

Цитоскелет — это система нитей и трубочек, заполняющих всю цитоплазму. Нити есть и в ядре.

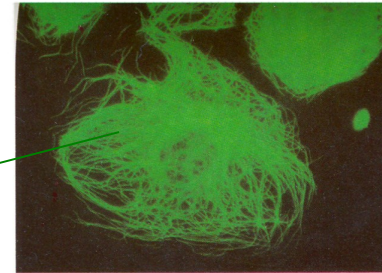
Цитоскелет выполняет много функций.

В животных клетках цитоскелет состоит из **актиновых нитей**, **микротрубочек** и **промежуточных филаментов**.

У растений в них имеются только актиновые нити и микротрубочки.

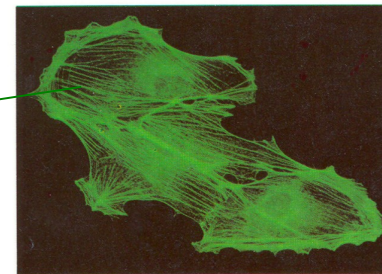
Микротрубочки

25 нм



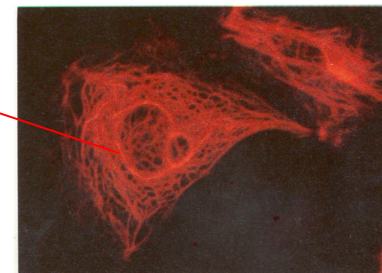
Микрофиламенты
(актиновые нити,
микрофибриллы)

5-7 нм



Промежуточные
филаменты

8-12 нм



Белки промежуточных филаментов (ПФ) имеют фибриллярное строение с небольшими глобулярными участками.

ПФ различных тканей похожи друг на друга, но между ними есть и отличия. Закодированы они в разных генах. Это родственные гены. Они имеют общее происхождение.

Они носят разные названия: в эпителиальных тканях — **кератины**, в клетках соединительной ткани — **виментин**, в нервных клетках — **белки нейрофиламентов (NF-L, NF-M)** и т. д.

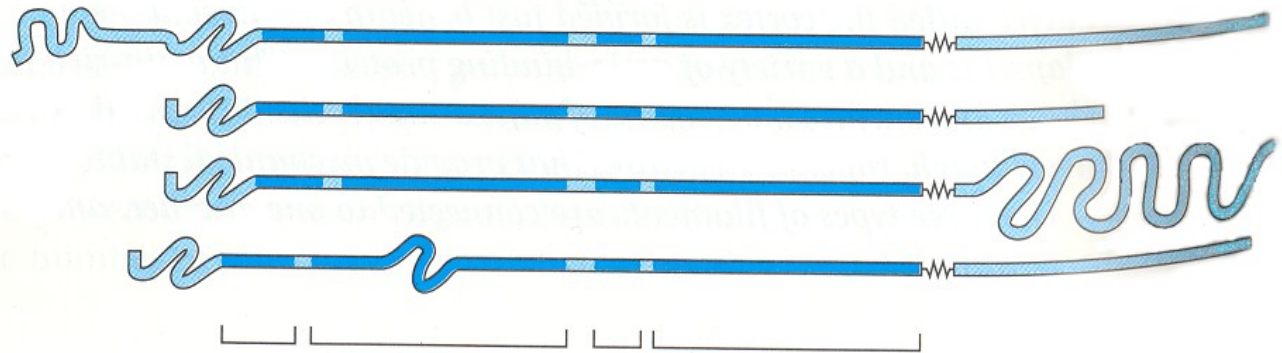
В ядрах клеток есть родственные им белки - **ламины**.

Фибриллярные части белков имеют такое чередование аминокислотных остатков, которое позволяет двум молекулам белков ПФ при встрече N-концов с N-концами, а С-концов с С-концами самопроизвольно образовывать двойную спираль.

NH₂-конец

COOH-конец

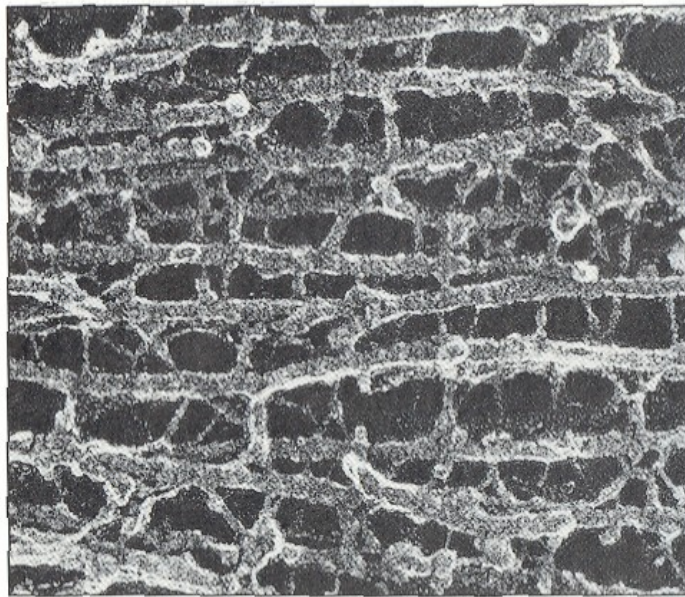
Кератины
Виментин
NF-M
Ламины



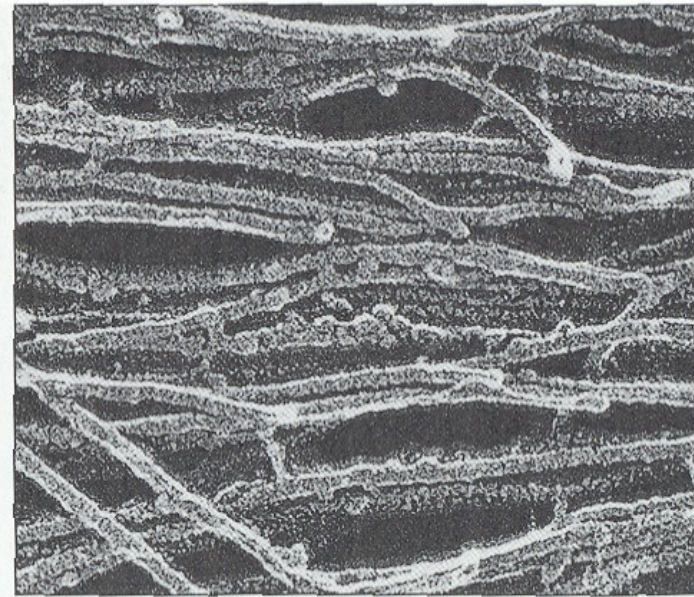
Промежуточные филаменты образуются путем самосборки. Для этого необходимо, чтобы в белках не было фосфатных групп. Если присоединить фосфаты, то ПФ распадаются на отдельные белковые димеры.



С промежуточными филаментами (ПФ) связываются различные белки. С их помощью ПФ образуют сети, крепятся к плазматической мембране, взаимодействуют с другими компонентами цитоскелета.

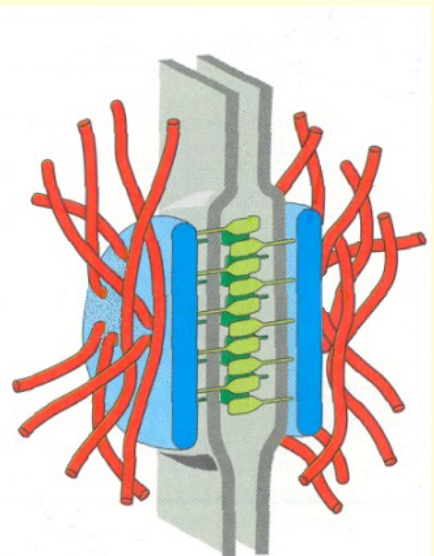
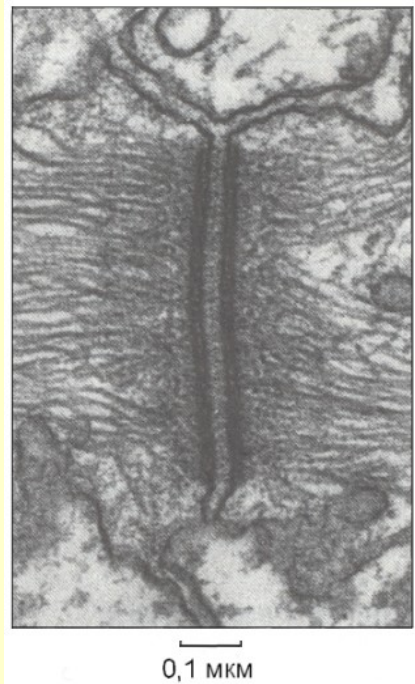


Промежуточные филаменты
из аксона

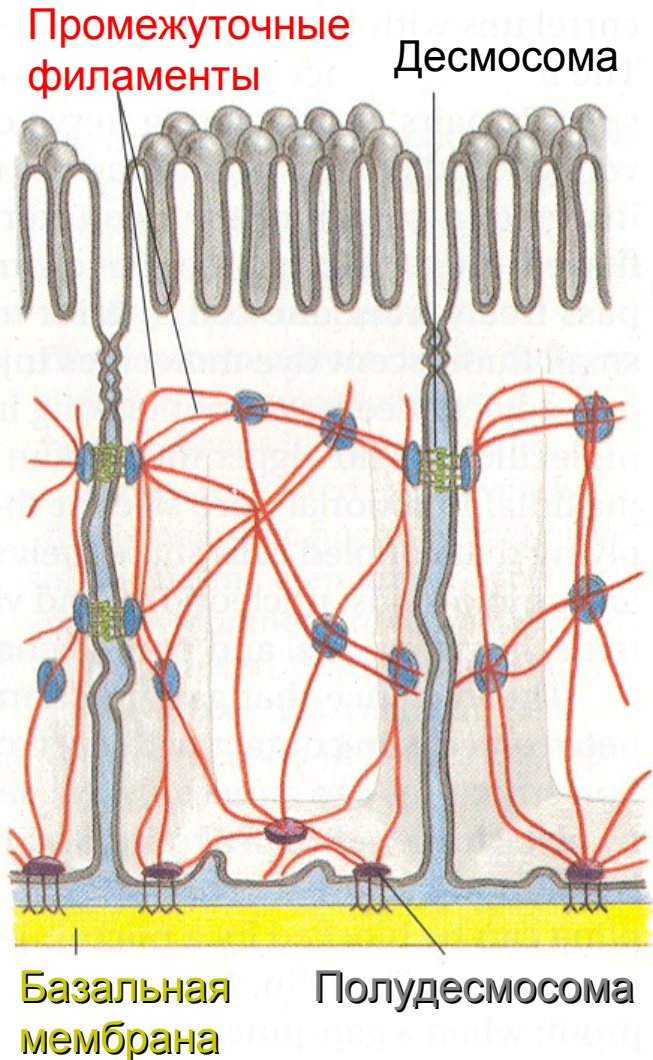


Промежуточные филаменты
из глиальных клеток

Промежуточные филаменты у животных отвечают за прочность ткани. Они связаны с десмосомами и полудесмосомами.



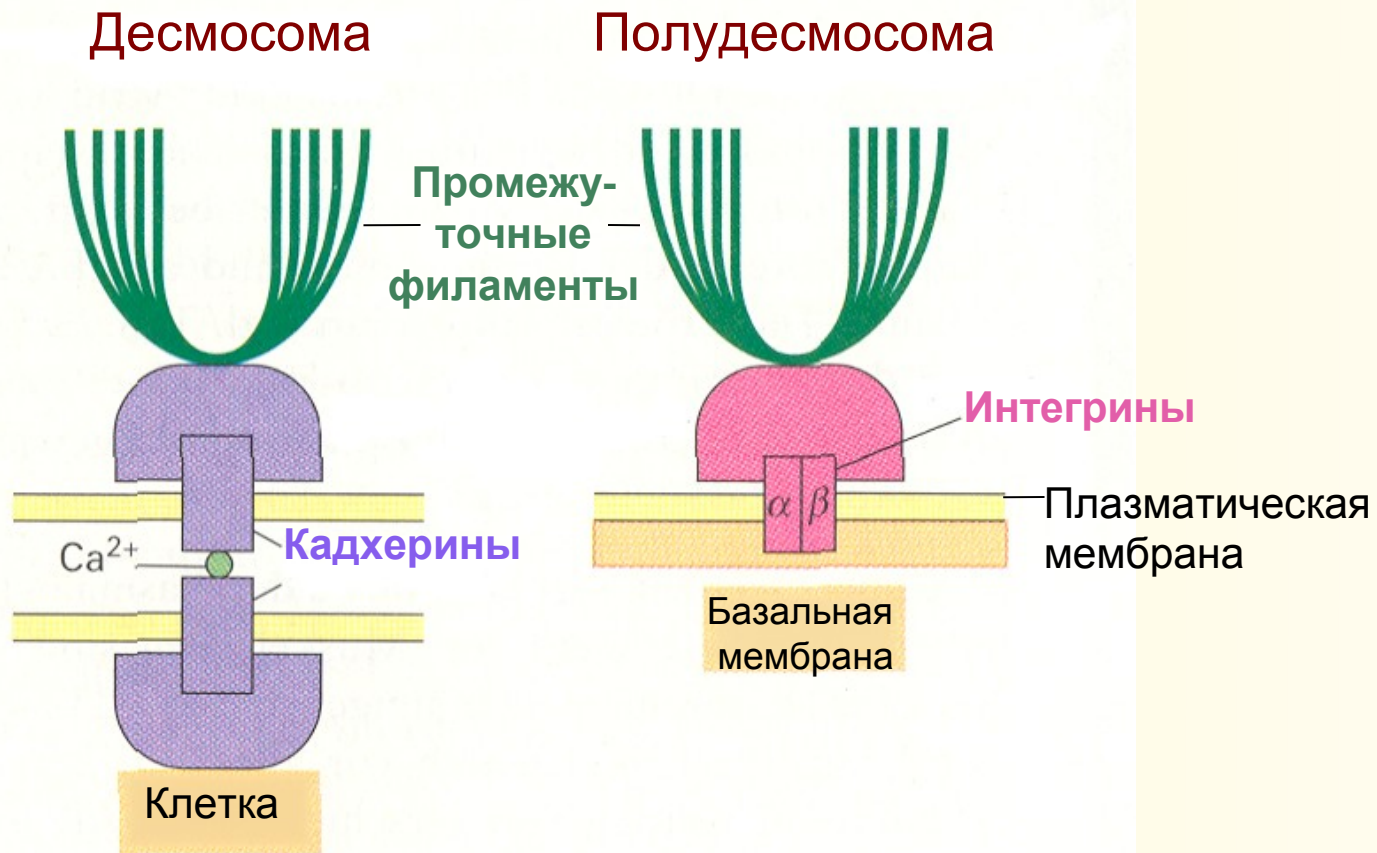
Десмосома



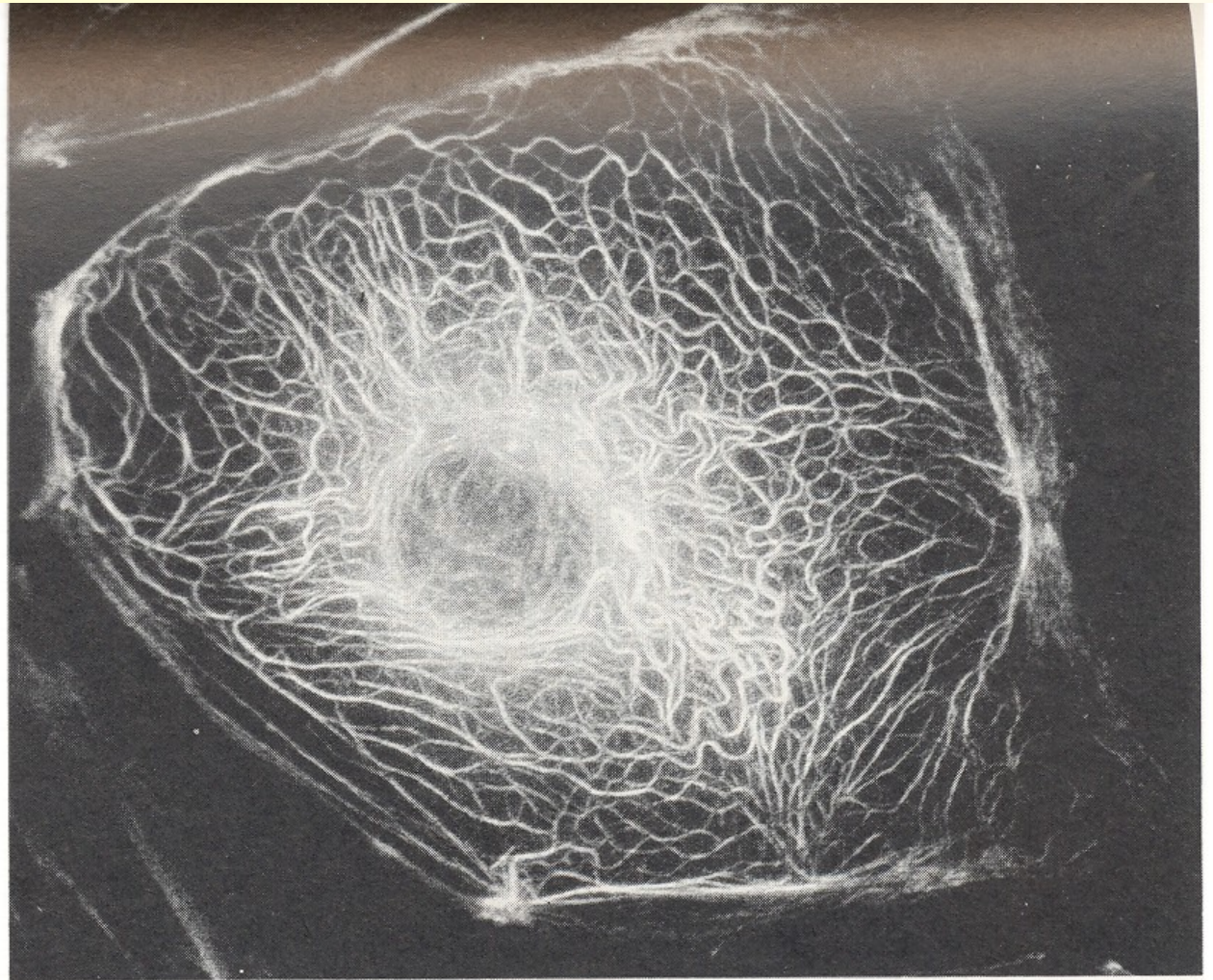
Базальная мембрана

Полудесмосома

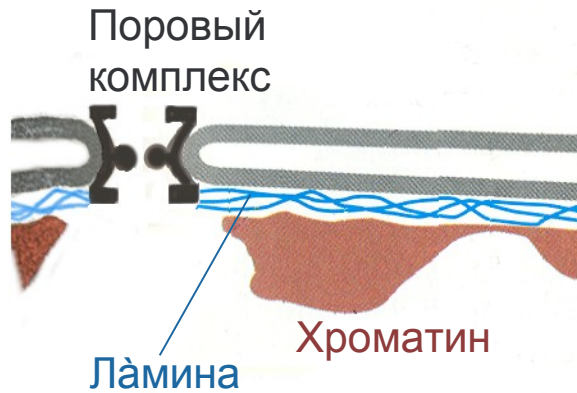
Схема строения клеточных контактов: десмосомом и полудесмосомом



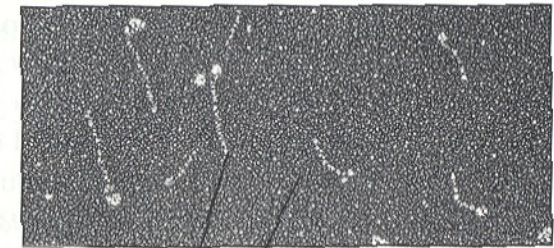
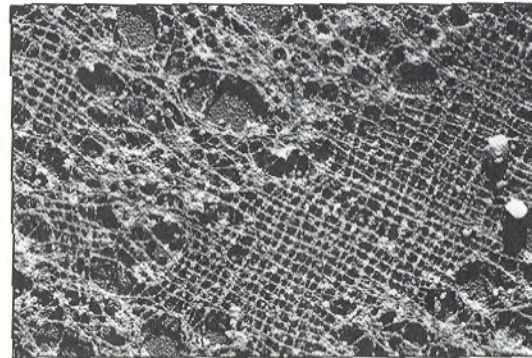
Кератиновые
филаменты
в клетке
эпителия



Белки ПФ филаментов в ядрах клеток (**ламИны**) животных образуют сеть (**плотную пластинку=лАмину**), прочно связанную с внутренней мембраной ядра



Плотная пластинка -лАмина



Миозин II
Димер ламИна

This text is written vertically and serves as a label for the myosin II dimers shown in the adjacent electron micrograph.

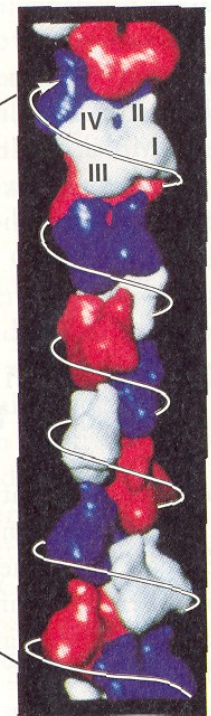
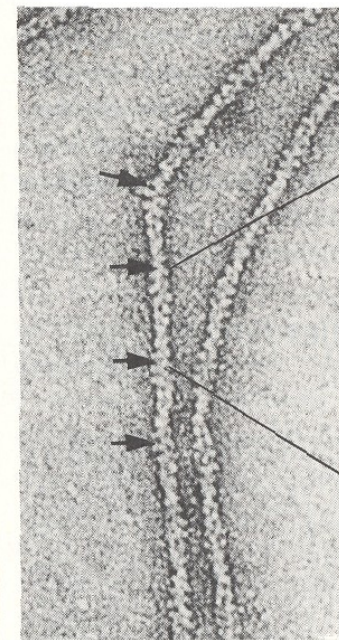
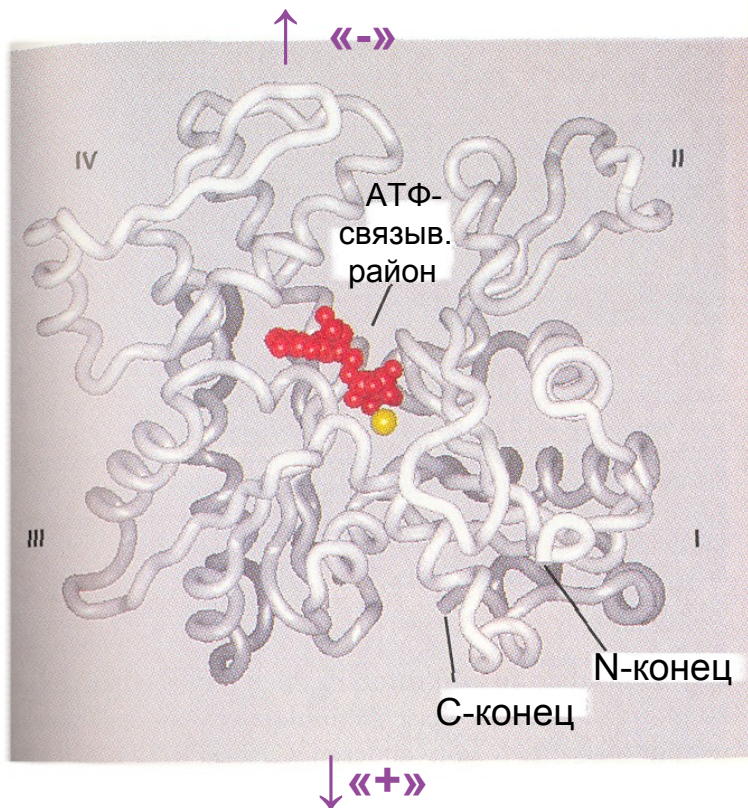
Микрофиламенты (микрофибриллы, актиновые филаменты, актиновые нити) состоят из глобулярного белка актина.

G-актин (глобулярный)

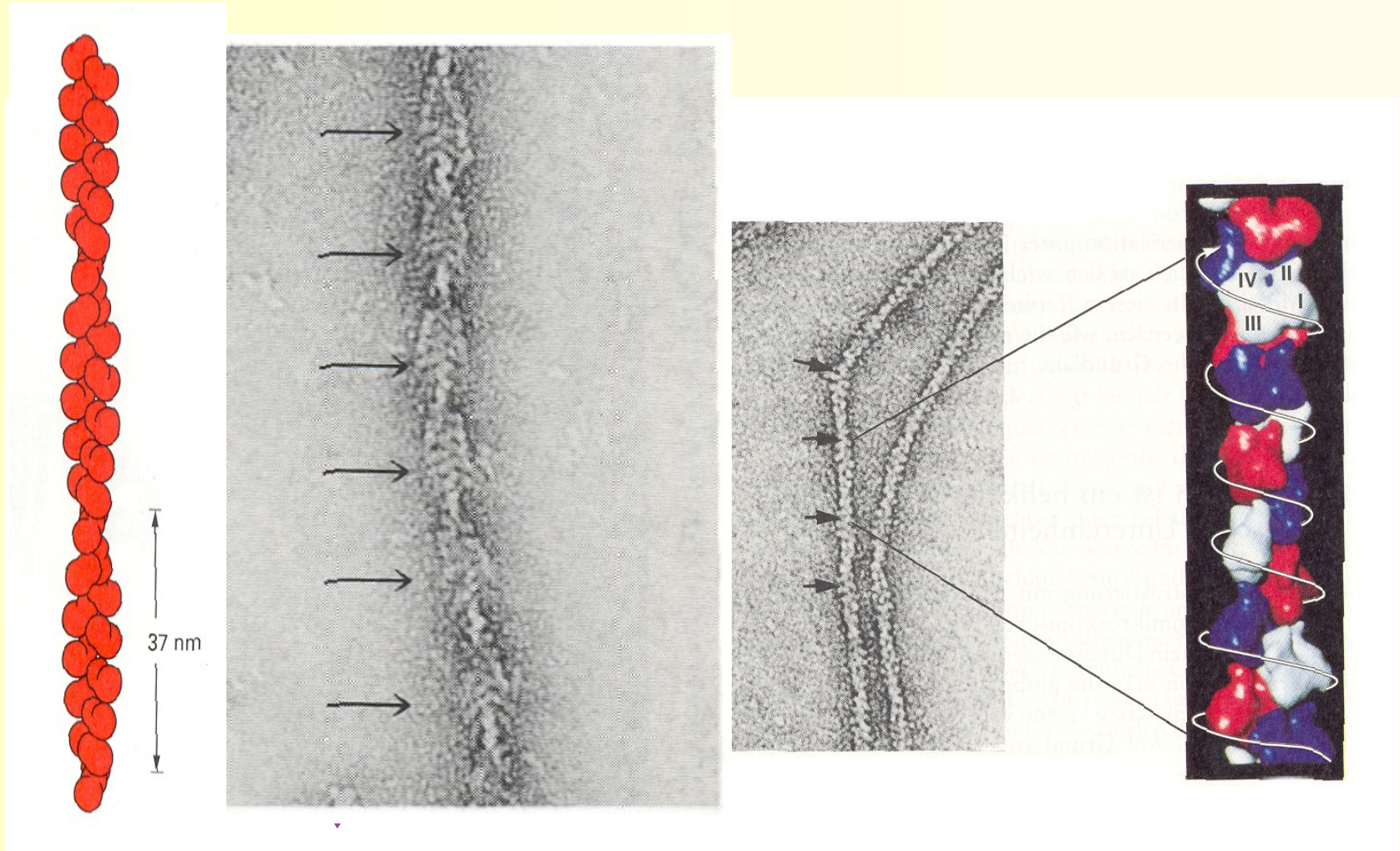
F-актин (фибриллярный)

Молекула актина

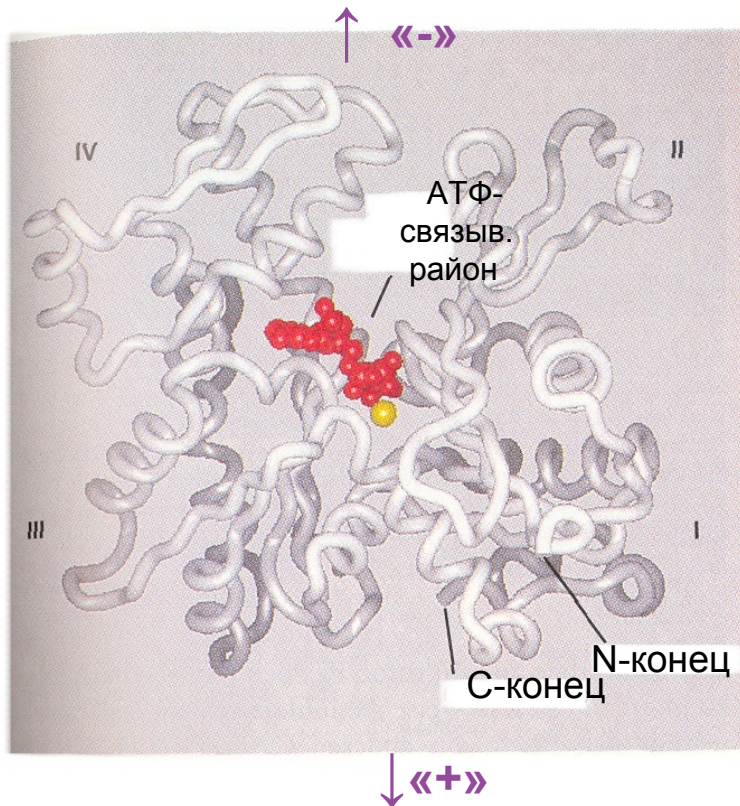
Актиновая фибрилла



Для актина также существует много генов, и в разных тканях актины могут немного отличаться.

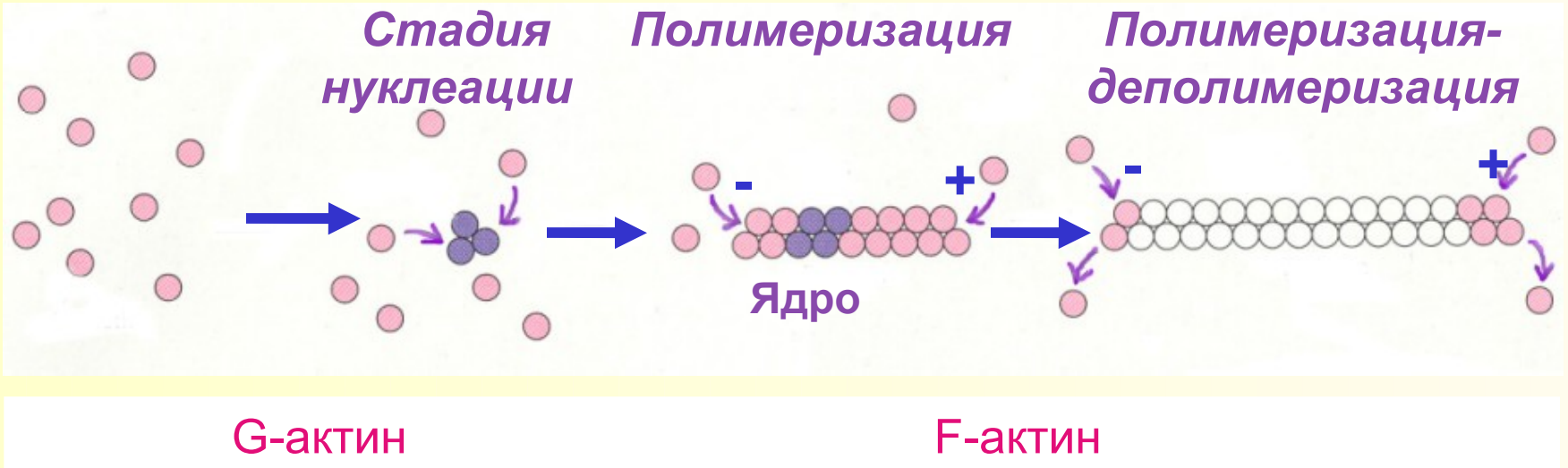


Внутри молекулы актина постоянно находится молекула АТФ или АДФ. Если в G-актине находится АДФ, то полимеризация идет с одинаковой скоростью на обоих концах F-актина; если — АТФ, то один конец удлиняется быстрее. Его назвали плюс-концом. Конформация F-актина отличается от конформации G-актина. Когда АТФ-актин полимеризуется, у него



появляется АТФ-азная активность, и он производит гидролиз АТФ. Деполимеризации подвергается АДФ-актин.

Полимеризация актина = образование нити из отдельных молекул



Стадия нуклеации длительная. Полимеризация идет быстро. Если необходимо быстро полимеризовать актин по сигналу из вне, то клетка заранее создает короткие F-актиновые нити, чтобы не тратить время на нуклеацию.

Микрофиламенты могут удлиняться и укорачиваться на обоих концах.

С G- и F-актином связываются различные белки.

Что делают белки, которые связываются
с G-актином?

- 1) препятствуют полимеризации.
- 2) помогают полимеризации.

с F-актином?

- 3) связывают актиновые нити в пучки и сети;
- 4) прикрепляют к мембране;
- 5) прикрепляют F-актин к микротрубочкам;
- 6) закрывают «+» и «-» концы от полимеризации/деполимеризации;
- 7) разрезают F-актиновую нить;
- 8) двигаются по актиновой нити.

Белки, взаимодействующие с G-актином,

Тимозин
препятствует
полимеризации



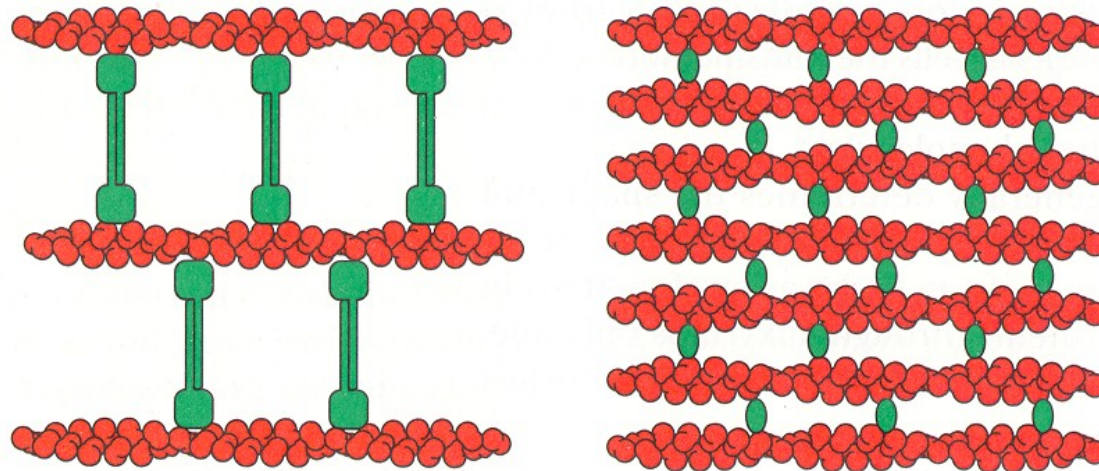
Профилин препятствует
присоединению к «минус»
концу F-актина,
способствует замене АДФ
на АТФ в G-актине



Формин ускоряет
полимеризацию на «плюс»
конце F-актина

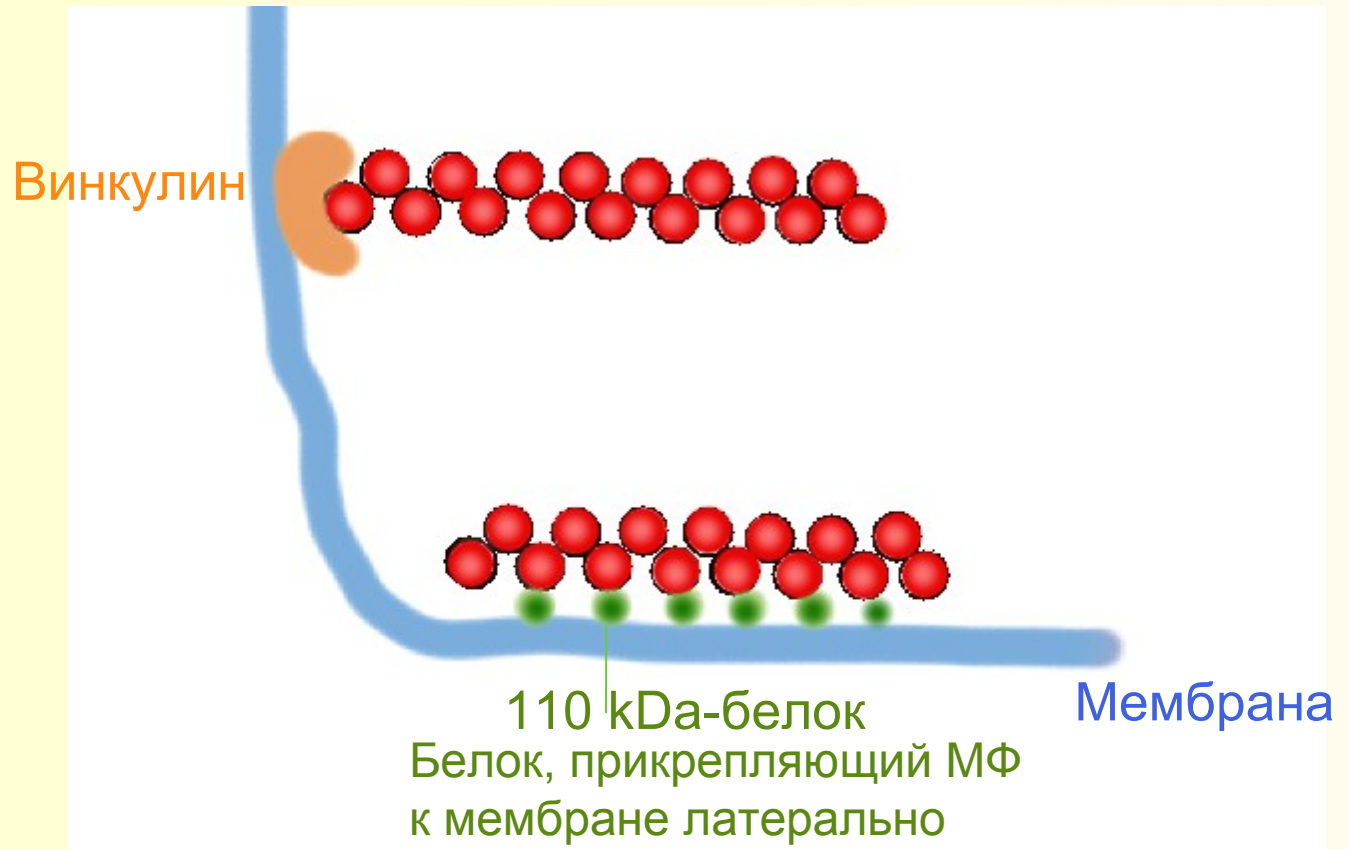
Комплекс белков **Arp2/3**
способствует образованию
разветвленных актиновых
нитей

Белки, связывающие F-актин при образовании пучков и сетей

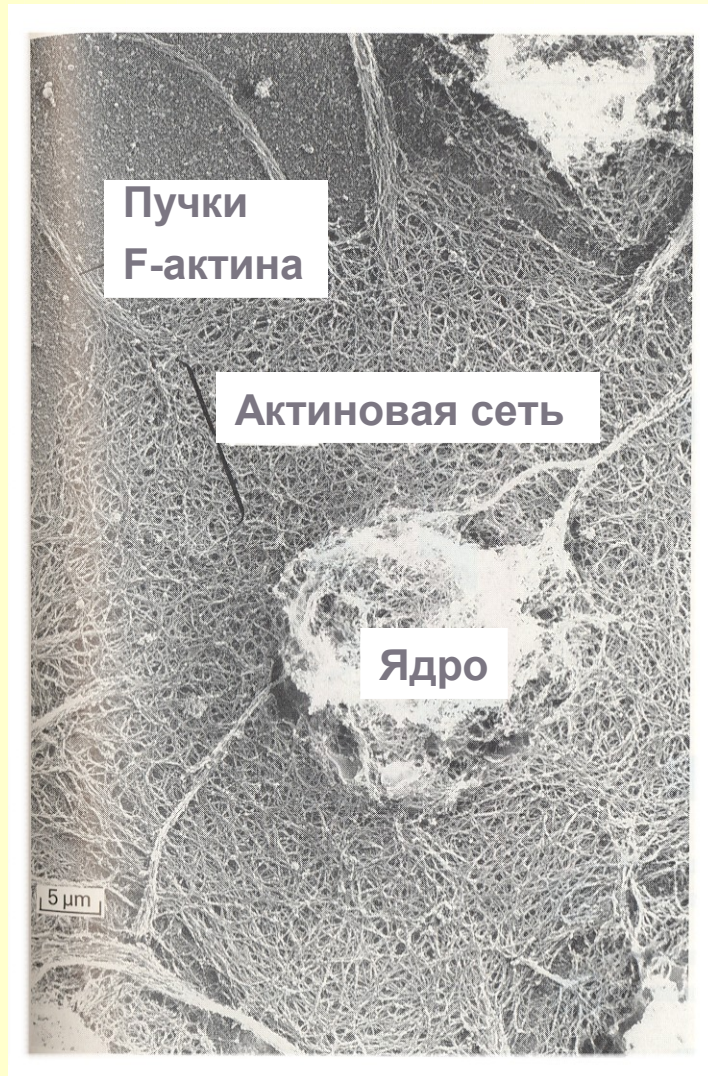


50 нм

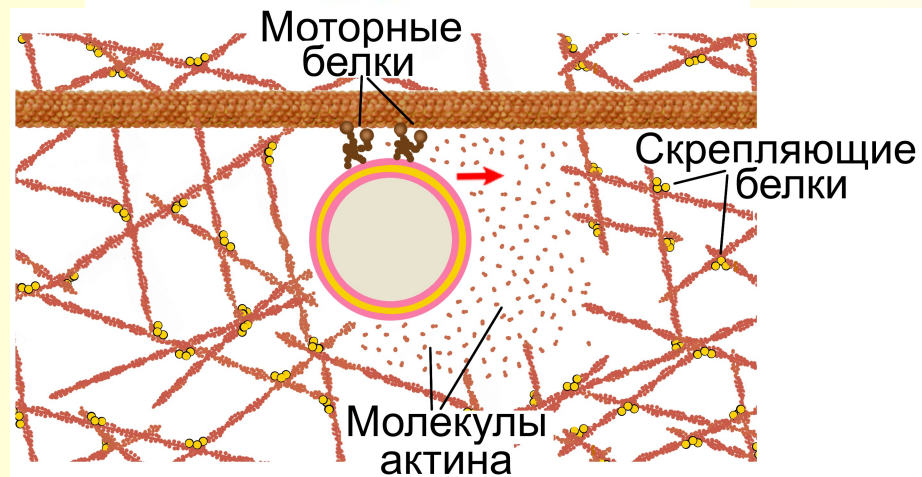
Кэпирующие белки, закрывающие концы
актинового филамента, предотвращают
полимеризацию-деполимеризацию и могут
способствовать прикреплению филамента к
мембране



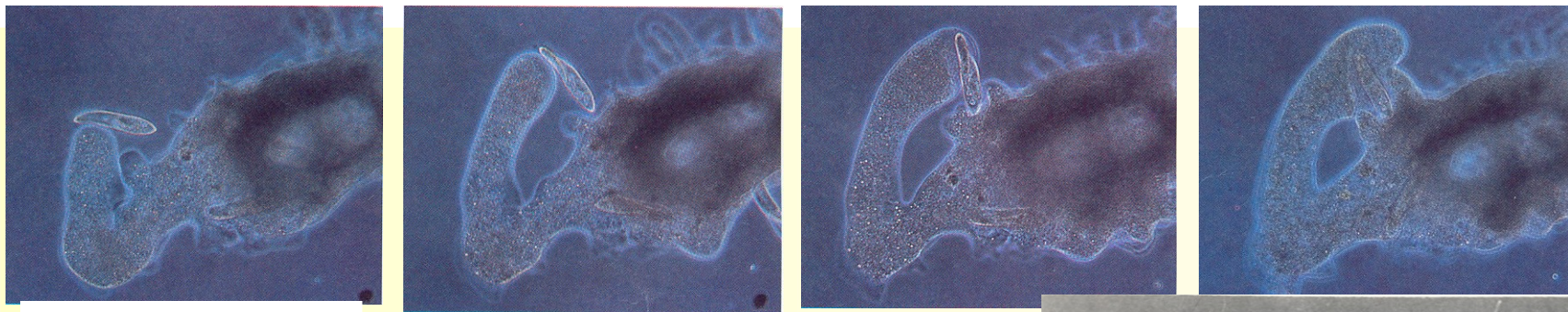
Белки, связывающие F-актин в сети



Кэпирующие-фрагментирующие белки
взаимодействуют с F-актином и приводят
к фрагментации актиновых филаментов, вызывая
переход геля в золь



Белки, связывающие F-актин при образовании пучков и сетей,



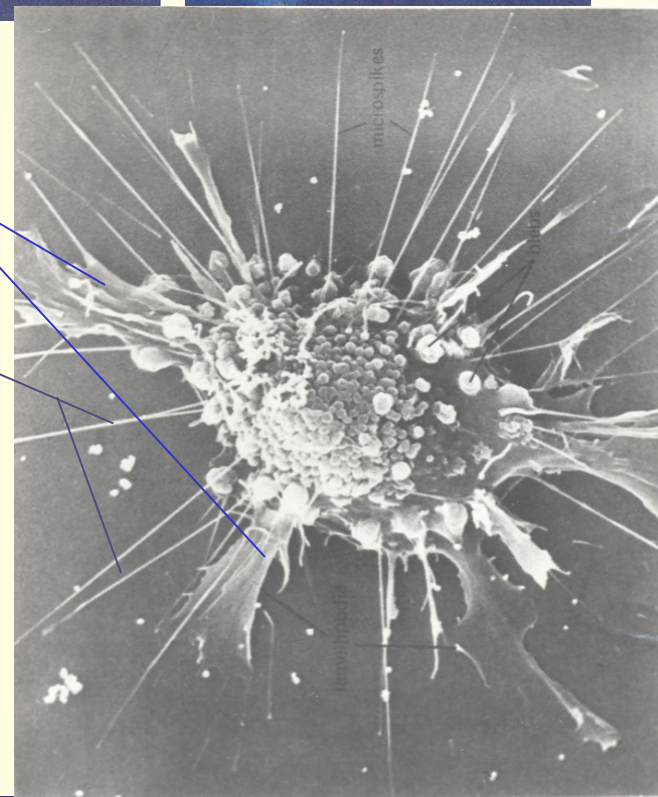
Псевдоподии

Ламеллоподии

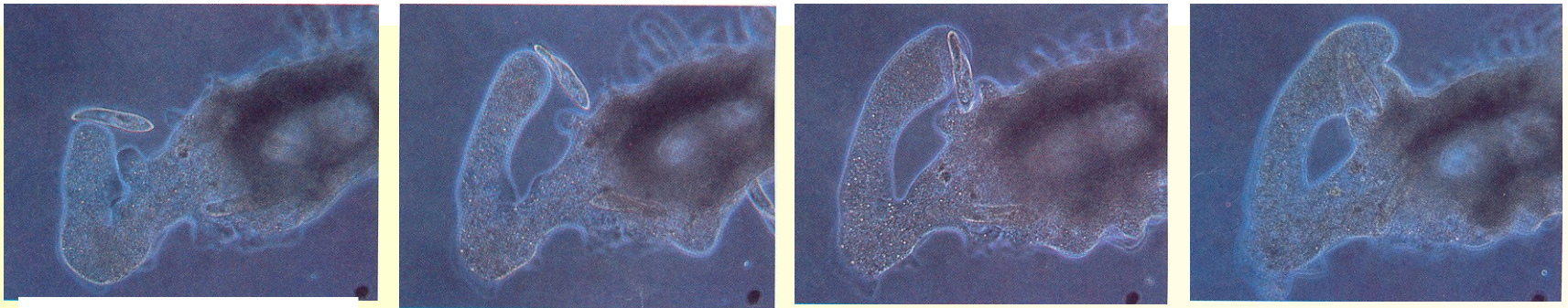
Микрошипы=филоподии

Филоподии

Ламеллоподии



Белки, связывающие F-актин при образовании пучков и сетей,



Псевдоподии

Ламеллоподии

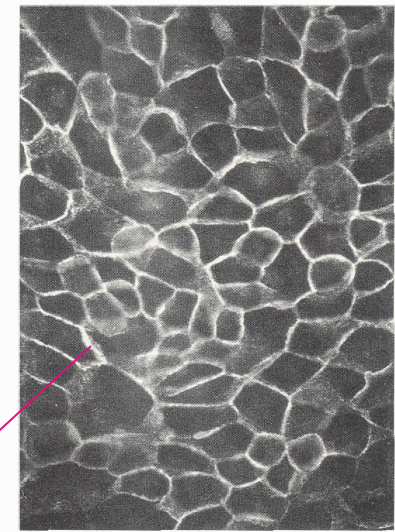
Микрошипы=филоподии

Микроворсинки
(в щеточной каёмке)

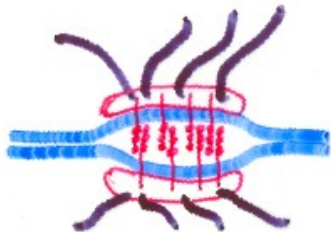
Стресс-фибриллы=
напряженные нити



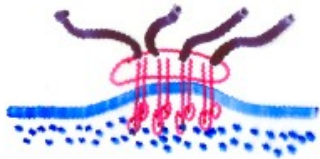
Актиновые филаменты в клеточных контактах



Десмосома

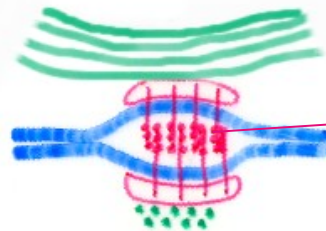


Полудесмосома

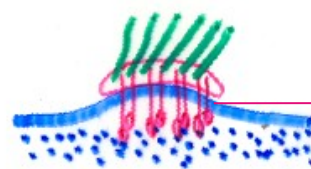


Промежуточные
филаменты

Опоясывающая
десмосома



Фокальный контакт



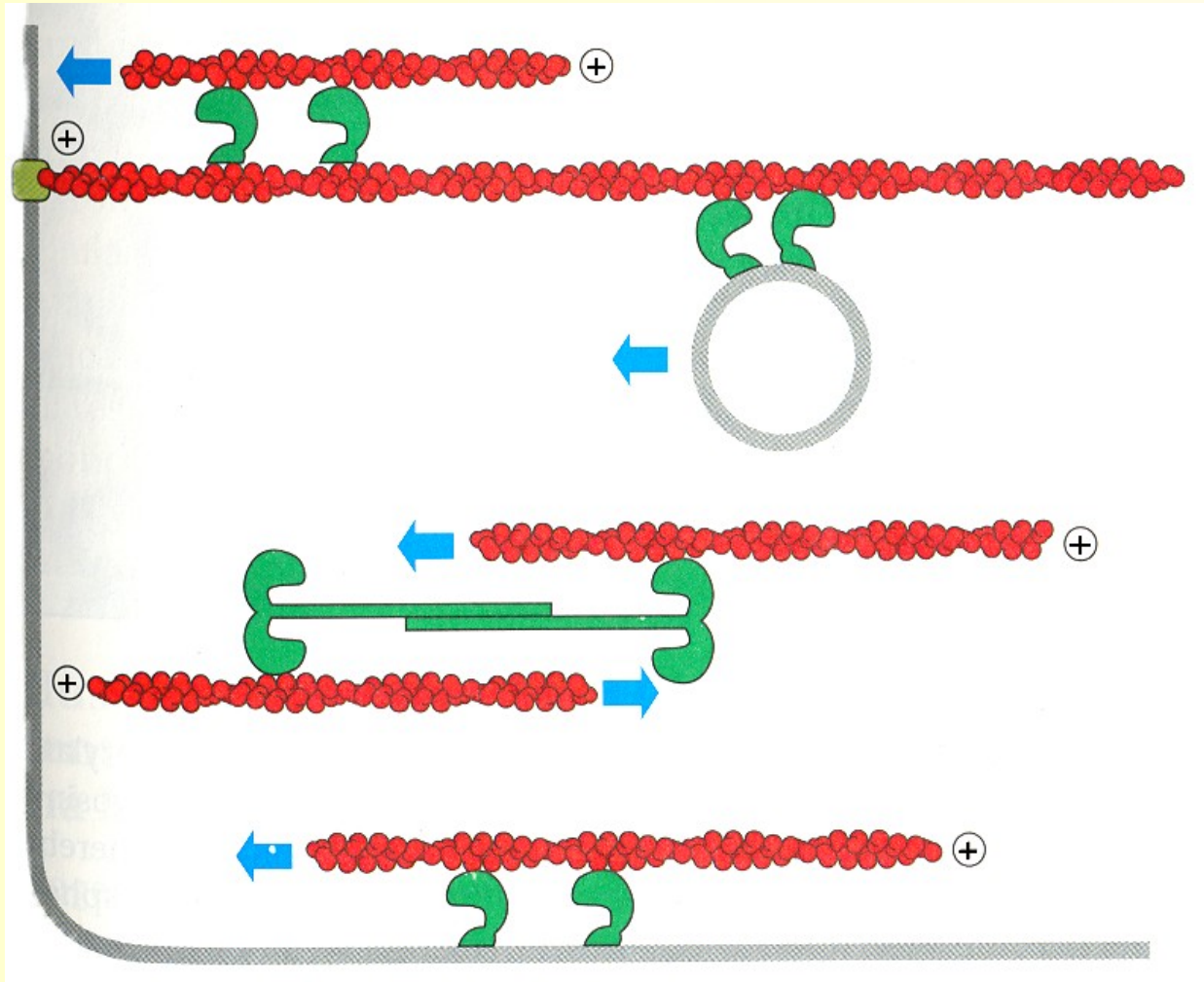
Микрофиламенты

Интегральные белки:

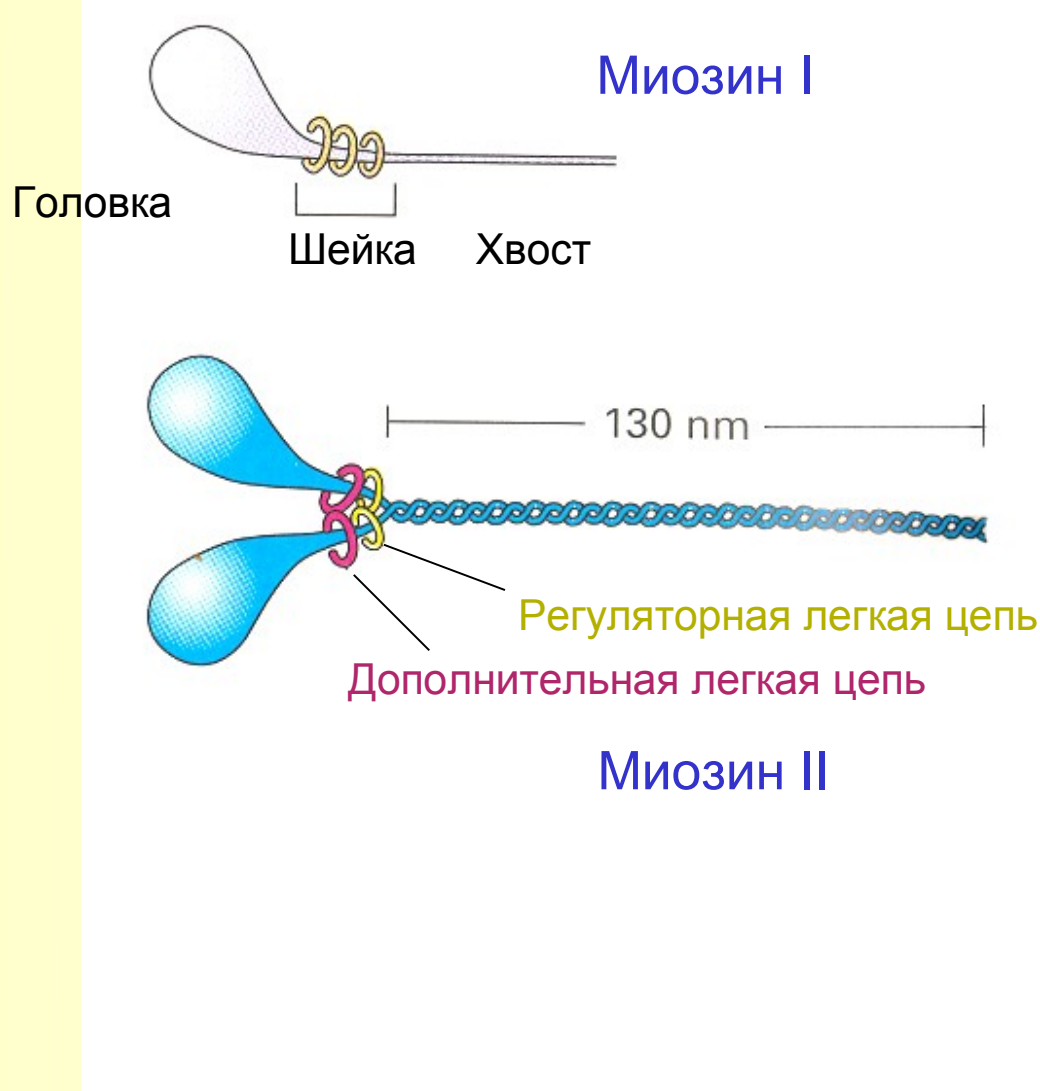
Кадхерины

Интегрины

Моторные белки — миозины, могут двигаться вдоль актиновой нити



Белки, связывающиеся с актином

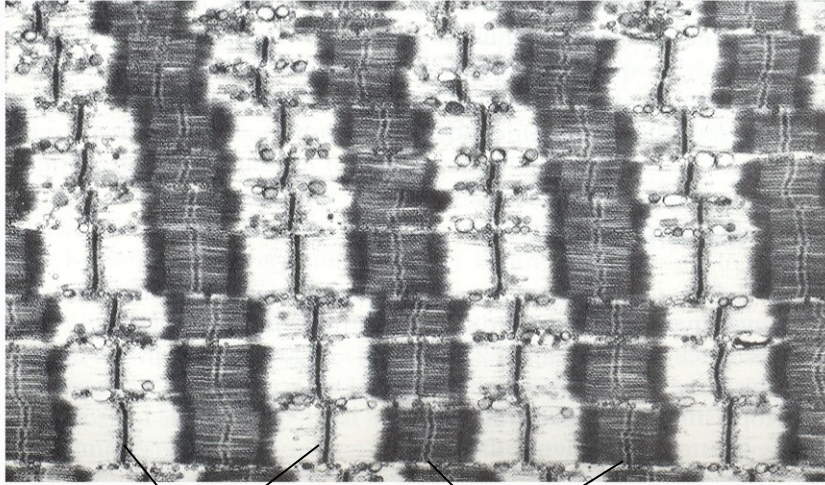


Миозины - белки, способные передвигаться вдоль актинового филамента.

Миозины I типа могут переносить различные молекулы и небольшие мембранные пузырьки.

Миозины II типа принимают участие в сокращении мышц.

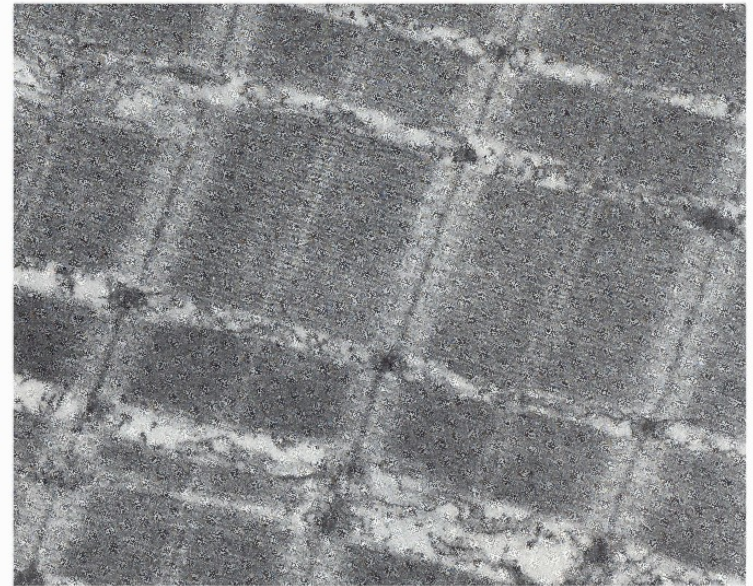
Актин-миозиновые волокна

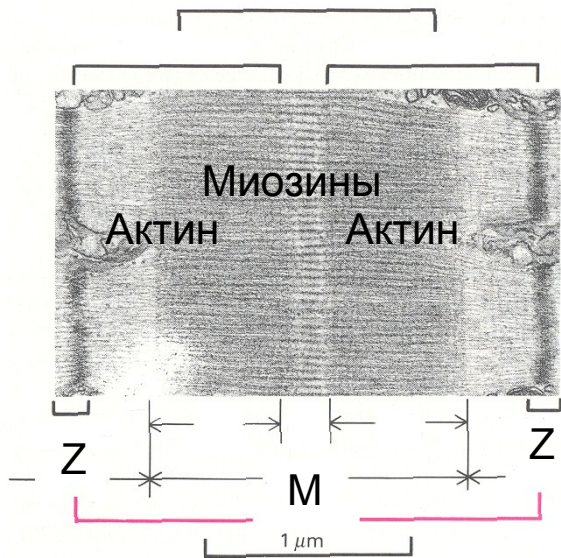


Z-диски

M-диски

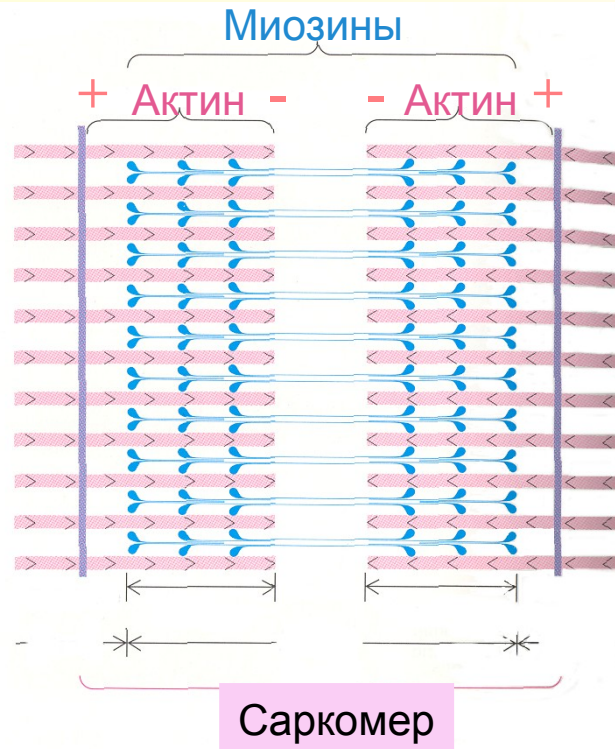
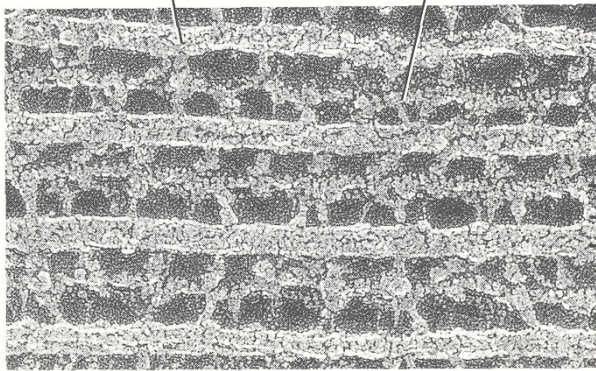
Поперечно-полосатые мышцы





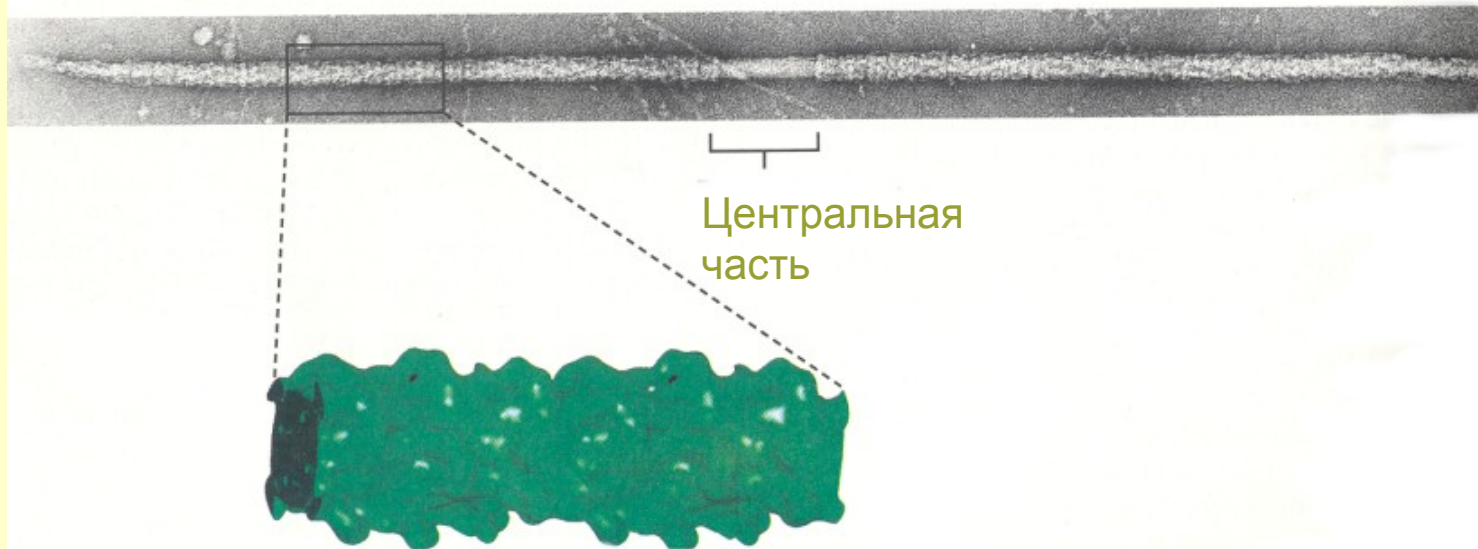
М.Ф.

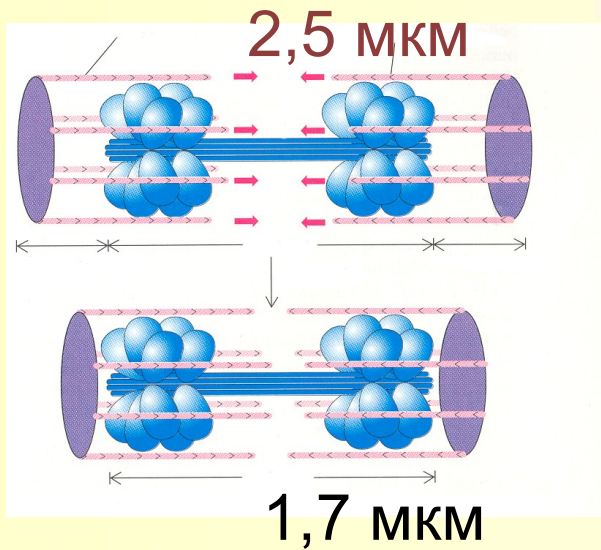
А.Ф.



- Актиновая фибрилла
- Головки миозинов
- Миозиновая фибрилла

Миозиновая
фибрилла



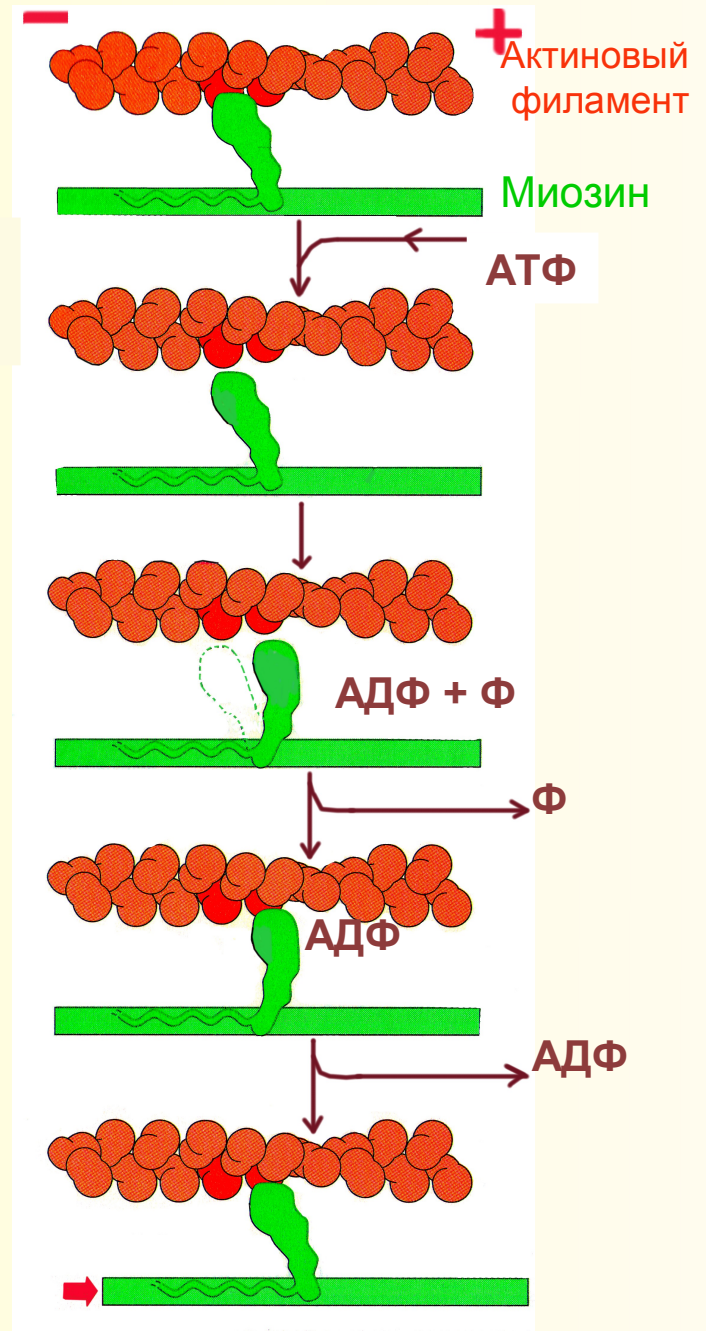


Присоединение
АТФ

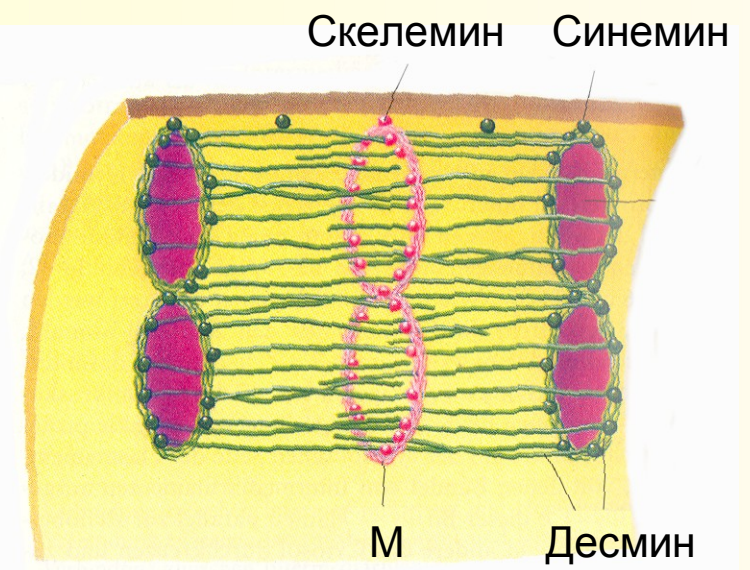
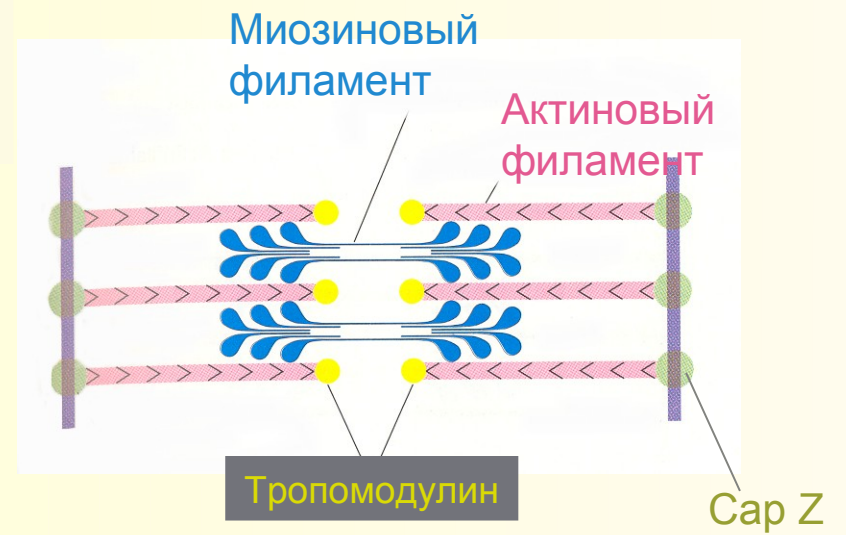
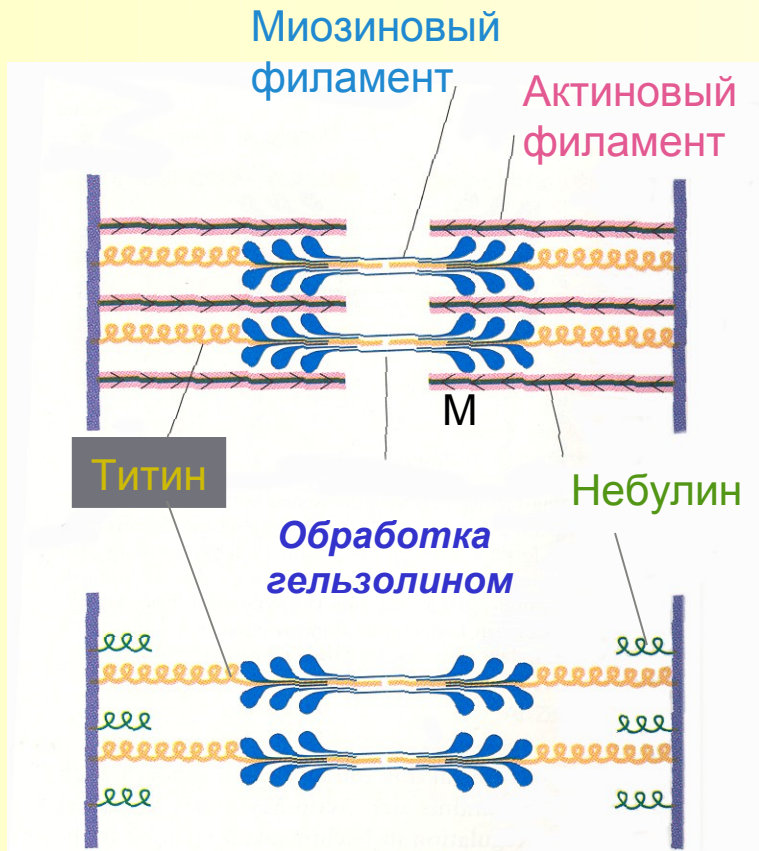
Гидролиз АТФ

Отсоединение
фосфата

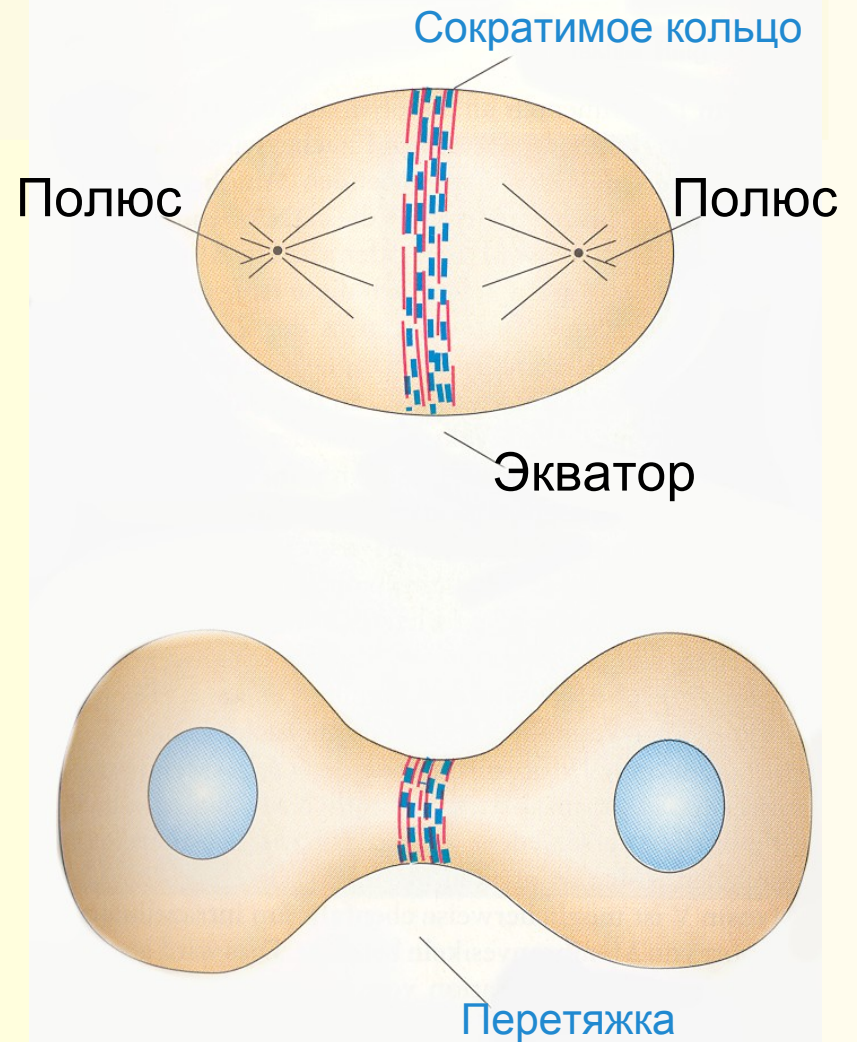
Отсоединение
АДФ



Белки в составе мышечного волокна



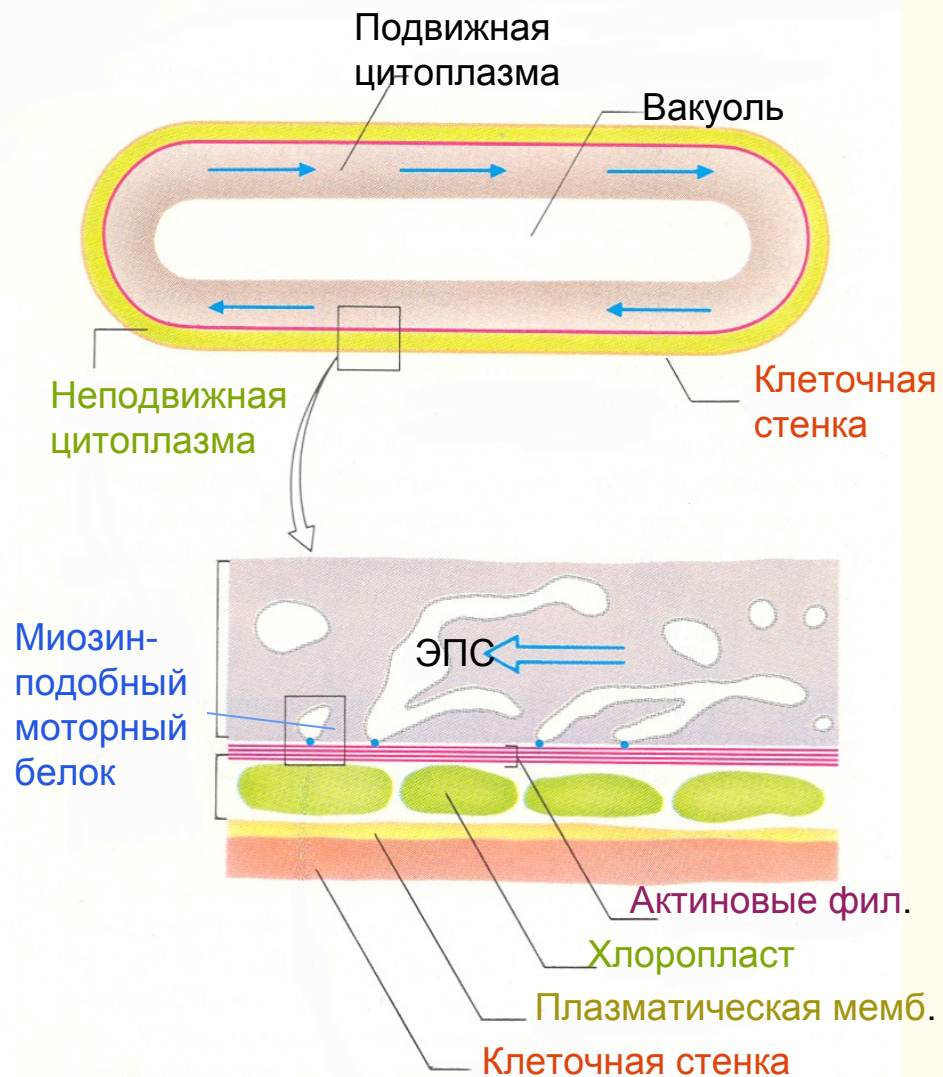
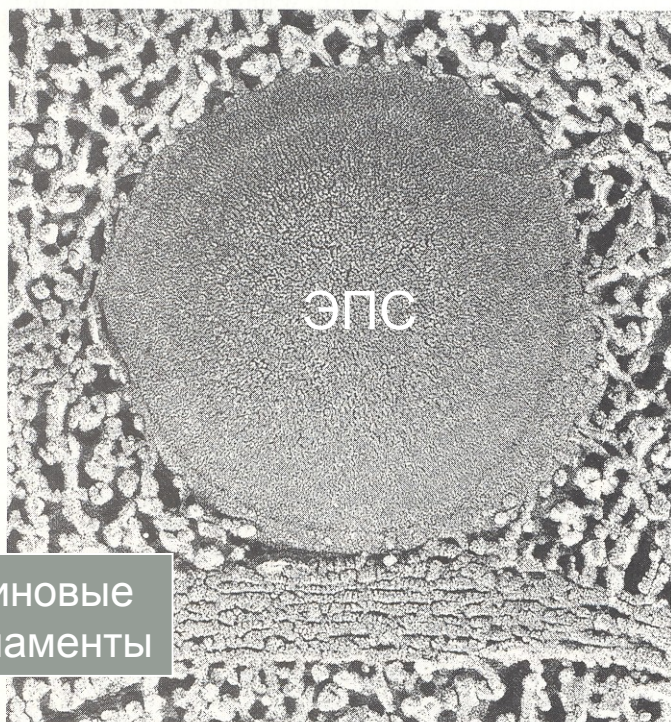
*Микрофиламенты
отвечают
за цитокinesis
животной клетки*



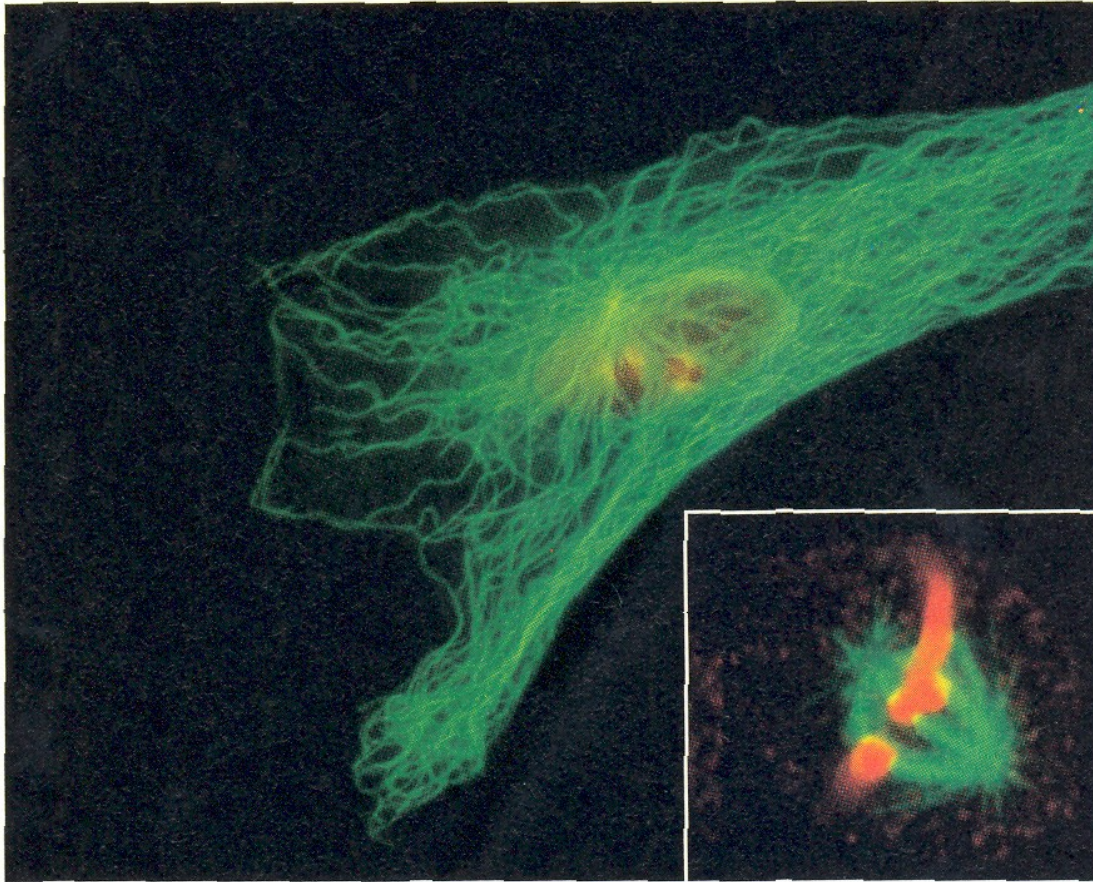
Перетяжка

Перетяжка

Актиновые филаменты участвуют в движении цитоплазмы растительной клетки

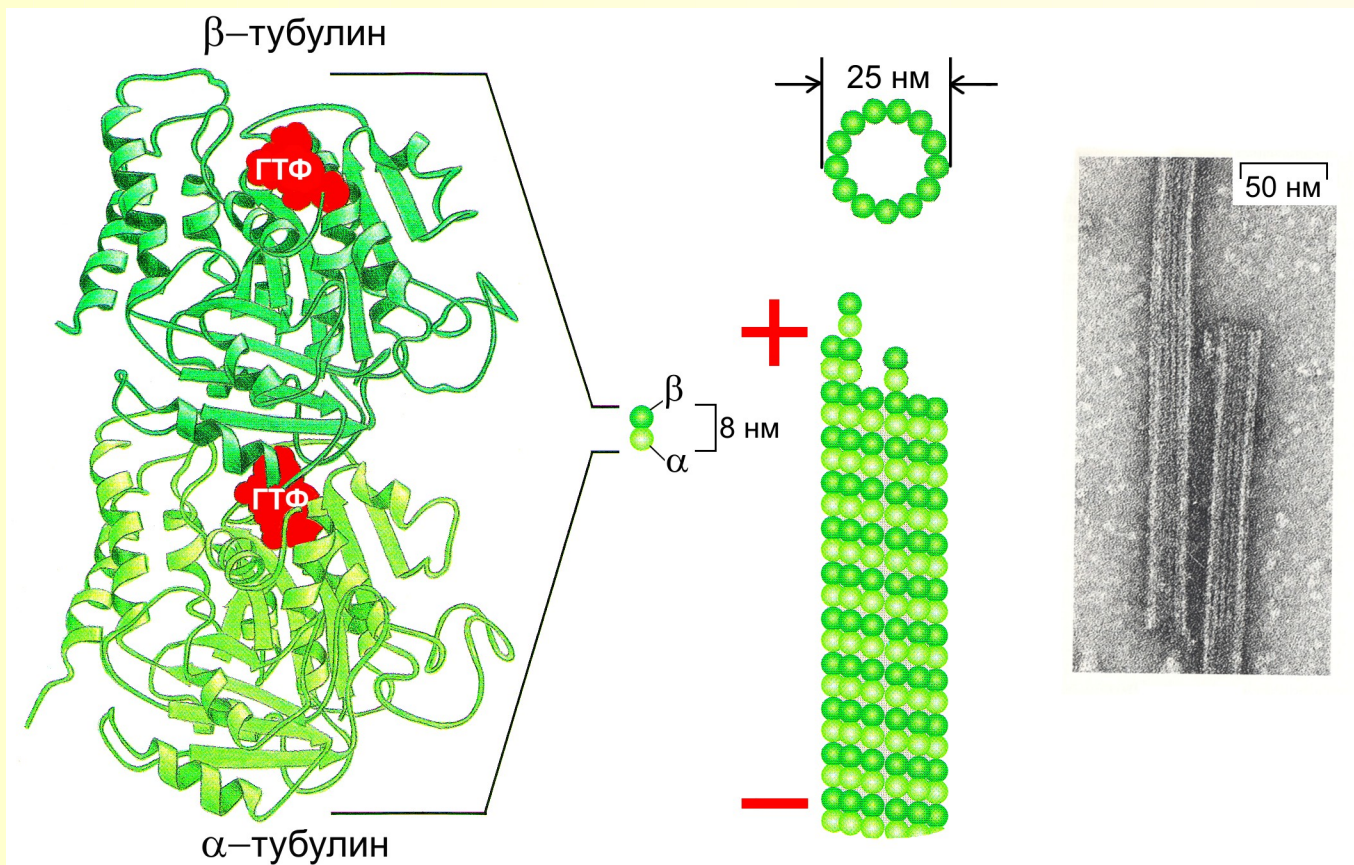


Микротрубочки в интерфазной и делящейся клетке

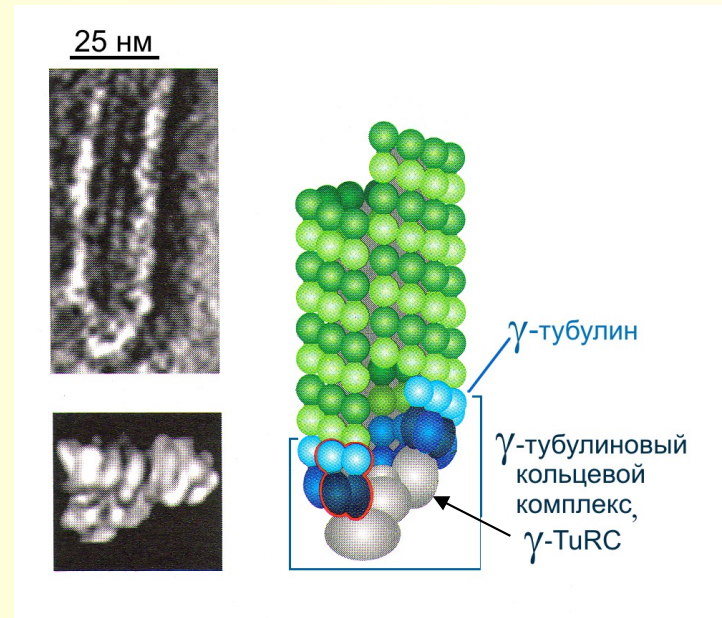


Зеленое
свечение -
бета-тубулин,
оранжевое -
ДНК

Микротрубочки состоят из димеров тубулина

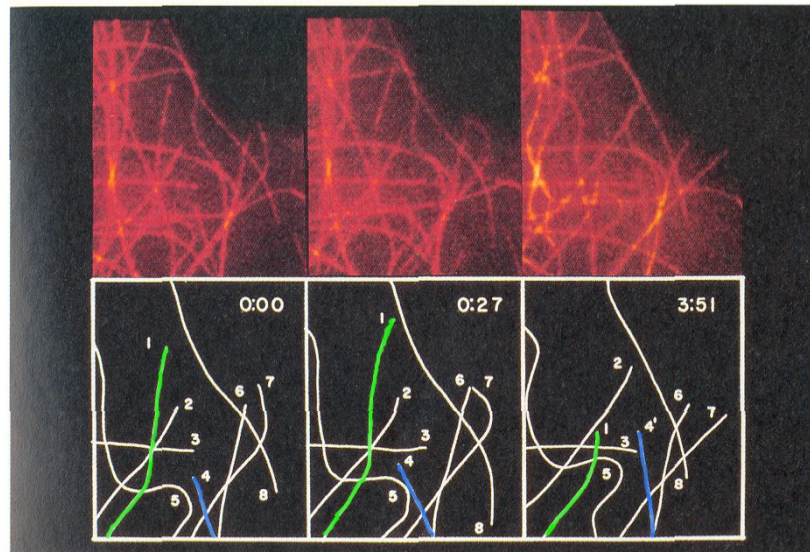


Полимеризация димеров тубулинов может начаться только с гамма-тубулинового кольцевого комплекса — это минус-конец микротрубочки, т.е. у микротрубочки может удлиняться только плюс-конец. Минус-конец удлиняться не может.



Деполимеризации обычно подвергается плюс-конец. Минус-конец не может укорачиваться пока на нем находится гамма-тубулиновый кольцевой комплекс. Только, когда этот комплекс будет отсутствовать, минус-конец приобретает возможность деполимеризации.

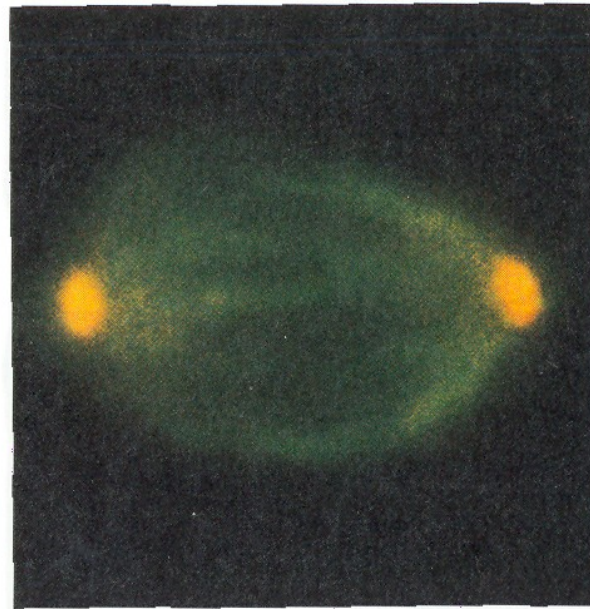
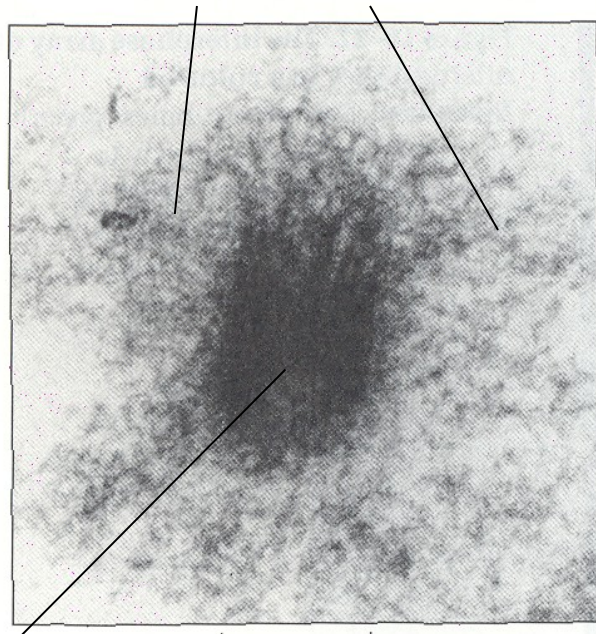
Микротрубочки – динамические структуры



Гамма-тубулиновые кольцевые комплексы у животных находятся в клеточном центре.

Клеточный центр — это скопление более чем 80 типов различных белков. Минус-концы микротрубочек находятся внутри этого скопления. А в центре его находятся две центриоли.

Скопление белков



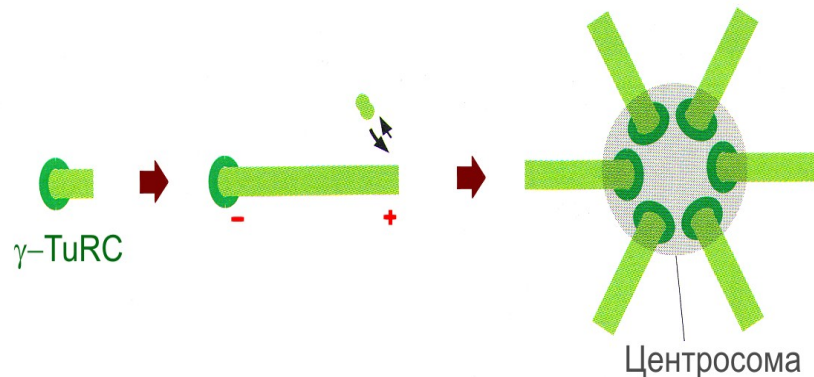
Тубулины в делящейся животной клетке. Зеленое свечение - бета-тубулин, желтое свечение - гамма-тубулин.

Центриоль

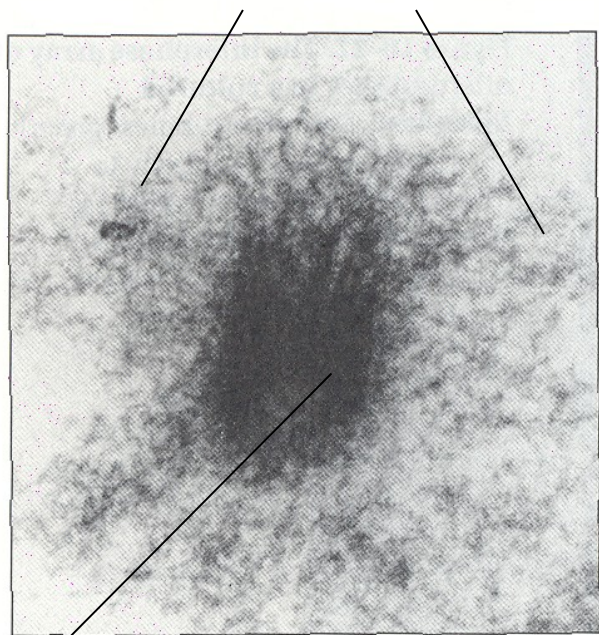
200 nm

5 μm

Гамма-тубулиновые кольцевые комплексы у животных находятся в клеточном центре.

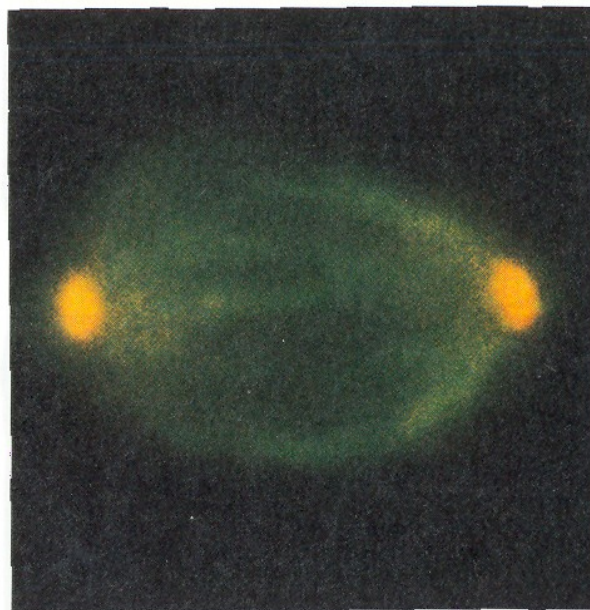


Скопление белков



Центриоль

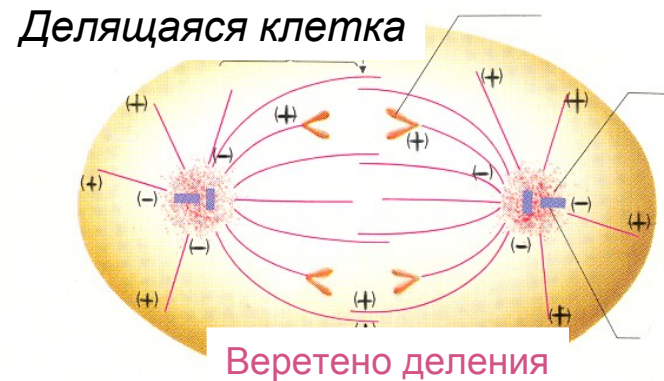
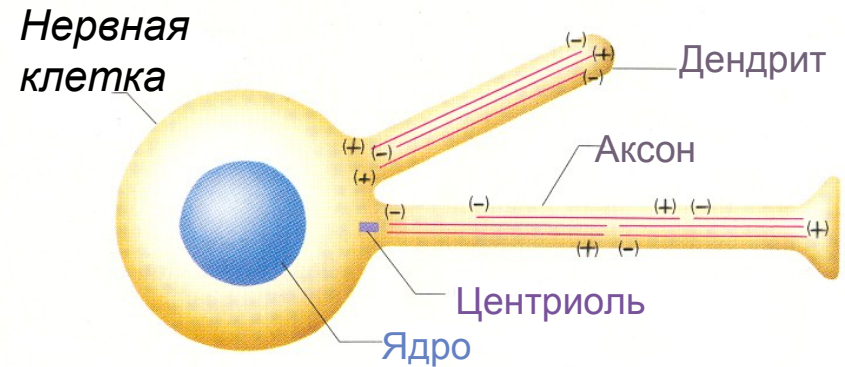
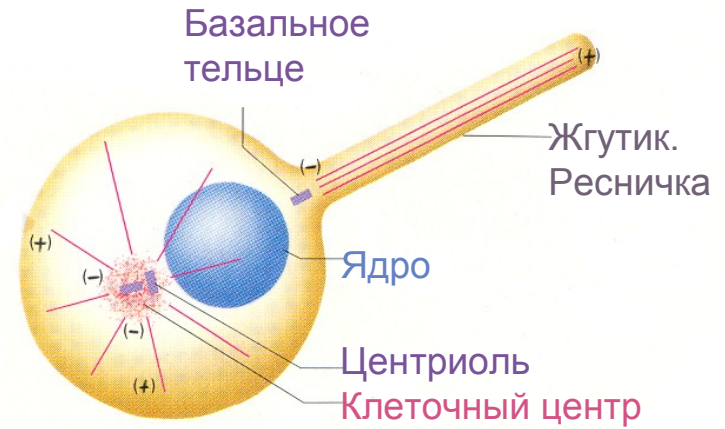
200 nm



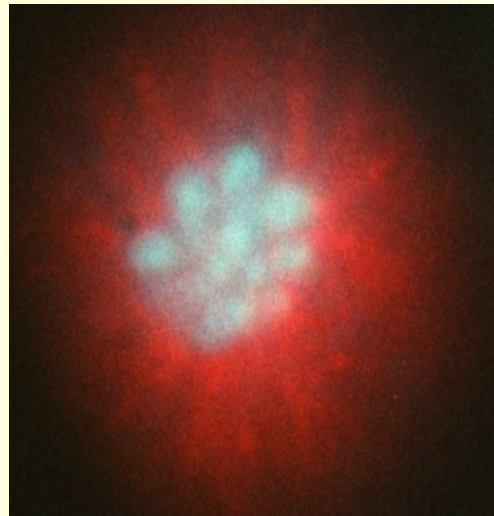
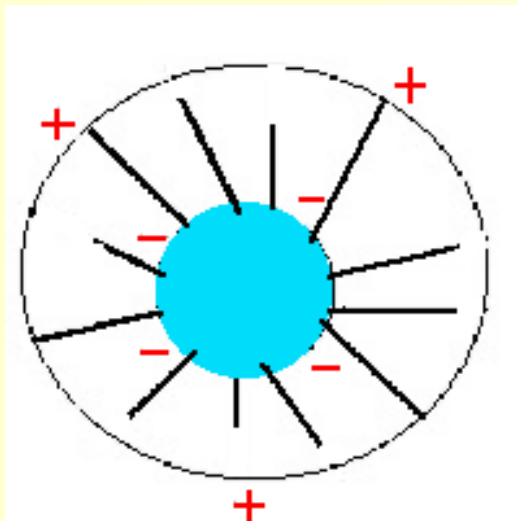
5 μm

Тубулины в делящейся животной клетке.
Зеленое свечение - бета-тубулин,
желтое свечение - гамма-тубулин.

Расположение микротрубочек в животных клетках

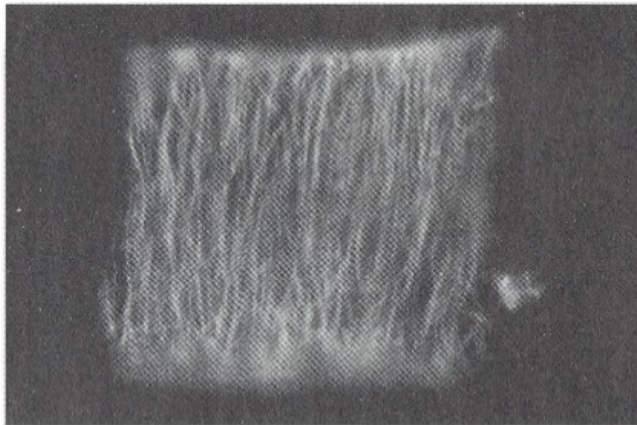
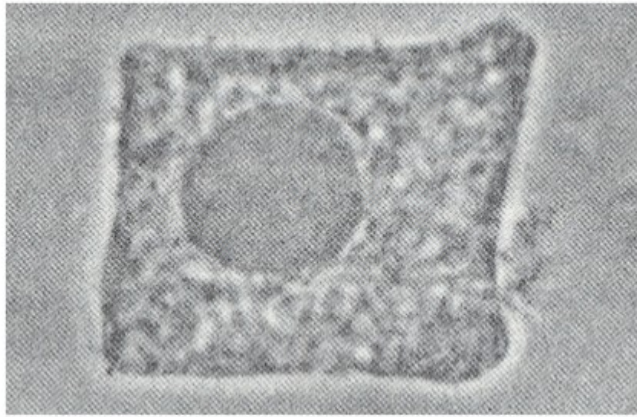


У растений гамма-тубулиновые кольцевые комплексы находятся рядом с ядерной оболочкой. Микротрубочки растут от поверхности ядра к клеточной периферии.

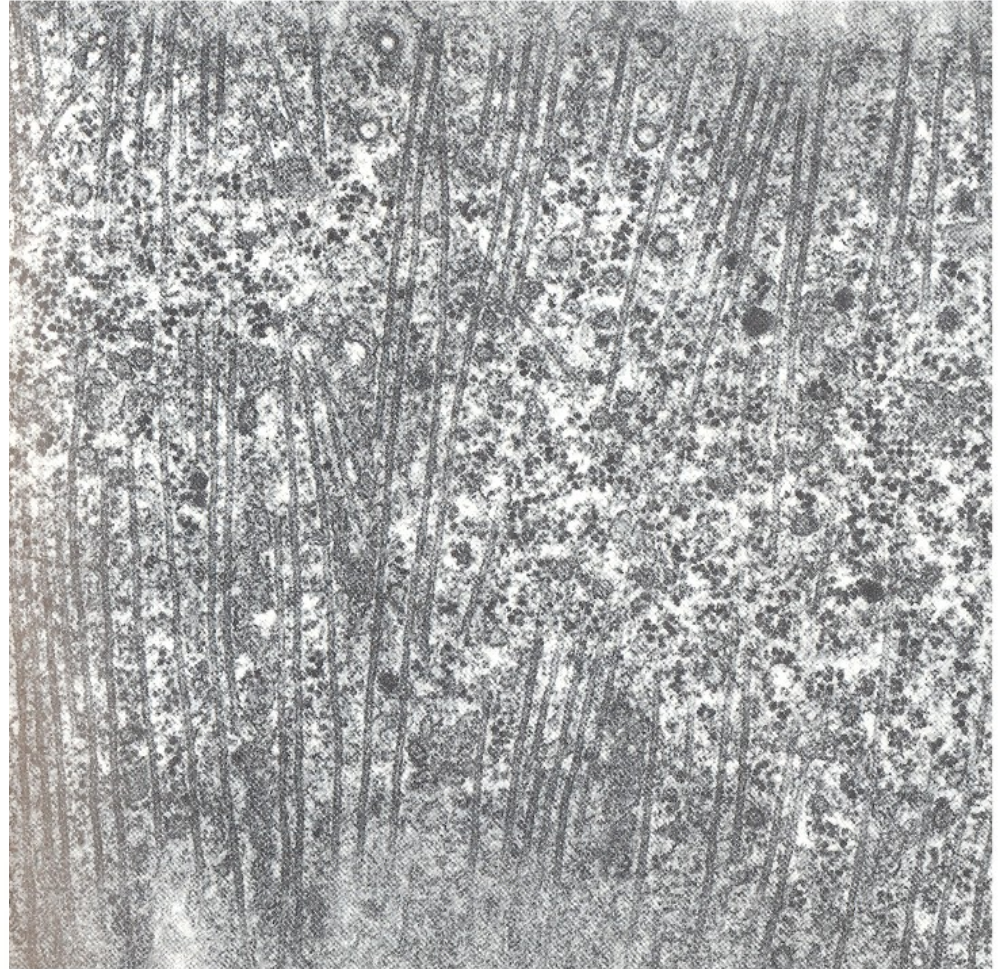


Интерфазная растительная клетка.
Красное свечение - бета-тубулин,
голубое свечение - ДНК хромосом

После образования часть микротрубочек перемещается от ядерной оболочки к плазматической мембране, образуя кортикальный слой микротрубочек.



10 μm



Белки, взаимодействующие с микротрубочками

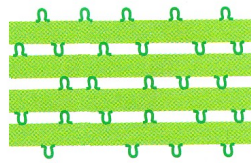
MAP65

организует пучки микротрубочек с расстоянием 25-30 нм

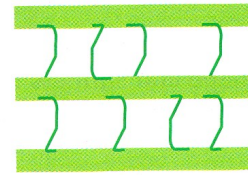
MAP4 способствует выпрямлению микротрубочек

tau-, MAP2 -образует латеральные связи микротрубочек, связь с мембранами

MAP2c – связывает микротрубочки с актином

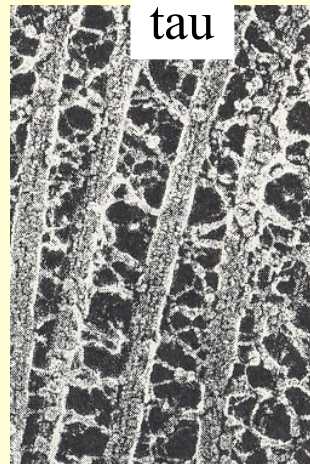
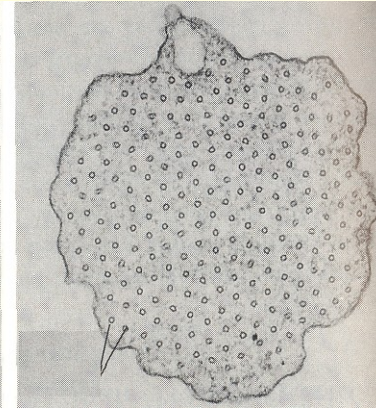
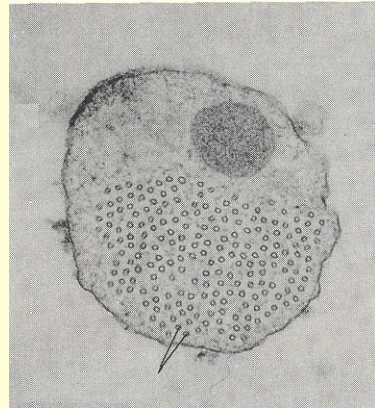


tau

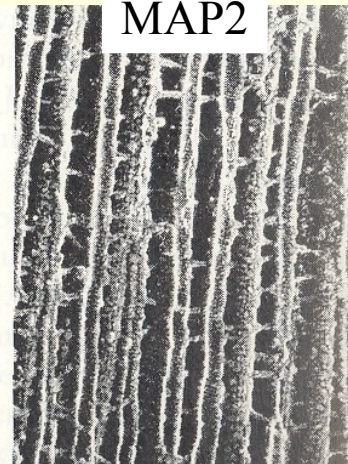


MAP-2

**Поперечные
срезы через
пучки
микротрубочек
разной
плотности**

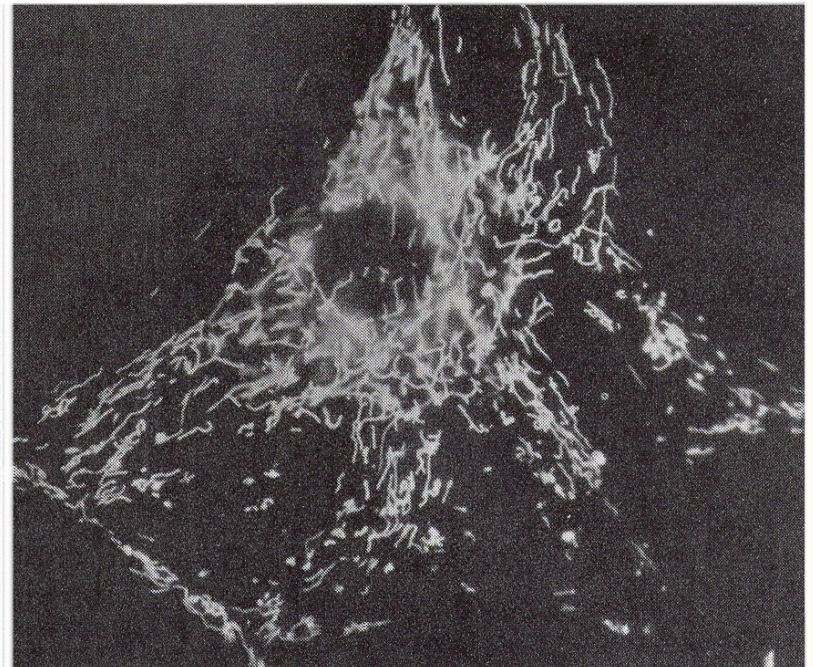
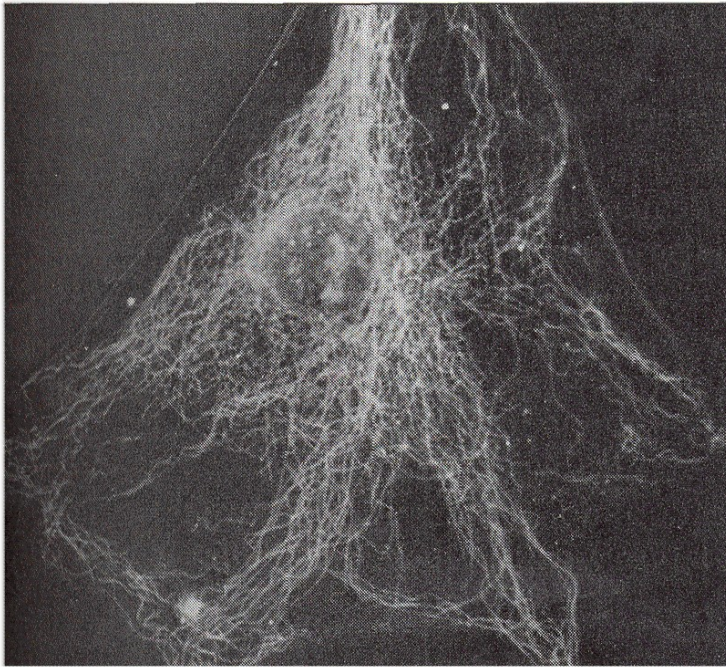


tau



MAP2

Распределение митохондрий (справа) в клетке соответствует расположению микротрубочек (слева). Это результат того, что митохондрии распространяются в клетке по микротрубочкам.



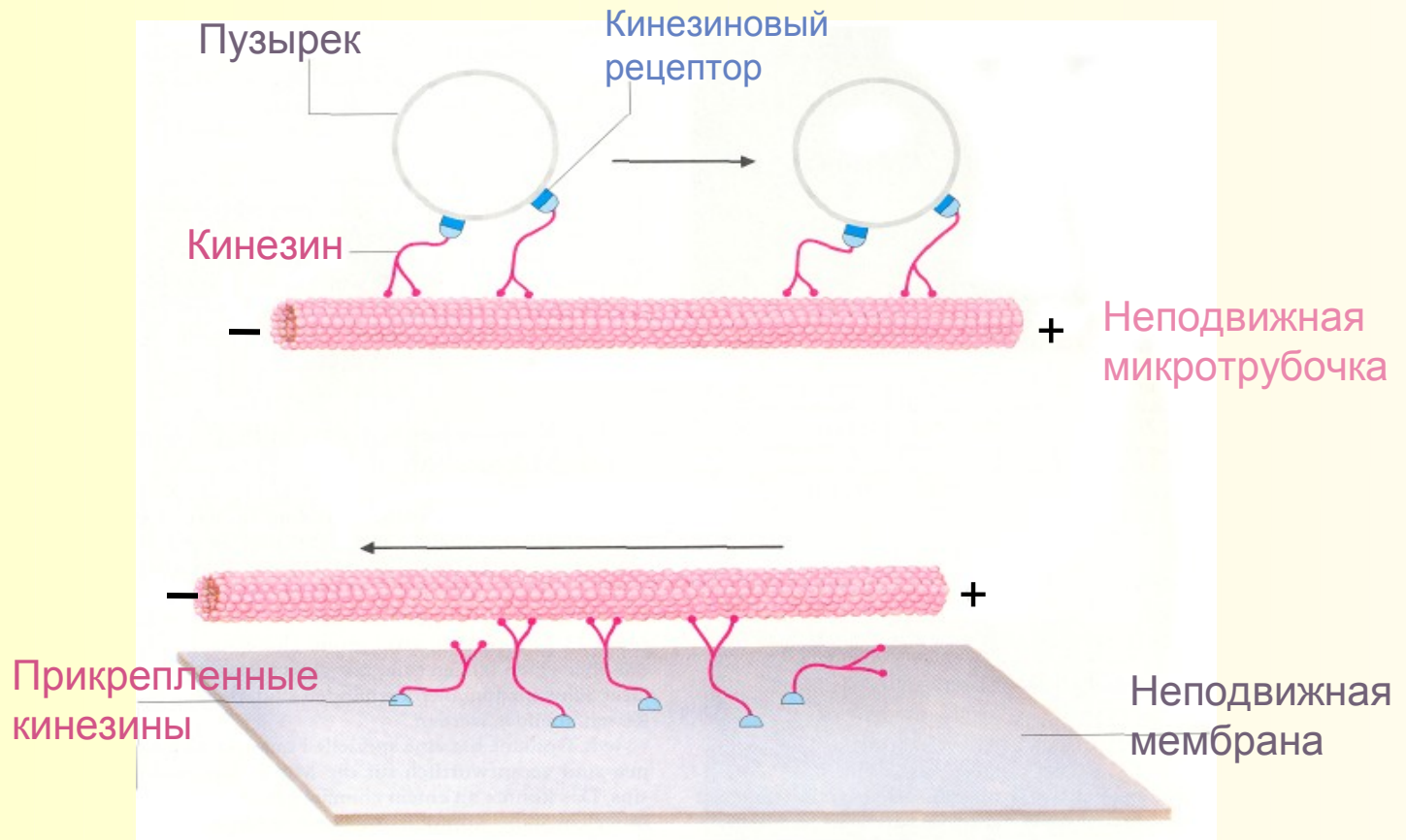
Белки, препятствующие полимеризации микротрубочек



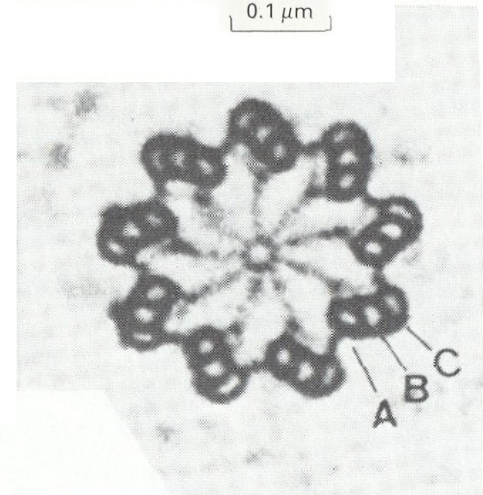
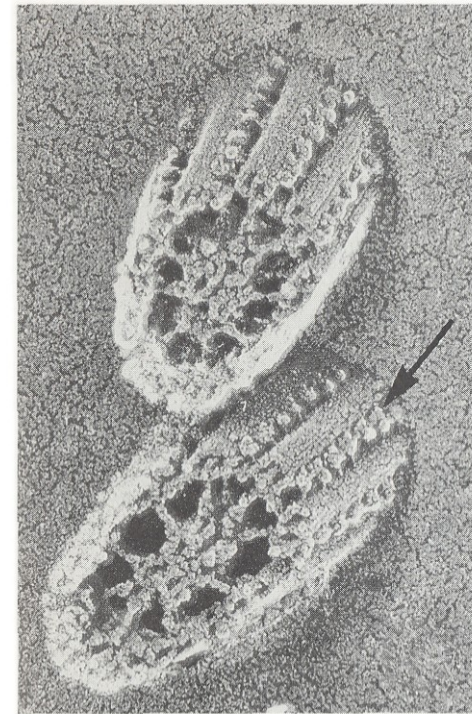
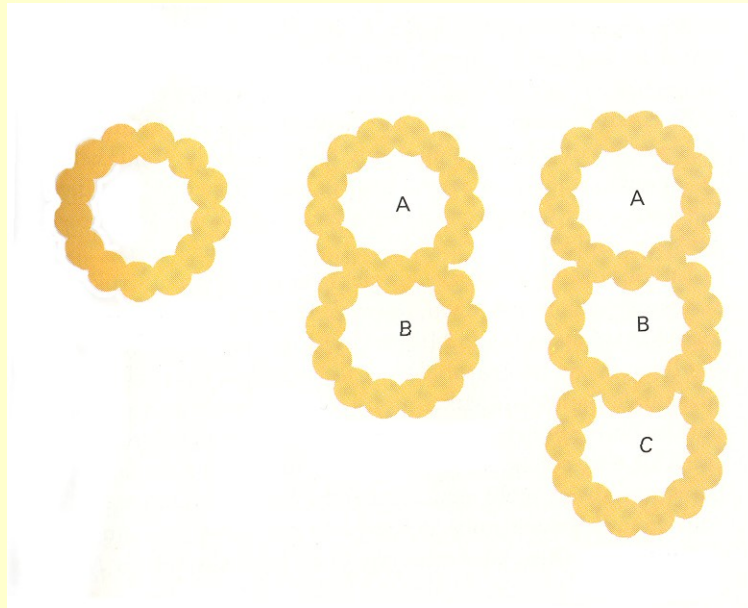
Белки, вызывающие фрагментацию микротрубочек



По микротрубочкам могут двигаться **моторные белки**. Одни из них двигаются минус-концу, другие - к плюс-концу Их называют **кинезины/динеины** и **кинезин-подобные** и **динеин-подобные белки**. Моторные белки переносят хромосомы во время клеточного деления, митохондрии и другие органойды клетки.

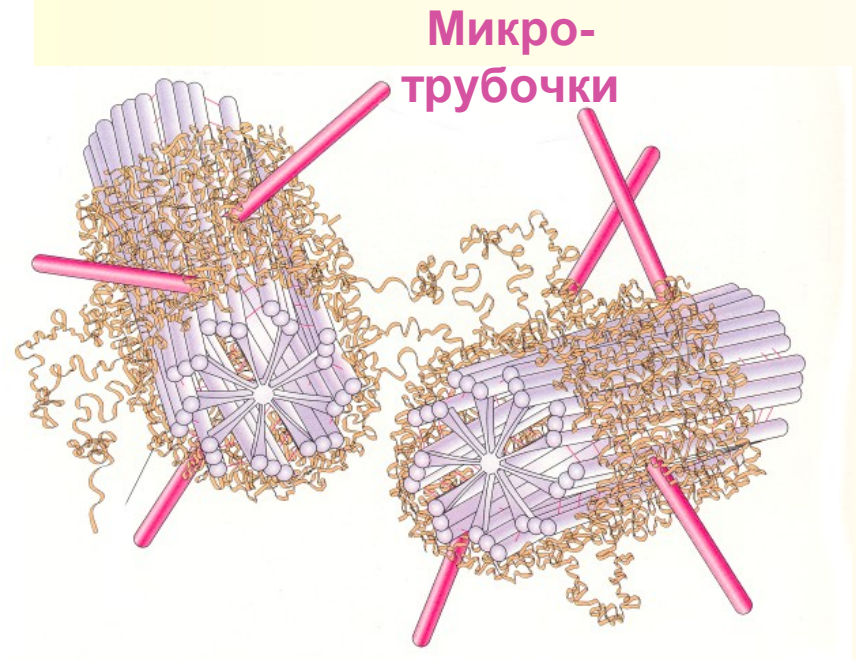
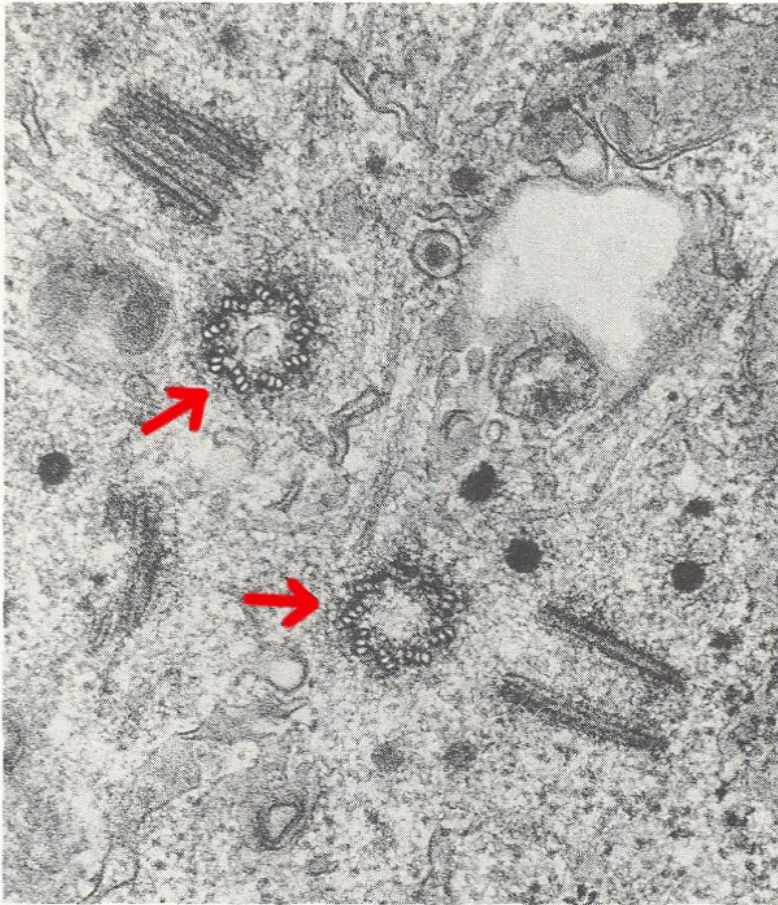


Альфа- и бета-тубулины могут образовывать дуплеты и триплеты. Они находятся в основе центриолей, базальных телец и жгутиков.



Базальное тельце

Центриоли

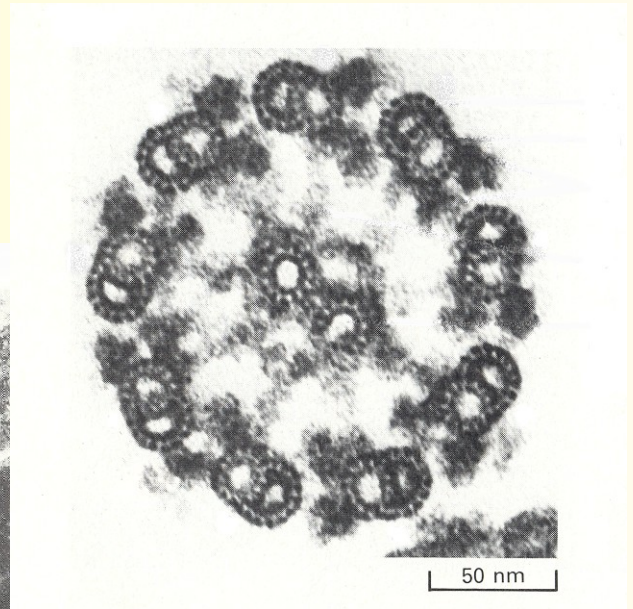
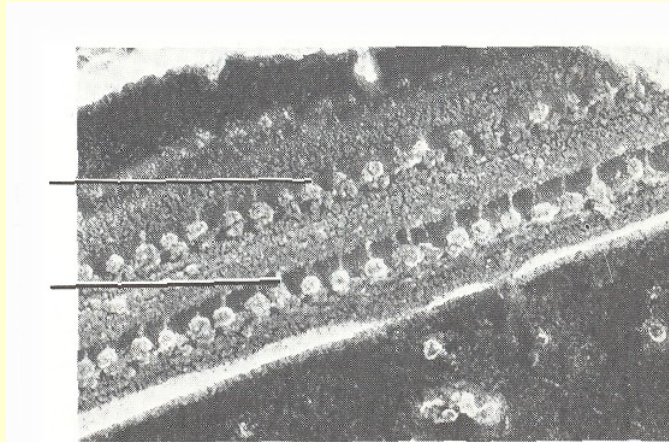


Жгутик

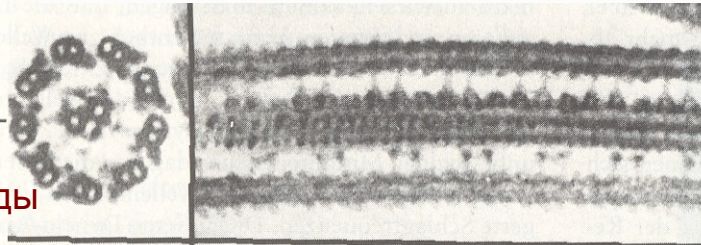
Динеиновые ручки:

внутренние

наружные



Жгутик
нормальной
хламидомонады



Жгутик
неподвижного
мутанта

