из этого образного сравнения следует, что А.Н. Студитский [6] сравнивает этот структурный элемент с карандашом, а саркомер, в свою очередь, представляет связку таких «карандашей».

В научных исследованиях структурный элемент, из которого состоят саркомеры, назван *акто-миозиновым комплексом* [3]. Однако, как известно, этот комплекс составляют молекулы не только актина и миозина, но и большого количества других белков: тропомиозина, тропонина, титина, небулина, дистрофина и др. [1, 5]. Поэтому данное название не полно отражает состав этого комплекса, а также не дает представления о его структуре. В связи с этим нами предлагается вместо термина «акто-миозиновый комплекс» ввести новый термин – «СОТ».

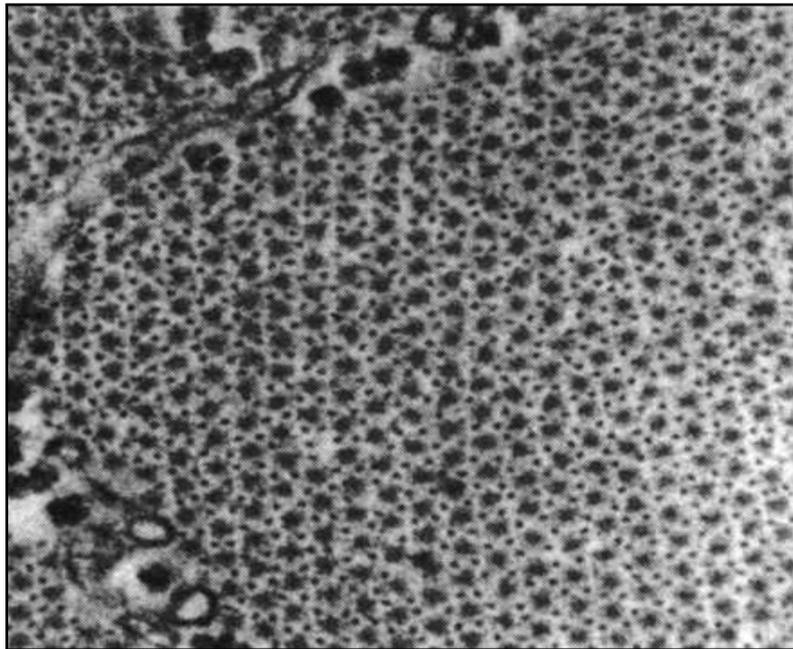


Рис. 1. Решетчатая структура филаментов актина и миозина (Н.Е. Huxley, 1972)

*Сот* – структурная единица саркомера, в состав которой входит один толстый и 12 тонких филаментов, шесть из которых прикреплены к Z-дису с одной стороны от толстого филамента, а другие шесть – с другой стороны от толстого филамента (рис. 2).

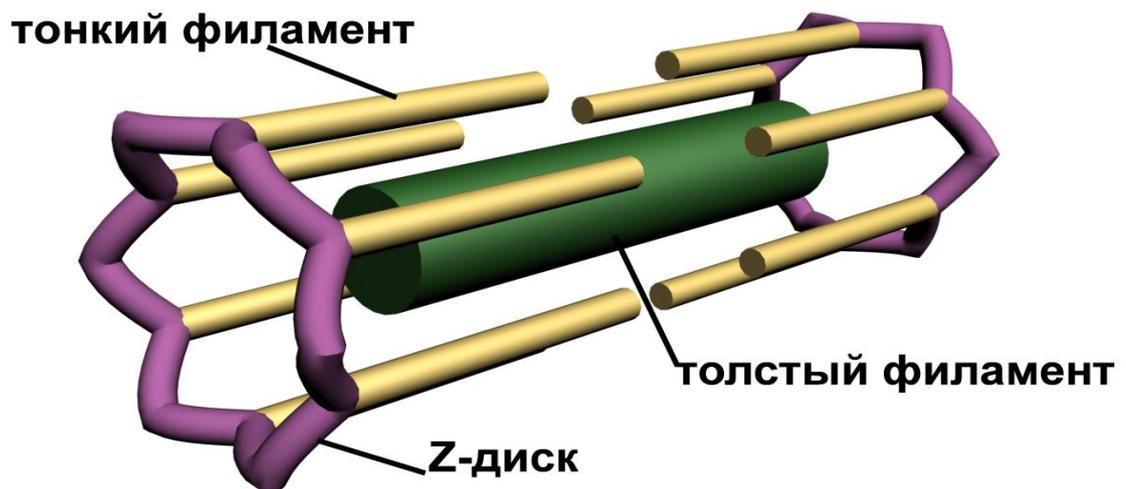


Рис. 2. Схема строения сота. Толстый филамент, подобно грифелю карандаша расположен в середине, на ребрах карандаша расположены тонкие филаменты. Шесть филаментов прикреплены к Z-дису с одной стороны от толстого филамента, а другие шесть – с другой стороны. Часть Z- диска показана схематично. Не показано прикрепление толстого филамента к Z- диску при помощи белка титина

Длина сота равна длине саркомера, так как длина сота ограничена с двух сторон Z-дискон. На рис. 2 представлены три основные элемента, входящих в

состав сота: один толстый филамент и шесть тонких филаментов, расположенных справа и слева от толстого филамента, а также часть Z – диска, к которому прикреплены тонкие филаменты. Следует отметить, что состав и строение этого элемента значительно сложнее. Данная схема предназначена для того, чтобы выделить этот структурный элемент в составе саркомера. Предложение использовать термин «сот» связано с аналогиями, которые вызывает данная пространственная структура. Поперечный срез саркомера в месте, где видны только толстые филаменты, очень похож на соты, в которых пчелы хранят мед (рис. 3). В 2000 году математик Томас Хелс [8] доказал, что шестиугольники, лежащие в основе пчелиных сот, лучше других геометрических фигур подходят для максимального использования пространства, при этом используется минимум строительного материала (воска). По-видимому, это свойство гексагональной структуры сотов также используется и при «строительстве» саркомеров.

Следует отметить, что аналогия с пчелиными сотами дала название сотовой связи, которая в настоящее время используется во всем мире. В этом случае приемник сигнала (телефон) находится внутри комплекса из шести передающих сигнал антенн. И это очень схоже с поперечным срезом саркомера на уровне, где пересекаются толстый и тонкий филаменты (рис. 3).

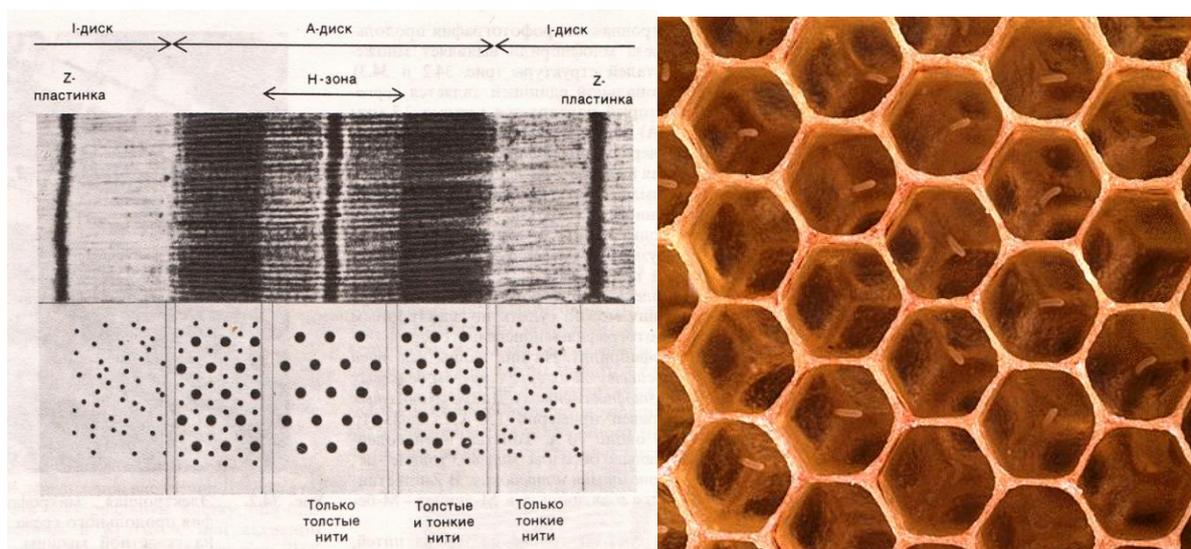


Рис. 3. Слева – микрофотография продольного разреза саркомера и схема поперечного разреза саркомера в его различных участках (Huxley, 1972); справа – пчелиные соты

## ОБСУЖДЕНИЕ

Теперь попытаемся ответить на вопрос: для чего нужно вводить новый термин?

Во-первых, как нам кажется, ввод нового термина акцентирует внимание изучающих структуру саркомера на этом элементе и помогает правильно понять состав и пространственную организацию саркомера.

Во-вторых, ввод нового термина позволяет дать количественную характеристику саркомерам различных мышц. Т.е. указывать не только площадь поперечного сечения саркомера, но и количество структурных единиц (сот), из которых они состоят.

В-третьих, ввод нового термина и акцентирование внимания на этой структурной единице позволяет выразить площадь поперечного сечения саркомера

( $S_{\text{сарк}}$ ) через два параметра: площадь поперечного сечения сота ( $S_{\text{сот}}$ ) и количества сот ( $n_{\text{сот}}$ ) в саркомере:  $S_{\text{сарк}} = S_{\text{сот}} \cdot n_{\text{сот}}$ . Объем саркомера также можно выразить, используя введенные обозначения:  $V_{\text{сарк}} = S_{\text{сот}} \cdot n_{\text{сот}} \cdot l_{\text{сот}}$ , где  $l_{\text{сот}}$  – длина сота (саркомера).

В-четвертых, количественно оценить влияние различных видов физической нагрузки на характеристики саркомера и параметры, определяющие площадь его поперечного сечения. К сожалению, в учебных пособиях, посвященных адаптации скелетных мышц к воздействию различных факторов, дается качественная характеристика воздействия различных видов физической нагрузки на параметры саркомера. Установлено, что силовая тренировка не изменяет расстояния между толстым и тонким филаментами [10], т.е. не влияет на площадь поперечного сечения сота ( $S_{\text{сот}}$ ); в то же время под воздействием этого вида тренировки количество ( $n_{\text{сот}}$ ) структурных компонентов саркомера увеличивается [10, 11]. При этом, как указывает Е.К. Жуков [3], эти элементы добавляются к внешней поверхности саркомера. Следствием этого является возрастание объема саркомера, миофибриллы и мышцы в целом. Этот процесс является одним из видов проявления миофибриллярной гипертрофии скелетных мышц.

Нам кажется, что привлечение внимания исследователей к этому структурному элементу саркомера позволило бы дать количественную, а не качественную оценку изменениям, происходящим в саркомере под воздействием физической нагрузки, тем более, что современные методы исследования (биопсия с последующим гистологическим анализом) позволяют легко решить эту задачу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В.Л. Цитология и общая гистология. – СПб.: СОТИС, 1998. – 520 с.
2. Гистология: учеб. для мед. вузов / под ред. Э.Г. Улумбекова, Ю.А. Челышевой. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002. – 672 с.
3. Жуков Е.К. Развитие сократительной функции мышц двигательного аппарата. – Л.: Наука, 1974. – С. 35-48.
4. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии): учеб. для ин-тов физ. культ. – изд. 5-е перераб. и доп. / под ред. Б.А. Никитюка, А.А. Гладышевой, Ф.В. Судзиловского. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 544 с.
5. МакКомас А. Дж. Скелетные мышцы. – Киев: Олимпийская литература, 2001. – 408 с.
6. Студитский А.Н. Мышечная ткань // Гистология / под ред В.Г. Елисеева, Ю.И. Афанасьева, Ю.Н. Копаева, Н.А. Юриной. – М.: Медицина, 1972. – С. 210-223.
7. Ткачук М.Г., Степаник И.А. Анатомия: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Советский спорт, 2010. – 392 с.
8. Hales T.C. "Cannonballs and Honeycombs" // Notices of the AMS. – Vol. 47. – No. 4. – P. 440–449.
9. Huxley H.E. Molecular basis of contraction in cross-striated muscles // The structure and function of muscle / ed. G.H. Born. – New-York: Academic Press., 1972. – P. 302-387.
10. 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.
11. Zatsiorsky V.M., Kramer V.M. Science and Practice of Strength Training. – Human Kinetics, 2006. – 251 P.