

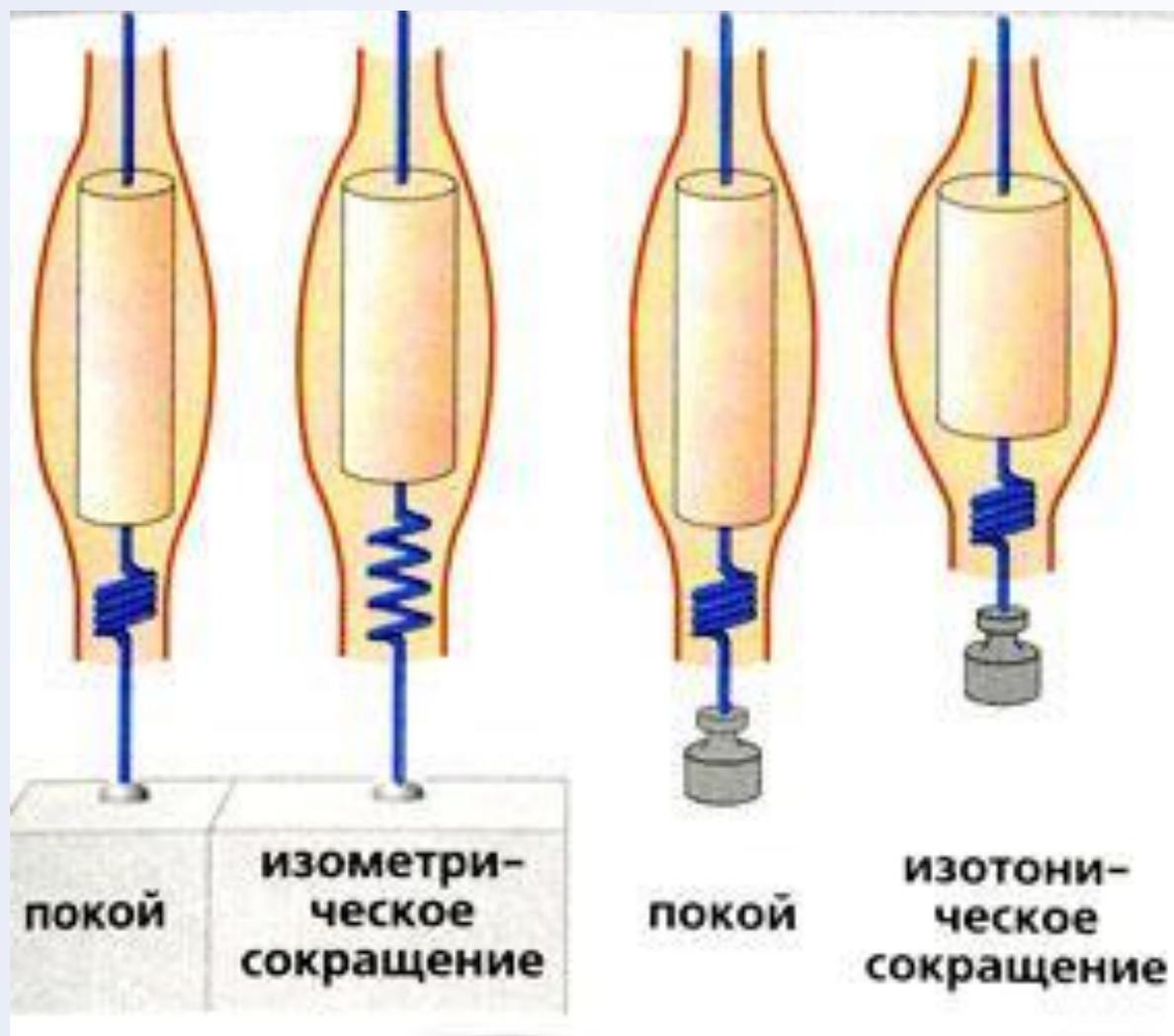
**Физиологические свойства скелетной  
мускулатуры и мышц внутренних  
органов**

**Движение**



## Типы мышечных сокращений

- **изотонически** – мышца укорачивается при постоянном напряжении (внешней нагрузке); изотоническое сокращение воспроизводится только в эксперименте; изменяется длина мышечного волокна без изменения тонуса. Такое сокращение происходит в том случае, когда мышца не перемещает груз.
- **изометрически** – напряжение мышцы возрастает, а ее длина не изменяется; мышца сокращается изометрически при совершении статической работы; возрастает напряжение мышечного волокна без изменения его длины. Такое сокращение мышцы можно получить при попытке поднять непосильный груз.
- **ауксотонически** – напряжение мышцы изменяется по мере ее укорочения; ауксотоническое сокращение выполняется при динамической преодолевающей работе. сокращения мышц всегда имеют смешанный характер, т. е. происходит изменение и длины, и напряжения мышцы.



## **Правило средних нагрузок**

**мышца может совершить максимальную работу при средних нагрузках. Работа мышц измеряется произведением поднятого груза на величину укорочения мышцы. Между грузом, который поднимает мышца, и выполняемой ею работой существует следующая закономерность. Внешняя работа мышцы равна нулю, если мышца сокращается без нагрузки. По мере увеличения груза работа сначала увеличивается, а затем постепенно падает. Наибольшую работу мышца совершает при некоторых средних нагрузках.**

**Утомление** – физиологическое состояние мышцы, которое развивается после совершения длительной работы и проявляется снижением амплитуды сокращений, удлинением латентного периода сокращения и фазы расслабления. Причинами утомления являются: истощение запаса АТФ, накопление в мышце продуктов метаболизма. Утомляемость мышцы при ритмической работе меньше, чем утомляемость синапсов. Поэтому при совершении организмом мышечной работы утомление первоначально развивается на уровне синапсов ЦНС и нейромышечных синапсов.

# Механизмы

Полимеризация и деполимеризация белков: актин, тубулин.

Энергозависимые транспортные белки: кинезин, динеин, миозин

Актин – самый распространённый белок эукариотических клеток (5%), в мышечных клетках 20%

Виды актина

G - актин глобулярный мономер

F – фибриллярный актин

## Изомеры актина

Изомер	Ткань
$\alpha$ – актин	Мышечные клетки
$\beta$ – актин	Немышечные клетки
$\gamma$ - актин	Немышечные клетки



# Базисные процессы специализированных (возбудимых) клеток

*Возникновение и проведение возбуждения  
(потенциала действия)*

*Клетки специализированные для движения -  
мышечные*

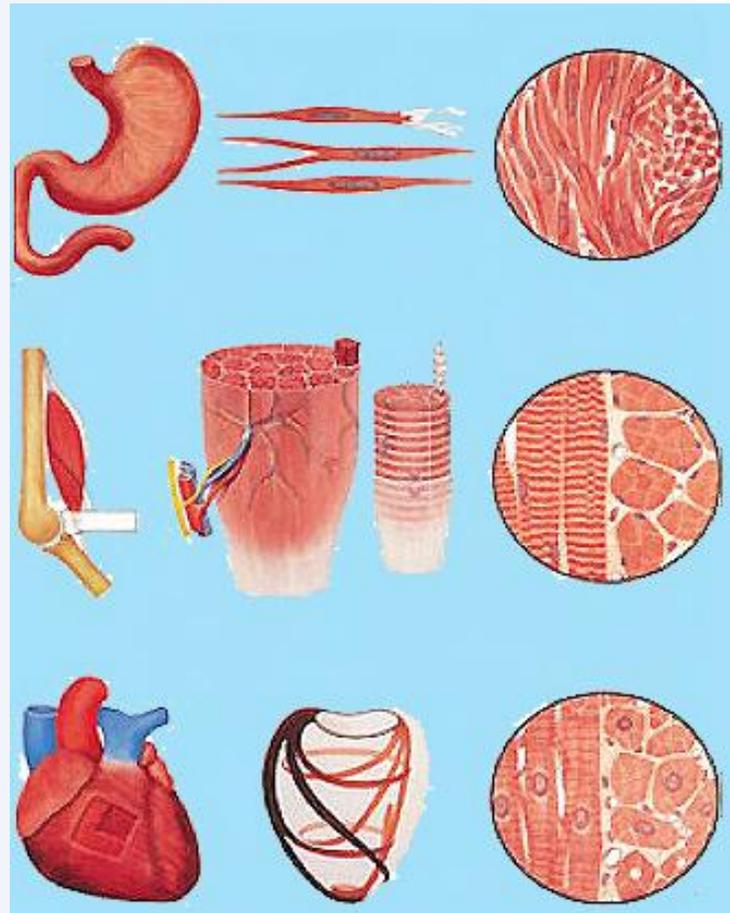
# Типы мышечной ткани

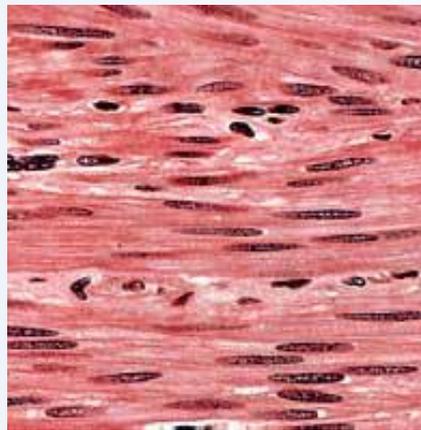
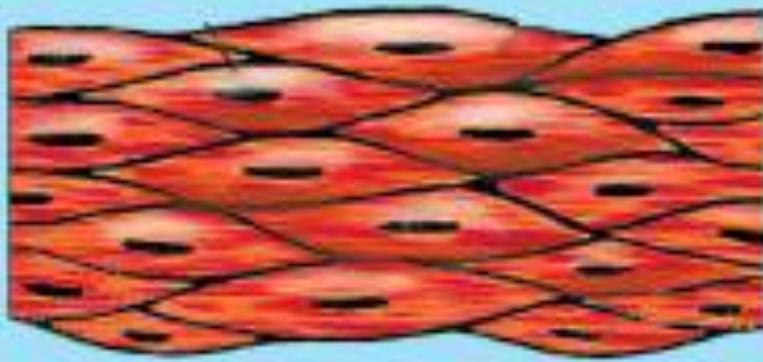
*Гладкие мышцы – стенки внутренних органов*

*Поперечно-полосатые  
мышцы*

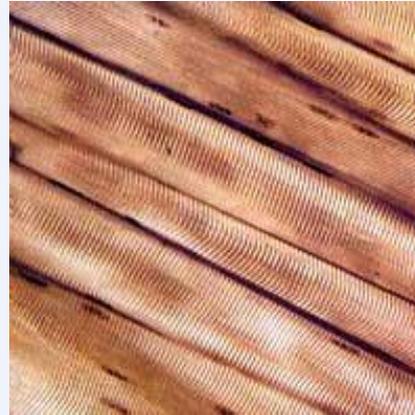
Скелетные мышцы

Сердечная мышца

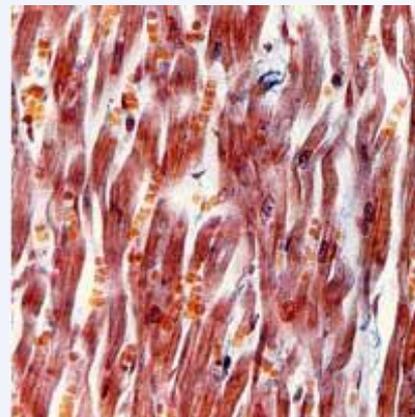
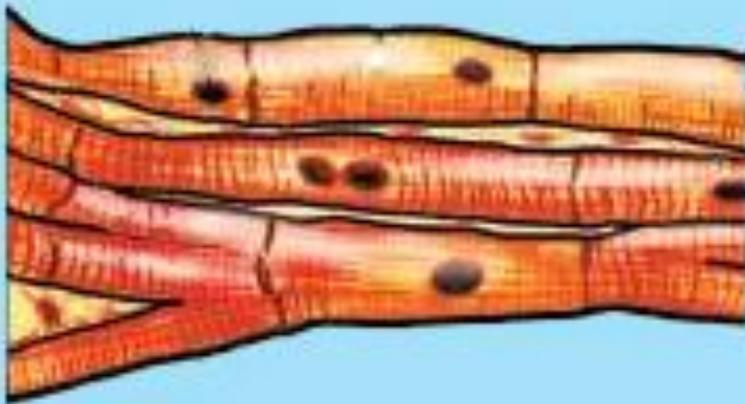




*Гладкие мышцы –  
одноядерные  
клетки*



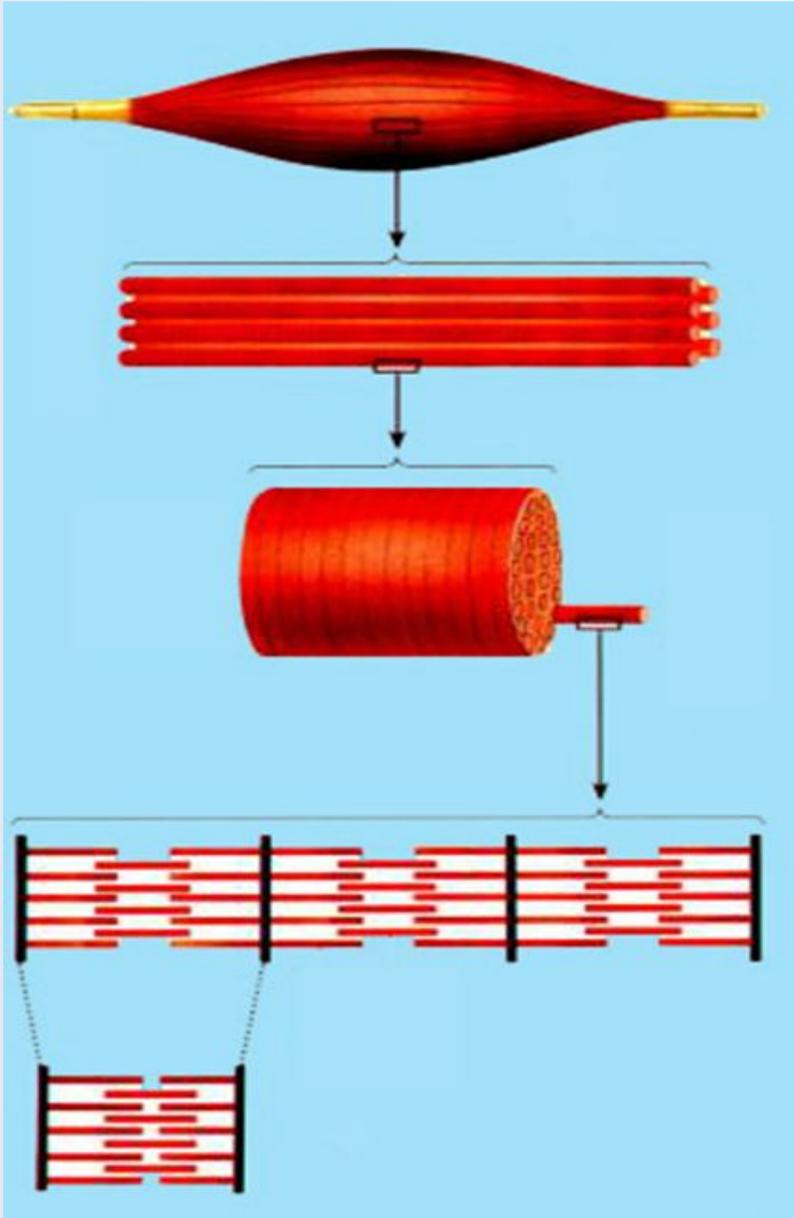
*Скелетные мышцы –  
отчётливо видна  
поперечная  
исчерченность*



*Сердечная мышца  
– одноядерные  
клетки,  
обильное  
кровоснабжение*

***Поперечно-полосатые  
скелетные мышцы.  
Как возникает поперечная  
исчерченность?***

# Организация скелетной мышцы



Целая мышца

Пучок мышечных волокон

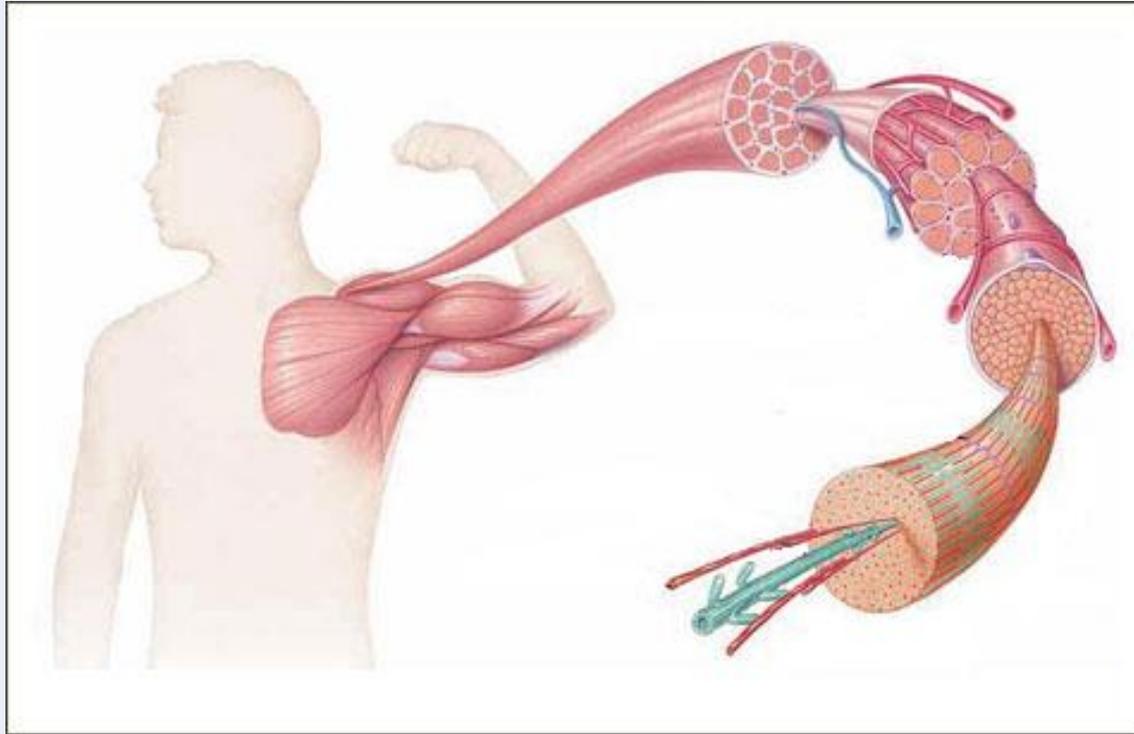
Одиночное мышечное волокно и  
одиночная миофибрилла

Миофибрилла, образованная  
нитьями сократительных белков  
актина и миозина

Структурно-функциональная  
единица миофибриллы - саркомер

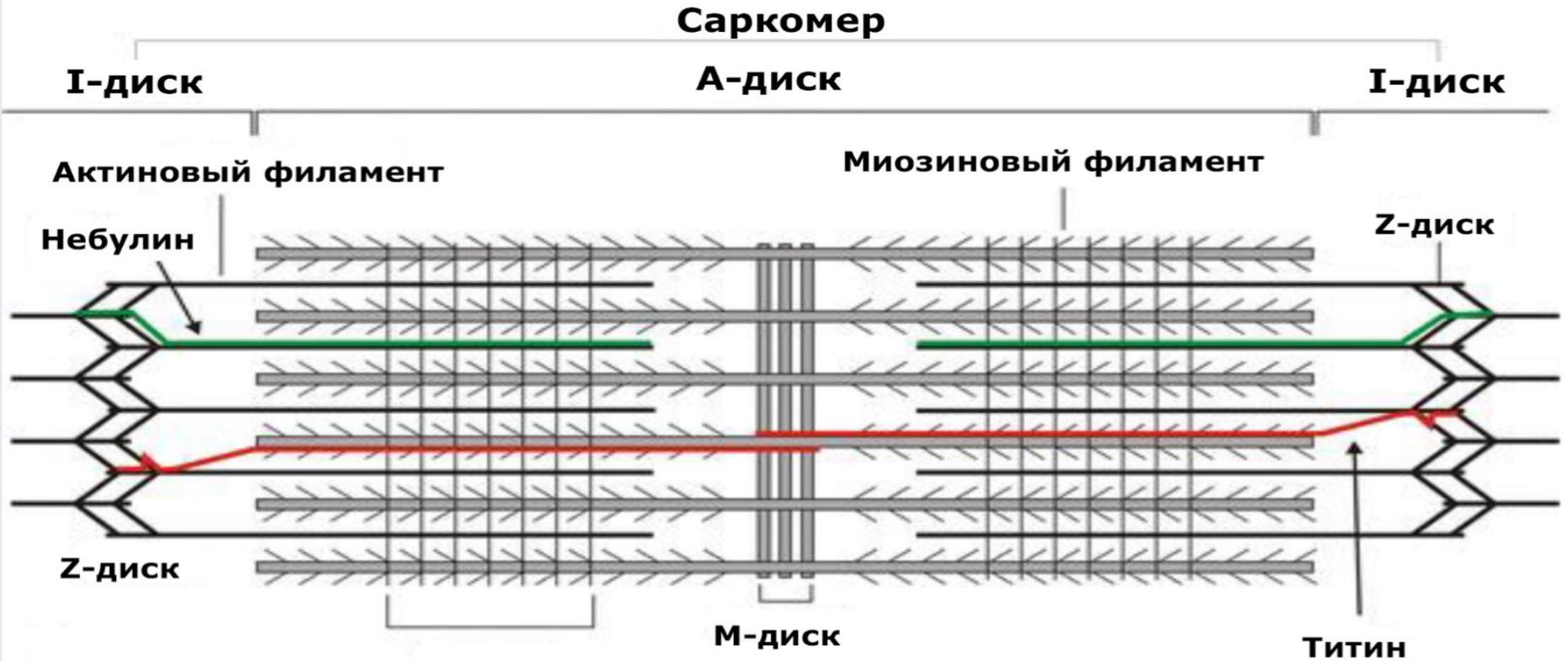


# Организация скелетной мышцы



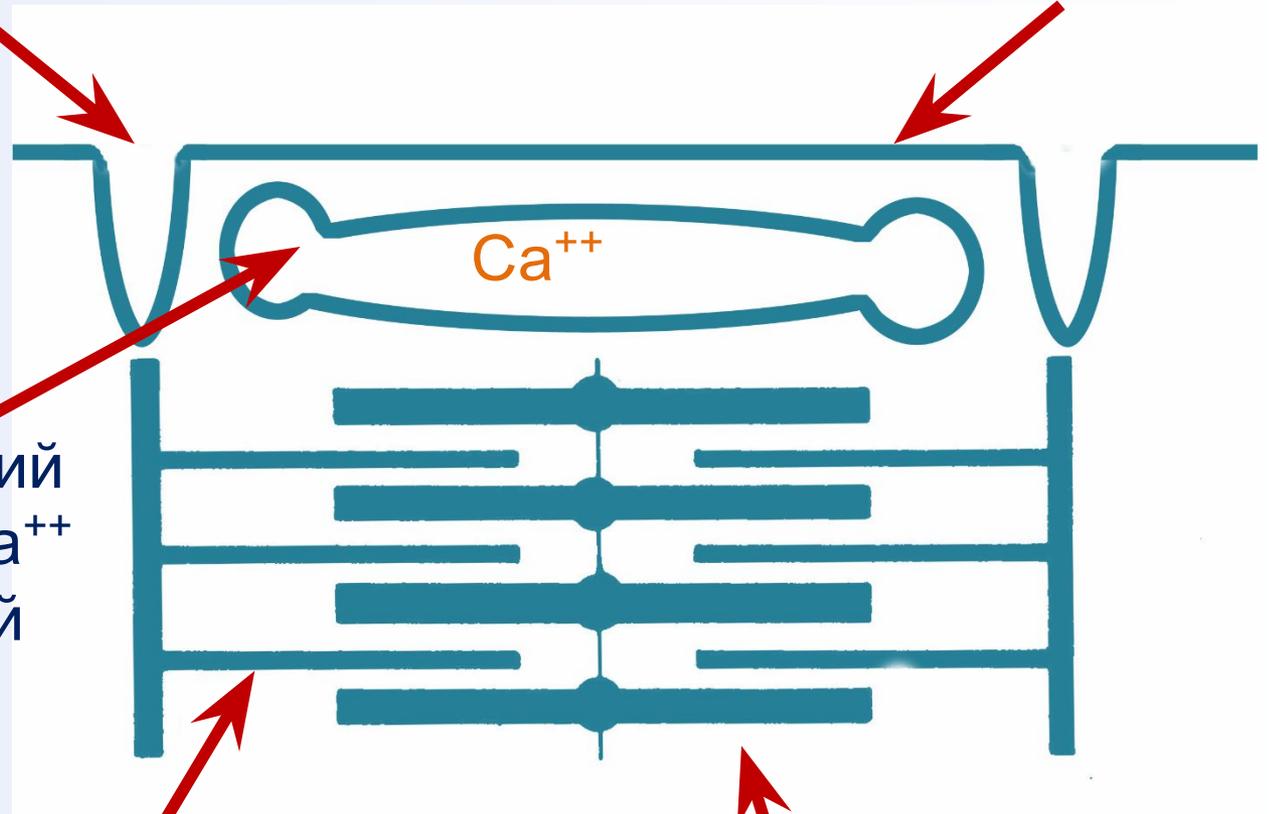
Структурно-функциональной единицей миофибриллы является саркомер, ограниченный 2-мя Z-линиями. В нём чередуются участки толстых миозиновых и тонких актиновых нитей

# Модель саркомера



Поперечные трубочки  
Т-системы

Плазмолемма  
мышечной клетки



$Ca^{++}$

Саркоплазматический  
ретикулум – депо  $Ca^{++}$   
в миоците скелетной  
мышцы

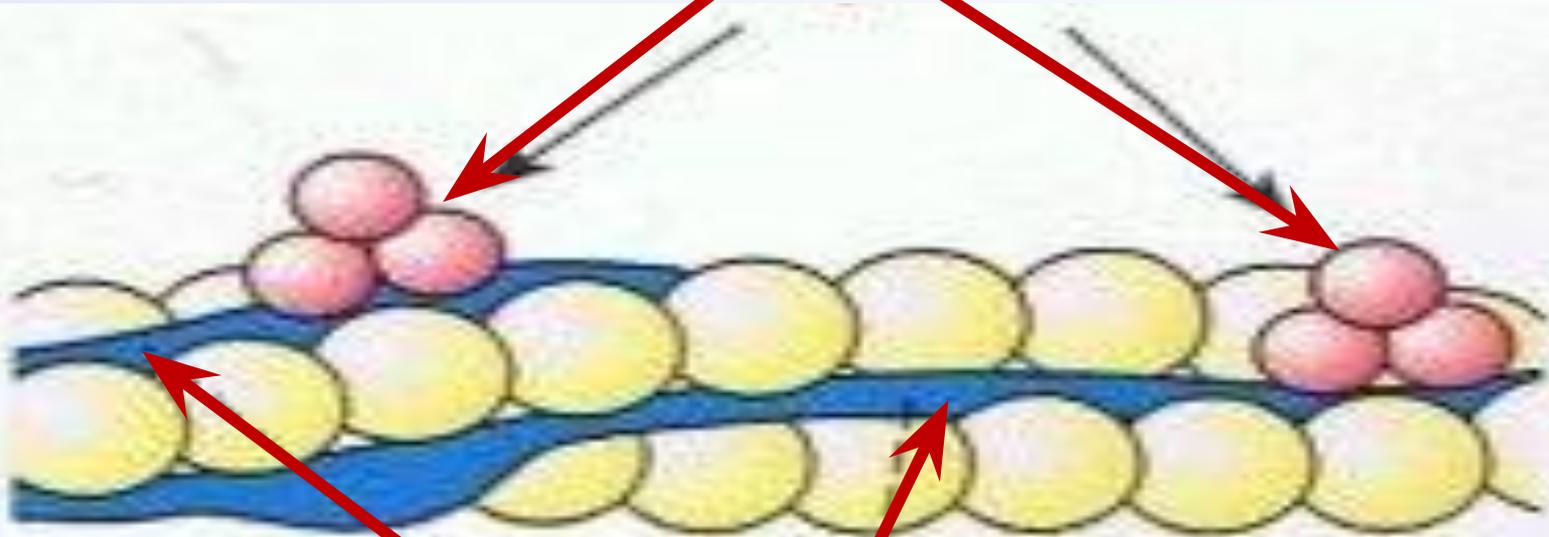
АКТИН

МИОЗИН

К трубочкам Т-системы прилегают цистерны  
саркоплазматического ретикулума

# Организация актиновой нити

Тропонин

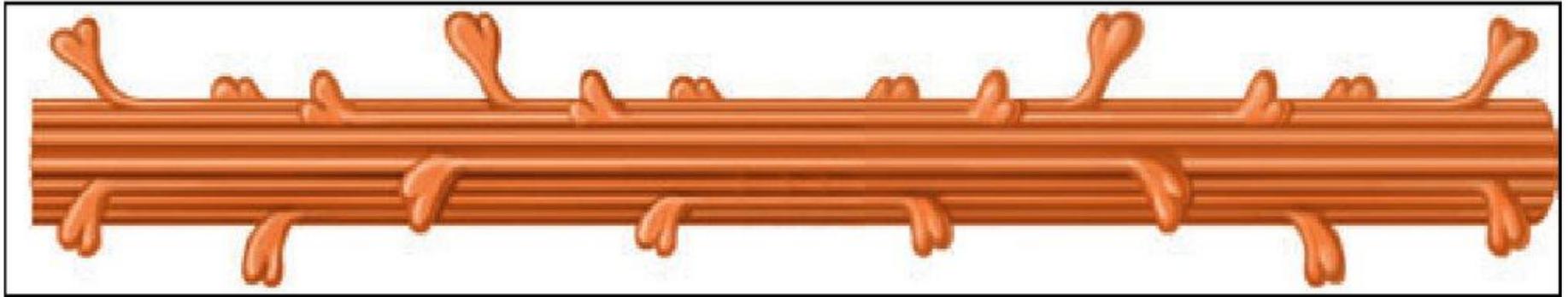


Двойная спираль  
актиновых глобул

Белок тропомиозин



# Миозиновые нити (толстые нити)



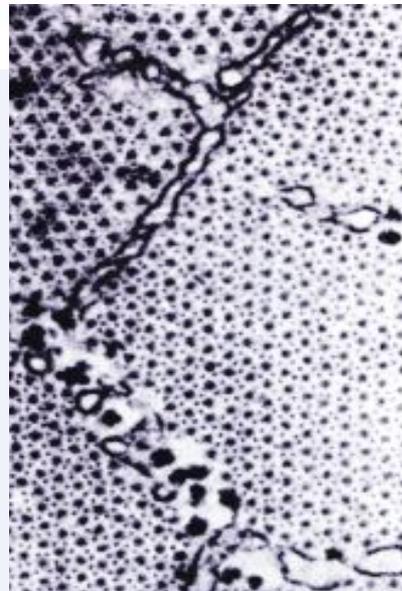
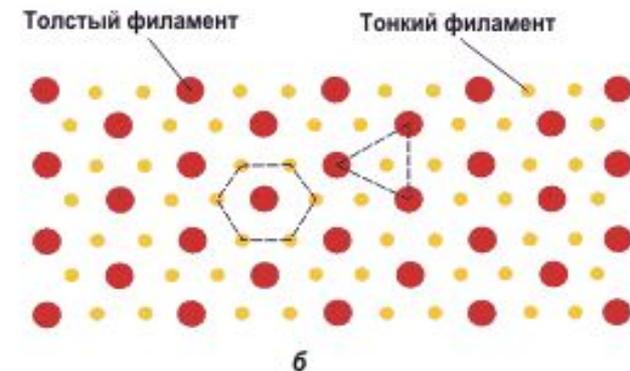
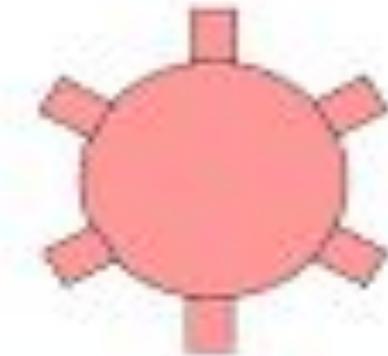
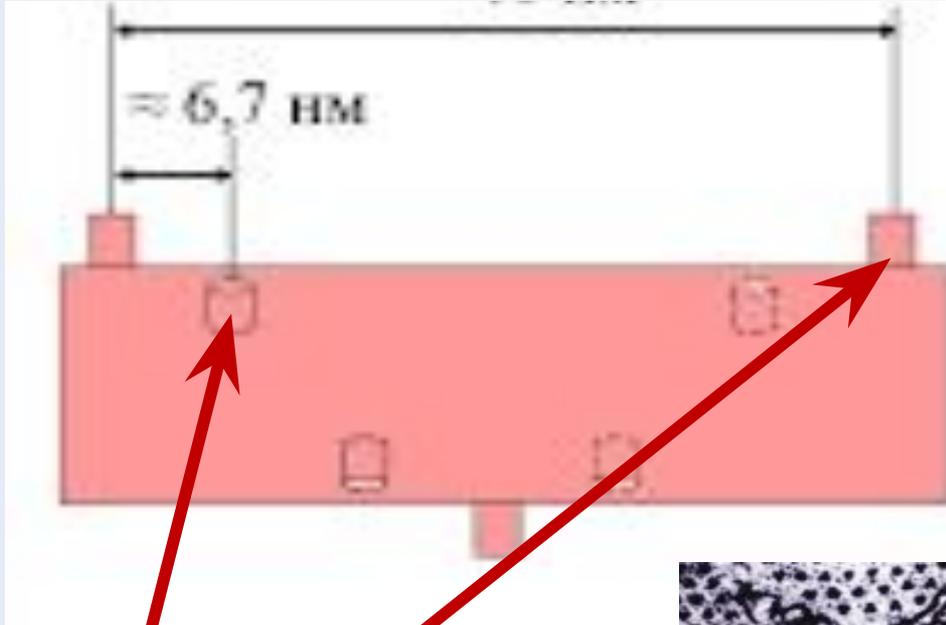
Каждая миозиновая нить состоит из  
300–400 молекул миозина.



Линейная часть молекулы

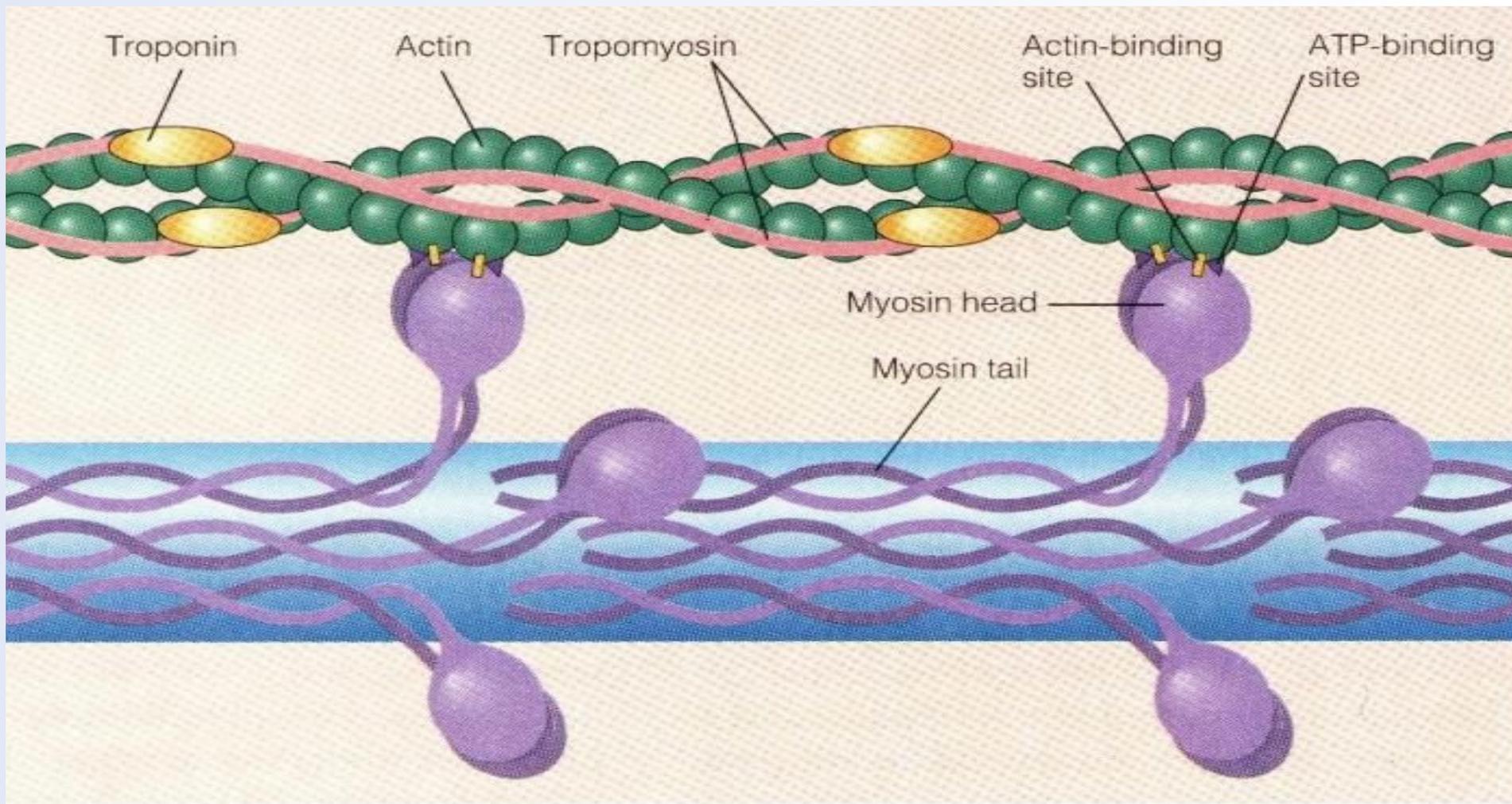
Головка молекулы миозина –  
АТФ-азная активность и  
связывание с молекулой актина

# Каждая миозиновая нить окружена шестью нитями актина

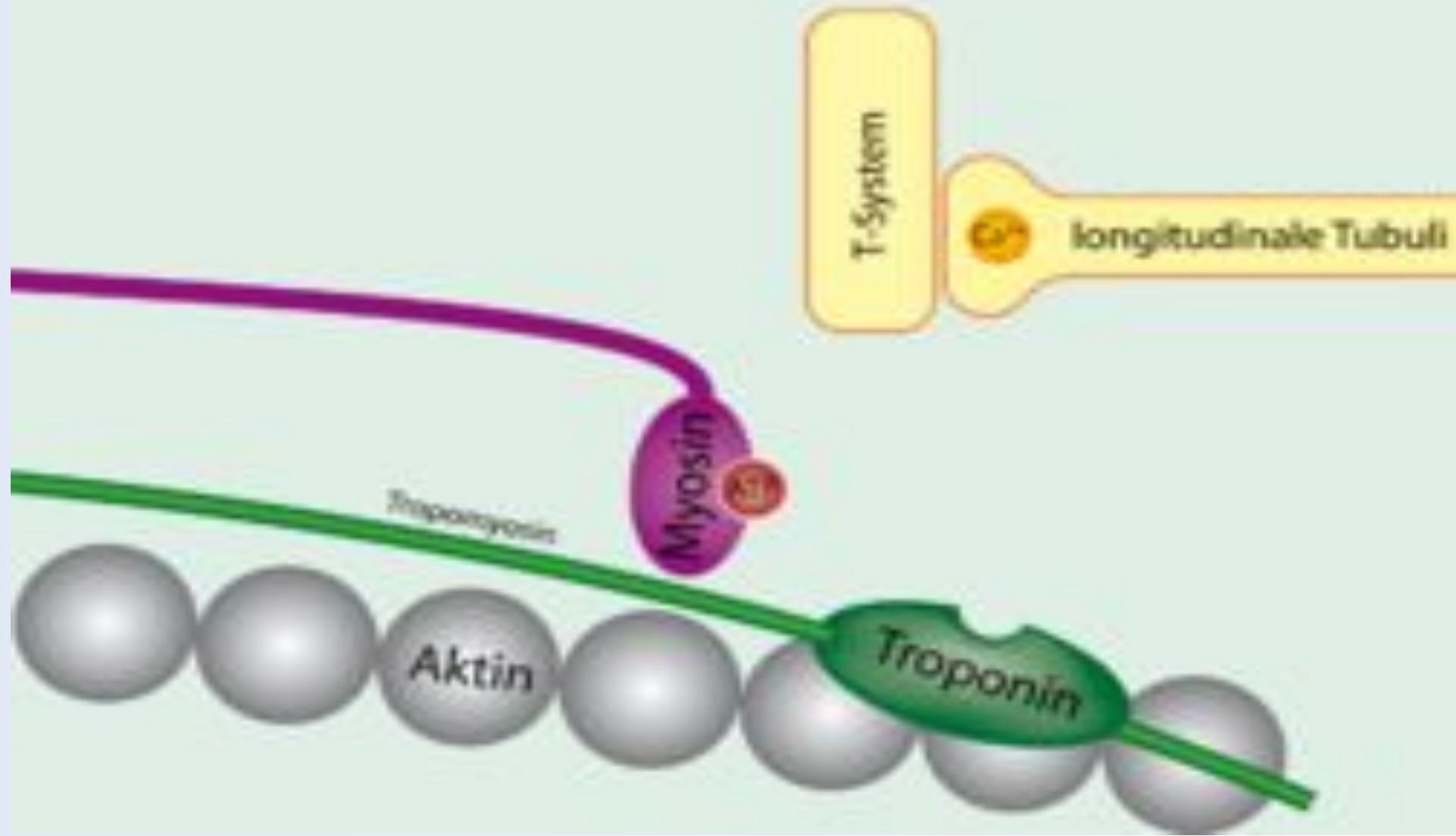


Головки молекул миозина  
в толстой нити

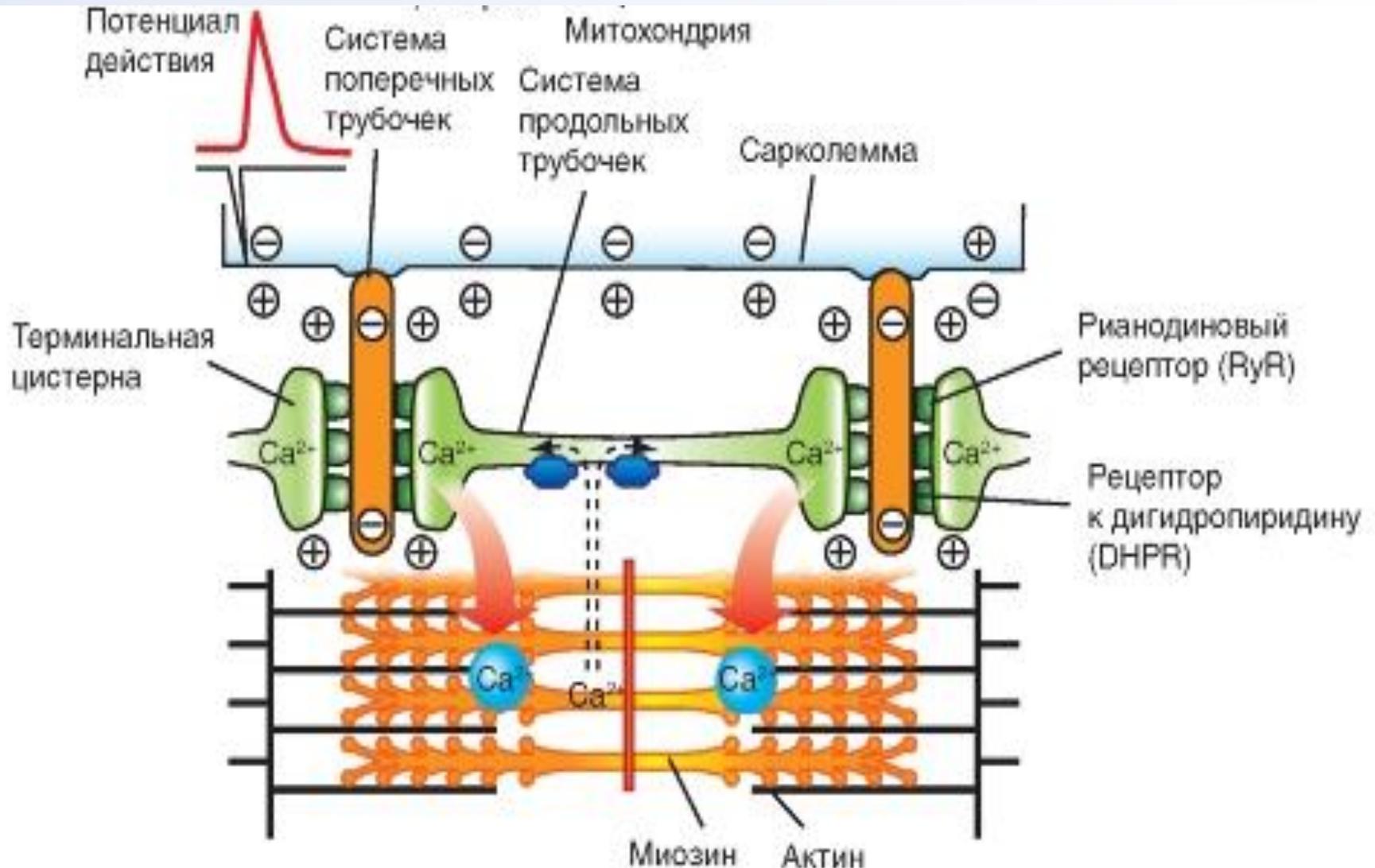
*Головки молекул миозина могут взаимодействовать с центрами связывания актина, образуя актино-миозиновые мостики, необходимые для сокращения мышцы*



В покое образованию актино-миозиновых мостиков препятствует тропомиозин, блокирующий место связывания актина с миозином



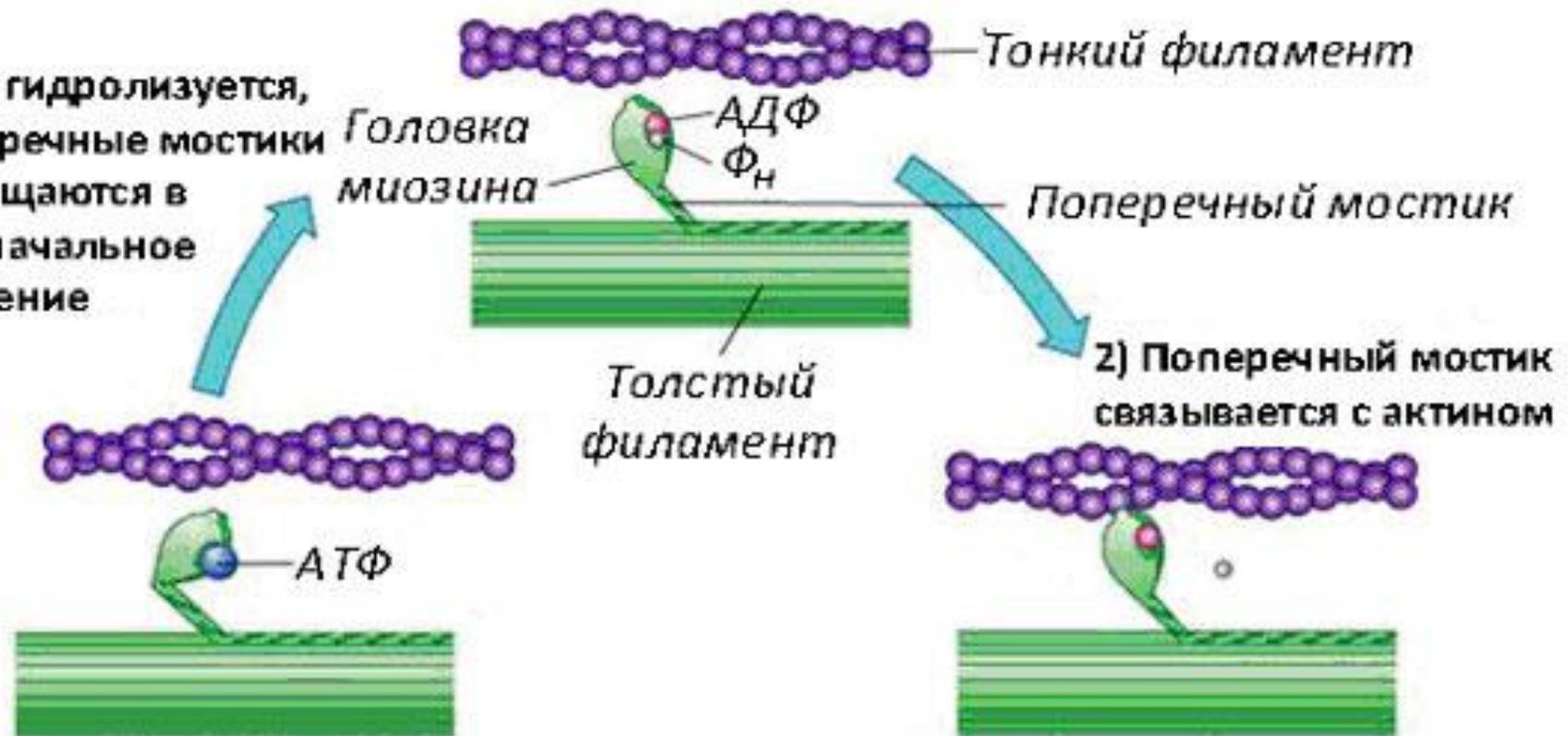
При распространении ПД по сарколемме происходит деполяризация мембраны Т-системы, что приводит к выходу кальция из депо





1) Расслабленное состояние: поперечный мостик не соединен с актином

6) АТФ гидролизуется, и поперечные мостики возвращаются в первоначальное положение

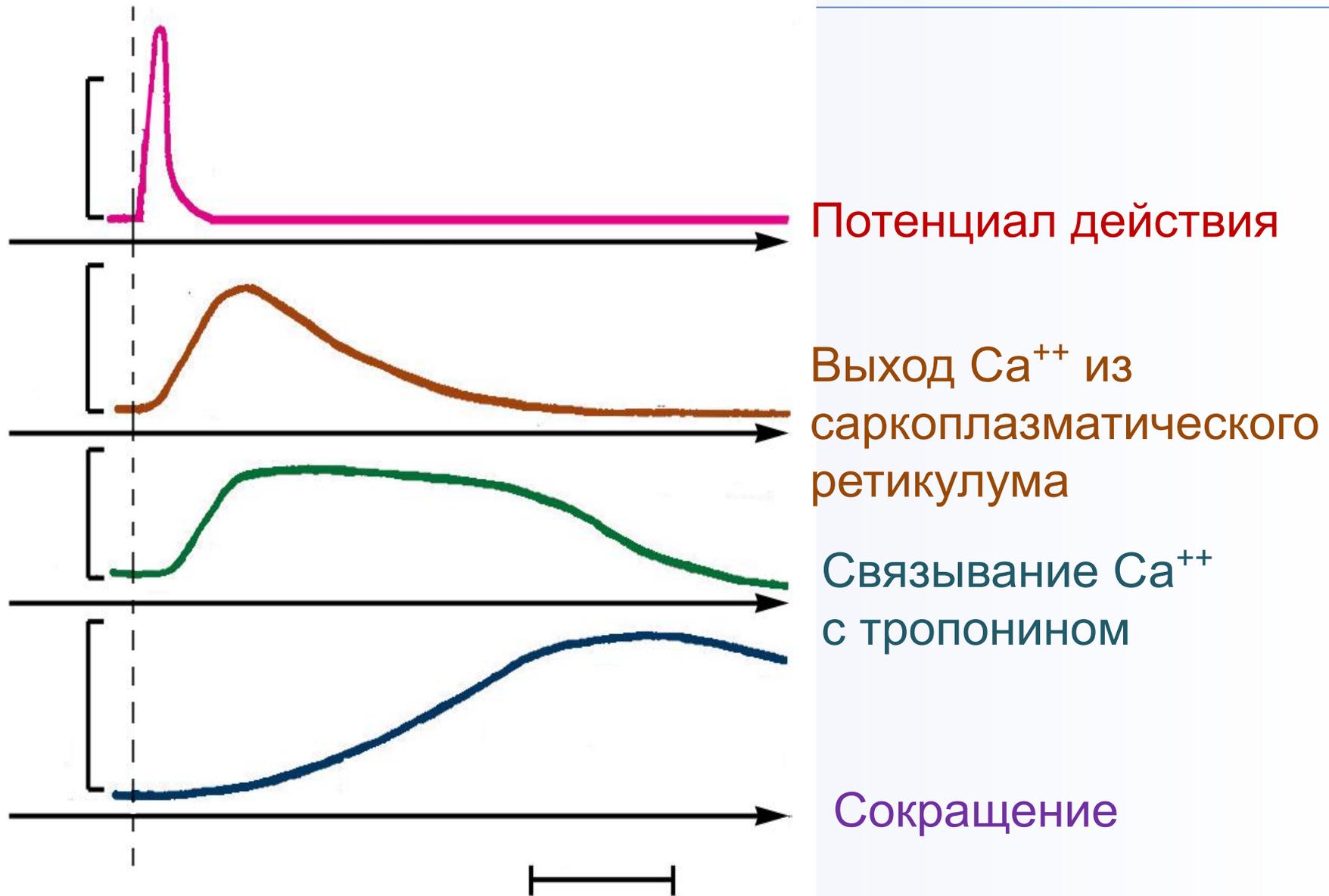


5) К головке миозина присоединяется новая молекула АТФ, в результате чего миозин отделяется от актина

3) Фосфат выбрасывается, приводя к конформационным изменениям миозина

4) В результате генерируется сила, сдвигающая филаменты друг относительно друга

# Последовательность событий при сокращении скелетной мышцы



# **АТФ в скелетной мышце**

*1. АТФ-азная активность миозина – тянущее усилие*

*1. Отсоединение миозина от актина (актино-миозиновых мостиков)*

*1.  $Ca^{++}$  насос саркоплазматического ретикулума – окончание сокращения*

*После **смерти** истощаются запасы АТФ,  $Ca^{++}$  насос возвращения иона в саркоплазматический ретикулум не работает, мостики не отсоединяются – развивается «трупное окоченение»*



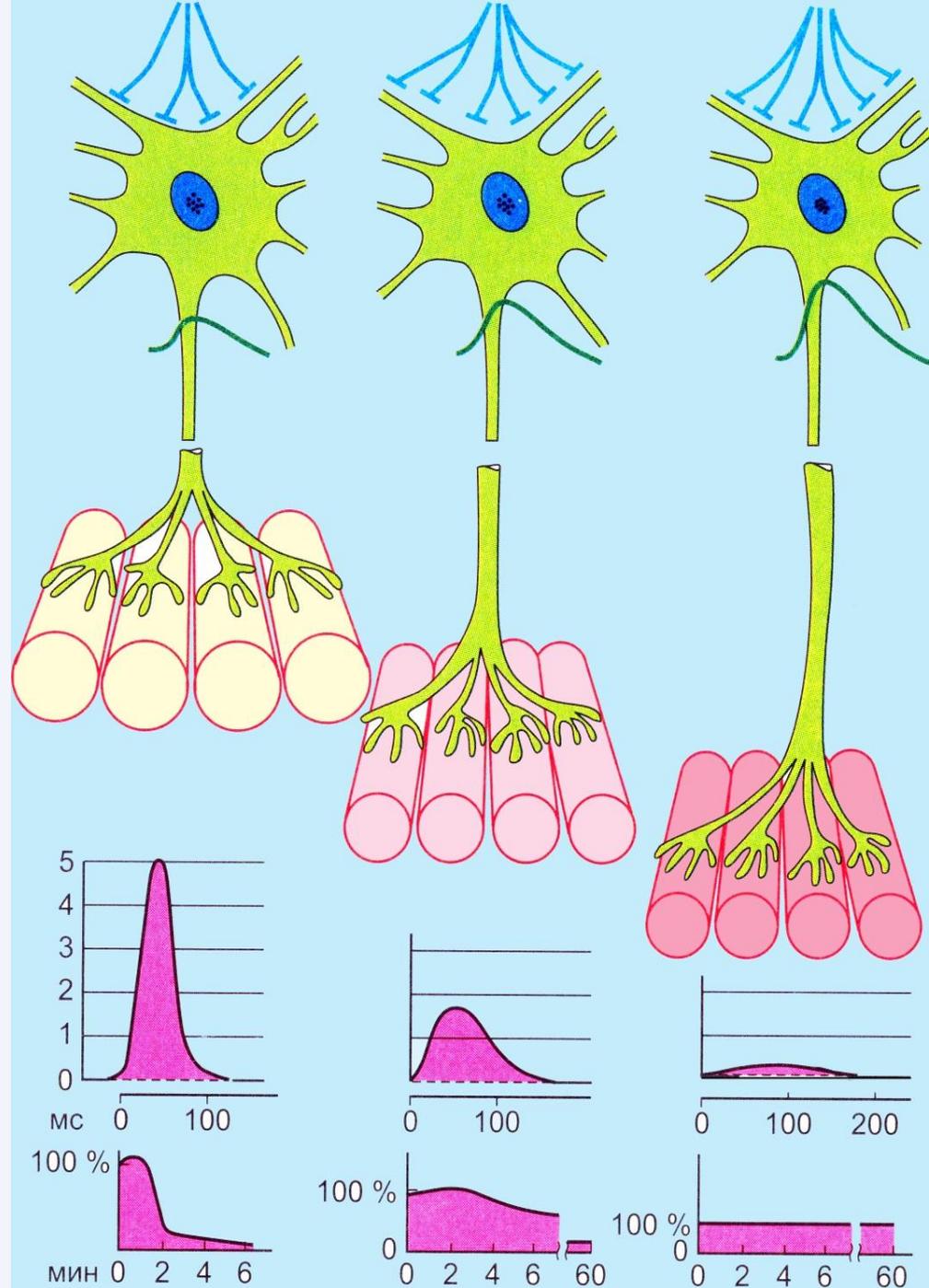
# Типы волокон скелетной мышцы

Показатель	Медленные красные волокна	Промежуточные волокна	Быстрые белые волокна
Главный источник АТФ	Окислительное фосфорилирование (аэробное окисление)	Окислительное фосфорилирование	Гликолиз (анаэробное окисление)
Митохондрии	Много	Много	Мало
Капилляры	Много	Много	Мало
Содержание миоглобина	Высокое (красные волокна)	Высокое (красные волокна)	Низкое (белые волокна)
Содержание гликогена	Низкое	Промежуточное	Высокое
Укорочение	Медленное	Быстрое	Быстрое
Утомление	Медленно	Промежуточно	Быстро
Диаметр волокна	Малый	Промежуточный	Большой
Размер двигательной единицы	Малый	Промежуточный	Большой

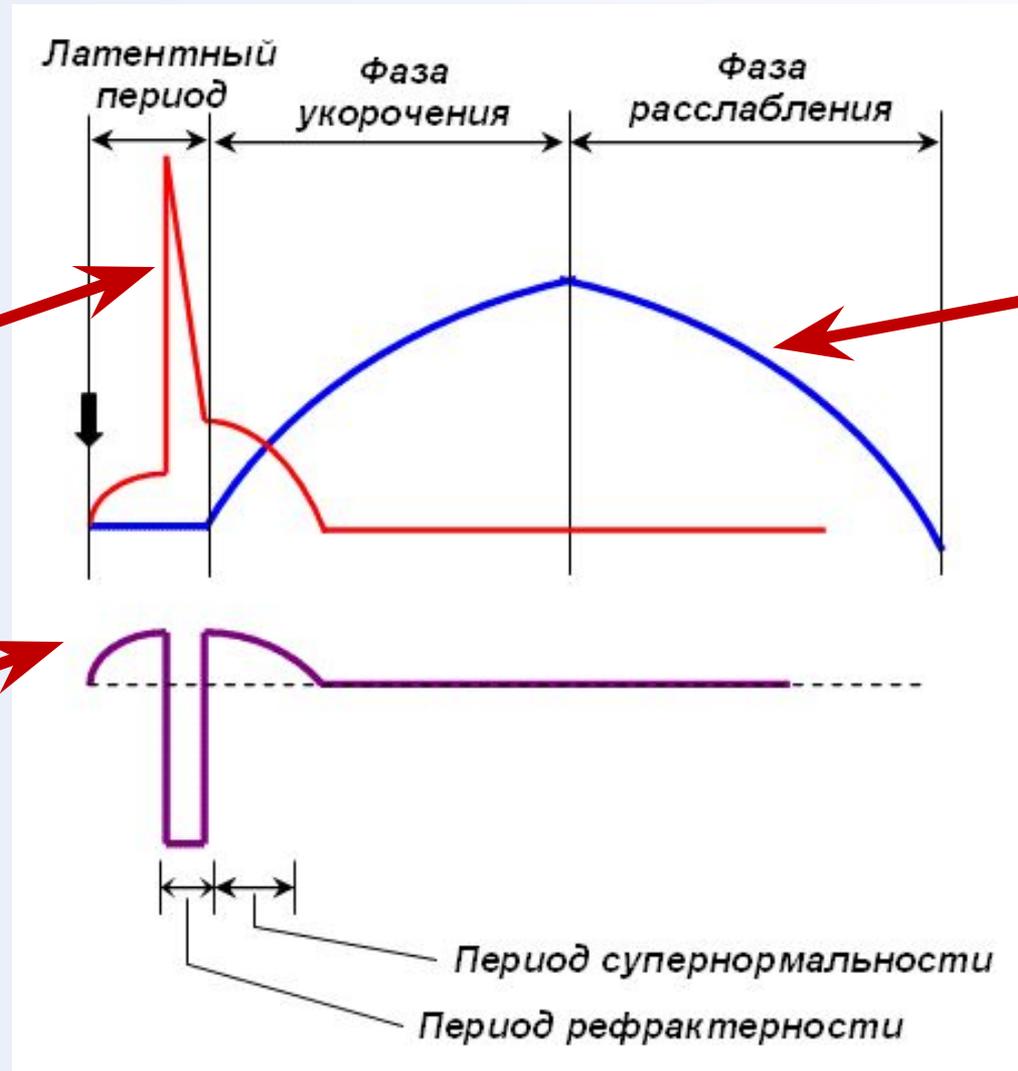


**Моторная единица** – группа мышечных волокон, получающих сигнал от одного  $\alpha$ -мотонейрона передних рогов серого вещества спинного мозга

**Мотонейронный пул** – совокупность  $\alpha$ -мотонейронов, которые иннервируют все мышечные волокна данной мышцы.



# Одиночное сокращение мышцы



ПД  
скелетного  
миоцита

Сокращение  
миоцита

График  
изменения  
возбудимости

Период супернормальности

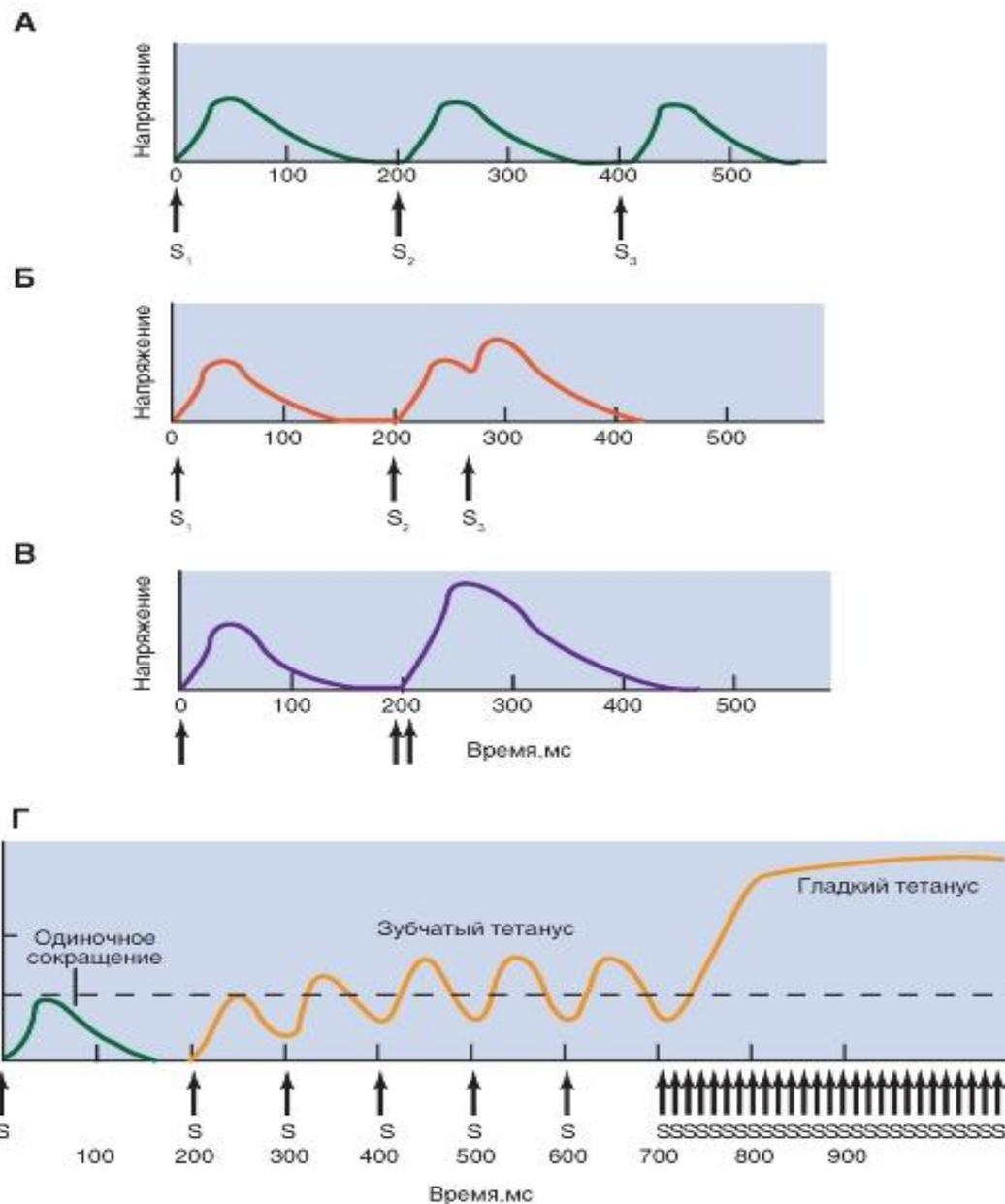
Период рефрактерности

## Правило средних нагрузок

Мышца может совершить максимальную работу при средних нагрузках. Внешняя работа мышцы равна нулю, если мышца сокращается без нагрузки. По мере увеличения груза работа сначала увеличивается, а затем постепенно падает.



# Слитное мышечное сокращение – тетанус



Зубчатый тетанус –  
каждое последующее  
раздражение  
попадает на фазу  
расслабления мышцы

Гладкий тетанус –  
каждое последующее  
раздражение попадает  
на фазу сокращения  
мышцы

Пессимум!

## Утомление

физиологическое состояние мышцы, которое развивается после совершения длительной работы и проявляется снижением амплитуды сокращений, удлинением латентного периода сокращения и фазы расслабления. Причины утомления комплексные

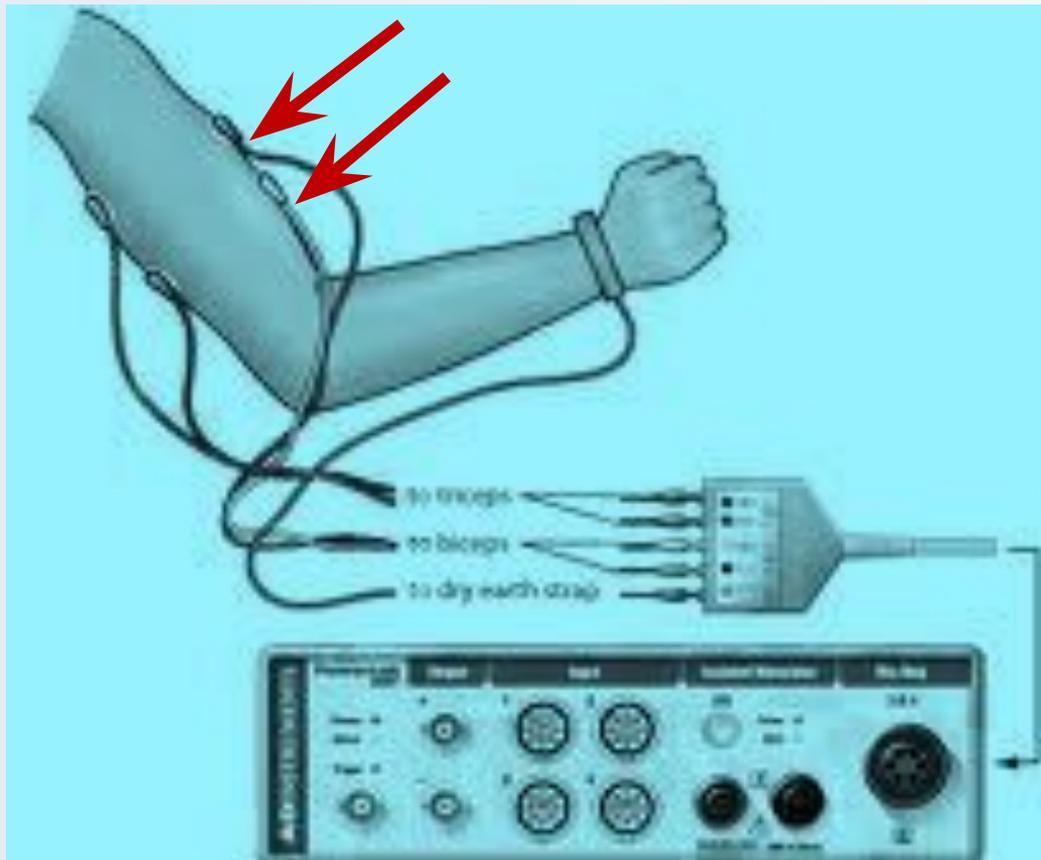
# Утомление скелетной мышцы

- Трещины Z-дисков
- Повышение концентрации  $K^+$  в системе Т-трубочек – изменение возбудимости
- Израсходование гликогена
- Количество АТФ не снижается!
- Накопление молочной кислоты – сдвиги  $pH^+$  – изменение активности белков???



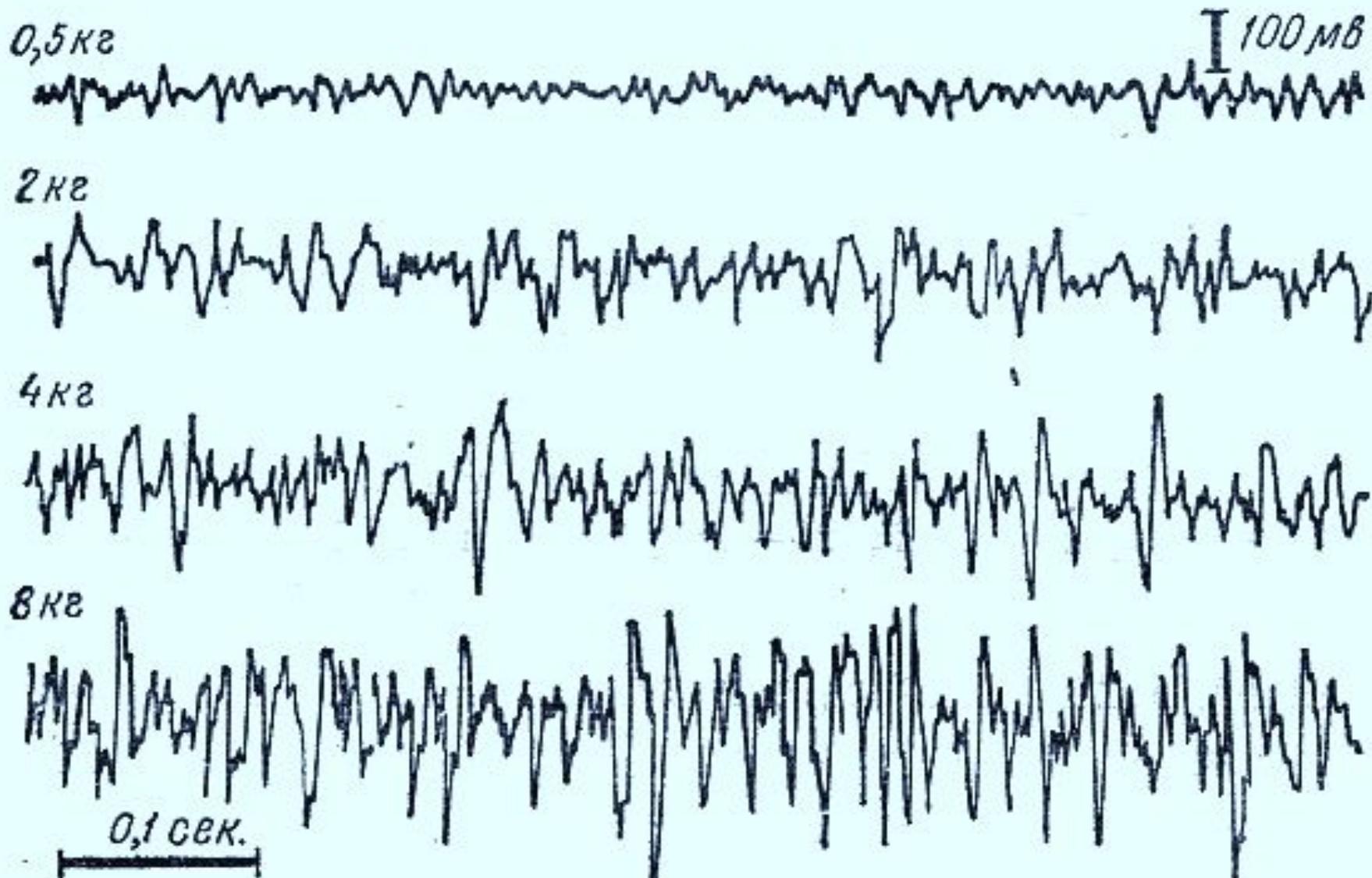
# Электромиография

Регистрация электрической активности мышц, т.е. исследование биоэлектрических потенциалов, возникающих в **скелетных мышцах** человека и животных при возбуждении мышечных волокон



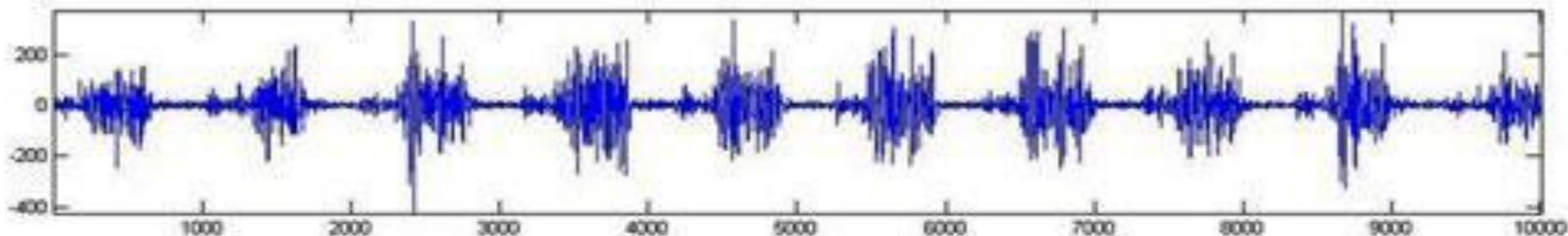
Регистрация  
разности  
потенциалов  
между двумя  
электродами

# Электромиограмма при напряжении мышцы разной силы



# Применение

- для оценки восстановления функции мышц после лечебных и реабилитационных курсов
- в ортопедии и протезировании
- для изучения возрастных изменений
- в спортивной медицине
- в космических исследованиях
- в исследованиях высшей нервной деятельности
- в инженерной физиологии и психологии (например, при исследовании утомления, выработки двигательного навыка)



# Гладкие мышцы

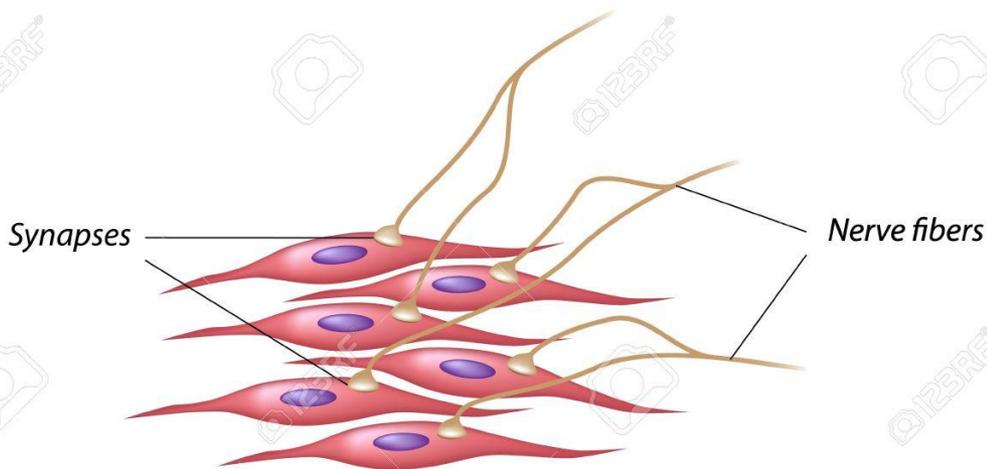
## Свойства гладких мышц

- *возбудимость*
- *сократимость*
- *пластичность*
- *способность к автоматической деятельности*

*По сравнению со скелетными мышцами*

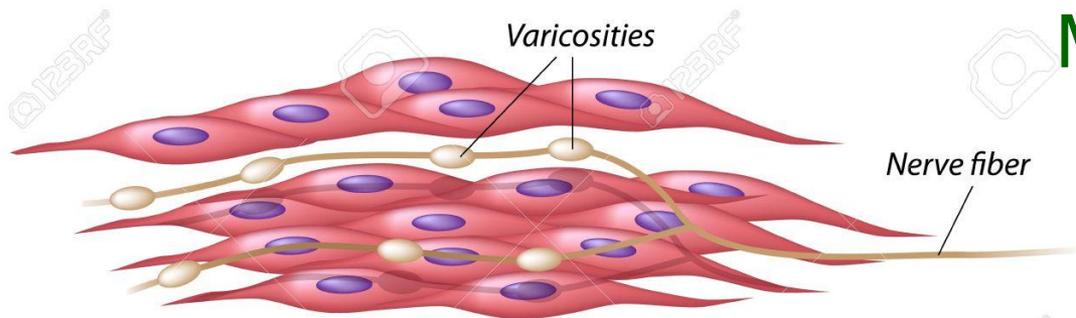
- *менее возбудимы*
- *медленные движения*
- *длительные тонические сокращения*
- *низкая утомляемость*

# Типы гладкомышечной ткани



Multiunit Smooth Muscle

Унитарные ГМК – нервное волокно подходит к каждой клетке. Не обладают автоматией. Мышцы зрачка

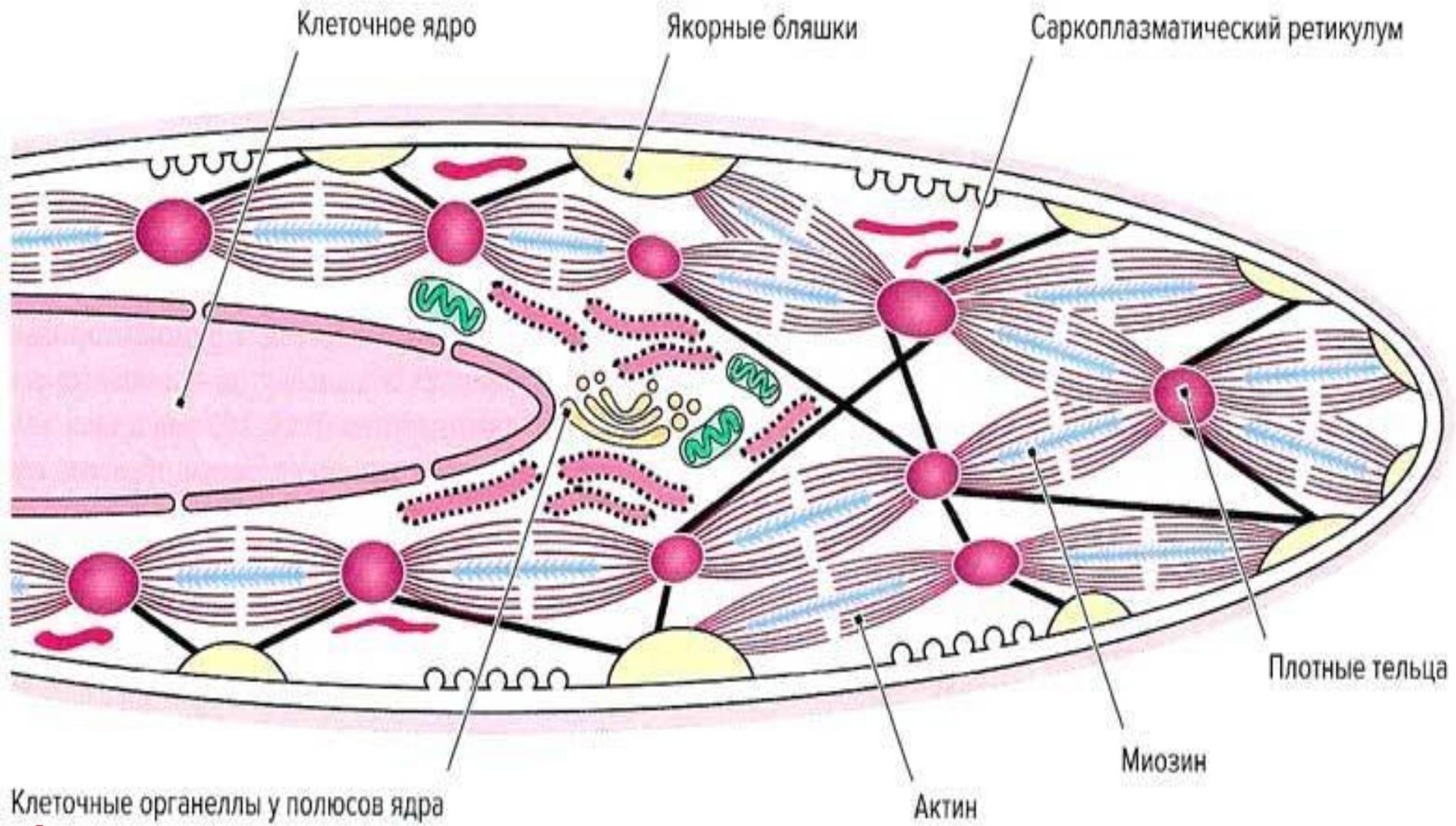


Single-unit Smooth Muscle

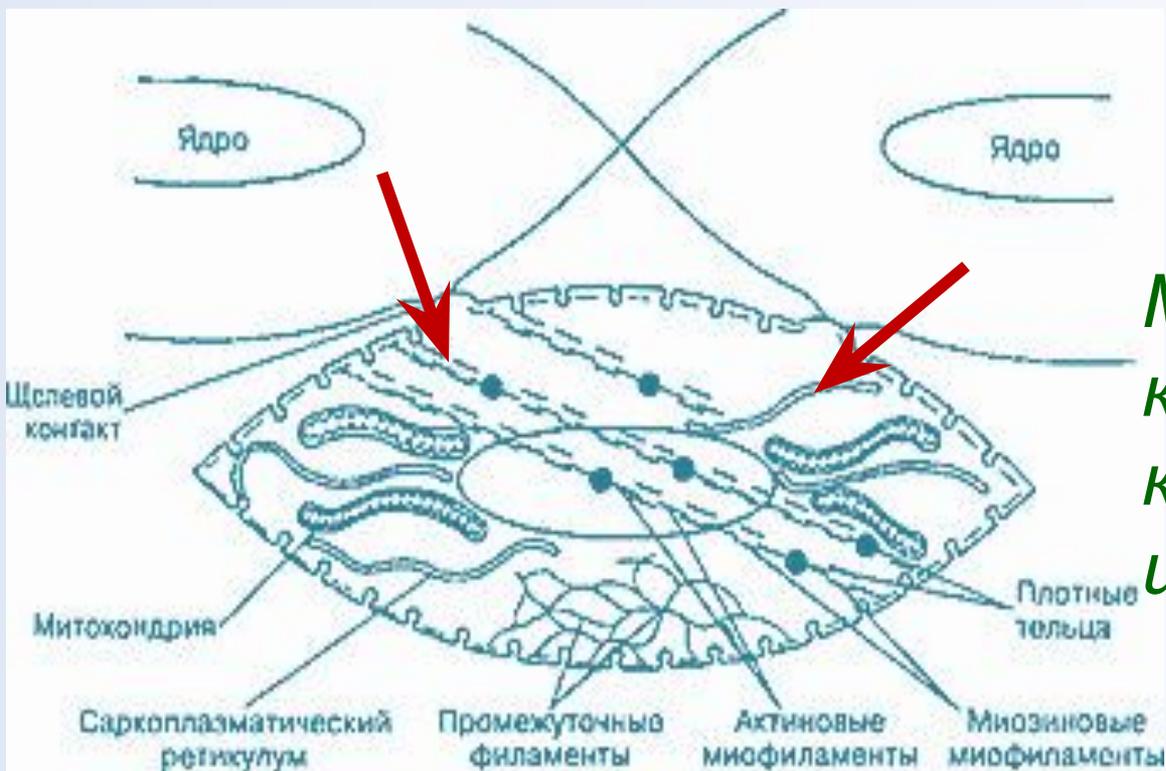
Мультиунитарные ГМК – нервное волокно подходит к группе клеток. Обладают автоматией. Мышцы внутренних органов

ГМК связаны щелевыми контактами - нексусами

# Строение гладкомышечной клетки (ГМК)

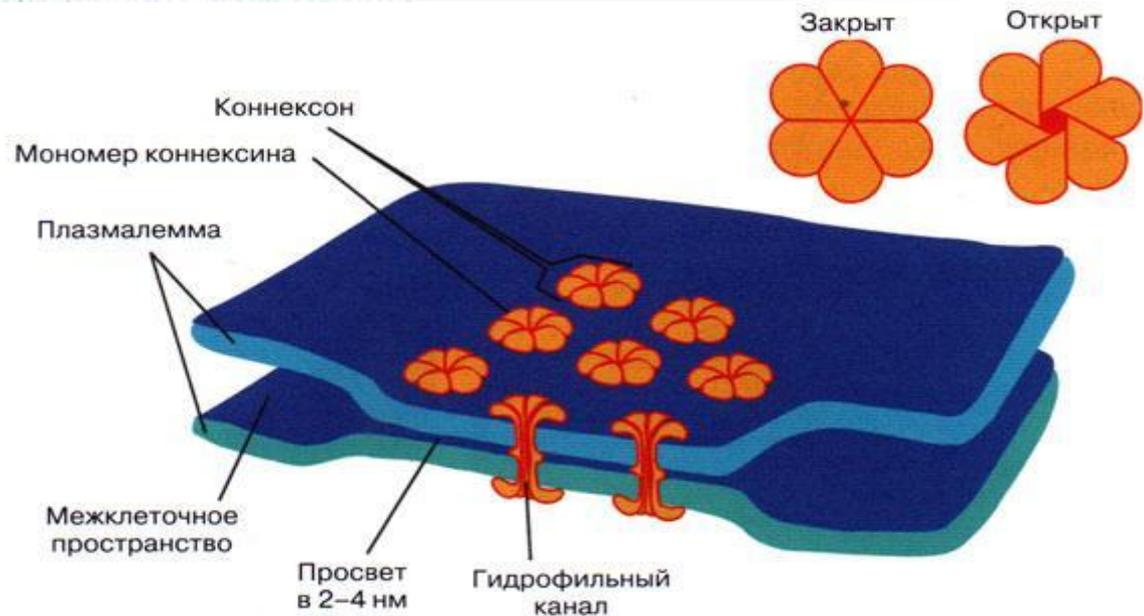


**Актиновые нити прикреплены к плотным тельцам: аналогам Z-дисков**



Межклеточные коммуникационные контакты ГМК: щелевые (нексусы)

Строение щелевого контакта



## Важно!

✓  $\text{Ca}^{++}$  в ГМК – **внеклеточный**

✓ Вход  $\text{Ca}^{++}$  в ГМК идёт по хемоуправляемым каналам, электроуправляемым каналам, и механоуправляемым каналам

## Отсюда:

❖ высокая чувствительность ГМК к химическим веществам

❖ адекватным раздражителем для ГМК является растяжение мышцы

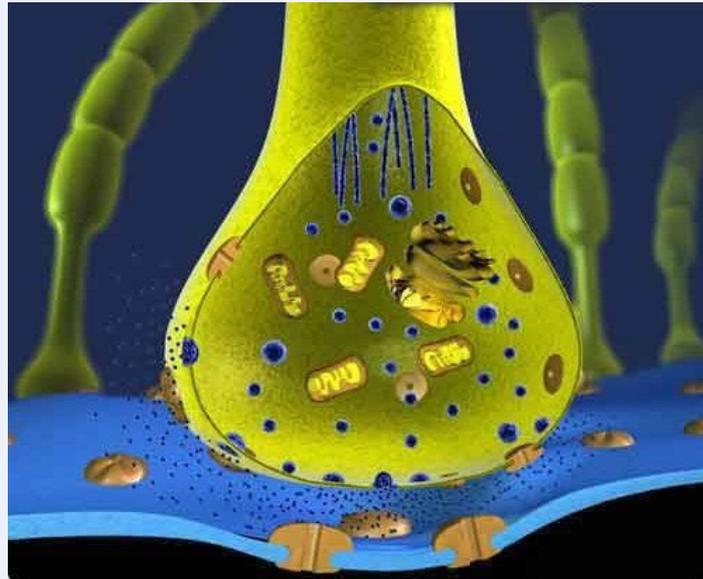
## Механизм сокращения ГМК

- вход  $Ca^{++}$  в ГМК
- взаимодействие  $Ca^{++}$  с кальцийсвязывающим белком кальмодулином
- освобождение нитей актина от блокирующего их белка кальдесмона
- взаимодействие актина и миозина – мостики
- далее как в скелетной мышце

Энергия в ГМК расходуется гораздо медленнее, чем в скелетной мышце, следовательно, гладкие мышцы менее утомляемы

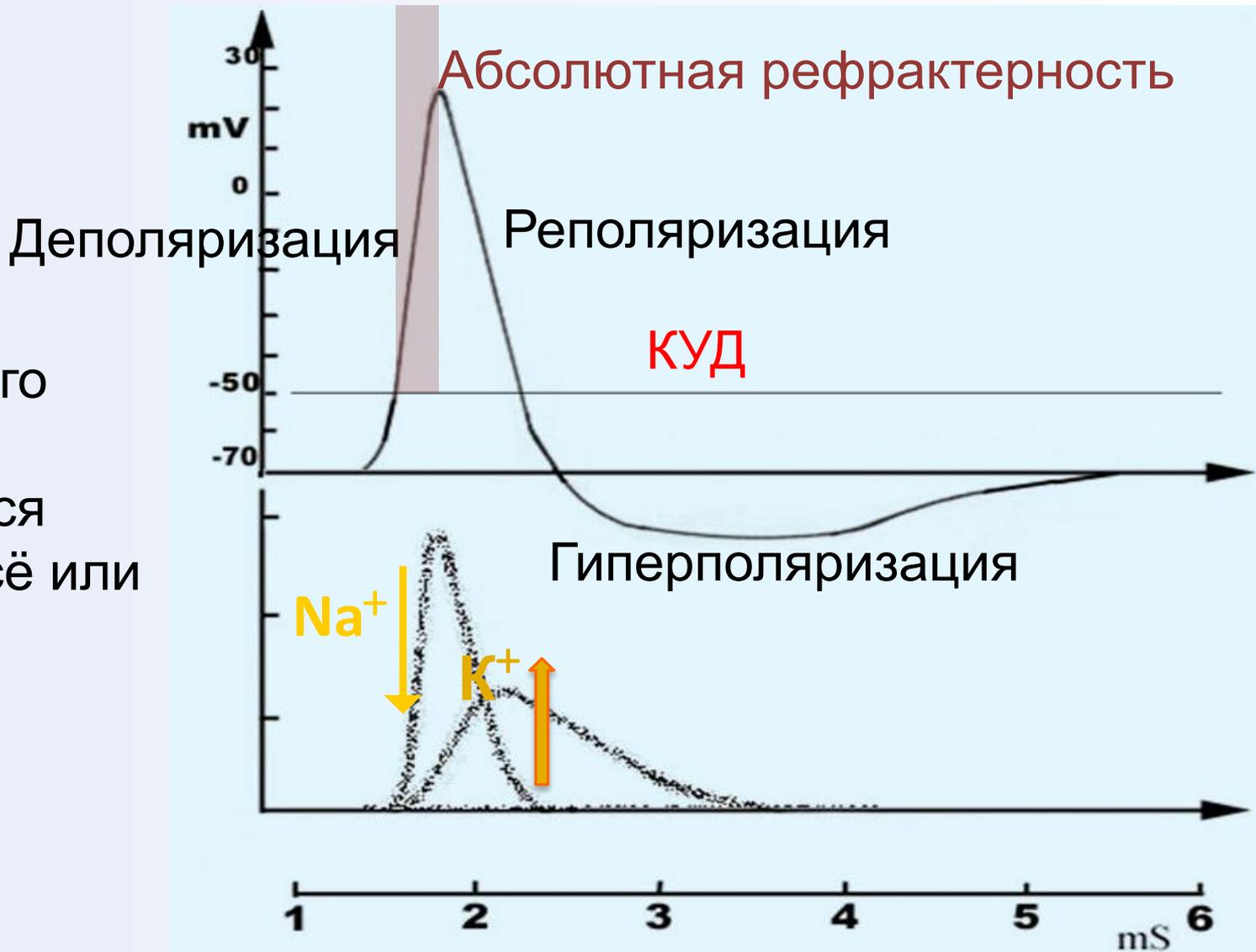


# Физиологические свойства нервов и синапсов

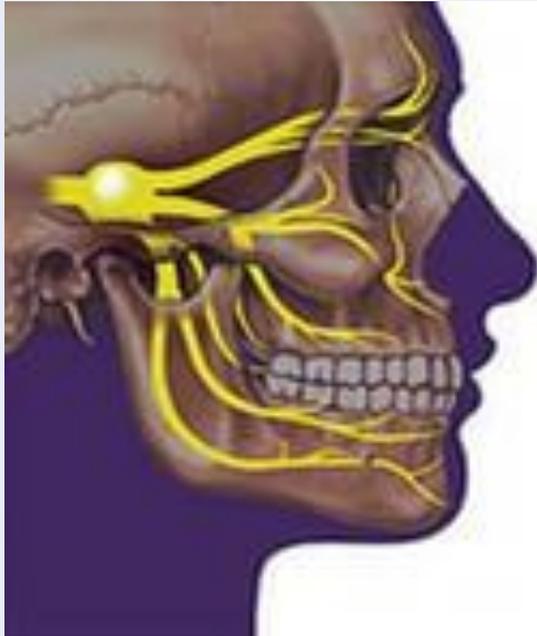


# Потенциал действия (ПД) нервного волокна

ПД нервного  
волокна  
подчиняется  
закону «Всё или  
ничего»



# Распространение возбуждения по нервам



Нерв - структура, состоящая из пучков нервных волокон (главным образом аксонов нейронов) покрытых оболочками из шванновских клеток, а также несколькими соединительно-тканными оболочками.

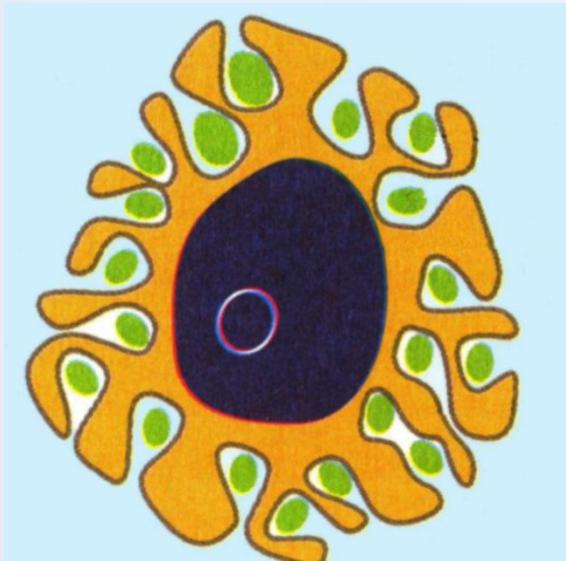


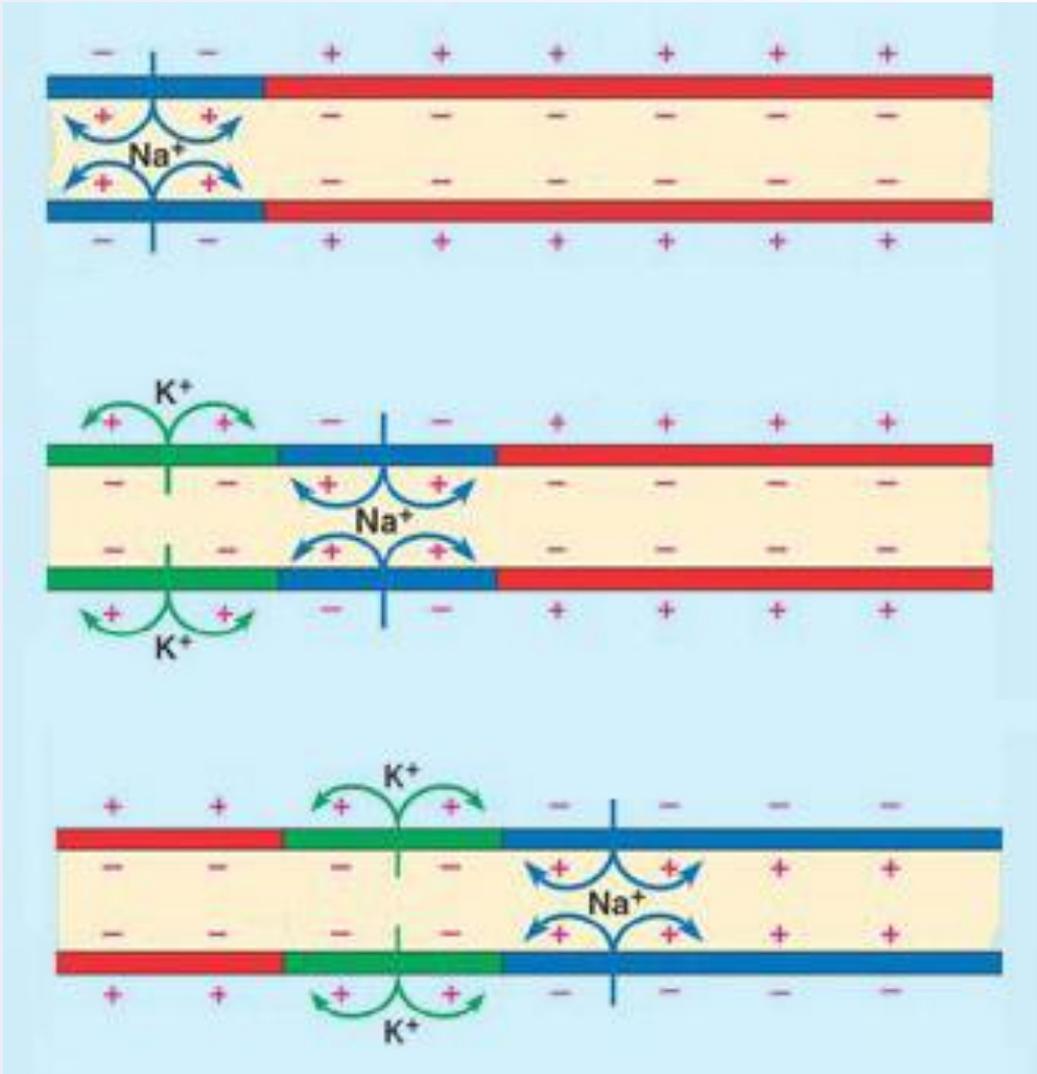
# Нервные волокна

Нервные волокна – клеточные структуры – по большей части аксоны нейронов. Возбуждение по ним проводится **изолированно**.

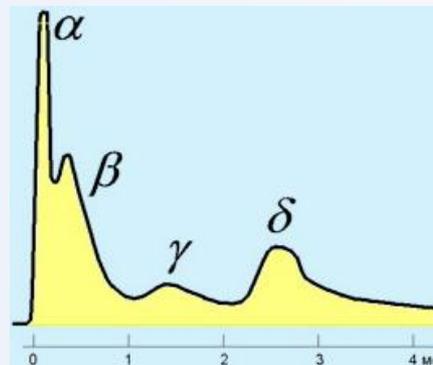
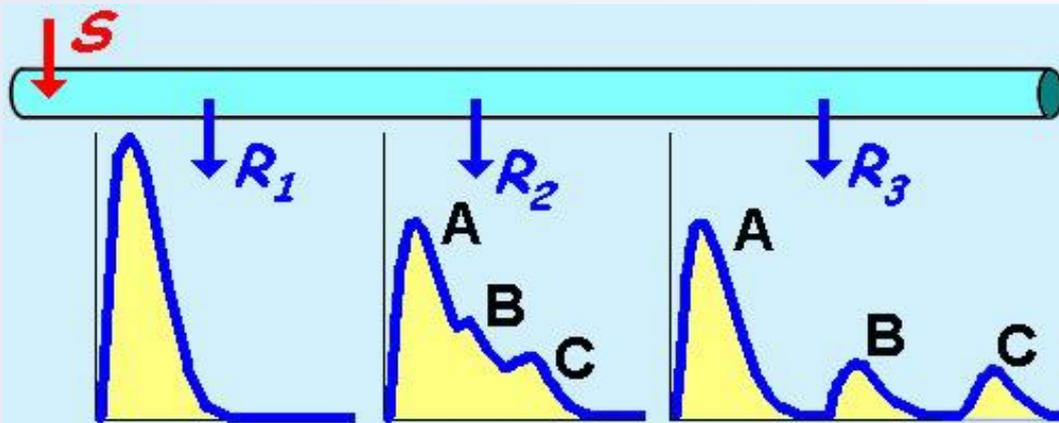
Характеристика нервных волокон:

- миелиновые
- безмиелиновые

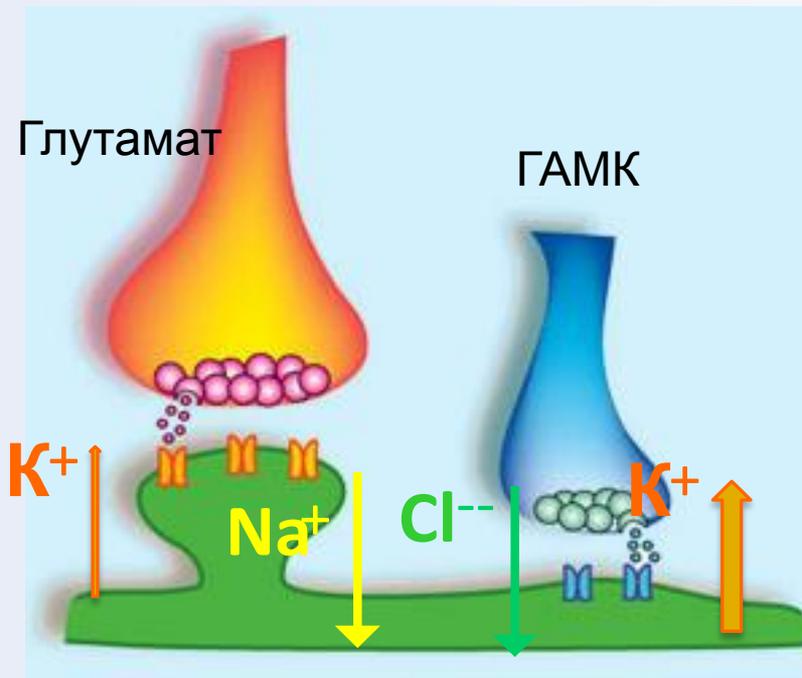




# Различная скорость проведения возбуждения по нервным волокнам (Опыт Эрлангера-Гассера)



# Возбуждающий и тормозной синапсы



Возбуждающий синапс: вход натрия, небольшой выход калия – деполяризация постсинаптической мембраны

Тормозной синапс  
Распространённый тормозной медиатор  $\gamma$ -аминомасляная кислота (ГАМК).

Вход ионов хлора – гиперполяризация постсинаптической мембраны

В некоторых случаях выход калия



# Законы проведения возбуждения по нервам

## **Закон анатомо-физиологической целостности.**

Проведение импульсов по нервному волокну возможно лишь в том случае, если не нарушена его целостность. При нарушении физиологических свойств нервного волокна путем охлаждения, применения различных наркотических средств, сдавливания, а также порезами и повреждениями анатомической целостности проведение нервного импульса по нему будет невозможно.

## **Закон изолированного проведения возбуждения.**

Существует ряд особенностей распространения возбуждения в периферических, мягкотных и безмякотных нервных волокнах.

В периферических нервных волокнах возбуждение передается только вдоль нервного волокна, но не передается на соседние, которые находятся в одном и том же нервном стволе.

В мягкотных нервных волокнах роль изолятора выполняет миелиновая оболочка. За счет миелина увеличивается удельное сопротивление и происходит уменьшение электрической емкости оболочки.

В безмякотных нервных волокнах возбуждение передается изолированно. Это объясняется тем, что сопротивление жидкости, которая заполняет межклеточные щели, значительно ниже сопротивления мембраны нервных волокон. Поэтому ток, возникающий между деполяризованным участком и неполяризованным, проходит по межклеточным щелям и не заходит при этом в соседние нервные волокна.

## **Закон двустороннего проведения возбуждения.**

Нервное волокно проводит нервные импульсы в двух направлениях – центробежно и центростремительно.

В живом организме возбуждение проводится только в одном направлении.

Двусторонняя проводимость нервного волокна ограничена в организме местом возникновения импульса и клапанным свойством синапсов, которое заключается в возможности проведения возбуждения только в одном направлении.

