

УДК 612.741

Галяутдинова Айсылу Фанилевна,

студент

6 курс, факультет «медико-профилактический»

ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет

им. академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения РФ,

Россия, г. Пермь

Пономарева Дарья Николаевна,

студент

6 курс, факультет «медико-профилактический»

ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет

им. академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения РФ,

Россия, г. Пермь

Тимшина Дарья Игоревна,

студент

6 курс, факультет «медико-профилактический»

ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет

им. академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения РФ,

Россия, г. Пермь

**СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О МЕХАНИЗМАХ
МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ И РАССЛАБЛЕНИЯ
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

Аннотация: Мышцы позволяют не только менять положения тела в пространстве, но и выполнять любые движения – от таких простейших, как моргание или улыбка, до тонких и энергичных, какие мы наблюдаем у ювелиров или спортсменов. Это происходит благодаря способности мышечных тканей сокращаться. Структурно-функциональной единицей

сокращения является саркомер, который состоит из протофибрилл, основными из которых являются актин, миозин, тропонин и тропомиозин.

Ключевые слова: мышцы, сокращение, расслабление, биомеханика, миофибриллы.

Abstract: *Muscles allow not only to change the position of the body in space, but also to perform any movement – from such simple as blinking or smiling, to subtle and energetic, such as we observe in jewelers or athletes. This is due to the ability of muscle tissues to contract. The structural and functional unit of contraction is the sarcomere, which consists of protofibrils, the main of which are actin, myosin, troponin and tropomyosin.*

Key words: *muscles, contraction, relaxation, biomechanics, myofibrils.*

Введение

Двигательная деятельность человека, составляющая основу жизни и индивидуального развития в процессе адаптации и взаимодействия с окружающей средой, представляет собой сложное сочетание тончайших координационных соотношений в работе различных органов и систем организма [1].

Мышечное сокращение — реакция мышечных клеток на воздействие нейромедиатора, реже гормона, проявляющаяся в уменьшении длины клетки. Это жизненно важная функция организма, связанная с оборонительными, дыхательными, пищевыми, половыми, выделительными и другими физиологическими процессами. Изучение физиологии мышечной системы, в частности механизмов мышечных сокращений, началось еще в 18 в. В 1792 году Луиджи Гальвани в своем исследовании показал, что электричество может вызвать сокращение мышц. Однако, даже в настоящее время, в век информационных технологий, природа работы мышц до конца так и не изучена [2].

Цель: изучить современные представления о механизмах мышечного сокращения.

Методы и материалы. Библиографический метод. Используются базы данных: PubMed, eLIBRARY.

Результаты и обсуждения.

В состав молекулы миозина входят шесть полипептидных цепей: две тяжелые цепи и четыре легкие. Две тяжелые цепи спирально закручиваются вокруг друг друга, формируя двойную спираль, которую называют миозиновым хвостом. С одного конца обе цепи изгибаются в противоположных направлениях, формируя глобулярную полипептидную структуру, называемую миозиновой головкой. Таким образом, на одном конце двойной спирали молекулы миозина образуются 2 свободные головки; 4 легкие цепи также включены в состав миозиновой головки (по 2 в каждой). Они помогают регулировать функцию головки во время мышечного сокращения.

Актиновая нить состоит из трех белковых компонентов: актина, тропомиозина и тропонина.

На молекуле G-актина есть сайты связывания тропомиозина, тропонина и миозиновой головки. Кроме того, молекула G-актина имеет две пары комплементарных сайтов прикрепления соседних молекул G-актина. Благодаря этим центрам связывания в присутствии ионов магния (Mg^{2+}) глобулы G-актина при достаточной их концентрации самопроизвольно объединяются в фибриллы (происходит полимеризация G-актина). В результате образуется фибриллярный актин (F-актин). Контакты между глобулами G-актина обеспечиваются гидрофобными и электростатическими взаимодействиями.

При такой спонтанной полимеризации актина на образовавшейся нити один из ее концов быстро связывается с G-актином, который называется плюсоконец, и поэтому растет быстрее, чем противоположный, так называемый,

минус-конец. В результате возникает суперспираль, образованная молекулами G-актина, подобно бусинкам в ожерелье из двух ниток, закрученных одна вокруг другой.

Теорию мышечного сокращения разрабатывали в основном на примере поперечнополосатого мускульного волокна, которое показывает очень строгую внутреннюю организацию. Сократительной единицей здесь является саркомер. Он представляет собой трёхмерную решётку, составленную толстыми миозиновыми и тонкими актиновыми филаментами, тянущимися параллельно друг другу. Переднюю и заднюю стенки саркомера образуют Z-диски, на которых крепятся актиновые миофиламенты соседних саркомеров [3]. За последние 50 лет было разработано множество кинетических моделей мышечного сокращения, увязывающих в единую схему механические и биохимические процессы в цикле поперечных мостиков [8].

Надо признать, что современные дискуссии по поводу сокращения поперечнополосатых мышц касаются прежде всего способа работы миозиновых моторов, основ теории они не захватывают. Важным обоснованием теории поперечных мостиков выступили прямые наблюдения, показавшие, что эти мостики могут находиться под разным углом к актиновым филаментам. Однако Martin-Fernandez et al. (1994) обнаружили, что поперечные мостики не всегда меняют свою ориентацию при сокращении мышц [4]. Прямых данных, свидетельствующих о возможности присоединения миозиновых головок к актиновым нитям под углом 90° , в настоящее время не имеется [5].

В процессе взаимодействия миозиновых и актиновых нитей в присутствии Ca^{2+} важную роль играет богатое энергией соединение — АТФ. Непосредственно мышечное сокращение происходит за счет энергии АТФ, однако запасы АТФ в миоцитах невелики и расходуются в течение 1–2 секунд, в это время включаются резервные источники АТФ: креатинкиназная и аденилаткиназная реакции, использующие креатинфосфат и АДФ.

Взаимодействие миозина и актина, возможное при связывании Ca^{2+} тропонином, активирует АТФ-азу миозина, последняя расщепляет АТФ, а это приводит к разъединению миозина и актина. В присутствии Ca^{2+} и АТФ в миоплазме этот процесс многократно повторяется: мостики повторно образуются и расходятся, в результате чего актиновые нити «скользят» и мышечное волокно укорачивается. Сами актиновые и миозиновые филаменты не изменяют своей длины как при укорочении, так и при удлинении саркомера.

Поскольку, как считают, АТФ поставляет энергию для сокращения, напрашивается вывод, что удаление АТФ вызовет расслабление мышцы. Но оказалось, этого не происходит. Мышца становится напряженной и не поддается растяжению при исчерпании запасов АТФ. Это состояние известно как трупное окоченение, и обусловлено оно тем, что поперечные мостики не могут отделиться от актиновых филаментов. В нормальных условиях, когда мышца обеспечена АТФ, мостики легко отделяются [6].

Эксперименты, проведенные на станции ID02 Европейского источника синхротронного излучения (Гренобль, Франция) показали, что в развитии силы максимального изометрического (при постоянной деформации) сокращения принимает участие около 40% общего числа головок молекул, каждая из которых развивает при температуре, близкой к физиологической, силу примерно в 6 пиконьютон. Показано, что в ходе укорочения мышцы происходит поворот «шейных» участков миозиновых молекул относительно глобулярных «головок», прочно связанных с актином, а в ответ на растяжение мышцы под действием внешней силы число присоединенных к актину головок возрастает, но характер их связи с актином меняется с прочной, стереоспецифической на слабую, не стереоспецифическую [7].

Сила, развиваемая сокращающейся мышцей, возникает в результате циклического взаимодействия миозиновых поперечных мостиков с актиновой нитью. Кинетическая схема такого взаимодействия состоит из нескольких присоединенных и нескольких отсоединенных состояний миозиновой головки

и функций перехода из одного состояния в другое, зависящих от микроскопических перемещений мостика и от биохимических и термодинамических параметров: концентраций субстрата и продуктов реакции гидролиза АТФ и от температуры [8].

Рассмотрим последовательность этапов запуска и осуществления мышечного сокращения на основе современной теории электромагнитного мышечного сокращения:

Механизм сокращения начинается с электромагнитной основы - потенциала действия, который распространяется вдоль нервного двигательного волокна до его окончаний на мышечных волокнах. Это первый этап.

Вторым этапом является, секреция ацетилхолина нервными окончаниями. Секреция нейромедиатора осуществляется в небольшом количестве каждым нервным окончанием.

Третий этап – действие нейромедиатора ацетилхолина на определенную область сарколеммы, и открытие многочисленных управляемых ацетилхолином каналов. Эти каналы проходят сквозь белковые молекулы, встроенные в мембрану.

Четвертый этап – диффузия ионов натрия внутрь мышечного волокна, в результате чего возникает потенциал действия на мембране сарколеммы.

На пятом и шестом этапах, потенциал действия, проходящий вдоль мембраны мышечного волокна, деполяризует сарколемму. Причем, большая часть возникающего при этом электричества течет через центр мышечного волокна. Это инициирует выделение большого количества ионов кальция из саркоплазматического ретикулума.

Седьмой этап – активация ионами кальция сил, вызывающих скольжение актиновых и миозиновых нитей относительно друг друга.

Далее, восьмой этап, на котором ионы кальция снова будут закачены в саркоплазматический ретикулум с помощью кальциевого насоса. Ионы

кальция сохраняются в ретикулуме до прихода нового потенциала действия. Мышечное сокращение прекращается при удалении ионов кальция от миофиламентов [9].

Заключение

Таким образом, современной теорией мышечного сокращения является электромагнитная. Она полностью совпадает со всеми выявленными многими авторами характеристиками сокращения мышц к настоящему времени.

В настоящее время выделяют несколько последовательных этапов запуска и осуществления мышечного сокращения. Несмотря на существование на сегодняшний день стройной теории, объясняющей механизм мышечного сокращения, вопрос нельзя считать закрытым. Имеют место быть еще несколько вариантов трактовки этого процесса, однако ни одна из них не является однозначно доказанной [10].

Использованные источники:

1. Современные представления о структурно - функциональной организации нервно-мышечной системы и механизмов сокращения и расслабления скелетных мышц / Ю.П. Денисенко, Ю.В. Высочин, Л.Г. Яценко // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта, №4(21) 2011, стр. 39-49.
2. К вопросу о музыкальности мышечных сокращений / Померанцев А.А., Ерахтина А.С. // Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского (Липецк), 2018, стр. 217-222
3. Мышечное сокращение: новый взгляд на старую проблему / В.Г. Борхвардт // Русский орнитологический журнал, 9 февраля 2016, Том 25, Экспресс-выпуск 1250: 561-573.
4. Борхвардт В.Г. 2016. Механические преобразования живых полостных тел. СПб.: 1-140.

5. Электромагнитная теория мышечного сокращения / А.И. Завьялов // Вестник Красноярского Государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, 2015, №4, стр. 99-105.
6. АТФ – «Энерго-смазочный» элемент мышечного сокращения / Завьялов А.И. // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2011, Т. 1. № 3. С. 111-117
7. Рентгенодифракционное исследование наномеханики мышечного сокращения / А.К. Цатурян, Н.А. Кубасова, С.Ю. Бершицкий, М.А. Ференци // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (2), с. 549–550.
8. Кинетическая модель мышечного сокращения: моделирование стационарных сокращений / Е.Н. Шворина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (2), с.562–563.
9. Мышечное сокращение. Характеристика и механизм мышечного сокращения // Физиология. Физиология человека [Электронный ресурс]. URL: <http://meduniver.com/Medical/Physiology/516.html> (дата обращения: 02.10.2021).
10. Современная трактовка классической теории мышечного сокращения / Королева В.И., Рыбалко Я.В., Никулин Е.А., Ильин М.Ю. // Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 2018, №1, стр. 28-31.