

МЫШЕЧНЫЕ ТКАНИ

A photograph of an indoor soccer game. In the foreground, a player in a blue jersey and red shorts is in motion, possibly kicking the ball. To his left, a player in a red jersey and black shorts is also in motion. In the background, a player in a yellow jersey and another in an orange jersey are visible near a goal. The field is green with blue borders and white lines. The scene is captured with a slight motion blur, emphasizing the action.

**Два типа ответной реакции организма
на любые внешние раздражители –**

Секреция (выделение) и сокращение.

СОКРАТИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ

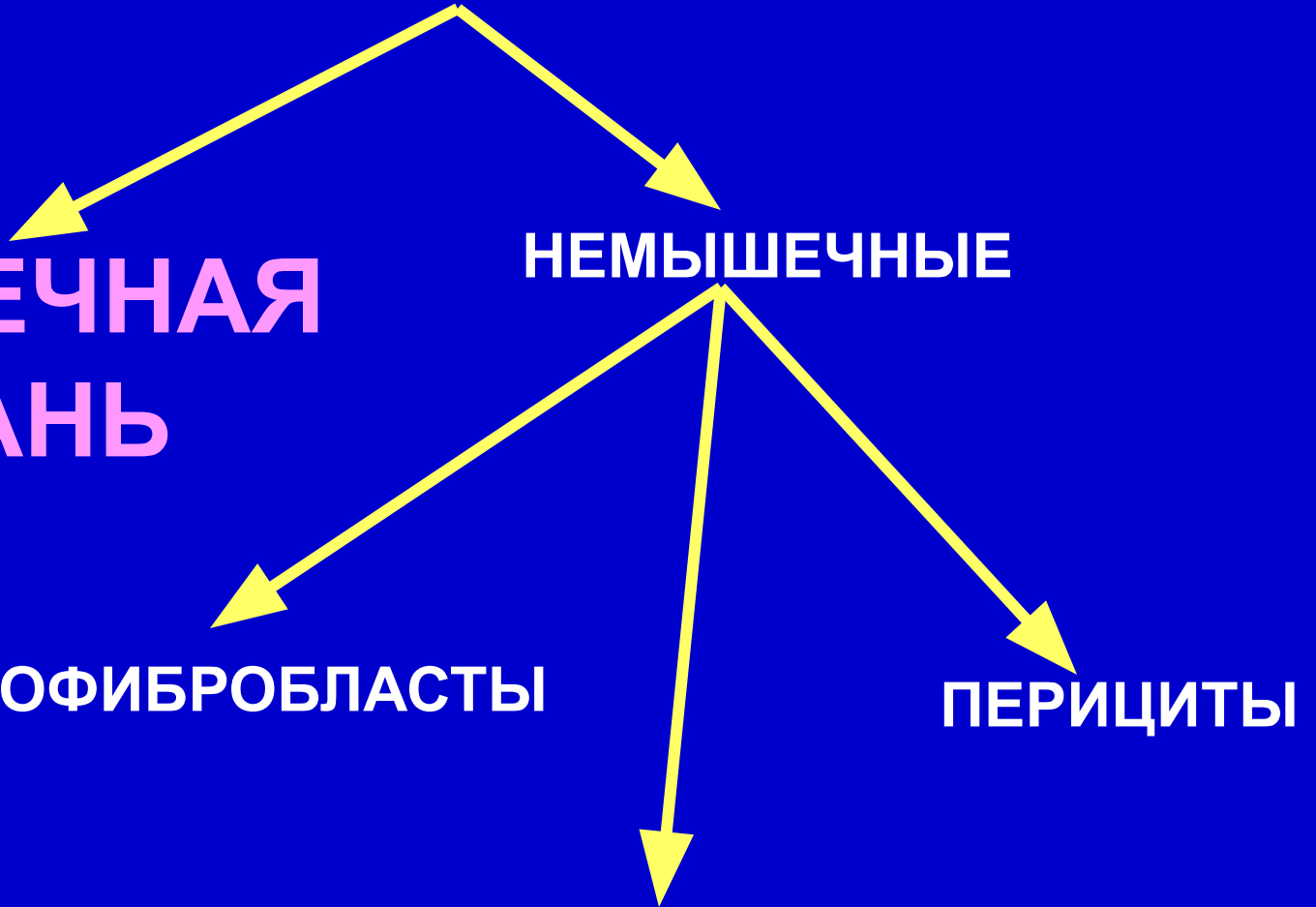
МЫШЕЧНАЯ
ТКАНЬ

НЕМЫШЕЧНЫЕ

МИОФИБРОБЛАСТЫ

ПЕРИЦИТЫ

МИОЭПИТЕЛИАЛЬНЫЕ КЛЕТКИ



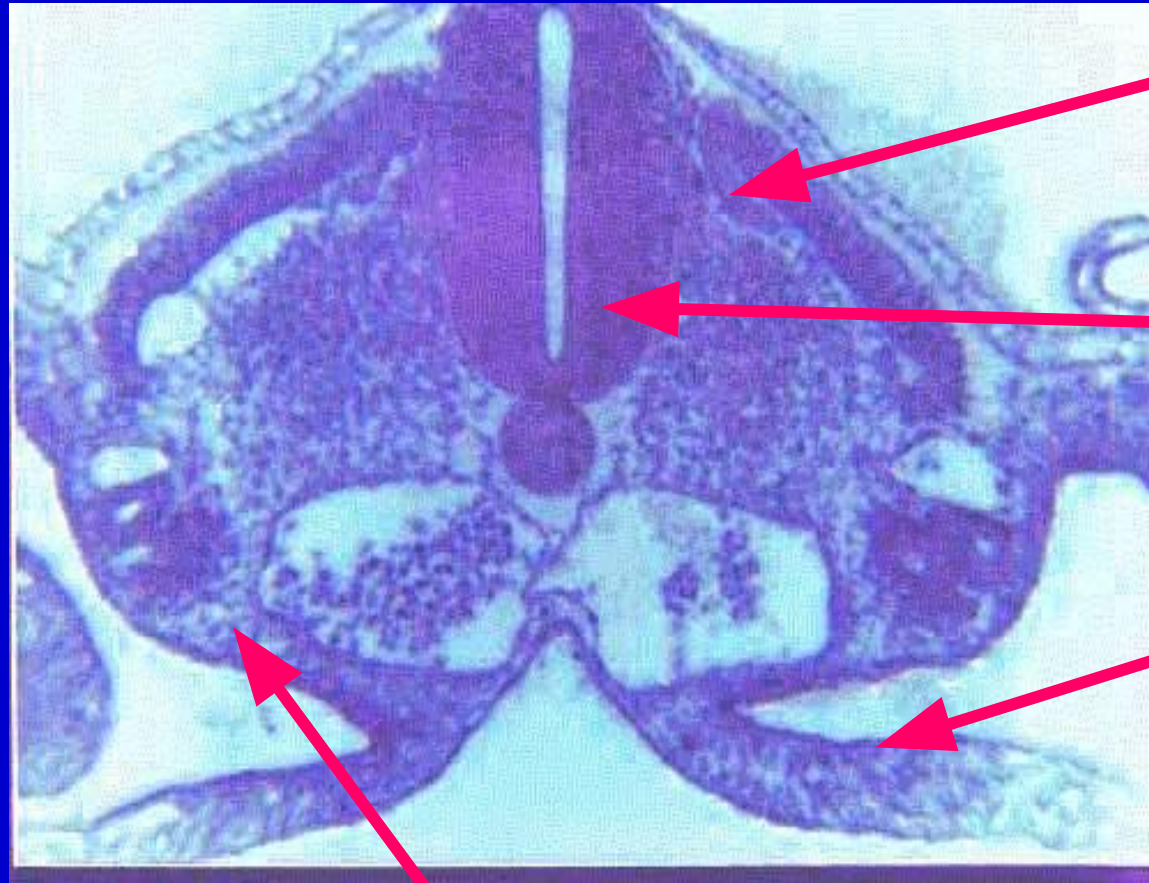
МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ

ПОПЕРЕЧНОПОЛОСАТАЯ
СКЕЛЕТНАЯ

ГЛАДКАЯ
СЕРДЕЧНАЯ
(МИОКАРД)

Виды мышечных тканей		Происхождение
I. Поперечно-полосатые (исчерченные) мышечные ткани	1. Скелетная мышечная ткань	Из миотомов
	2. Сердечная мышечная ткань	Из миоэпикардальной пластинки (находящейся в составе висцерального листка спланхнотома).
II. Гладкие (неисчерченные) мышечные ткани	1. Гладкая мышечная ткань сосудов и внутренних органов	Из мезенхимы
	2. Мышечная ткань нейрального происхождения (мышцы радужки глаза)	Из клеток нейрального зачатка в составе стенки глазного бокала.

РАЗВИТИЕ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ



МИОТОМЫ -
СКЕЛЕТНАЯ

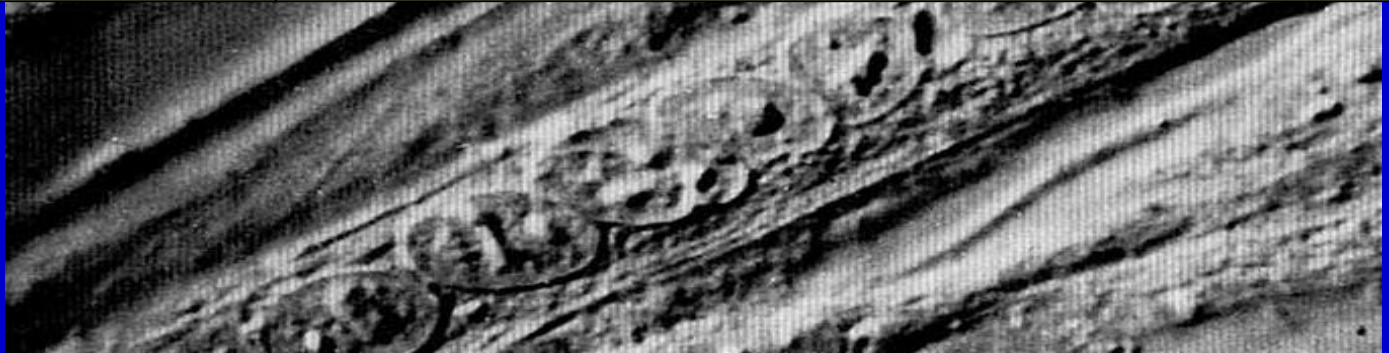
НЕЙРОЭКТОДЕРМА –
МИОНЕЙРАЛЬНАЯ
ТКАНЬ РАДУЖКИ

ВИСЦЕРАЛЬНЫЙ
СПЛАНХНОТОМ –
МИОКАРД

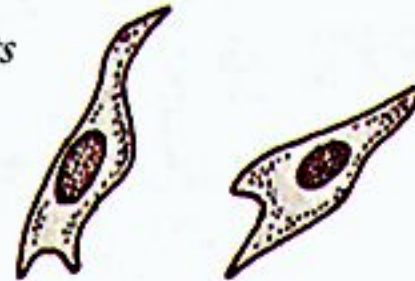
МЕЗЕНХИМА - ГЛАДКАЯ

Поперечнополосатые мышечные ткани

Скелетная мышечная ткань	Сердечная мышечная ткань
В скелетных мышцах волокна - это многоядерные симпласты. Поэтому вместо термина "цитоплазма" используется термин "саркоплазма"	В сердечной мышце волокна образованы кардиомиоцитами - клетками цилиндрической формы, соединяющимися конец в конец. Каждое волокно по своей длине разделено на отдельные клетки. Такие волокна, в отличие от истинных волокон (симпластов), называются функциональными

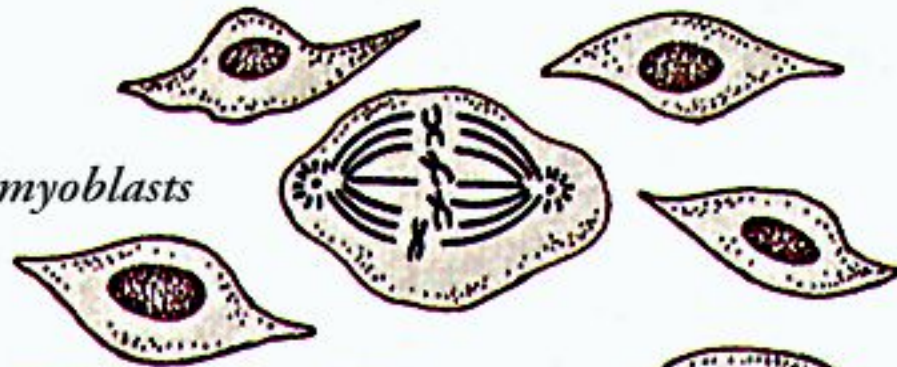


Immigration of myoblasts



Proliferation of myoblasts

Fusion of myoblasts



Primary myotube formation



Primary myotube formation

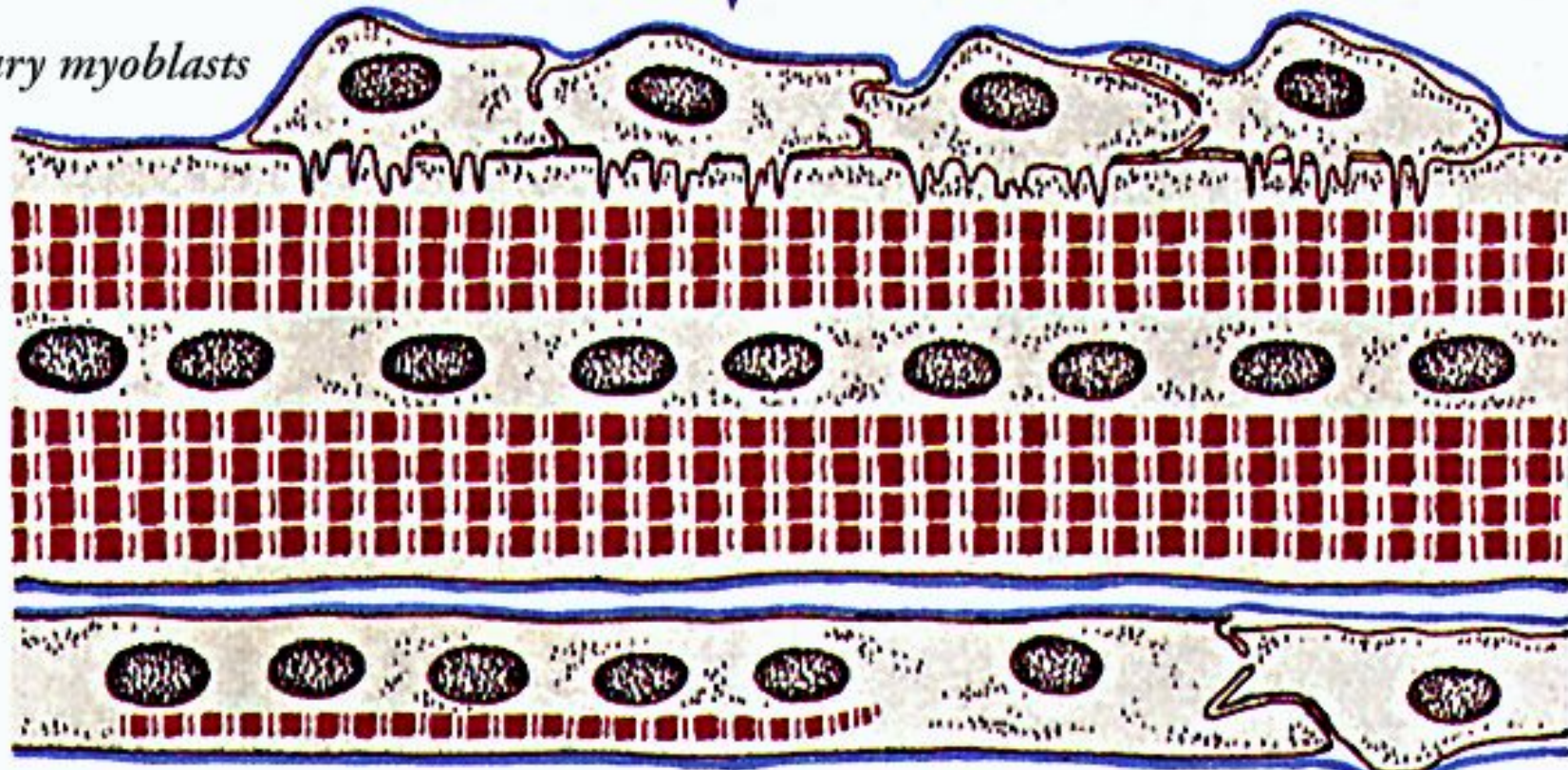


Secondary myotube formation

Secondary myoblasts

Primary muscle fibre

Secondary myotubes



Secondary myotube formation

Secondary myoblasts

*Primary
muscle
fibre*

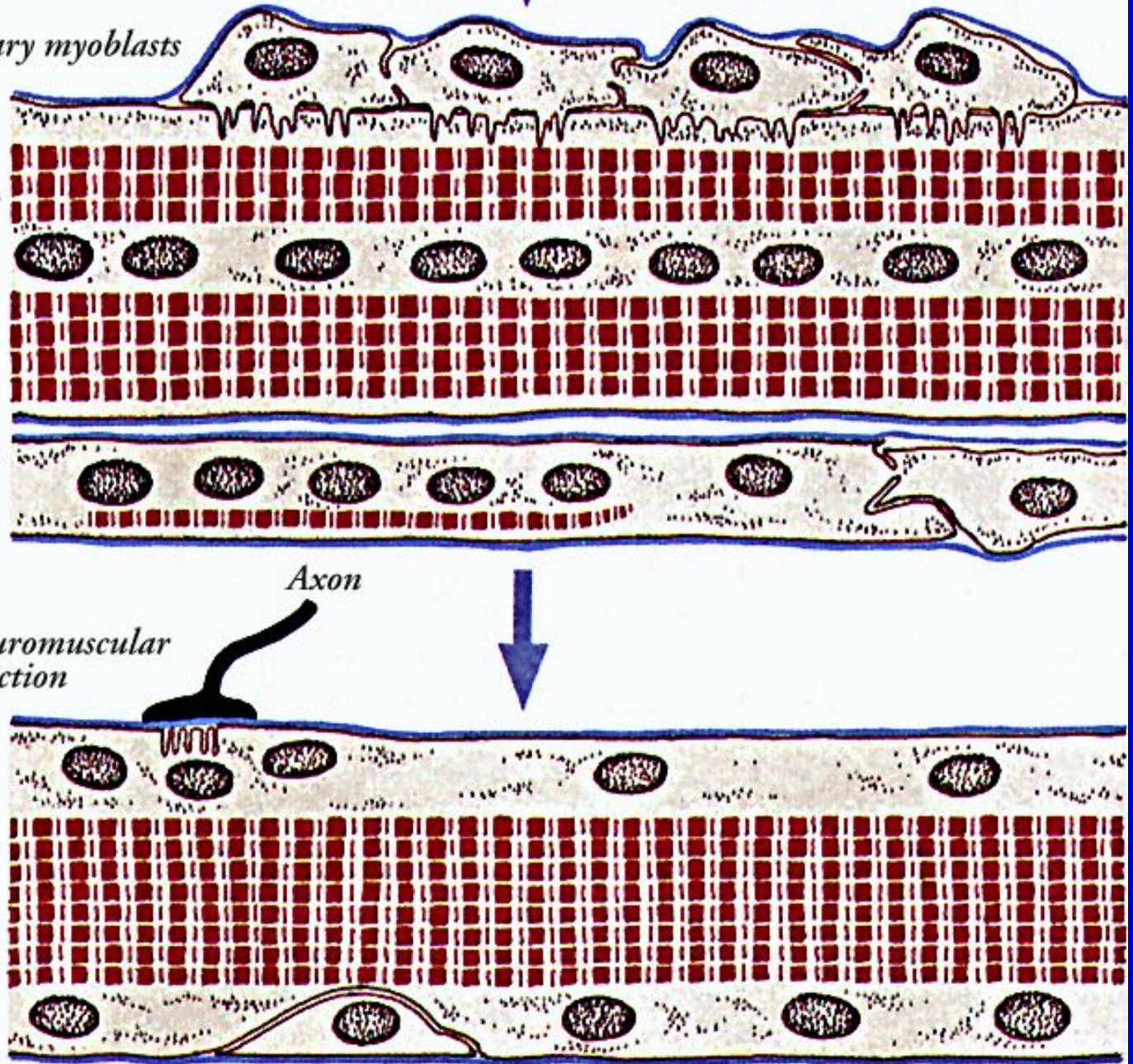
*Secondary
myotubes*

Axon

*Neuromuscular
junction*

*Maturing
muscle
fibre*

Satellite cell



Природа поперечной исчерченности

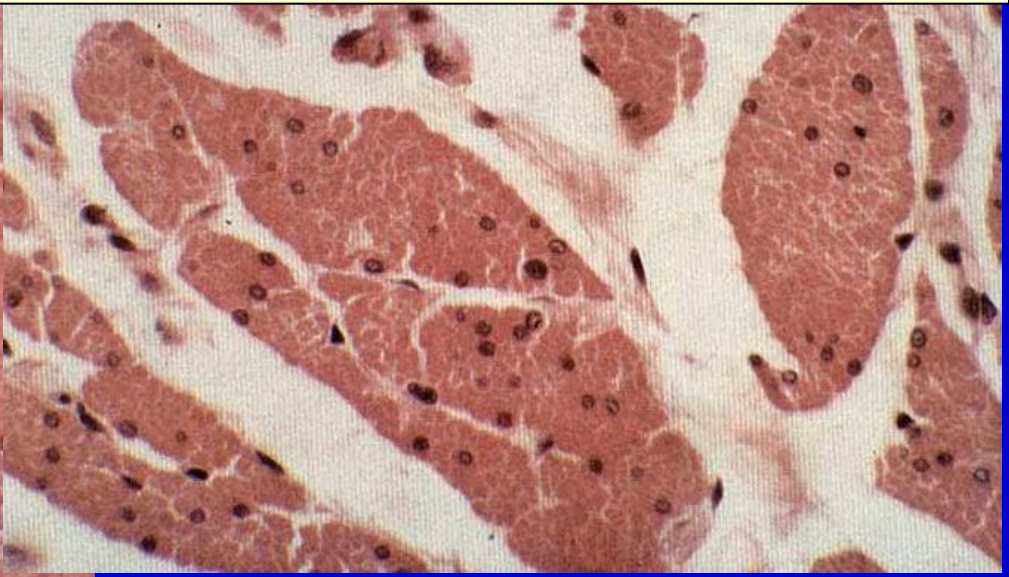
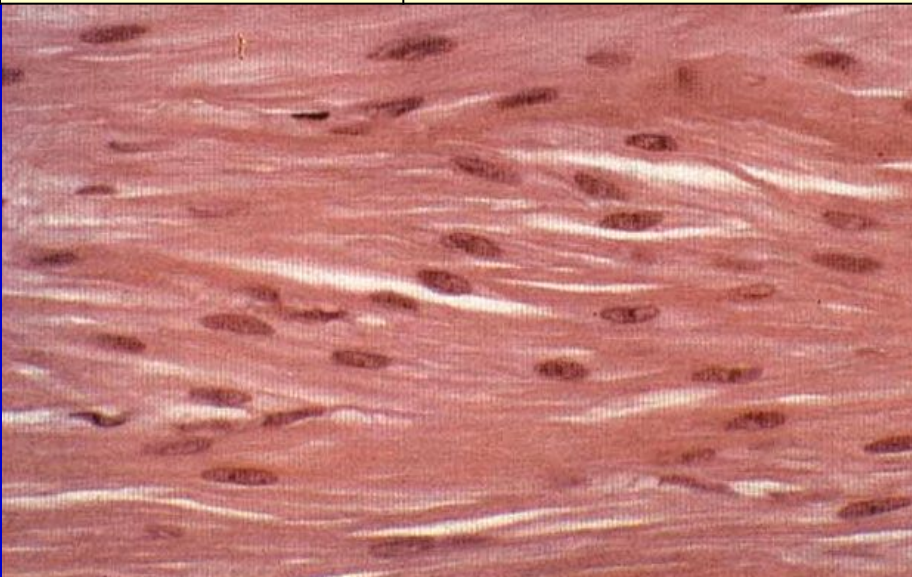
Поперечная исчерченность обусловлена наличием миофибрил. Это специальные сократительные органеллы с регулярно повторяющейся организацией и располагающиеся вдоль длинной оси волокна.

Миофибриллы состоят из белковых нитей двух типов - тонких (актиновых) миофиламентов и толстых (миозиновых) миофиламентов.

Специфическое расположение этих нитей в миофибриллах и создаёт эффект поперечной исчерченности отдельных миофибрилл и целых мышечных волокон.

Гладкие мышечные ткани

Миоциты	Гладкие мышечные ткани образованы клетками веретеновидной и (реже) звёздчатой формы - миоцитами.
Сократительные структуры	Миоциты тоже содержат тонкие и толстые миофиламенты. Но их объединение в миофибриллы происходит лишь во время сокращения.
Отсутствие исчерченности	Эти временные миофибриллы лишены регулярной организации. Поэтому ни у них, ни у клеток в целом нет поперечной исчерченности.



Общие свойства мышечных тканей

**Прин-
цип
сок-я**

Во всех этих тканях в процессе сокращения происходит скольжение толстых и тонких миофиламентов друг относительно друга -путём попеременного замыкания и размыкания между ними мостиков.

СКЕЛЕТНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ



СКЕЛЕТНОЕ МЫШЕЧНОЕ ВОЛОКНО

МИОСИМПЛАСТ

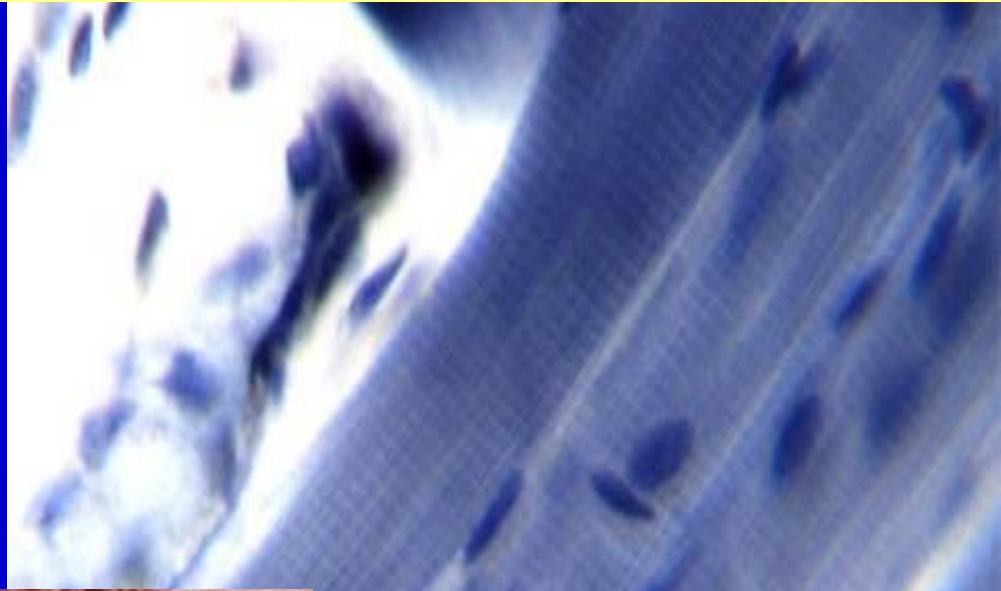
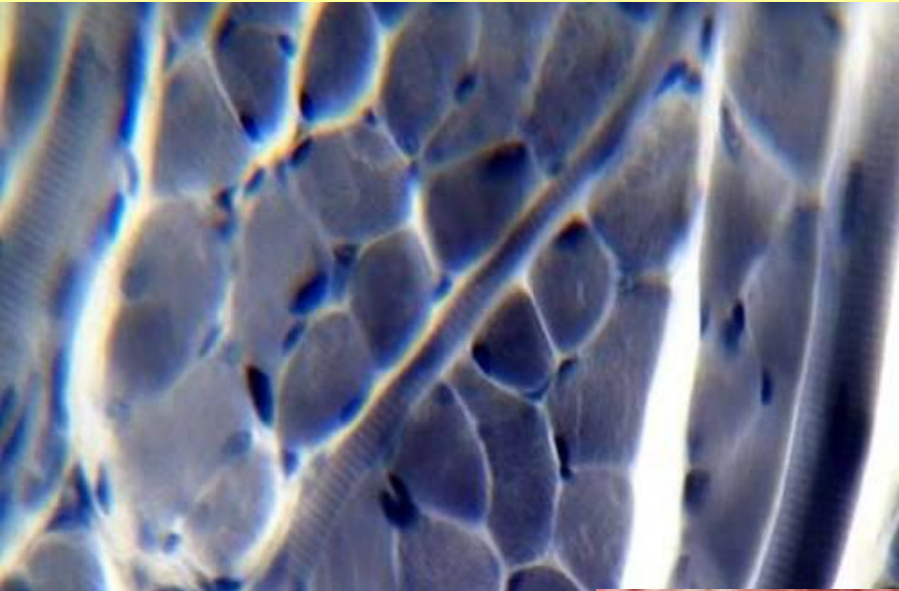
МНОГОЯДЕРНАЯ СТРУКТУРА,
ОБРАЗУЮЩАЯ СЛИЯНИЕМ
МИОБЛАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В МИОГЕНЕЗЕ

МИОСАТЕЛЛИТЫ

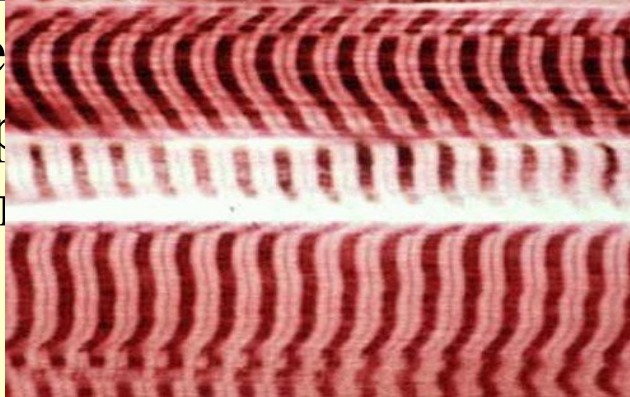
КЛЕТКИ-ПРЕДШЕСТВЕННИКИ,
СПОСОБНЫЕ К ДЕЛЕНИЮ ПРИ
РЕГЕНЕРАЦИИ МЫШЦ

ОКРУЖЕНЫ НАРУЖНОЙ
(БАЗАЛЬНОЙ) ПЛАСТИНКОЙ

СРЕЗ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ:
ПОПЕРЕЧНЫЙ И ПРОДОЛЬНЫЙ



2 признака, характерные для скелетной мышечной ткани -
Множественные ядра, расположенные на периферии, и чередующиеся темные и светлые полосы (миофибриллы).



Множественные ядра, расположенные на периферии, и чередующиеся темные и светлые полосы (миофибриллы).

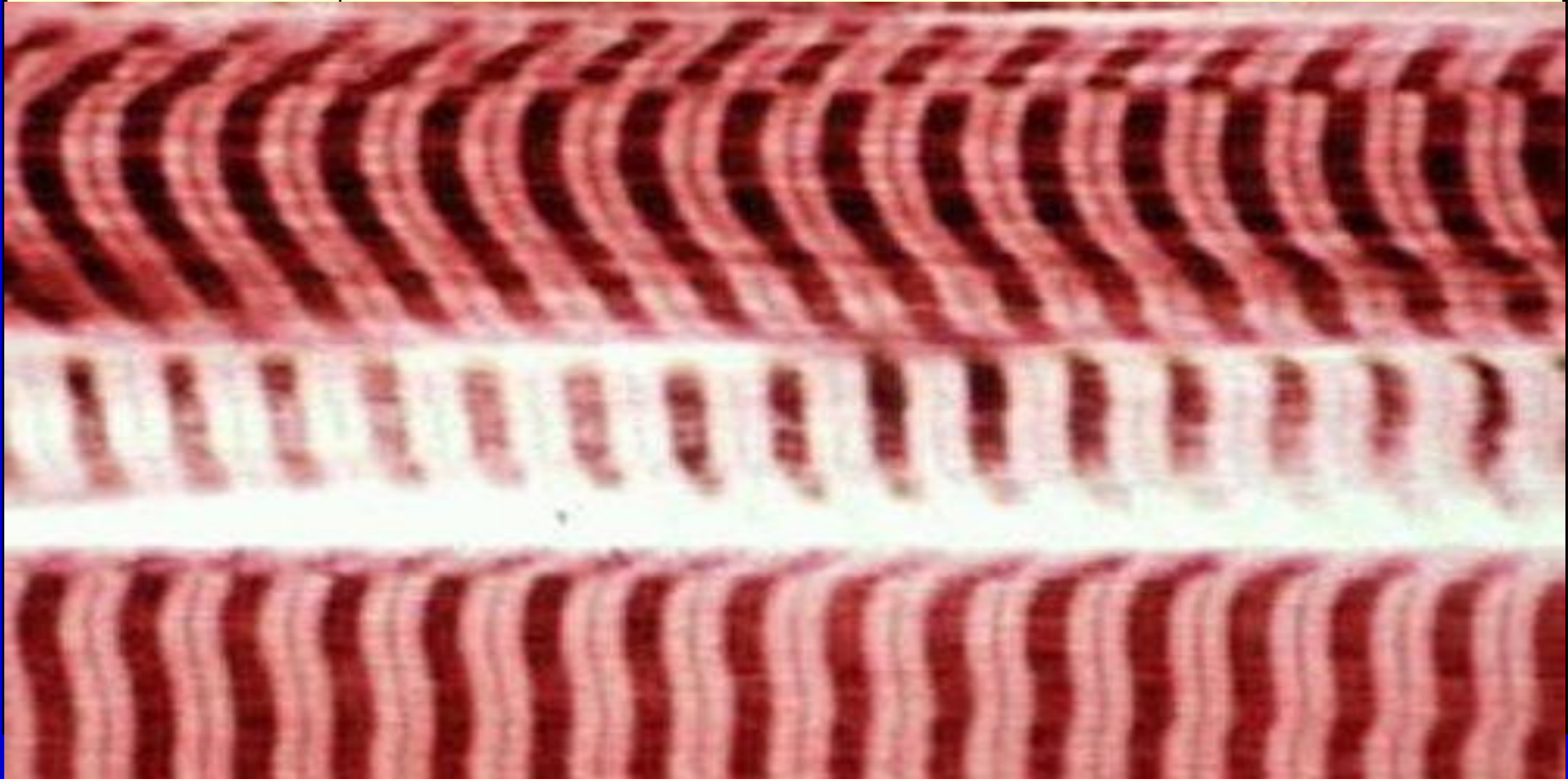
Причина - в очень высоком содержании миофибрилл: они занимают около 70% объёма волокон и оттесняют ядра на периферию. Сами же волокна являются поперечно исчерченными: в них чередуются тёмные и светлые полосы.

Ультрамикроскопическая структура мышечных волокон

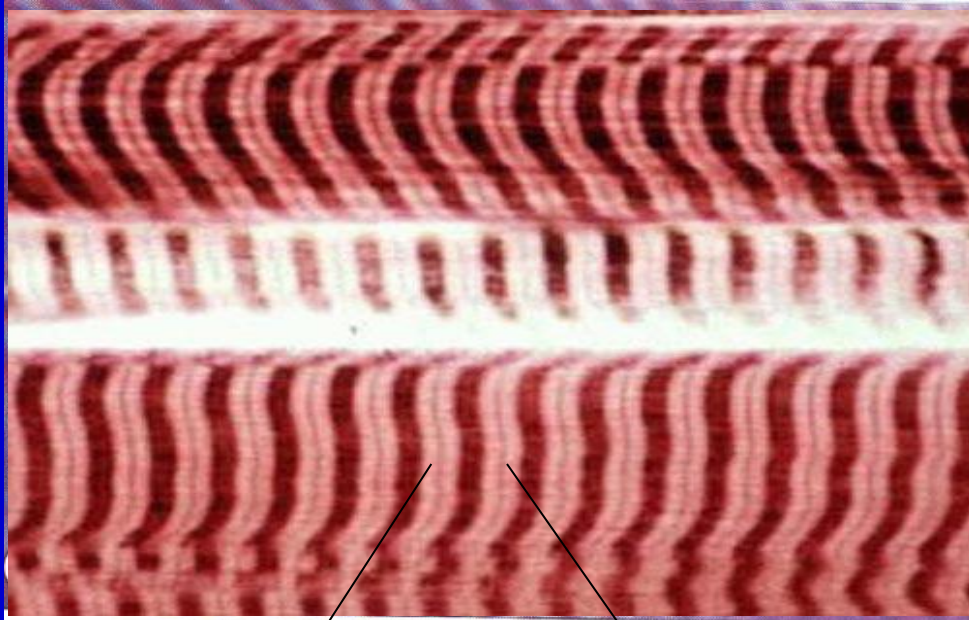
Связь между
исчерчен-
ностью волокон
и миофибрилл

В миофибриллах (как и в целых волокнах) также чередуются тёмные и светлые полосы. Причём, в соседних миофибриллах соответствующие полосы оказываются на одном уровне.

Поэтому поперечная исчерченность сохраняется и при объединении миофибрилл в волокна.



СТРУКТУРА МИОФИБРИЛЛЫ



СВЕТОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

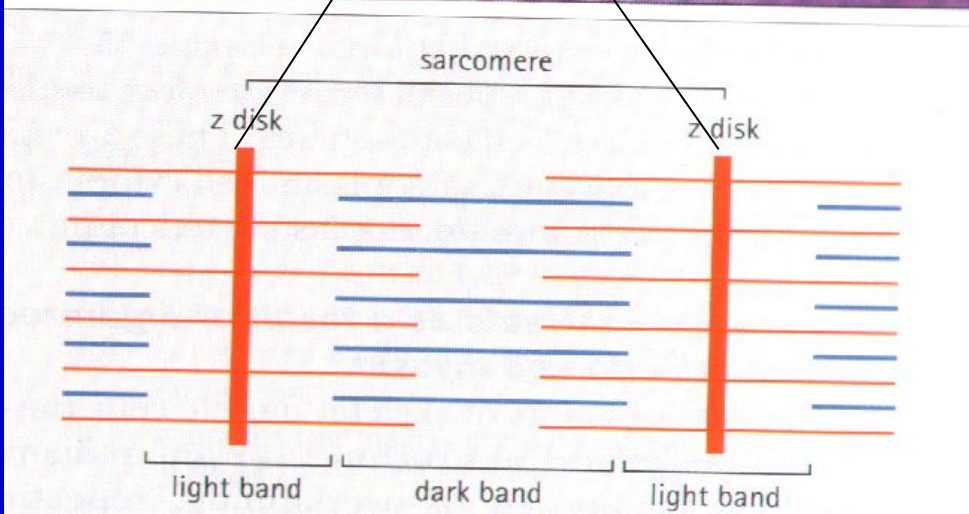
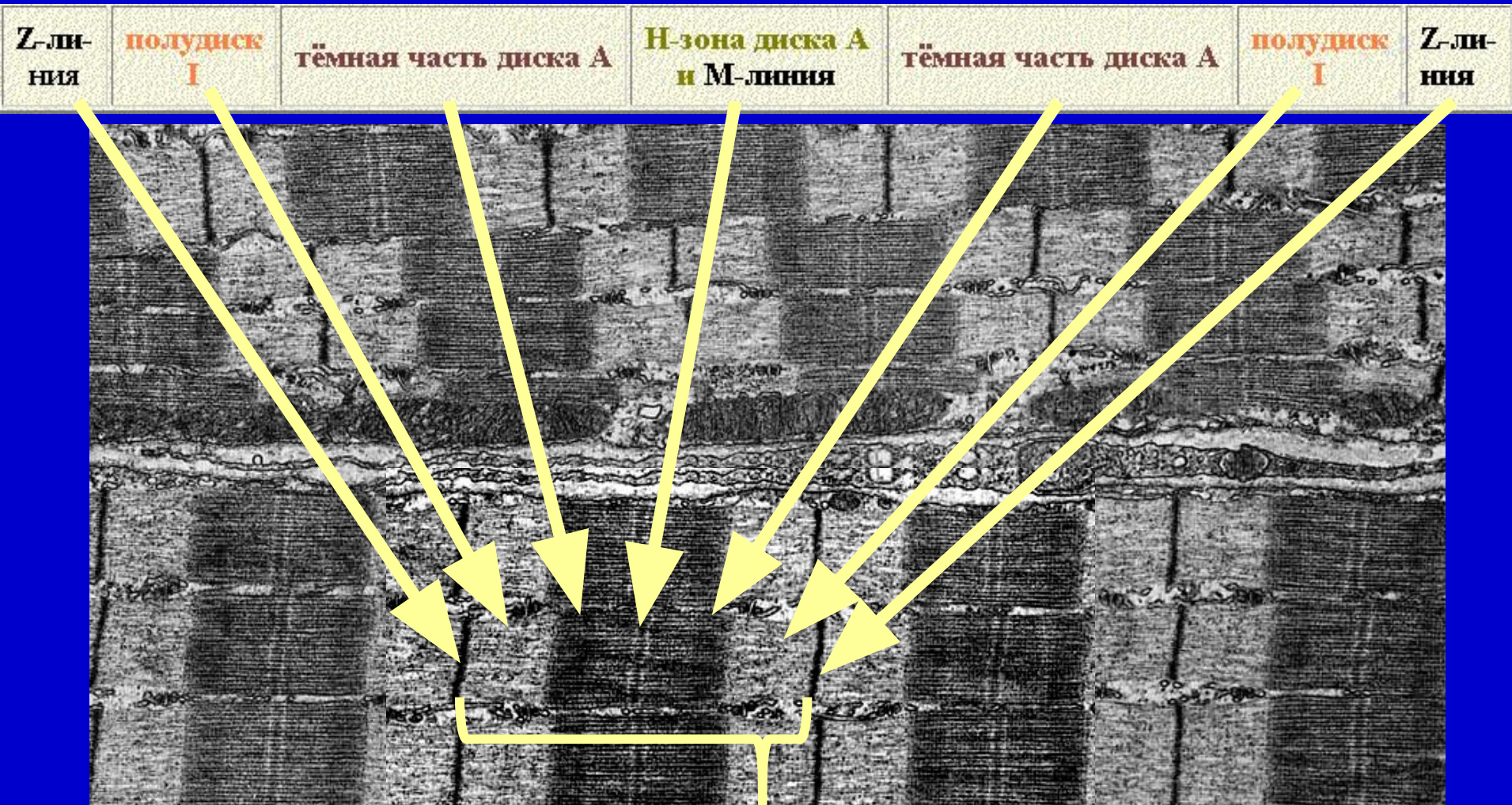


СХЕМА ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ

Ультрамикроскопическая структура мышечных волокон

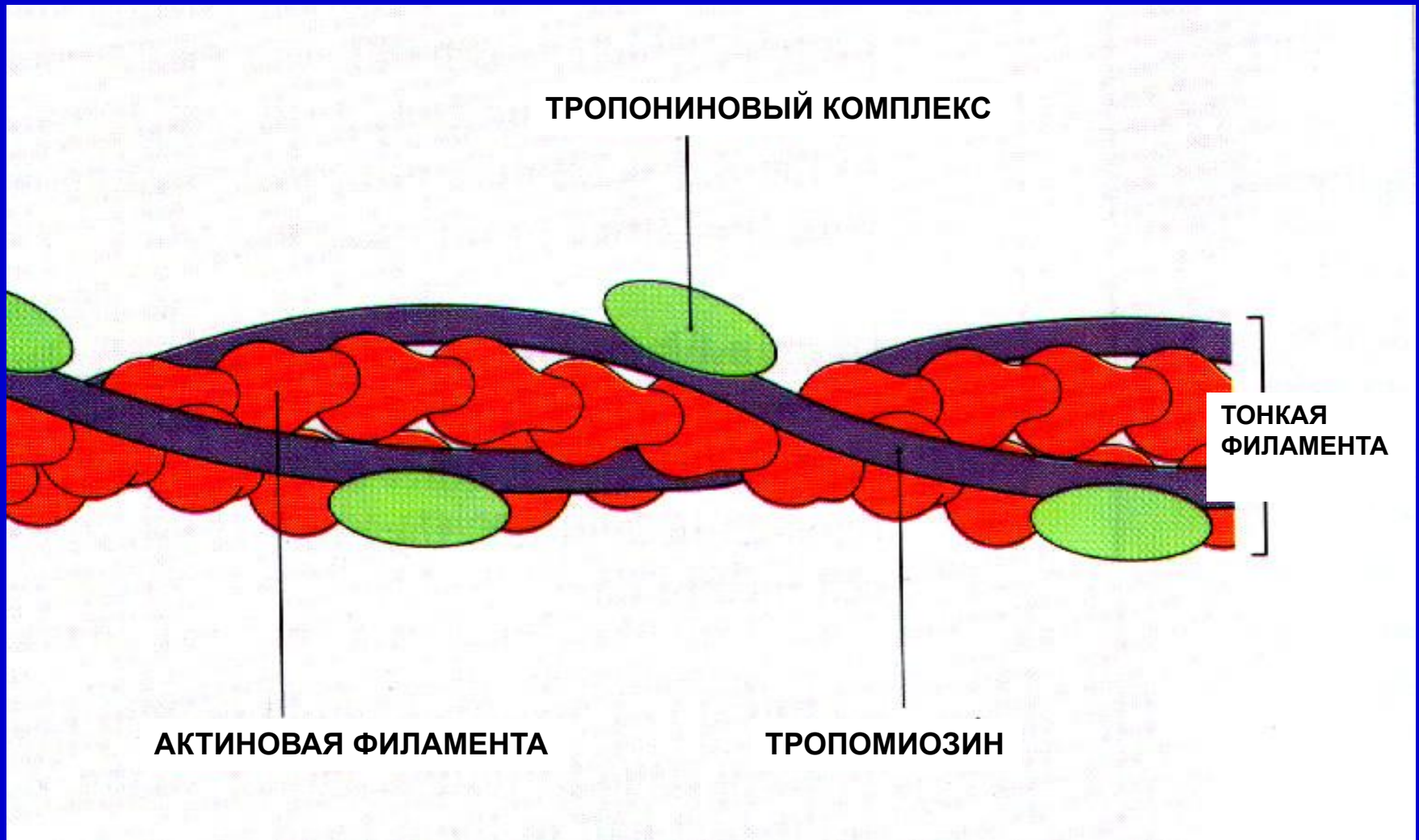


Участок миофибриллы между двумя соседними телофрагмами называется саркомером

Телофрагма – (Z-линия) - сетчатая пластинка из актинина, расположена поперёк миофибрилл. Тонкие миофиламенты - глобулярный белок актин (глобулы которого образуют двойную спираль и содержат ещё два белка - тропонин и тропомиозин - влияющие на взаимодействие актина с толстыми миофиламентами). Тонкие филаменты прикрепляются к телофрагме с обеих сторон. В каждом саркомере - две группы актиновых филаментов, идущих навстречу друг другу. В покое между их концами - промежуток, соответствующий H-зоне.



СТРУКТУРА ТОНКИХ ФИЛАМЕНТ

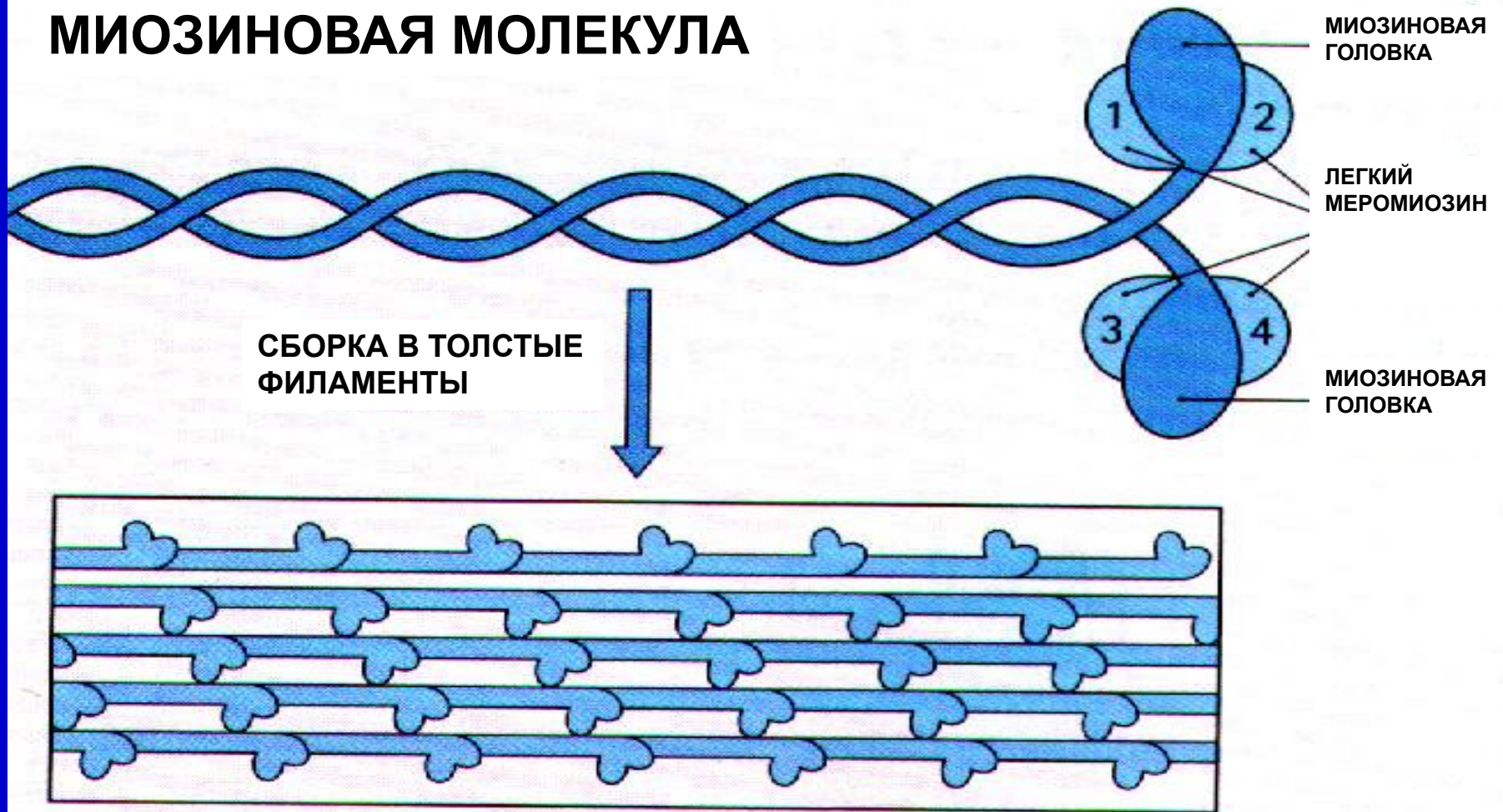


Толстые (миозиновые) миофиламенты образованы белком миозином, (молекула состоит из нескольких пептидных цепей и включает длинную часть (стержень) и двойную "головку". Стержни плотно упакованы, а головки выступают наружу и взаимодействуют с тонкими филаментами. Толстые филаменты располагаются параллельно тонким, образуя тёмный (А-) диск. Их опора - мезофрагма, образованная М-белком (М-линия).



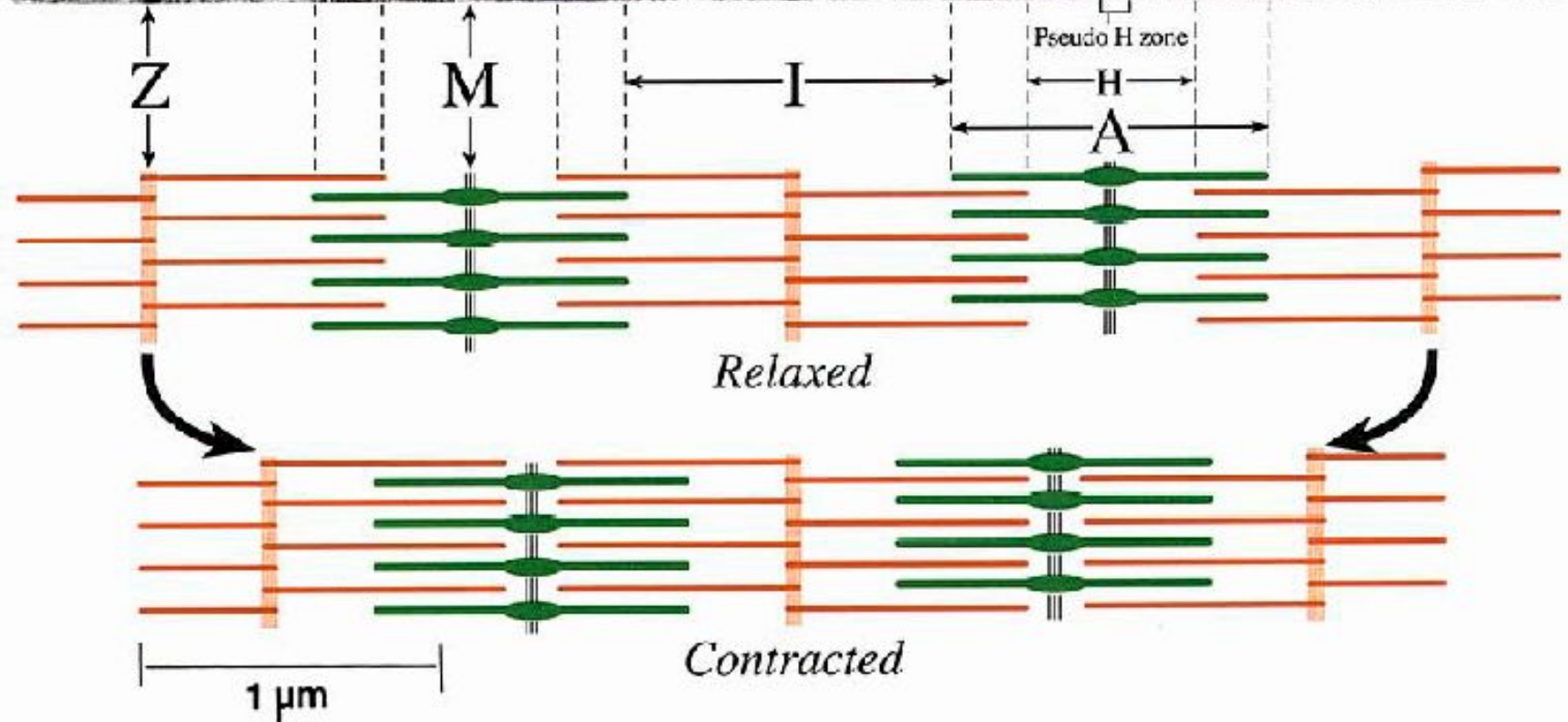
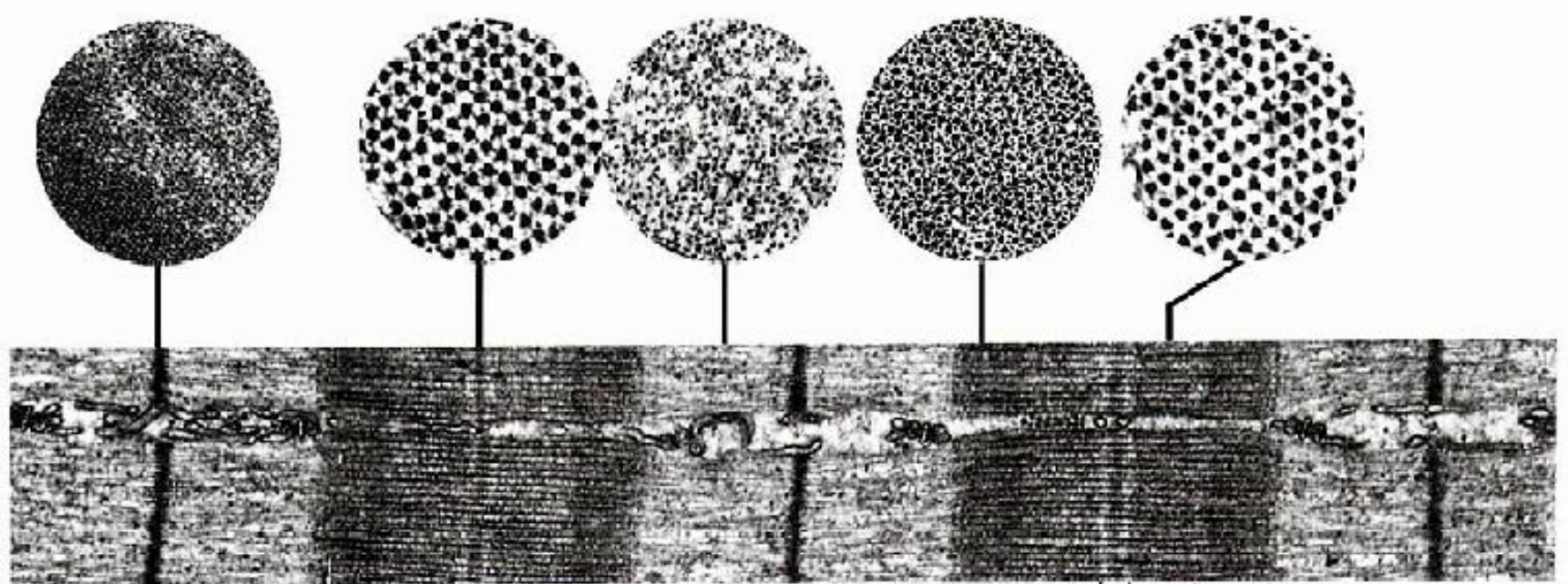
СТРУКТУРА ТОЛСТЫХ ФИЛАМЕНТ

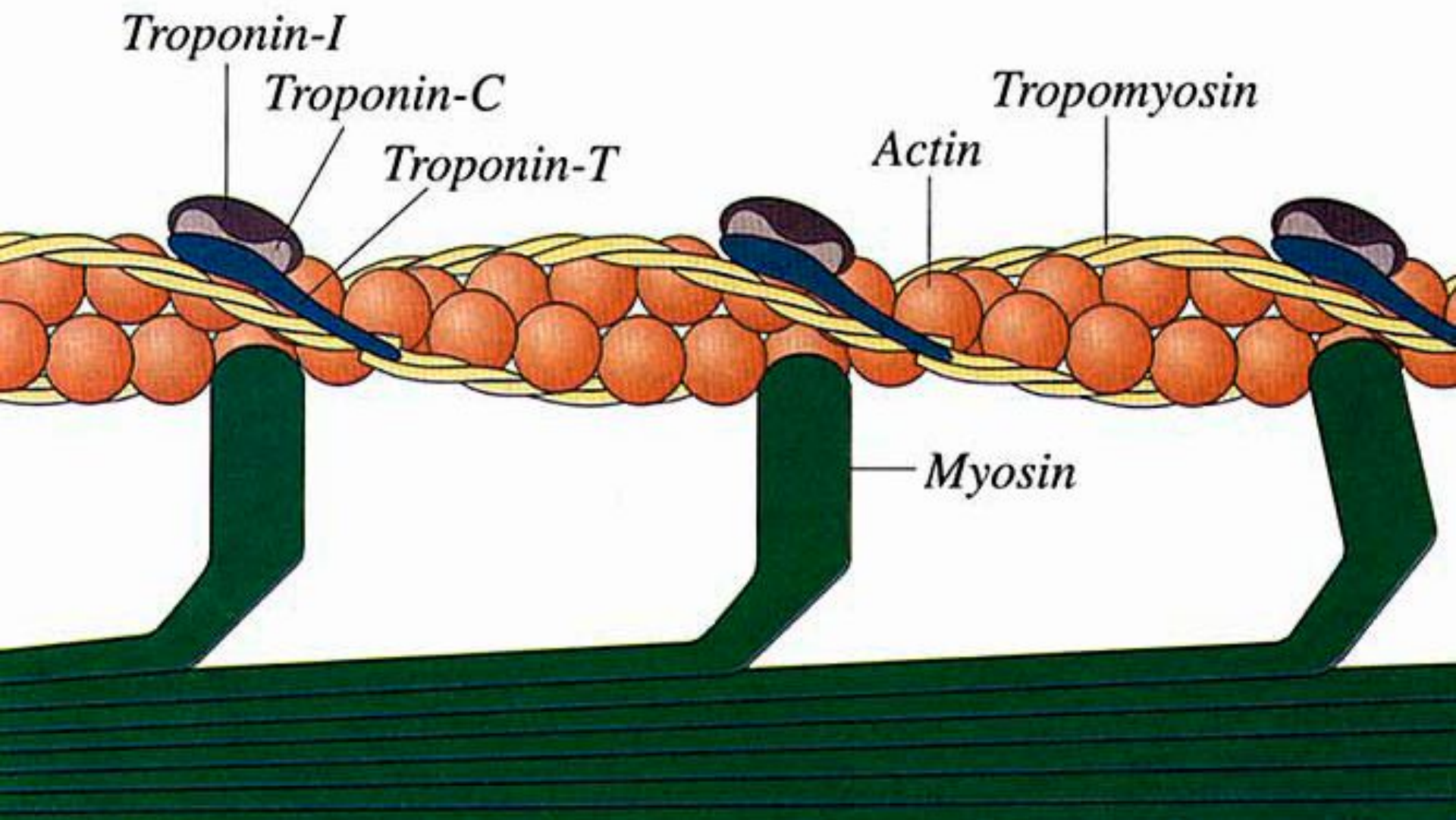
МИОЗИНОВАЯ МОЛЕКУЛА



Расположение и взаимодействие миофиламентов

Гексагональная упаковка	В области перекрывания толстые и тонкие миофиламенты расположены гексагональным образом так, что вокруг каждого толстого миофиламента находятся <u>6 тонких</u>, а вокруг каждого тонкого - <u>3 толстые</u>.
Состояние покоя	В отсутствие ионов Ca^{2+} тонкие и толстые нити не взаимодействуют, т.к. в тонких миофиламентах комплекс тропонина и тропомиозина блокирует активные центры двойной актиновой нити.
Сокращение	В присутствии Ca^{2+} и АТФ меняется конфигурация тропонина и тропомиозина, центры актина освобождаются, замыкаются мостики между тонкими и толстыми филаментами и затем быстро размыкаются с небольшим перемещением миофиламентов друг относительно друга. Чередование замыкания и размыкания мостиков приводит к тому, что тонкие филаменты вдвигаются между толстыми ещё глубже, отчего I-диски и H-зона становятся тоньше, а тёмная часть А-диска - шире.



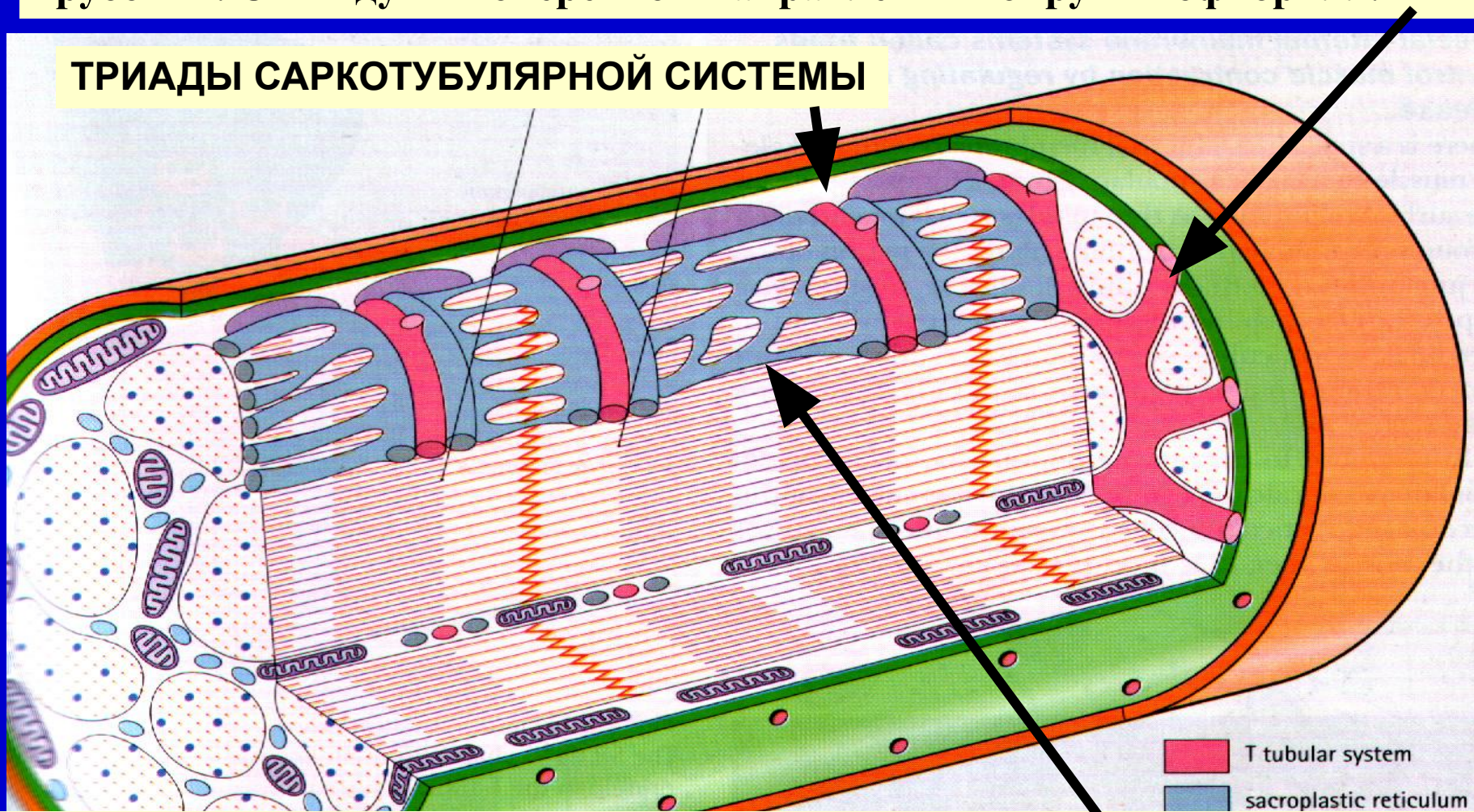


Schematic illustration of the relationship between actin, myosin and the regulatory proteins tropomyosin, troponin-I, troponin-C and troponin-T. (Artwork by Lesley Skeates, based on an illustration by Richard L Moss, Department of Physiology, University of Wisconsin-Madison.)

Мембранные системы мышечных волокон

Плазмолемма образует глубокие каналообразные впячивания - Т-трубочки. Они идут в поперечном направлении вокруг миофибрилл.

ТРИАДЫ САРКОТУБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ



Агранулярный эндоплазматический (саркоплазматический) ретикулум образует петли - L-каналцы. Они окружают каждую миофибриллу и ориентированы вдоль них.

ТРИАДЫ САРКОТУБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ

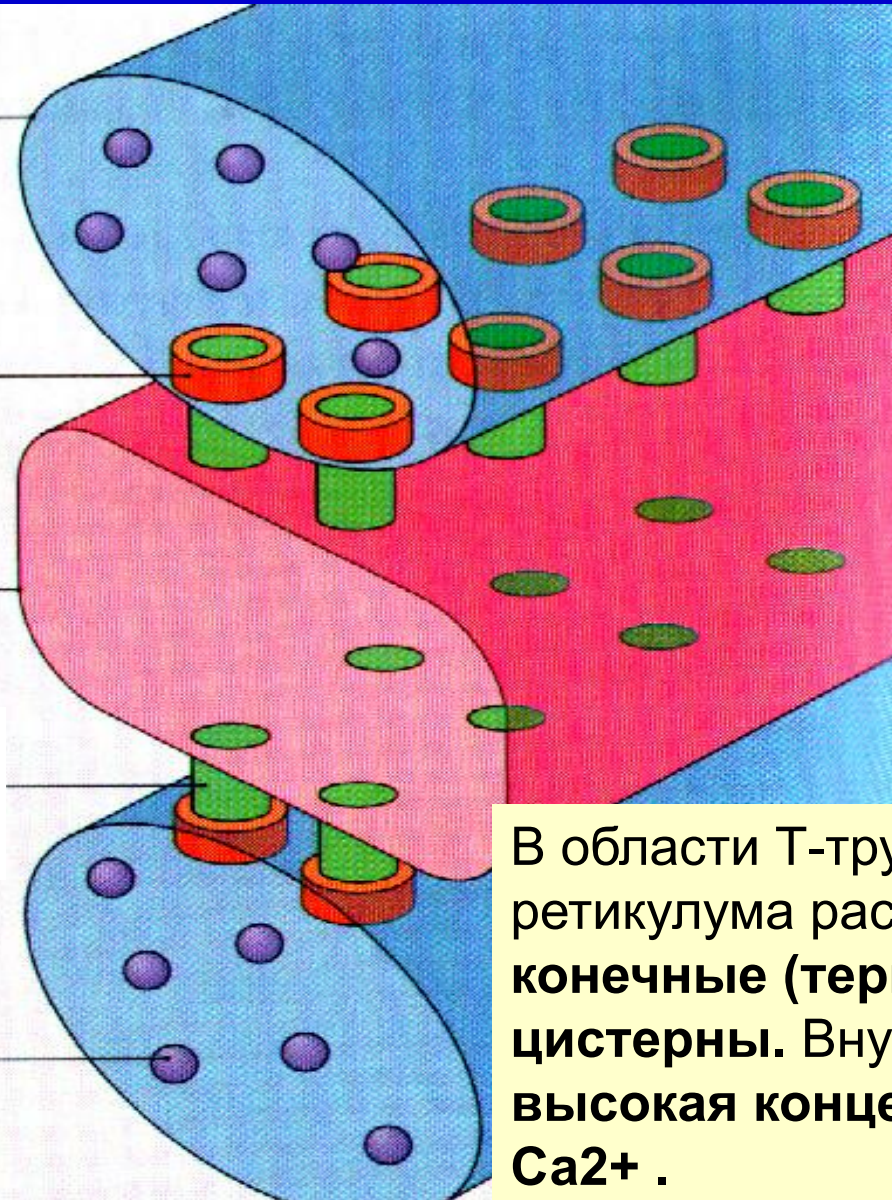
САРКОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ
СЕТЬ

БЕЛКИ КАЛЬЦИЕВЫХ
КАНАЛОВ
САРКОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ
СЕТИ

Т-ТРУБКА

ПОТЕНЦИАЛ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ
КАЛЬЦИЕВЫЙ КАНАЛ

КАЛЬСЕКВЕСТРИН



В области Т-трубочек участки ретикулума расширяются в **конечные (терминальные) цистерны**. Внутри цистерн - высокая концентрация ионов Ca^{2+} .

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА СОКРАЩЕНИЯ ИСЧЕРЧЕННЫХ МЫШЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ – СКЕЛЕТНЫХ ВОЛОКОН И КАРДИОМИОЦИТОВ

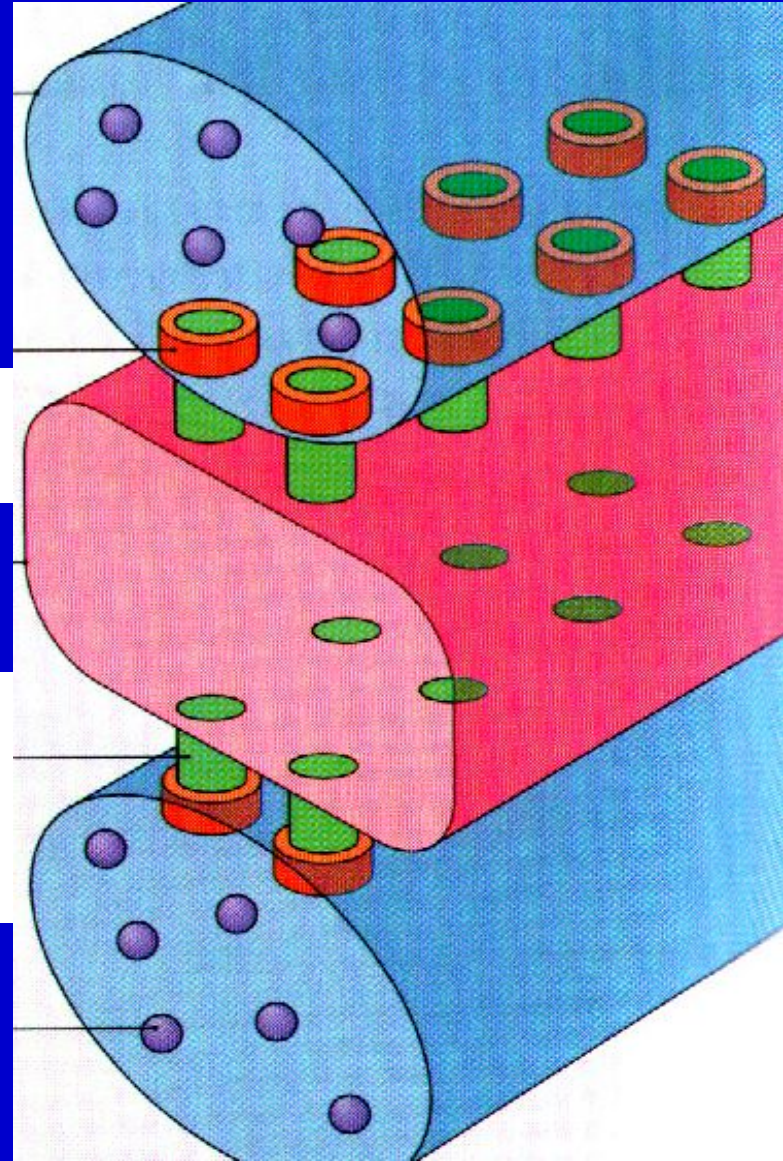
ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ПЛАЗМОЛЕММЫ
И САРКОТУБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ



ВЫСВОБОЖДЕНИЕ Ca^{++} В САРКО(ЦИТО)-
ПЛАЗМУ ЧЕРЕЗ КАЛЬЦИЕВЫЕ КАНАЛЫ



СОЕДИНЕНИЕ Ca^{++} С ТРОПОНИНОВЫМ
КОМПЛЕКСОМ (ТРОПОНИНОМ С) И ИЗМЕ-
НЕНИЕ ЕГО КОНФОРМАЦИИ С ОСВОБОЖ-
ДЕНИЕМ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ АКТИНА



Участие АТФ в сокращении

Кроме Ca^{2+} , для взаимодействия актиновых и миозиновых миофиламент, как отмечалось, необходим АТФ (аденозинтрифосфат) – низкомолекулярное вещество, служащее источником энергии. При этом взаимодействии АТФ разрушается (до АДФ и фосфата), благодаря АТФазной активности миозина. В свою очередь, АТФ образуется в реакциях распада гликогена и других энергетических субстратов.

Механизм участия АТФ в сокращении

Условие: закончился очередной цикл взаимодействия тонких и толстых МФ, но между ними ещё сохраняются мостики

**Связывание
АТФ и
разрыв мостиков**

Молекулы АТФ связываются с головками миозина (в соотношении 1:1), и только это приводит к отсоединению головок от тонких МФ (т.е. разрыву мостиков). Поэтому после смерти развивается трупное окоченение: в отсутствие АТФ мостики между МФ (образовавшиеся в результате гидролиза последних запасов АТФ) не могут разорваться.

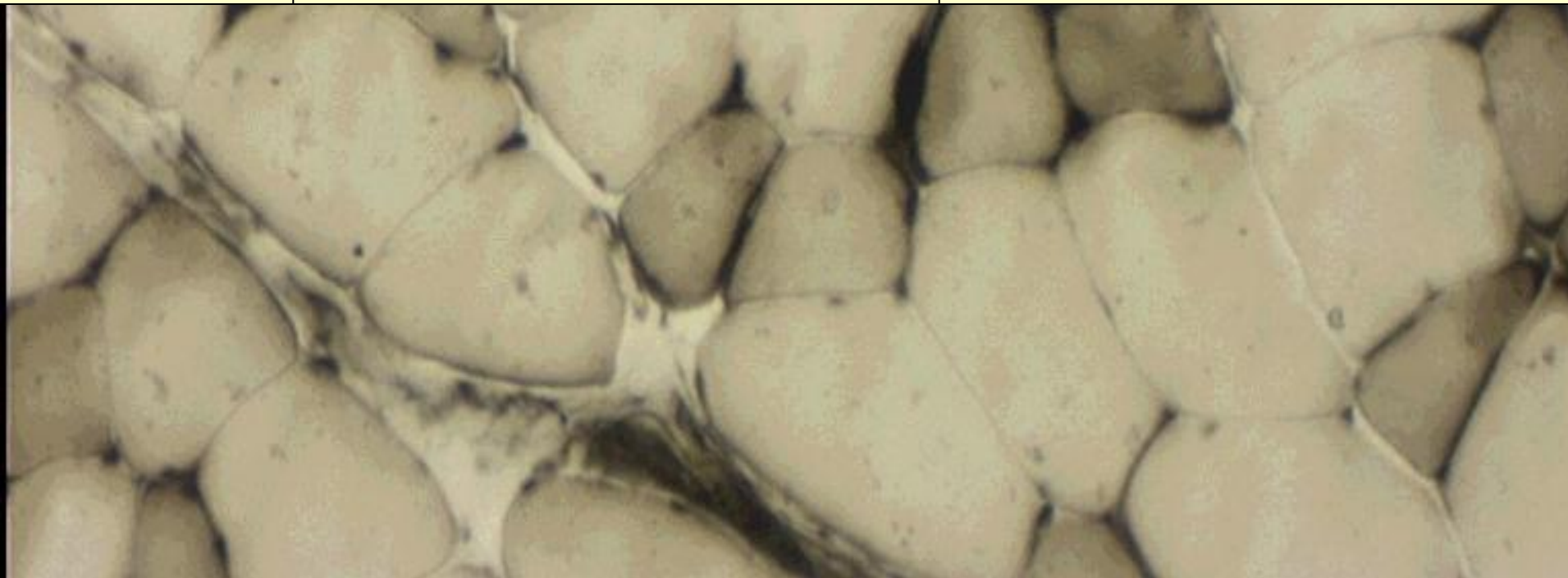
Гидролиз АТФ и изменение конформации миозина	Головки миозина гидролизуют АТФ до АДФ и фосфата; при этом каждая головка принимает напряжённую конформацию (за счёт энергии гидролиза АТФ) и сохраняет связь с АДФ.
Замыкание мостиков	Изменение конформации головок делает возможным их взаимодействие с тонкими МФ - замыкание мостиков.
Перемещение МФ	Головки миозина, стремясь вернуться в ненапряжённое состояние, развивают тянущее усилие, которое приводит к перемещению толстых и тонких МФ друг относительно друга. Одновременно диссоциирует АДФ, что делает возможным в следующем цикле связывание очередных молекул АТФ и разрыв мостиков.
Таким образом, энергия гидролиза АТФ вначале переходит в энергию напряжённой конформации миозина, которая затем используется для совершения механической работы (относительного перемещения МФ).	

Красные и белые мышечные волокна

	Красные (медленного типа)	Белые (быстрого типа)
Функц. способ- ности	Способны к не очень интенсивной, но длительной работе.	Способны к интенсивной, но кратковременной работе.
Источник энергии	Происходит аэробный (окислительный) распад энергетических субстратов.	Преобладает анаэроб- ный (не требующий O₂) распад гликогена или глюкозы до молочной кислоты.

Функциональные способности волокон связаны со способом извлечения энергии из питательных веществ - аэробным или анаэробным. Эти общие характеристики волокон связаны с содержанием и активностью в них конкретных веществ и ферментов.

	Красные (медленного типа)	Белые (быстрого типа)
--	--------------------------------------	----------------------------------



АТФаза	АТФазная активность - относительно небольшая.	АТФазная активность - выше, чем в красных мышечных волокнах.
	В мышечных волокнах распад АТФ происходит, в первую очередь, при взаимодействии актиновых и миозиновых миофиламентов, поэтому скорость распада АТФ показывает, с какой скоростью может совершаться работа.	

ПРИМЕЧАНИЯ: Тип мышечного волокна определяется типом мотонейрона

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ МЫШЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ (ДОБАВОЧНЫЕ) БЕЛКИ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

АКТИНИН – СКРЕПЛЯЕТ ТОНКИЕ ФИЛАМЕНТЫ В ОБЛАСТИ Z-ЛИНИЙ

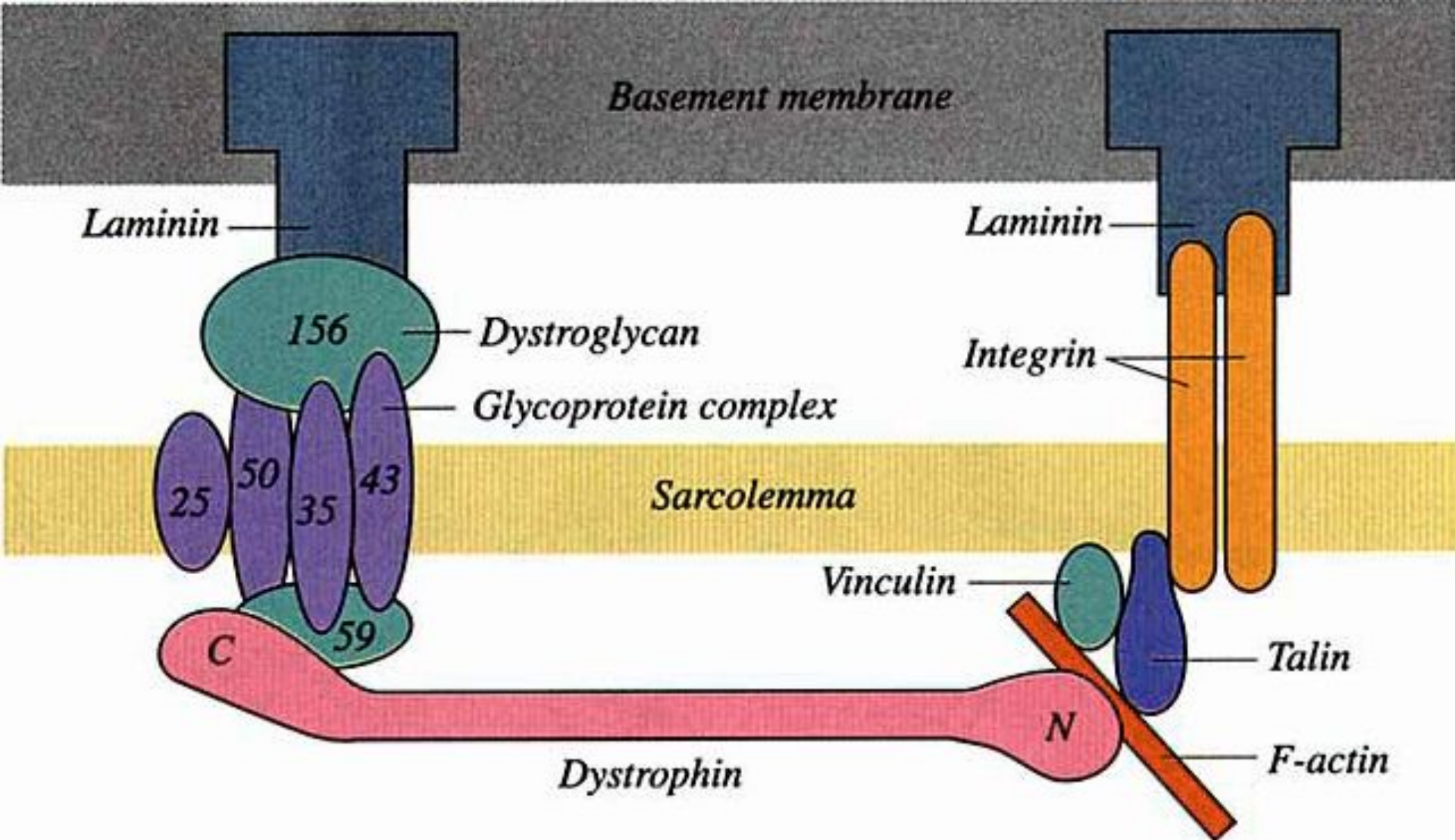
МИОМЕЗИН – СКРЕПЛЯЕТ МИОЗИНОВЫЕ ФИЛАМЕНТЫ В ОБЛАСТИ М- ЛИНИЙ

ТИТИН (КОННЕКТИН) – СОЕДИНЯЕТ КОНЦЫ ТОЛСТЫХ ФИЛАМЕНТ И Z-ЛИНИИ

ДЕСМИН – СОЕДИНЯЕТ СОСЕДНИЕ МИОФИБРИЛЛЫ

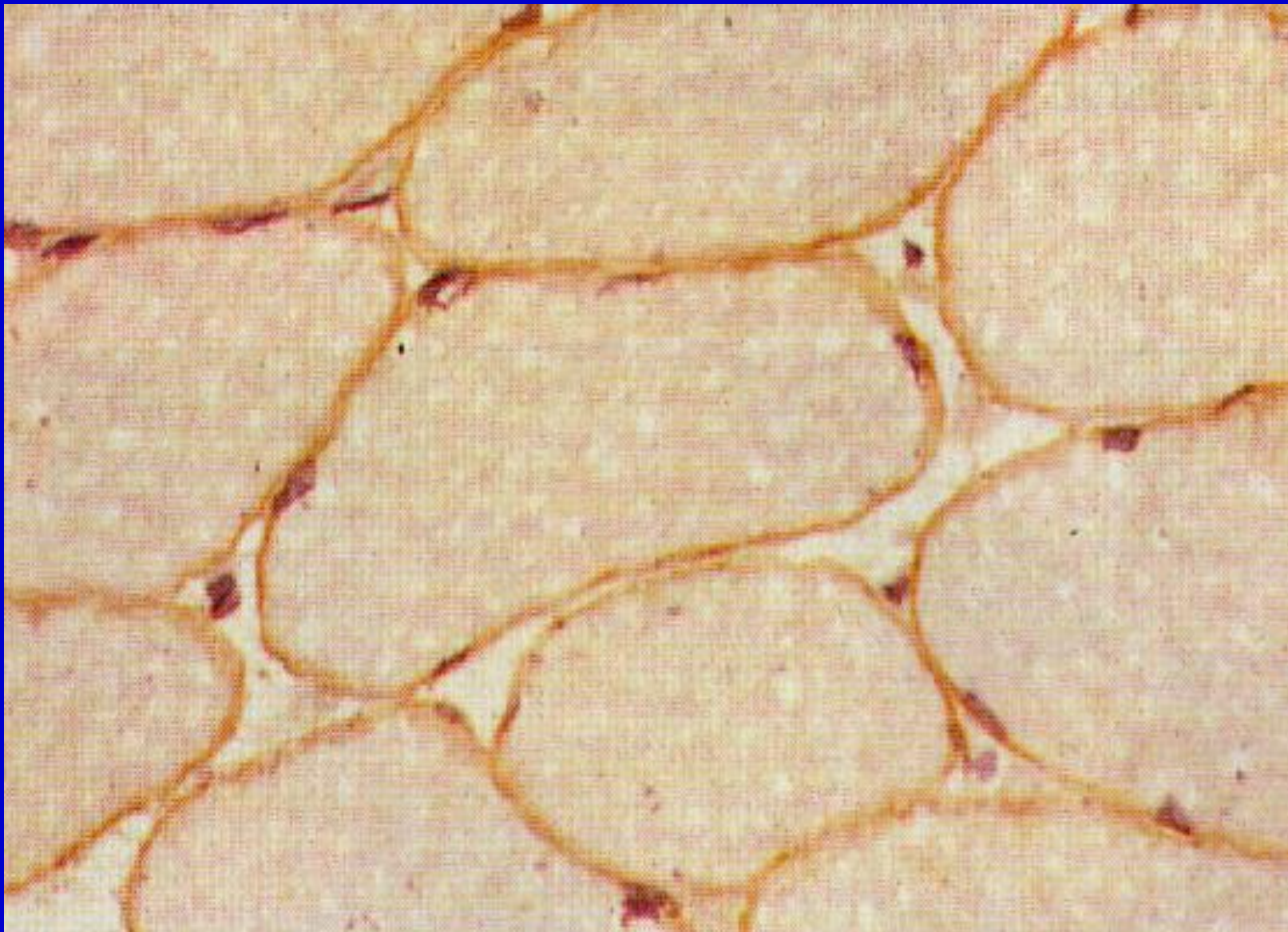
С-ПРОТЕИН – МИОЗИН-СОЕДИНЯЮЩИЙ БЕЛОК

ДИСТРОФИН – БЕЛОК ПЛАЗМОЛЕММЫ, СОЕДИНЯЮЩИЙ АКТИНОВЫЕ ФИЛАМЕНТЫ С НАРУЖНОЙ ПЛАСТИНКОЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВНУТРЕННЕЙ СИЛЫ СОКРАЩЕНИЯ НА НАРУЖНЫЕ ТКАНИ



Schematic model, speculative in places, of the proteins that bridge between the subsarcolemmal cytoskeleton and the basement membrane. (Artwork by Stanley Salmons and Lesley Skeates, based loosely on Gorospe & Hoffman 1992; Isenberg & Goldman 1992; Matsumura & Campbell 1994).

ДИСТРОФИН В ПЛАЗМОЛЕММЕ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН



ОПОРНАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ ТКАНЬ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

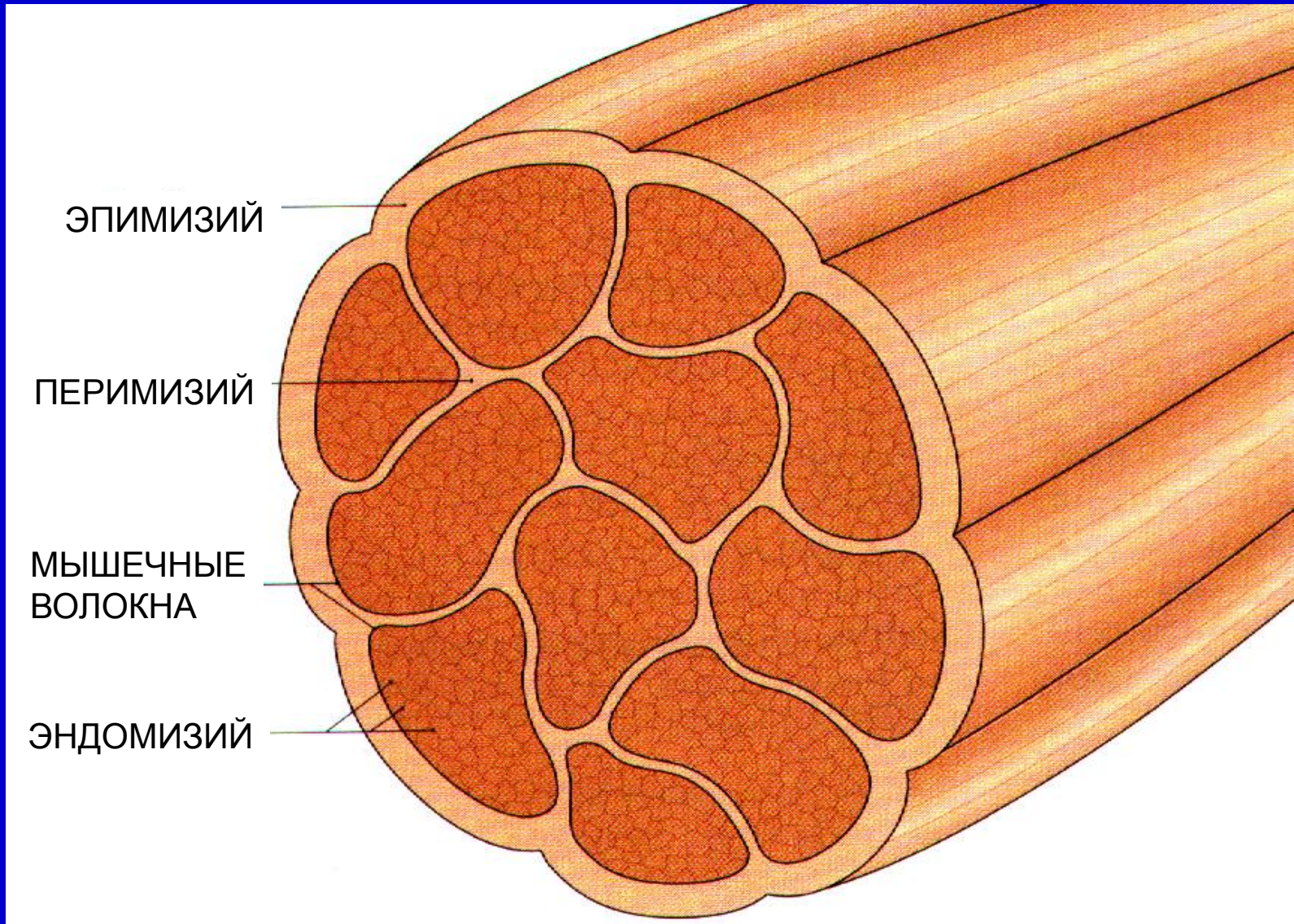


Diagram illustrating the levels of organization within a skeletal muscle, from whole muscle to fasciculi, single fibres, myofibrils and myofilaments. A satellite cell is depicted lying beneath the basement membrane of the muscle fibre. (Artist: Lesley Skeates.)



Регенерация скелетной мышечной ткани

Регенерация повреждённых волокон	Первый способ: восстановление целостности повреждённых волокон - путём медленного роста концов волокна навстречу друг другу.
Образование новых волокон	Второй способ - образование новых волокон. При этом последовательно происходит: размножение миосателлитов с превращением их в миобласты, слияние миобластов друг с другом - образование мышечных трубочек с центральным положением ядер, накопление миофибрилл и оттеснение ядер на периферию волокна.



СЕРДЕЧНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ

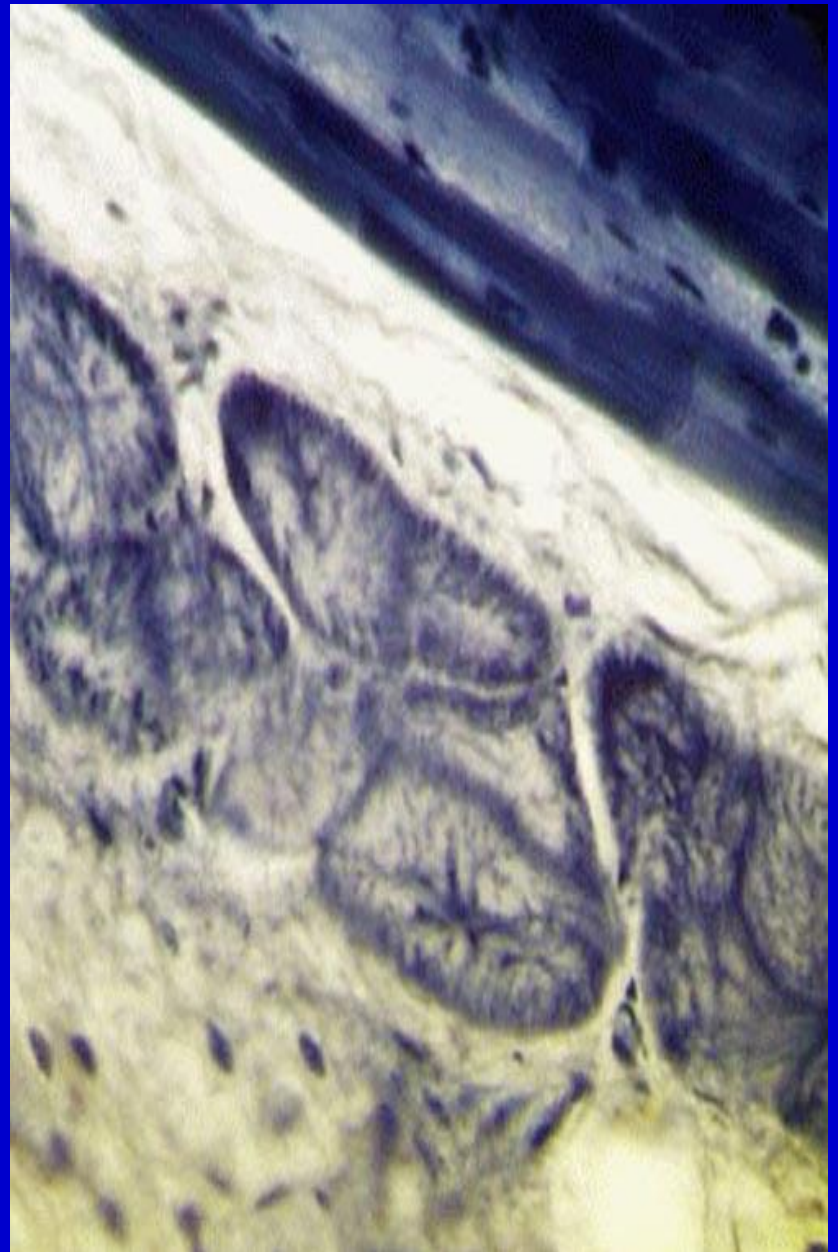
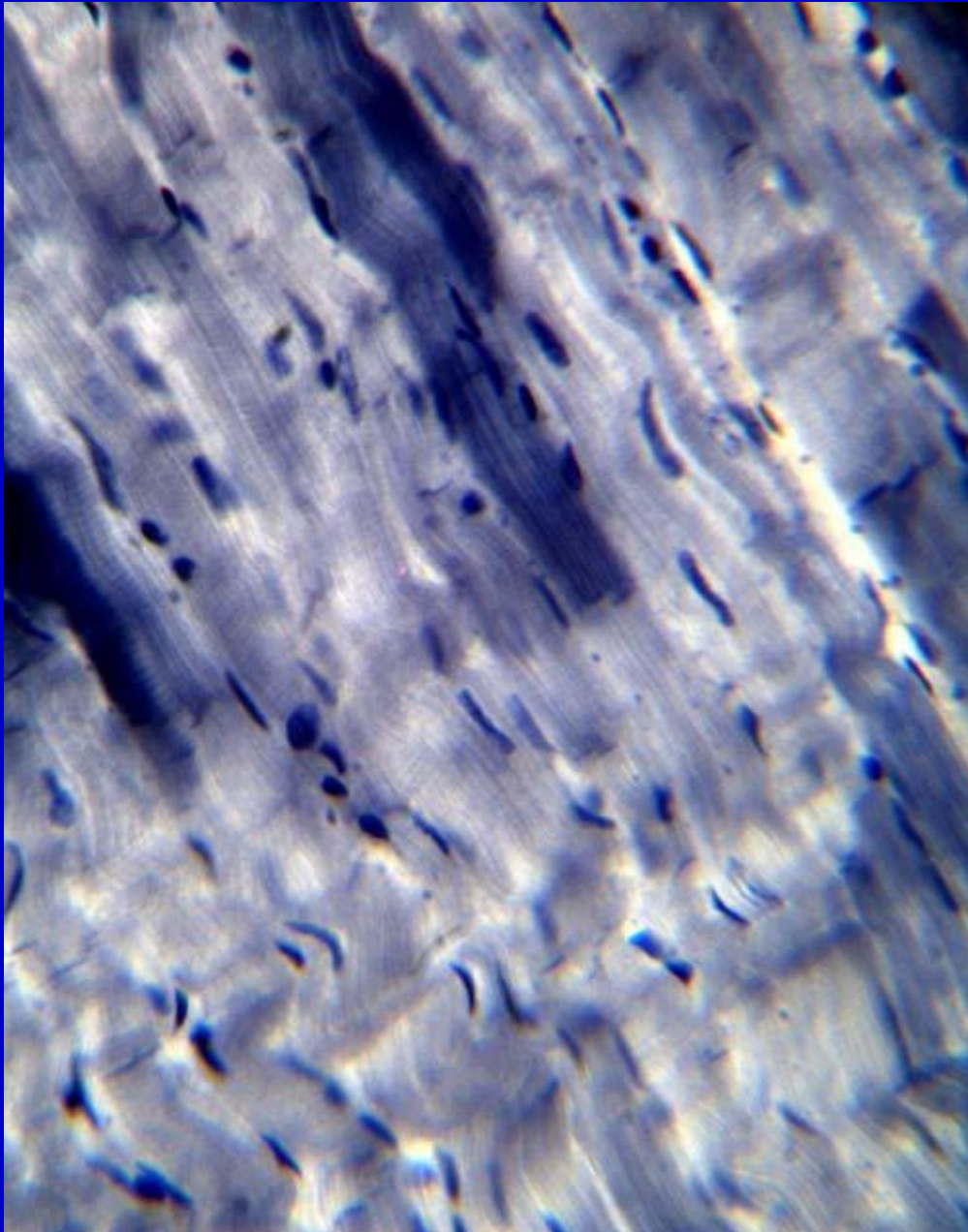


**СЕРДЕЧНЫЕ МЫШЕЧНЫЕ КЛЕТКИ -
КАРДИОМИОЦИТЫ**

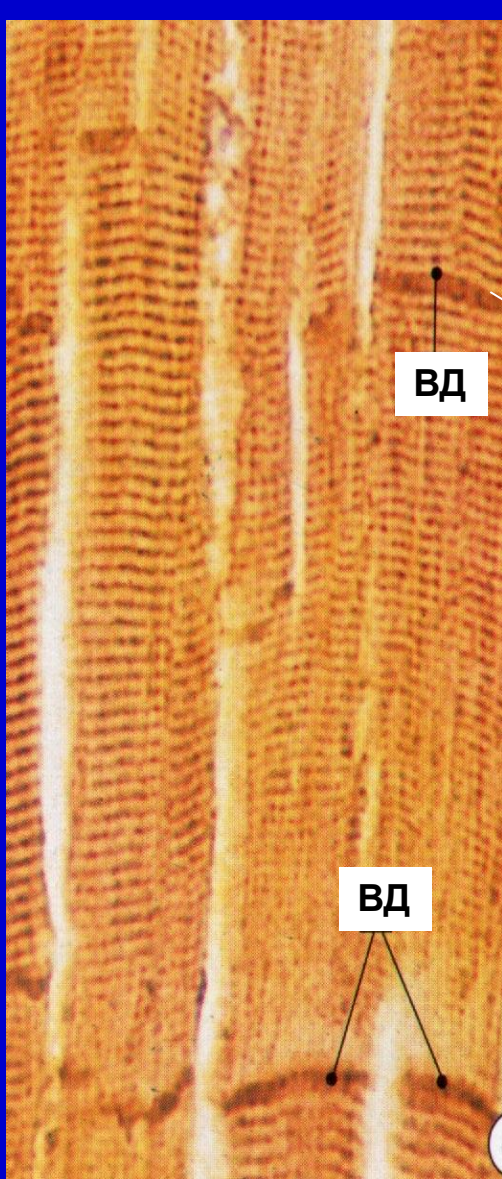
СОЕДИНЕННЫ «КОНЕЦ – В КОНЕЦ»

ВСТАВОЧНЫМИ ДИСКАМИ

СЕРДЕЧНАЯ МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ



ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК СЕРДЕЧНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ



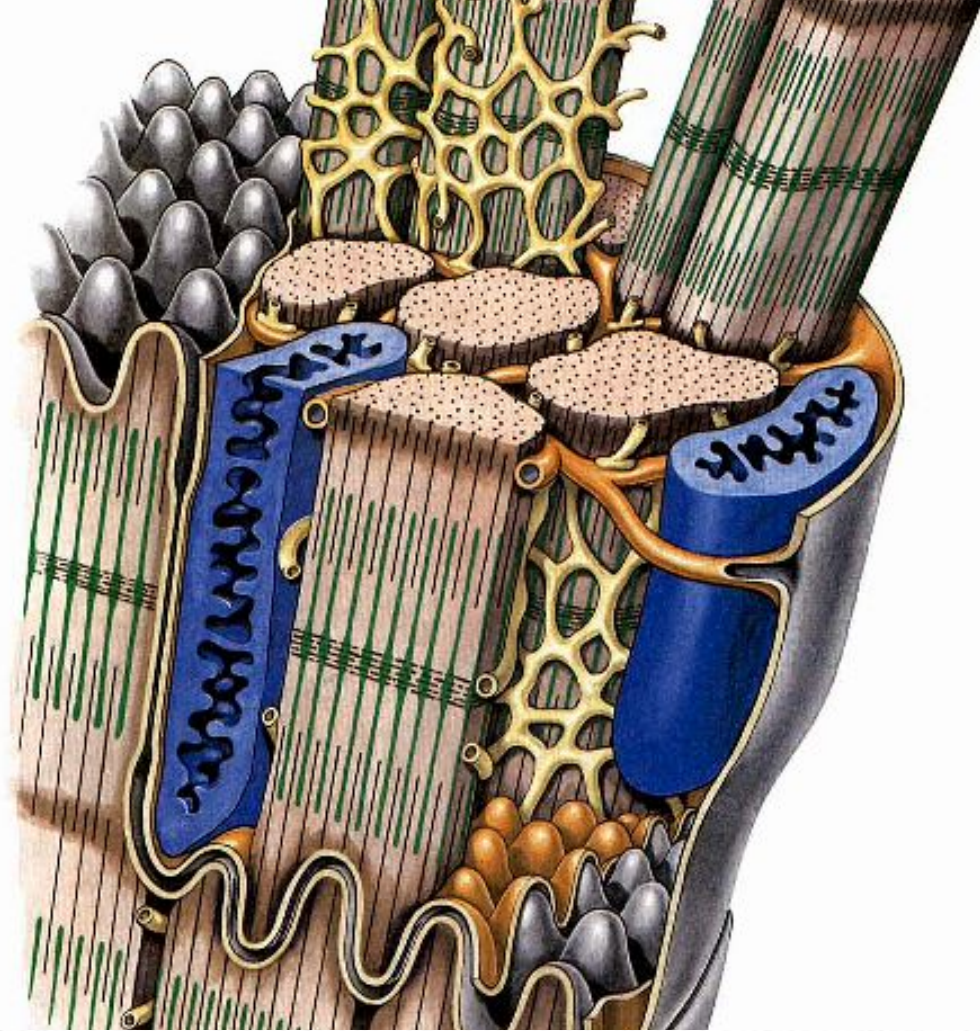
СТРУКТУРЫ

ПЛАЗМОЛЕММЫ
СОЕДИНЯЮЩИХСЯ
КАРДИОМИОЦИТОВ

ДЕСМОСОМЫ (D)

НЕКСУСЫ (G)

АДГЕЗИВНЫЕ
КОНТАКТЫ
(ПОВЕРХНОСТИ
СЛИПАНИЯ) - A



Three-dimensional reconstruction of cardiac muscle cells, showing in particular the organization of the transverse tubules (orange) and sarcoplasmic reticulum (yellow). The colour scheme is the same as in 7.15, to facilitate comparison with skeletal muscle. Note the large diameter of the transverse tubules, their location at the level of the Z-discs, and the formation of diads with the junctional sarcoplasmic reticulum. An intercalated disc, with desmosomes and a gap junction, is depicted at the bottom and left. (Artist: Lesley Skeates.)

Отличия от скелетной мышечной ткани

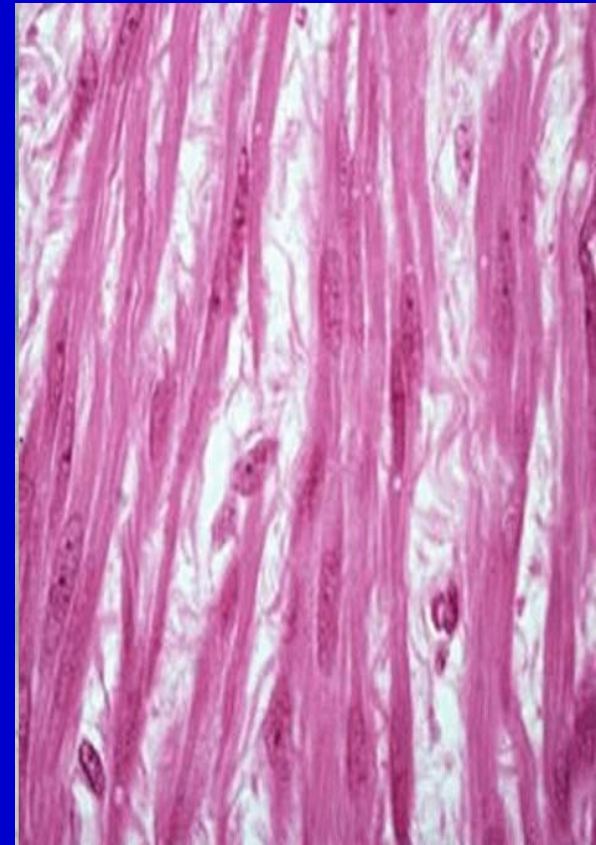
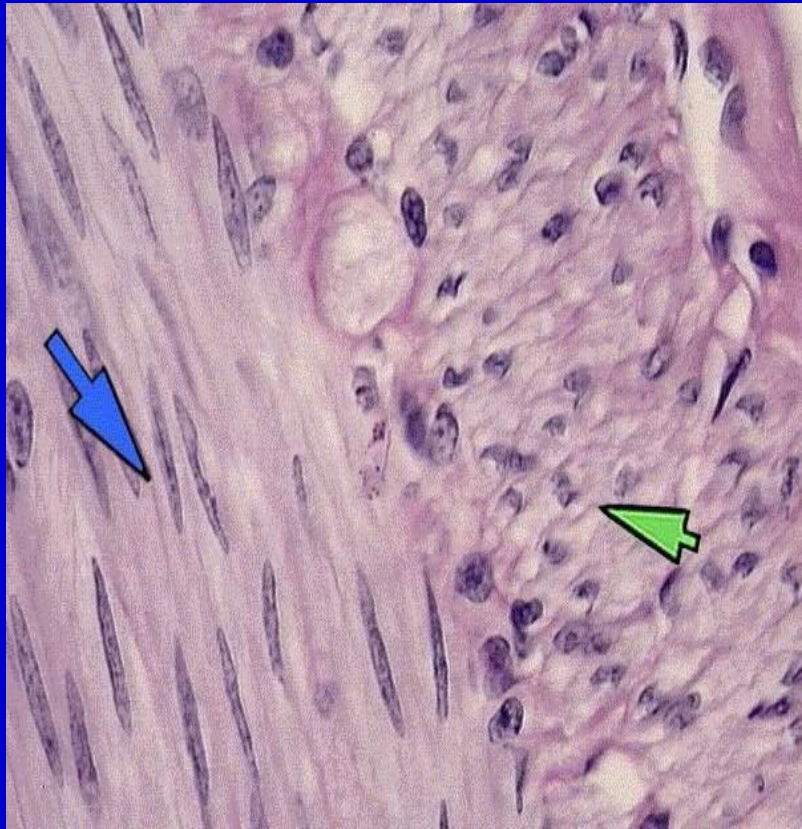
	Скелетная мышечная ткань	Сердечная мышечная ткань
Тип волокон	Истинные волокна - симпласты	Функциональные волокна: состоят из клеток - кардиомиоцитов. Границы между ними - вставочные диски. Виды контактов между соседними кардиомиоцитами: десмосомы, интердигитации, нексусы. Нексусы обеспечивают электрическую связь между кардиомиоцитами. В области вставочных дисков в плазмолемме кардиоцитов находятся зоны прикрепления миофибрилл.
К-во мио-фибрилл	Миофибриллы -70% объёма волокна.	Содержание миофибрилл - меньше: они занимают около 40 % объёма клеток.

Отличия от скелетной мышечной ткани

	Скелетная мышечная ткань	Сердечная мышечная ткань
Ядра	Ядра - на периферии волокон.	В клетке присутствуют 1-2 ядра - как правило, полиплоидные. Они занимают центральное положение в клетке.
Дополнительные элементы ткани	Имеются одноядерные клетки - миосателлиты, - принимающие участие в регенерации волокон.	Миосателлитов и стволовых клеток нет - поэтому новые кардиомиоциты и функциональные волокна при регенерации не образуются. Кроме сократительных кардиомиоцитов, существует другая разновидность клеток - проводящие кардиомиоциты.

Гладкая мышечная ткань

Гладкие миоциты не имеют поперечной исчерченности. Они содержат в своей центральной части по одному палочковидному ядру. Во многих клетках - большое количество гранулярной ЭПС. Здесь происходит синтез компонентов межклеточного вещества - протеогликанов, коллагена, эластина и пр.





В гладких миоцитах нет Т-трубочек, L-канальцев и терминальных цистерн, как в скелетной и сердечной тканях

Тем не менее, плазмолемма образует многочисленные впячивания - кавеолы, которые превращаются в пузырьки. Эти образования участвуют в транспорте в клетку ионов Ca^{2+} из окружающей среды.

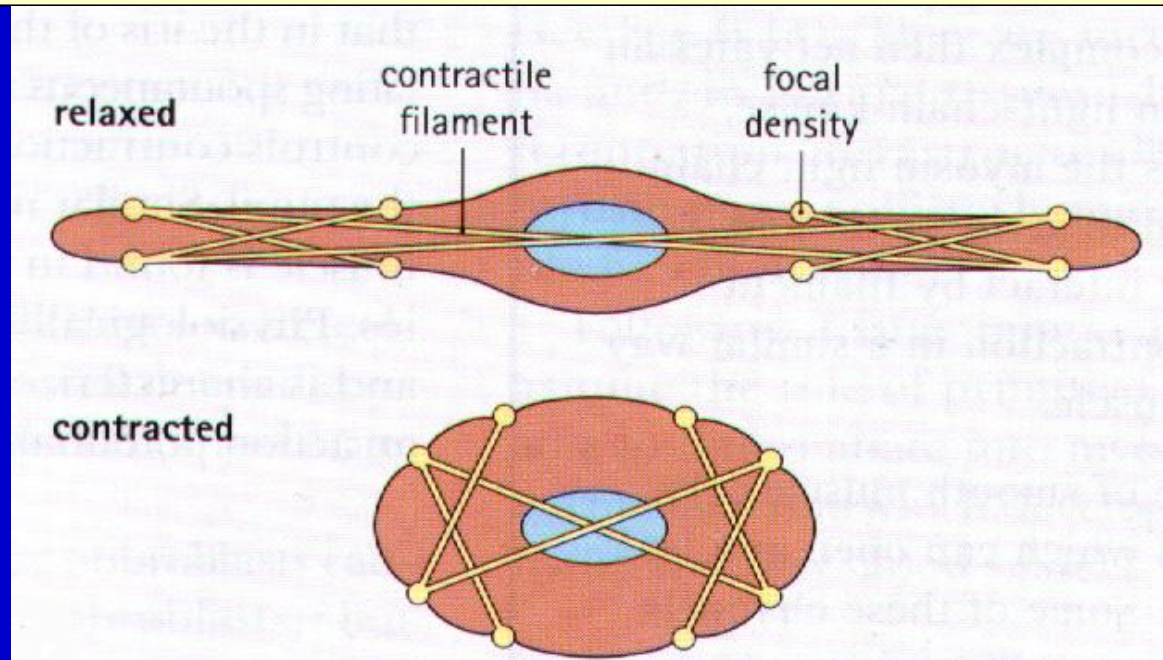
Сократительный аппарат

**Тонкие
мио-
филаменты**

Тонкие (актиновые) миофиламенты прикрепляются к т.н. плотным тельцам (аналогам Z-полоски), которые либо связаны с плазмолеммой, либо находятся в цитоплазме.

**Толстые
мио-
филаменты**

Толстые (миозиновые) миофиламенты занимают менее фиксированное положение. Они внедряются между тонкими миофиламентами только в процессе сокращения.



Сократительный аппарат



**Источник
ионов Ca^{2+}**

Этот процесс тоже запускается ионами Ca^{2+} . При возбуждении - ионы поступают в цитоплазму не столько из эндоплазматического ретикулума, сколько из межклеточной среды (МКС).

**Характер
сокращения**

Поступление ионов Ca^{2+} из МКС происходит гораздо медленнее, чем из саркоплазматического ретикулума. Поэтому сокращения гладкой мускулатуры развиваются не так быстро, как в скелетных мышцах, но зато могут продолжаться достаточно долго без заметного утомления.

МЕХАНИЗМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ Ca^{++} В ЦИТОПЛАЗМУ ГЛАДКИХ МИОЦИТОВ

ИЗ ГЛАДКОЙ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ

ИЗ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ

ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛ-ЗАВИСИМЫЕ
(ВОЛЬТАЖ-ВХОДНЫЕ) КАНАЛЫ

ЧЕРЕЗ ГОРМОНАЛЬНО-ЗАВИСИМЫЕ
(ЛИГАНД-ВХОДНЫЕ) КАНАЛЫ

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ СОКРАЩЕНИЯ ГЛАДКИХ МИОЦИТОВ

ВОЗБУЖДЕНИЕ МЕМБРАНЫ



ВЫСВОБОЖДЕНИЕ Ca^{++} В ЦИТОПЛАЗМУ



СВЯЗЫВАНИЕ С БЕЛКОМ –
КАЛЬМОДУЛИНОМ



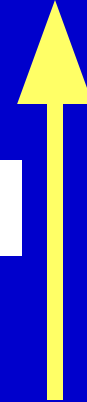
АКТИВИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТА –
КИНАЗЫ ЛЕГКОГО МИОЗИНА



ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ
МИОЗИНА



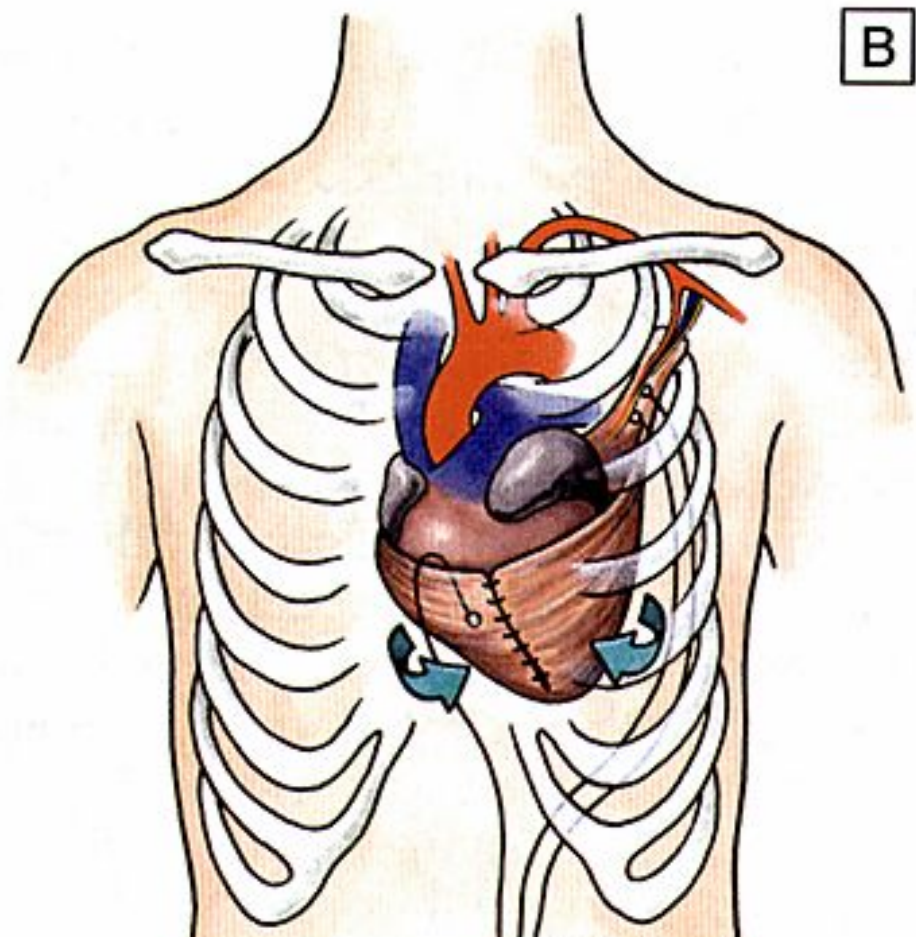
СВЯЗЫВАНИЕ МИОЗИНОВЫХ
И АКТИНОВЫХ ФИЛАМЕНТ



СОКРАЩЕНИЕ

РЕПАРАТИВНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ





In cardiomyoplasty the latissimus dorsi muscle is mobilized (leaving the neurovascular pedicle intact), transferred into the chest and wrapped around the heart. Electrical pulses from the implantable stimulator are conveyed to branches of the thoracodorsal nerve by two stimulating electrodes which are woven into the proximal portion of the muscle. The pulse trains are triggered via the electrocardiographic lead so that contraction is appropriately synchronized with systole. (Artist: Lesley Skeates.)

A skeletal muscle ventricle is a separate auxiliary blood pump formed by winding the latissimus dorsi muscle to form a tube or pouch. In the configuration shown, the skeletal muscle ventricle is stimulated to contract during diastole. Note again the cardiac sensing lead. In this example, a bipolar lead has been used to convey stimulating pulses to a cuff placed around the thoracodorsal nerve. (Artist: Lesley Skeates.)

