

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
слезные
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

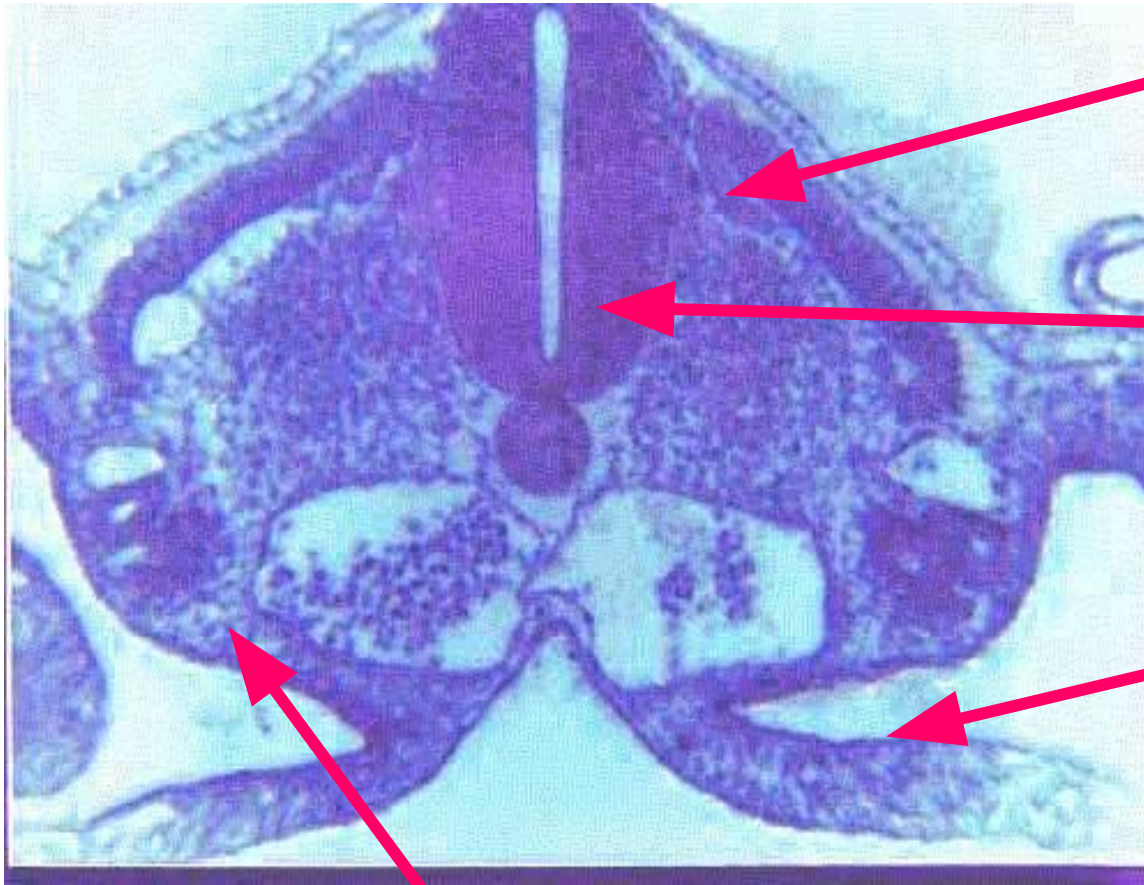
• Эктодермальные

- 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.

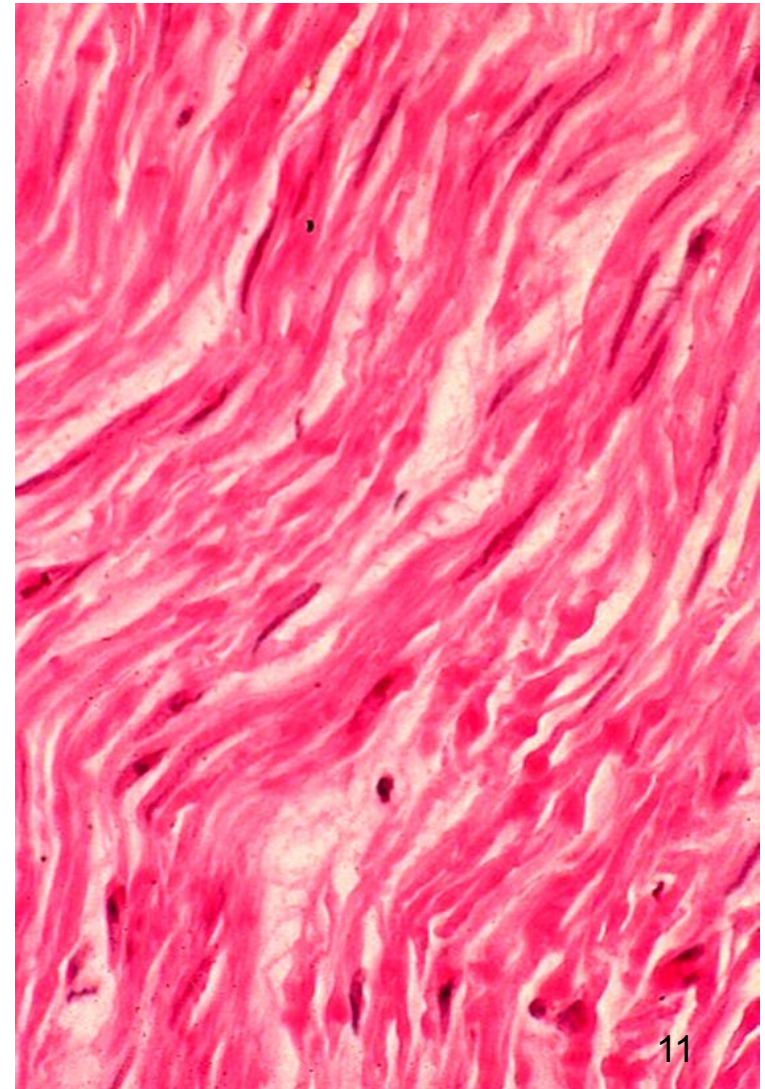
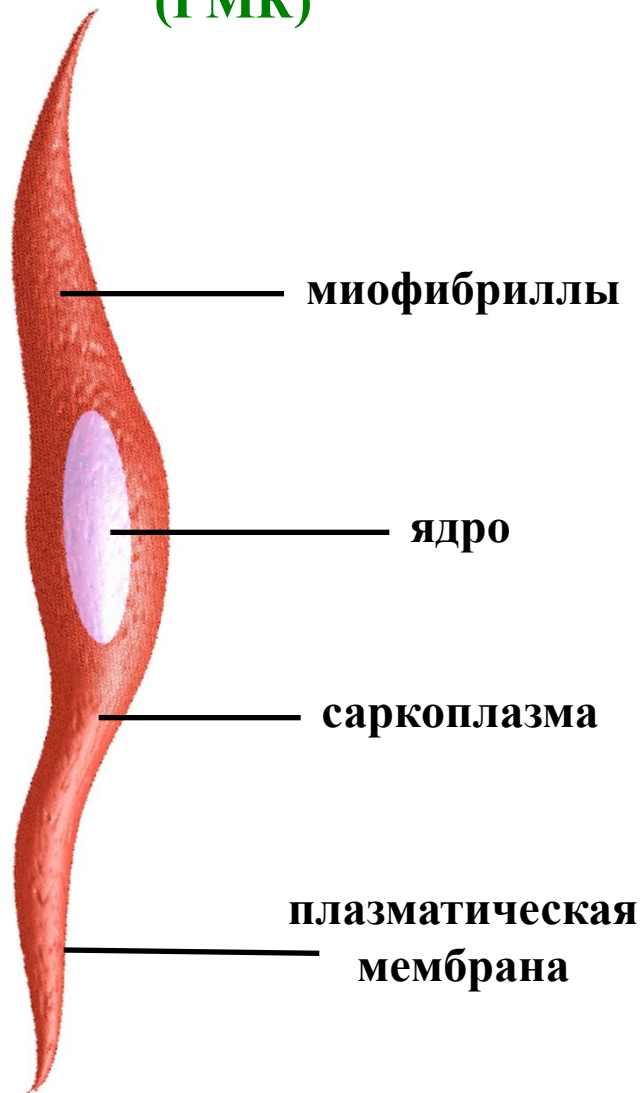
Характеристика ГМТ

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 **α -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

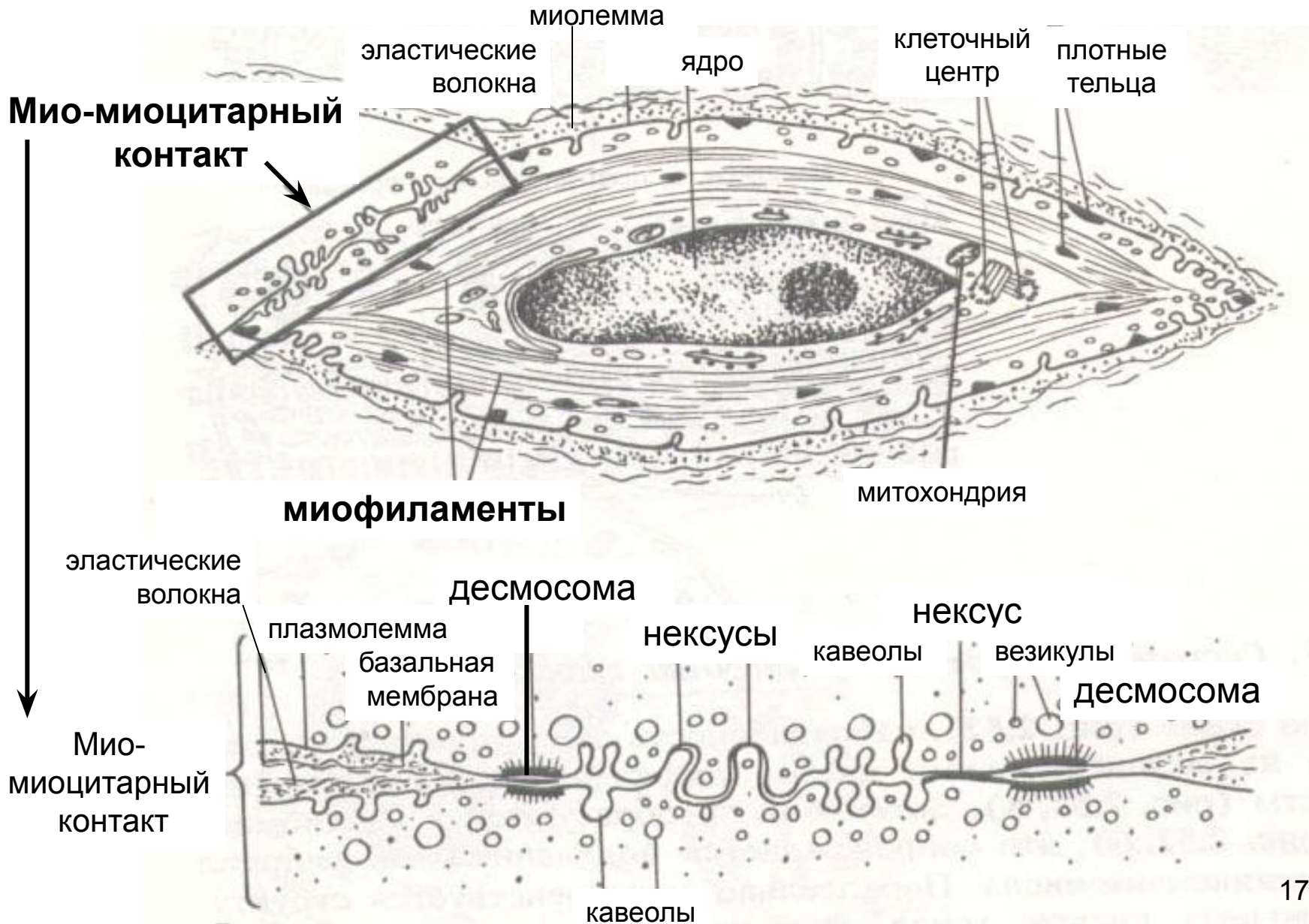
промежуточные
филаменты

гликоген

МИТОХОНДРИИ



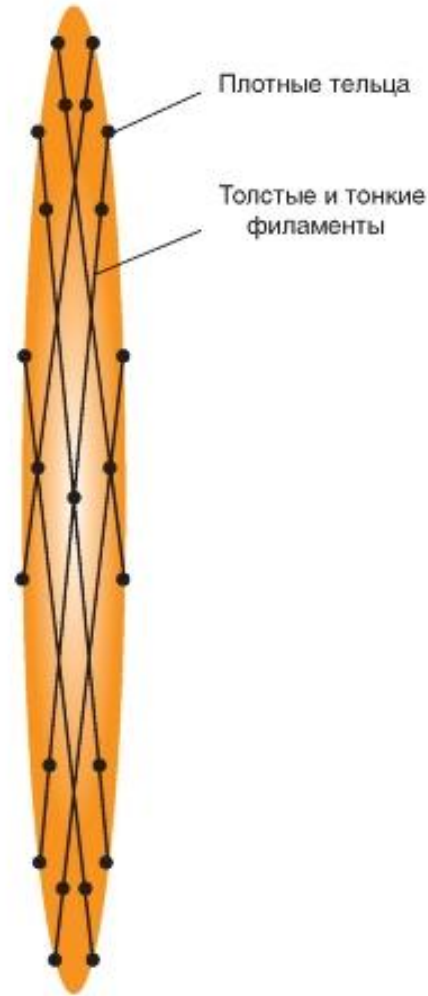
Структурная единица – гладкий миоцит



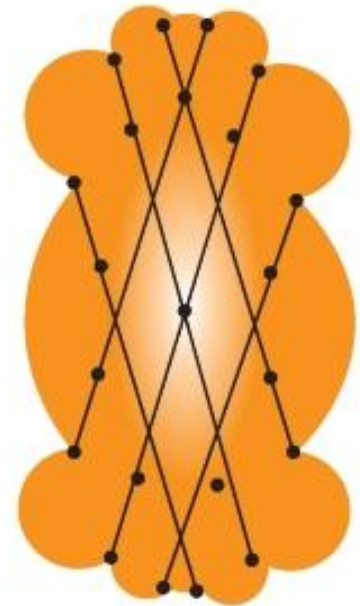
В гладкой МТ толстые и тонкие филаменты ориентированы под углом к осям волокна и прикреплены к плазматической мембране или к плотным тельцам в цитоплазме.

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

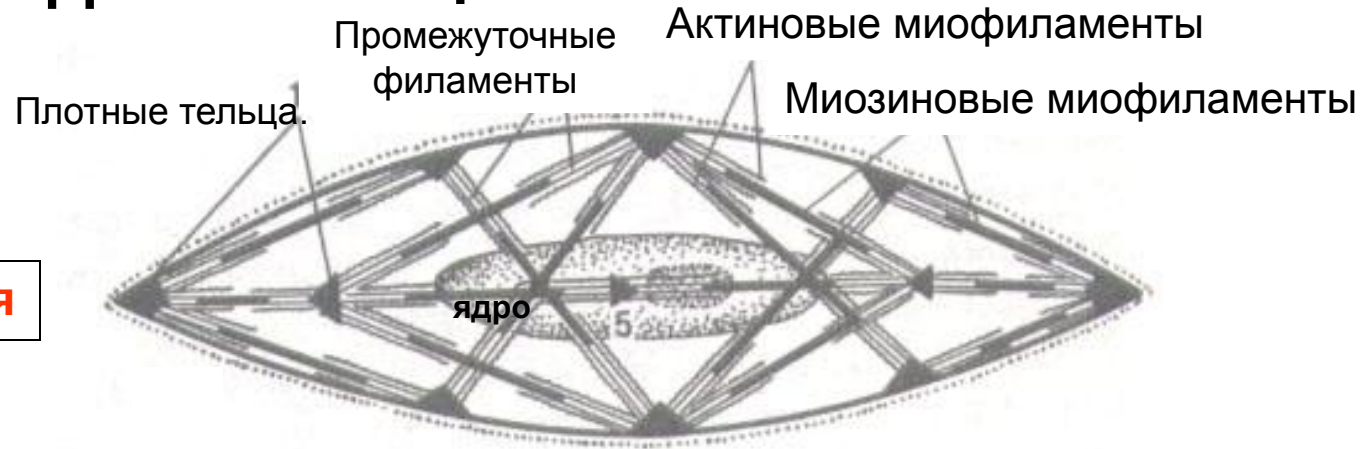
Расслабление



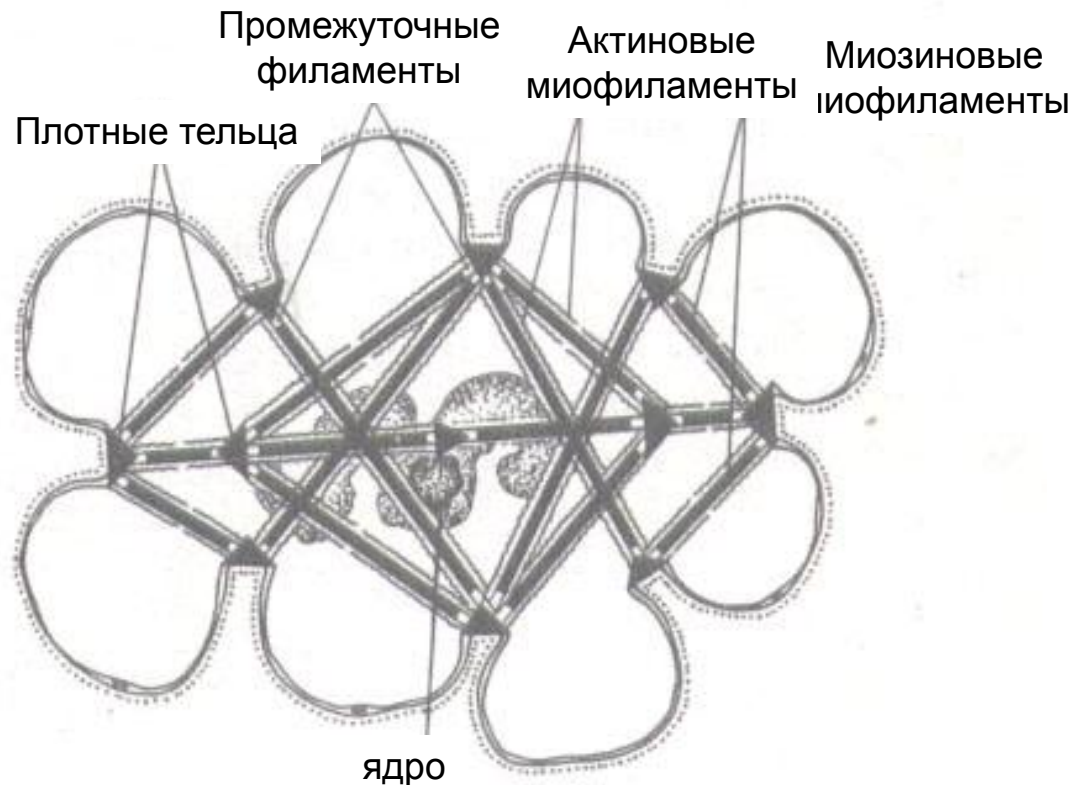
Сокращение



Строение гладкого миоцита



Фаза расслабления



Фаза сокращения

Механизм сокращения:

Ca + кальмодулин

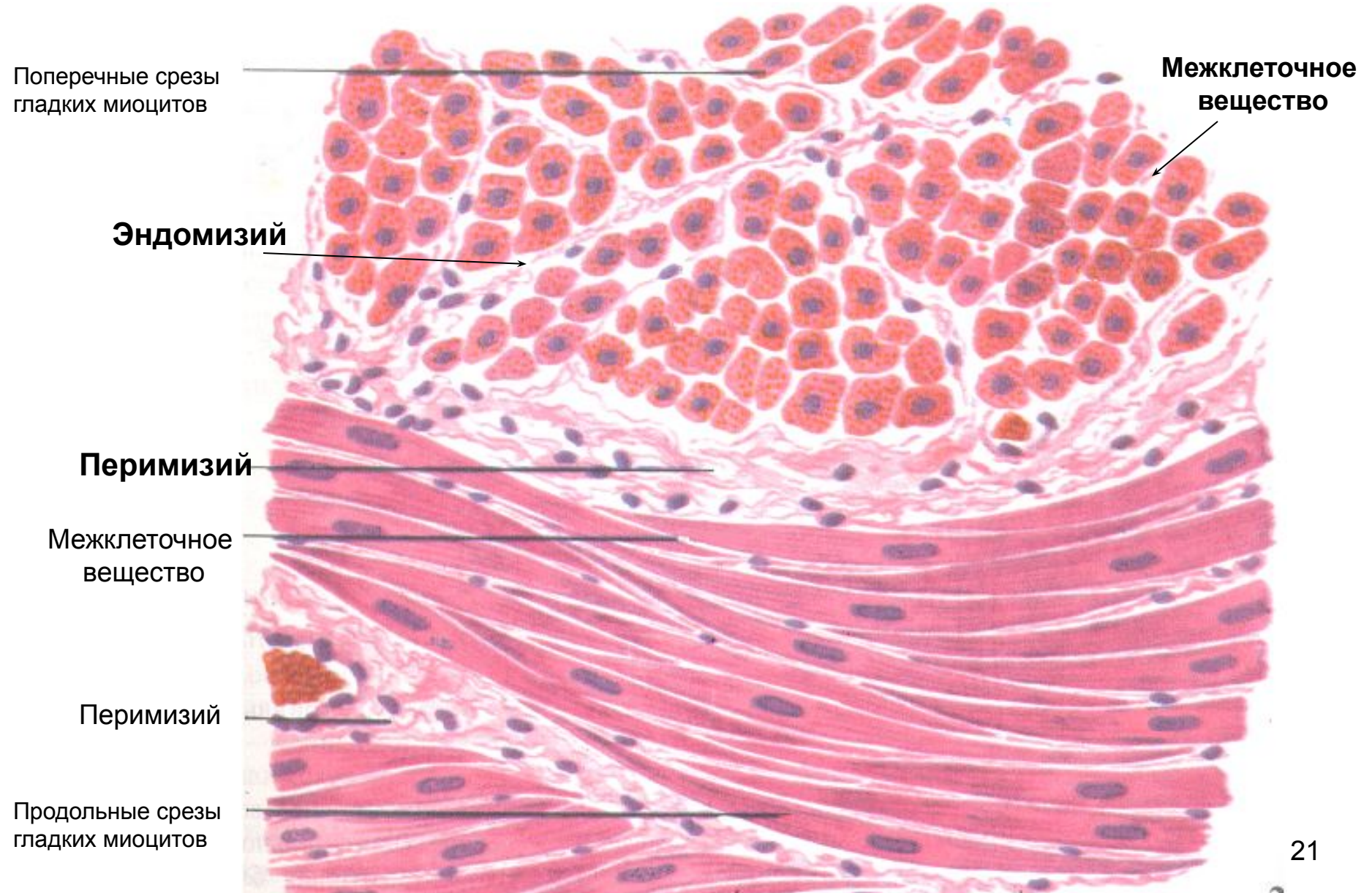


Соединение
актина с
МИОЗИНОМ

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

НО!!!! Они не образуют миофибрилл!!!

Гладкие мышцы

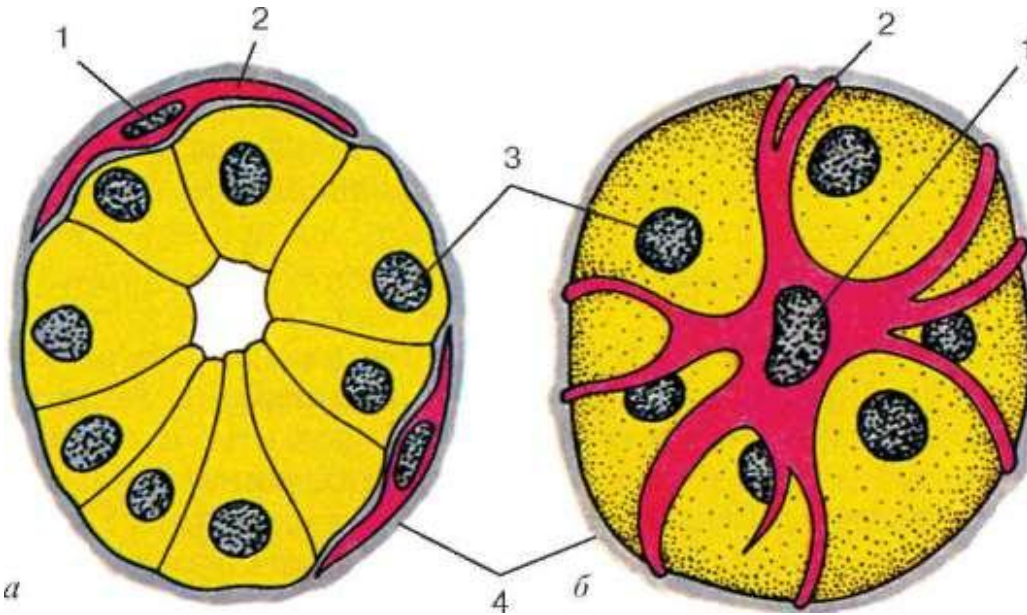


I гладкие мышечные

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.

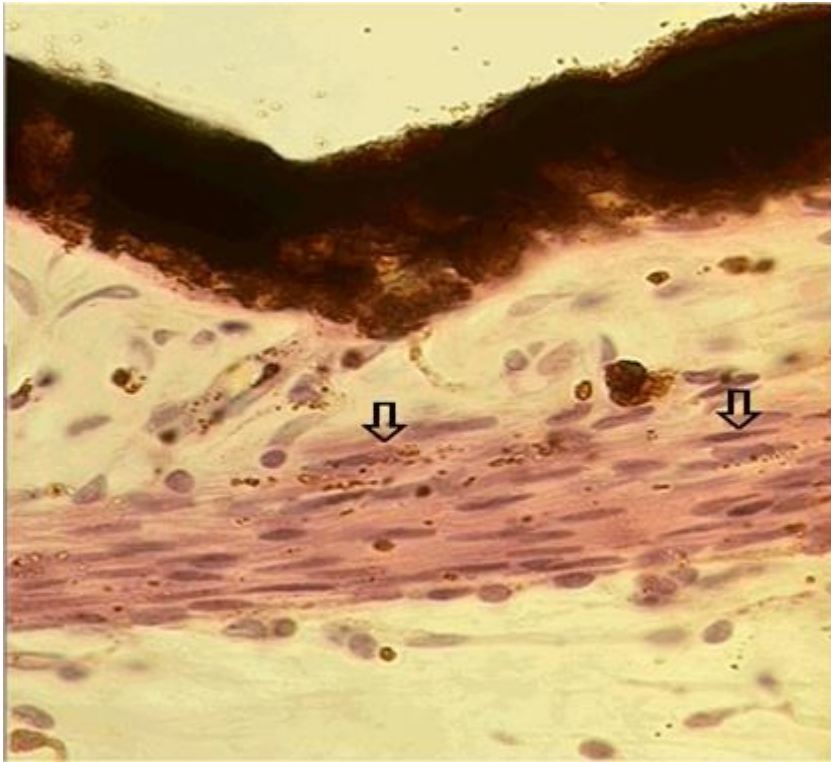
Ядро в центре, в цитоплазме, преимущественно в отростках локализованы миофиламенты, которые образуют сократительный аппарат.

В этих клетках есть и

цитокератиновые промежуточные

филаменты, что подчеркивает их

Мионейральные клетки

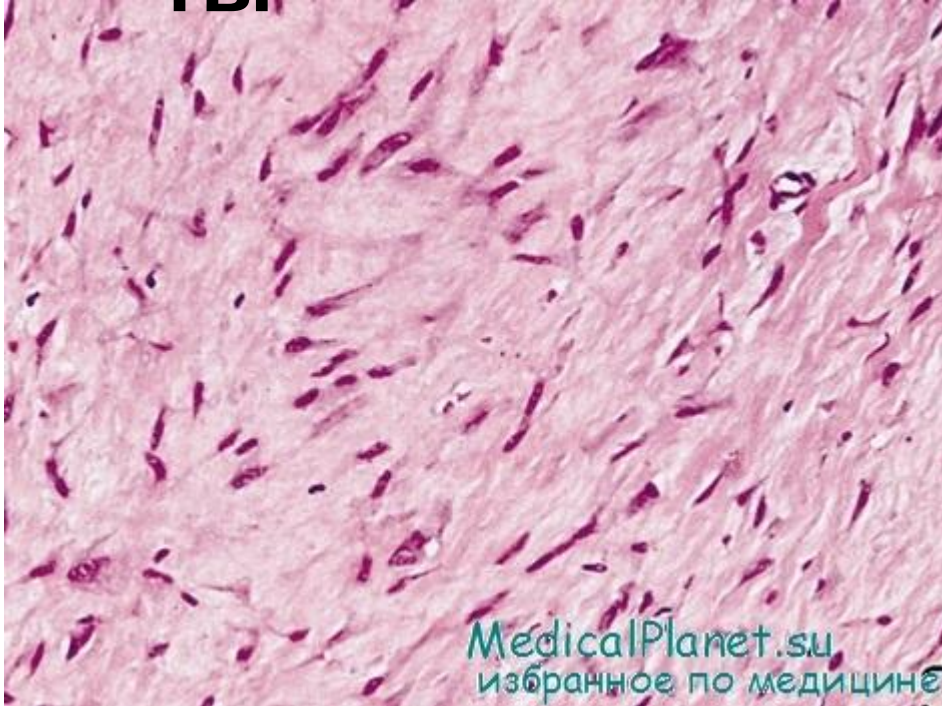


Мионейральная ткань входит в состав мышц радужной оболочки глаза – мышцы, суживающей зрачок, и мышцы, расширяющей зрачок.

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



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.

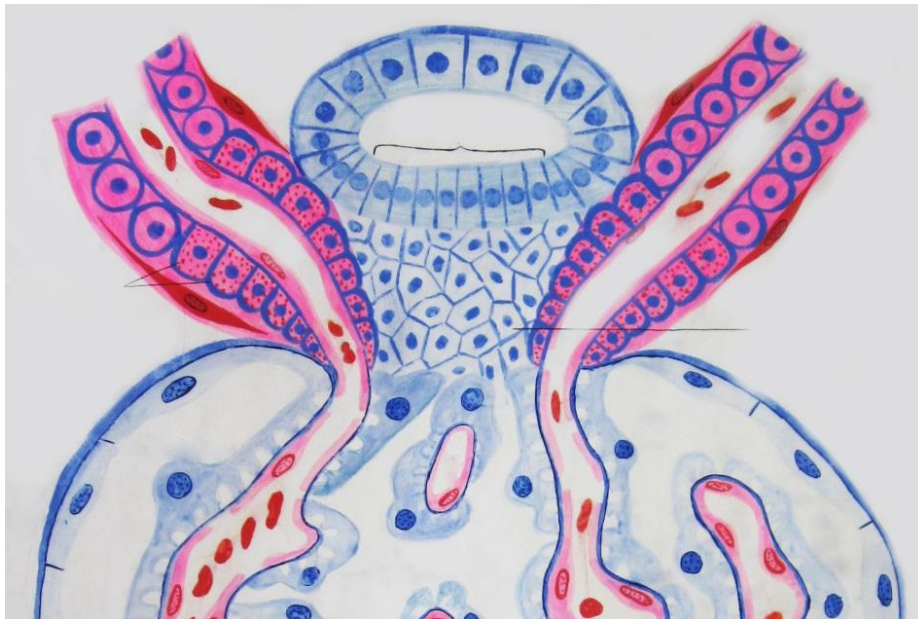
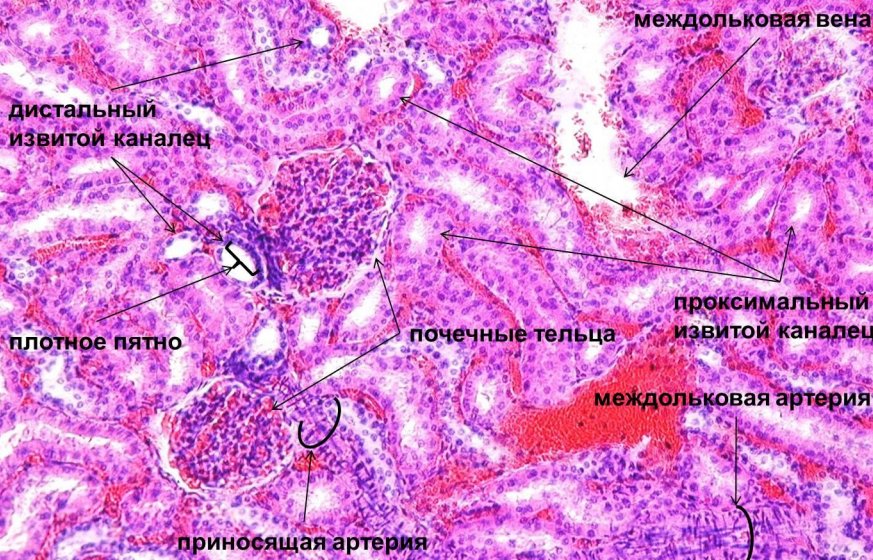
Миофибробласты обеспечивают

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**.

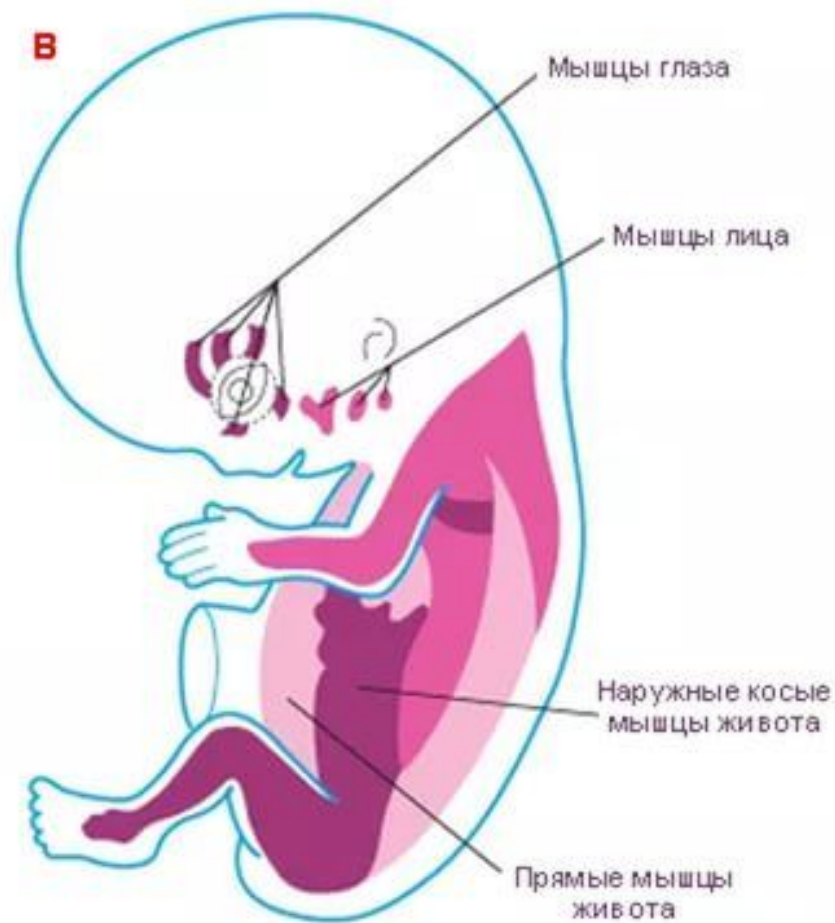
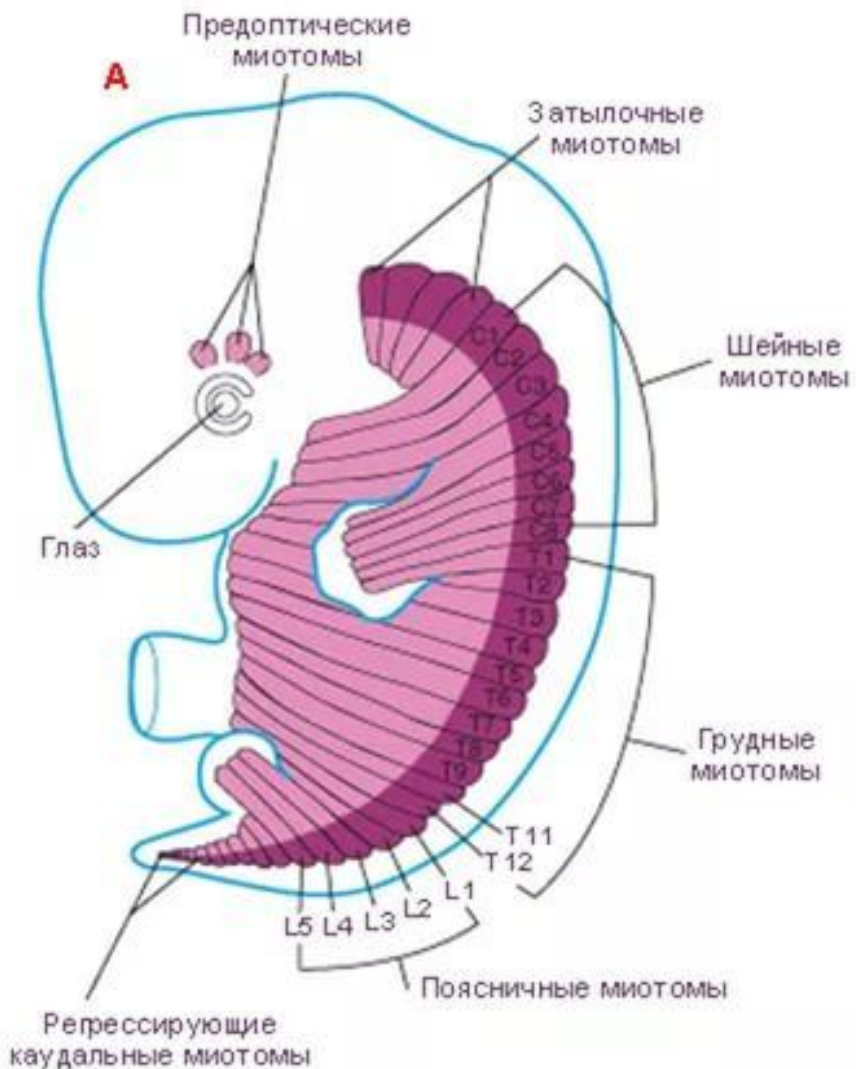
1 тип: Митотический миобласт  постмитотический МБ
(переходящий в G_0) они образуют цепочки

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.



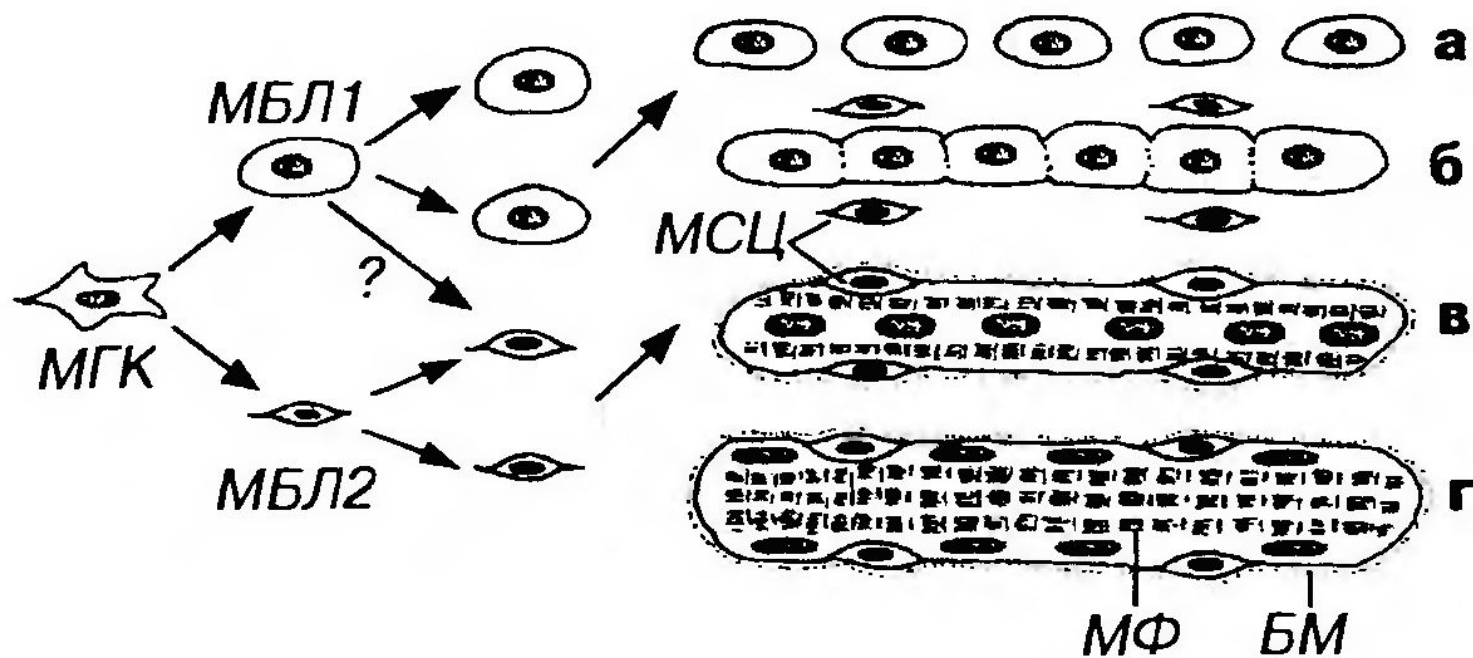


Рис. 13-1. Гистогенез скелетной мышечной ткани. МГК - миогенные клетки дают начало миобластам (МБЛ) двух различных типов - МБЛ1 и МБЛ2. МБЛ1 образуют цепочки (а), сливаются друг с другом (б) и с миосателлитоцитами (МСЦ) - производными МБЛ2, образуя мышечную трубочку (в), которая постепенно превращается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

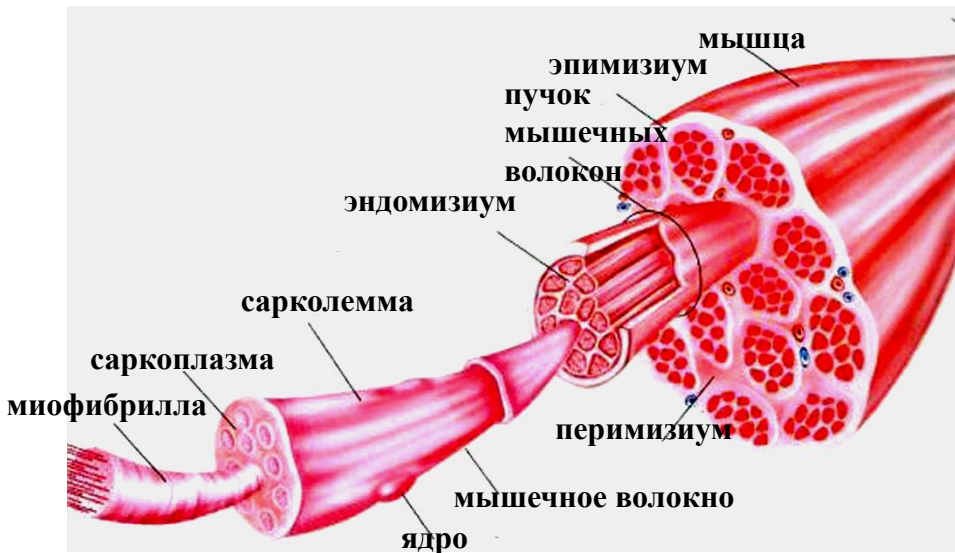
Относятся к произвольным мышцам, поскольку их сокращения подчиняются воле человека. Именно эти мышцы задействованы при занятии спортом

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.

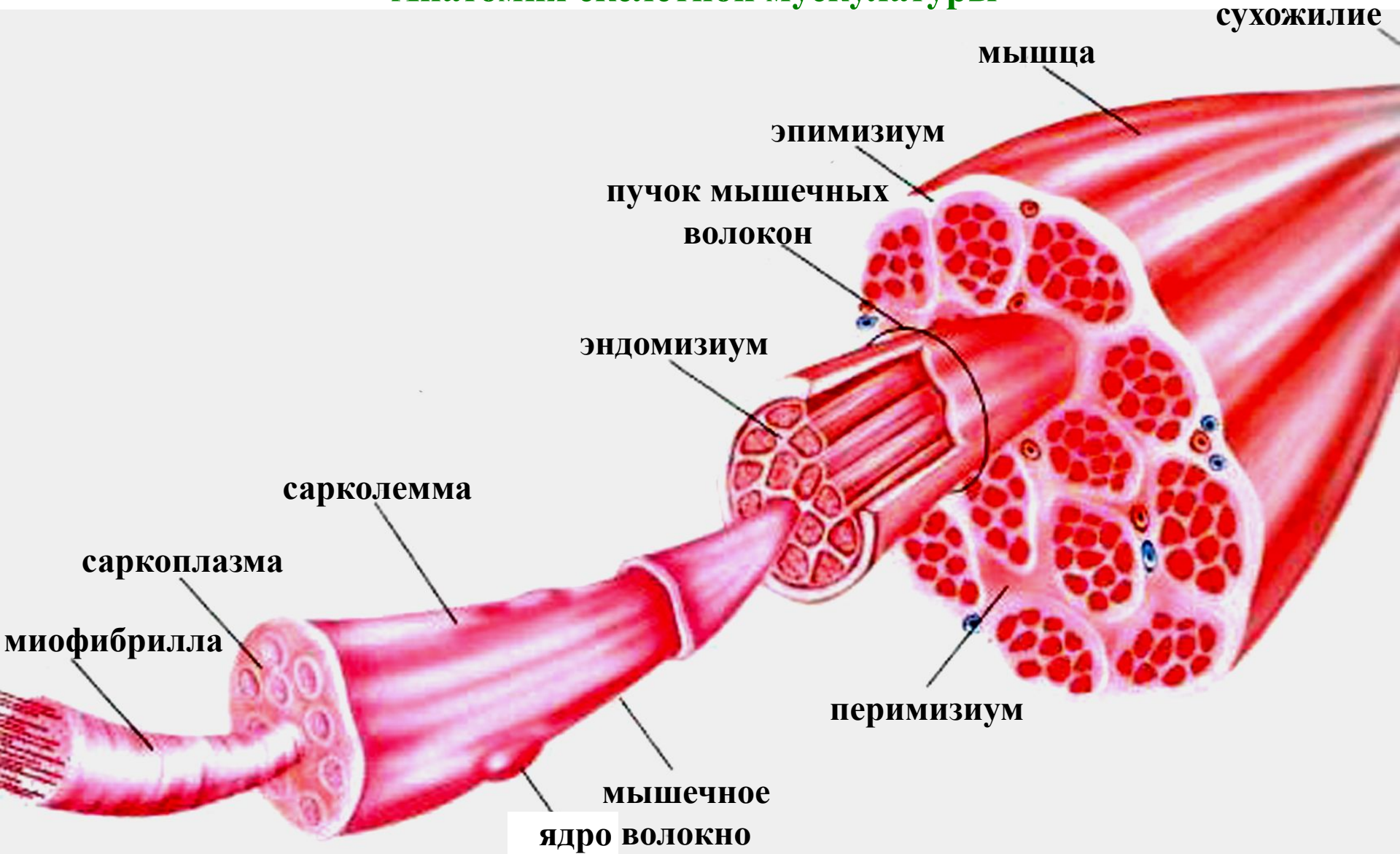
Эндомизий – прослойки РВСТ между мышечными волокнами, где проходят кровеносные сосуды, нервные окончания.

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.

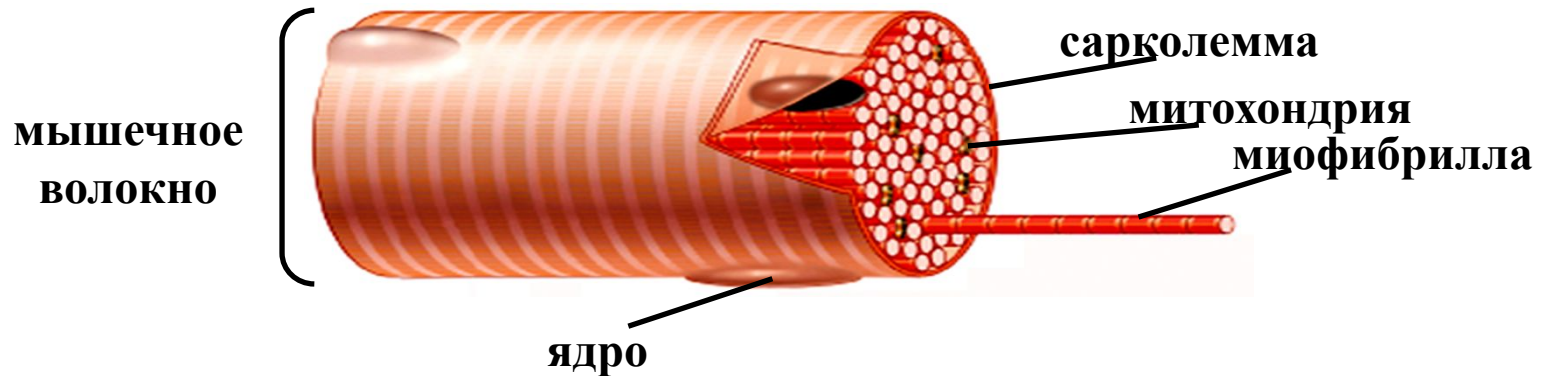
Для мышечного волокна характерна поперечная исчерченность, **ядра смещены на периферию.**

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).



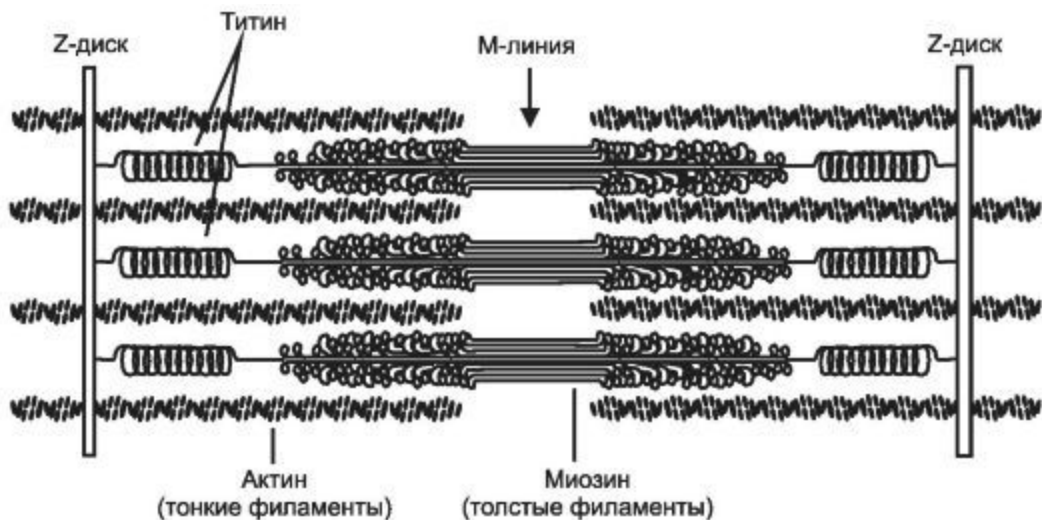
Термин «мышечное волокно» подразумевает «миосимпласт», поскольку миосимпласт обеспечивает функцию сокращения, миосателлиты участвуют только в регенерации. Миосимпласт, как и клетка, состоит из 3-х компонентов:

- 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.

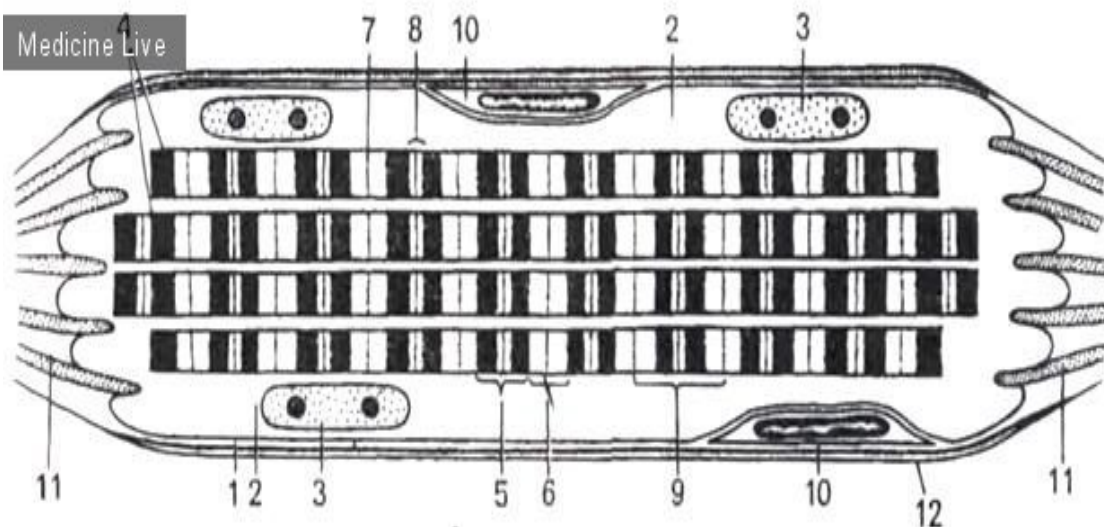
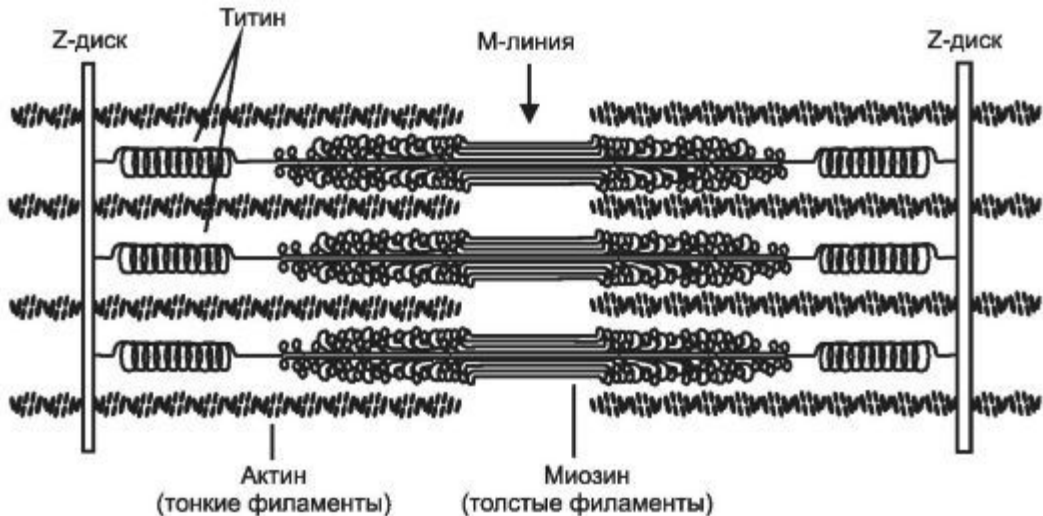
Субклеточный уровень: строение миофибриллы.

Саркомер содержит один **А-диск** (тёмный) и две половины **І-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 І); 7 — тселофрагма (линия Z); 8 — светлая зона (полоса Н), в середине которой проходит мезофрагма (линия М); 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)**.

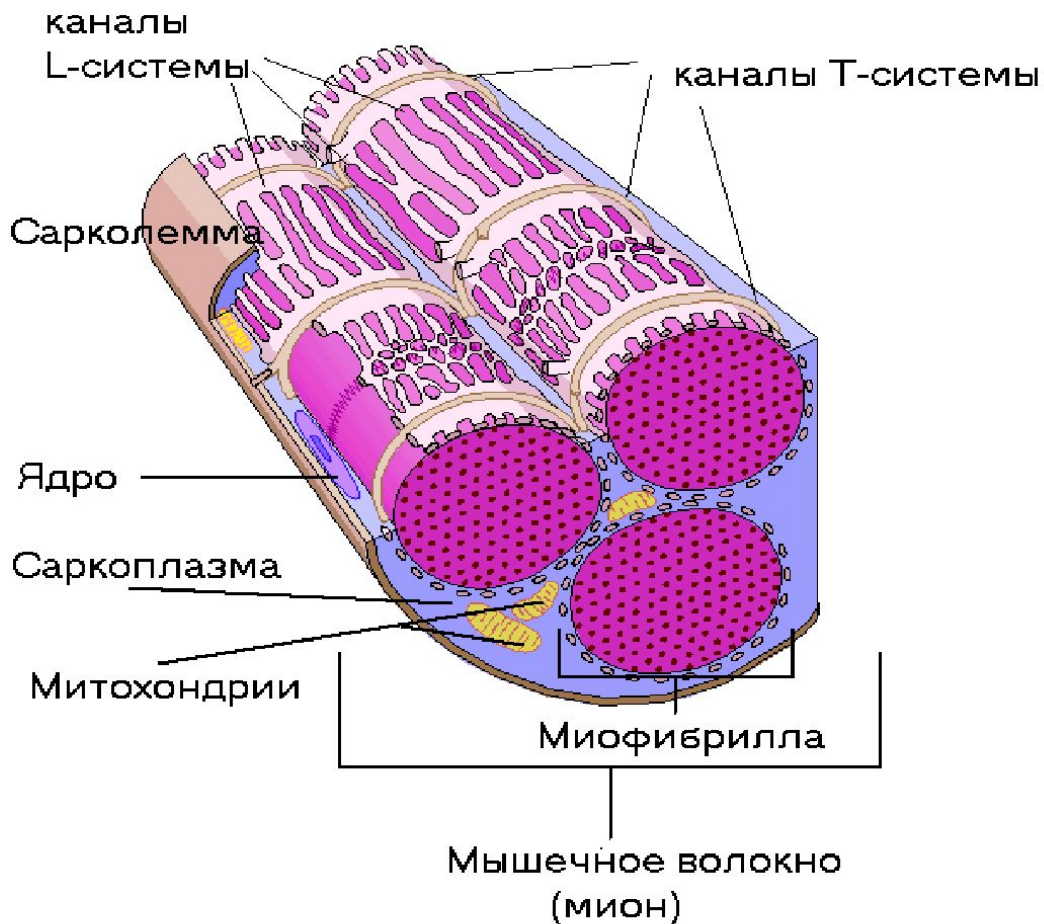
К каждой Т-трубочке примыкают по две цистерны саркоплазматического ретикулума (видоизменённая аЭПС), образуя триаду:

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.

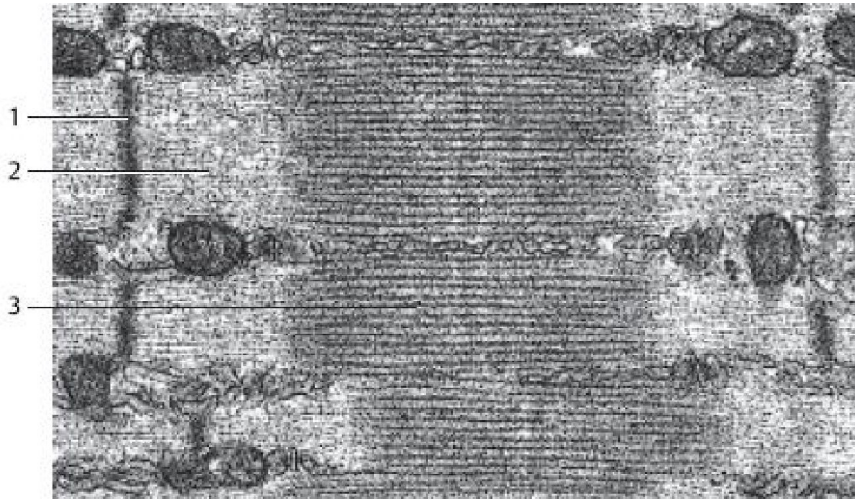
Скелетная мышечная ткань



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.



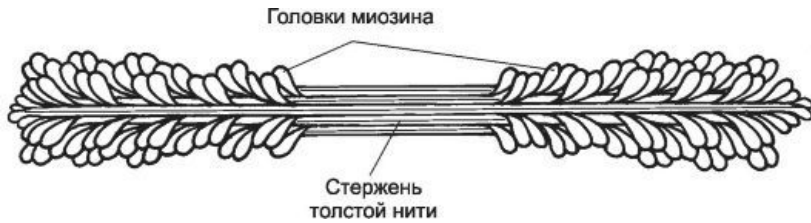
Электронная микрофотография
миона,
25 000х. 1 – Z-полоска, 2 – I-диск,
3 – А-диск

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 **α спираль**. Между головкой и тяжелой цепью находится шарнирный участок, с помощью которого головка может изменять свою конфигурацию **нет α 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

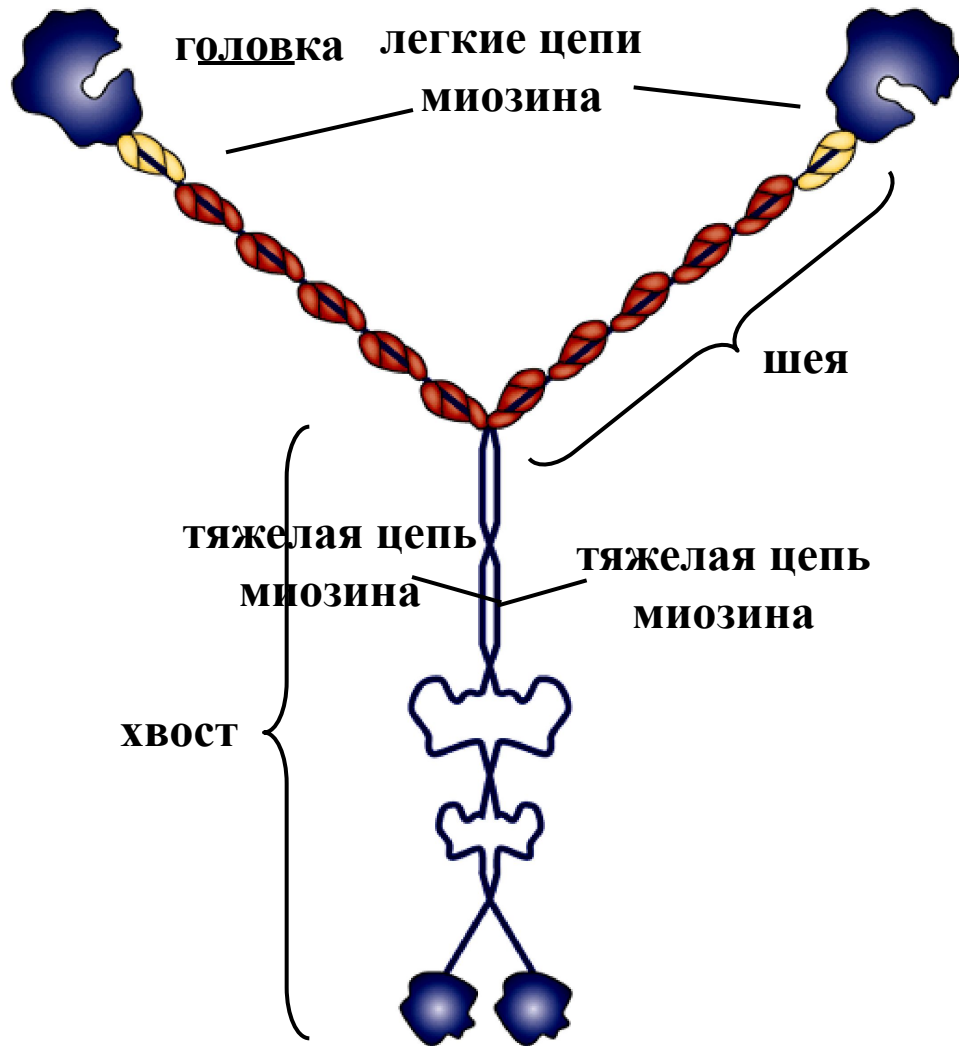
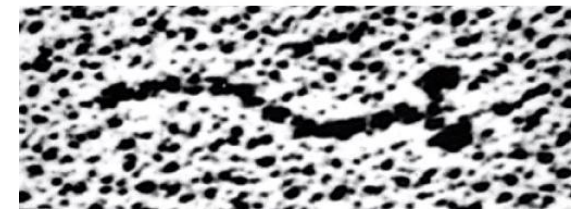
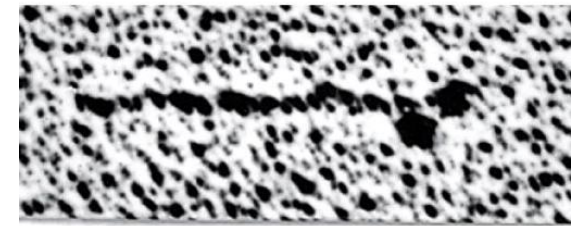
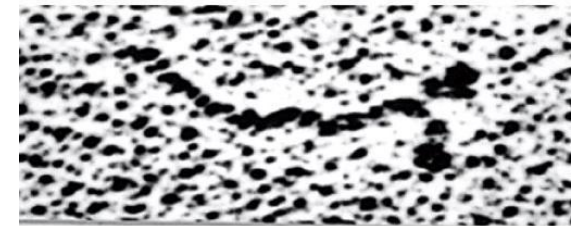
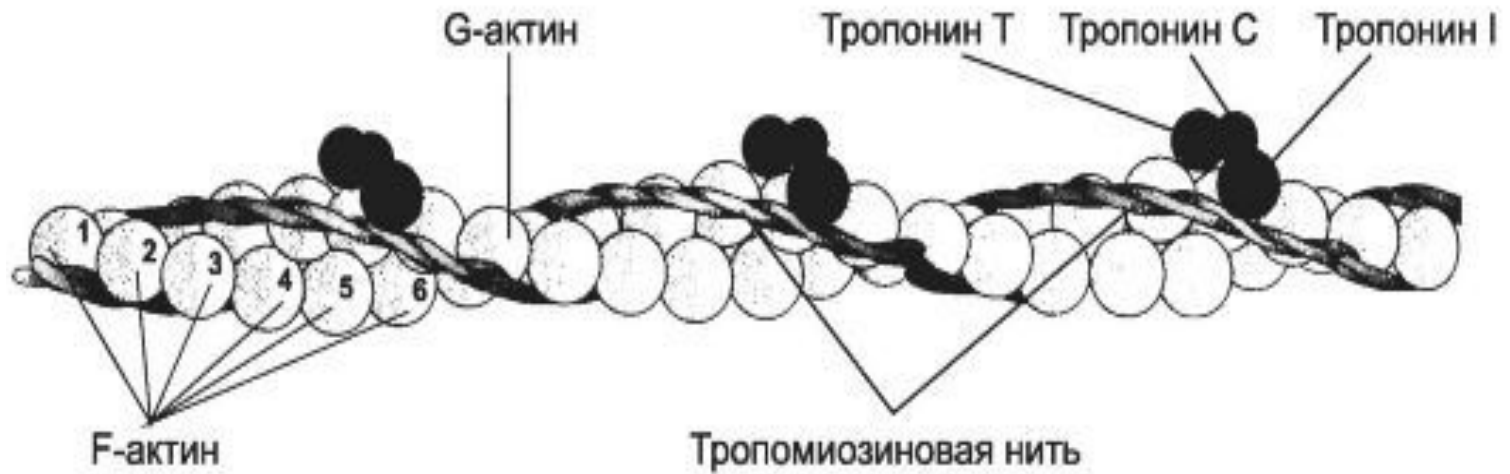


Схема строения
молекулы миозина



Электронные
микрофотографии

Молекулярный уровень: строение актиновых филаментов :



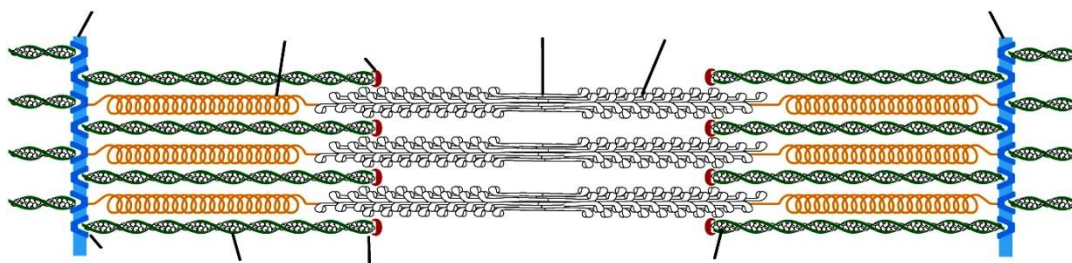
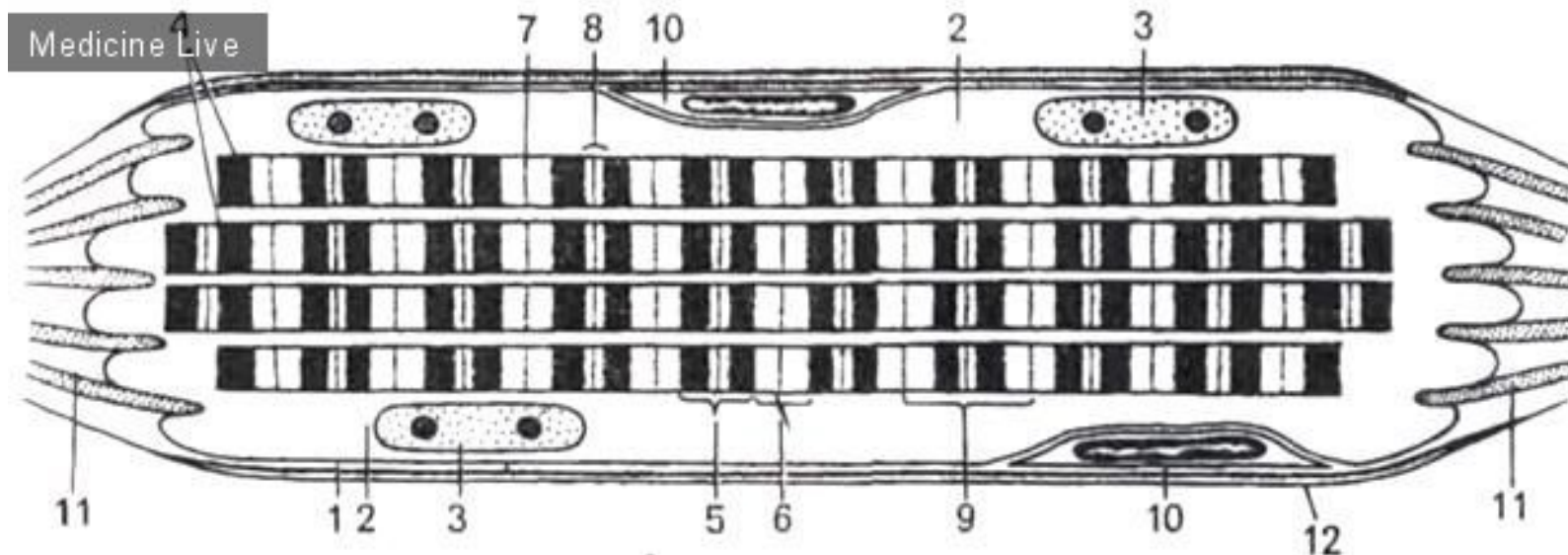
- Тонкие филаменты, или актиновые нити, (диаметр 7-8 нм), образованы тремя белками: **актином, тропонином и тропомиозином**.
- Основным по массе белком является **актин**, который образует спираль. Молекулы тропомиозина располагаются в желобке этой спирали, молекулы тропонина располагаются вдоль спирали.
- 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

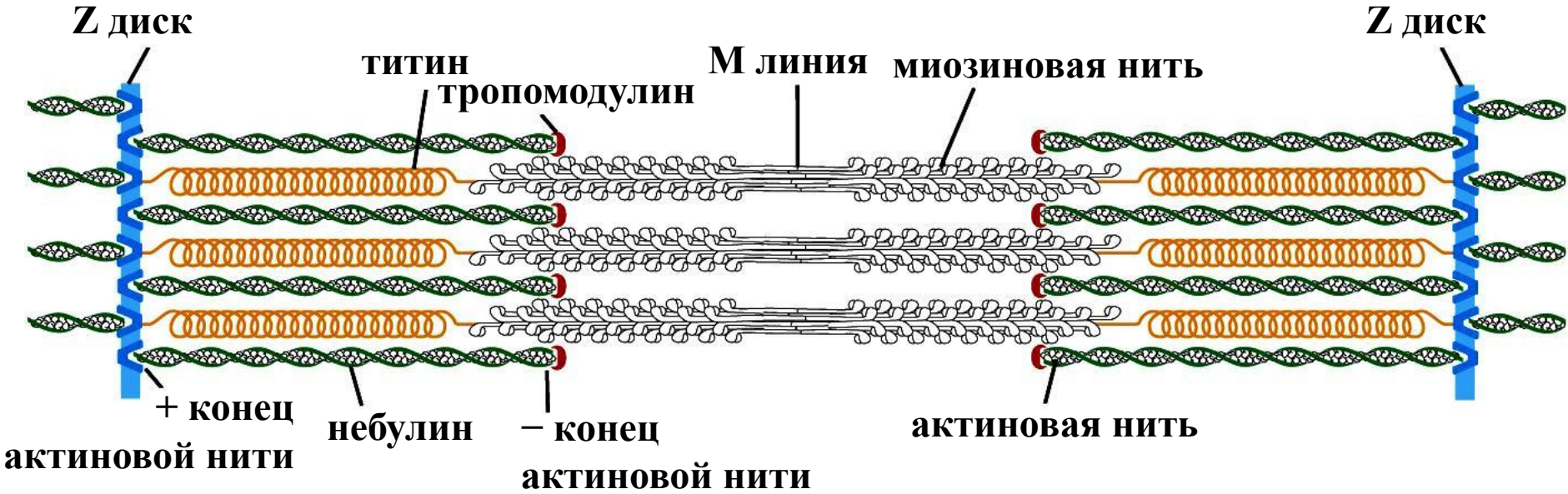


- 1 — плазмолемма;
- 2 — саркоплазма;
- 3 — ядра миосимпласта;
- 4 — миофибриллы;
- 5 — анизотропный диск (полоска А);
- 6 — изотропный диск (полоска I);
- 7 — тселофрагма (линия Z);
- 8 — светлая зона (полоса H), в середине которой проходит мезофрагма (линия M);
- 9 — саркомер;
- 10 — миосател- литоцит;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

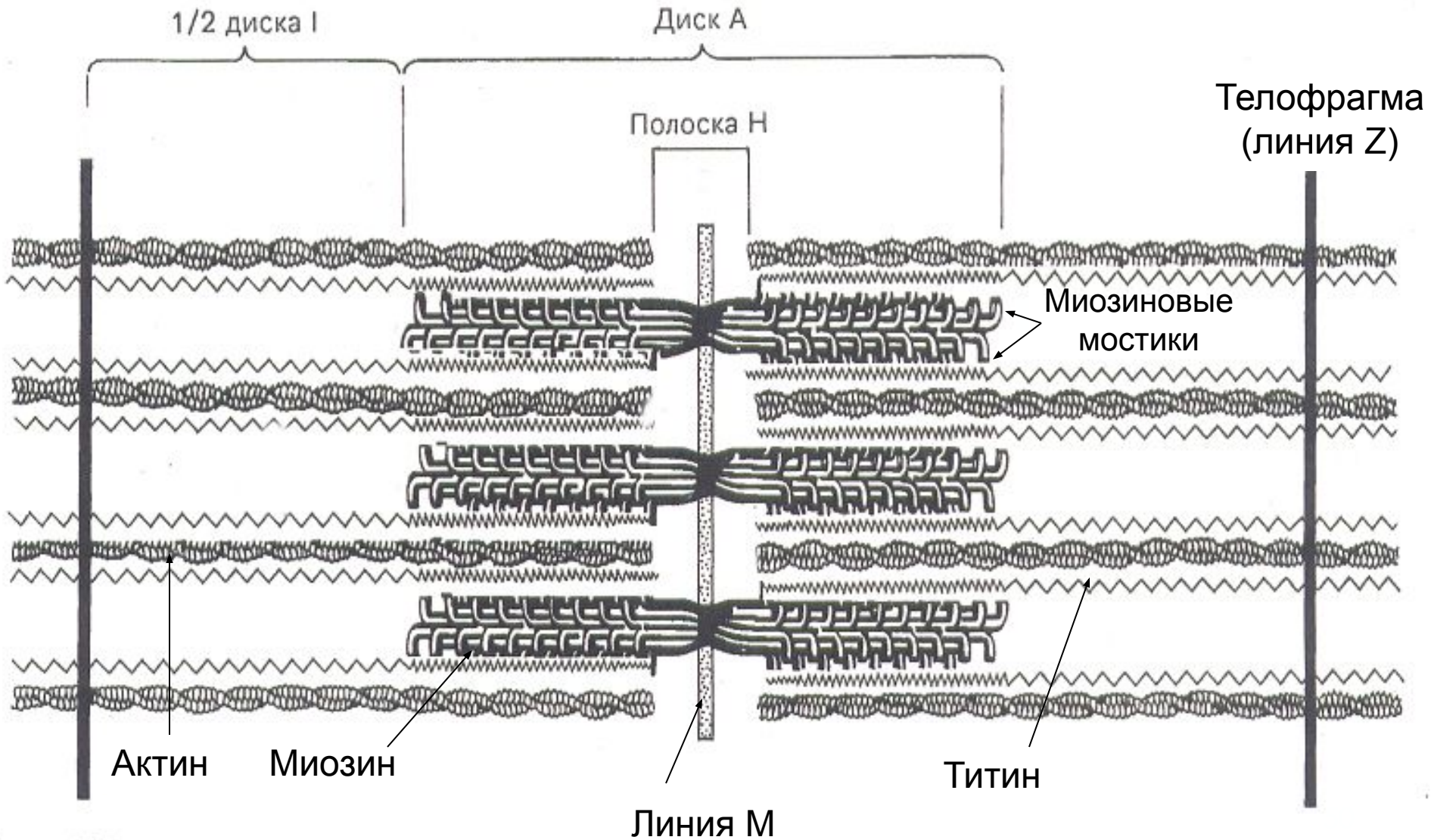
МИКРОФИЛАМЕНТЫ

Структура акто-миозиновых комплексов

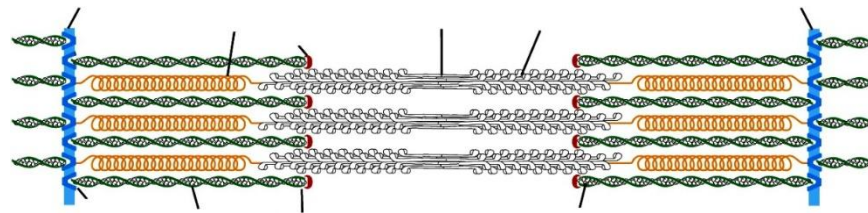
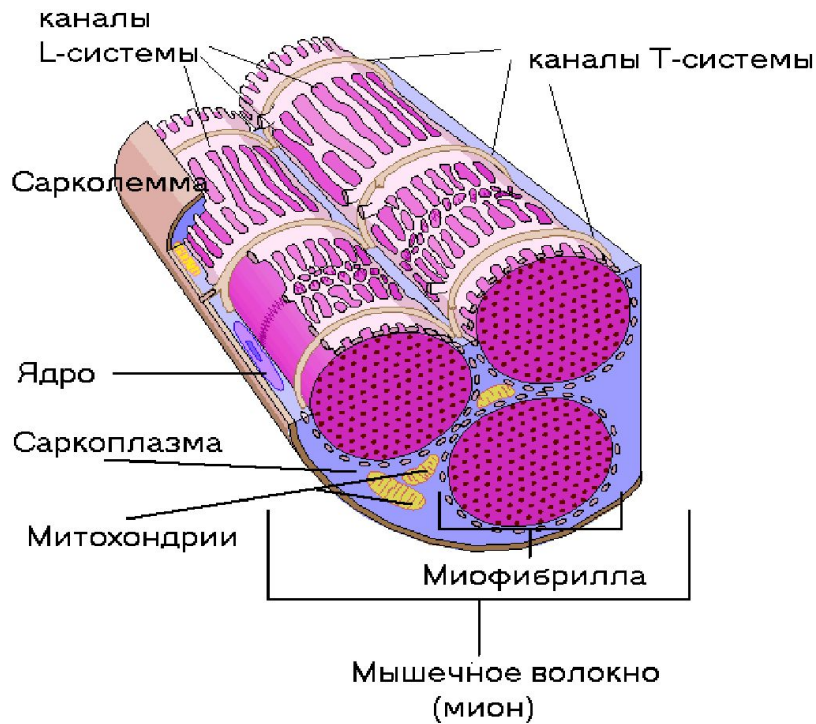
Схема строения саркомера



САРКОМЕР



Молекулярный механизм мышечного сокращения

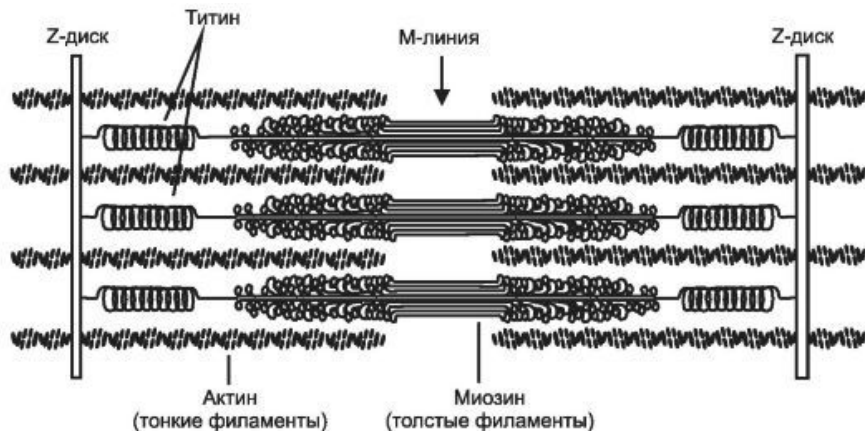


1. Прохождение нервного импульса через нервно-мышечный синапс и деполяризация плазмолеммы мышечного волокна;
2. Волна деполяризации проходит по Т-трубочкам (впячивания плазмолеммы) до L-трубочек (цистерны саркоплазматического ретикулума);
3. Открытие кальциевых каналов в саркоплазматическом ретикулуме 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.

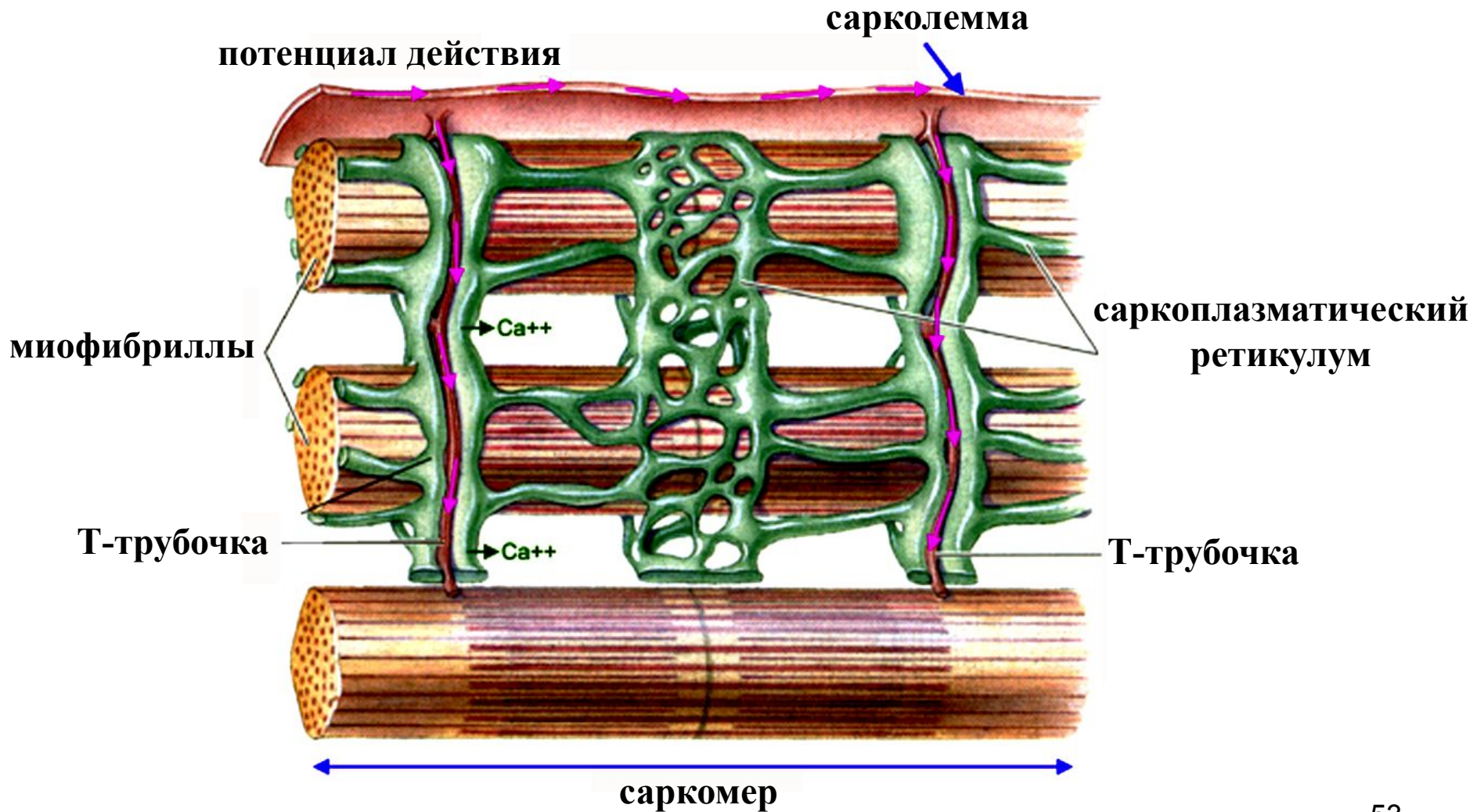


В результате этого уменьшается ширина I-диска, H-полоски и уменьшается длина саркомера; ширина A-диска не изменяется.

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

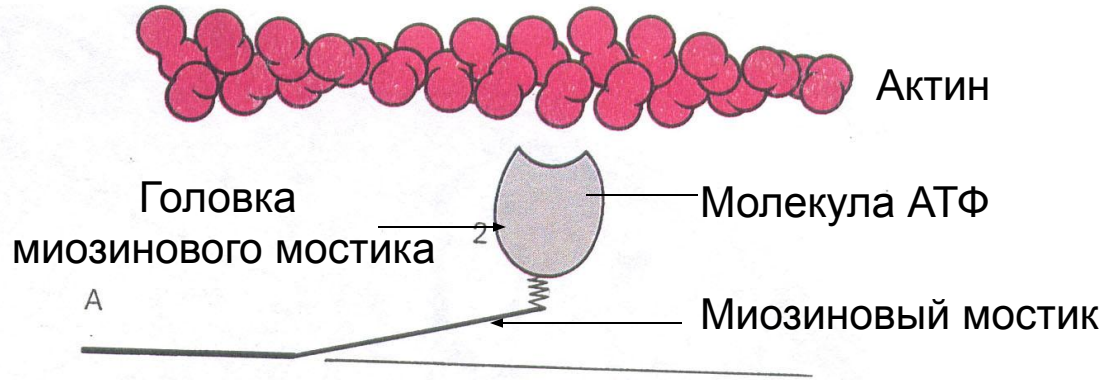
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Структура мышечного волокна

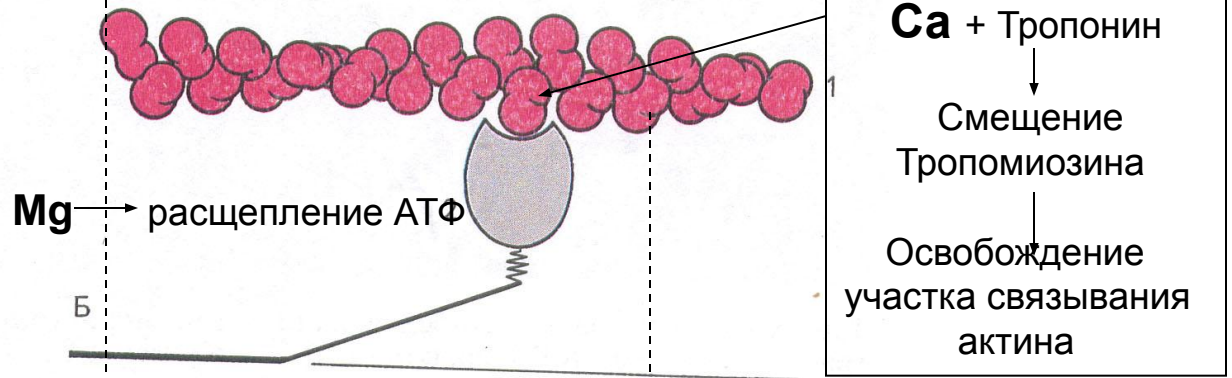


Механизм сокращения

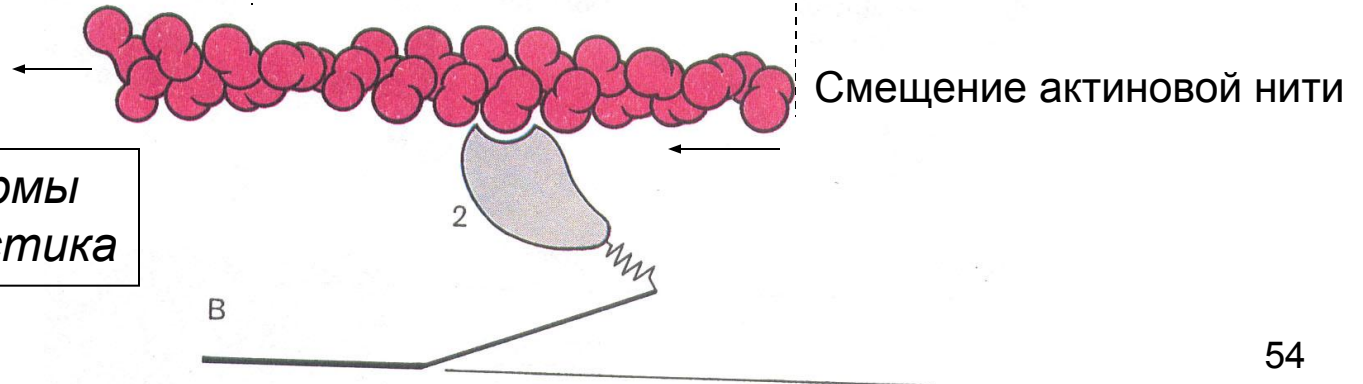
Отсутствие связи
миозина с актином



Акто-миозиновый
комплекс



Изменение формы
миозинового мостика



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

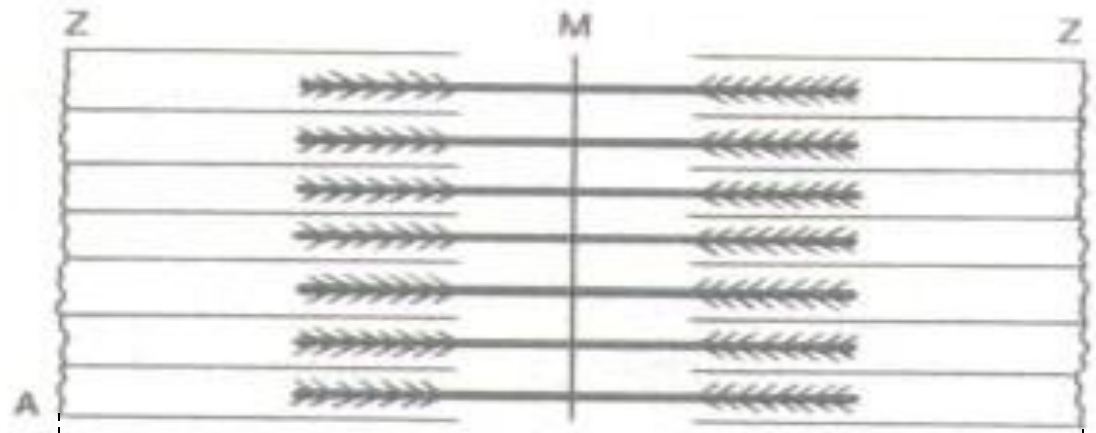
$$S = Z_1 + 1/2I_1 + 1/2A_1 + M + 1/2A_2 + 1/2I_2 + Z_2$$

Формула саркомера при полном
сокращении:

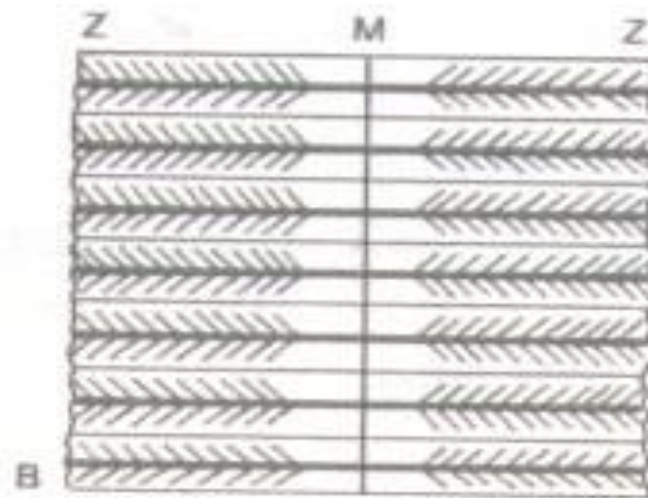
$$S = Z_1 + A + Z_2$$

Саркомер миофибриллы

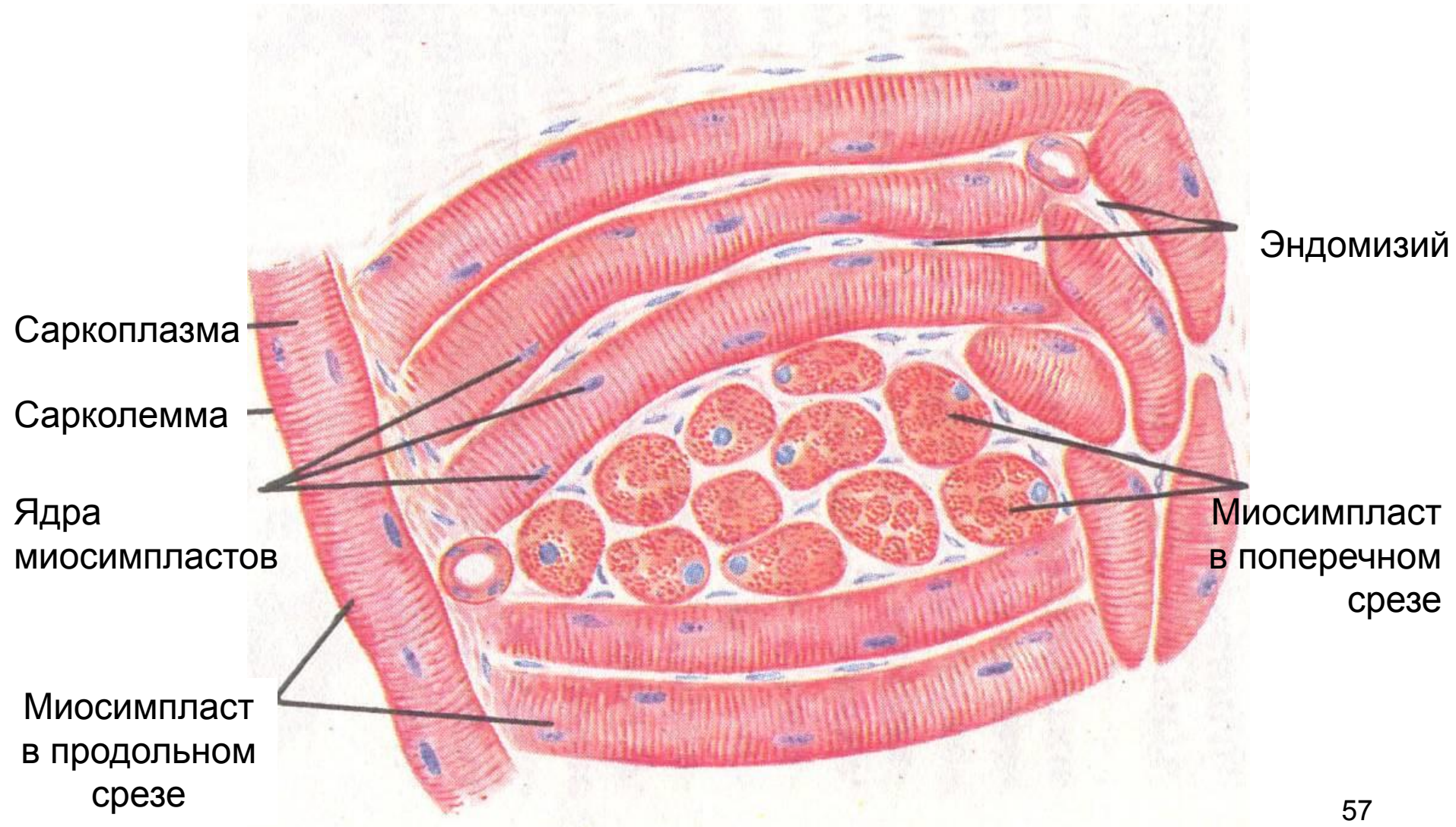
Стадия расслабления



Стадия сокращения



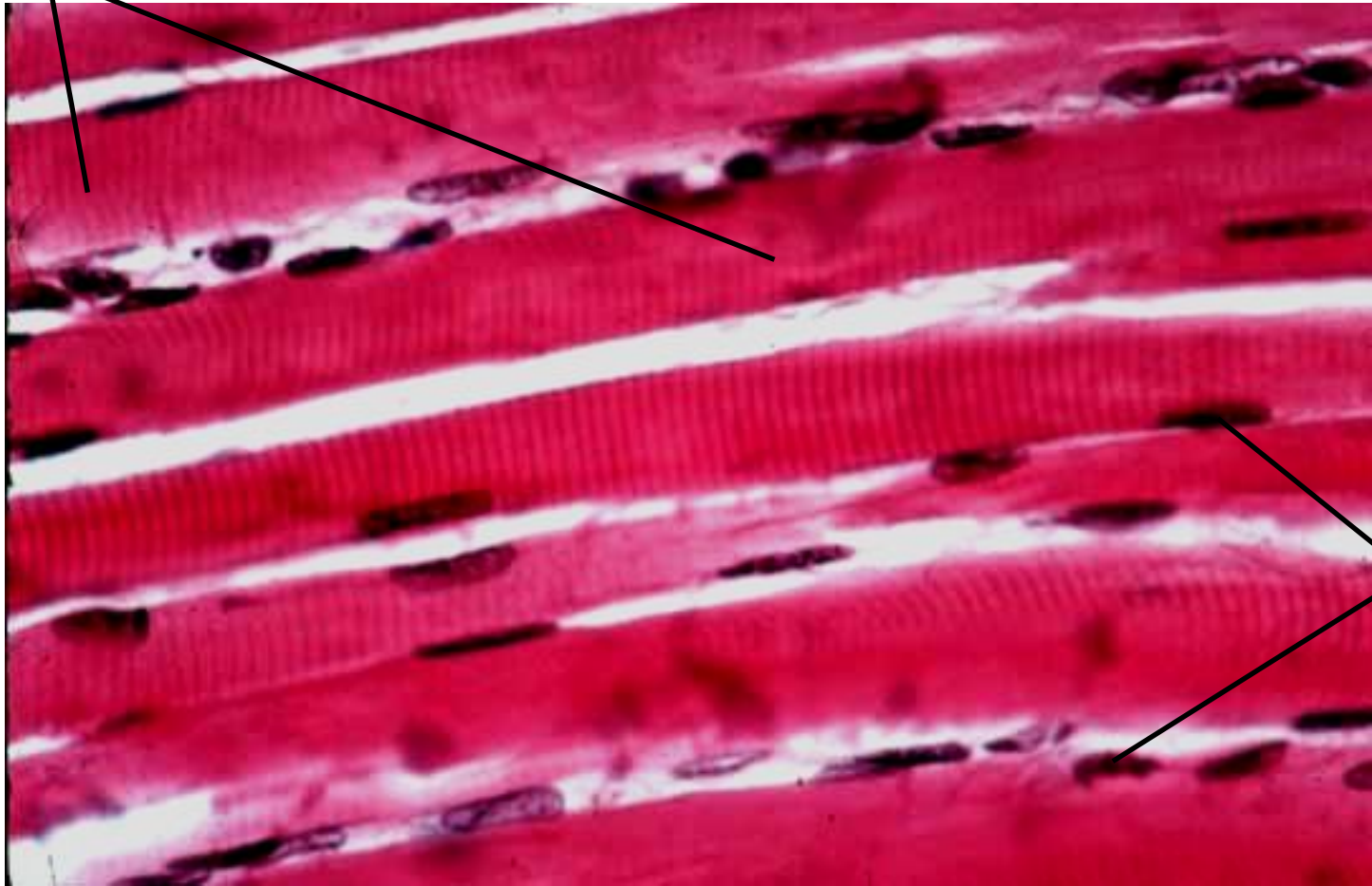
Скелетная мышечная ткань



СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

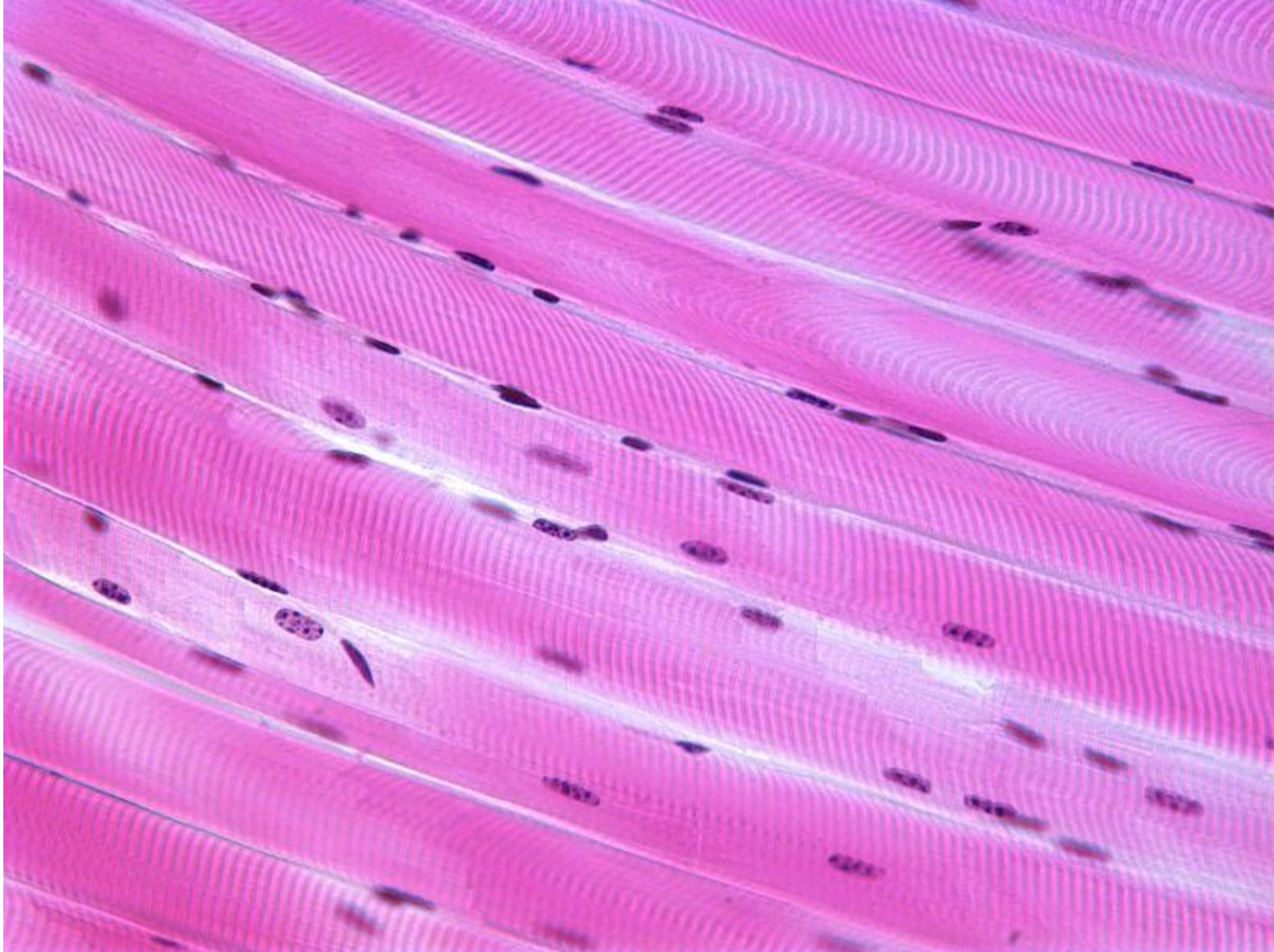
Микрофотография продольного среза
поперечно-полосатой мышечной ткани

мышечные волокна

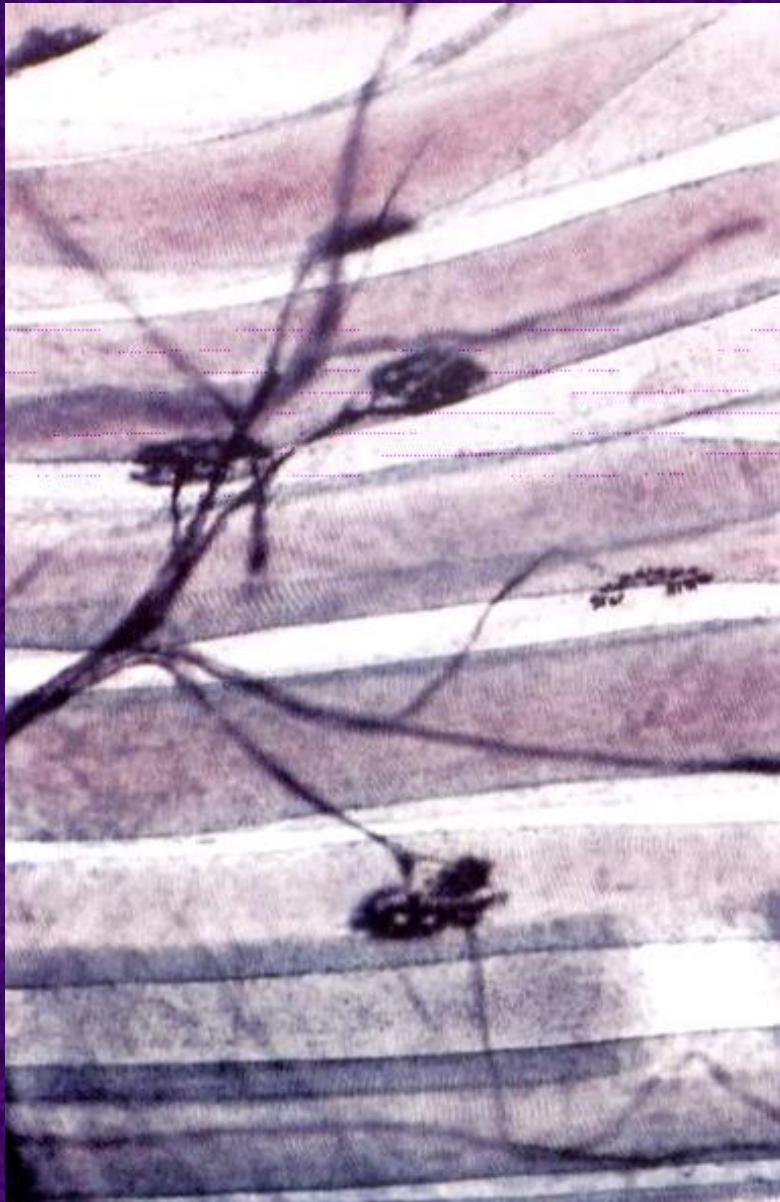


ядра

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.

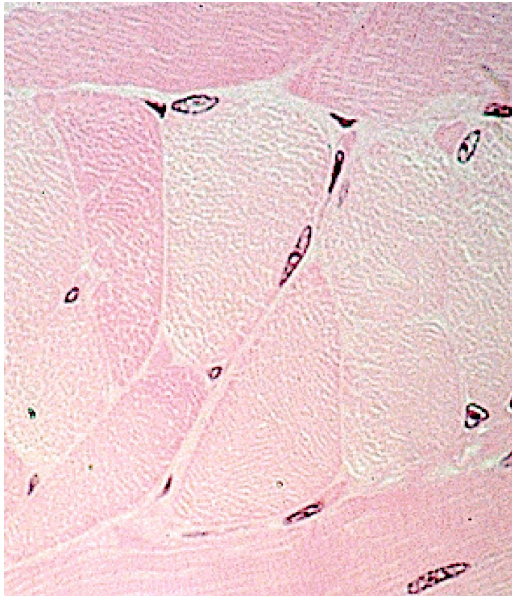
Промежуточные (окислительно-гликолитические) волокна имеют умеренную активность сукцинатдегидрогеназы.

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



Свойство	Белые мионы	Красные мионы
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.

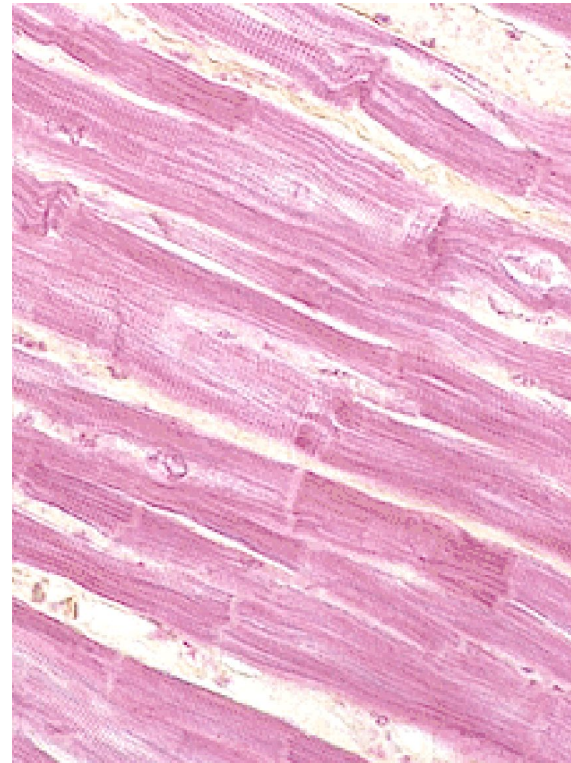
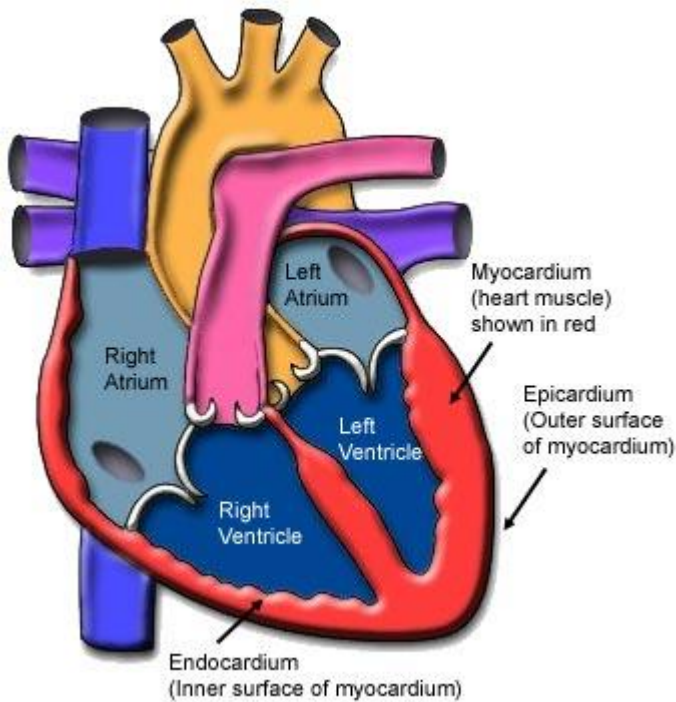
Чувствительная (афферентная) иннервация скелетных мышц осуществляется псевдоуниполярными нейронами спинальных ганглиев, посредством разнообразных рецепторных окончаний дендритов этих клеток.

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



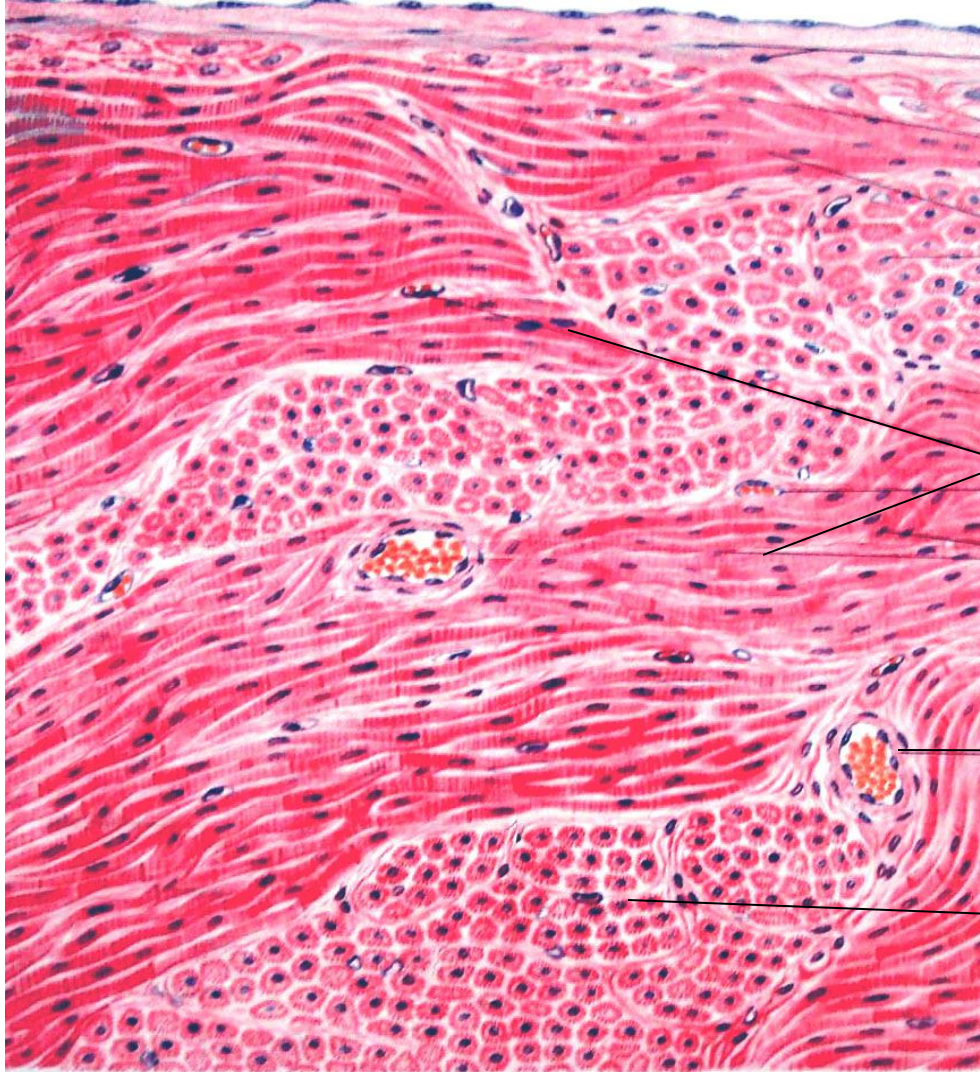
Рабочие кардиомиоциты. Гематоксилин –
эозин, 200x

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.

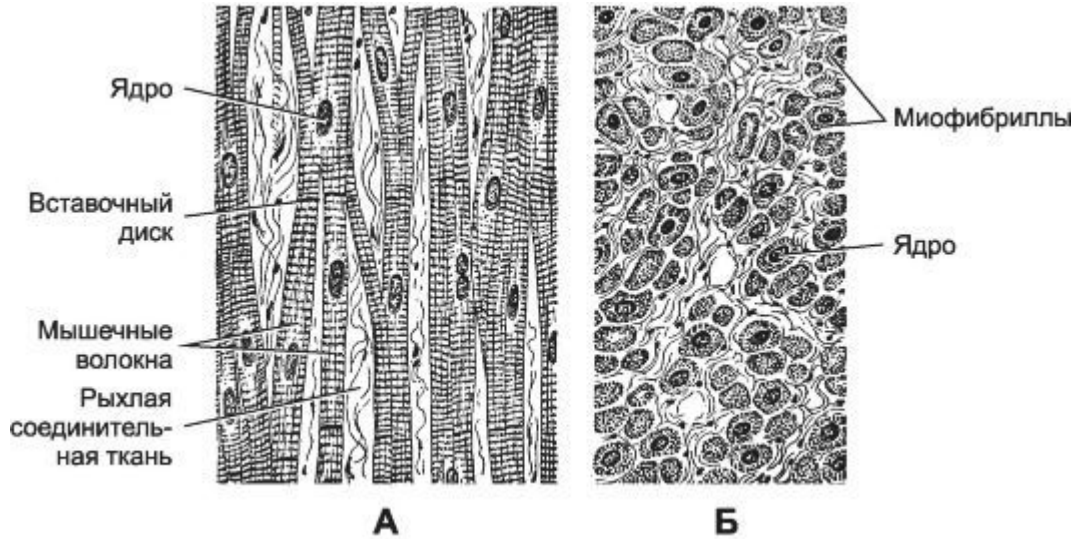
Встречается в стенке сердца, проксимальной части аорты, в верхней полой вене.

Структурная единица – КМЦ.

3 популяции КМЦ:

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

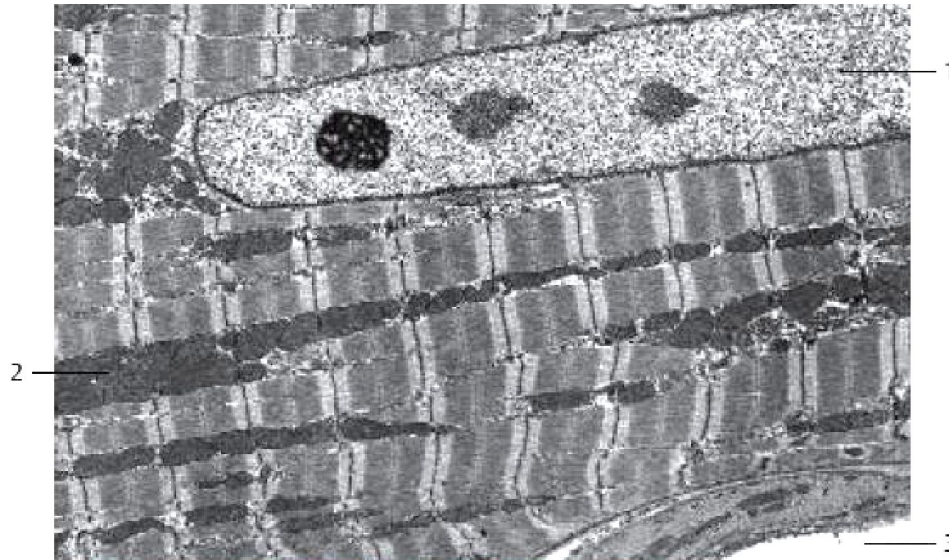
КАРДИОМИОЦИТЫ



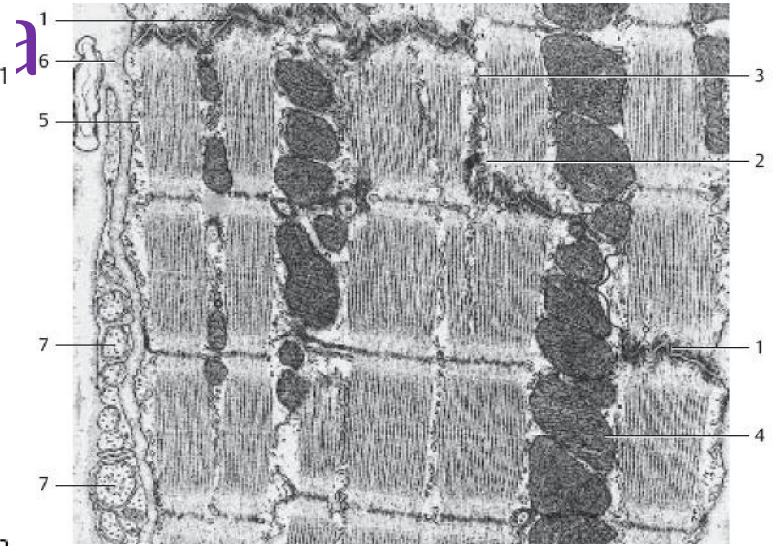
Сердечная мышца в продольном (А) и поперечном (Б) разрезе

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

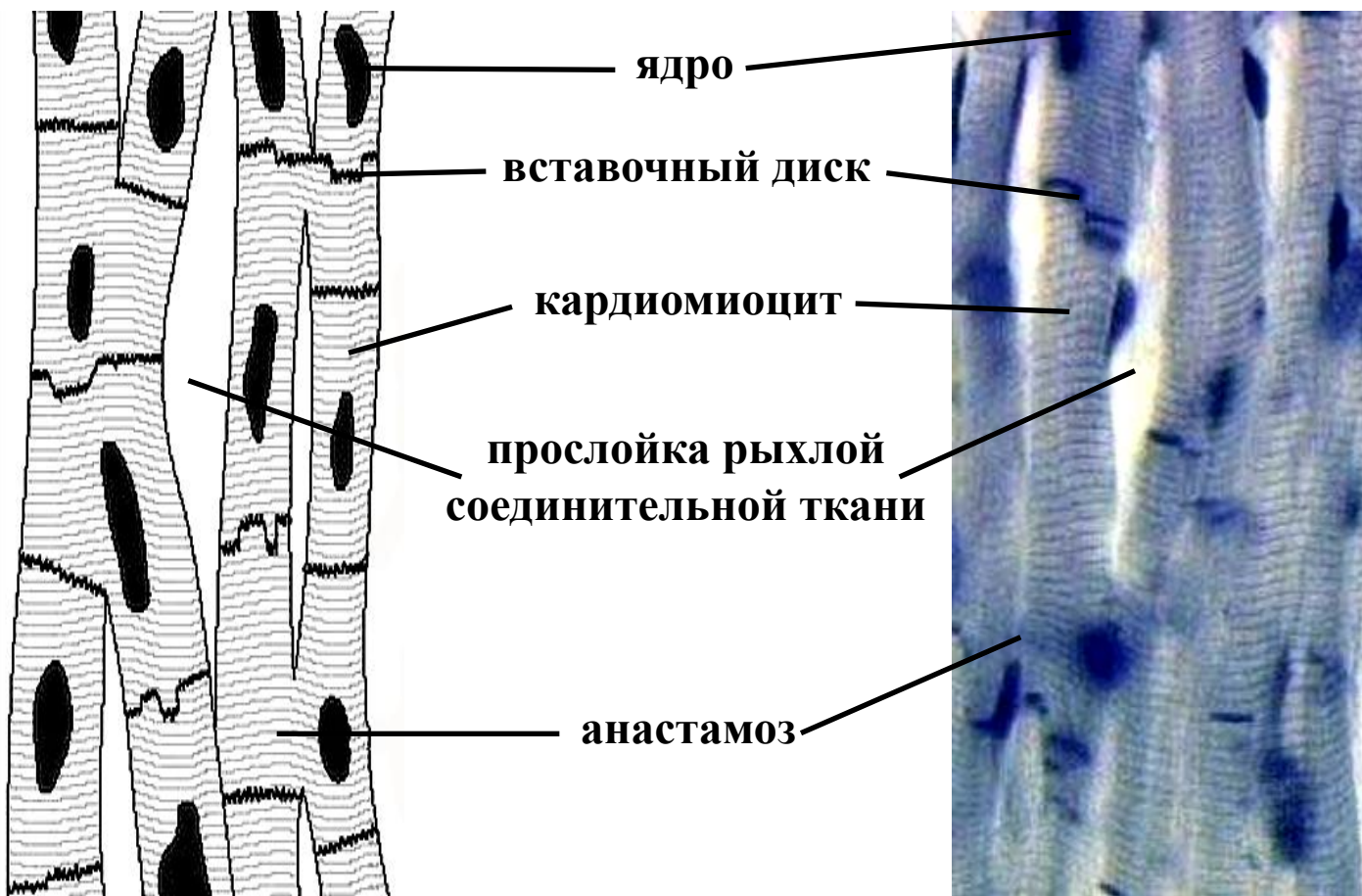


Межклеточные контакты
в миокарде, 3000х.
1 – вставочный диск,
2 – десмосома,
3 – нексус, 4 – митохондрия,
5 – плазмалемма,
6 – базальная пластинка

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Схема строения

Микрофотография



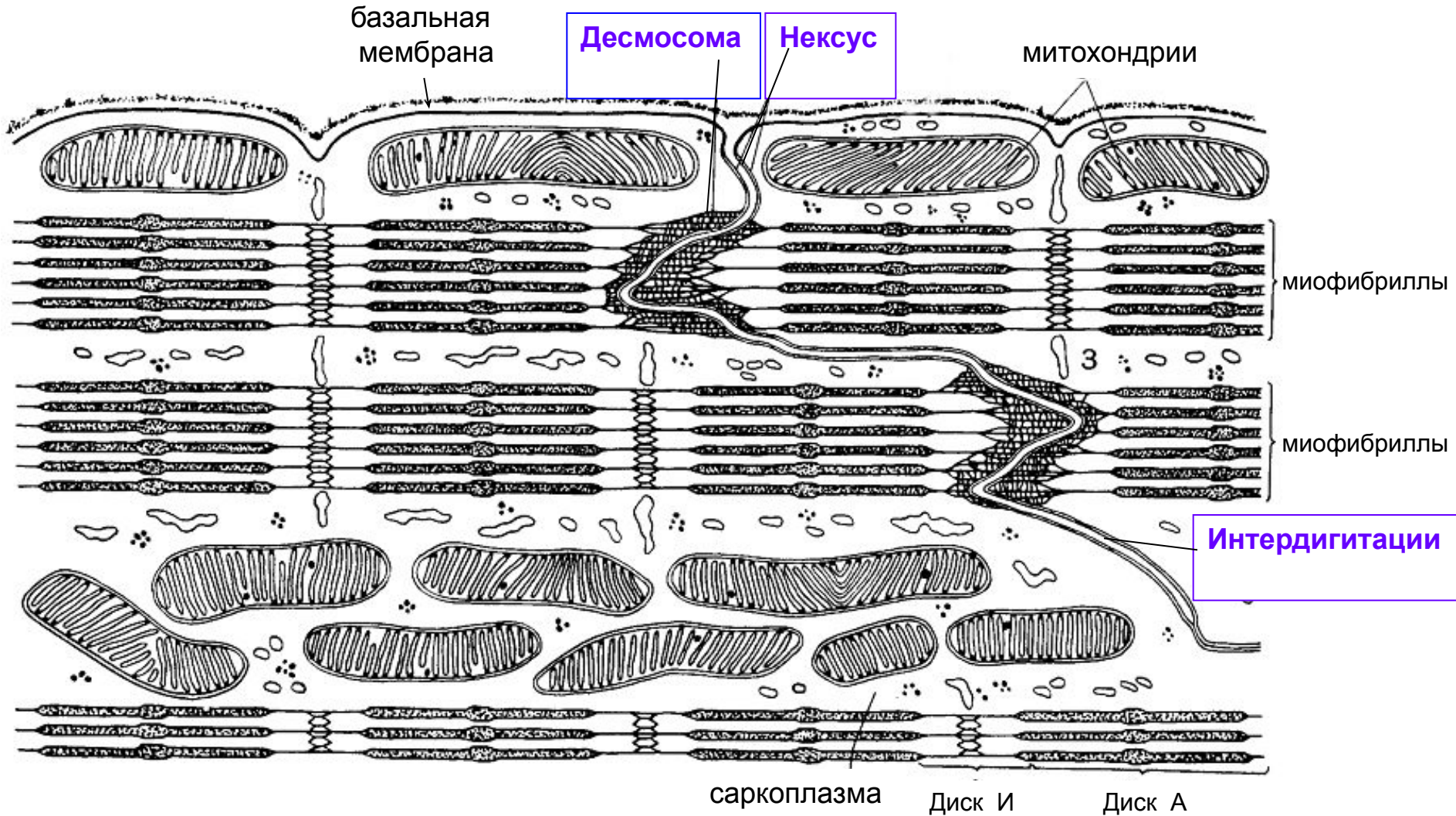
Типичные кардиомиоциты (рабочие, сократительные)

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 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

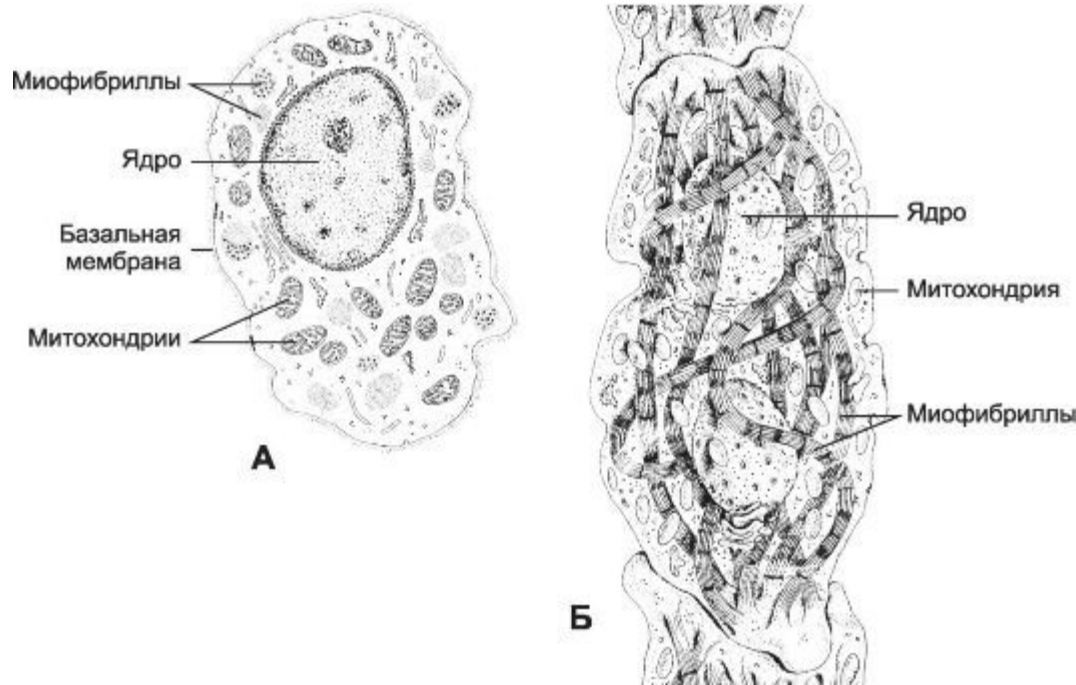
• *Пучок Гиса* – к-ки содержат длинные миофибриллы и мелкие митохондрии, мало гликогена.

• *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

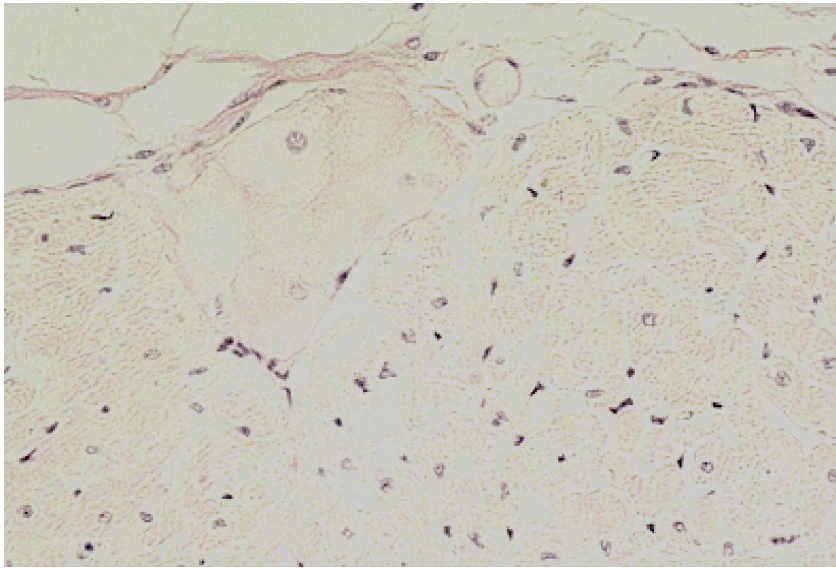


А - водитель ритма синусно-предсердного узла; Б - проводящий кардиомиоцит предсердно-желудочкового пучка. Волокна Пуркинье. Проводящие кардиомиоциты волокон Пуркинье - самые крупные клетки миокарда. В них содержатся редкая неупорядоченная сеть миофибрилл, многочисленные мелкие митохондрии, большое количество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

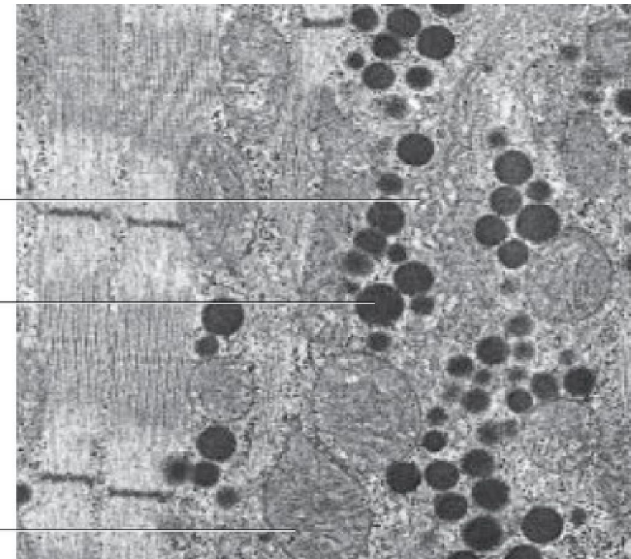
ДВИГАТЕЛЬНАЯ ИННЕРВАЦИЯ СЕРДЦА

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

Сердечная мышечная



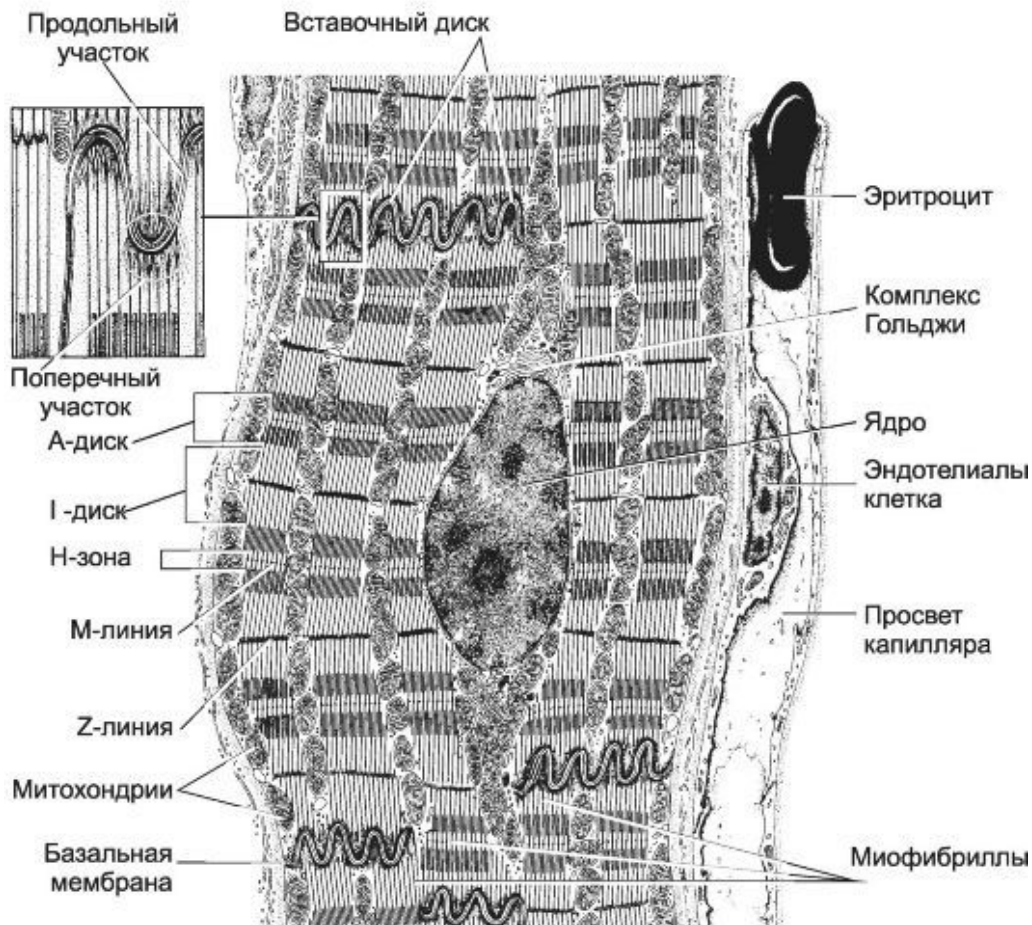
Поперечный срез через рабочие
и проводящие кардиомиоциты.
Гематоксилин-эозин, 200х.



Секреторный кардиомиоцит,
11 000х.

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

Рабочий кардиомиоцит

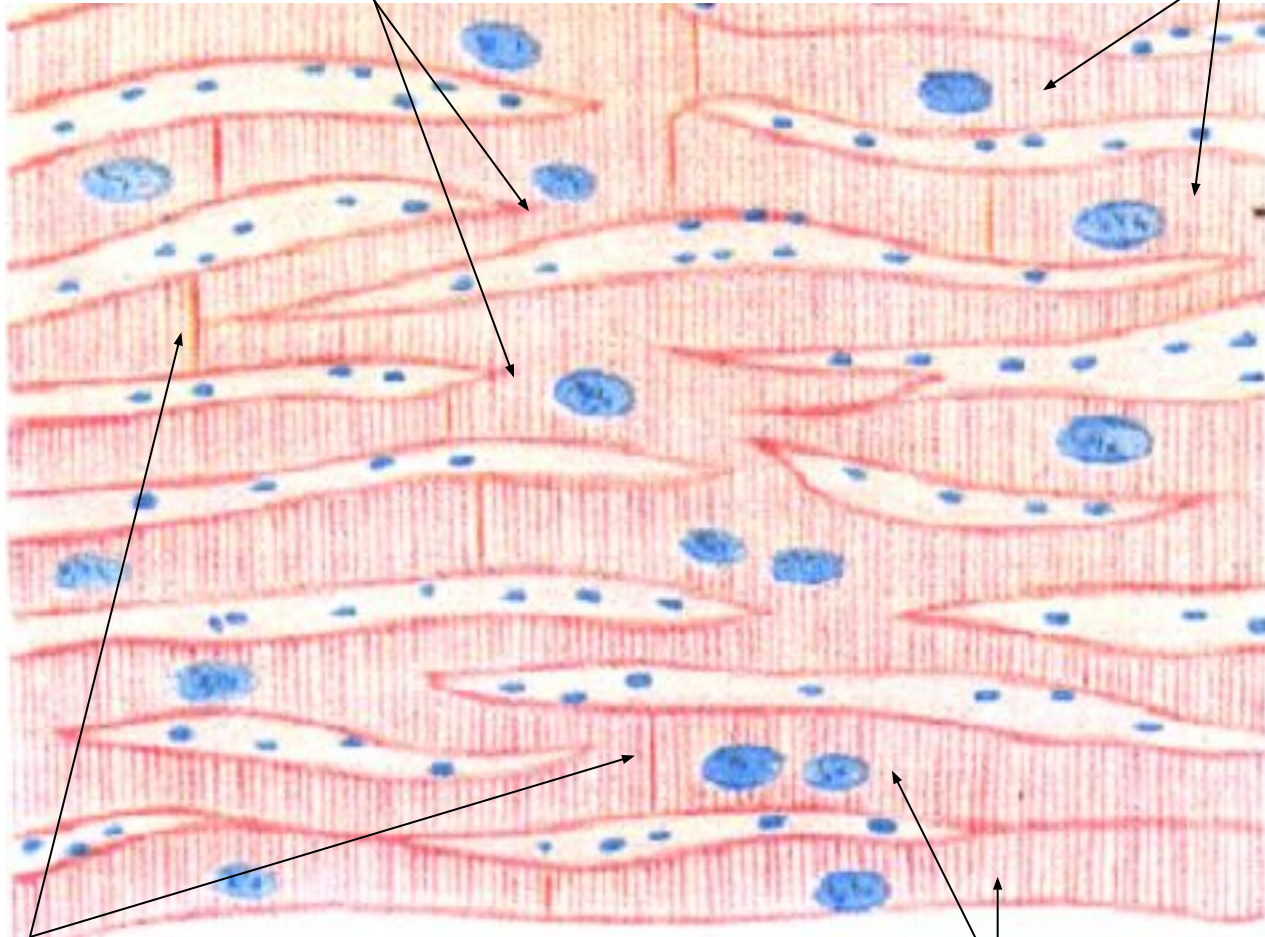


Рабочий кардиомиоцит - удлинённой формы клетка. Ядро расположено центрально, вблизи ядра находятся комплекс Гольджи и гранулы гликогена. Между миофибриллами лежат многочисленные митохондрии. Вставочные диски (на врезке) служат для скрепления кардиомиоцитов и синхронизации их сокращения

Строение сердечного синцития

Анастомозы мышечных волокон

Кардиомиоциты



Вставочные диски

Мышечные волокна

ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА



кардиомиоциты

кардиомиоциты

волокна Пуркинье

рыхлая соединительная ткань

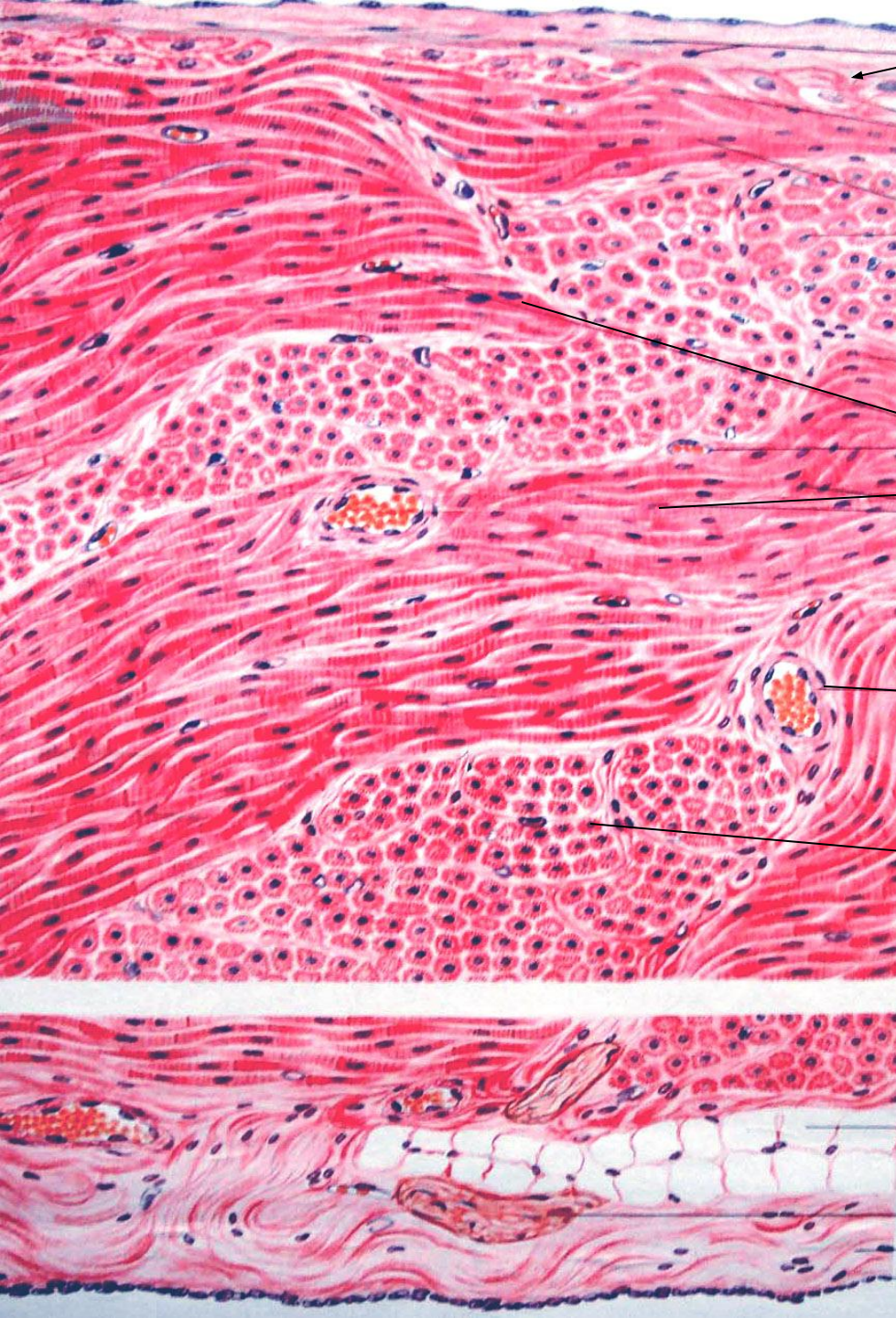


миофибриллы

ядра

волокна Пуркинье

цитоплазма



Атипичные кардиомиоциты
(волокна Пуркинье)

Продольные срезы
мышечных волокон

Эндомизий

Поперечные срезы
мышечных волокон

**Сердечный
синцитий
миокарда**