

**Тема лекции № 6:**

# **МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ**

**Часовских Ольга Владимировна**

# План лекции

1. Определение, происхождение и классификация мышечной ткани
2. Строение, функции, регенерация гладкой мышечной ткани
3. Строение, функции, регенерация поперечно-полосатой мышечной ткани
5. Строение, функции, регенерация сердечной мышечной ткани

# 1. Определение, происхождение и классификация мышечной ткани

## **Мышечные ткани (МТ)**

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

## Общая морфофункциональная характеристика мышечной ткани (МТ)

1. Структурные элементы (клетки, волокна) обладают удлинённой формой;
2. Наличие органелл специального назначения – миофиламенты, миофибриллы;
3. С сократительными органеллами связаны элементы цитоскелета и плазмолемма;
4. Расположение митохондрий рядом с сократительными элементами (обеспечение энергией в виде макроэргических соединений - АТФ);
5. Наличие трофических включений гликогена, липидов, которые являются источниками энергии;
6. Наличие миоглобина – кислород связывающего железосодержащего белка (в некоторых мышечных тканях);
7. Хорошо развиты структуры, осуществляющие накопление и выделение ионов кальция (кавеолы, гладкая ЭПС)
8. Для синхронизации сокращений мышечные элементы иннервируются из одного источника или (и) связаны многочисленными щелевыми соединениями, которые обеспечивают транспорт ионов.

# Классификация МТ


## 1. по морфофункциональной характеристике

*Иннервируется соматической нервной системой, т.е. сознательно*

### 1. Гладкая мышечная ткань (**ГМТ**)


Структурная единица  
**ГМК-леомиоцит**

1.Нейрального – из нервной трубки, из глазного бокала;

 **входит** в состав мышц суживающих и расширяющих зрачок

2.Эпидермального – из кожной эктодермы и прехордальной пластинки:

 **потовые молочные слюнные железы**

3.Мезенхимного -  **входит** в сократительный аппарат всех внутренних органов

### 2. Поперечно-полосатая мышечная ткань (**ППМТ**)

Структурная единица  
**Мышечное волокно**

**Скелетная МТ**

Из мезенхимы, из миотомов СОМИТОВ

**Сердечная МТ**

Из миоэпикардальной пластинки висцерального листка спланхнотома 5

*Иннервируется вегетативной нервной системой, т.е. несознательно*

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ

### 2. Гистогенетическая классификация мышечных тканей

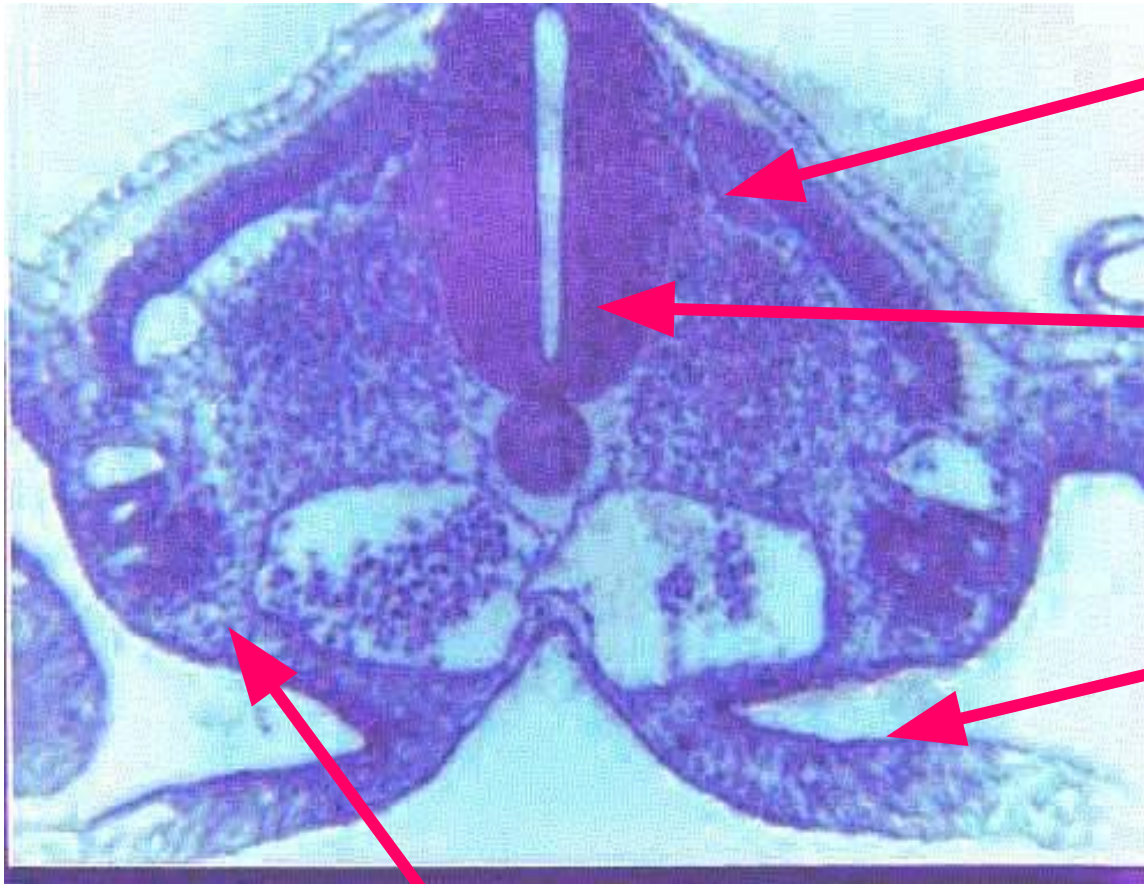
#### • Эктодермальные

- эпителиально-мышечная ткань (мышечные клетки экзокринных желез)
- нейроглиальная сократимая ткань (сфинктер и дилататор зрачка)

#### • Мезодермальные

- поперечно-полосатая скелетная мышечная ткань
- поперечно-полосатая сердечная мышечная ткань
- гладкая мышечная ткань

# РАЗВИТИЕ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ



МИОТОМЫ -  
СКЕЛЕТНАЯ

НЕЙРОЭКТОДЕРМА -  
МИОНЕЙРАЛЬНАЯ  
ТКАНЬ РАДУЖКИ

ВИСЦЕРАЛЬНЫЙ  
СПЛАНХНОТОМ -  
МИОКАРД

МЕЗЕНХИМА - ГЛАДКАЯ

**Классификация предложенная  
Николаем Григорьевичем Хлопиным:**

**1.** Гладкая МТ.

**2.** Поперечно-полосатая МТ.

1) Поперечно-полосатая МТ соматического типа.

2) Поперечно-полосатая МТ целомического

(сердечного) типа.

**3.** Мионейральные МТ.

**4.** Миоэпителиальные элементы или миоидные

клеточные комплексы.



Мышцы составляют большую массу тела и входят в состав многих органов.

## ТЕРМИНОЛОГИЯ:

- **мышечная клетка** = мышечное волокно (мышечные клетки больше в длину, чем в ширину)
- **саркоплазма** = цитоплазма мышечного волокна,
- **сарколемма** = плазматическая мембрана мышечного волокна,
- саркоплазматический ретикулум** = гладкий эндоплазматический ретикулум мышечного волокна.

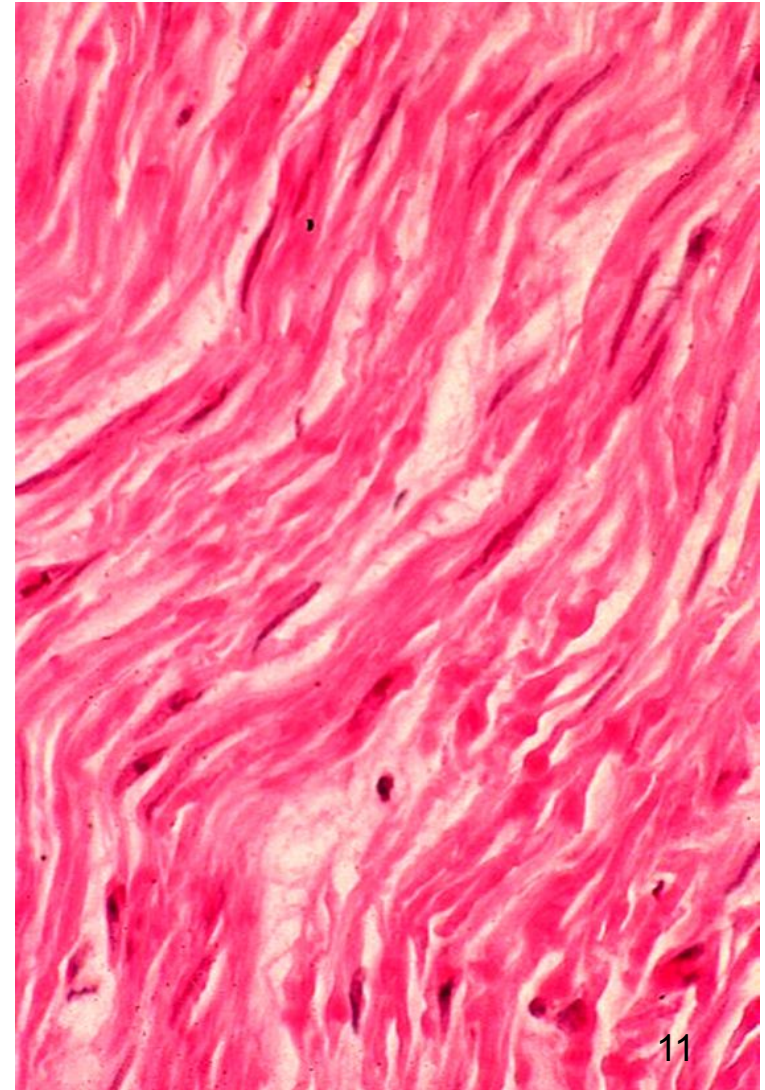
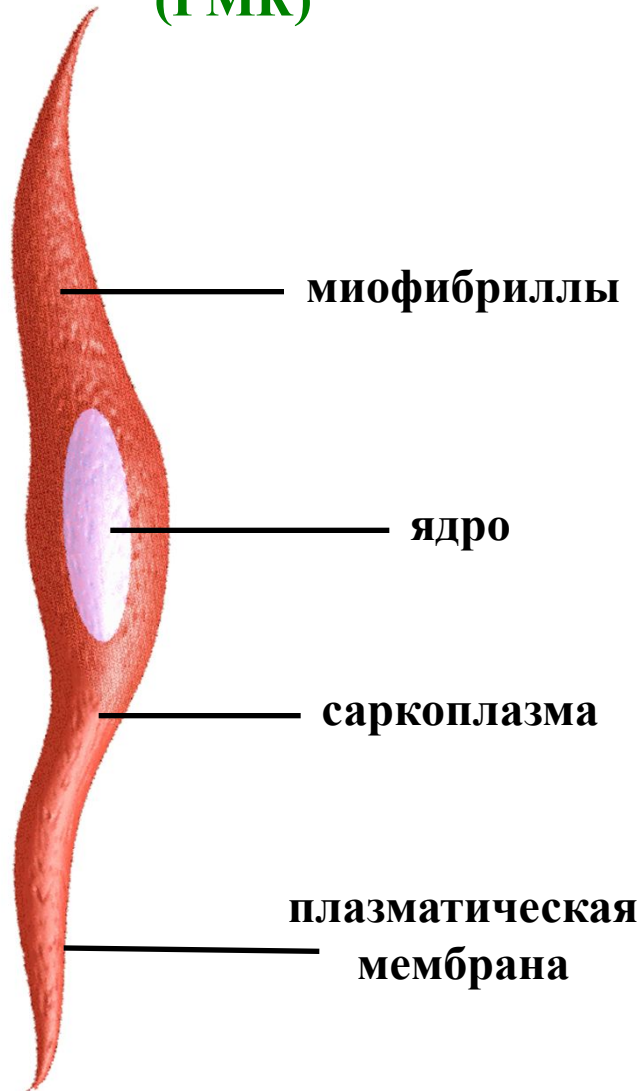
## Характеристика ГМТ

1. Гладкая МТ входит в состав мышечных оболочек сосудов, кишечника, мочевыводящих, семявыводящих путей; обнаруживается в селезенке, коже и других органах.
2. Характеризуется отсутствием исчерченности.
3. Непроизвольные сокращения.
4. Иннервация осуществляется за счет вегетативной НС.
5. Структурно-функциональной единицей ГМТ является **гладкомышечная клетка (ГМК)** или **гладкий миоцит.**

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГЛАДКОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Схема строения гладкомышечной клетки (ГМК)

Микрофотография ткани



## Характеристика гадкого

1. Миоцит представляет собой **миоцита** всего веретенообразную клетку (длиной 20—1000 мкм, диаметром 2—20 мкм). В матке клетки имеют вытянутую отростчатую форму.
2. В центре клетки располагается ядро палочковидной формы
3. В цитоплазме у полюсов имеется комплекс Гольджи.
4. Много митохондрий, рибосом.
5. На концах клетки имеются пальцевидные впячивания. На боковых поверхностях **десмосомы** + встречаются **нексусы**.
6. В молодых клетках много гр. ЭПС – отвечает за синтез межклеточного вещества.
7. Поверхность клеток неровная, имеются пузырьковидные впячивания – кавеолы, которые рассматриваются как аналоги Т-каналцев, депо  $Ca^{2+}$ .
8. Цементирующую роль играет межклеточное в-во (коллаген, эластин и компоненты аморфного в-ва), которое вырабатывается ГМК, подобно фибробластам.

# Характеристика гадкого миоцита

9. Сарколемма ГМ окружена базальной мембраной, в которой вплетаются тонкие ретикулярные, коллагеновые, эластические волокна.

10. Периферическая часть ГМК занята сократительным аппаратом: много актиновых миофиламентов (7 нм) + миозиновые миофиламенты (17 нм), они не образуют миофибрилл, располагаются параллельно друг другу вдоль оси миоцита и не образуют **А и I диски**, чем и объясняется отсутствие поперечной исчерченности миоцитов.

# Характеристика гадкого миоцита

## 11. Актиновые миофиламенты:

- ❑ располагаются продольно или под углом
- ❑ образуют трехмерную сеть
- ❑ в месте их контакта друг с другом и с цитолеммой образуют

**электронно-плотные тельца**, состоящие из  **$\alpha$ -актина**.

- ❑ Под воздействием потенциала действия (ПД) происходит высвобождение  $Ca^{2+}$  из кавеол и полимеризация миозина.
- ❑ Происходит смещение актиновых нитей относительно миозиновых, благодаря этому меняется форма клетки (становится округло-пузырчатой).

**12. Миозиновые филаменты** – находятся в виде мономеров между актиновыми миофиламентами.

# Гладкая мышечная ткань



# СТРОЕНИЕ ГЛАДКОМЫШЕЧНОЙ КЛЕТКИ

периферические пузырьки

(схема)

ядро

базальная  
пластина

аппарат  
Гольджи

грЭПС

промежуточные  
филаменты

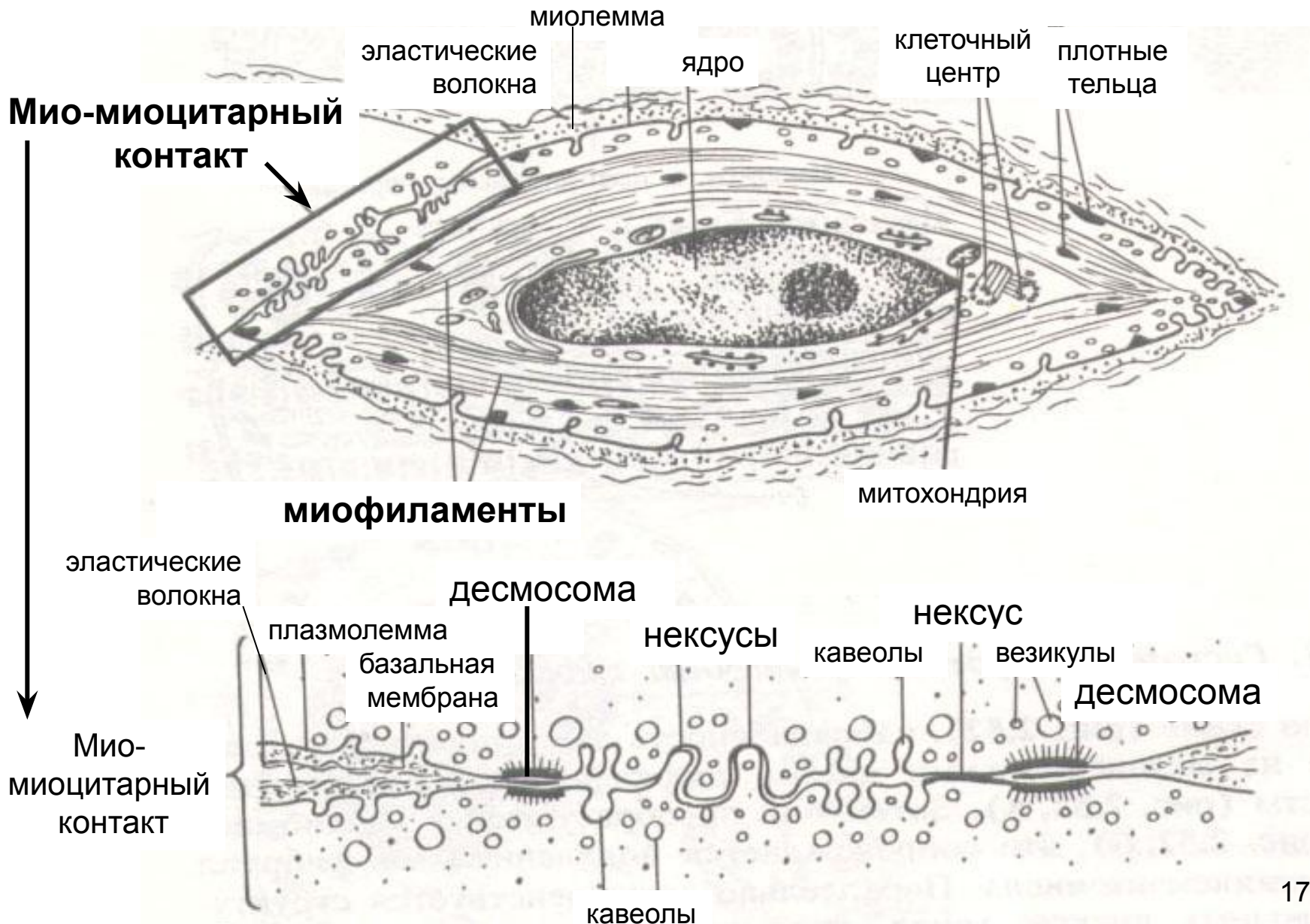
гликоген

МИТОХОНДРИИ





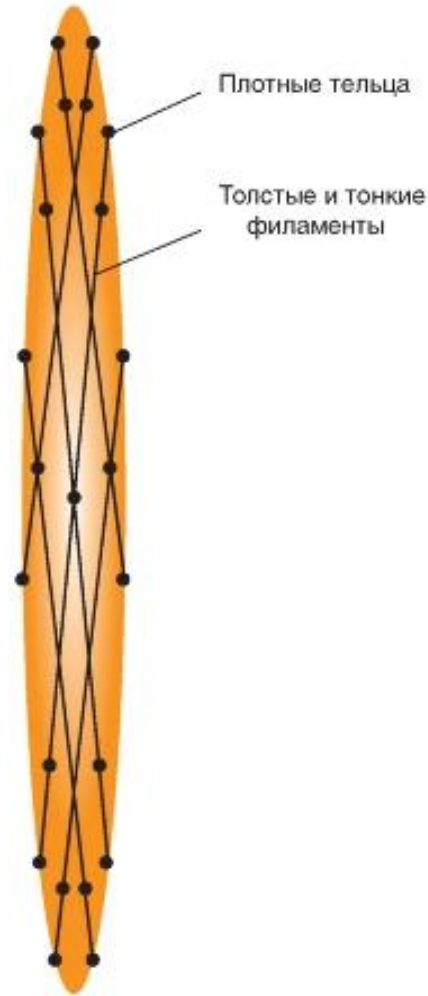
# Структурная единица – гладкий миоцит



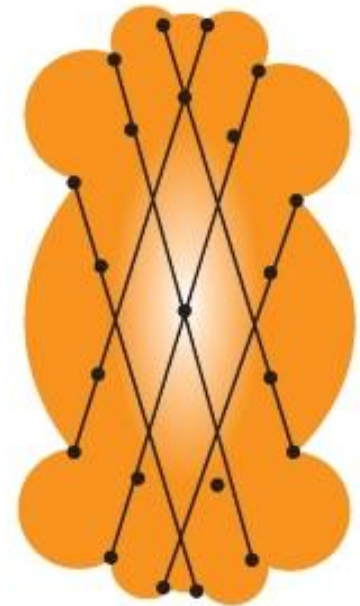
В гладкой МТ толстые и тонкие филаменты ориентированы под углом к осям волокна и прикреплены к плазматической мембране или к плотным тельцам в цитоплазме.

При активации мышечных клеток толстые и тонкие филаменты скользят друг относительно друга так, что клетки укорачиваются и утолщаются.

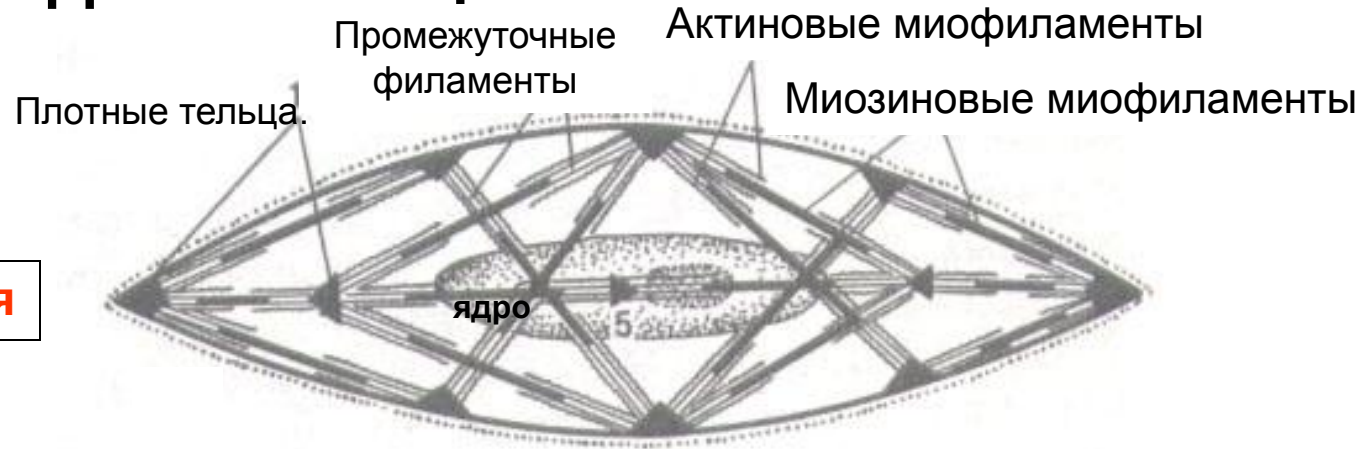
Расслабление



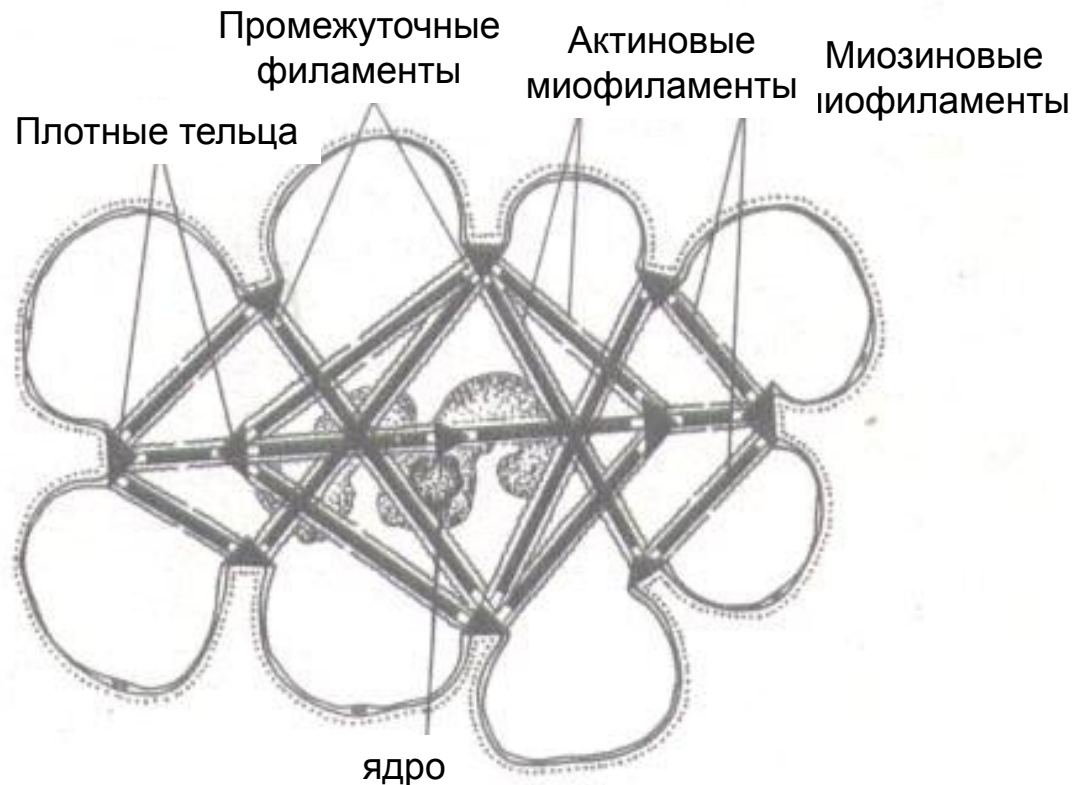
Сокращение



# Строение гладкого миоцита



**Фаза расслабления**



**Фаза сокращения**

**Механизм сокращения:**

Ca + кальмодулин

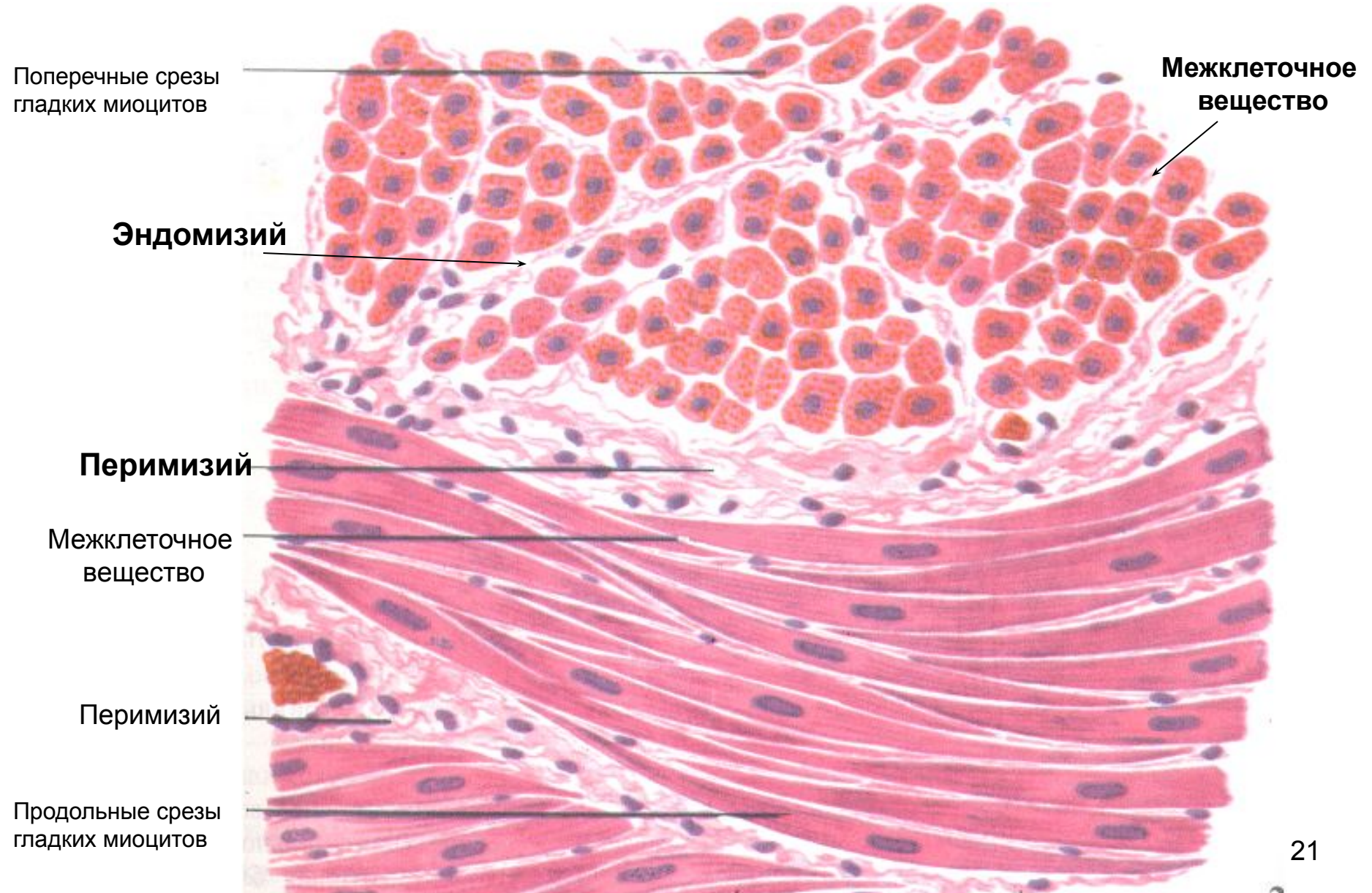


Соединение  
актина с  
МИОЗИНОМ

Ядро в центре клетки, а периферическая часть клетки занята сократительным аппаратом: много актиновых (их больше) + миозиновых миофиламентов.

**НО!!!! Они не образуют миофибрилл!!!**

# Гладкие мышцы

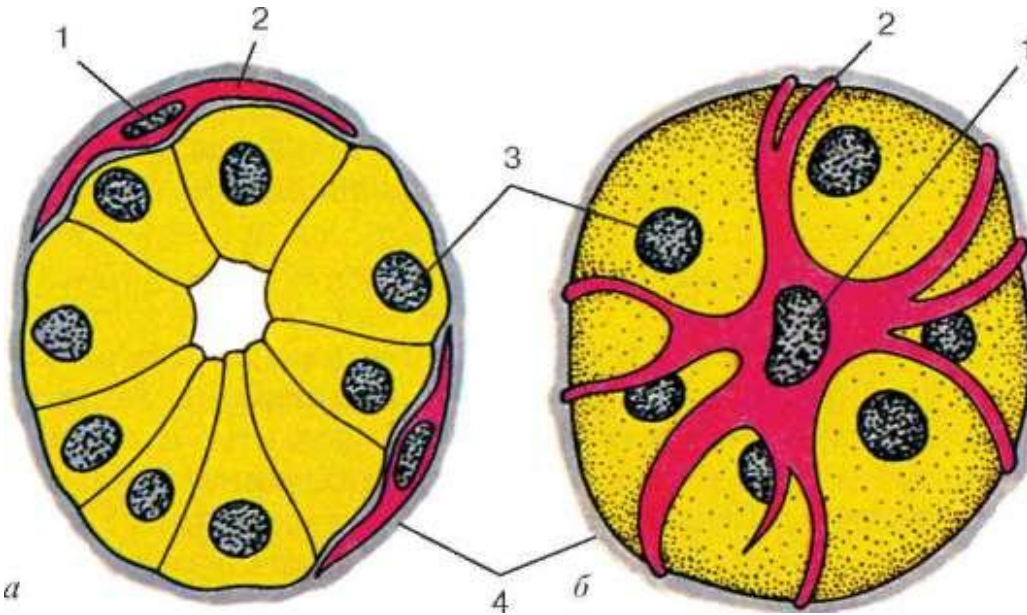


# I гладкие мышечные

## ткани.

- 1. Нейральные – Миоциты** расположены пучками, **Эндомизий** и **Перимизий** тонкие, содержат **Меланоциты** и *миопигментоциты*  
**Функция:** а) Сужение – расширение зрачка;  
б) Изменение кривизны хрусталика;  
в) Регуляция внутриглазного давления
- 2. Эпидермальные - Миоциты** расположены слоями. Каждый **Миоцит** окружен **Эндомизием** (тонкая прослойка **РВСТ**, вплетенная в базальную мембрану). Пучки **Миоцитов** окружены **Перимизием** (РВСТ + Сосуды).  
**Функция** - а) изменение объемов внутренних полостей  
б) Перистальтическая и миксерная моторика  
в) Формообразование  
г) Поддержание мышечного тонуса
- 3. Мезенхимные – Миоциты** расположены по спирали. **Эндомизий** очень тонкий, **Перимизий** отсутствует. Имеется коллагеново-эластический каркас.  
**Функции** – а) изменение величины просвета сосуда;  
б) регуляция кровяного давления в сосудах;  
в) гемо-и лимфодинамика;  
г) формообразование;  
д) поддержание мышечного тонуса

# Особые типы мышечных клеток



## Миоэпителиальные клетки в концевом отделе слюнной железы

(схема по Г. С. Катинасу):

а - поперечный срез; б - вид с поверхности.

- 1 - ядра миоэпителиоцитов;
- 2 - отростки миоэпителиоцитов;
- 3 - ядра секреторных эпителиоцитов;
- 4 - базальная мембрана

## Миоэпителиальные клетки

являются производными эктодермы, не имеют исчерченности.

Окружают секреторные отделы и выводные протоки желез (слюнных, молочных, слезных). С железистыми клетками они связаны десмосомами.

Сокращаясь, способствуют выделению секрета. В концевых (секреторных) отделах форма клеток отросчатая, звездчатая.

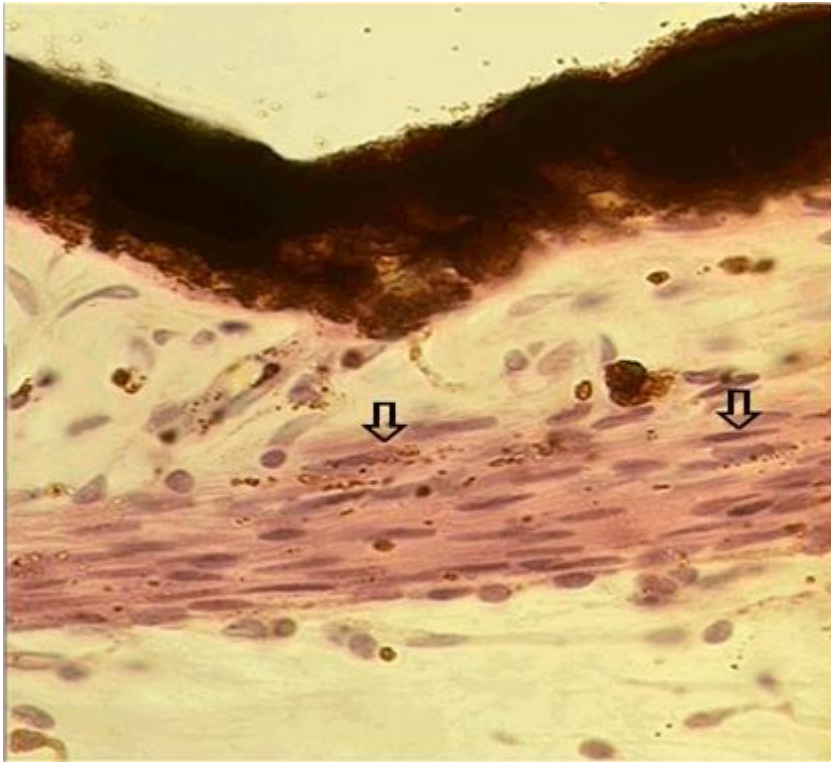
Ядро в центре, в цитоплазме, преимущественно в отростках локализованы миофиламенты, которые образуют сократительный аппарат.

В этих клетках есть и

цитокератиновые промежуточные

филаменты, что подчеркивает их

# Мионейральные клетки



**Мионейральная ткань** входит в состав мышц радужной оболочки глаза – мышцы, суживающей зрачок, и мышцы, расширяющей зрачок.

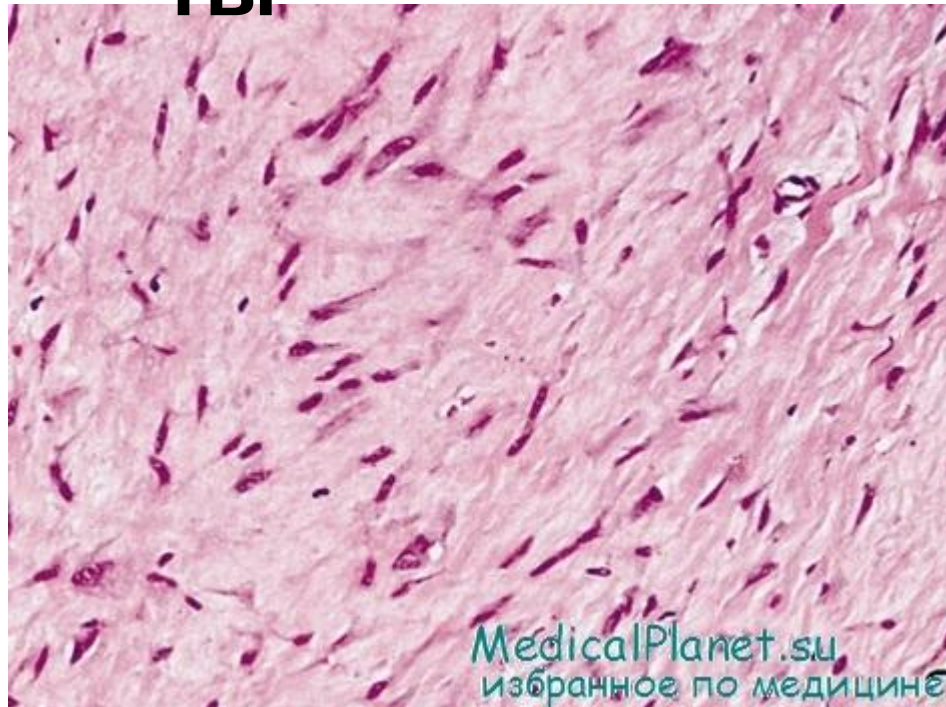
Источник развития –  
нейроэктодерма. Структурно-функциональным элементом мионейральной ткани –  
**мионейроцит, или миопигментоцит** (рис. указан стрелками). Это одноядерная веретеновидная клетка, содержащая в цитоплазме гладкие миофибриллы. В клетках много митохондрий и пигментных гранул.

В немногочисленных работах показана низкая регенерационная активность после повреждения или



# Миофибробласты

## ТЫ



В миоидных клетках (миофибробластах) ядра вытянутые, палочковидные

Миофибробласты относятся к рыхлой соединительной ткани и представляют собой видоизмененные **фибробласты**.

Они проявляют свойства фибробластов (**синтезируют межклеточное вещество**) и гладких **миоцитов** (обладают выраженными сократительными свойствами).

Как вариант этих клеток можно рассматривать миоидные клетки в составе стенки **извитого семенного канальца яичка** и наружного слоя теки **фолликула яичника**.

При заживлении раны часть фибробластов синтезирует гладкомышечные актины и миозины.

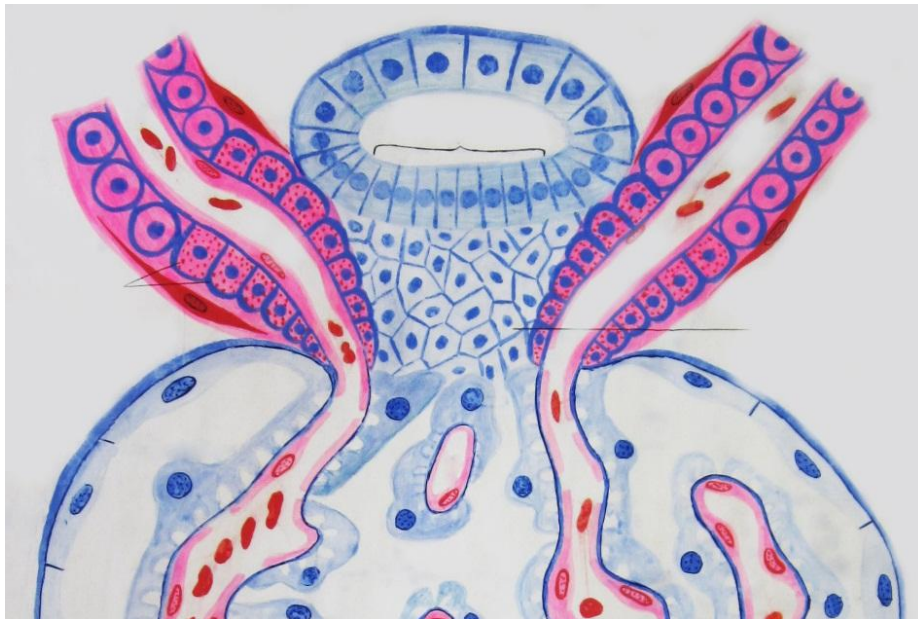
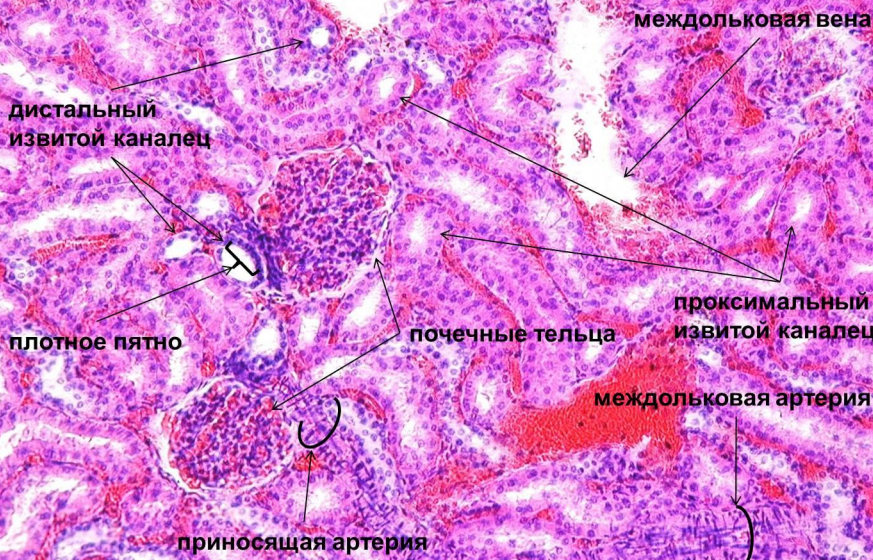
Миофибробласты обеспечивают

# Эндокринные гладкие миоциты

## Юкстагломерулярный аппарат почки

**Эндокринные гладкие миоциты – это видоизмененные ГМК, представляющие основной компонент юкстагломерулярного аппарата почек. Они находятся в стенке артериол почечного тельца, имеют хорошо развитый синтетический аппарат и редуцированный сократительный. Продуцируют фермент **ренин**, находящийся в гранулах и попадающий в кровь путем экзоцитоза.**

Почка собаки, корковое вещество,  
окр. гематоксилином – эозином, х 400



## *Регенерация гладкой мышечной ткани*

осуществляется несколькими способами:


- посредством внутриклеточной регенерации гипертрофии при усилении функциональной нагрузки;
- посредством митотического деления миоцитов при их повреждении (репаративная регенерация);

посредством дифференцировки из камбиальных элементов — из адвентициальных клеток и миофибробластов.


### 3. Строение, функции, регенерация поперечно-полосатой мышечной ткани (соматической)

# Гистоген

Источник происхождения в эмбриогенезе – это **сомиты мезодермы** (дорсо-медиальные участки, которые называются **миотомами**).

**Миотомы** (подверг. миогенезу)  миогенные клетки выселяются в места закладки будущих мышц, здесь превращаются в **миобласты (МБ)** (мио – мышечная клетка, бласты – делящиеся клетки).

**МБ** путем пролиферации (активные митозы)  превращаются в **2 типа клеток.**

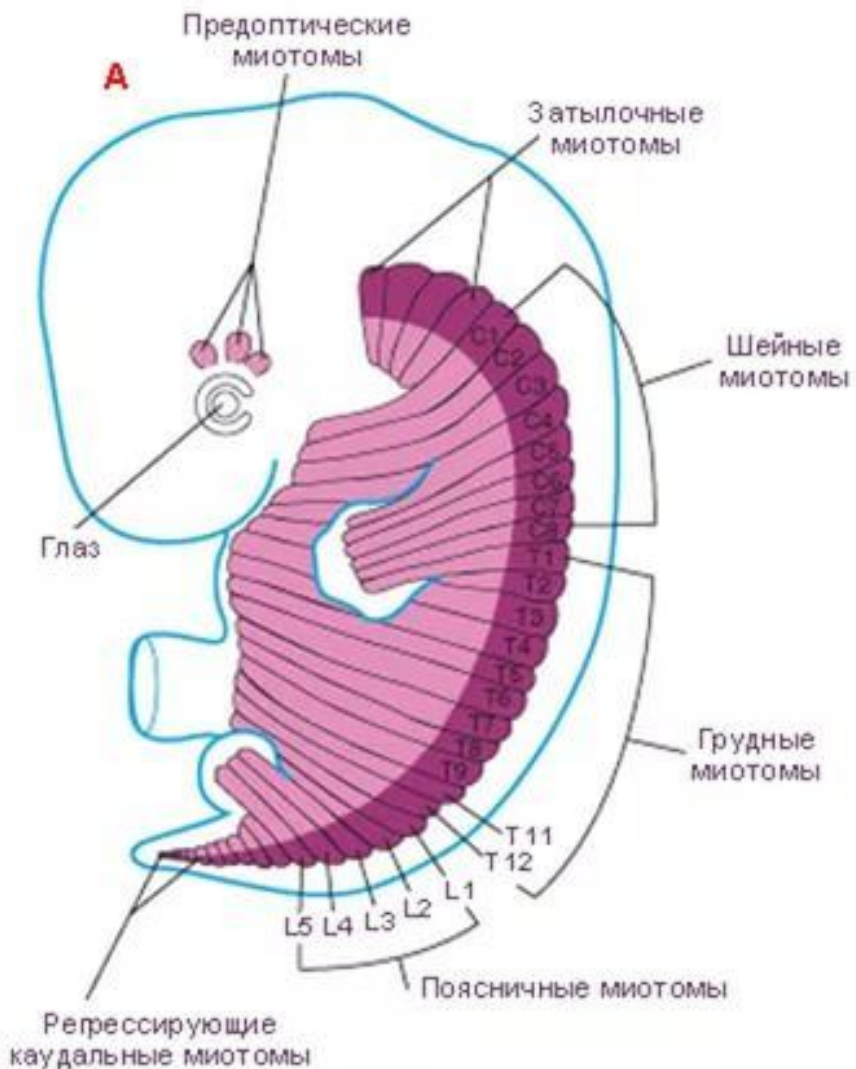
**1 тип: Митотический миобласт**  постмитотический МБ  
(переходящий в  $G_0$ ) они образуют цепочки

Цепочки сливаются – образуется **миотубула**  
- ядра нах-ся в центре, а миофибриллы по периферии, активиз. синтез сокр. белков, ядра перемещ. на периферию, а миофибриллы занимают центральное положение, образуется **Миосимпласт (=Мышечное волокно)**

$G_1$  -

**миосателлиоциты**

# Миотомы и развитие системы мышц.



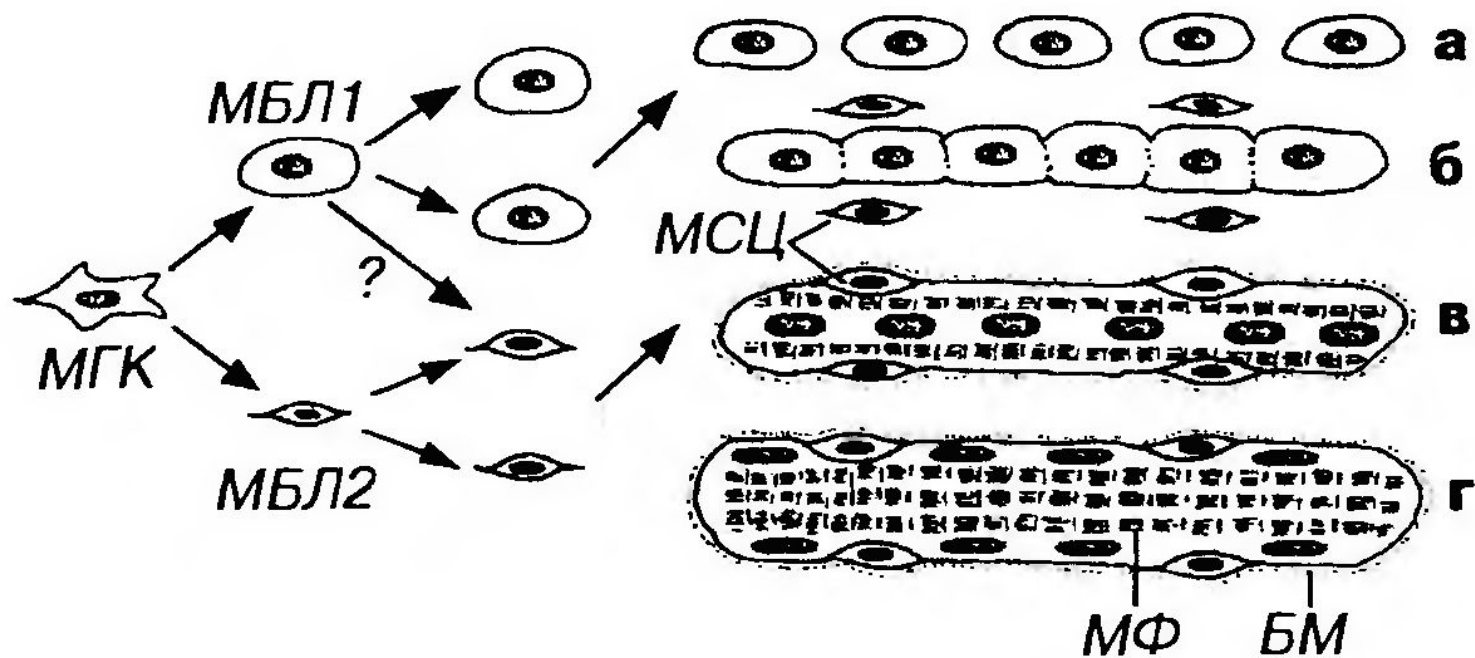


Рис. 13-1. Гистогенез скелетной мышечной ткани. МГК - миогенные клетки дают начало миобластам (МБЛ) двух различных типов - МБЛ1 и МБЛ2. МБЛ1 образуют цепочки (а), сливаются друг с другом (б) и с миосателлитоцитами (МСЦ) - производными МБЛ2, образуя мышечную трубочку (в), которая постепенно превращается в мышечное волокно (г). МФ - миофибриллы, БМ - базальная мембрана.

**2 тип: Митотический миобласт** переходит в состояние  $G_1$  – готовы всегда к делению – это миосателлиты (миосателлиоциты) – **камбий**, т.е. они могут при травме или естественном износе мышц перейти в  $G_0$ , **те превращаются в МБ, они в миотубулы, а они в мышечное волокно.**



# Скелетная мышечная ткань (соматического типа).

Основные гистологические элементы: скелетные мышечные волокна (**функция сокращения**) и **клетки-сателлиты** (камбиальный резерв). Исчерченная (поперечно-полосатая) мышечная ткань составляет до 40% массы взрослого человека, входит в состав:

скелетных мышц,  
мышц языка,  
гортани и др.

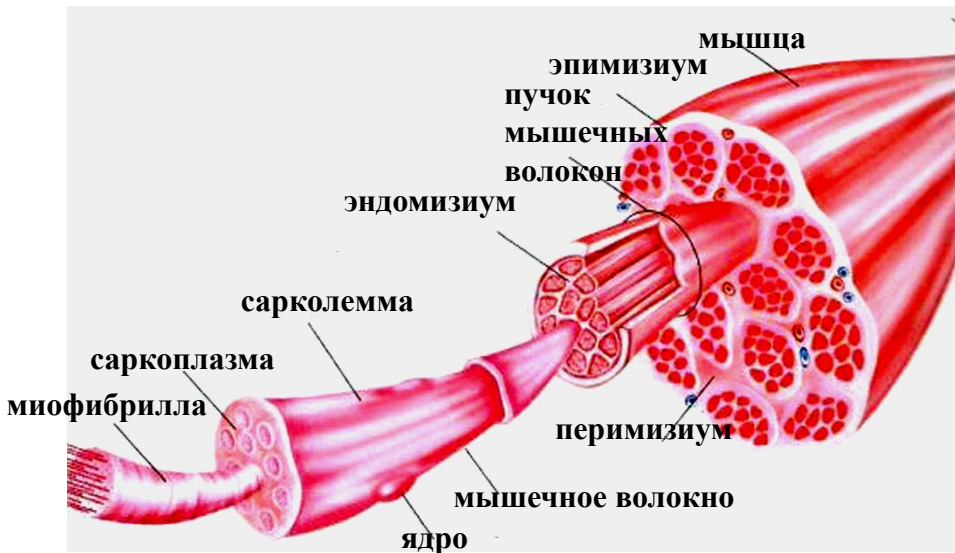
Относятся к произвольным мышцам, поскольку их сокращения подчиняются воле человека. Именно эти мышцы задействованы при занятии спортом

## Строение скелетной мышечной ткани

**Рассмотрим строение мышечной ткани на нескольких уровнях организации живого:**

- на органном уровне (мышца как орган),**
- на тканевом (непосредственно мышечная ткань),**
- на клеточном (строение мышечного волокна),**
- на субклеточном (строение миофибриллы) и**
- на молекулярном уровне (строение актиновых и миозиновых нитей).**

# 1) Органный уровень: строение мышцы как органа.



Скелетная мышца состоит из **пучков мышечных волокон**, связанных воедино системой соединительнотканых компонентов.

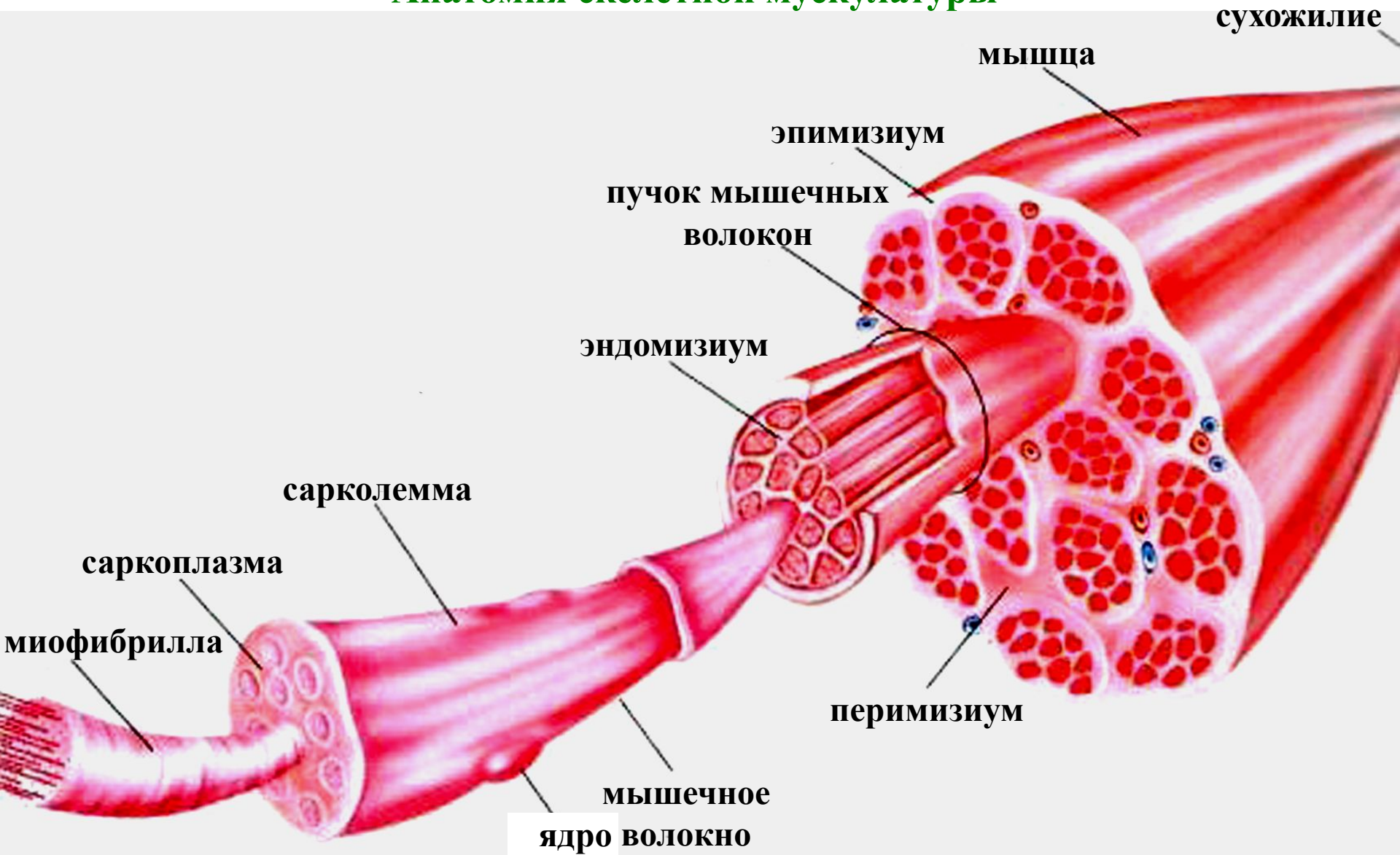
**Эндомизий** – прослойки РВСТ между мышечными волокнами, где проходят кровеносные сосуды, нервные окончания.

**Перимизий** – окружает 10-100 пучков мышечных волокон.

**Эпимизий** – наружная оболочка мышцы, представлена плотной волокнистой тканью.

# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

## Анатомия скелетной мускулатуры



## 2) Тканевой уровень: строение мышечной ткани.

**Структурно-функциональной единицей** скелетной поперечнополосатой (исчерченной) мышечной ткани является мышечное волокно (симпласт) – цилиндрической формы образование диаметром 50 мкм и длиной от 1 до 10-20 см. **Выделяют две части: симпласт и миосателлит.**

1. Снаружи волокно покрыто **базальной мембраной**, которая окружает **миосимпласт и миосателлитоцит.**

Собственно миосимпласт покрыт плазмолеммой.

**Между ними лежат сателлиты.**

**Базальная мембрана + плазмолемма = сарколемма.**

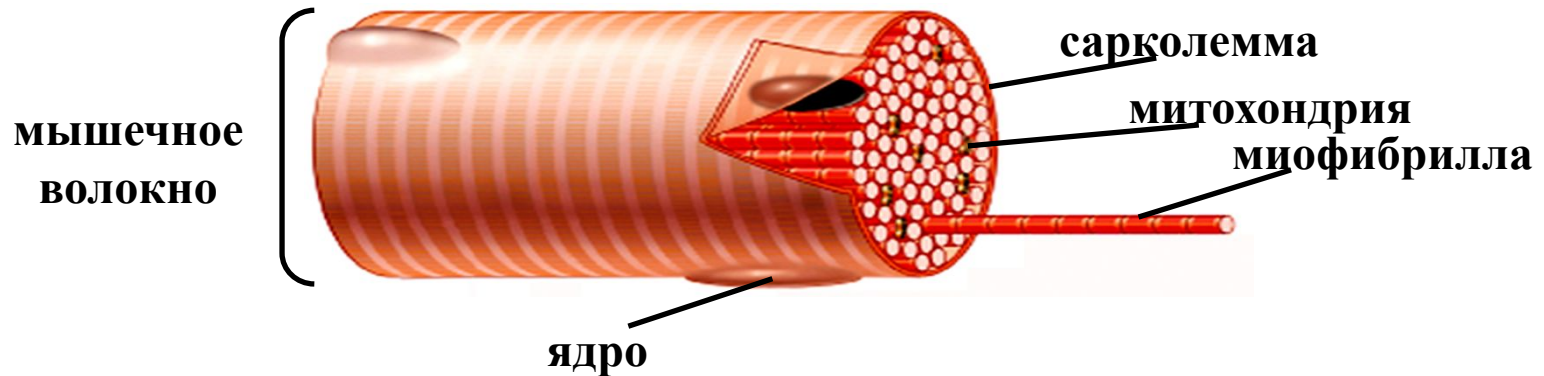
Для мышечного волокна характерна поперечная исчерченность, **ядра смещены на периферию.**

**Между мышечными волокнами** – прослойки РВСТ (эндомизий).

**Клетки-сателлиты** - обособившиеся в ходе миогенеза G1-миобласты, расположенные между **базальной мембраной и плазмолеммой мышечных волокон.**

Ядра этих клеток составляют 30% у новорождённых, 4% у взрослых и 2% у пожилых от суммарного количества ядер скелетного мышечного волокна. **Клетки-сателлиты** также участвуют в репаративной регенерации скелетной мышечной ткани.

# Клеточный уровень - строение мышечного волокна (миосимпласта).



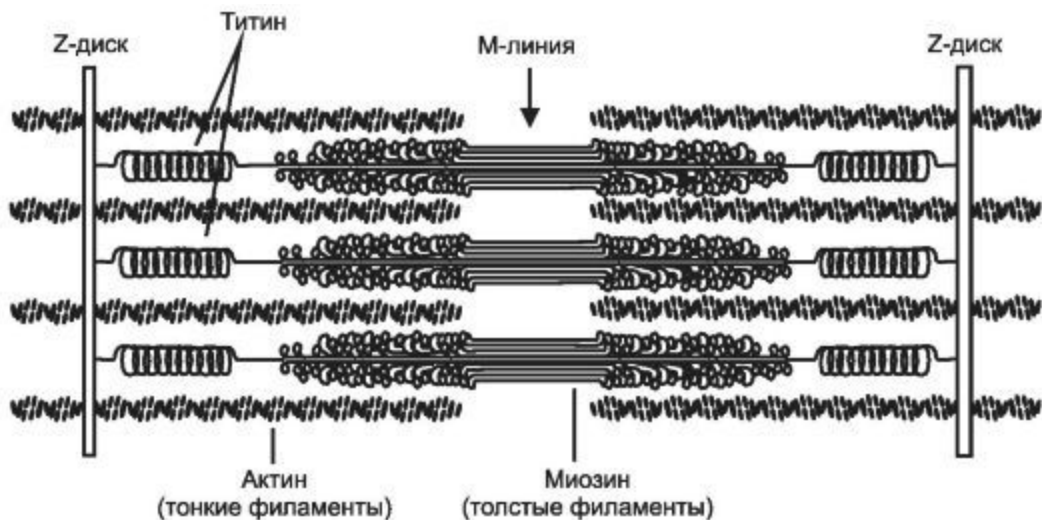
Термин «мышечное волокно» подразумевает «миосимпласт», поскольку миосимпласт обеспечивает функцию сокращения, миосателлиты участвуют только в регенерации. Миосимпласт, как и клетка, состоит из 3-х компонентов:

- ядра (точнее множества ядер),
- цитоплазмы (саркоплазма) и
- плазмолеммы (которая покрыта базальной мембраной и называется сарколемма).

Почти весь объём цитоплазмы заполнен миофибриллами – органеллами специального назначения, органеллы общего назначения:

- грЭПС, аЭПС, митохондрии, комплекс Гольджи, лизосомы, а также ядра смещены на периферию волокна.

## Субклеточный уровень: строение миофибриллы



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

**І-диск** содержит только тонкие нити.

В середине І-диска проходит Z-линия - которая построена из белковых фибриллярных молекул- соединена с соседними миофибриллами с помощью белка десмина, и поэтому все названные линии и диски соседних миофибрилл совпадают и создается картина поперечнополосатой **исчерченности мышечного волокна**. Один конец тонкой нити прикреплён к Z-линии, а другой конец направлен к середине саркомера. 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** (состоящая из миомезина (необходим для сборки толстых нитей и их фиксации при сокращении)). **І-диск** входит в состав двух саркомеров.

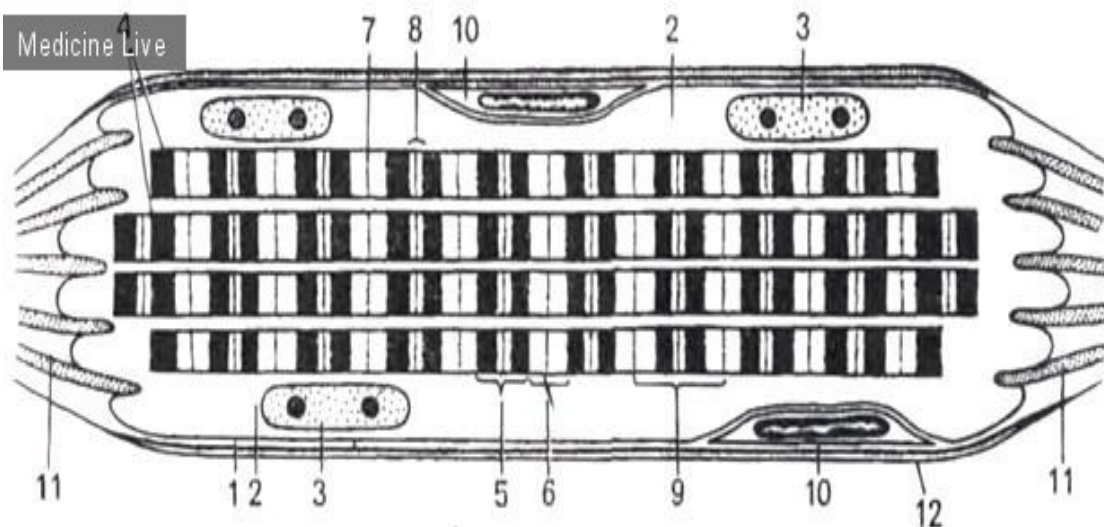
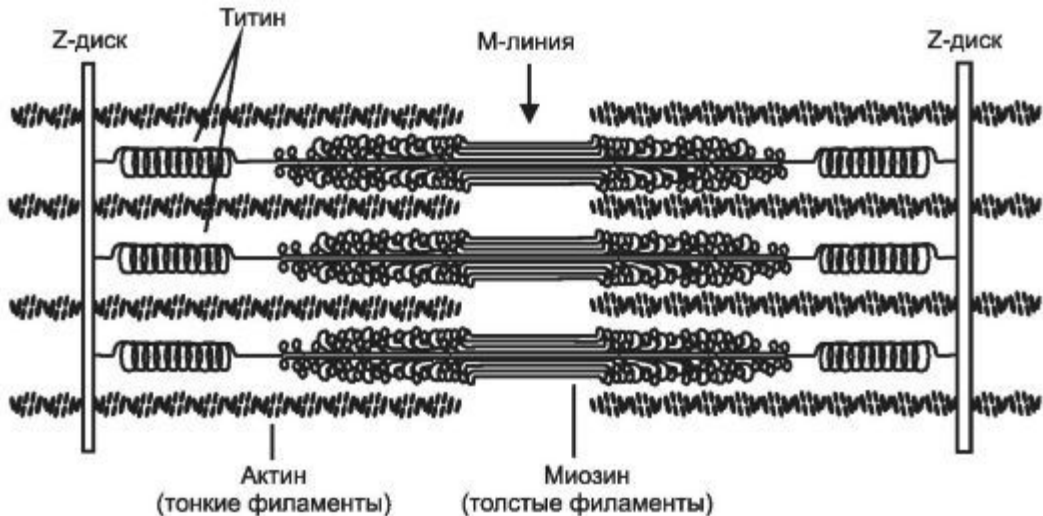
## Субклеточный уровень: строение миофибриллы.

Саркомер содержит один **А-диск** (тёмный) и две половины **I-диска** (светлого).

Толстые миозиновые нити занимают центральную часть саркомера.

**ТИТИН** соединяет свободные концы миозиновых нитей с **Z-линией**.

Тонкие актиновые нити одним концом прикреплены к Z-линии, а другим направляются к середине саркомера и частично входят между толстыми нитями



1 — плазмолемма; 2 — саркоплазма; 3 — ядра миосимпласта;  
4 — миофибриллы; 5 — анизотропный диск (полоска А); 6 — изотропный диск (полоска I); 7 — тселофрагма (линия Z); 8 — светлая зона (полоса H), в середине которой проходит мезофрагма (линия M); 9 — саркомер; 10 — миосателлитоцит; 11 — сухожильные волокна; 12 — базальная мембрана (по А.Н. Студитскому).



## В мышечном волокне (миосимпласте) различают функциональные аппараты

1. Мембранный
2. Фибриллярный (сократительный) и
3. Трофический.

**Трофический аппарат** включает ядра, саркоплазму и цитоплазматические органеллы: митохондрии (синтез энергии), грЭПС и комплекс Гольджи (синтез белков – структурных компонентов миофибрилл), лизосомы (фагоцитоз изношенных структурных компонентов волокна).

**Мембранный аппарат**: каждое мышечное волокно покрыто сарколеммой, где различают наружную базальную мембрану и плазмолемму (под базальной мембраной), которая образует **впячивания (Т-трубочки)**.

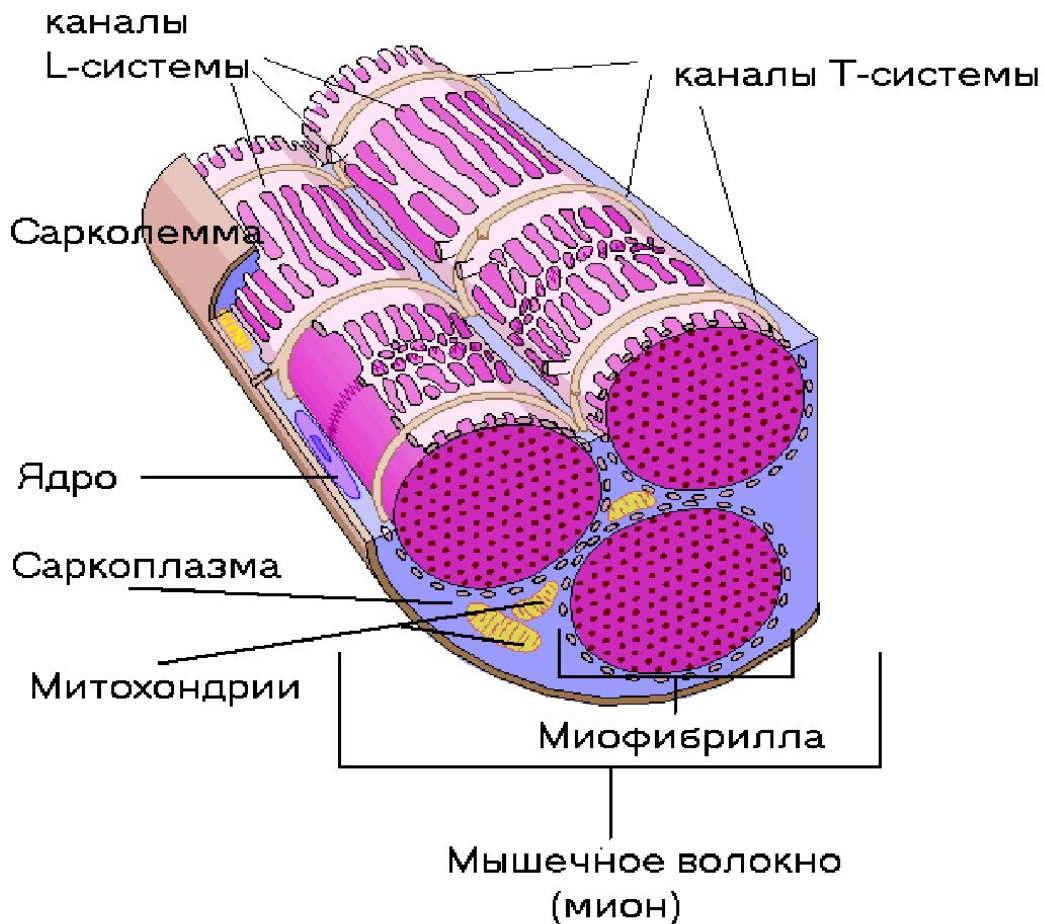
К каждой Т-трубочке примыкают по две цистерны саркоплазматического ретикулума (видоизменённая аЭПС), образуя триаду:

**две L-трубочки** (цистерны аЭПС) и **одна Т-трубочка** (впячивание плазмолеммы).

В цистернах аЭПС концентрируются  $Ca^{2+}$ , необходимый при сокращении. К плазмолемме снаружи прилежат миосателлитоциты. При повреждении базальной мембраны запускается митотический цикл миосателлитоцитов.

**Фибриллярный аппарат**. Большую часть цитоплазмы исчерченных волокон занимают органеллы специального назначения – миофибриллы, ориентированы продольно, обеспечивающие сократительную функцию ткани.

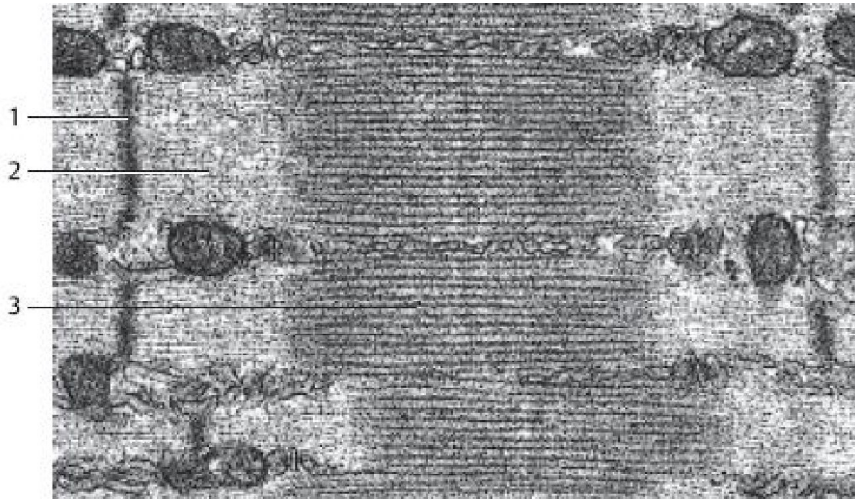
# Скелетная мышечная ткань



Каждая миофибрилла окружена регулярно повторяющимися элементами саркоплазматического ретикулума - анастомозирующими мембранными трубочками (**L-трубочки**), заканчивающимися терминальными цистернами. На границе между тёмным и светлым дисками две смежные терминальные цистерны контактируют **с T-трубочками**, образуя так **называемые триады**.

Саркоплазматический ретикулум - **модифицированная гладкая эндоплазматическая сеть, выполняющая функцию депо**

# Молекулярный уровень: строение актиновых и миозиновых филаментов.



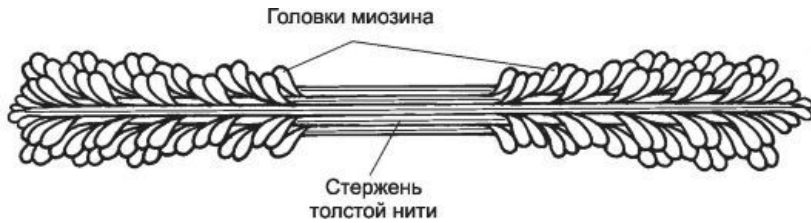
Электронная микрофотография  
миона,  
25 000х. 1 – Z-полоска, 2 – I-диск,  
3 – A-диск

Под электронным микроскопом  
миофибриллы представляют агрегаты

- из толстых, или миозиновых, и
- тонких, или актиновых,  
филаментов.

Между толстыми филаментами  
располагаются тонкие филаменты  
(диаметр 7-8 нм).

## Молекулярный уровень: строение миозиновых



**Толстая нить.** Молекулы 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 спиралями и выступают над поверхностью толстой нити.

### филаментов

Тяжелые цепи состоят из шести полипептидных цепей, две из них тяжелые и представляют собой две спирально закрученные полипептидные нити. Они заканчиваются на своих концах шаровидными головками. В основании для жесткости лежит  **$\alpha$  спираль**. Между головкой и тяжелой цепью находится шарнирный участок, с помощью которого головка может изменять свою конфигурацию **нет  $\alpha$  спирали**.

В основании каждой головки по паре легких цепей – обеспечивают изменение конфигурации головок при высвобождении энергии из АТФ, что необходимо для контакта с активным центром на актине. Молекулы миозина уложены в толстой нити таким образом, что их головки обращены наружу, выступая над поверхностью толстой нити, а тяжелые цепи образуют стержень толстой нити.

Миозин обладает АТФ-азной активностью: высвобождающаяся энергия используется для мышечного сокращения.

# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Миозин как представитель микрофиламентов

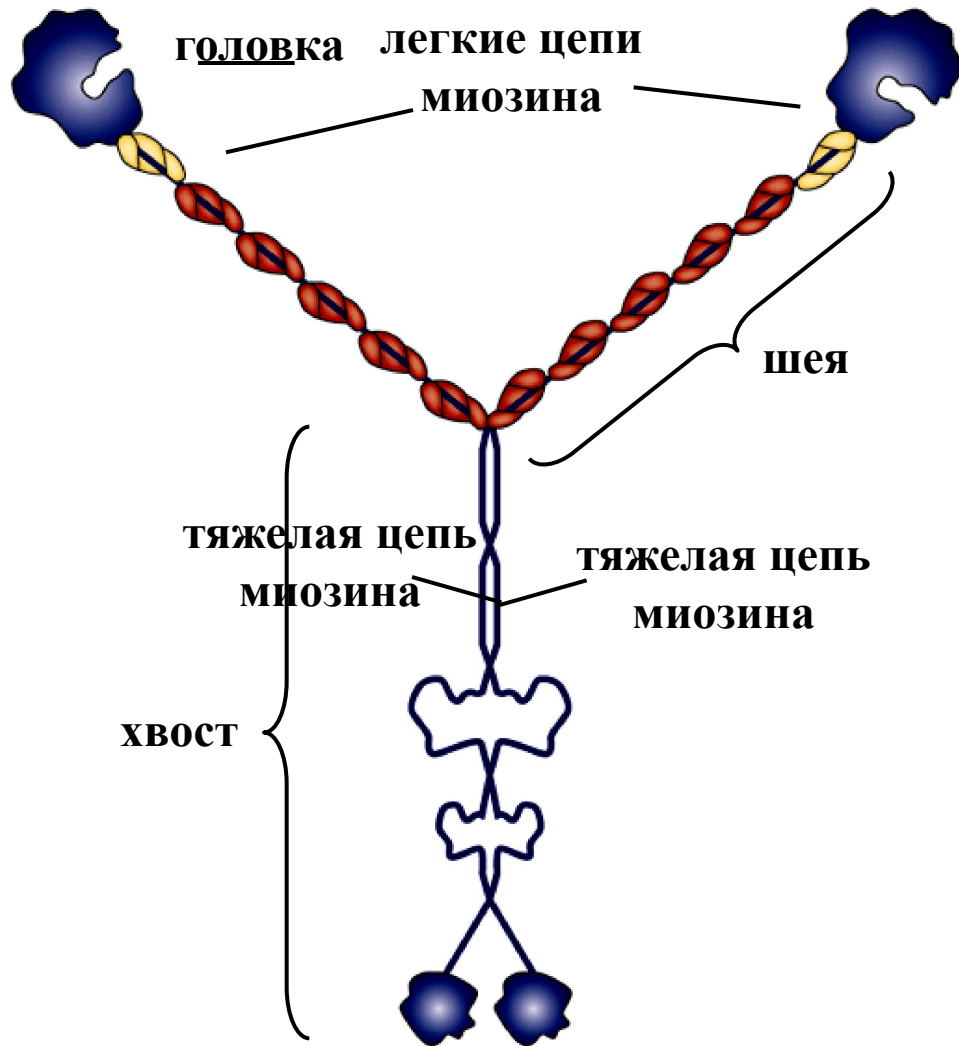
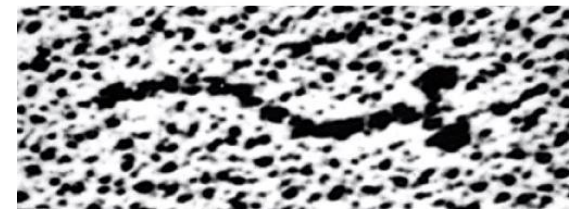
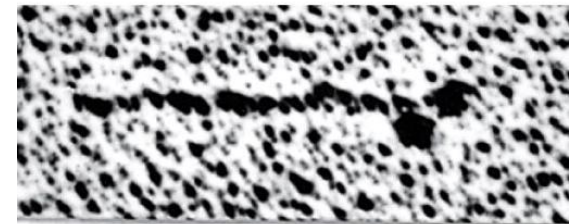
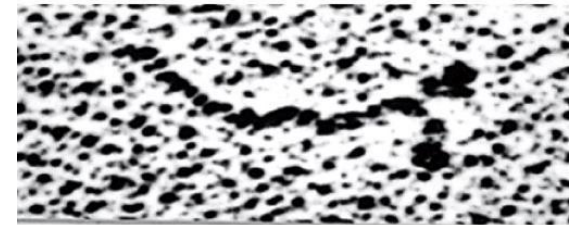
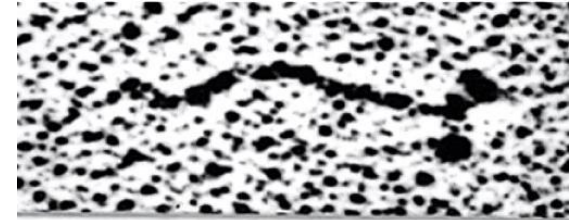
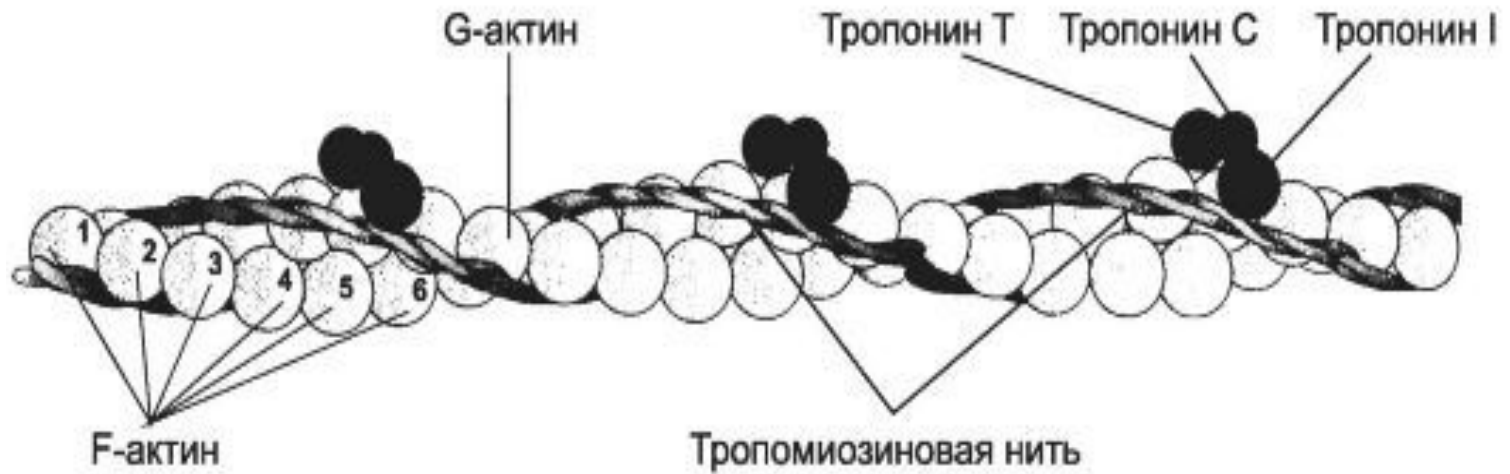


Схема строения  
молекулы миозина



Электронные  
микрофотографии

## Молекулярный уровень: строение актиновых филаментов :



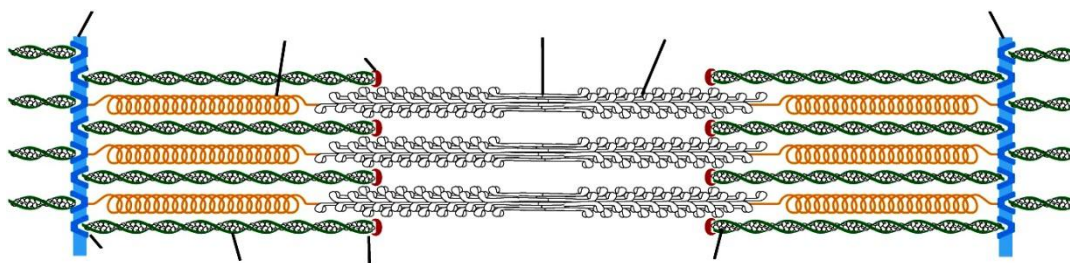
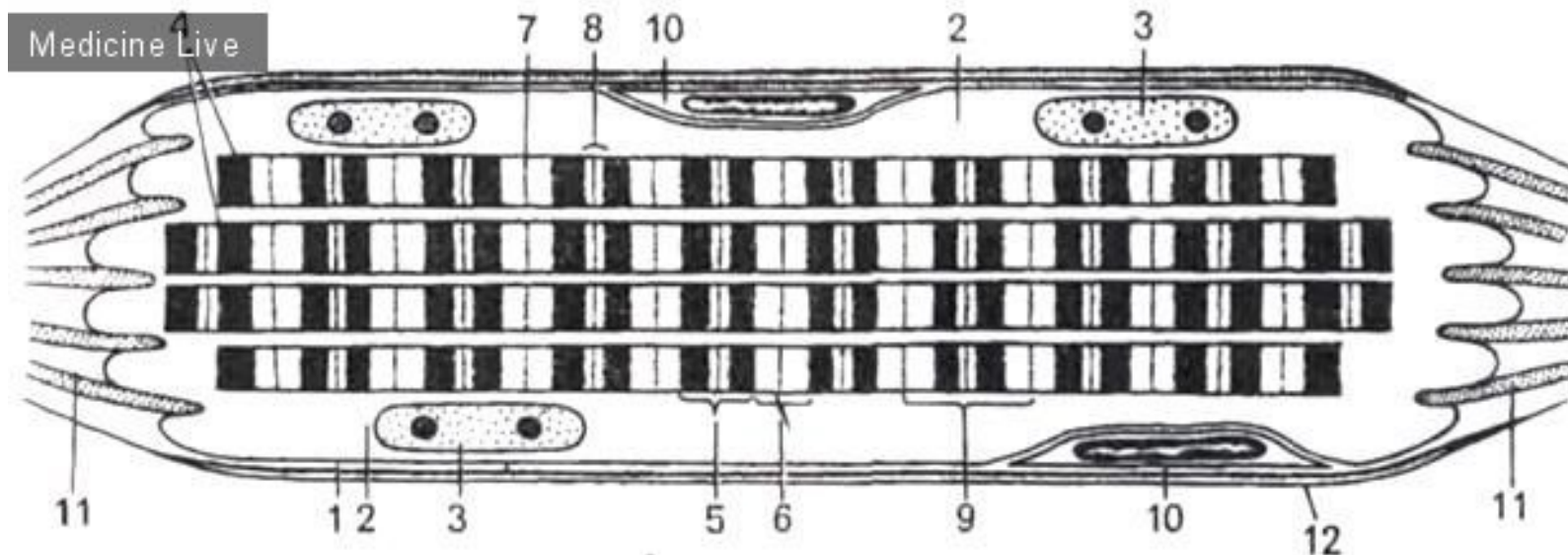
- Тонкие филаменты, или актиновые нити, (диаметр 7-8 нм), образованы тремя белками: **актином, тропонином и тропомиозином**.
- Основным по массе белком является **актин**, который образует спираль. Молекулы тропомиозина располагаются в желобке этой спирали, молекулы тропонина располагаются вдоль спирали.
- Толстые нити занимают центральную часть саркомера – **А-диск**,
- Тонкие занимают **І-диски** и частично входят между толстыми миофиламентами.
- **Н-зона** состоит из толстых нитей.

## **Молекулярный уровень: строение актиновых филаментов**

**В покое взаимодействие тонких и толстых нитей (миофиламентов) невозможно, т.к. миозин-связывающие участки актина заблокированы тропонином и тропомиозином.**

**При высокой концентрации ионов кальция конформационные изменения тропомиозина приводят к разблокированию миозин-связывающих участков молекул актина.**

# саркомер



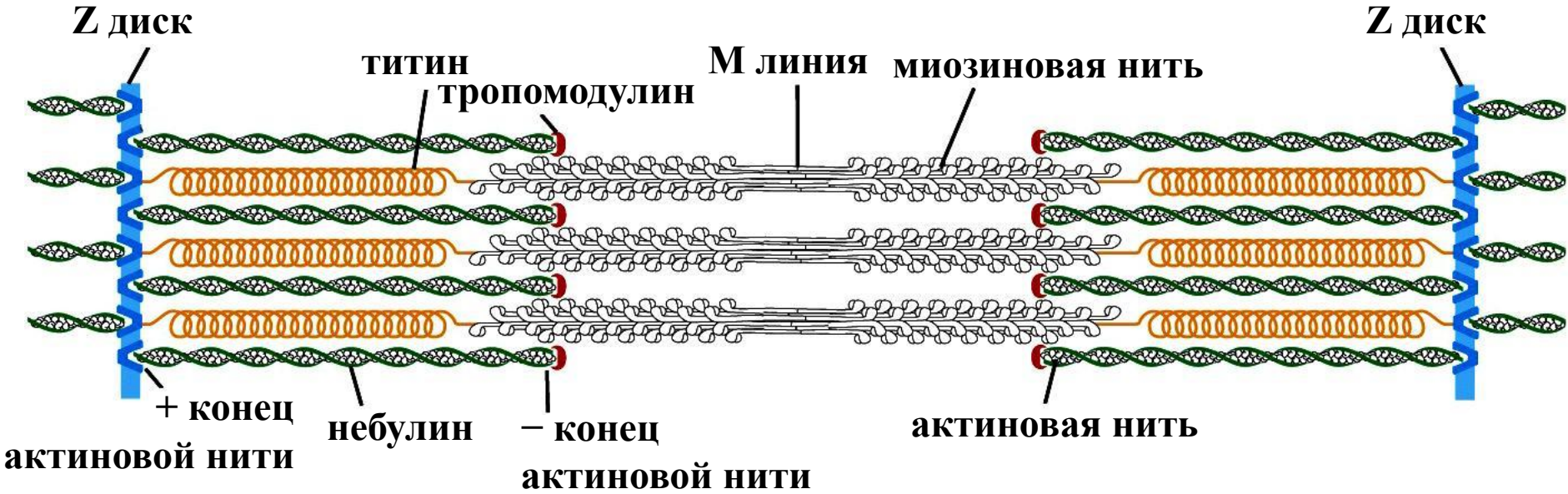
- 1 — плазмолемма;
- 2 — саркоплазма;
- 3 — ядра миосимпласта;
- 4 — миофибриллы;
- 5 — анизотропный диск (полоска А);
- 6 — изотропный диск (полоска I);
- 7 — тселофрагма (линия Z);
- 8 — светлая зона (полоса H), в середине которой проходит мезофрагма (линия M);
- 9 — саркомер;
- 10 — миосател- литоцит;
- 11 — сухожильные волокна;
- 12 — базальная мембрана (по А.Н. Студитскому).



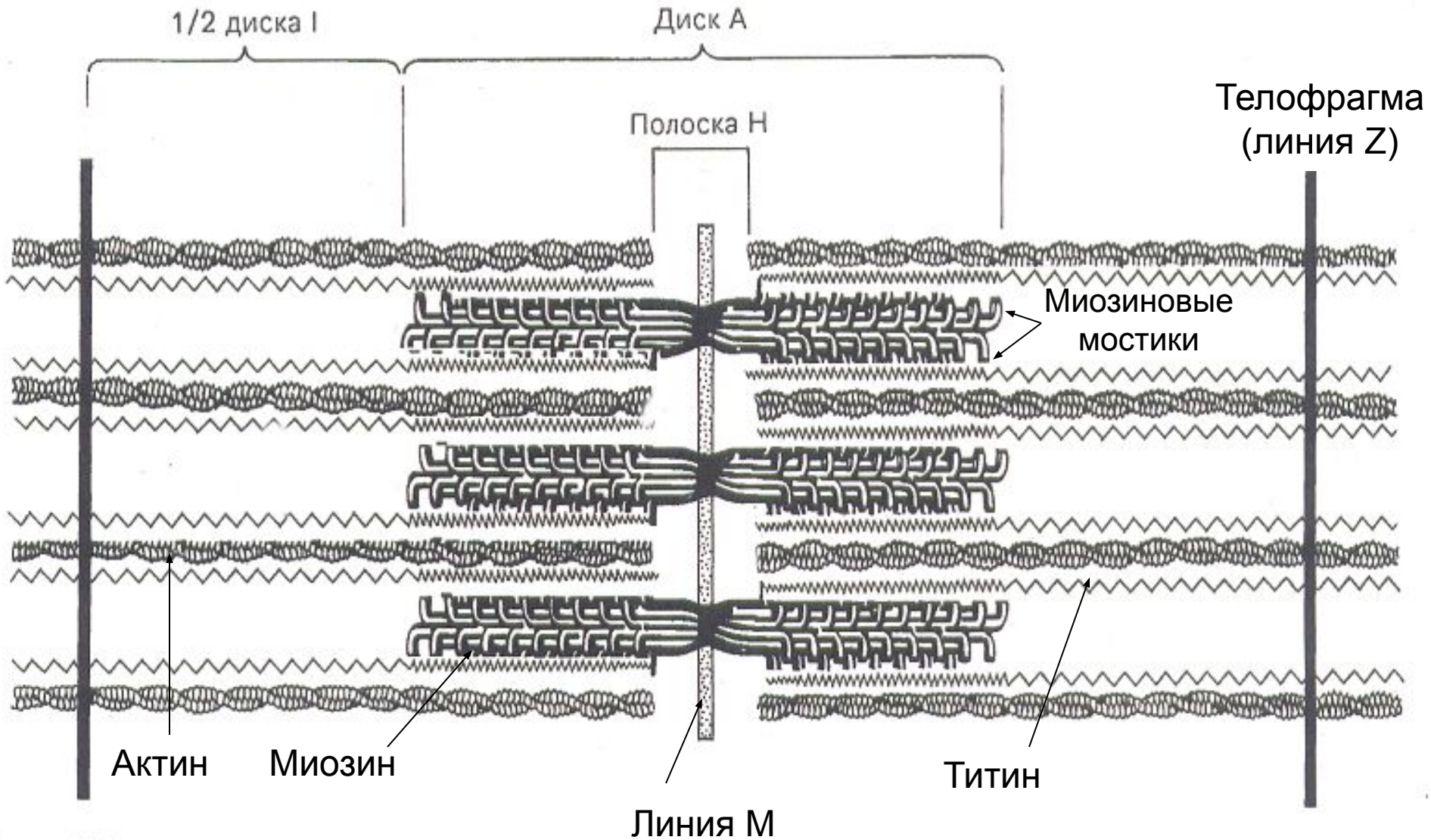
# МИКРОФИЛАМЕНТЫ

## Структура акто-миозиновых комплексов

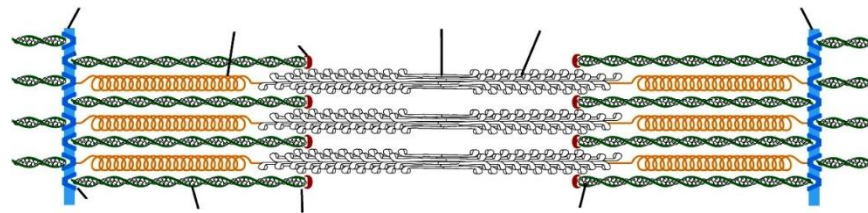
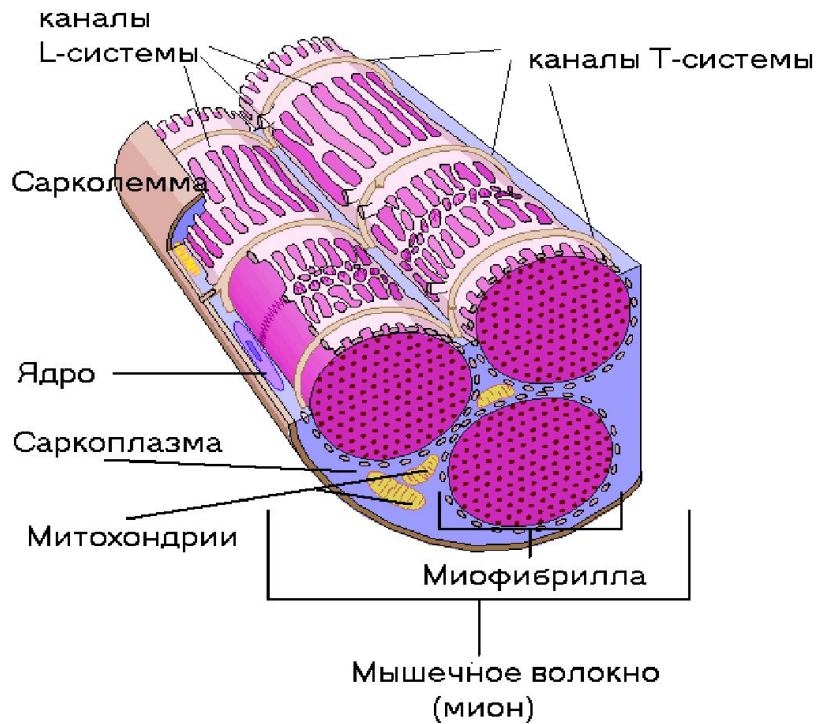
### Схема строения саркомера



# САРКОМЕР



# Молекулярный механизм мышечного сокращения

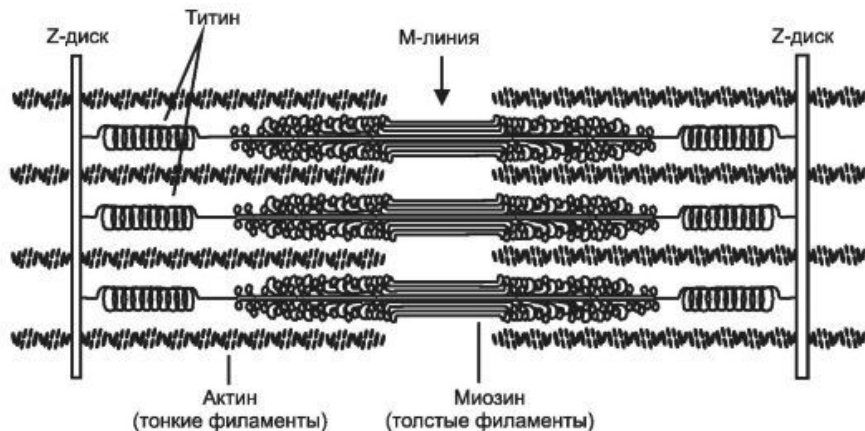


1. **Прохождение нервного импульса** через нервно-мышечный синапс и деполяризация плазмолеммы мышечного волокна;
2. **Волна деполяризации** проходит по **T-трубочкам** (впячивания плазмолеммы) до **L-трубочек** (цистерны саркоплазматического ретикулума);
3. **Открытие кальциевых каналов** в саркоплазматическом ретикулуме и выход ионов  $Ca^{2+}$  в саркоплазму;
4. **Кальций диффундирует** к тонким нитям саркомера, связывается с тропонином С, приводя к конформационным изменениям тропомиозина и освобождая активные центры для связывания миозина и актина;
5. **Взаимодействие миозиновых головок** с активными центрами на молекуле актина с образованием актино-миозиновых «мостиков»;
6. **Миозиновые головки «шагают» по актину**, образуя в ходе перемещения **новые связи** актина и миозина, при этом **актиновые нити** подтягиваются в пространство между миозиновыми нитями к М-линии, сближая две Z-линии;

# Сокращение мышцы

При сокращении мышечные волокна укорачиваются, но длина актиновых и миозиновых филаментов в миофибриллах не изменяется, а происходит их движение друг относительно друга:

- миозиновые нити вдвигаются в пространства между актиновыми, а
- актиновые – между миозиновыми.

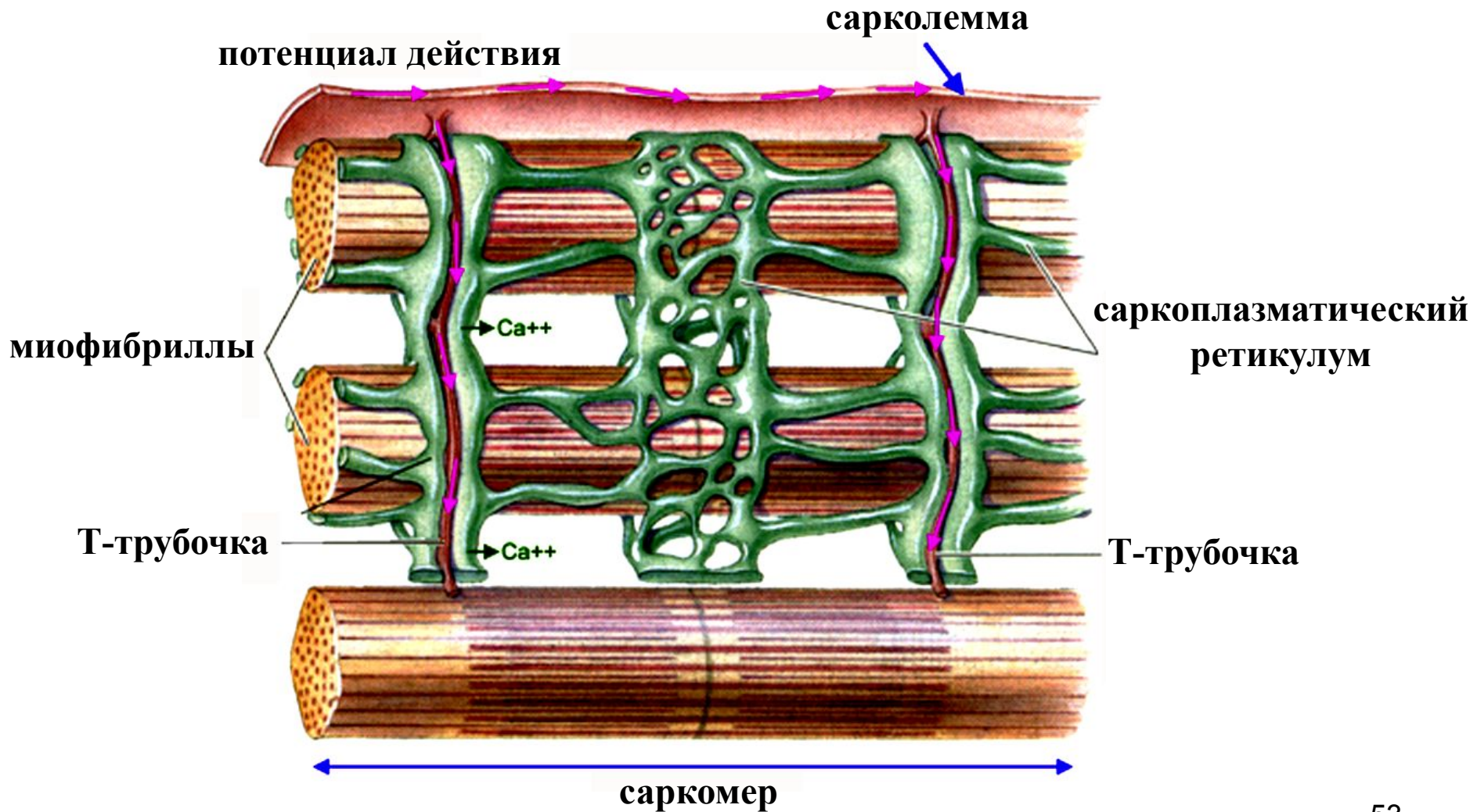


В результате этого уменьшается ширина I-диска, H-полоски и уменьшается длина саркомера; ширина A-диска не изменяется.

Формула саркомера при полном сокращении:  $S = Z1 + A + Z2$

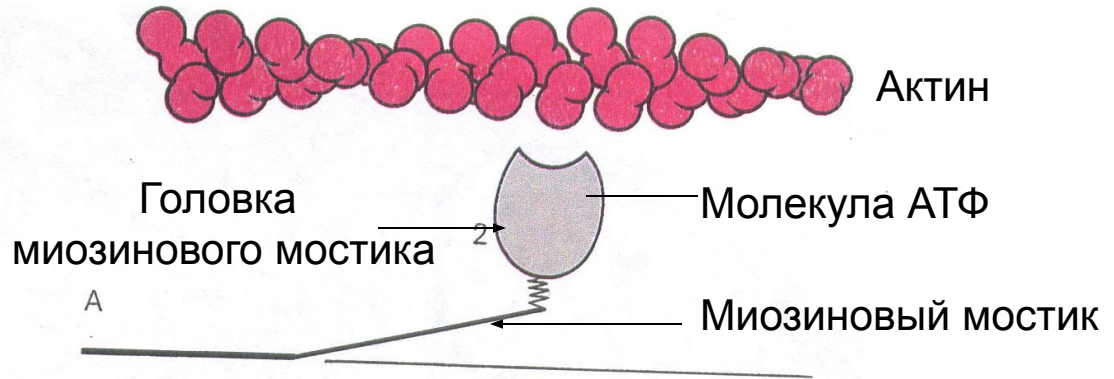
# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

## Структура мышечного волокна

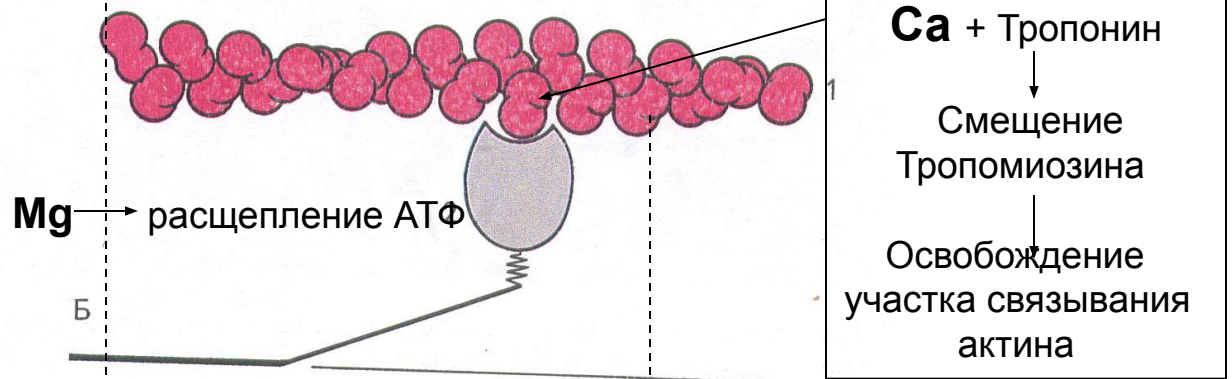


# Механизм сокращения

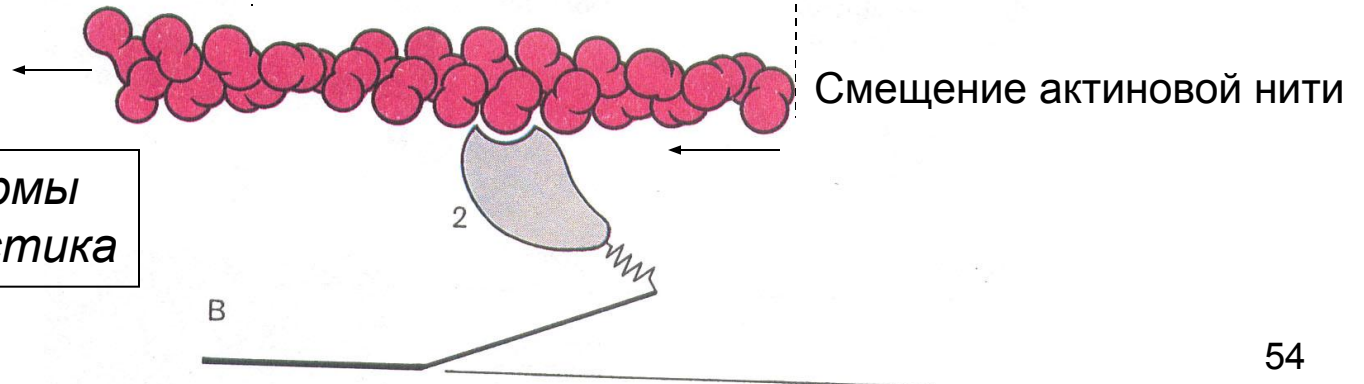
Отсутствие связи  
миозина с актином



Акто-миозиновый  
комплекс



Изменение формы  
миозинового мостика



Структурные элементы саркомера (S)  
в расслабленном состоянии можно  
выразить *формулой*:

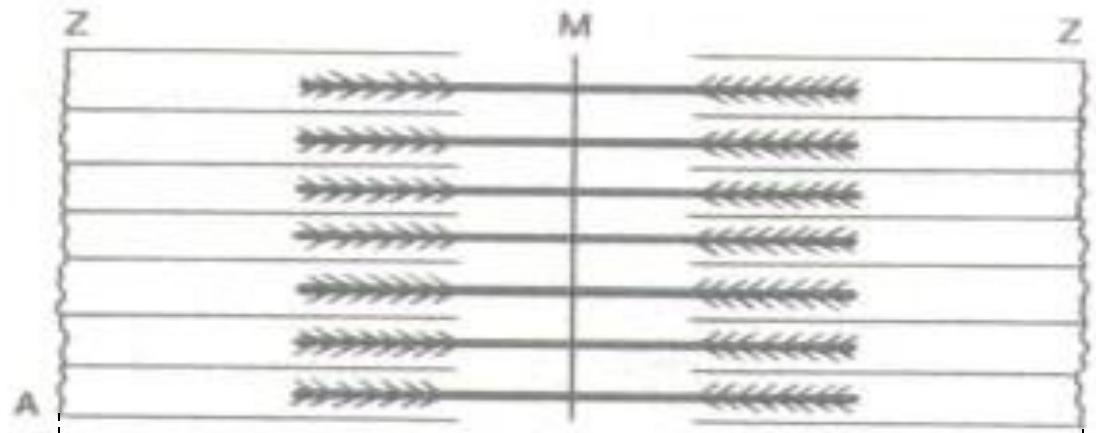
$$S = Z_1 + 1/2I_1 + 1/2A_1 + M + 1/2A_2 + 1/2I_2 + Z_2$$

Формула саркомера при полном  
сокращении:

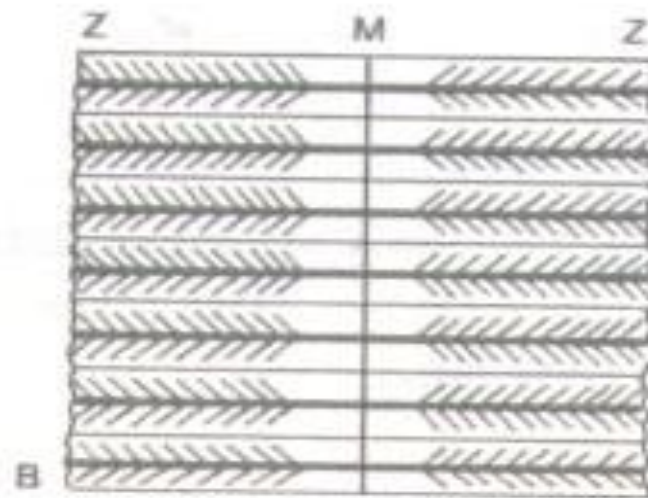
$$S = Z_1 + A + Z_2$$

# Саркомер миофибриллы

Стадия расслабления

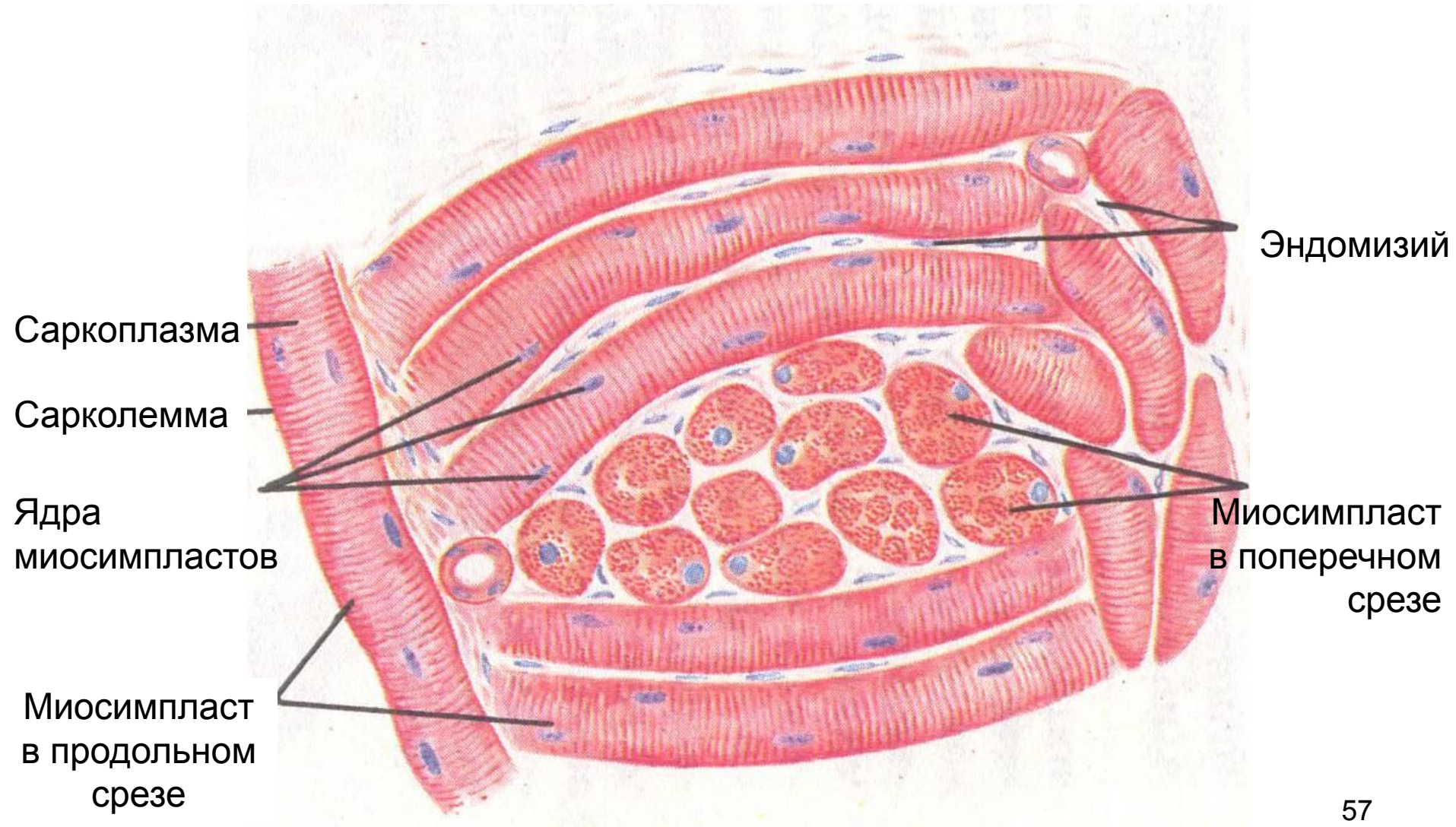


Стадия сокращения





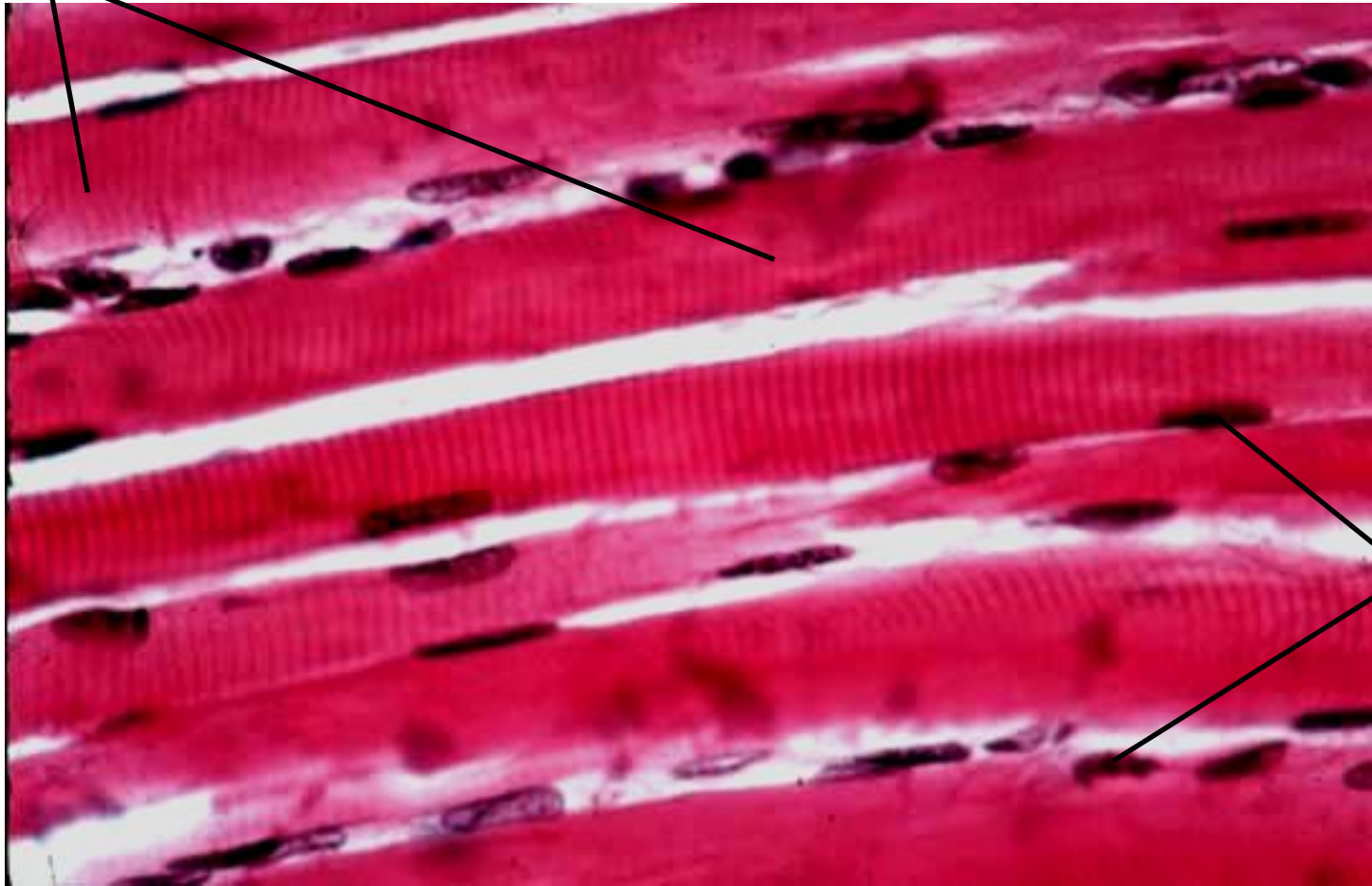
# Скелетная мышечная ткань



# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

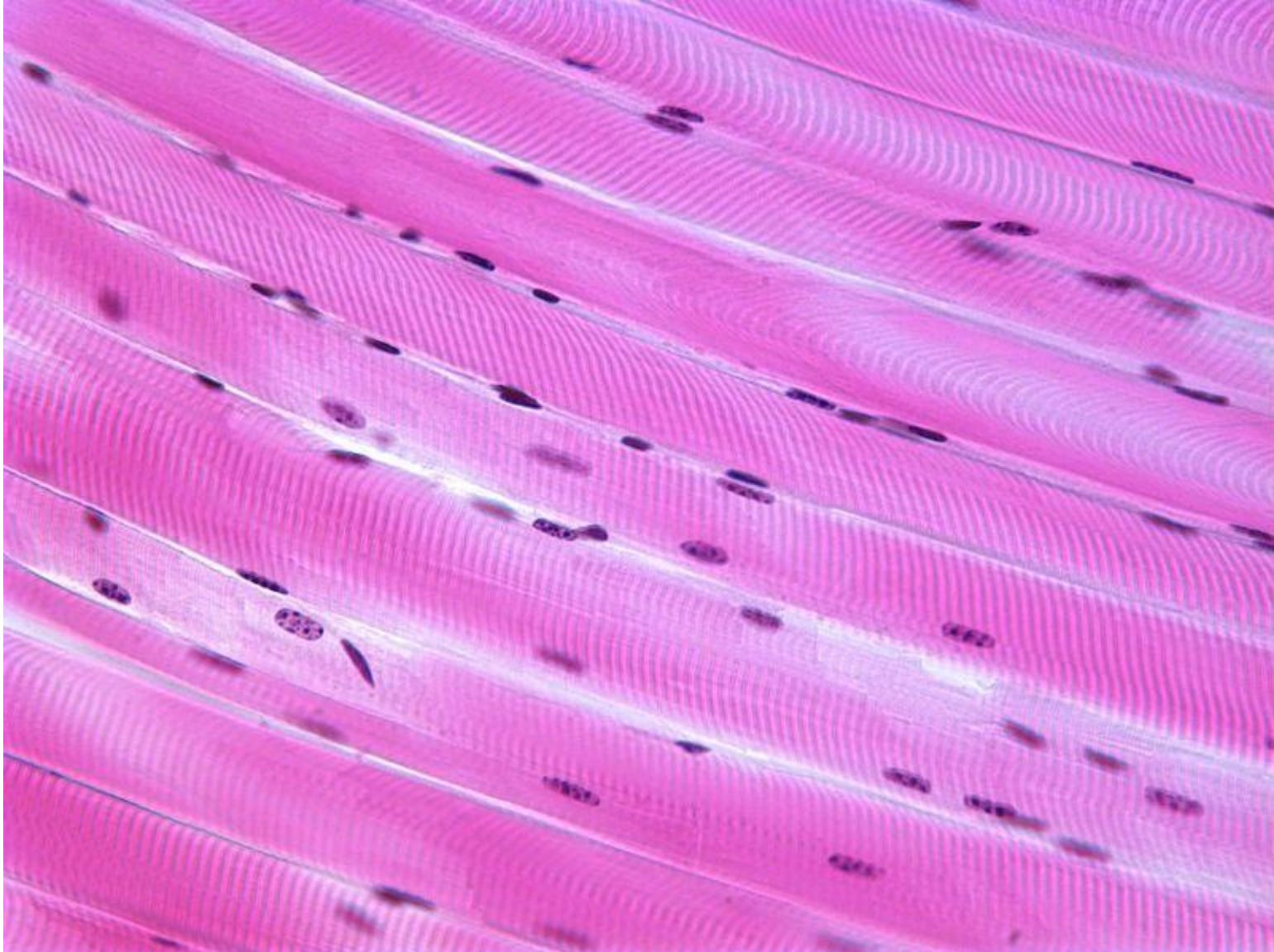
Микрофотография продольного среза  
поперечно-полосатой мышечной ткани

мышечные волокна

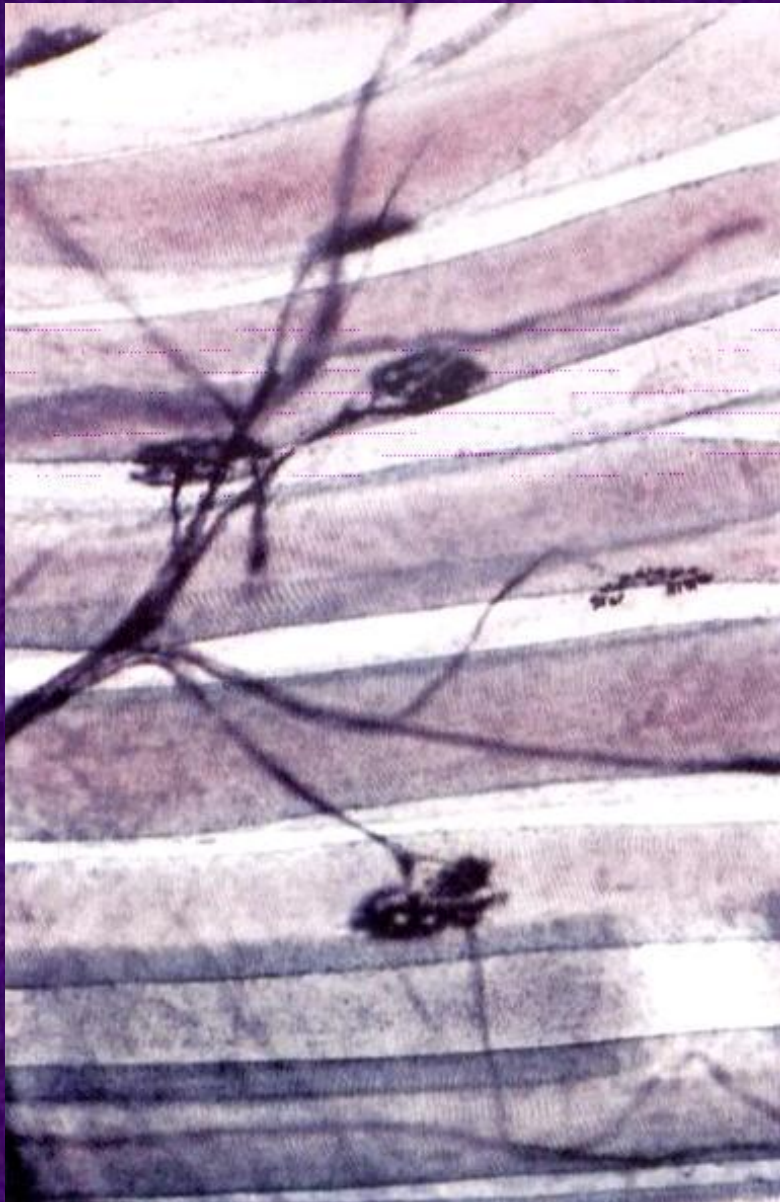


ядра

# Скелетная мышечная ткань



# НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ КОНТАКТ



# Типы мышц:

**КРАСНЫЕ**

Больше миоглобина и митохондрий,  
меньше гликогена и миофибрилл

**БЕЛЫЕ**

Меньше миоглобина и митохондрий,  
больше гликогена и миофибрилл

**ПЕРЕХОДНЫЕ**

# ТИПЫ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

**Красные (окислительные)** мышечные волокна небольшого диаметра, окружены массой капилляров, содержат много миоглобина. Их многочисленные митохондрии имеют высокой уровень активности окислительных ферментов (например, сукцинатдегидрогеназы).

**Белые (гликолитические)** мышечные волокна имеют больший диаметр, в саркоплазме содержится значительное количество гликогена, митохондрии немногочисленны. Для них характерны низкая активность окислительных ферментов и высокая активность гликолитических ферментов.

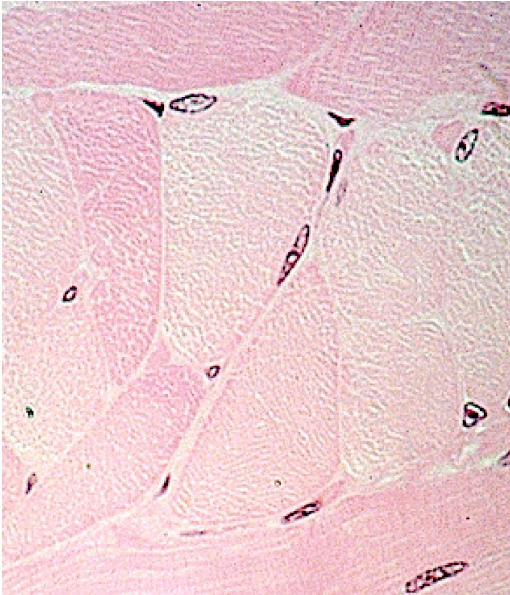
**Промежуточные (окислительно-гликолитические)** волокна имеют умеренную активность сукцинатдегидрогеназы.

**Быстрые мышечные** волокна имеют высокую активность АТФазы миозина.

**Медленные волокна** имеют низкую АТФазную активность миозина. Реально мышечные волокна содержат комбинации различных характеристик. Поэтому на практике различают три типа мышечных волокон - быстросокращающиеся красные, быстросокращающиеся белые и медленносокращающиеся промежуточные.

# Красные и белые мионы

Различия белых и красных мионов



<b>Свойство</b>	<b>Белые мионы</b>	<b>Красные мионы</b>
цвет	белый	красный
диаметр	большой	небольшой
миоглобин	мало	много
митохондрии	мало	много
липиды	мало	много
гликоген	много	мало

# ИННЕРВАЦИЯ:

Скелетные мышцы получают

**двигательную,**

**чувствительную и**

**трофическую (вегетативную) иннервацию.**

**Двигательную (эфферентную) иннервацию** скелетные мышцы туловища и конечностей получают от **мотонейронов передних рогов спинного мозга**, а мышцы лица и головы — от **двигательных нейронов определенных черепных нервов.**

**Чувствительная (афферентная) иннервация скелетных мышц** осуществляется псевдоуниполярными **нейронами спинальных ганглиев**, посредством разнообразных рецепторных окончаний дендритов этих клеток.

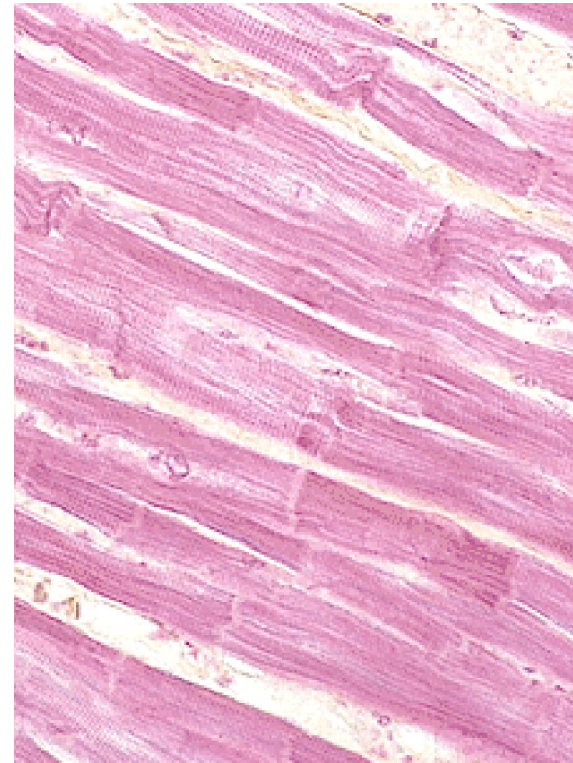
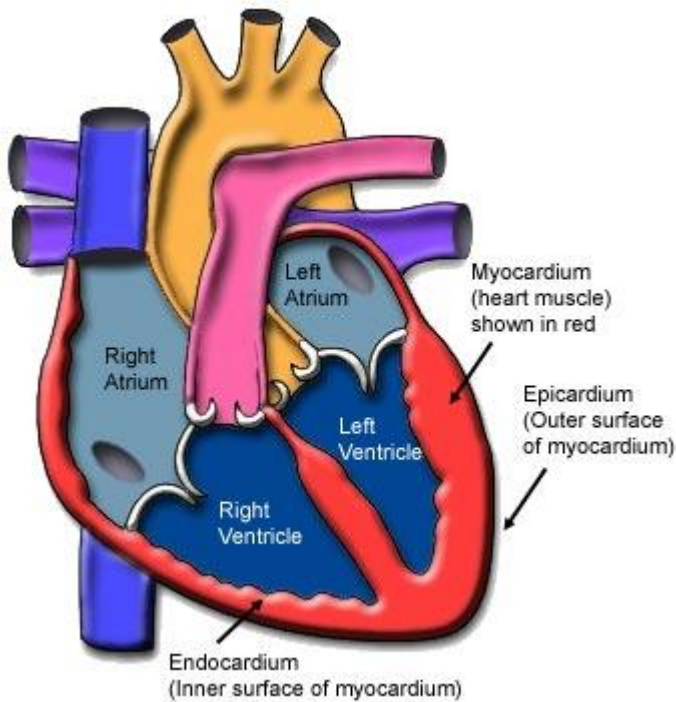
**Трофическая иннервация** обеспечивается вегетативной нервной системой (ее симпатической частью) и осуществляется в основном опосредованно, посредством иннервации сосудов.



# КРОВΟΣНАБЖЕНИЕ

**Скелетные мышцы богато снабжаются кровью.** В рыхлой соединительной ткани перимизия в большом количестве содержатся артерии и вены, артериолы, венулы и артериоло-венулярные анастомозы. В эндомизии располагаются только капилляры, преимущественно узкие (4,5—7 мкм), которые и обеспечивают трофику мышечного волокна. **Мышечное волокно, вместе с окружающими его капиллярами и двигательным окончанием составляют мион.** В мышцах содержится большое количество артериоло-венулярных анастомозов, обеспечивающих адекватное кровоснабжение при различной мышечной активности.

# 3. Поперечно-полосатая сердечная мышечная ткань



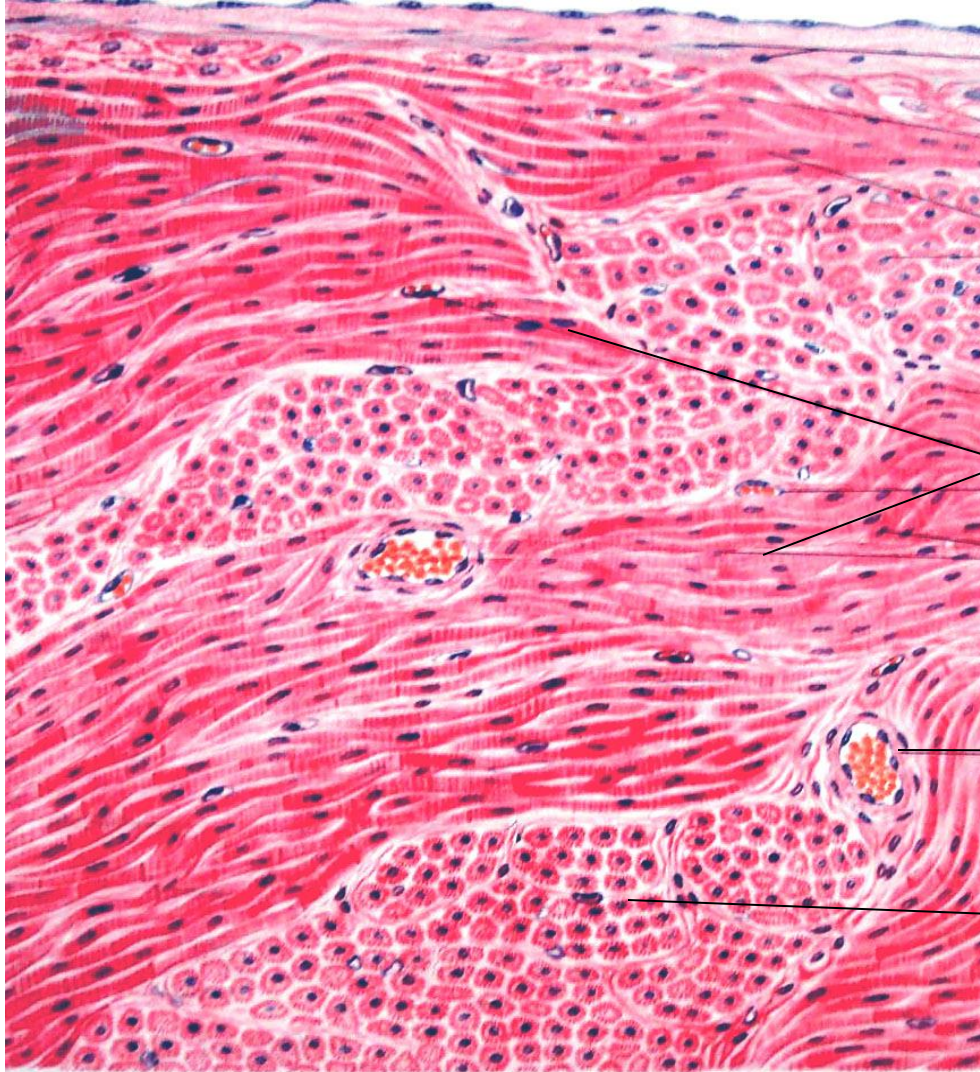
Рабочие кардиомиоциты. Гематоксилин –  
эозин, 200x

# Поперечнополосатые мышечные ткани сердечного типа

## 2. Сердечная мышечная ткань (целомического типа)

1. **Целомический (сердечный)---**Висцеральный листок спланхнотома (миоэпикардимальные пластинки) ----- СКМ-----кардиомиобласт----**кардиомиоцит** (структурно-функциональная единица **сердечной мышечной ткани**)

**Примечание - СКМ** (стволовые клетки миогенеза) неидентичны между собой в различных миогенных дифферонах.



Продольные срезы  
мышечных волокон

Эндомиций с сосудами

Поперечные срезы  
мышечных волокон

**МИОКАРД**



**Сердечная  
мышечная  
ткань**

# **СЕРДЕЧНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ.**

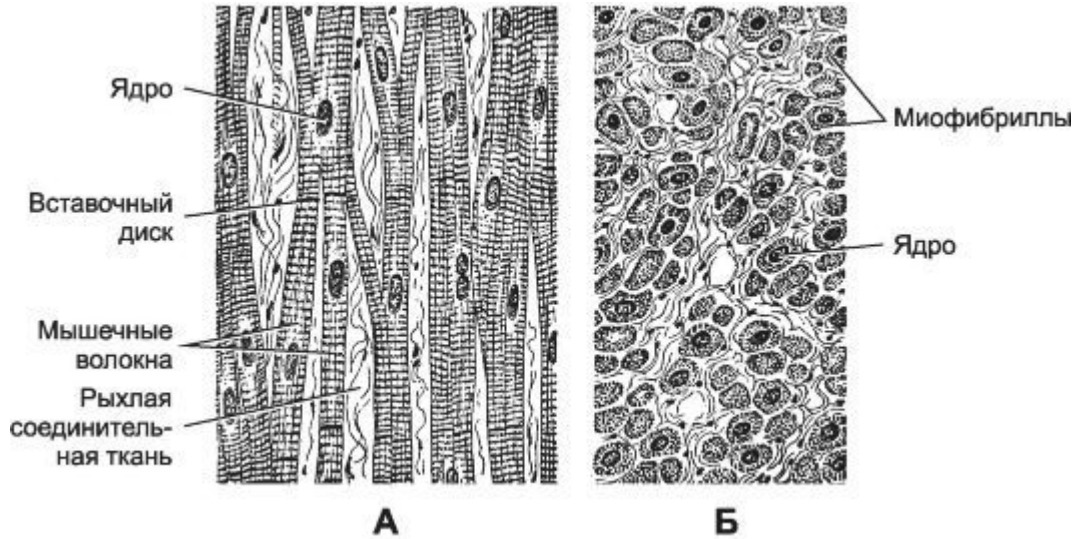
**Встречается в стенке сердца, проксимальной части аорты, в верхней полой вене.**

**Структурная единица – КМЦ.**

**3 популяции КМЦ:**

- **Типичные (сократительные, рабочие)**
- **Проводящие и**
- **Секреторные**

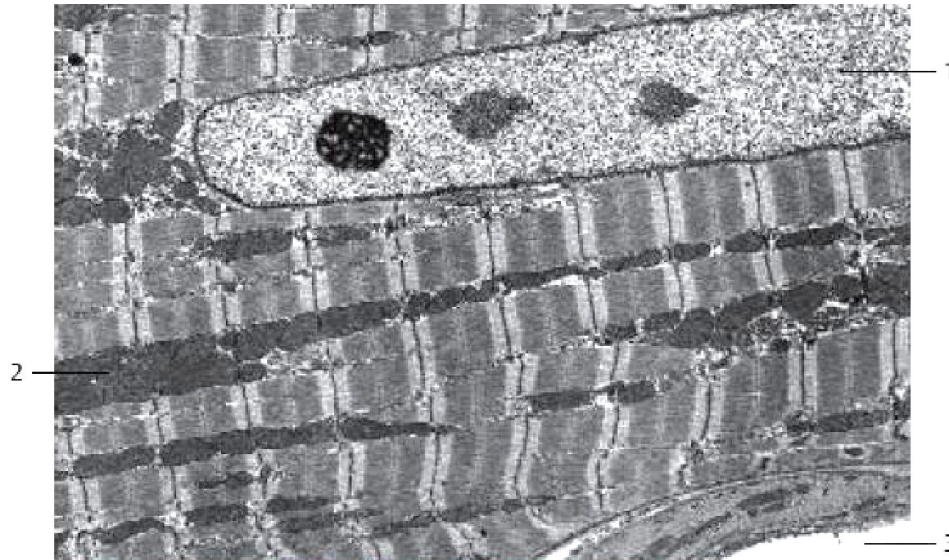
# КАРДИОМИОЦИТЫ



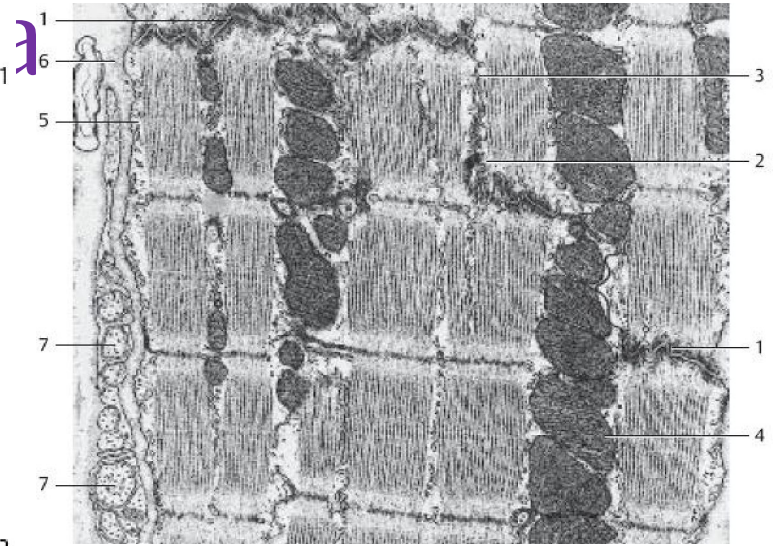
Сердечная мышца в продольном (А) и поперечном (Б) разрезе

Клетки 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**).

# Сердечная мышечная



Электронная микрофотография  
рабочего кардиомиоцита, 2500х.  
1 – ядро, 2 – митохондрия,  
3 - капилляр

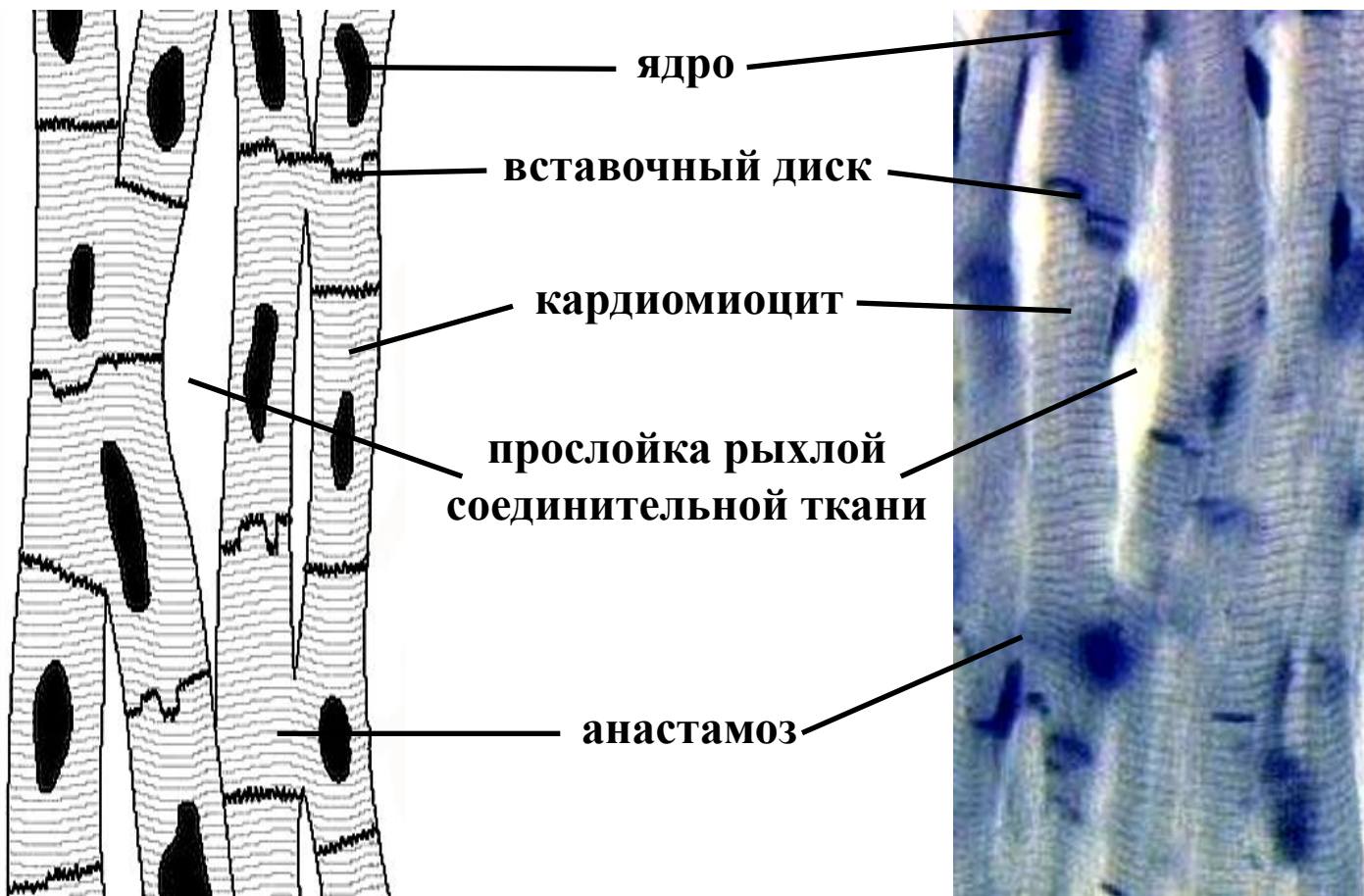


Межклеточные контакты  
в миокарде, 3000х.  
1 – вставочный диск,  
2 – десмосома,  
3 – нексус, 4 – митохондрия,  
5 – плазмалемма,  
6 – базальная пластинка

# СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Схема строения

Микрофотография





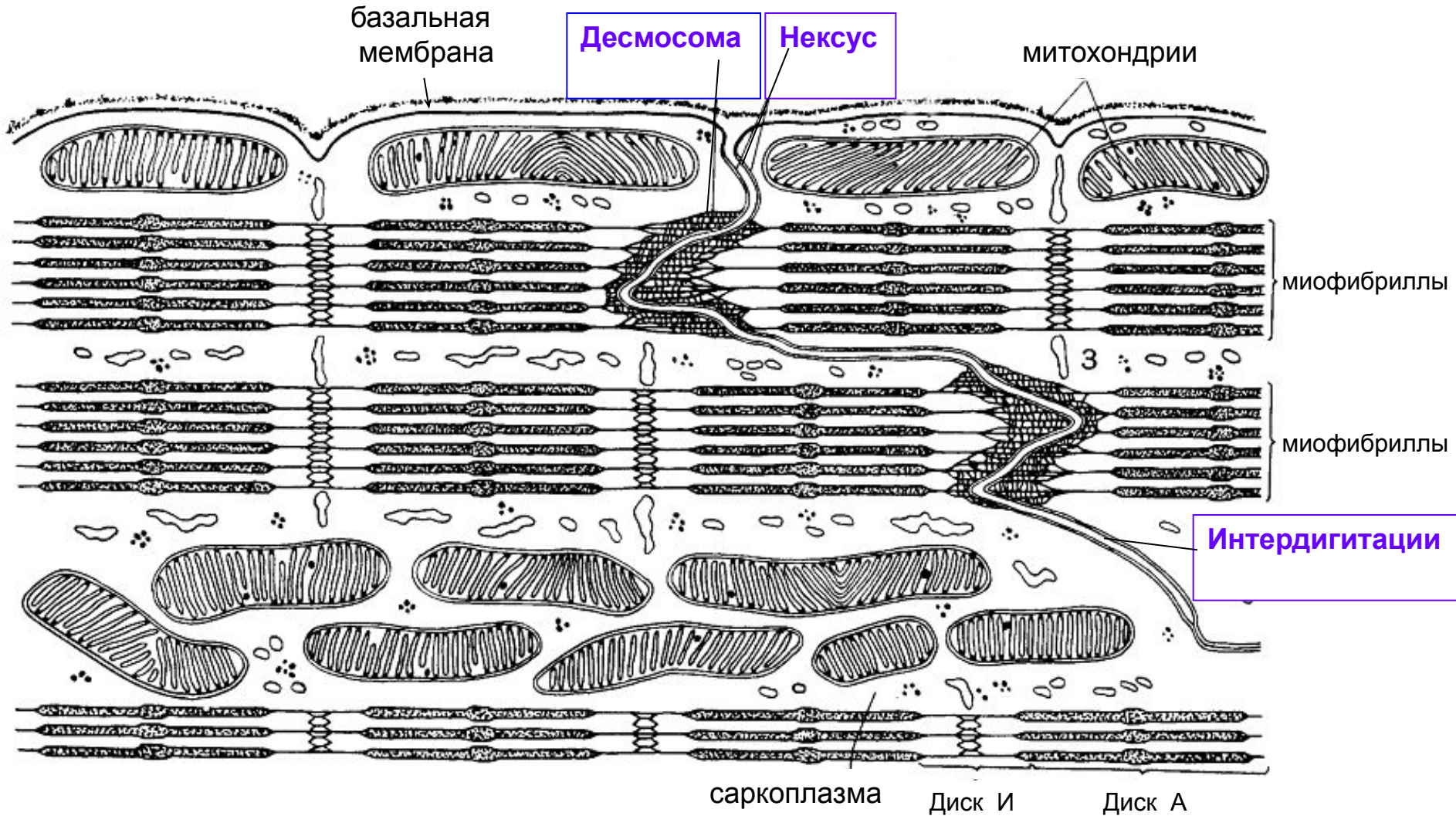
# Типичные кардиомиоциты (рабочие, сократительные)

Типичные (рабочие, сократительные) **кардиомиоциты** – клетки цилиндрической формы, длиной до 100-150 мкм и диаметром 10-20 мкм. Кардиомиоциты образуют основную часть миокарда, соединены друг с другом в цепочки основаниями цилиндров. Эти зоны называют вставочными дисками, в которых выделяют десмосомальные контакты и нексусы (**щелевидные контакты**). Десмосомы обеспечивают механическое сцепление, которое препятствует расхождению кардиомиоцитов. **Щелевидные контакты** способствуют передаче сокращения от одного кардиомиоцита к другому.

Каждый кардиомиоцит содержит **одно или два ядра**, саркоплазму и плазмолемму, окружённую базальной мембраной.

Различают функциональные аппараты, такие же, как в мышечном волокне: **мембранный, фибриллярный (сократительный), трофический, а также энергетический.**

# Вставочный диск



# Мембранный аппарат

**Мембранный аппарат:** каждая клетка покрыта оболочкой, состоящей из комплекса плазмолеммы и базальной мембраны.

Оболочка образует впячивания (**Т-трубочки**).

К каждой **Т-трубочке** примыкает **одна цистерна**

(в отличие от мышечного волокна – там 2 цистерны) саркоплазматического ретикулума (видоизменённая аЭПС), образуя **диаду**: одна **Л-трубочка** (цистерна аЭПС) и **одна Т-трубочка** (впячивание плазмолеммы).

В цистернах аЭПС ионы  $\text{Ca}_{2+}$  накапливаются не так активно, как в мышечных волокнах.

# Фибриллярный (сократительный) аппарат.

## Фибриллярный (сократительный) аппарат.

Большую часть цитоплазмы кардиомиоцита занимают органеллы специального назначения – **миофибриллы**, ориентированы продольно и расположенные по периферии клетки.

Сократительный аппарат рабочих кардиомиоцитов сходен со скелетными мышечными волокнами.

При расслаблении, **ионы кальция** выделяются в саркоплазму с **низкой скоростью**, что обеспечивает автоматизм и частые сокращения кардиомиоцитов.

**T-трубочки широкие** и образуют диады (**одна T-трубочка и одна цистерна сети**), которые сходятся в **области Z-линии**.

Кардиомиоциты, связываясь с помощью вставочных дисков, образуют сократительные комплексы, которые способствуют синхронизации сокращения, между кардиомиоцитами соседних сократительных комплексов образуются боковые анастомозы.

**Функция типичных кардиомиоцитов: обеспечение силы сокращения сердечной мышцы.**

## **Сократительные кардиомиоциты**

**Сократительные кардиомиоциты, соединяясь встык друг с другом, образуют функциональные мышечные волокна, между которыми имеются многочисленные анастомозы. Благодаря этому из отдельных кардиомиоцитов формируется сеть — функциональный синтиций.**

Наличие щелевидных контактов между кардиомиоцитами обеспечивает одновременное и содружественное их сокращение вначале в предсердиях, а затем и в желудочках.

# 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 контрактильных белков.

# Секреторные кардиомиоциты

**Секреторные кардиомиоциты** выполняют особую функцию. Все кардиомиоциты покрыты базальной мембраной. 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. Гормон вызывает потерю натрия и воды с мочой, расширение сосудов, снижение давления, угнетение секреции альдостерона, кортизола, вазопрессина. **Функция секреторных кардиомиоцитов: эндокринная.**

# Проводящие (атипичные) кардиомиоциты

**Проводящие (атипичные) кардиомиоциты** обладают способностью к генерации и быстрому проведению электрических импульсов.

Они образуют узлы и пучки проводящей системы сердца и разделяются на несколько подтипов:

- пейсмекеры (в синоатриальном узле),
- переходные (в атрио-вентрикулярном узле) и
- клетки пучка Гиса и волокон Пуркинье.

**Проводящие кардиомиоциты** характеризуются слабым развитием сократительного аппарата, светлой цитоплазмой и крупными ядрами.

В клетках нет Т-трубочек и поперечной исчерченности, поскольку миофибриллы расположены неупорядоченно.

Функция атипичных кардиомиоцитов – генерация импульсов и передача на рабочие кардиомиоциты, обеспечивая автоматизм сокращения миокарда.



# Водители ритма (пейсмейкерные клетки)

**ПРОВОДЯЩИЕ:** - водители ритма (пейсмейкерные к-ки) – небольшого размера, мало гликогена, миофибриллы по периферии. Ф-ия – генерация нервного импульса

- **проводящие** – проводят импульсы от узла к миокарду

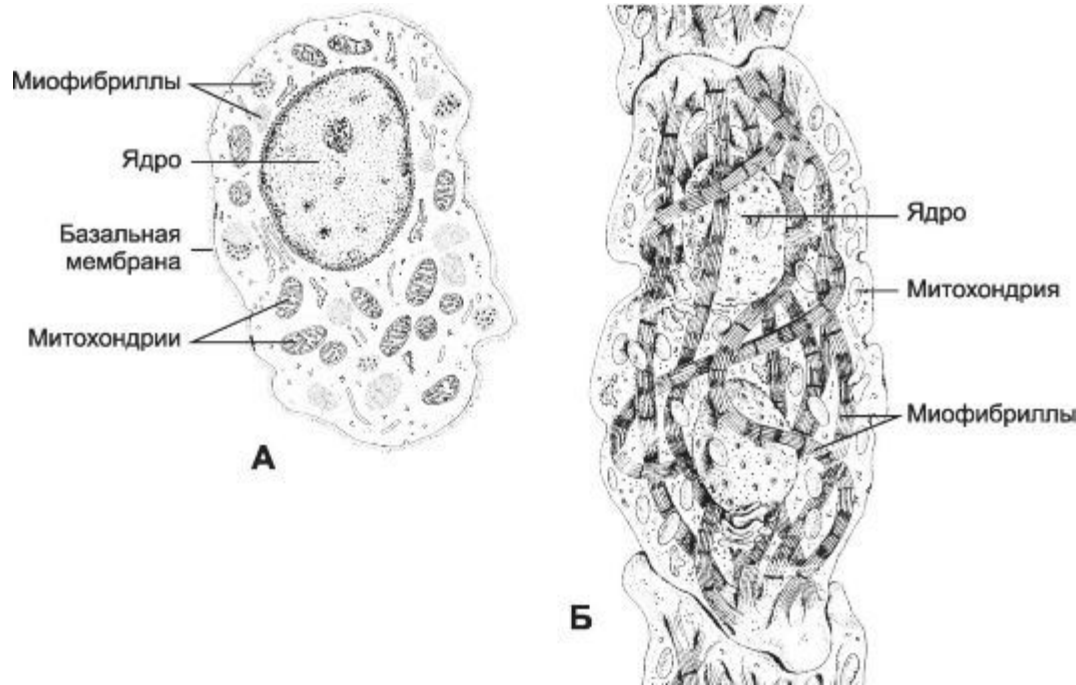
• *Пучок Гиса* – к-ки содержат длинные миофибриллы и мелкие митохондрии, мало гликогена.

• *Волокна Пуркинье* – содержат самые крупные к-ки, в которых редкая неупорядоченная сеть миофибрилл, много мелких митохондрий, гликогена, нет Т-трубочек.

**Проводящие кардиомиоциты** образуют цепочки клеток, соединенных своими концами, и располагаются под эндокардом. **Первая клетка** в цепочке воспринимает управляющие сигналы от **синусных кардиомиоцитов** и передает их далее - другим **проводящим кардиомиоцитам**. Клетки, замыкающие цепочку, передают сигнал через переходные кардиомиоциты рабочим.

**РЕГЕНЕРАЦИЯ:** при усиленной работе происходит рабочая гипертрофия КМЦ. СК или к-ок предшественников нет → не восстанавливаются.

# Атипичные кардиомиоциты

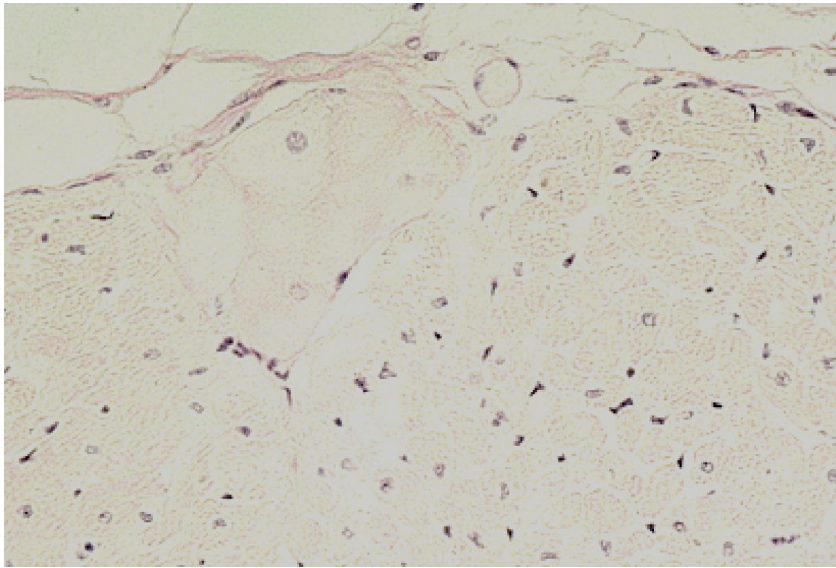


**А - водитель ритма синусно-предсердного узла; Б - проводящий кардиомиоцит предсердно-желудочкового пучка. Волокна Пуркинье.** Проводящие кардиомиоциты волокон Пуркинье - самые крупные клетки миокарда. В них содержатся редкая неупорядоченная сеть миофибрилл, многочисленные мелкие митохондрии, большое 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.

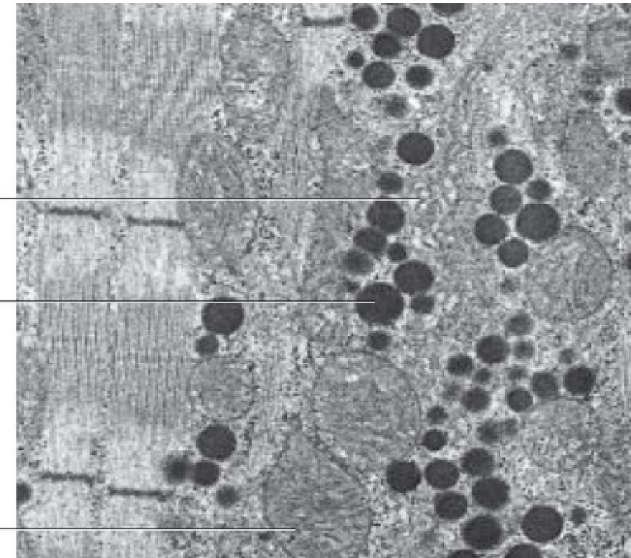
## **ДВИГАТЕЛЬНАЯ ИННЕРВАЦИЯ СЕРДЦА**

На деятельность сердца - сложной авторегуляторной и регулируемой системы - оказывает модулирующее влияние множество факторов, в т.ч. двигательная вегетативная иннервация - **парасимпатическая и симпатическая.**

# Сердечная мышечная



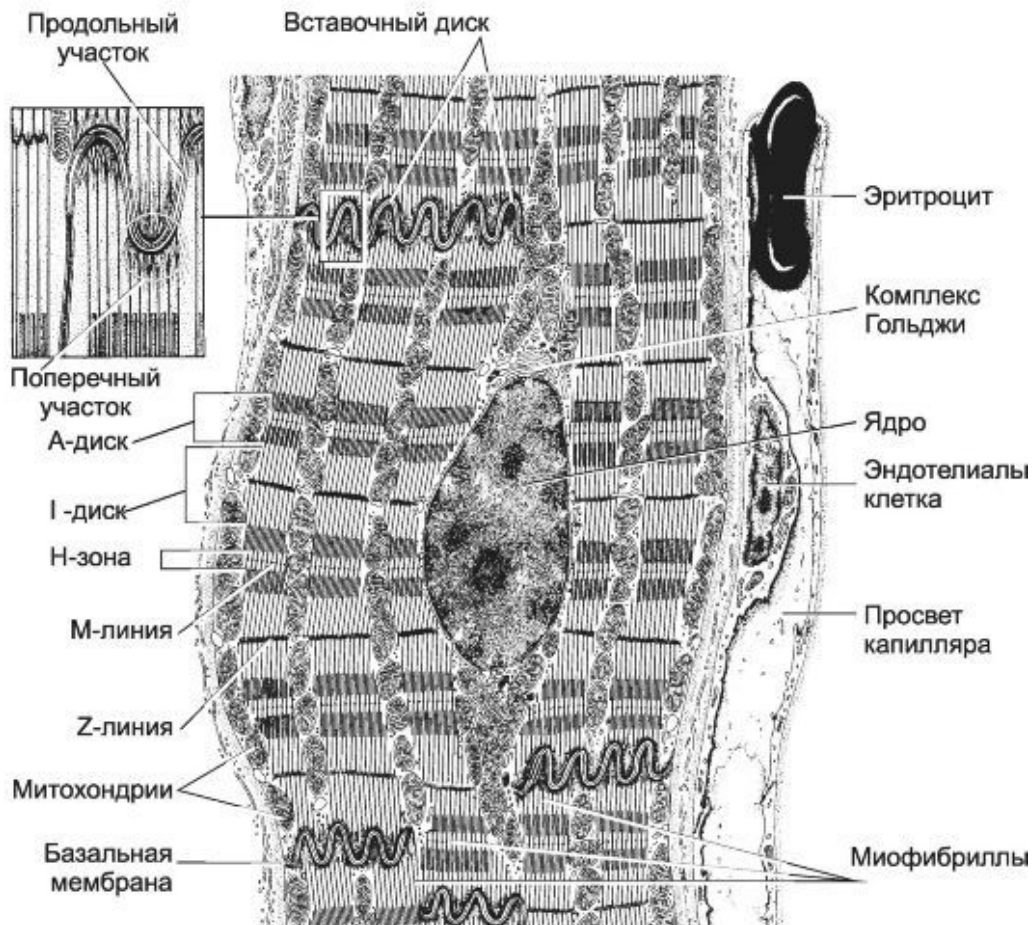
Поперечный срез через рабочие  
и проводящие кардиомиоциты.  
Гематоксилин-эозин, 200х.



Секреторный кардиомиоцит,  
11 000х.

- 1 – митохондрия,
- 2 – комплекс Гольджи,
- 3 – секреторные гранулы

# Рабочий кардиомиоцит

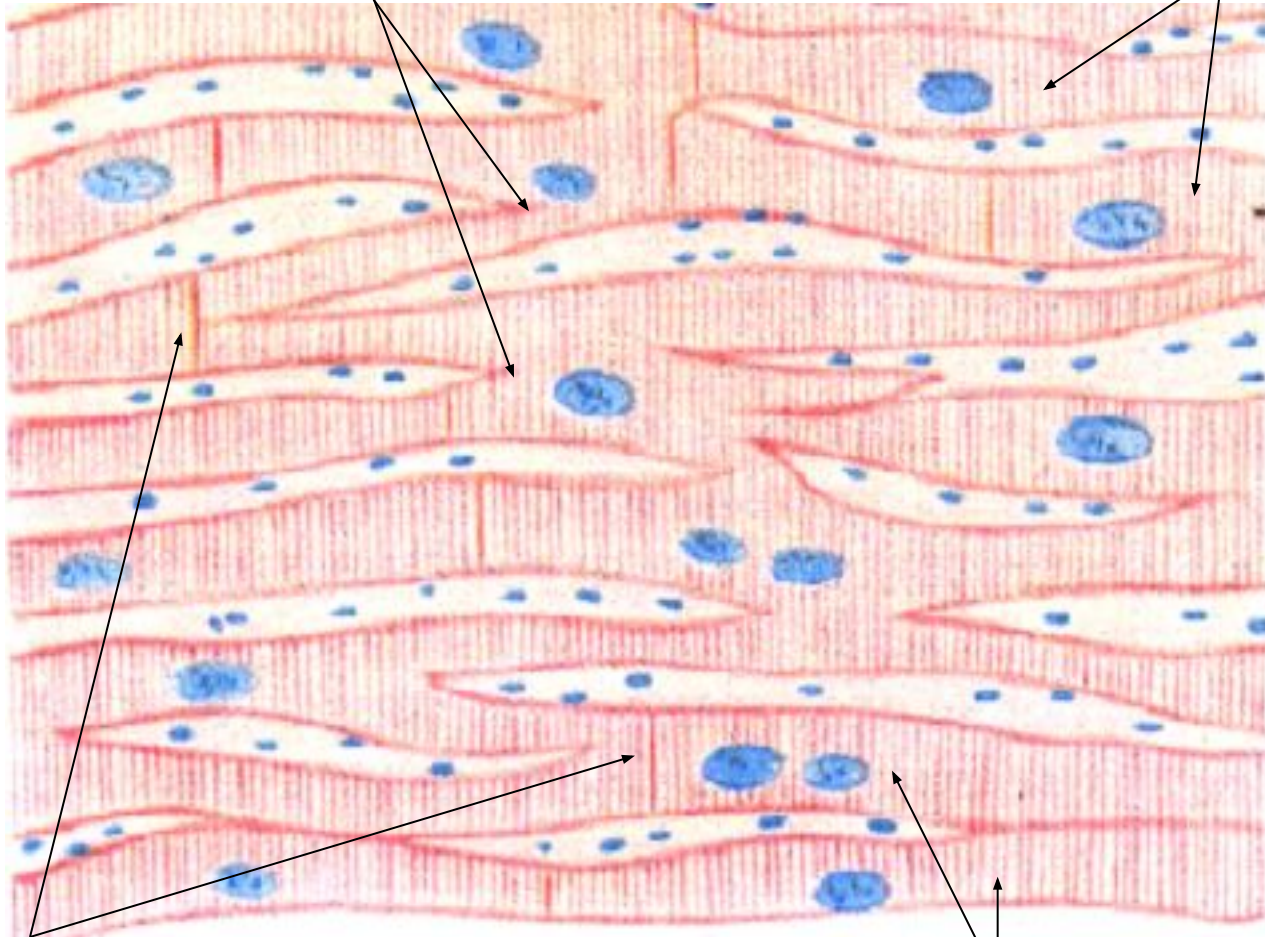


**Рабочий кардиомиоцит - удлинённой формы клетка.** Ядро расположено центрально, вблизи ядра находятся комплекс Гольджи и гранулы гликогена. Между миофибриллами лежат многочисленные митохондрии. Вставочные диски (на врезке) служат для скрепления кардиомиоцитов и синхронизации их сокращения

# Строение сердечного синцития

**Анастомозы мышечных волокон**

**Кардиомиоциты**



**Вставочные диски**

**Мышечные волокна**

# ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА



кардиомиоциты

кардиомиоциты

волокна Пуркинье

рыхлая соединительная ткань

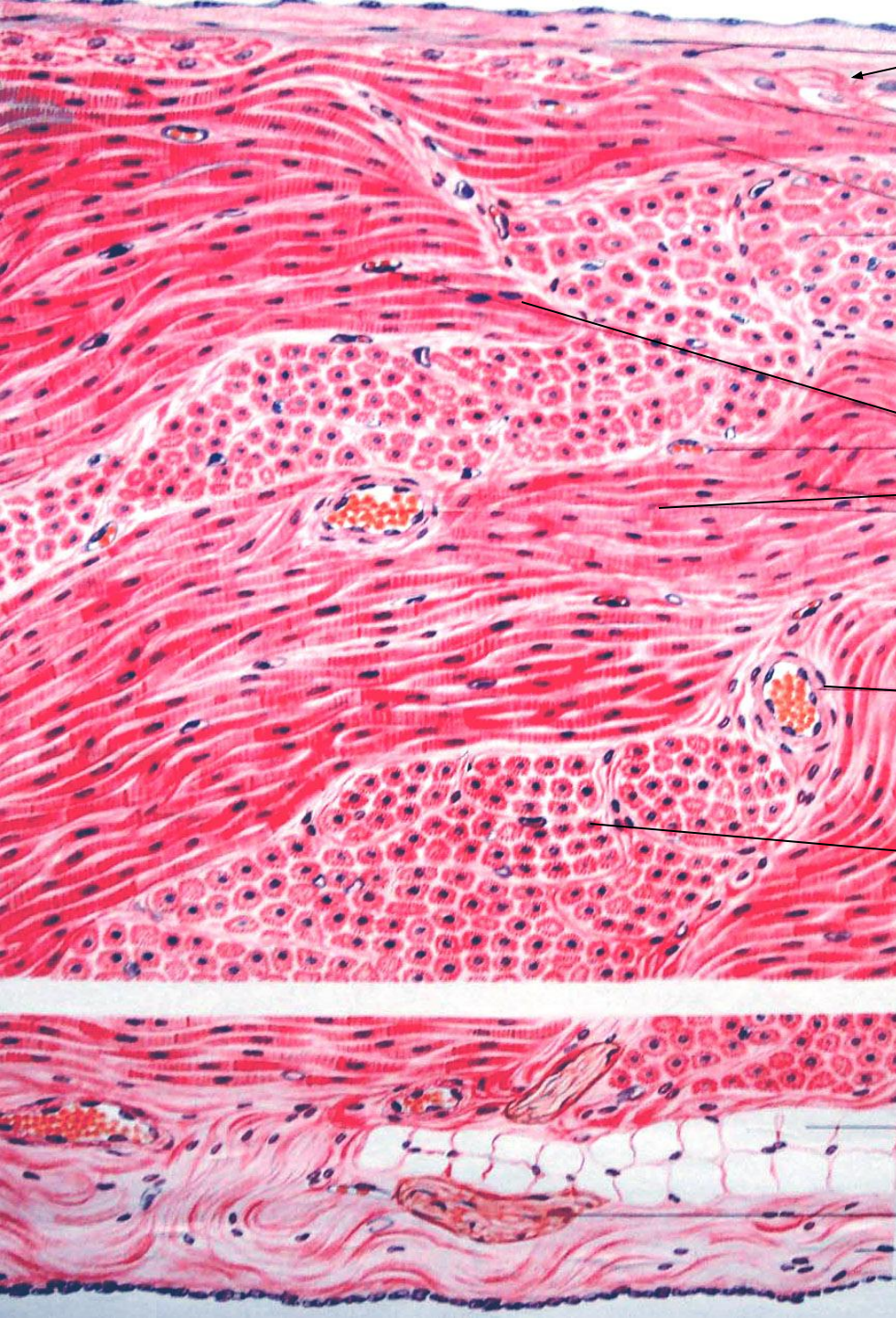


миофибриллы

ядра

волокна Пуркинье

цитоплазма



Атипичные кардиомиоциты  
(волокна Пуркинье)

Продольные срезы  
мышечных волокон

Эндомизий

Поперечные срезы  
мышечных волокон

**Сердечный  
синцитий  
миокарда**