

**Тема лекции:**

# **МЫШЕЧНЫЕ ТКАНИ**

**Разработал старший преподаватель кафедры гистологии,  
цитологии и эмбриологии Окулова И.И.**

**Киров 2017 г.**

**Мышечные ткани** представляют собой группу тканей различного происхождения и строения, но объединенных способностью к сокращению.

# МЫШЕЧНЫЕ ТКАНИ

Это группа возбудимых тканей с выраженной сократительной функцией

Классификация	Эмбриональные источники развития
<b>А. Гладкие мышечные ткани</b>	<b>Зародышевая мезенхима:</b>
2. Сосудистый тип	- спланхномезенхима
3. Нейральный тип	- эктомезенхима
<b>Б. Поперечнополосатые мышечные ткани</b>	<b>Зародышевая мезодерма:</b>
1. Скелетная мышечная ткань (соматический тип)	- миотомы сомитов дорзальной мезодермы - - миоэпикардальные пластинки висцеральных листков спланхнотомов
1. Сердечная мышечная ткань (целомический тип)	

# ОБРАЗОВАНИЕ ДИФФЕРОНОВ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ В ЭМБРИОГЕНЕЗЕ

Типы дифферонов	Эмбриональный миогистогенез (пути формирования дифферонов)
Висцеральный и сосудистый	Висцеральный и париетальный листки спланхнотома → спланхно- мезенхима → СКМ* → миобласт → <b>гладкий миоцит</b> (структурно- функциональная единица гладкой мышечной ткани).
2. Нейральный	<b>Нейроэктодерма</b> → эктомезенхима → СКМ* → мионейробласт → <b>мионейроцит</b> (структурно-функциональная единица нейральной мышечной ткани)
3. Соматический (скелетный)	<b>Миотомы сомитов</b> → СКМ* → миобласты → миотубулы → миосателлитобласты → СКМ* → миосателлитоциты → <b>миосимпласты</b> <b>Миосимпласт + миосателлитоциты = мышечное волокно</b> (структурно-функциональная единица скелетной мышечной ткани)
4. Целомический (сердечный)	<b>Висцеральный листок спланхнотома</b> (миоэпикардимальные пластинки) → СКМ* → кардиомиобласт → <b>кардиомиоцит</b> (структурно-функциональная единица сердечной мышечной ткани)

**СКМ\* (стволовые клетки миогенеза) неидентичны между собой в различных миогенных дифферонах**

## ГЛАДКОМЫШЕЧНАЯ КЛЕТКА

**Морфо-функциональная единица гладкой мышечной ткани - ГМК.** Заострёнными концами ГМК вклиниваются между соседними клетками и образуют мышечные пучки, в свою очередь формирующие слои гладкой мускулатуры (рис. 7-26). В волокнистой соединительной ткани между миоцитами и мышечными пучками проходят нервы, кровеносные и лимфатические сосуды. Встречаются и единичные ГМК, например, в подэндотелиальном слое сосудов. **Форма ГМК** - вытянутая веретеновидная, часто отростчатая (рис. 7-27). Длина ГМК от 20 мкм до 1 мм (например, ГМК матки при беременности). Овальное ядро локализовано центрально. В саркоплазме у полюсов ядра расположены хорошо выраженный комплекс Гольджи, многочисленные митохондрии, свободные рибосомы, саркоплазматический ретикулум. Миофиламенты ориентированы вдоль продольной оси клетки. **Базальная мембрана, окружающая ГМК, содержит протеогликаны, коллагены типов III и V.** Компоненты базальной мембраны и эластин межклеточного вещества гладких мышц синтезируются как самими ГМК, так и фибробластами соединительной ткани.

# ГЛАДКИЕ МЫШЕЧНЫЕ ТКАНИ

(структурно-функциональная единица – гладкий миоцит)

## Структура гладкого миоцита

Форма - веретеновидная (реже звездчатая)

Размер - по длиннику от 20 до 500 мкм, в ширину от 5 до 15 мкм

- **Сарколемма** – наружная оболочка (**базальная мембрана + плазмолемма**):
  - базальная мембрана («наружный чехлик») – продукт белково-углеводной секреции миоцита - плазмолемма – цитомембрана с многочисленными микроинвагинациями в саркоплазму - кавеолами
- **Межклеточные контакты между миоцитами:** (десмосомы, нексусы)
- **В саркоплазме:** - ядро (эллипсоидное эухроматичное) в центре миоцита - органеллы общего значения (в т.ч. много МХ и рибосом).
  - **саркоплазматическая сеть** (модифицированная глЭПС)
  - **сократительные структуры** (пучки актиновых и миозиновых миофиламентов) на периферии миоцита формируют трехмерную сеть, крепятся между собой и к плазмолемме плотными тельцами
  - **включения** (миоглобин, гликоген и др.)

## Регенерация

### А. Механизмы

1. **Эндорепродукция** – внутриклеточное образование, обновление и восстановление структур (в т.ч. миофиламентов)
2. Синтез компонентов базальной мембраны
3. Пролиферация миоцитов (после их дедифференцировки)

### Б. Виды

#### 1. Физиологическая (постэмбриональный миогенез)

- Протекает постоянно
- Усиливается при повышении физиологической нагрузки на миоциты → рабочая гипертрофия и гиперплазия миоцитов (напр.: миоциты матки при беременности)

#### 2. Репаративная

- Возникает в неповрежденных миоцитах, окружающих очаг повреждения мышечной оболочки внутренних органов или сосудов → гипертрофия и гиперплазия миоцитов → замещение дефекта мышечной тканью
- Возникает в мышечных оболочках внутренних органов и сосудов над областью стеноза (непроходимости) → гипертрофия и гиперплазия миоцитов → локальное утолщение мышечной оболочки

# СТРУКТУРНО – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ГЛАДКОГО МИОЦИТА

## 1. Сократительный аппарат

- Представлен актиновыми и миозиновыми миофиламентами, способны к скольжению между собой
- Обеспечивает медленное длительное энергоемкое Са-зависимое сокращение ↔ расслабление миоцита («модель скользящих нитей»)

## 2. Аппарат внутриклеточного транспорта

- Представлен кавеолами (содержат ионы кальция) и саркоплазматической сетью (сообщающиеся между собой и с кавеолами мембранные каналы)
- Обеспечивает поступление – выведение кальция и его внутриклеточный транспорт для индукции процессов сокращения – расслабления миофиламентов

## 3. Опорный аппарат

- Представлен сарколеммой, цитоскелетом, плотными тельцами и межклеточными контактами миоцитов
- Обеспечивает формообразовательную, каркасную, локомоторную и интеграционную функции

## 4. Трофико-энергетический аппарат

- Представлен саркосомами (крупными МХ) и включениями гликогена, миоглобина, липидов
- Обеспечивает энергией мышечное сокращение и другие энергоемкие процессы, а также внутриклеточное депонирование и реализацию питательных веществ

## 5. Аппарат синтеза и структуризации и регенерации

- Представлен свободными рибосомами, ЭПС, кГ, лизосомами
- Обеспечивает процессы внутриклеточной регенерации (в т.ч. ресинтез и сборку сократительных и регуляторных белков миофиламентов, а также секрецию компонентов базальной мембраны)

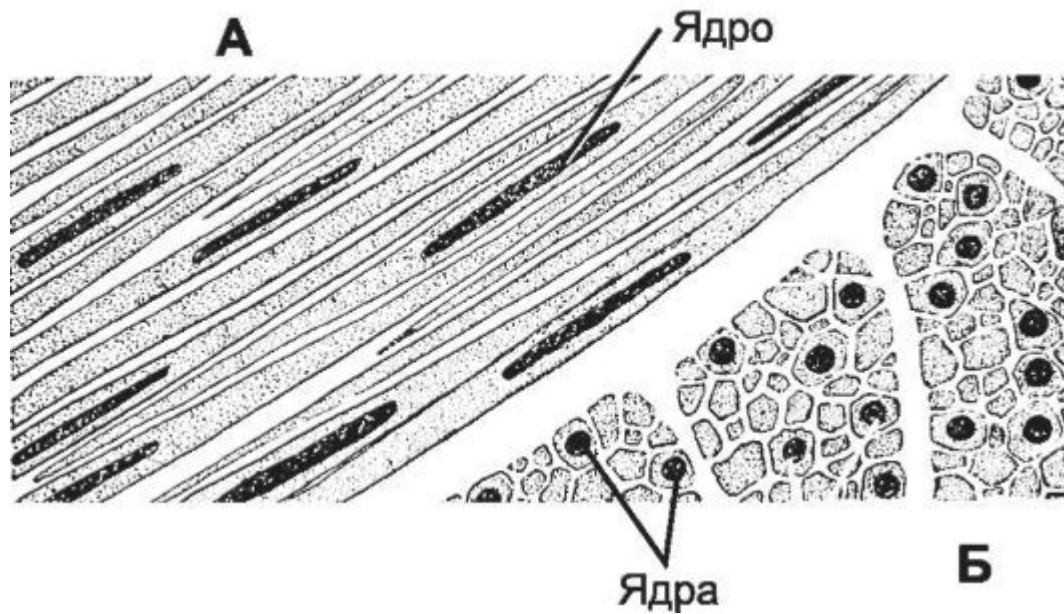
## 6. Нервный аппарат

- Представлен нервными волокнами, чувствительными и двигательными нервными окончаниями вегетативной нервной системы
- Обеспечивает инициацию и регуляцию непроизвольного сокращения гладких МИОЦИТОВ

# ГЛАДКАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ В СОСТАВЕ ОРГАНОВ

Локализация	Структурные особенности	Функциональное назначение
<p><b>В мышечных оболочках полостных органов</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Миоциты расположены слоями</li> <li>• Каждый миоцит окружен эндоми- зием (тонкая прослойка РВСТ, вплетенная в базальную мембрану)</li> <li>• Пучки миоцитов окружены перимизием (РВСТ + сосуды)</li> <li>• Миоциты расположены по</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изменение объемов внутренних полостей</li> <li>2. Перистальтическая и миксерная моторика</li> <li>3. Формообразование</li> <li>4. Поддержание мышечного тонуса</li> </ol>
<p><b>В мышечных оболочках сосудов</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Миоциты расположены по спирали</li> <li>• Эндомизий очень тонкий, перими- зий отсутствует</li> <li>• Имеется коллагеново-эластический каркас</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изменение величины просвета сосуда</li> <li>2. Регуляция кровяного давления в сосудах</li> <li>3. Гемо- и лимфодинамика</li> <li>4. Формообразование</li> <li>5. Поддержание мышечного тонуса</li> </ol>
<p><b>В радужной оболочке и цилиарном теле глаза</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Миоциты расположены пучками</li> <li>• Эндомизий и перимизий тонкие, содержат меланоциты и миопигментоциты</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сужение-расширение зрачка</li> <li>2. Изменение кривизны хрусталика</li> <li>3. Регуляция внутриглазного давления</li> </ol>
<p><b>Небольшими группами или одиночными миоцитами в различных органах</b></p>	<p>см. частную гистологию</p>	<p>см. частную гистологию</p>





**Рис. 7-26.** Гладкая мышца в продольном (А) и поперечном (Б) разрезе. На поперечном срезе миофиламенты видны как точки в цитоплазме гладкомышечных клеток.

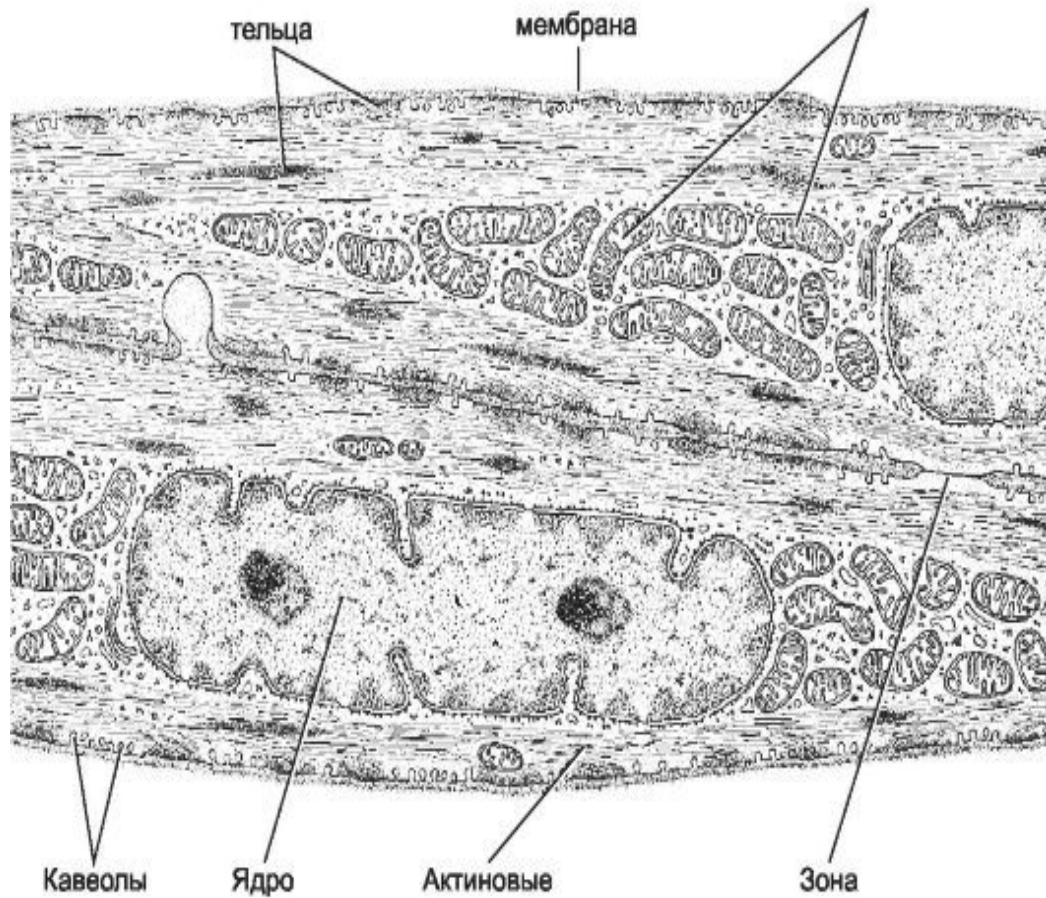
# Сократительный аппарат

Депо  $\text{Ca}^{2+}$  - совокупность длинных узких трубочек (саркоплазматический ретикулум) и находящихся под сарколеммой многочисленных мелких пузырьков (кавеолы).

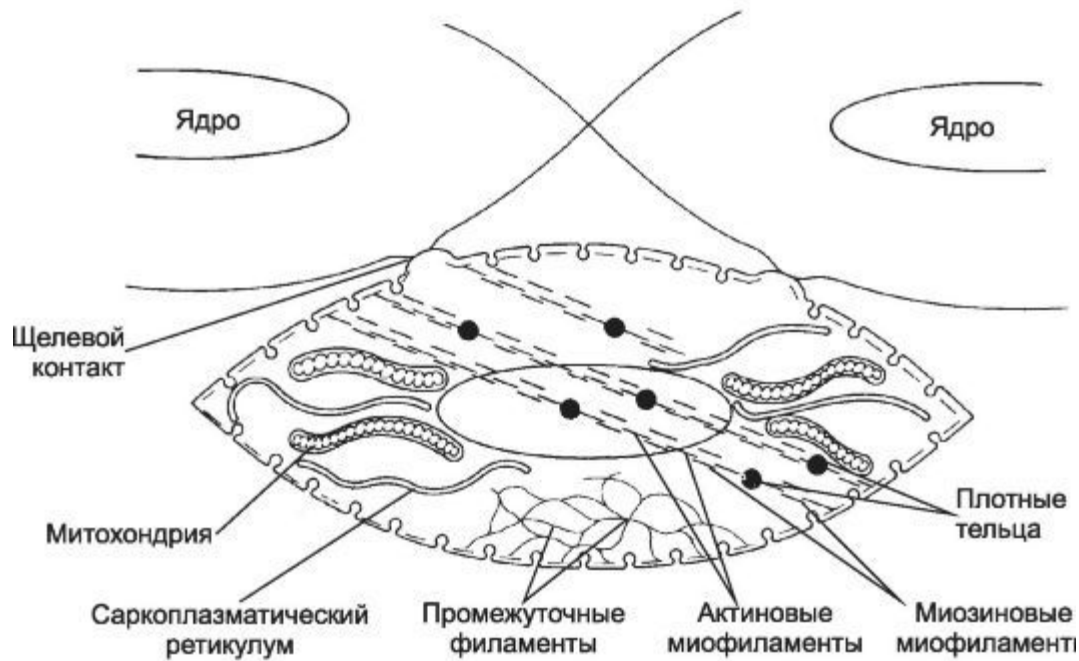
**$\text{Ca}^{2+}$ -АТФаза постоянно откачивает  $\text{Ca}^{2+}$  из цитоплазмы ГМК в цистерны саркоплазматического ретикулума.**

Через  $\text{Ca}^{2+}$ -каналы кальциевых депо ионы  $\text{Ca}^{2+}$  поступают в цитоплазму ГМК. Активация  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов происходит при изменении мембранного потенциала и при помощи рецепторов рианодина и инозитолтрифосфата.

**Плотные тельца (рис. 7-28).** В саркоплазме и на внутренней стороне плазмолеммы находятся плотные тельца - аналог Z-линий поперечнополосатой мышечной ткани. **Плотные тельца содержат  $\alpha$ -актинин** и служат для прикрепления тонких (актиновых) нитей. **Щелевые контакты связывают соседние ГМК** и необходимы для проведения возбуждения (ионный ток), запускающего сокращение ГМК.



**Рис. 7-27. Гладкомышечная клетка.** Центральное положение в ГМК занимает крупное ядро. У полюсов ядра находятся митохондрии, эндоплазматический ретикулум и комплекс Гольджи. Актиновые миофиламенты, ориентированные вдоль продольной оси клетки, прикреплены к плотным тельцам. **Миоциты формируют между собой щелевые контакты.**



**Рис. 7-28. Сократительный аппарат гладкомышечной клетки.** Плотные тельца содержат  $\alpha$ -актинин, это аналоги Z-линий поперечно-полосатой мышцы. В саркоплазме они связаны сетью промежуточных филаментов, в местах их прикрепления к плазматической мембране присутствует винкулин. Актиновые нити прикреплены к плотным тельцам, миозиновые миофиламенты формируются при сокращении. [17]

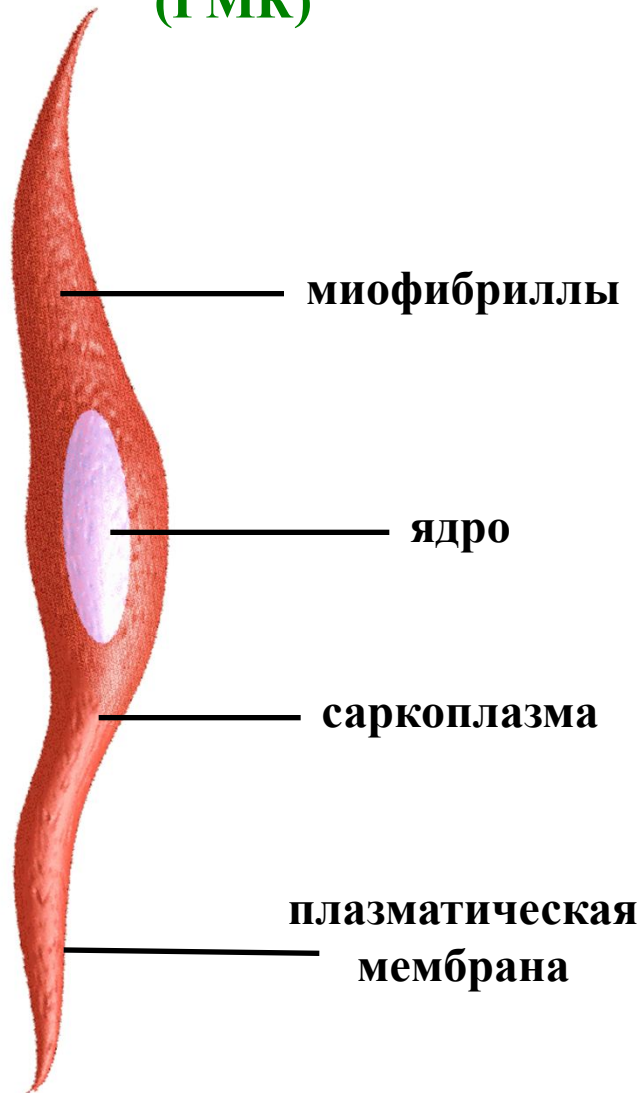
**Плотные тельца (рис. 7-28).** В саркоплазме и на внутренней стороне плазмолеммы находятся плотные тельца - аналог Z-линий поперечнополосатой мышечной ткани. **Плотные тельца содержат  $\alpha$ -актинин** и служат для прикрепления тонких (актиновых) нитей. **Щелевые контакты связывают соседние ГМК** и необходимы для проведения возбуждения (ионный ток), запуская сокращение ГМК.

# Структурная единица – гладкий миоцит

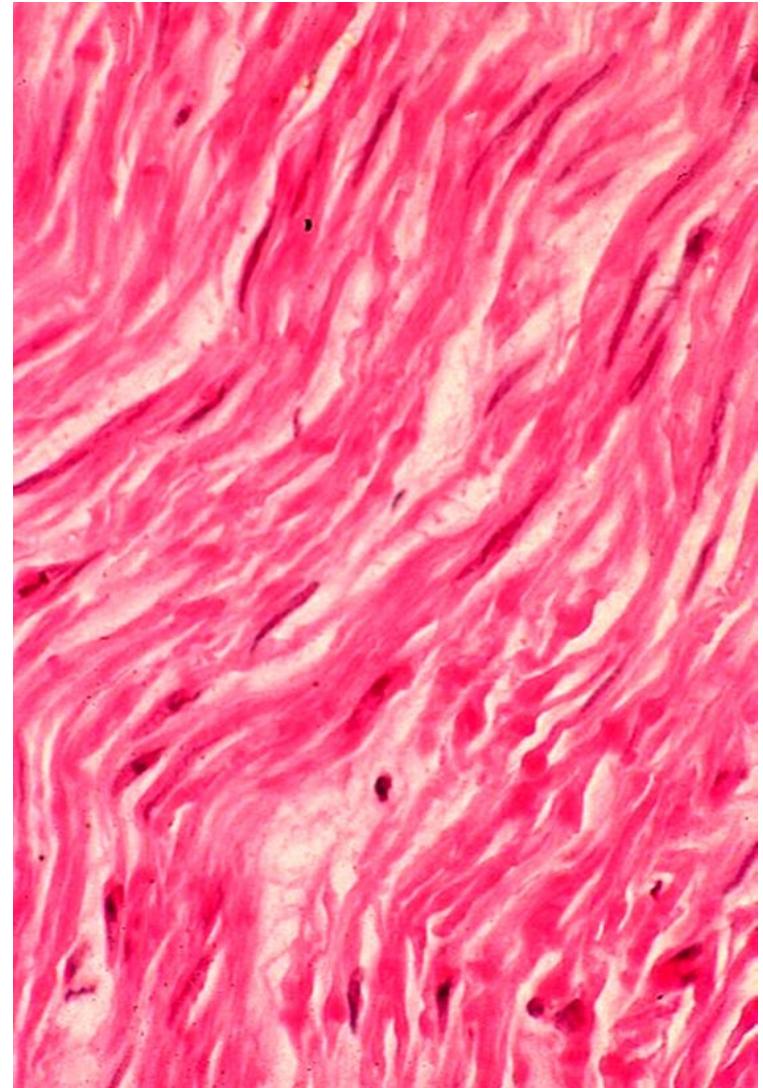


# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГЛАДКОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

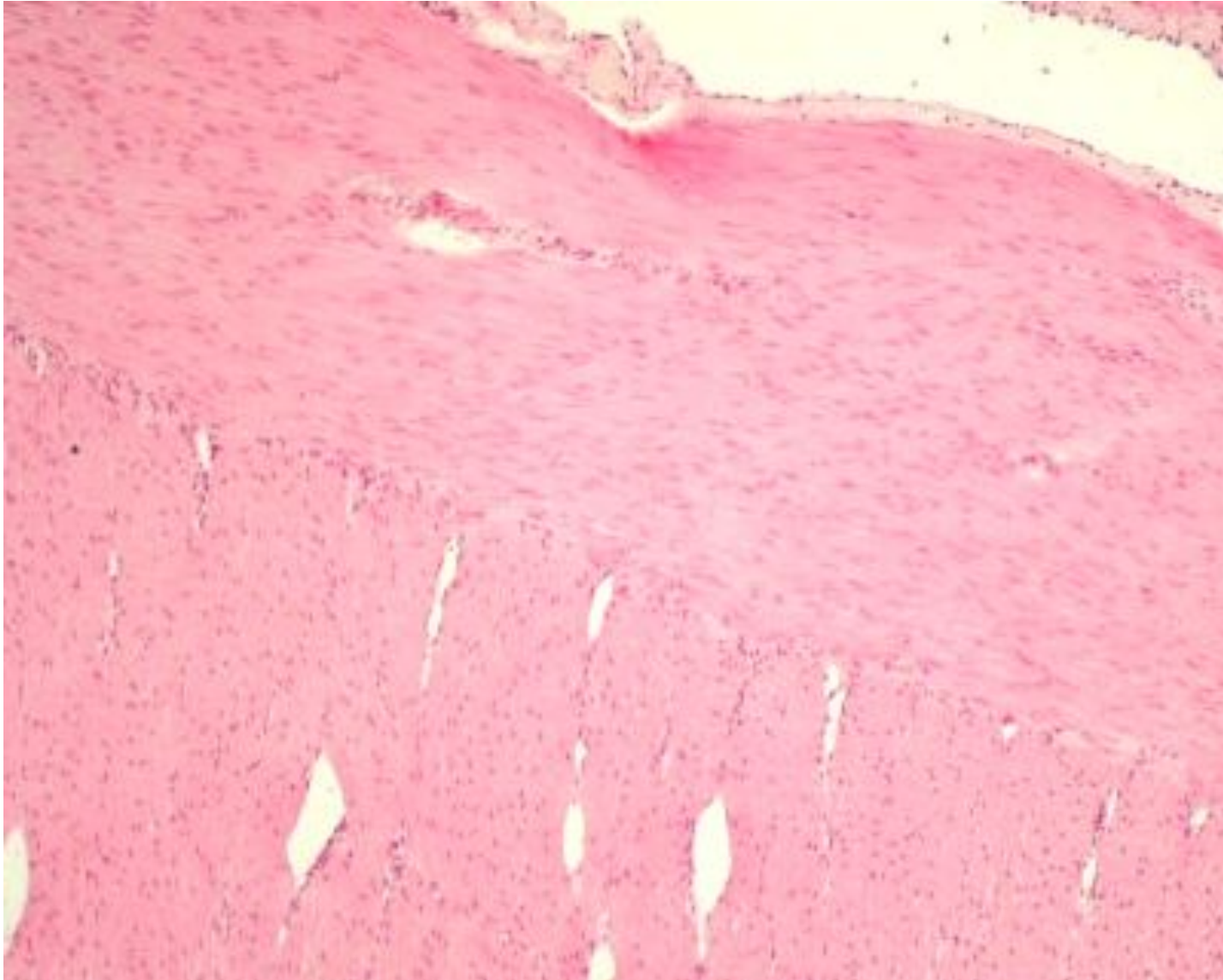
Схема строения гладкомышечной клетки (ГМК)



Микрофотография ткани



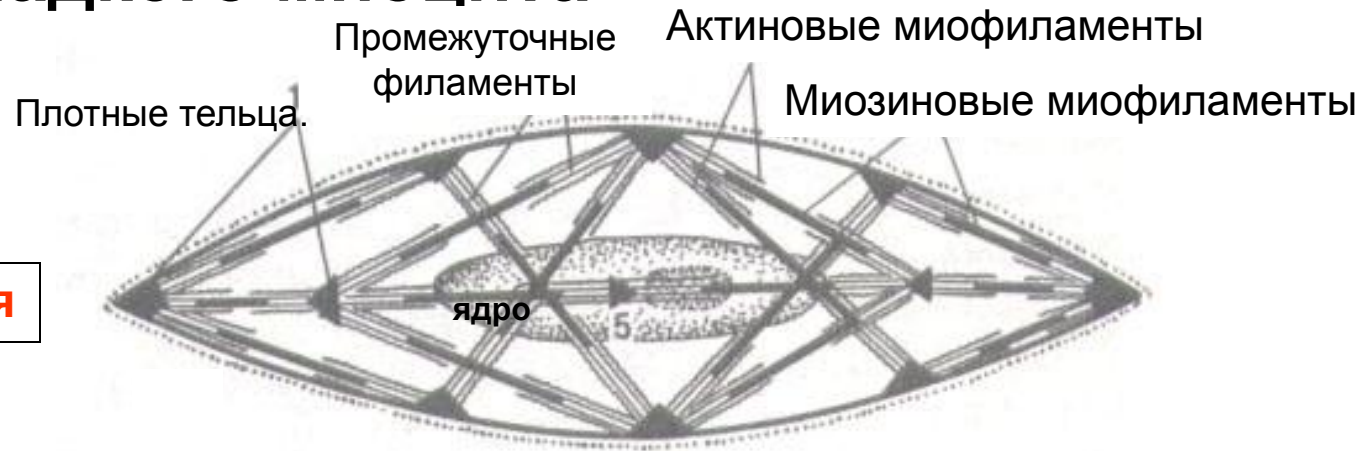
# Гладкая мышечная ткань



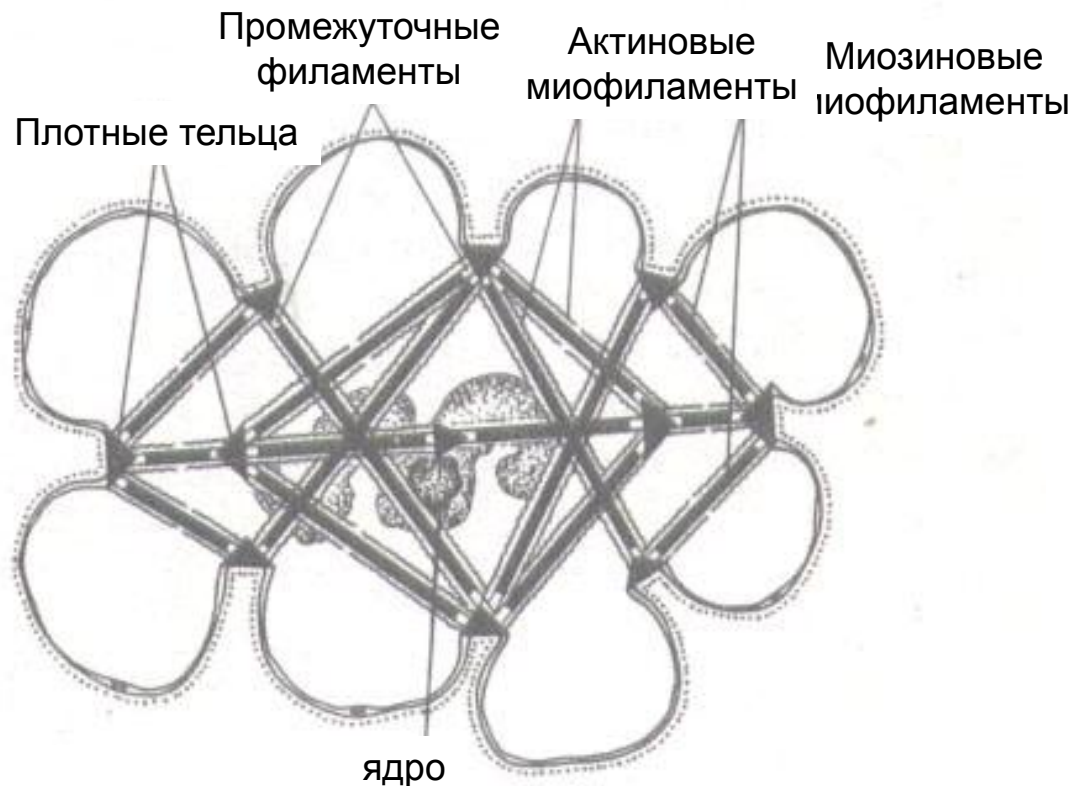
продольный срез

поперечный  
срез

# Строение гладкого миоцита



**Фаза расслабления**



**Фаза сокращения**

**Механизм сокращения:**

Ca + кальмодулин

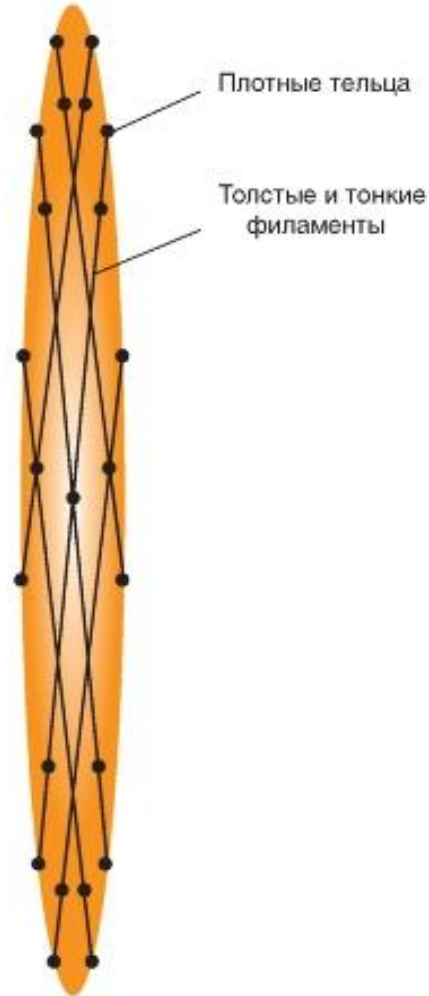


Соединение  
актина с  
МИОЗИНОМ

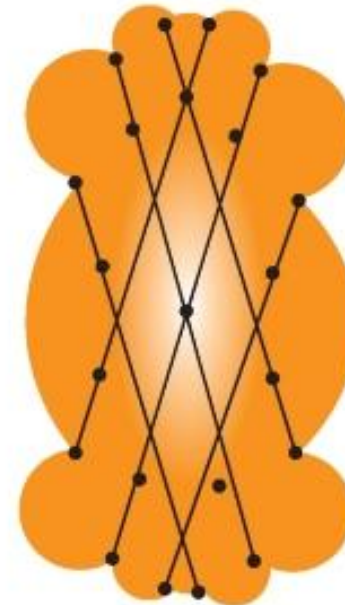


**В гладкой мышце толстые и тонкие филаменты ориентированы под углом к осям волокна и прикреплены к плазматической мембране или к плотным тельцам в цитоплазме. При активации мышечных клеток толстые и тонкие филаменты скользят друг относительно друга так, что клетки укорачиваются и утолщаются**

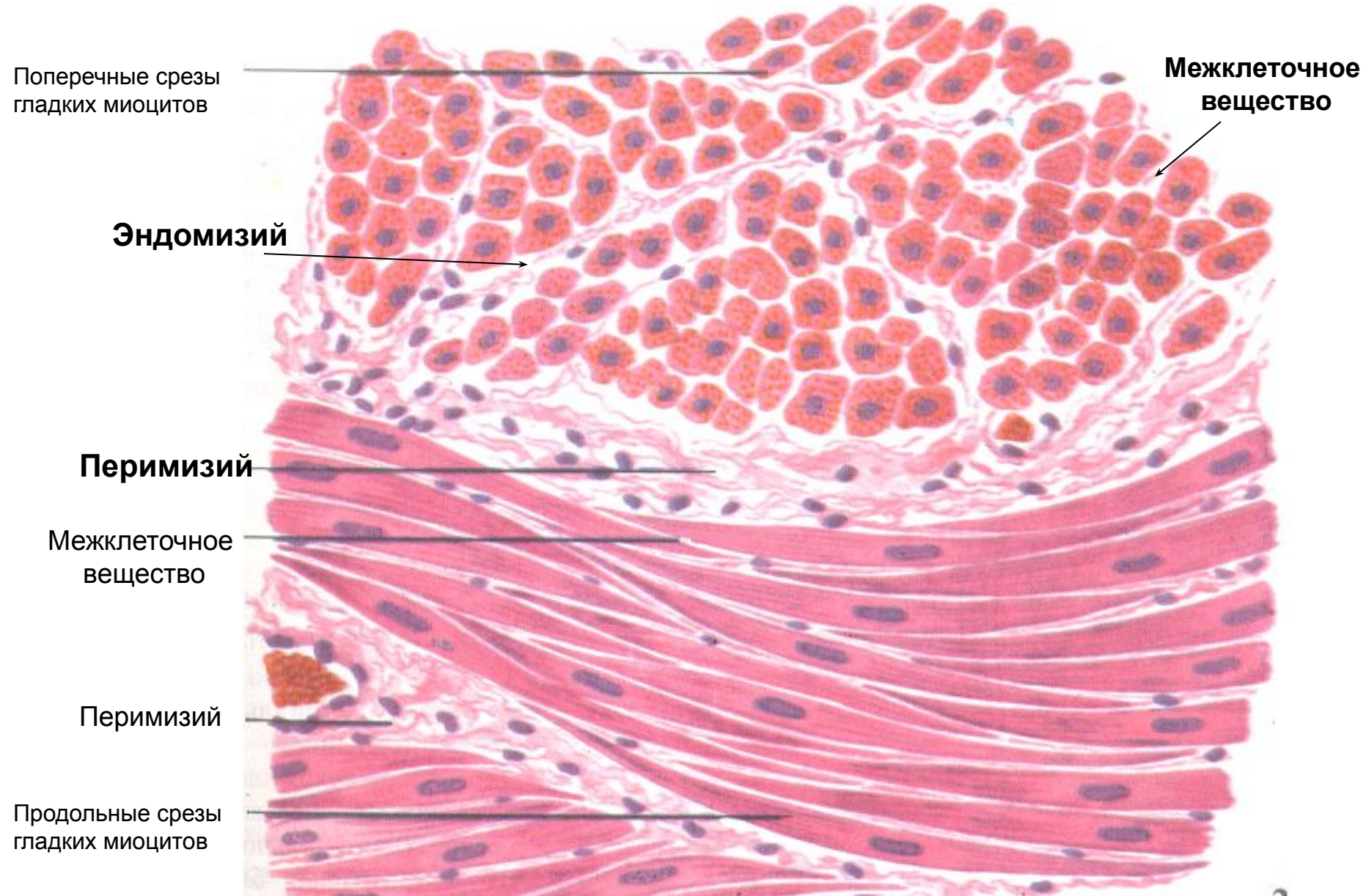
Расслабление



Сокращение



# Гладкие мышцы



# **3. Поперечнополосатые (исчерченные) мышечные ткани**

# СКЕЛЕТНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ

(структурно-функциональная единица – симпластическое мышечное волокно)

Структура мышечного волокна	Регенерация А
<p>• Форма - сигаровидная удлиненная; концы имеют углубления, в которые вплетаются коллагеновые волокна сухожилий</p> <p>• Размер - по длиннику до 20 см, в ширину в среднем 50 мкм</p> <p>• <b>Сарколемма</b> (базальная мембрана + плазмолемма); в расщеплениях между ними находятся <b>миосателлитоциты</b> – плазмолемма образует мембранные инвагинации в толщу саркоплазмы (<b>Т- трубочки</b>)</p> <p>• <b>В саркоплазме:</b> - ядра (многочисленные эллипсоидные эухроматичные), расположены по периферии мышечного волокна - органеллы общего значения (в т.ч. много митохондрий и рибосом), расположены около ядер - саркоплазматическая сеть (<b>модифицированная глЭПС</b>) образует L- каналы, которые контактируют с Т-трубочками - миофибриллы (сократительные органеллы) ориентированы продольно в центре волокна, имеют упорядоченную пространственную компоновку сократительных (миозин, актин) и регуляторных (тропонин, тропомиозин) белков, что определяет возникновение поперечной исчерченности саркоплазмы (диски А и I, полоски Н, телофрагмы и мезофрагмы) - включения (миоглобин, гликоген</p>	<p style="text-align: center;"><b>МЕХАНИЗМЫ</b></p> <p><b>1. Эндорепродукция</b> – внутрисимпластическое образование, обновление и восстановление структур (в т.ч. миофиламентов)</p> <p>2. Синтез компонентов базальной мембраны</p> <p>3. Пролиферация миосателлитоцитов → формирование новых миотубул, а из них мышечных волокон</p> <p><b>Б. ВИДЫ</b></p> <p>1. Физиологическая (постэмбриональный миогенез)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Протекает постоянно, обеспечивает рост</li><li>• Усиливается при повышении нагрузки на мышечные волокна → их рабочая гипертрофия (мускулатура спортсменов)</li></ul> <p><b>2.Репаративная</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Встречный рост и срастание концов поврежденных мышечных волокон в следствии усиления эндорепродукции</li><li>• Миграция в зону повреждения миосателлитотоцитов → повторение эмбрионального миогенеза → восполнение дефекта мышечной тканью</li></ul>

# СТРУКТУРНО – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА

## 1. Сократительный аппарат

- Представлен миофибриллами, каждая из которых состоит из тысяч последовательно соединенных телофрагмами **саркомеров**, содержащих **актиновые** (тонкие) и **миозиновые** (толстые) миофиламенты
- Обеспечивает быстрое энергоемкое кальцийзависимое сокращение ↔ расслабление волокна («модель скользящих нитей»)

## 2. Транспортный аппарат

- Представлен поперечными мембранными канальцами (**Т-система**), продольными мембранными канальцами (**Л-система** или **саркоплазматическая сеть**), зонами контактов Т и Л систем (триады).
- Обеспечивает внутрисимпластический транспорт кальция для индукции сокращения-расслабления миофибрилл.

## 3. Опорный аппарат

- Представлен сарколеммой, цитоскелетом, телофрагмами, мезофрагмами, краевыми зонами мышечного волокна
- Обеспечивает формообразовательную, каркасную, локомоторную и интеграционную функции.

## 4. Трофико-энергетический аппарат

- Представлен саркосомами (крупными МХ) и включениями гликогена, миоглобина, липидов.
- Обеспечивает энергией мышечное сокращение и другие энергоемкие процессы, а также внутриклеточное депонирование и реализацию питательных веществ

## 5. Аппарат синтеза, структуризации и регенерации.

- Представлен рибосомами, ЭПС, кГ, лизосомам и
- Обеспечивает процессы регенерации (в т.ч. ресинтез и сборку сократительных и регуляторных белков миофиламентов, а также секрецию компонентов базальной мембраны)

- 6. **Нервный аппарат** • Представлен нервными волокнами, чувствительными и двигательными нервными окончаниями соматической нервной системы • Обеспечивает инициацию и регуляцию произвольного сокращения мышечных волокон

# СКЕЛЕТНОЕ МЫШЕЧНОЕ ВОЛОКНО

Структурно-функциональная единица скелетной мышцы - **симпласт** - скелетное мышечное волокно, имеет форму протяжённого цилиндра с заострёнными концами. Этот цилиндр достигает в длину 40 мм при диаметре до 0,1 мм.

Термином «оболочка волокна» (сарколемма) обозначают две структуры:

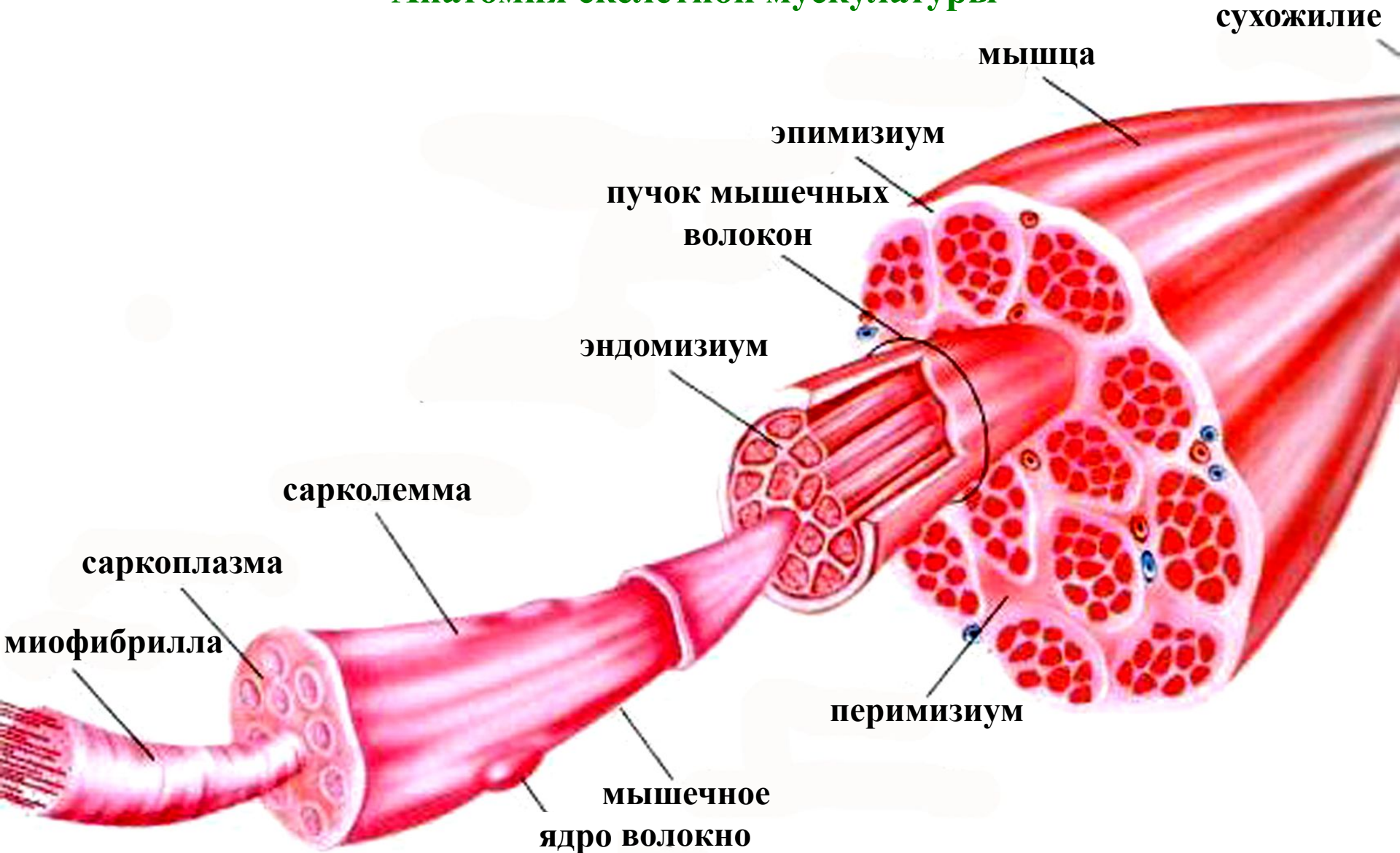
- плазмолемму симпласта и его базальную мембрану.

# СКЕЛЕТНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ В СОСТАВЕ ОРГАНОВ

Типы мышечных волокон	Локализация и функциональное назначение
<p><b>I. Красные (первый тип)</b></p> <p>Малый диаметр волокна</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Много миосателлитов</li><li>• Тонкие миофибриллы</li><li>• Много миоглобина, мало гликогена</li><li>• Много МХ</li><li>• Аэробный тип метаболизма</li><li>• Медленное сокращение- расслабление</li><li>• Устойчивость к утомлению</li></ul> <p><b>I. Белые (второй тип)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Большой диаметр волокна</li><li>• Мало миосателлитов</li><li>• Толстые миофибриллы</li><li>• Мало миоглобина, много гликогена</li><li>• Мало МХ</li><li>• Анаэробный тип метаболизма</li><li>• Быстрое сокращение- расслабление</li><li>• Быстрая утомляемость</li></ul> <p><b>I. Смешанные (третий тип)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Среднее значение всех пара- метров</li></ul>	<p><b>1. В составе скелетной мускулатуры:</b> \</p> <ul style="list-style-type: none"><li>а) статика и динамика тела и конечностей в пространстве,</li><li>б) формообразование тела,</li><li>в) теплопро-дукция</li></ul> <p><b>2. В составе мускулатуры челюстно-лицевой области и рта:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>а) мимика,</li><li>б) жевание,</li><li>в) артикуляция</li></ul> <p><b>3. В составе диафрагмы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>а) активные дыхательные экскурсии легких,</li><li>б) регуляция кровотока в венах,</li><li>в) регуляция внутрибрюшного давления</li></ul> <p><b>4. В составе мышц глаза и век:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>а) движения глазного яблока,</li><li>б) смыкание-размыкание век,</li><li>г) регуляция выделения слезной жидкости</li></ul> <p><b>5. В мышечных оболочках пищеварительного тракта:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>а) продвижение пищевого комка (глотка, пищевод),</li><li>б) регуляция дефекации (прямая кишка)</li></ul>
	<p><b>Скелетная мышца как орган</b></p> <p>Мышцы человека содержат все типы мышечных волокон</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Каждое мышечное волокно окружено <b>эндомизией</b> (прослойка РВСТ)</li><li>• Пучки мышечных волокон объединены <b>перимизием</b> (оболочка из РВСТ)</li><li>• Вся мышца покрыта <b>эпимизием</b> (оболочка из ПВСТ)</li><li>• В прослойках и оболочках имеются сосуды и нервный аппарат</li><li>• Мышечные волокна соединяются с сухожилиями или</li></ul>

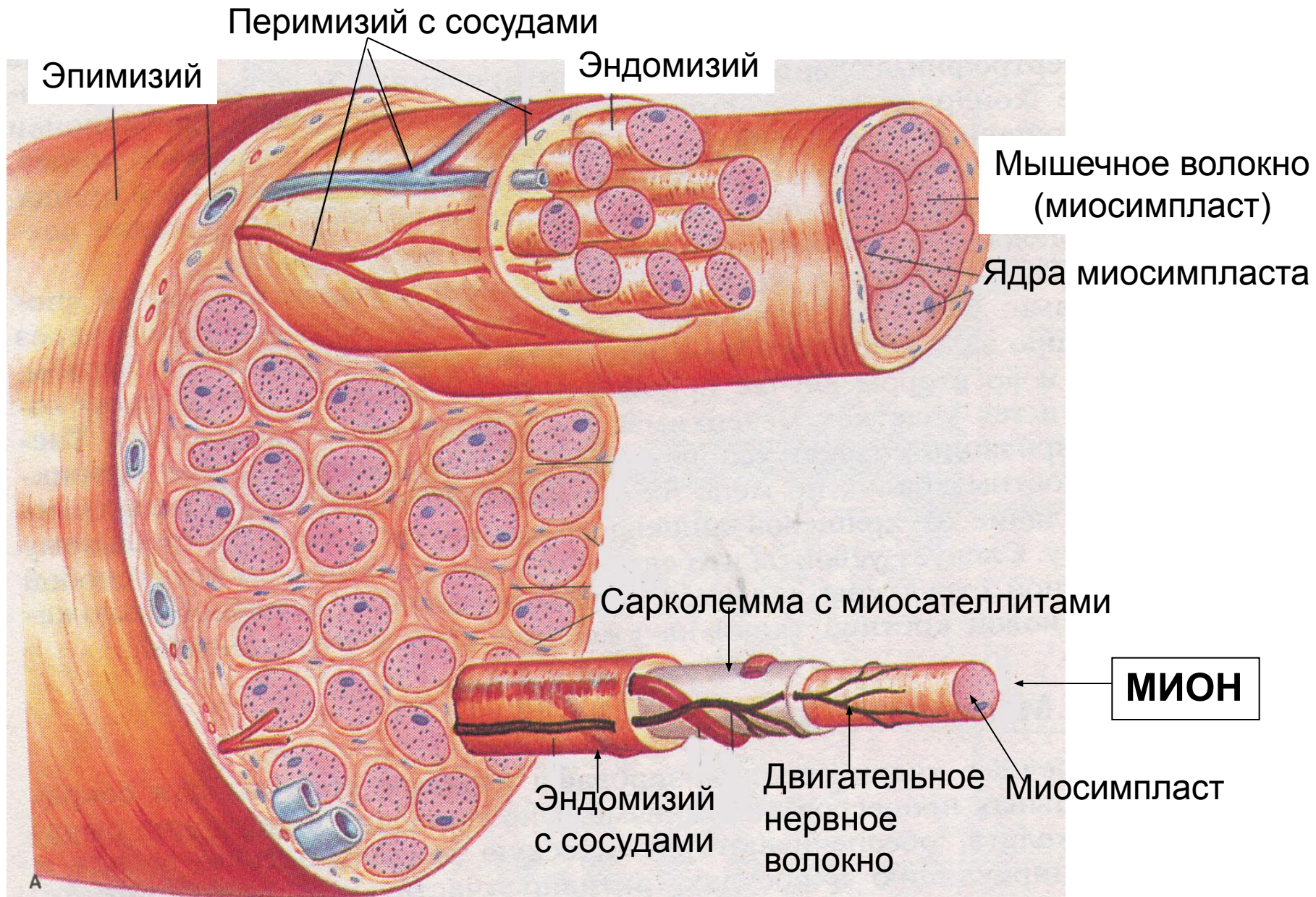
# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

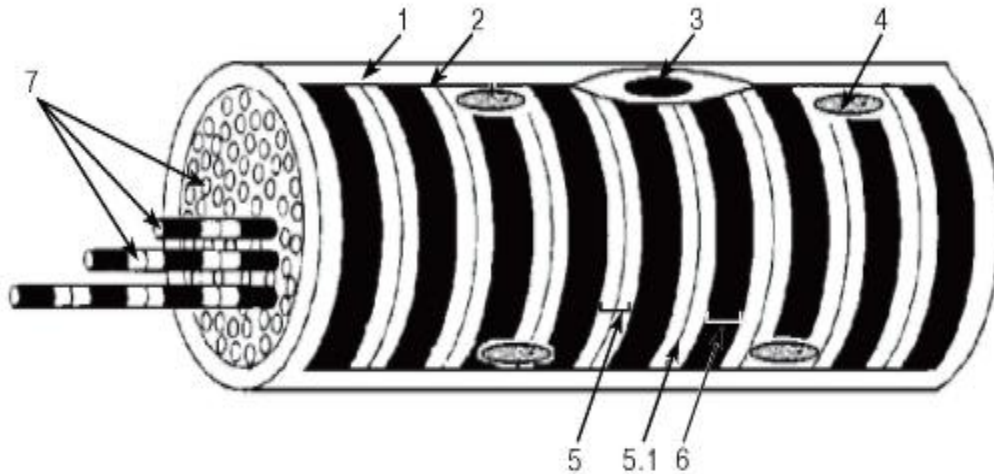
## Анатомия скелетной мускулатуры





# Строение скелетной мышцы

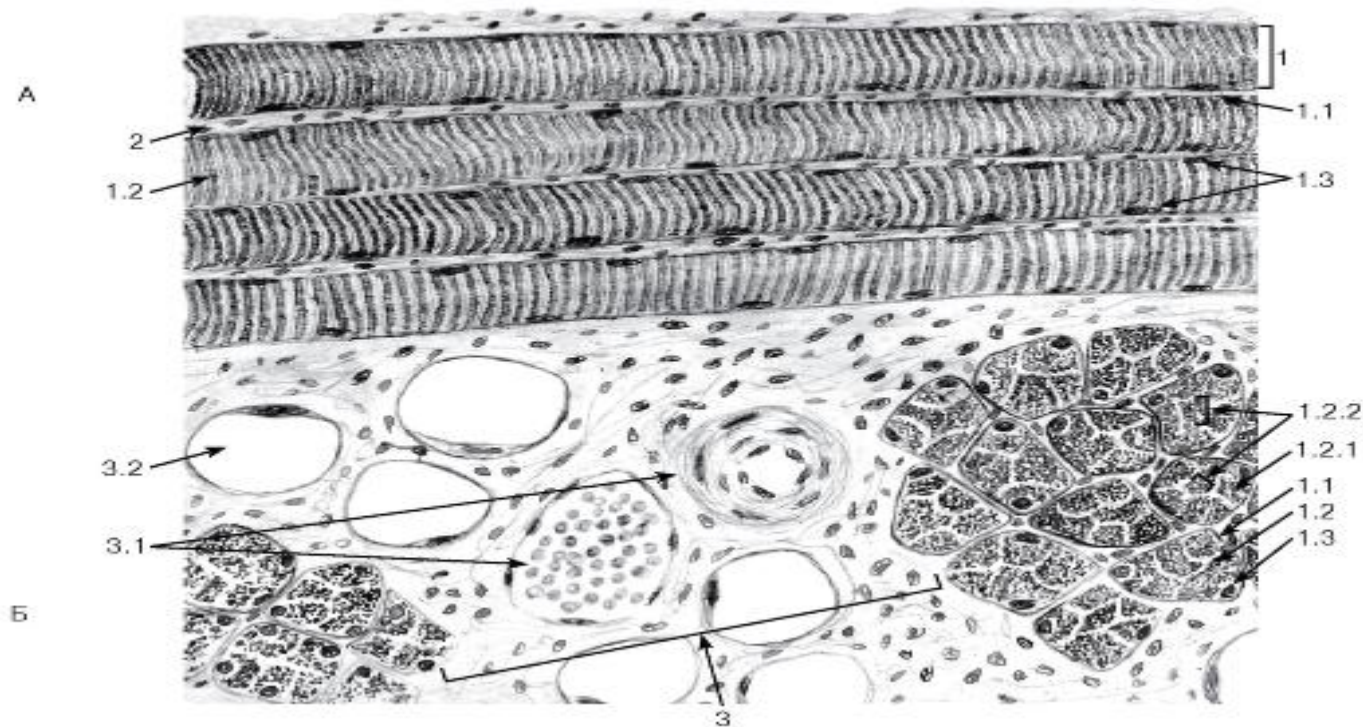




### Скелетное мышечное волокно (схема):

- 1 - базальная мембрана;
- 2 - сарколемма;
- 3 - миосателлитоцит;
- 4 - ядро миосимпласта;
- 5 - изотропный диск:
- 5.1 - телофрагма;
- 6 - анизотропный диск;
- 7 - миофибриллы

Между плазмолеммой и базальной мембраной расположены клетки-сателлиты с овальными ядрами. Палочковидной формы ядра мышечного волокна лежат в цитоплазме (саркоплазма) под плазмолеммой. В саркоплазме симпласта расположен сократительный аппарат - **миофибриллы**, депо  $\text{Ca}^{2+}$  - **саркоплазматическая сеть** (гладкий эндоплазматический ретикулум), а также **митохондрии** и **гранулы гликогена**. От поверхности мышечного волокна к расширенным участкам саркоплазматического ретикулума направляются трубковидные выпячивания сарколеммы - **поперечные трубочки (Т-трубочки)**. Рыхлая волокнистая соединительная ткань между отдельными мышечными волокнами (**эндомизий**) содержит кровеносные и лимфатические сосуды, нервные волокна. Группы мышечных волокон и окружающая их в виде чехла волокнистая соединительная ткань (**перимизий**) формируют пучки. Их совокупность образует мышцу, плотный соединительнотканый чехол которой именуют **эпимизий**.



## Скелетная поперечнополосатая мышечная ткань

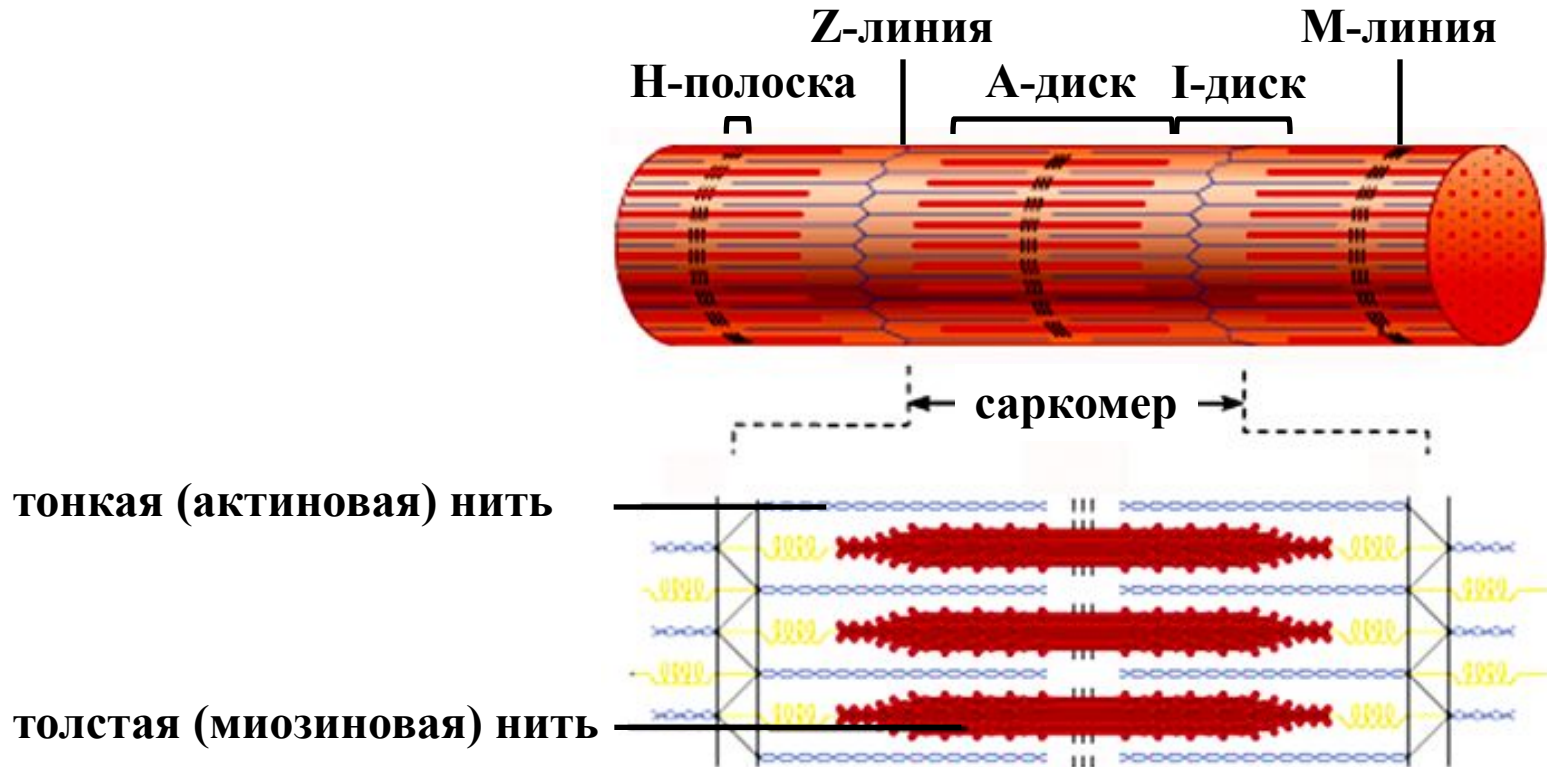
Окраска: железный гематоксилин

А - продольный срез; Б - поперечный срез:

1 - мышечное волокно: 1.1 - сарколемма, покрытая базальной мембраной, 1.2 - саркоплазма, 1.2.1 - миофибриллы, 1.2.2 - поля миофибрилл (Конгейма); 1.3 - ядра мышечного волокна; 2 - эндомизий; 3 - прослойки рыхлой волокнистой соединительной ткани между пучками мышечных волокон: 3.1 - кровеносные сосуды, 3.2 - жировые клетки

# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

## Структура миофибриллы



# Миофибриллы

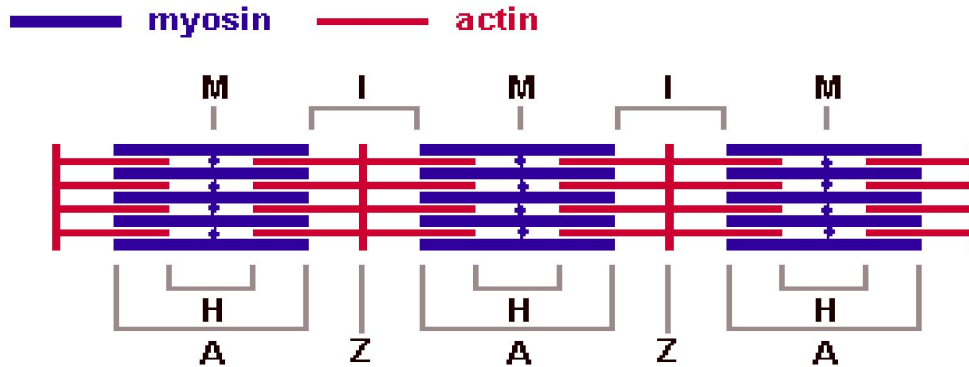


Схема саркомеров

Поперечная исчерченность скелетного мышечного волокна определяется регулярным чередованием в миофибриллах различно преломляющих поляризованный свет участков (дисков) - изотропных и анизотропных: светлые (**Isotropic, I-диски**) и тёмные (Anisotropic, **A-диски**) диски.

Каждый светлый диск пересекает Z-линия. Участок миофибриллы между соседними Z-линиями определяют как саркомер.

**Саркомер.** Структурно-функциональная единица миофибриллы, находящаяся между соседними Z-линиями (рис. 7-3).

**Саркомер** образуют расположенные параллельно друг другу тонкие (актиновые) и толстые (миозиновые) нити.

I-диск содержит только тонкие нити.

В середине I-диска проходит Z-линия.

Один конец тонкой нити прикреплен к Z-линии, а другой конец направлен к середине саркомера.

# Миофибриллы

Толстые нити занимают центральную часть саркомера - А-диск.

Тонкие нити частично входят между толстыми. Содержащий только толстые нити участок саркомера - **Н-зона**. В середине Н-зоны проходит М-линия.

**И-диск входит в состав двух саркомеров.**

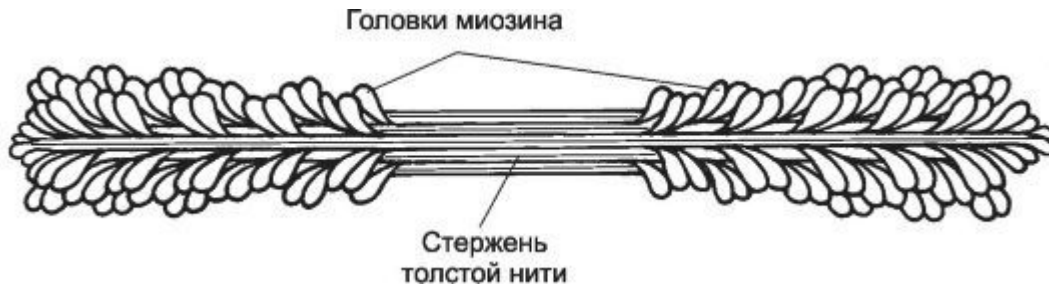
Следовательно, каждый саркомер содержит один А-диск (тёмный) и две половины I-диска (светлого), **формула саркомера -  $1/2 I + A + 1/2 I$ .**

- **Толстая нить.** Каждая миозиновая нить состоит из **300-400** молекул миозина и С-белка.

Половина молекул миозина обращена головками к одному концу нити, а вторая половина - к другому. Гигантский белок титин связывает свободные концы толстых нитей с Z-линией.

- **Тонкая нить** состоит из актина, тропомиозина и тропонинов (рис. 7-6).

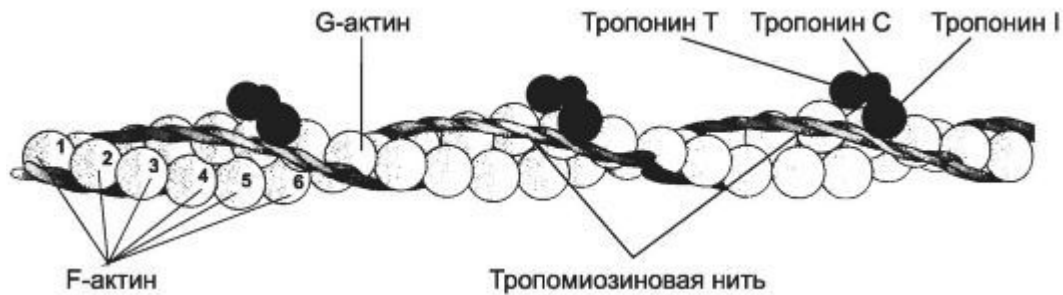
# Толстая нить.



## **МРис. 7-5. Толстая нить.**

**М**олекулы миозина способны к самосборке и формируют веретенообразный агрегат диаметром 15 нм и длиной 1,5 мкм. Фибриллярные хвосты молекул образуют стержень толстой нити, головки миозина расположены спиральями и выступают над поверхностью толстой нити. [17]

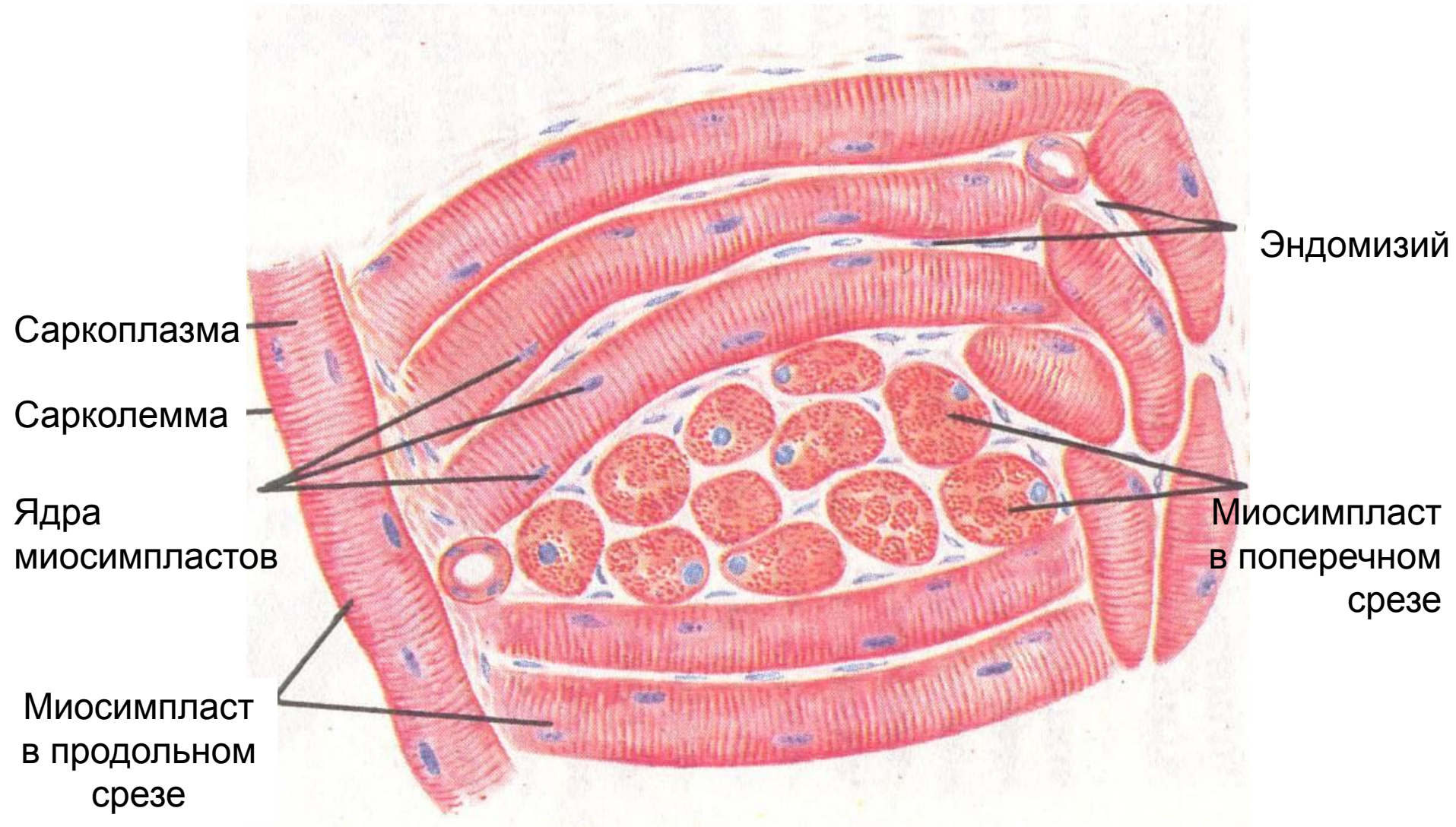
# Тонкая нить



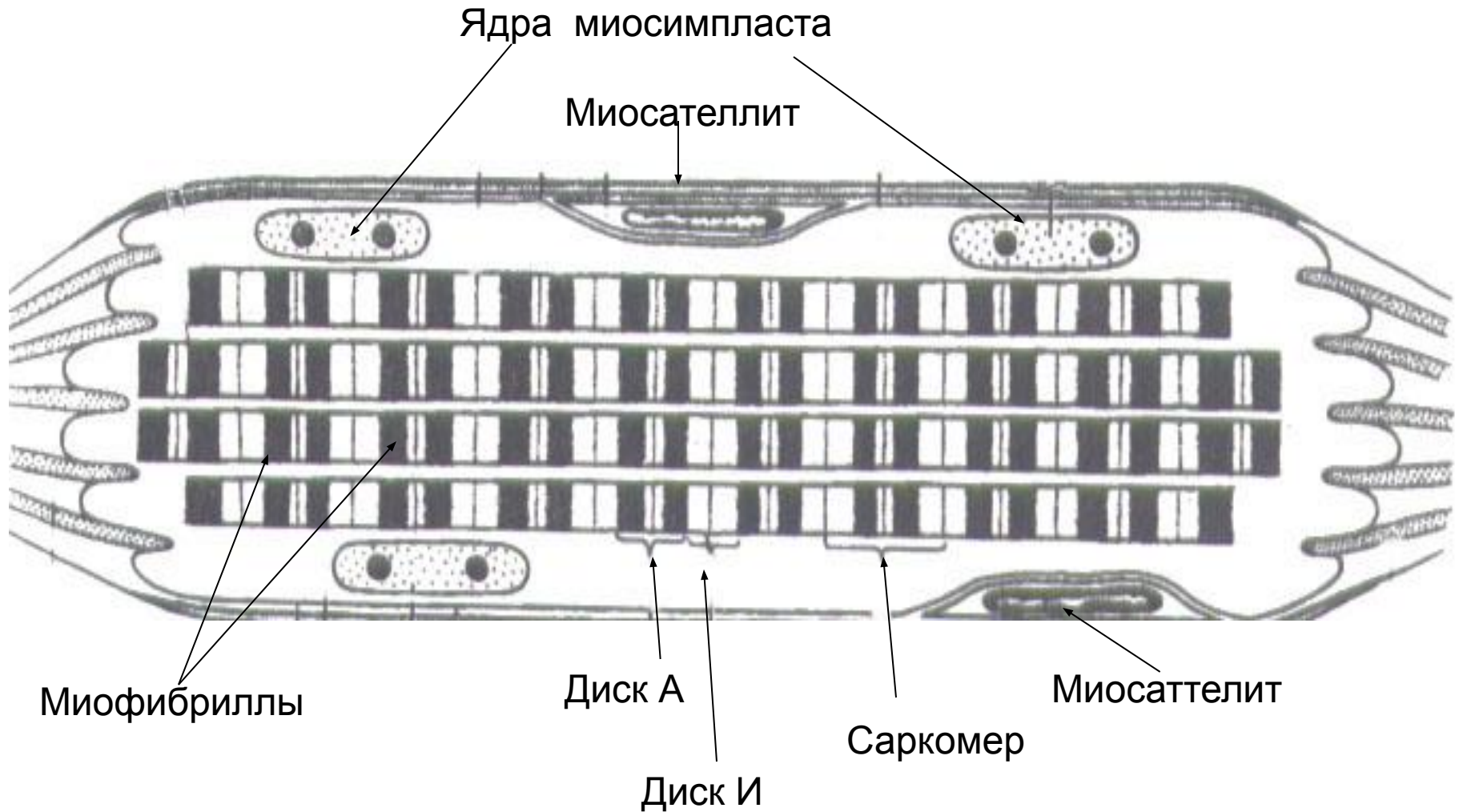
**Рис. 7-6.** Тонкая нить - **две спирально скрученные нити F-актина**. В канавках спиральной цепочки залегает двойная спираль тропомиозина, вдоль которой располагаются молекулы тропонина.



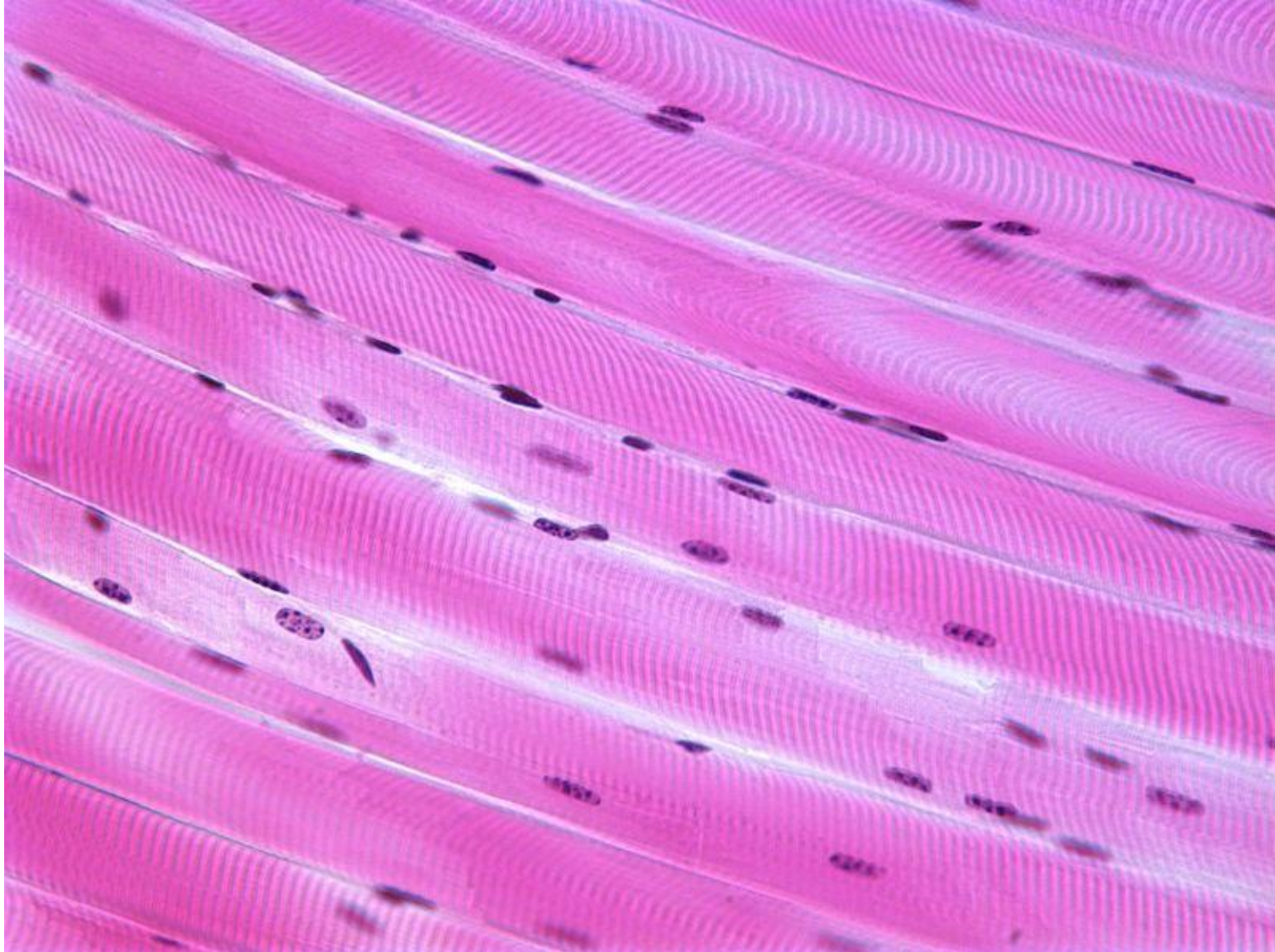
# 3. Скелетная мышечная ткань



# Строение миосимпласта



# Скелетная мышечная ткань

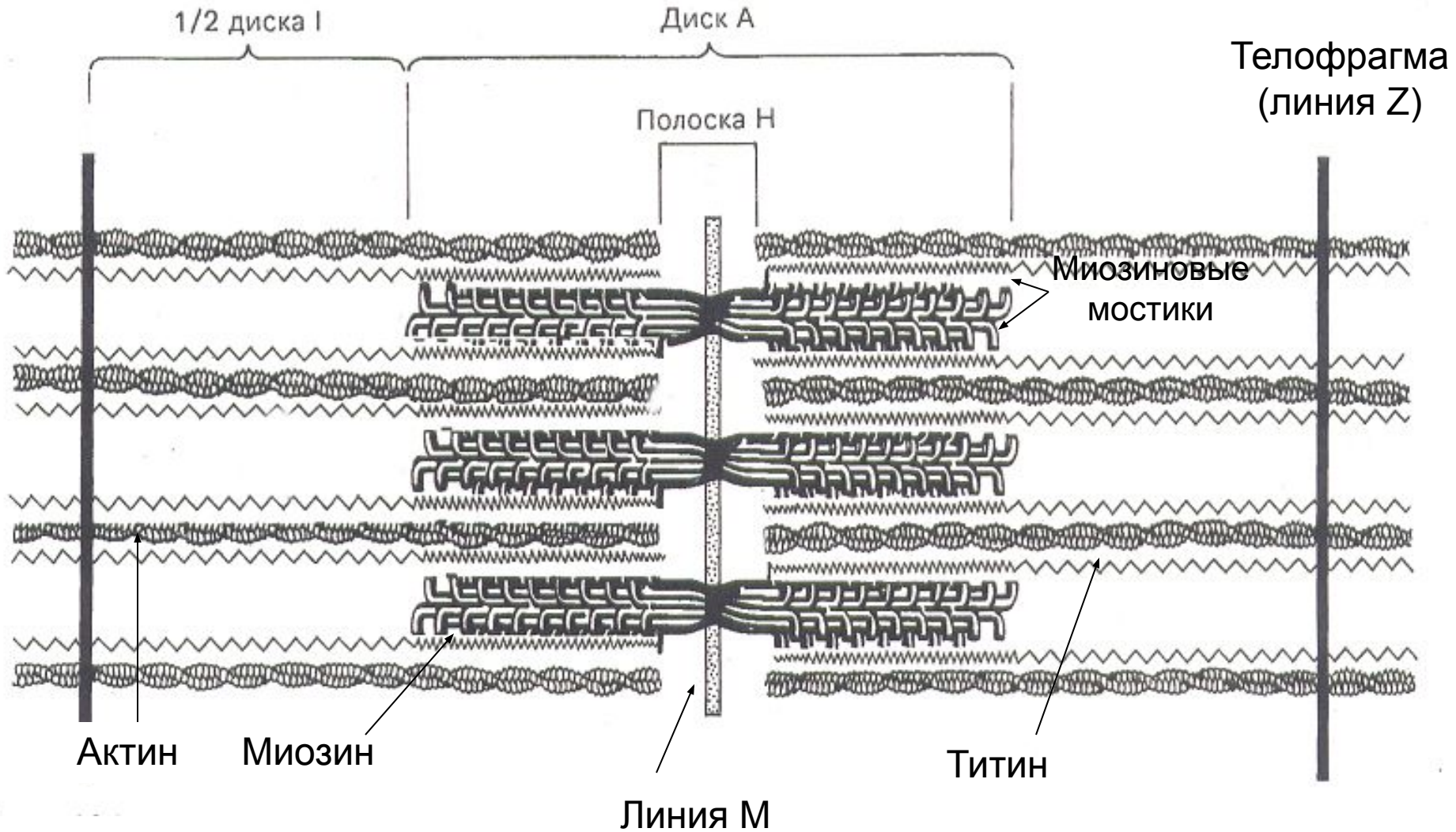


# Белковый состав миофибрилл:

1. Сократительные - актин и миозин
2. Регуляторные - тропонин и тропомиозин
3. Структурный белок - альфа-актинин
4. Эластические белки - титин и небулин



# САРКОМЕР



**Телофрагма**

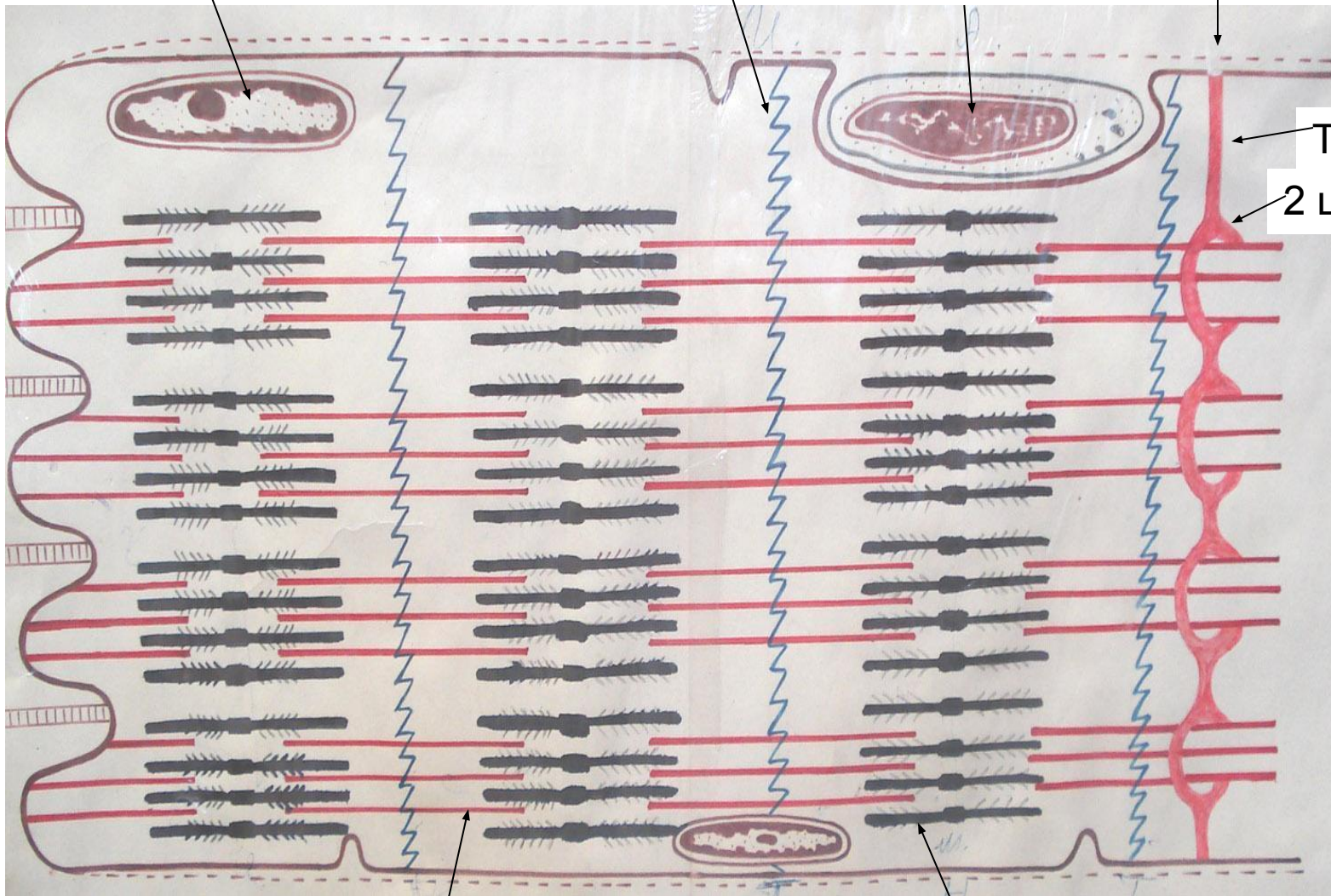
**T-система**

Ядра миосимпласта

миосателлит

Трубочка

2 цистерны

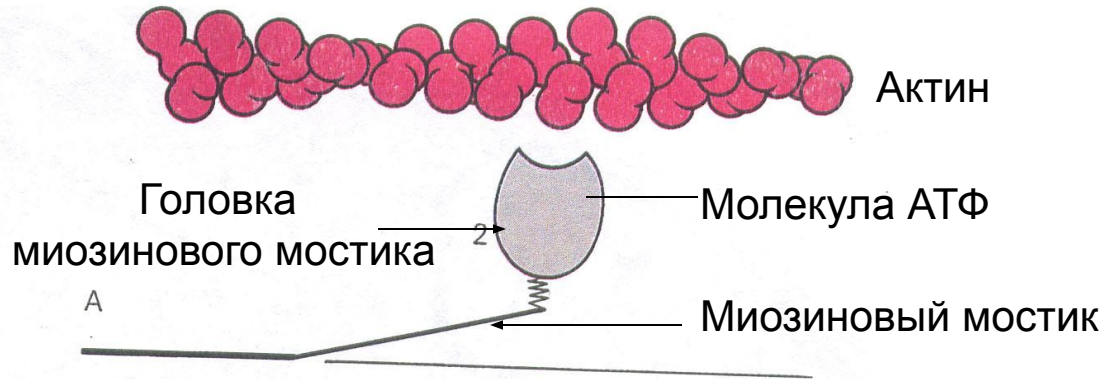


Актиновые  
миофибриллы

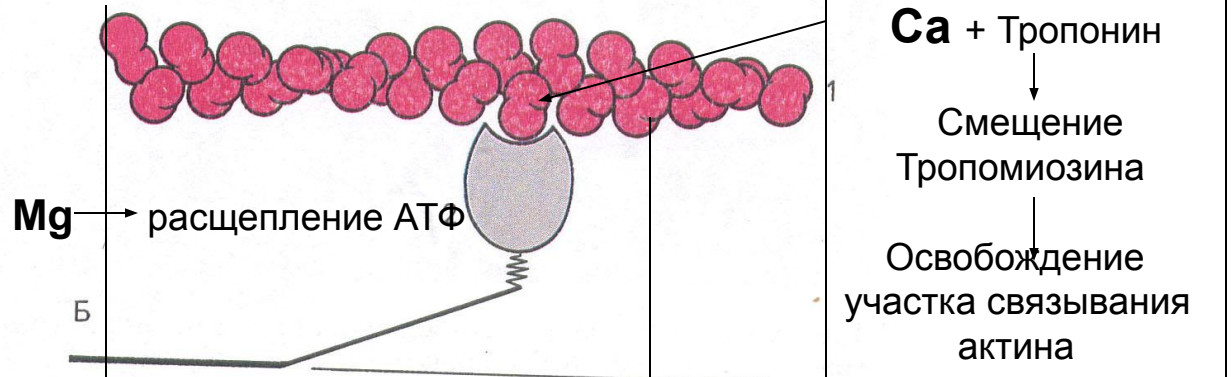
Миозиновые  
миофибриллы

# Механизм сокращения

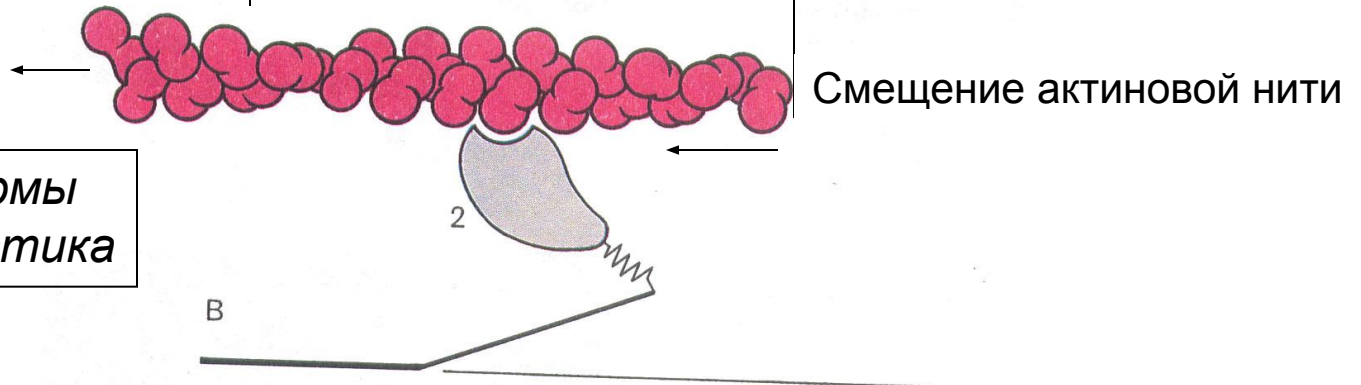
Отсутствие связи  
миозина с актином



Акто-миозиновый  
комплекс



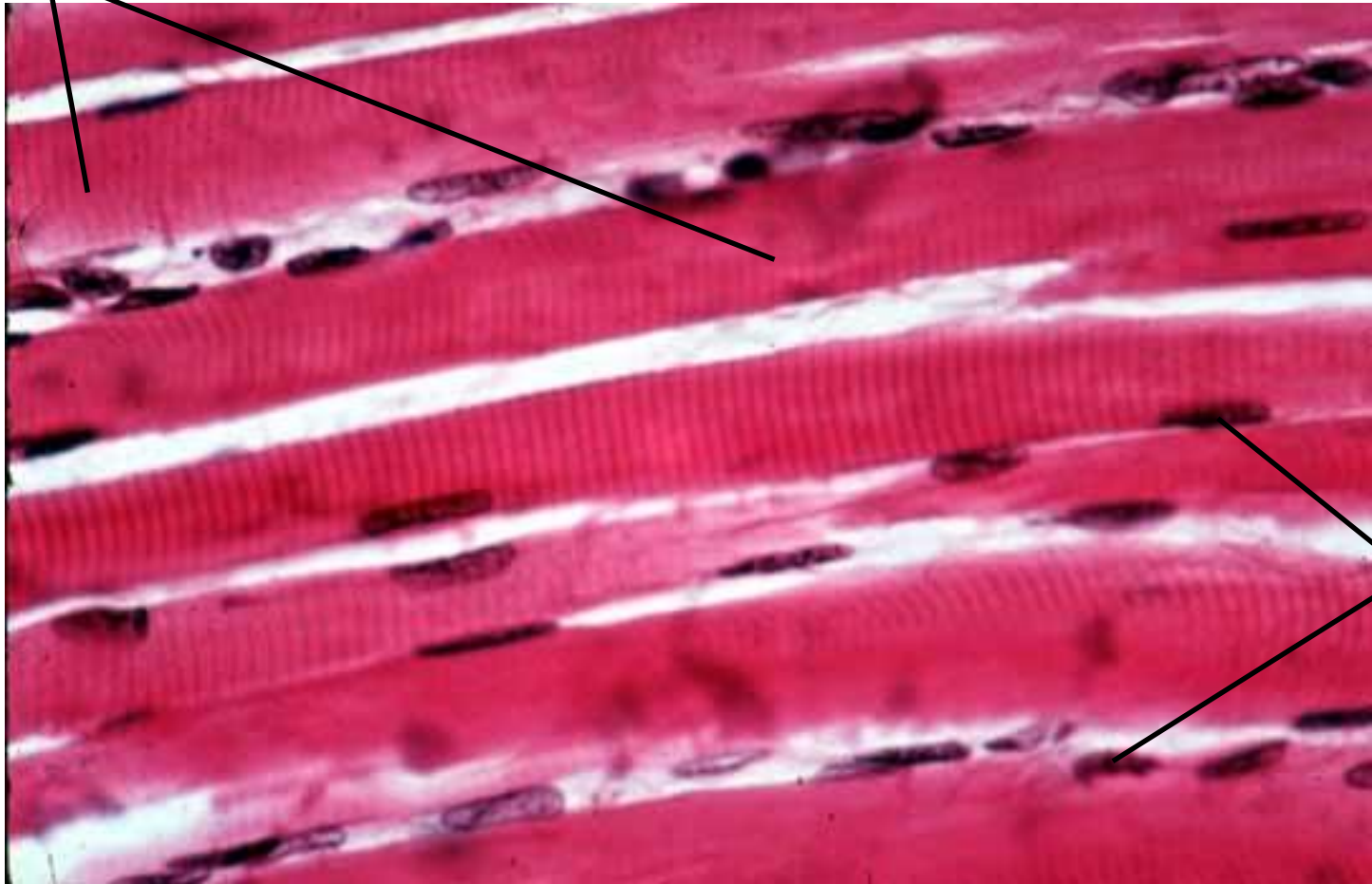
Изменение формы  
миозинового мостика



# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Микрофотография продольного среза  
поперечно-полосатой мышечной ткани

мышечные волокна

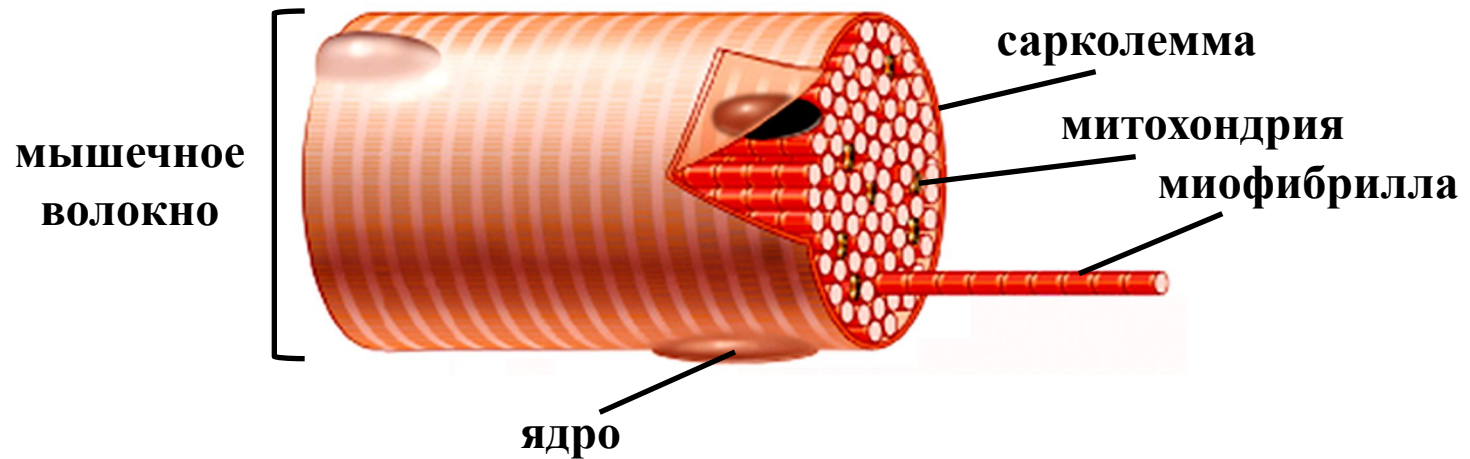


ядра



# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

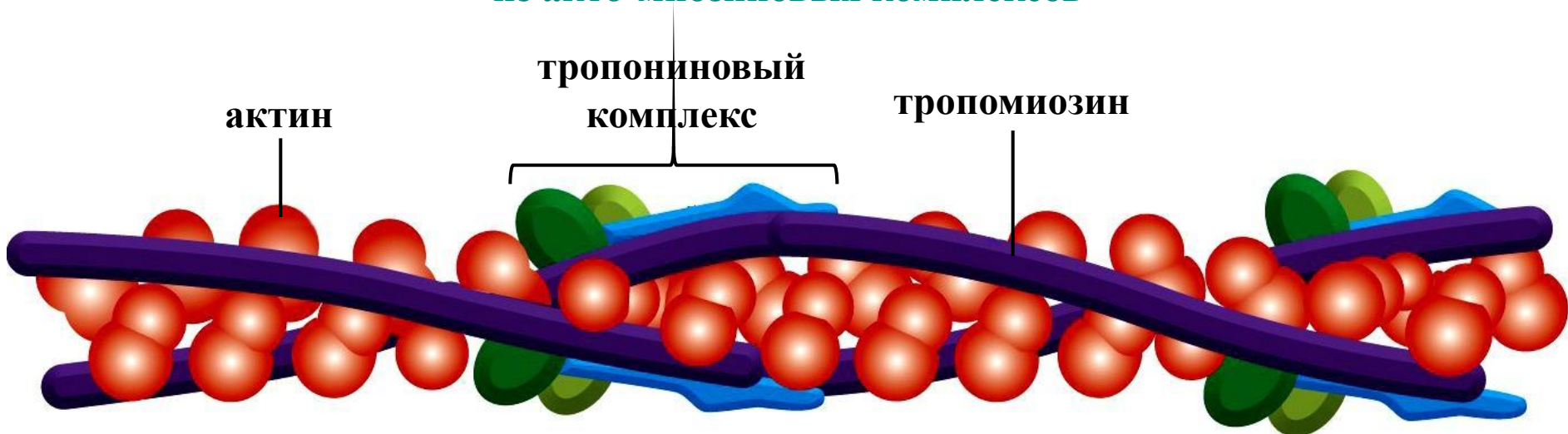
## Структура мышечного волокна



# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Актин как компонент акто-миозиновых комплексов

### Схема строения актиновой нити из акто-миозиновых комплексов



# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Миозин как представитель микрофиламентов

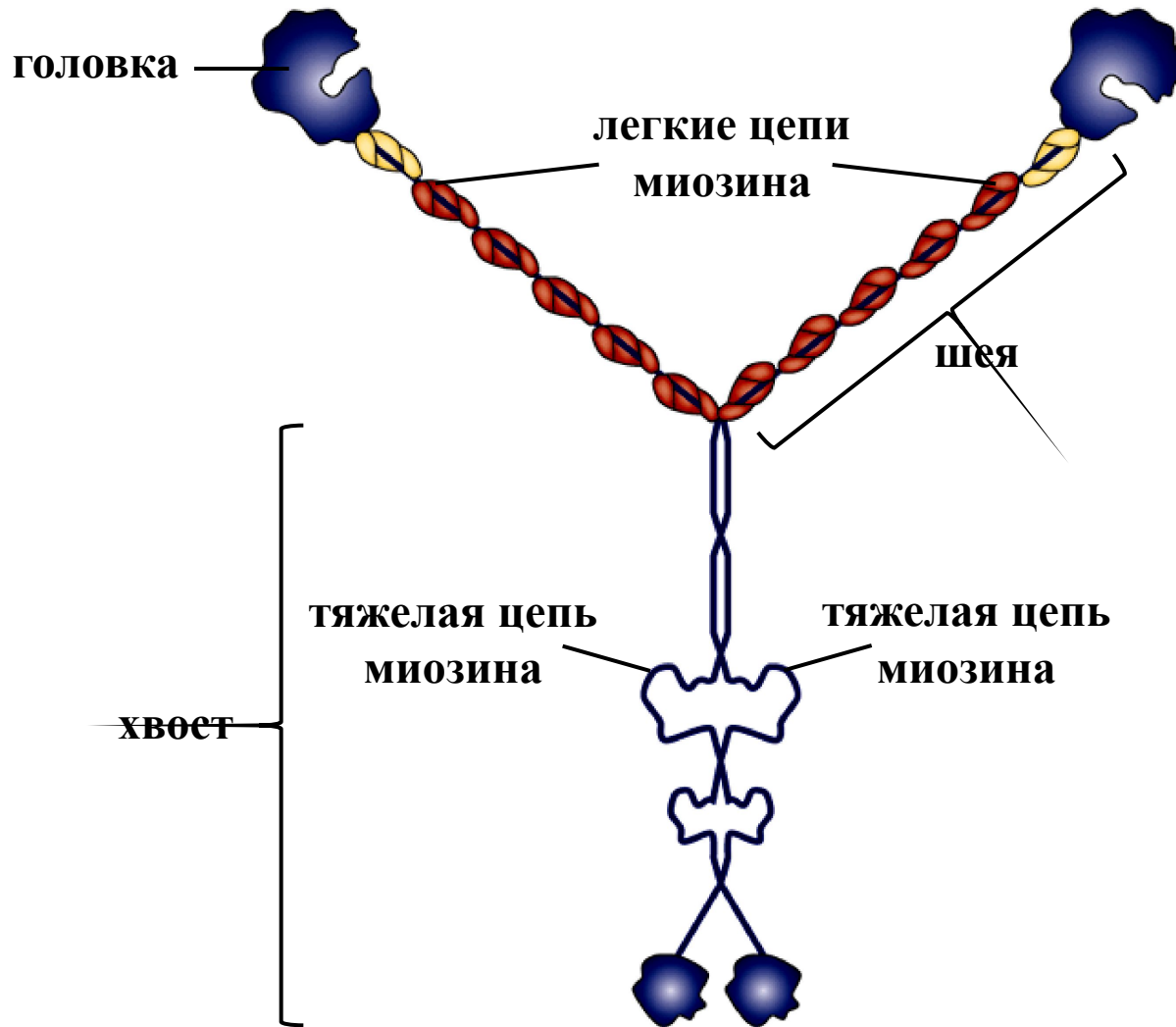
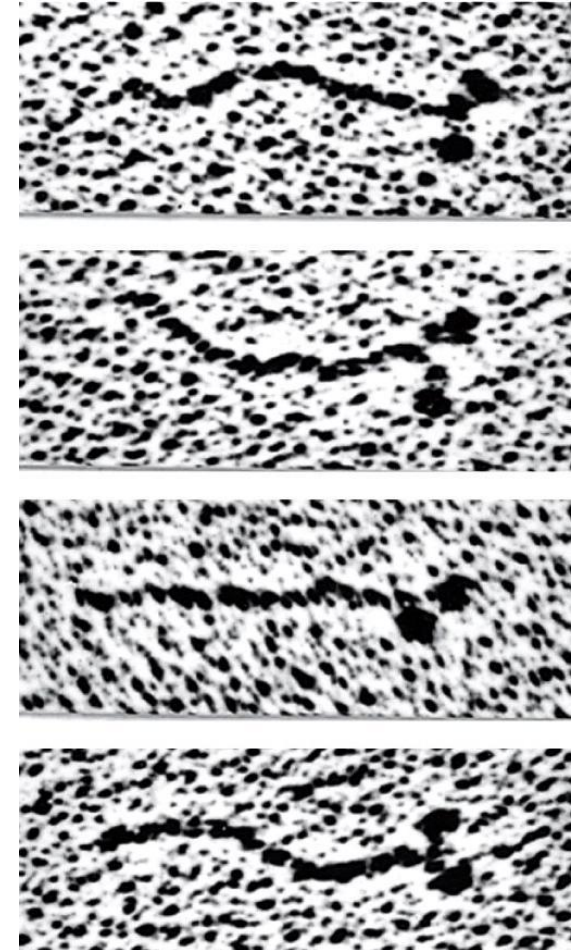


Схема строения  
молекулы миозина

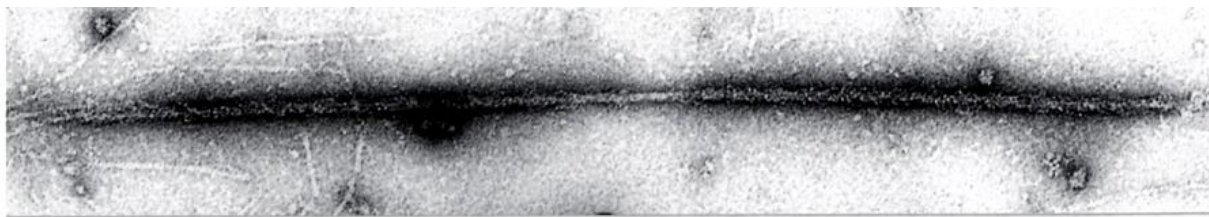


Электронные  
микрофотографии

# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

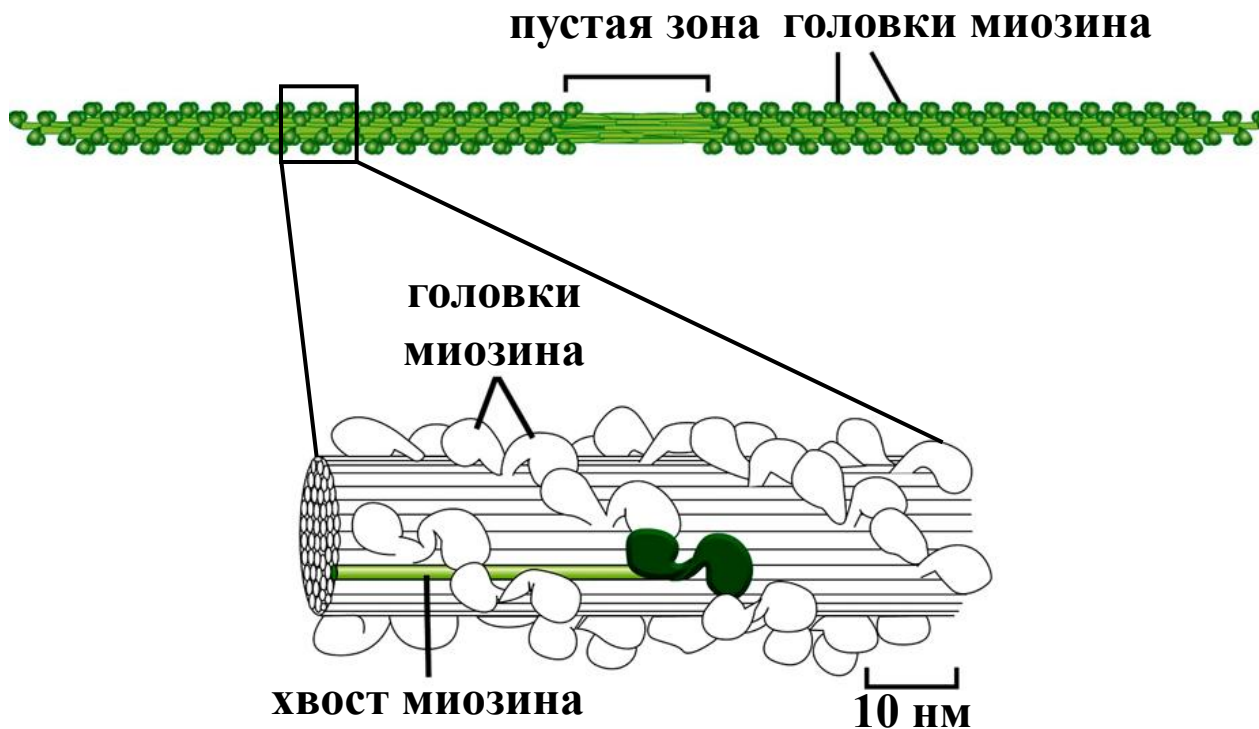
Миозин как представитель микрофиламентов

Электронная микрофотография миозиновой нити



500 нм

Схема строения миозиновой нити



пустая зона головки миозина

ГОЛОВКИ  
МИОЗИНА

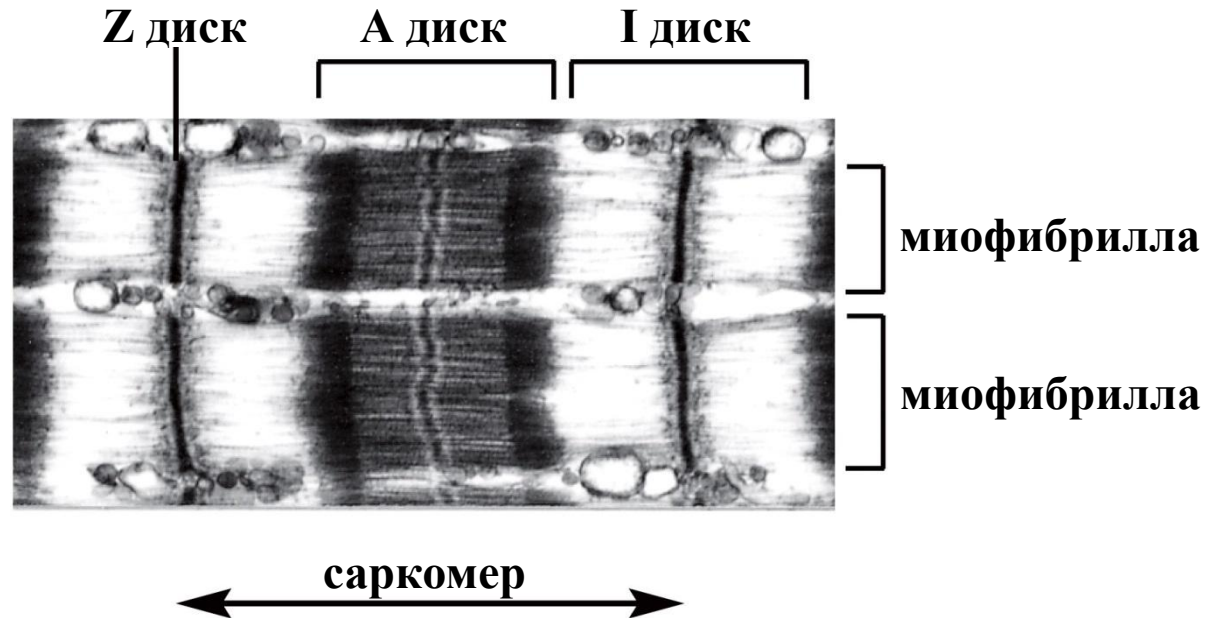
ХВОСТ МИОЗИНА

10 нм

# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Структура акто-миозиновых комплексов

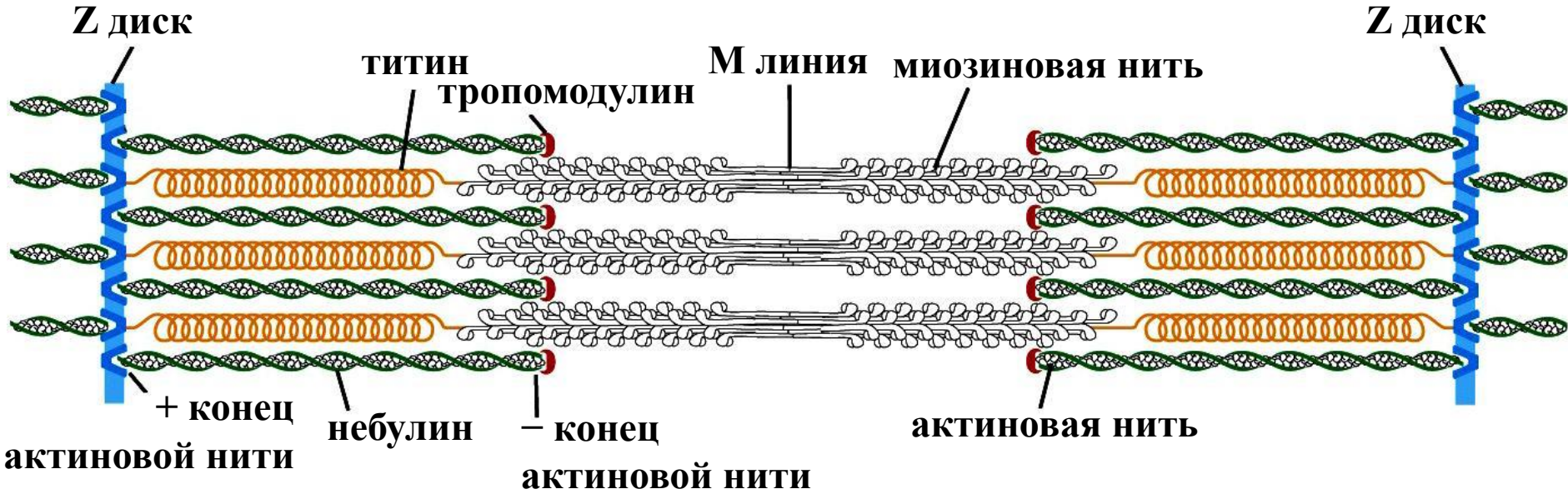
Электронная микрофотография саркомера, продольный срез



# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

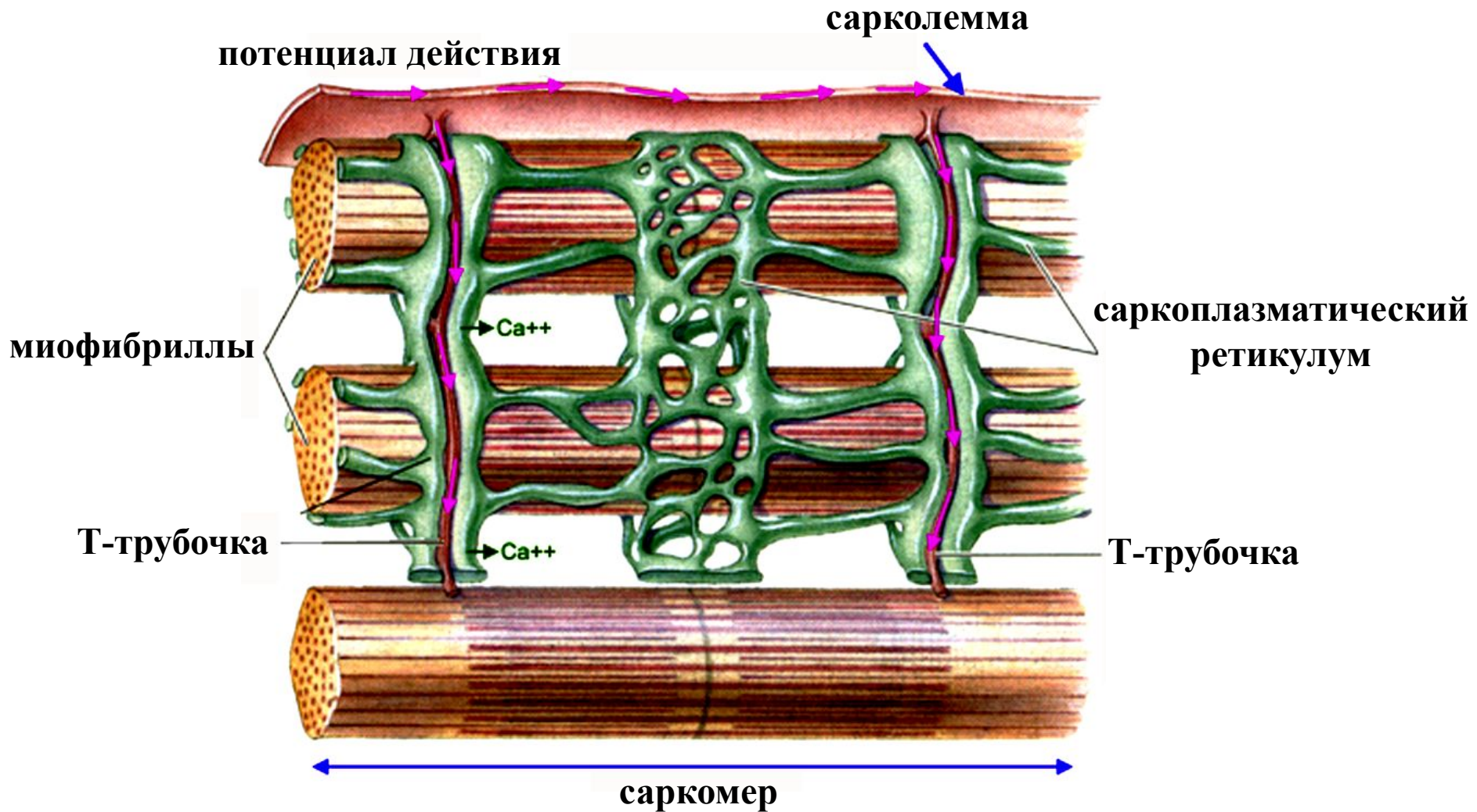
## Структура акто-миозиновых комплексов

### Схема строения саркомера



# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

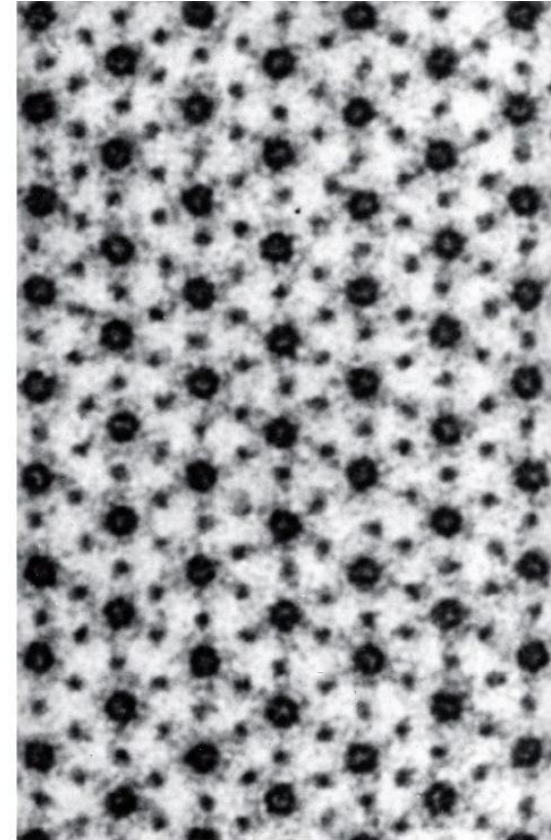
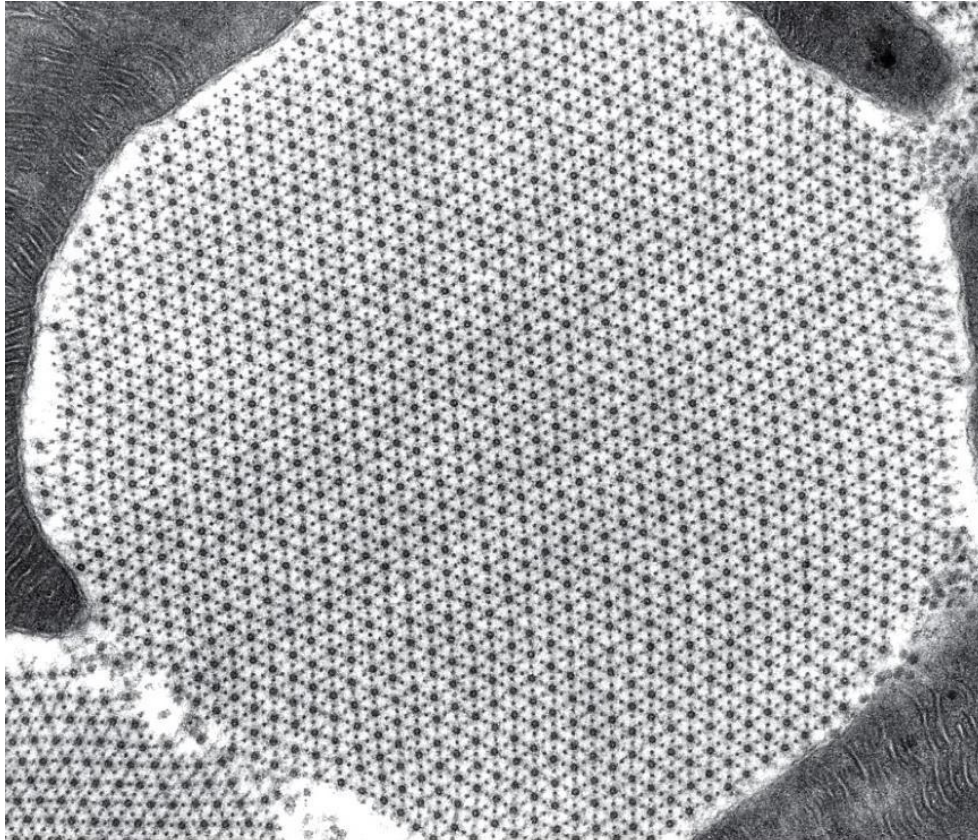
## Структура мышечного волокна



# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Структура акто-миозиновых комплексов

Электронная микрофотография саркомера, поперечный срез



1 мкм



# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Работа акто-миозиновых комплексов

### Модель «скользящих нитей»

Схема работы  
акто-миозинового комплекса

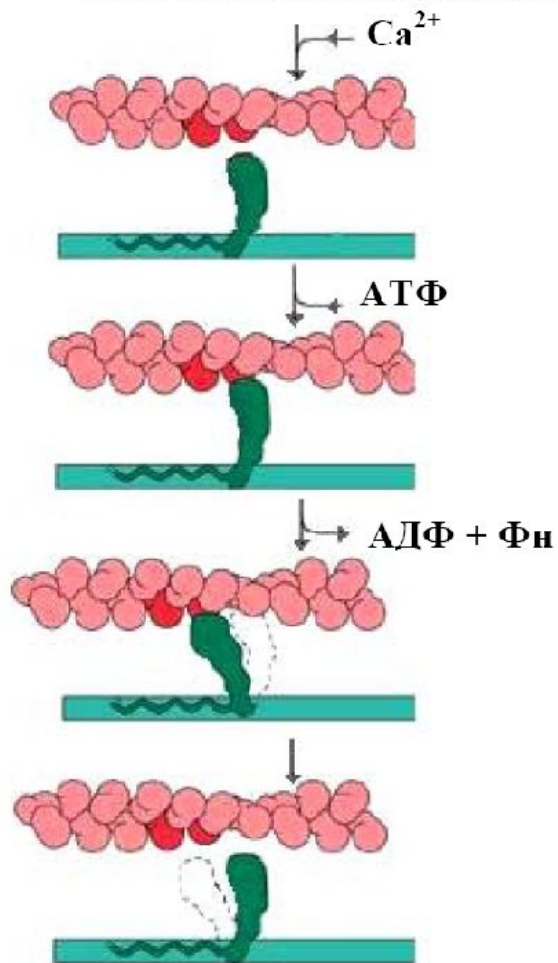
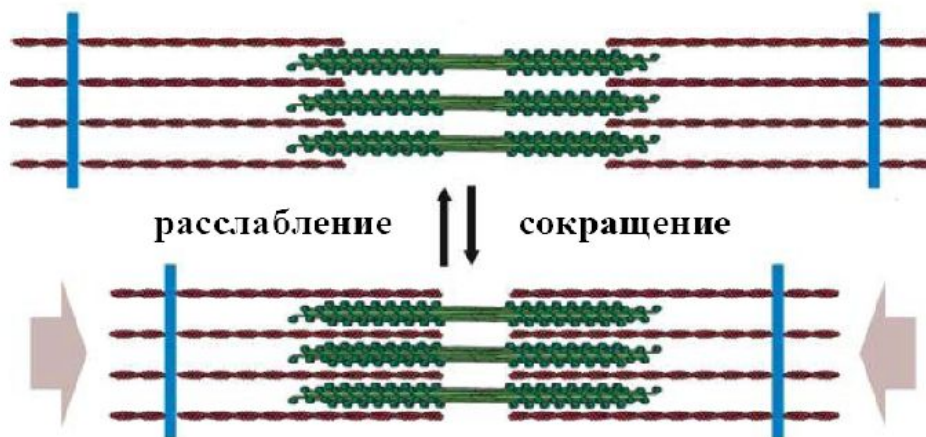


Схема сокращения  
саркомера

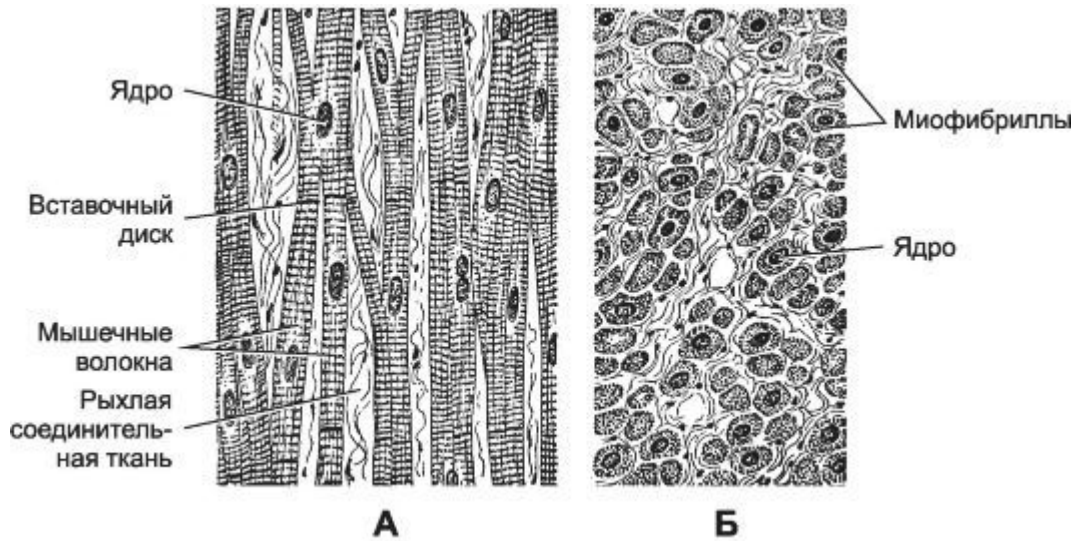


# Сердечная мышечная ткань

Поперечно-полосатая мышечная ткань сердечного типа образует мышечную оболочку стенки сердца (миокард). **Основной гистологический элемент - кардиомиоцит.**

**Кардиомиогенез.** Миобласты происходят из клеток спланхической мезодермы, окружающей эндокардиальную трубку. После ряда митотических делений G<sub>1</sub>-миобласты начинают синтез сократительных и вспомогательных белков и через стадию G<sub>0</sub>-миобластов дифференцируются в кардиомиоциты, приобретая вытянутую форму.

В отличие от поперечно-полосатой мышечной ткани скелетного типа, в кардиомиогенезе не происходит обособления камбиального резерва, а все кардиомиоциты необратимо находятся в фазе G<sub>0</sub> клеточного цикла.



## КАРДИОМИОЦИТЫ

Клетки (рис. 7-21) расположены между элементами рыхлой волокнистой соединительной ткани, содержащей многочисленные кровеносные капилляры бассейна венечных сосудов и терминальные ветвления двигательных аксонов нервных клеток вегетативного отдела нервной системы. Каждый миоцит имеет сарколемму (базальная мембрана + плазмолемма). Различают рабочие, атипичные и секреторные кардиомиоциты.

Рис. 7-21. Сердечная мышца в продольном (А) и поперечном (Б) разрезе. [17]

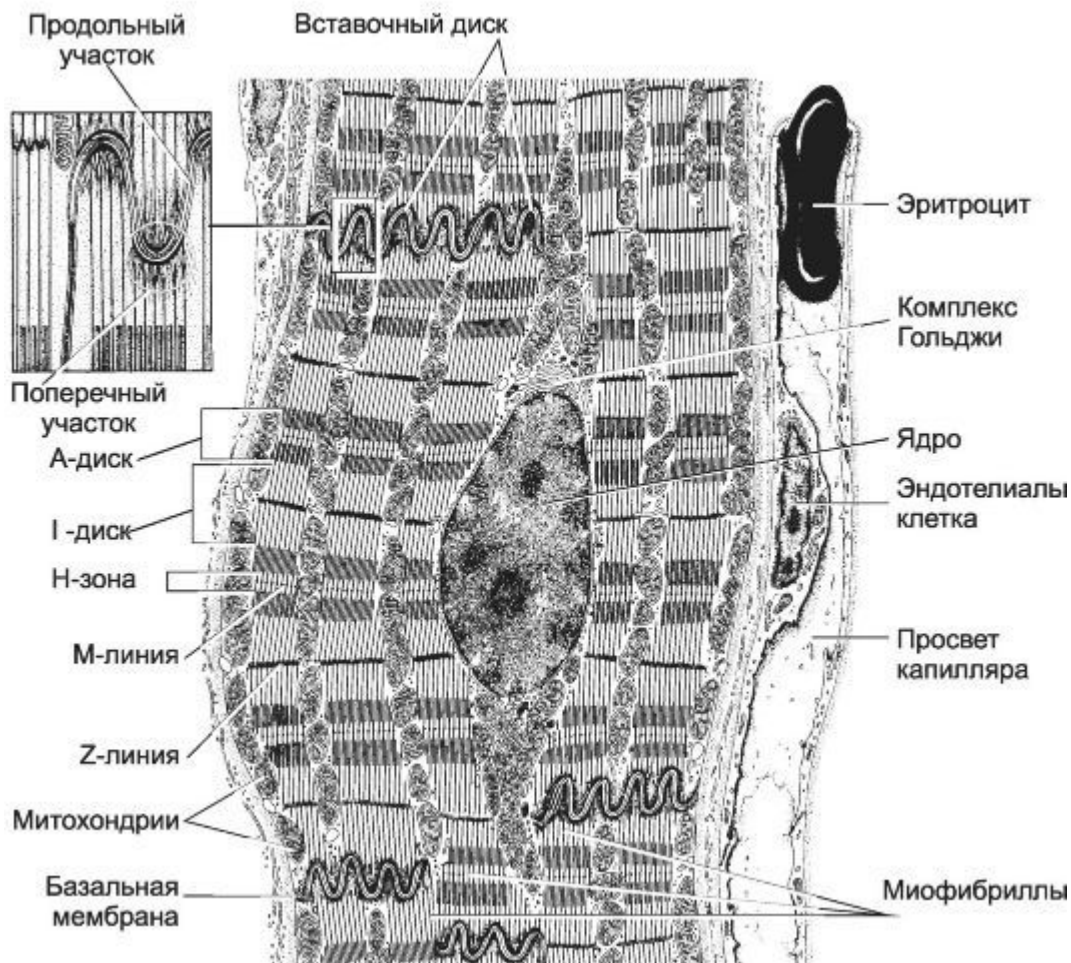
# Рабочие кардиомиоциты

**Рабочие кардиомиоциты** - морфо-функциональные единицы сердечной мышечной ткани, имеют цилиндрическую ветвящуюся форму диаметром около 15 мкм (рис. 7-22).

При помощи межклеточных контактов (**вставочные диски**) рабочие кардиомиоциты объединены в так называемые сердечные мышечные волокна - **функциональный синцитий** - совокупность кардиомиоцитов в пределах каждой камеры сердца. **Клетки содержат** центрально расположенные, вытянутые вдоль оси одно или два ядра, миофибриллы и ассоциированные с ними цистерны саркоплазматического ретикулума (депо  $Ca^{2+}$ ).

**Многочисленные митохондрии** залегают параллельными рядами между миофибриллами. Их более плотные скопления наблюдают **на уровне I-дисков и ядер**.

Гранулы гликогена сконцентрированы на обоих полюсах ядра. **T-трубочки в кардиомиоцитах** - в отличие от скелетных мышечных волокон - **проходят на уровне Z-линий**. В связи с этим T-трубочка контактирует только с одной терминальной цистерной. **В результате вместо триад скелетного мышечного волокна формируются диады**.



**Рис. 7-22. Рабочий кардиомиоцит - удлинённой формы клетка.**

Ядро расположено центрально, вблизи ядра находятся комплекс Гольджи и гранулы гликогена. Между миофибриллами лежат многочисленные митохондрии. Вставочные диски (на врезке) служат для скрепления кардиомиоцитов и синхронизации их сокращения. [17]

- **Сократительный аппарат.** Организация миофибрилл и саркомеров в кардиомиоцитах такая же, что и в скелетном мышечном волокне. Одинаков и механизм взаимодействия тонких и толстых нитей при сокращении.

- **Вставочные диски.** На концах контактирующих кардиомиоцитов имеются интердигитации (**пальцевидные выпячивания и углубления**). Вырост одной клетки плотно входит в углубление другой. На конце такого выступа (поперечный участок вставочного диска) сконцентрированы контакты двух типов: десмосомы и промежуточные. На боковой поверхности выступа (продольный участок вставочного диска) имеется множество щелевых контактов (*nexus*, *нексус*), передающих возбуждение от кардиомиоцита к кардиомиоциту.

**Предсердные и желудочковые кардиомиоциты.** Предсердные и желудочковые кардиомиоциты относятся к разным популяциям рабочих кардиомиоцитов. Предсердные кардиомиоциты относительно мелкие, 10 мкм в диаметре и длиной 20 мкм. В них слабее развита система Т-трубочек, но в зоне вставочных дисков значительно больше щелевых контактов. Желудочковые кардиомиоциты крупнее (25 мкм в диаметре и до 140 мкм в длину), они имеют хорошо развитую систему Т-трубочек. В состав сократительного аппарата миоцитов предсердий и желудочков входят разные изоформы миозина, актина и других kontraktilных белков.

**Секреторные кардиомиоциты.** В части кардиомиоцитов предсердий (особенно правого) у полюсов ядер располагаются хорошо выраженный комплекс Гольджи и секреторные гранулы, содержащие атриопептин - гормон, регулирующий артериальное давление (АД). При повышении АД стенка предсердия сильно растягивается, что стимулирует предсердные кардиомиоциты к синтезу и секреции атриопептина, вызывающего снижение АД.

# Атипичные кардиомиоциты

Этот устаревший термин относится к миоцитам, формирующим проводящую систему сердца (см. рис. 10-14). Среди них различают водители ритма и проводящие миоциты **атипичные кардиомиоциты образуют проводящую систему сердца, состоящую из:**

- синусо-предсердный узел;
- предсердно-желудочковый узел;
- предсердно-желудочковый пучок (пучок Гиса) ствол, правую и левую ножки;
- концевые разветвления ножек — волокна Пункинье.

**Атипичные кардиомиоциты** обеспечивают генерирование биопотенциалов, их проведение и передачу на сократительные кардиомиоциты.

**По своей морфологии атипичные кардиомиоциты отличаются от типичным рядом особенностей:**

- они крупнее (длина 100 мкм, толщина 50 мкм);
- в цитоплазме содержится мало миофибрилл, которые расположены неупорядочено и потому атипичные кардиомиоциты не имеют поперечной исчерченности;
- плазмолемма не образует Т-канальцев;
- во вставочных дисках между этими клетками отсутствуют десмосомы и щелевидные контакты.

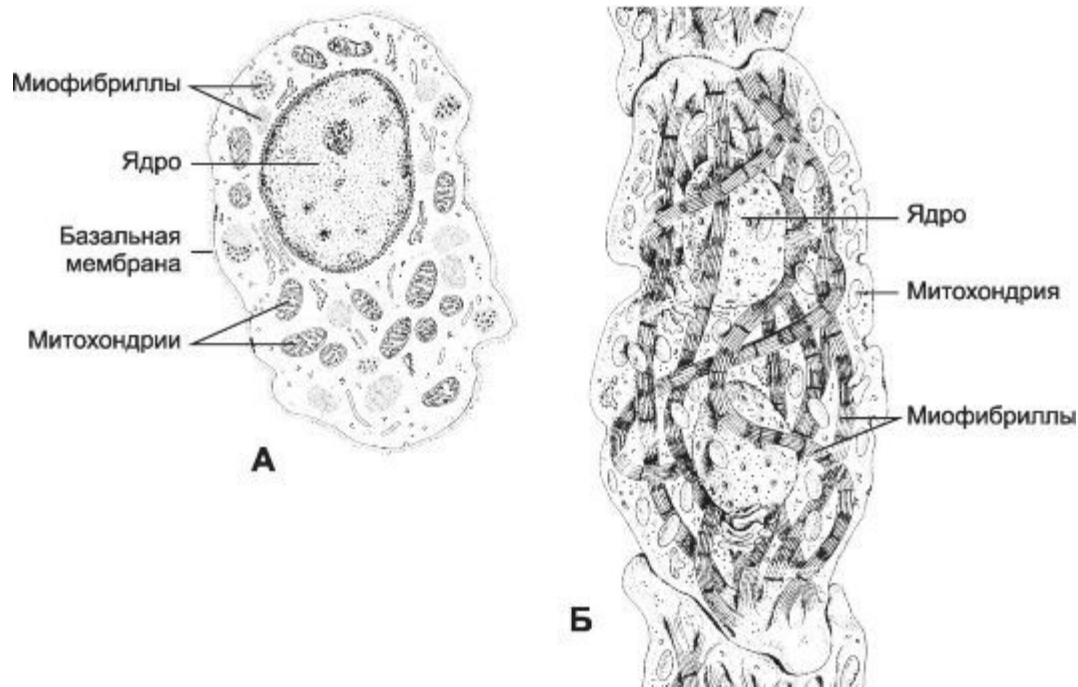
# Атипичные кардиомиоциты

**Атипичные кардиомиоциты** различных отделов проводящей системы отличаются между собой по структуре и функциям и подразделяются **на три основные разновидности:**

- **P-клетки (пейсмекеры) водители ритма (I типа);**
- **переходные клетки (II типа);**
- **клетки пучка Гиса и волокон Пуркинье (III тип).**



**Клетки I типа (P-клетки) составляют основу синусо-предсердного узла, а также в небольшом количестве содержатся в атриовентрикулярном узле. Эти клетки способны самостоятельно генерировать с определенной частотой биопотенциалы и передавать их на переходные клетки (II типа), а последние передают импульсы на клетки III типа, от которых биопотенциалы передаются на сократительные кардиомиоциты.**

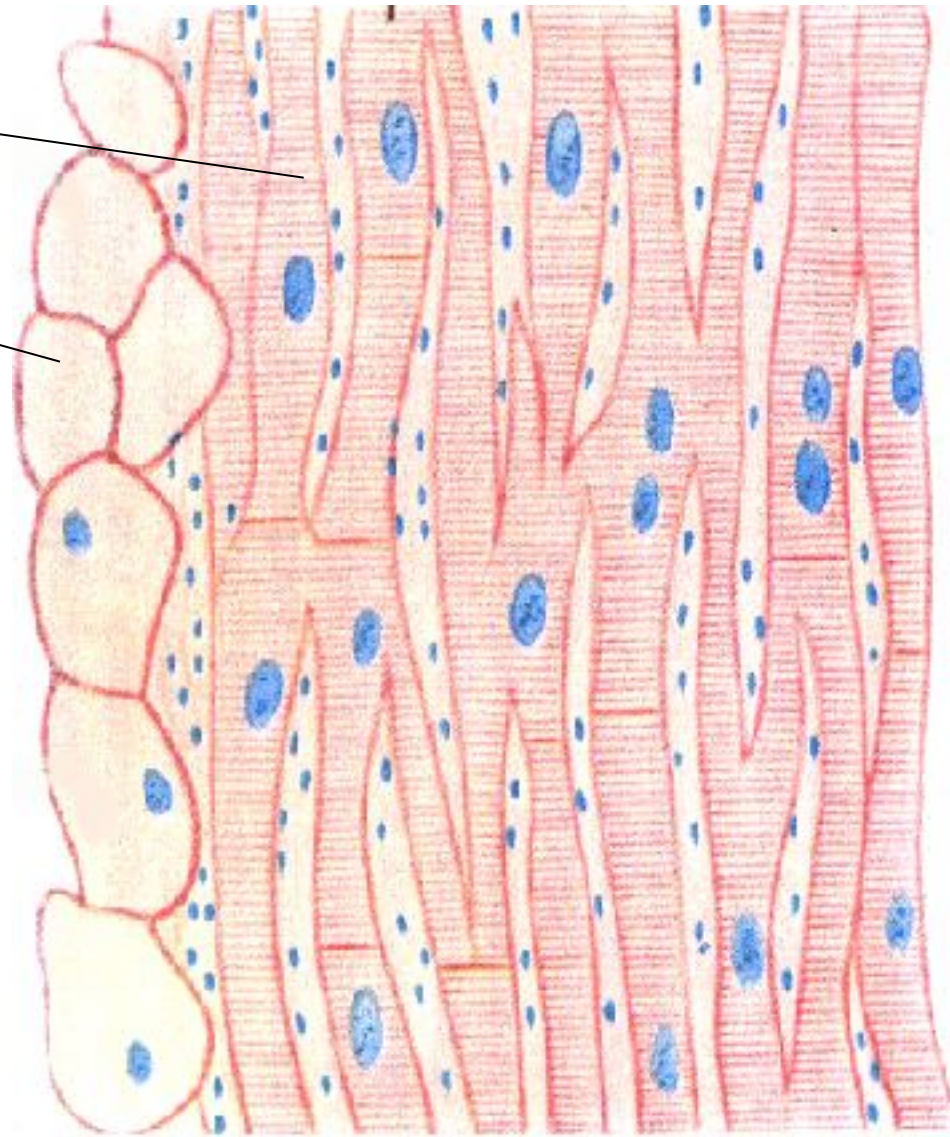


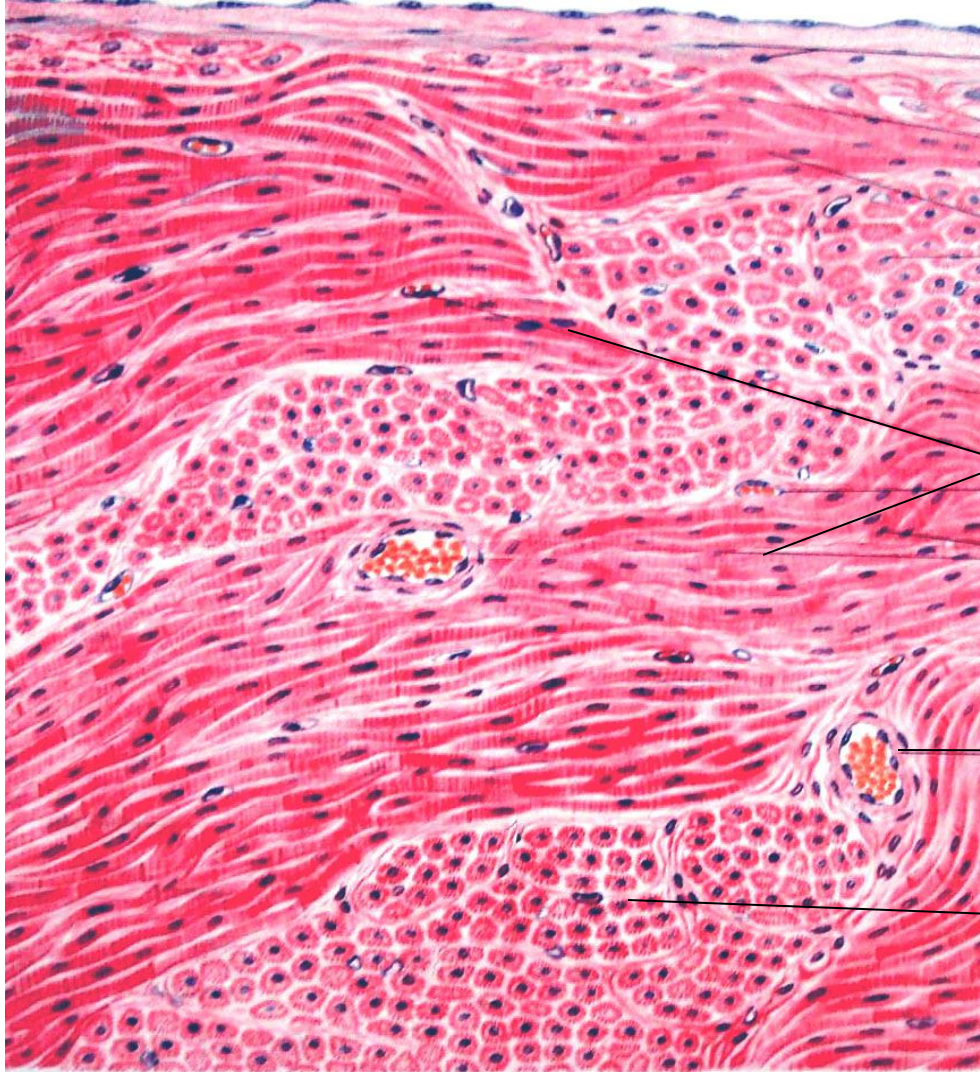
**Рис. 7-24. Атипичные кардиомиоциты.** А - водитель ритма синусно-предсердного узла; Б - проводящий кардиомиоцит предсердно-желудочкового пучка. [17]

Волокна Пуркинье. Проводящие кардиомиоциты волокон Пуркинье - самые крупные клетки миокарда. В них содержатся редкая неупорядоченная сеть миофибрилл, многочисленные мелкие митохондрии, большое количество гликогена. Кардиомиоциты волокон Пуркинье не имеют Т-трубочек и не образуют вставочных дисков. Они связаны при помощи десмосом и щелевых контактов. Последние занимают значительную площадь контактирующих клеток, что обеспечивает высокую скорость проведения импульса по волокнам Пуркинье.

# Виды кардиомиоцитов:

- Типичные сократительные
- Атипичные проводящие  
(клетки Пуркинье)
- Секреторные эндокринные  
(в предсердиях)





Продольные срезы  
мышечных волокон

**МИОКАРД**

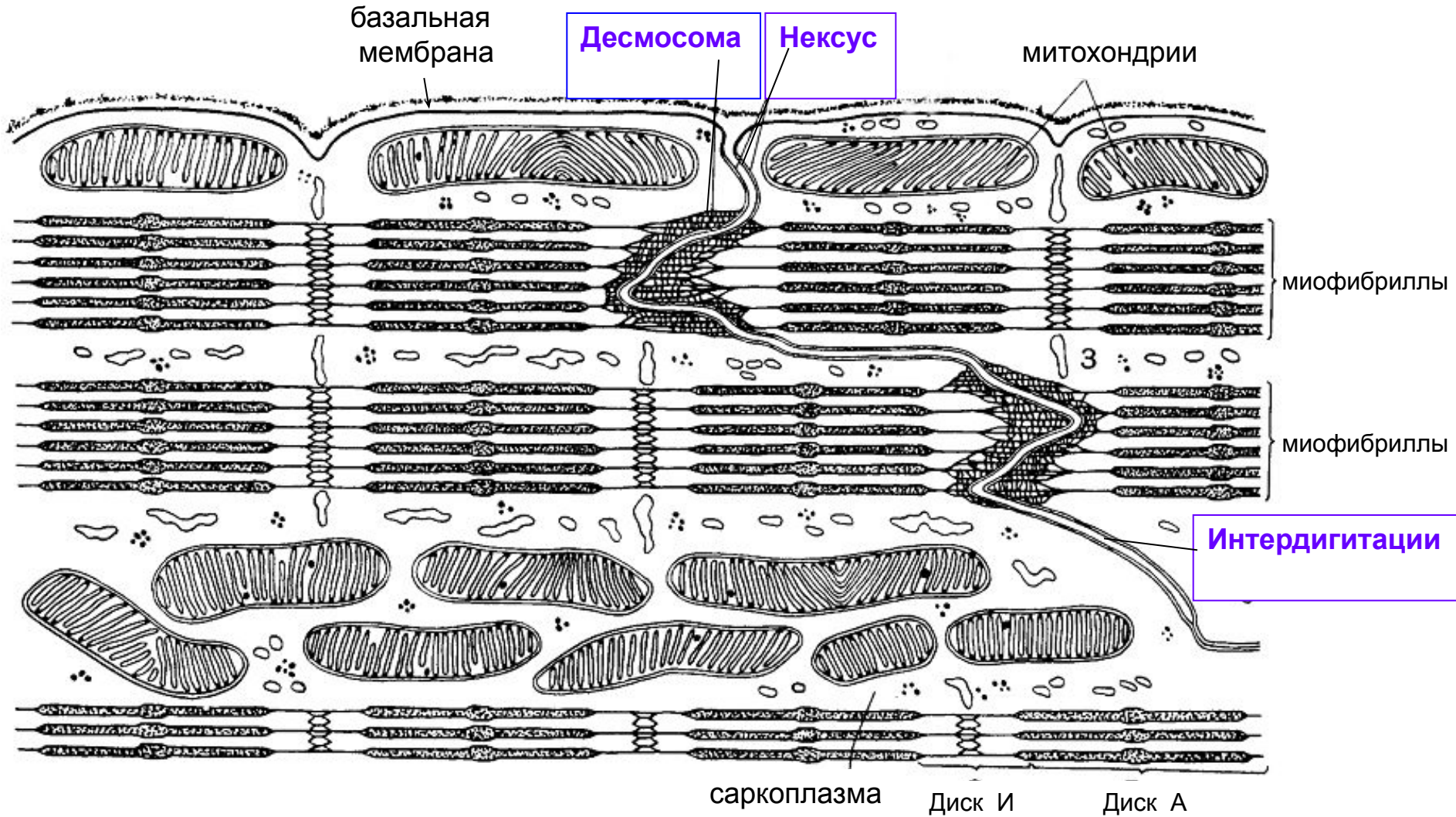
Эндомизий с сосудами

Поперечные срезы  
мышечных волокон



**Сердечная  
мышечная  
ткань**

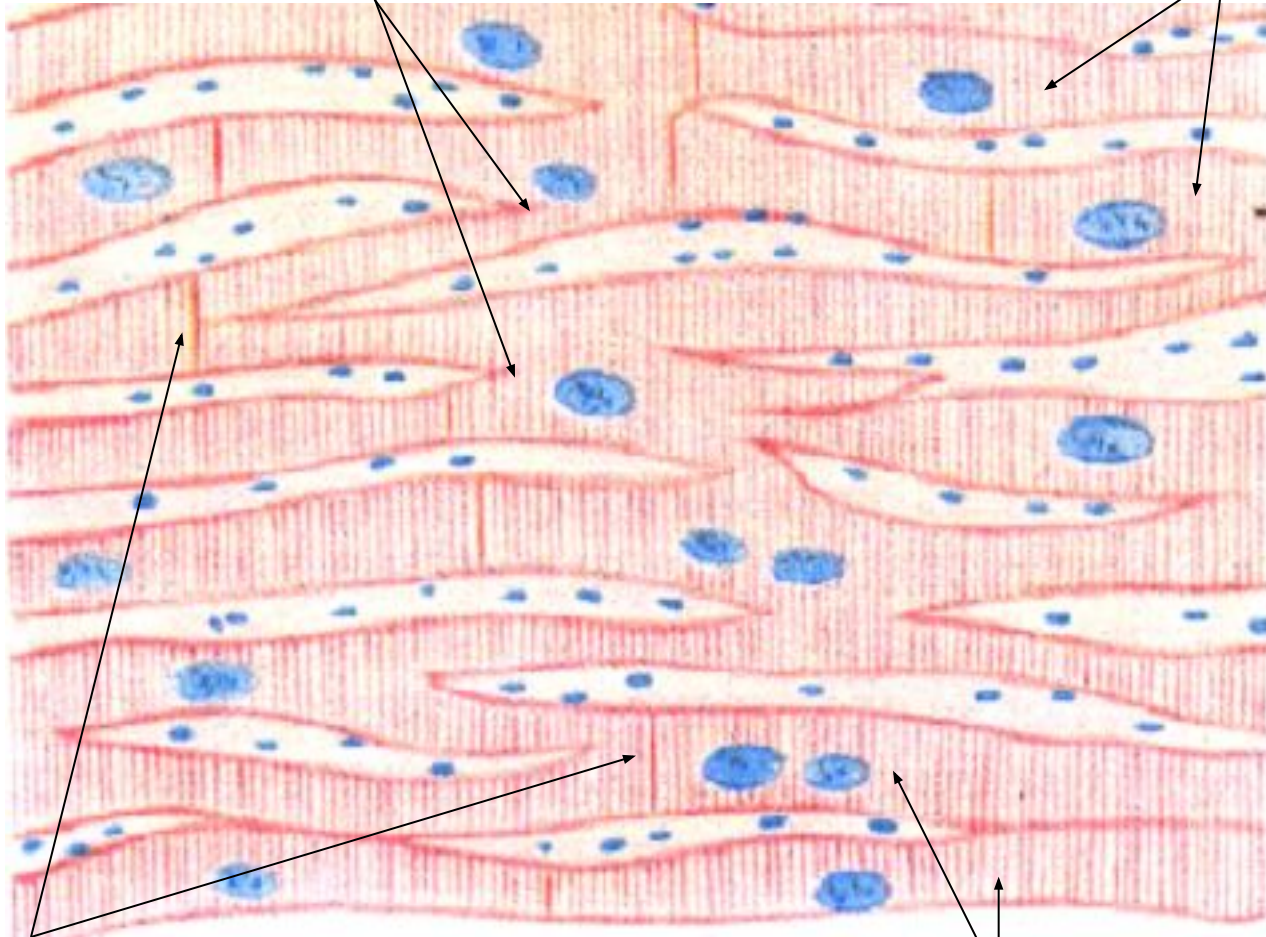
# Вставочный диск



# Строение сердечного синцития

**Анастомозы мышечных волокон**

**Кардиомиоциты**



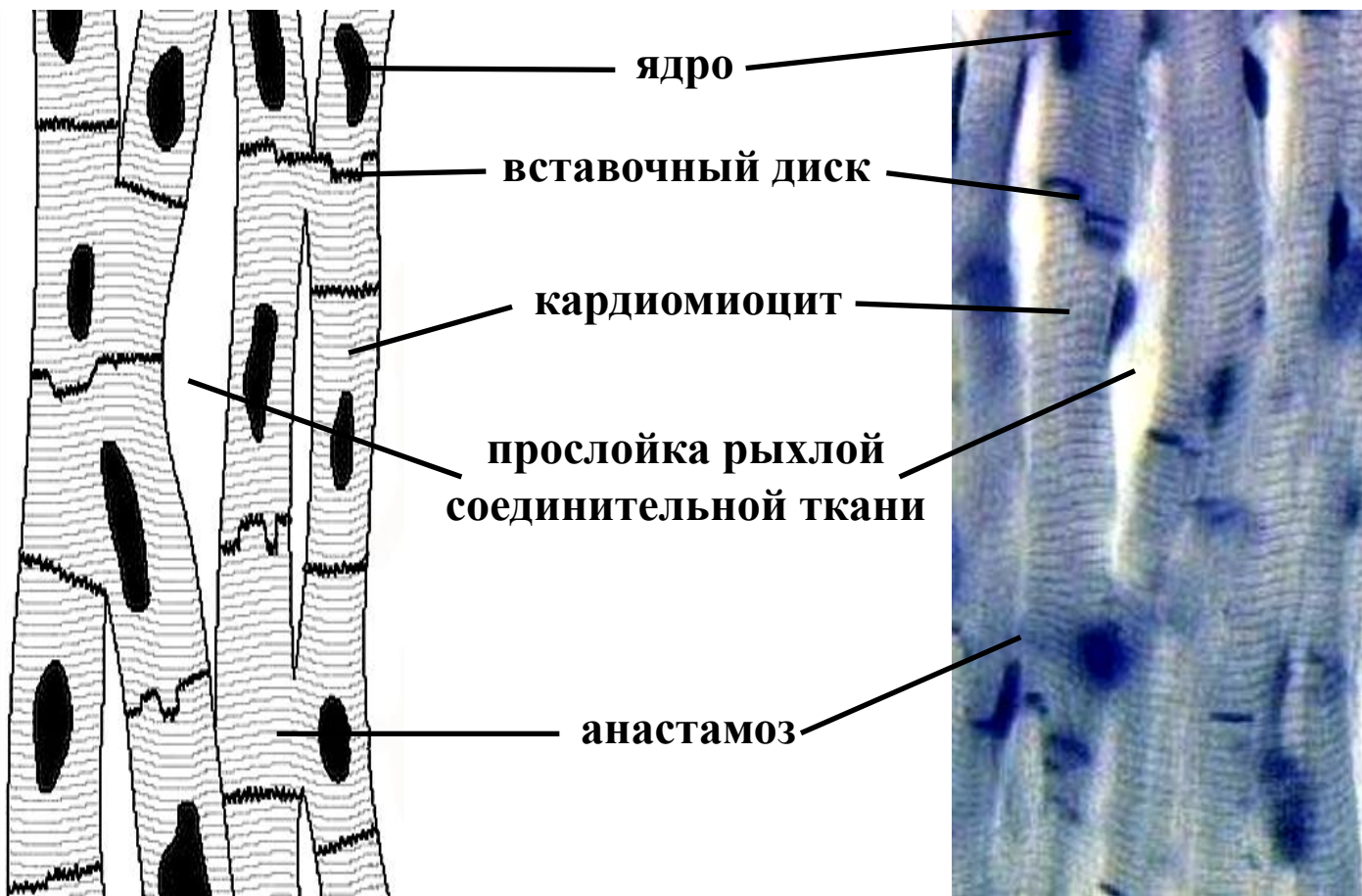
**Вставочные диски**

**Мышечные волокна**

# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Схема строения

Микрофотография



# Сократительный аппарат

## Сократительный аппарат

В ГМК актиновые и миозиновые нити не формируют миофибрилл, характерных для поперечно-полосатой мышечной ткани. Молекулы гладкомышечного актина образуют стабильные актиновые нити, прикреплённые к плотным тельцам и ориентированные преимущественно вдоль продольной оси ГМК.

Миозиновые нити формируются между стабильными актиновыми миофиламентами только при сокращении ГМК.

**Сборку толстых (миозиновых) нитей и взаимодействие актиновых и миозиновых нитей активируют ионы кальция, поступающие из депо  $Ca^{2+}$ . Непременные компоненты сократительного аппарата - кальмодулин ( $Ca^{2+}$ -связывающий белок), киназа и фосфатаза лёгкой цепи гладкомышечного миозина.**



# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Микрофотографии, сделанные  
с помощью сканирующего электронного микроскопа

