

6.6. Возникновение спирального источника волны возбуждения (ревербератора) в некоторой зоне миокарда вызывает в окрестности этой зоны:

1. увеличение частоты сокращений
2. уменьшение частоты сокращений
3. не изменяет частоту сокращений
4. прекращает сокращения зоны

6.7. Вероятность возникновения множества спиральных источников волн возбуждения в сердце (фибрилляция) возрастает, если:

- а. увеличивается сократимость миокарда
 - б. появляются зоны неоднородности по рефрактерности
 - в. появляются зоны неоднородности по скорости проведения волн
 - г. появляются дефекты в работе клапанов
 - д. возникают частые ранние импульсы возбуждения
1. абв 2. вгд 3. бвд 4. адг

ГЛАВА 7. БИОФИЗИКА МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

Мышечная активность – это одно из общих свойств высокоразвитых живых организмов. Вся жизнедеятельность человека связана с мышечной активностью. Независимо от назначения, особенностей строения и способов регуляции принцип работы различных мышц организма одинаков.

Мышечная клетка отличается от других возбудимых клеток таким специфическим свойством, как сократимость, то есть способность генерировать механическое напряжение и укорачиваться. Кроме того, мышцы являются генератором тепла, причем не только при мышечной работе, холодовой дрожи, но и в режиме нетонического термогенеза.

Мышечная активность в процессе жизнедеятельности обеспечивает работы отдельных органов и целых систем: работу опорно-двигательного аппарата, легких, сосудистую активность, желудочно-кишечного тракта, сократительную способность сердца. Нарушение работы мышц (например, определяя-

ющих функционирование легких, сердца) может приводить к патологиям, а ее прекращение – даже к летальному исходу.

§ 25. Структура поперечно-полосатой мышцы.

Модель скользящих нитей

Мышечная ткань представляет собой совокупность мышечных клеток (волокон), внеклеточного вещества (коллаген, эластин и др.) и густой сети нервных волокон и кровеносных сосудов. Мышцы по строению делятся на: *гладкие* – мышцы кишечника, стенки сосудов, и *поперечно-полосатые* – скелетные, мышцы сердца. Независимо от строения все они имеют близкие механические свойства, одинаковый механизм активации и близкий химический состав.

Поперечно-полосатая структура мышечных волокон может наблюдаться под обычным микроскопом. Отдельное мышечное волокно имеет диаметр 20 – 80 мкм и окружено плазматической мембраной толщиной 10 нм. Каждое отдельное волокно – это сильно вытянутая клетка. Длина отдельных волокон (клеток) может существенно варьироваться, в зависимости от вида мышцы, от сотен микрон до нескольких сантиметров. Внутри волокна, кроме известных органелл (ядро, ядрышко, митохондрии, аппарат Гольджи и др.), находятся сократительный аппарат клетки, состоящий из 1000 – 2000 параллельно расположенных миофибрилл диаметром 1 – 2 мкм, а также клеточные органеллы: саркоплазматический ретикулум и система поперечных трубочек – Т-система.

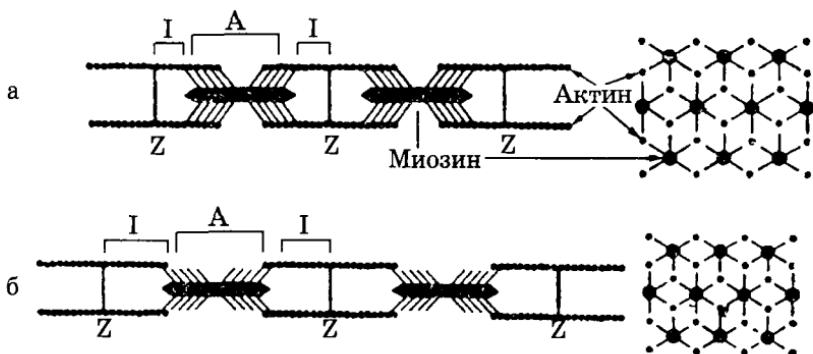


Рис. 7.1. Схематическое изображение миофибриллы мышечного волокна: а – состояние покоя, б – растяжение (подробности в тексте).

Справа – схема расположения актина и миозина на поперечном срезе

В миофибриллах различают (рис. 7.1): А-зону – темные полосы, которые в поляризованном свете дают двойное лучепреломление, то есть обладают свойством анизотропии (отсюда и название: А-зона), I-зону – светлые полосы, не дающие двойного лучепреломления, то есть изотропные (отсюда название: I-зона). В области I-зоны проходит темная узкая полоса – Z-диск (от нем. zwischenscheibe – промежуточный диск). Промежуток между двумя Z-дисками называется саркомером и является элементарной сократительной единицей мышечной клетки.

Саркомер – это упорядоченная система толстых и тонких нитей, расположенных гексагонально в поперечном сечении. Толстая нить имеет толщину ≈ 12 нм и длину $\approx 1,5$ мкм и состоит из белка миозина. Тонкая нить имеет диаметр 8 нм, длину 1 мкм и состоит из белка актина, прикрепленного одним концом к Z-диску.

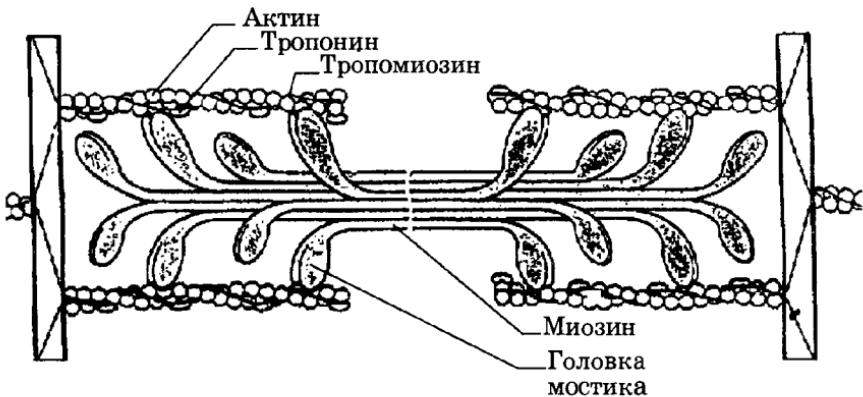


Рис. 7.2. Микроструктура саркомера

Активная нить состоит из двух закрученных один вокруг другого мономеров актина толщиной по 5 нм (рис. 7.2). Эта структура похожа на две нитки бус, скрученные по 14 бусин в витке. В цепях актина регулярно примерно через 40 нм встроены молекулы тропонина, а сама цепь охватывает нить тропомиозина. При сокращении мышцы тонкие нити вдвигаются между толстыми. Происходит относительное скольжение нитей без изменения их длины. Этот процесс обусловлен взаимодействием особых выступов миозина – поперечных мостиков с активными центрами, расположенными на актине. Мостики отходят от толстой нити периодично на расстоянии 14,5 нм друг от друга.

В расслабленном состоянии миофибрилл молекулы тропомиозина блокируют прикрепление поперечных мостиков к ак-

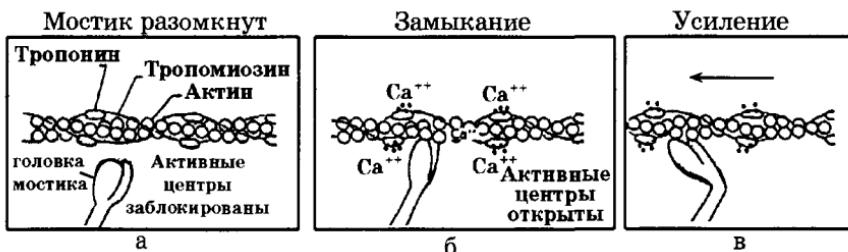


Рис. 7.3. Процесс активации мостика
и генерации усилия в саркомере

тиновым цепям (рис. 7.3, а). Ионы Ca^{2+} активируют мостики и открывают участки их прикрепления к актину (рис. 7.3, б). В результате мостики миозина прикрепляются к актиновым нитям, расщепляются молекулы АТФ и изменяется конформация мостиков: их головки поворачиваются внутрь саркомера (рис. 7.3, в). Это приводит к генерации силы, скольжению актина относительно толстой нити миозина к центру саркомера, что вызывает укорочение мышцы. После окончания активации мостик размыкается и саркомер возвращается в исходное состояние. При укорочении объем саркомера практически не меняется, а следовательно, он становится толще, что и подтверждается на снимках поперечного сечения мышц с помощью электронной микроскопии. Каждый цикл замыкание-размыкание сопровождается расщеплением одной молекулы АТФ. Таким образом, актин-миозиновый комплекс является механохимическим преобразователем энергии АТФ. Рассмотренная структура и последовательность процессов называется моделью скользящих нитей.

Впервые скольжение нитей в саркомере было обнаружено английским ученым Х.Хаксли. Он же сформулировал модель скользящих нитей. Существенный вклад в разработку теории скользящих нитей внес В.И. Дещеревский.

Представленная структурная модель скользящих нитей надежно подтверждена экспериментально и является опытным фактом, на котором основаны все современные теории мышечного сокращения.

Экспериментальные данные о микроструктуре мышц были изучены с помощью электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и метода дифракции синхротронного излучения.

Основные положения модели скользящих нитей:

1. Длины нитей актина и миозина в ходе сокращения не меняются.

2. Изменение длины саркомера при сокращении – результат относительного продольного смещения нитей актина и миозина.

3. Поперечные мостики, отходящие от миозина, могут присоединяться к комплементарным центрам актина.

4. Мостики прикрепляются к актину не одновременно.

5. Замкнувшиеся мостики подвергаются структурному переходу, при котором они развивают усилие, после чего происходит их размыкание.

6. Сокращение и расслабление мышцы состоит в нарастании и последующем уменьшении числа мостиков, совершающих цикл замыкание-размыкание.

7. Каждый цикл связан с гидролизом одной молекулы АТФ.

8. Акты замыкания-размыкания мостиков происходят не зависимо друг от друга.

На рис. 7.4 представлена зависимость максимального значения развиваемой силы от степени перекрытия актиновых и миозиновых нитей.

Возможность саркомера сократиться и развить усилие в большой степени зависит от начальных условий. Если саркомер изначально растянут (его длина 3,65 мкм), то мостики не перекрываются с актиновыми нитями и при стимуляции такого элемента усилие не формируется (стрелка 1 на рис. 7.4, а и фрагмент 1 на рис. 7.4, б). Если саркомер находится в рабочем начальном состоянии (размер саркомера 2,2 мкм), то при стимуляции он разовьет максимальную силу (стрелка 2, рис. 7.4, а и фрагмент 2, рис. 7.4, б). Если начальный размер саркомера слишком короток, генерация усилия уменьшается (стрелка и фрагмент 5).

§ 26. Биомеханика мышцы

Мышцы можно представить как сплошную среду, то есть среду, состоящую из большого числа элементов, взаимодействующих между собой без соударений и находящихся в поле внешних сил. Мышца одновременно обладает свойством упругости и вязкости, то есть является вязко-упругой средой. Для такой среды предполагаются справедливыми законы классической механики.

Фундаментальными понятиями механики сплошных сред являются деформация, напряжение, упругость, вязкость, а также энергия и температура.

а). Упругость – свойство тел менять размеры и форму под действием сил и самопроизвольно восстанавливать их при прекращении внешних