

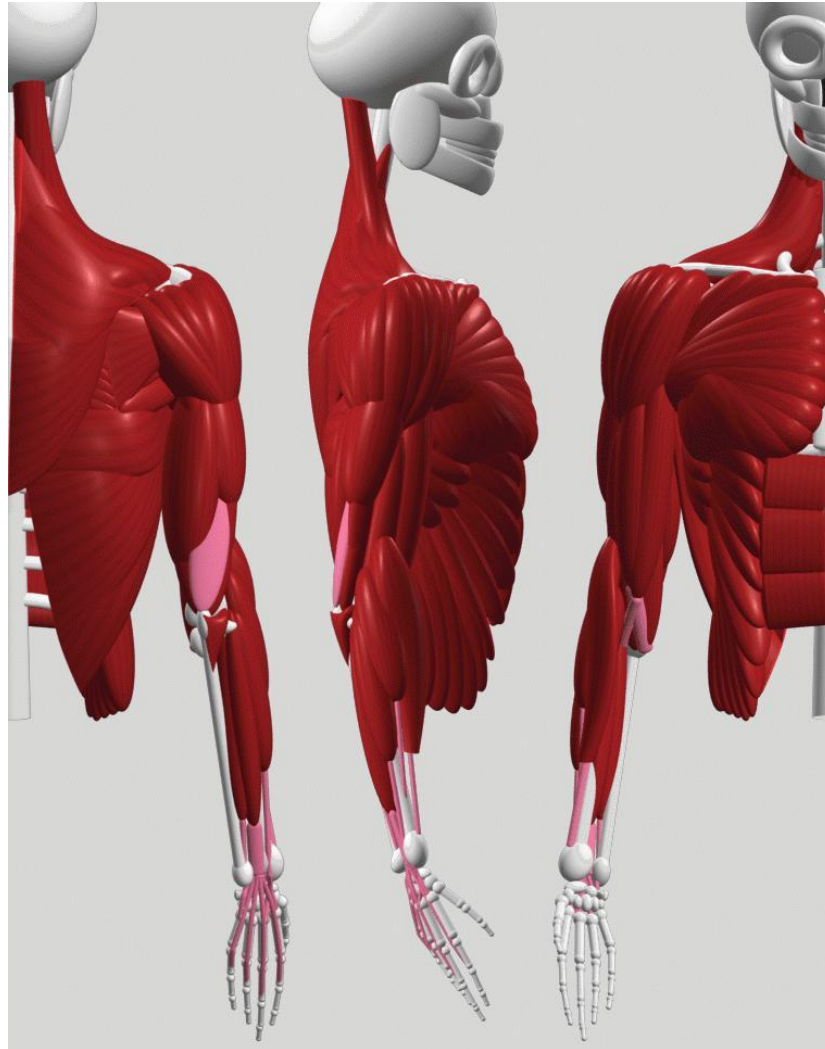


**ФИЗИОЛОГИЯ**

**МЫШЦ**

**Лектор: доцент А.Ю. Шишелова**

# ФИЗИОЛОГИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ



# ФУНКЦИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

1. *Двигательная*.
2. *Обменная* – в мышцах происходят биохимические процессы, приводящие к изменению уровня мономеров в крови (глюкозы, аминокислот, жирных кислот).
3. *Депонирующая* – запас гликогена.
4. *Теплообразовательная* – интенсивное образование тепла в работающей мышце.

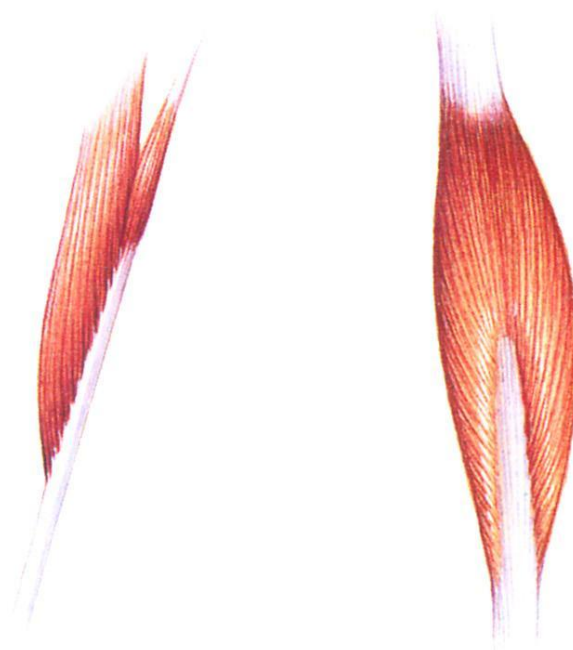
# ТИПЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ



**Параллельно-  
волокнистый**



**Веретено-  
образный**



**Перистые**

# СВОЙСТВА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

## *Физические:*

- **Эластичность** – способность изменять длину под действием деформирующей силы
- **Упругость** – способность восстанавливать исходную длину после деформации

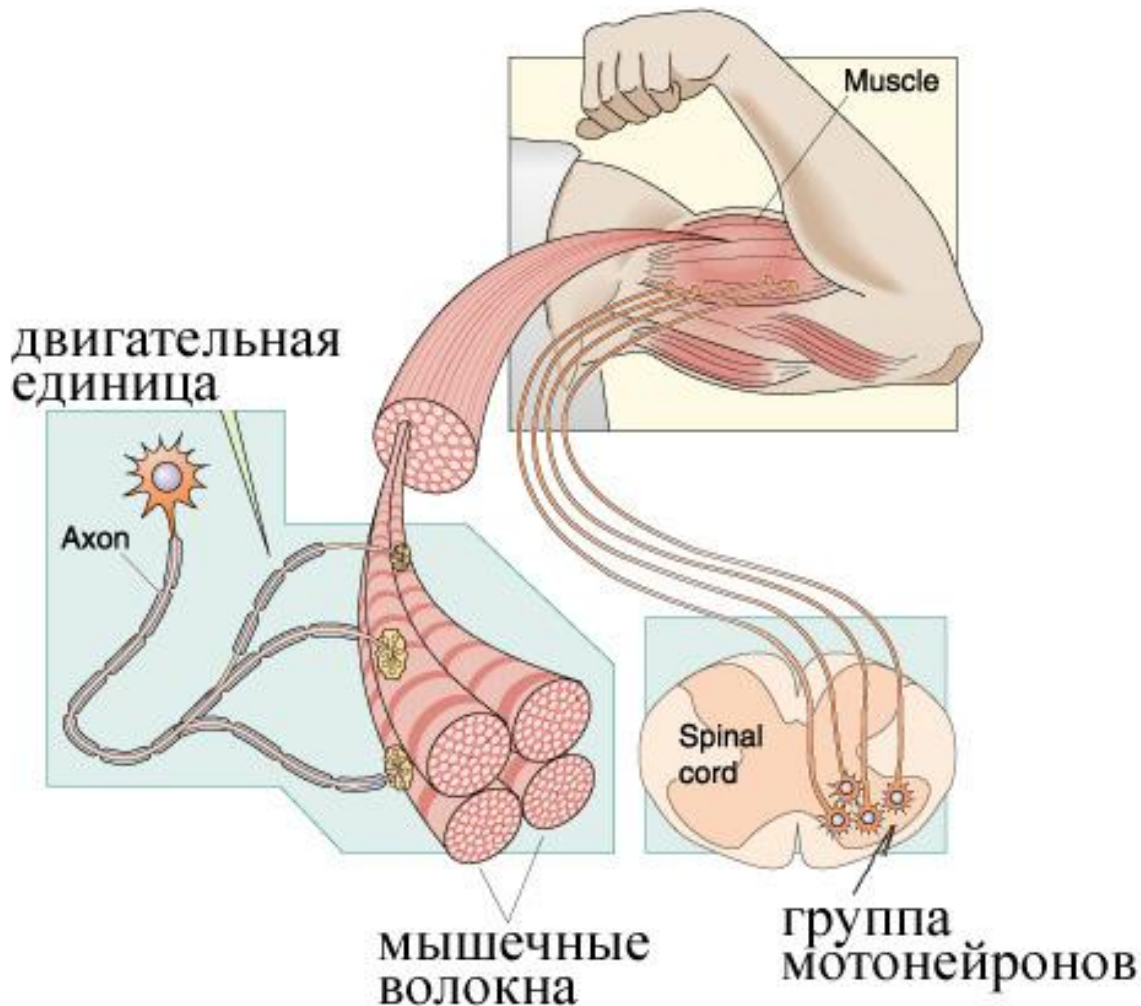
## *Физиологические:*

- Возбудимость
- Проводимость
- Лабильность
- Сократимость

Мышца состоит из клеток – **мышечных волокон**.

Мышечные волокна скелетных мышц иннервируются **мотонейронами**.

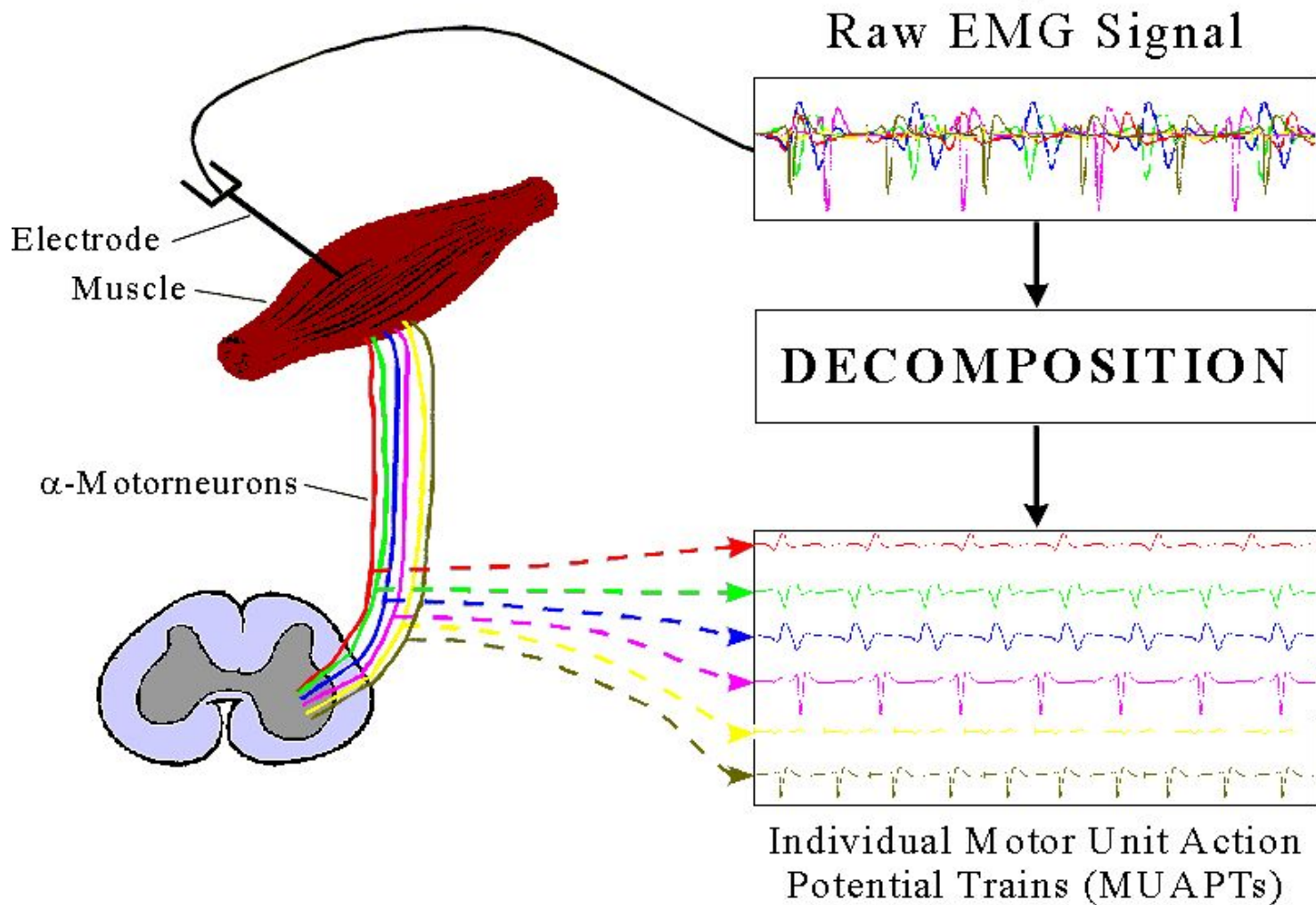
**Двигательная единица (ДЕ)** – мотонейрон в совокупности с иннервируемыми им мышечными волокнами.



В состав одной ДЕ может входить от 5-10 мышечных волокон до нескольких сотен и тысяч:

- 7 - прямая мышца глаза;
- 560 - передняя большеберцовая мышца;
- 2037 – икроножная мышца.

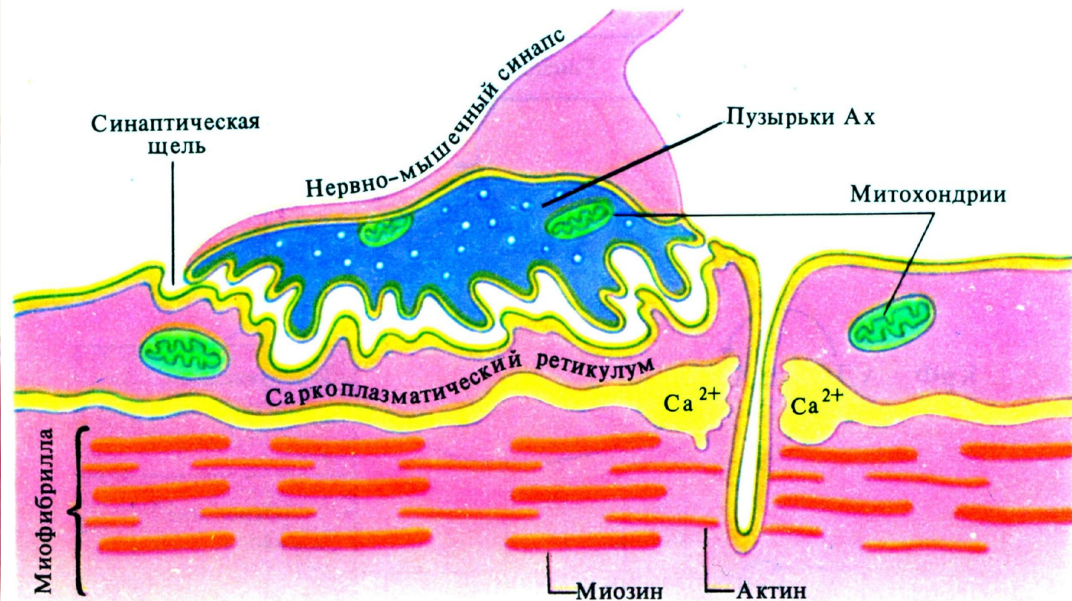
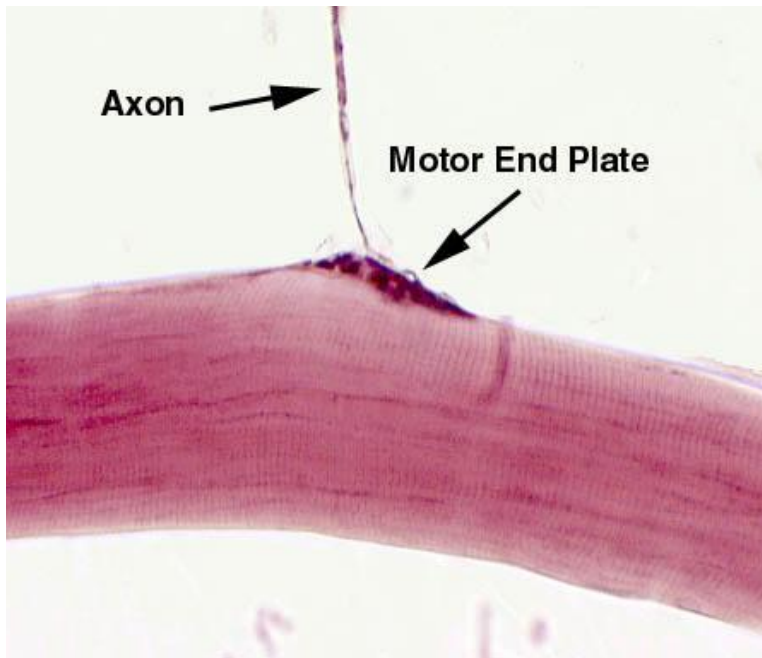
**Электрмиограмма:** отражает возбуждение множества двигательных единиц.



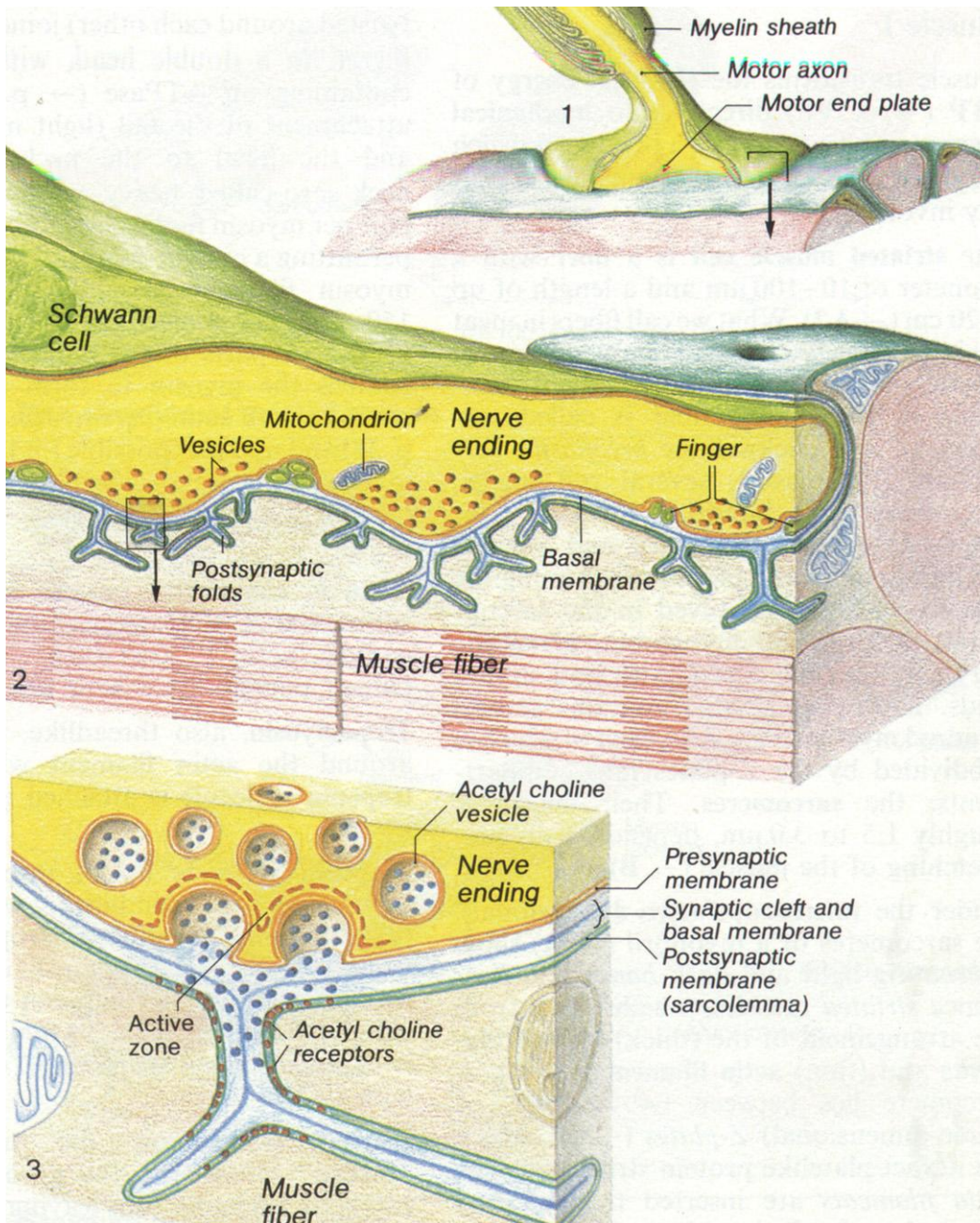
# Нервно-мышечный синапс скелетных мышц (концевая пластинка)

Синапс между окончанием аксона мотонейрона спинного мозга и мышечным волокном скелетной мышцы называется *концевой пластинкой*.

Концевая пластинка имеет большую величину.







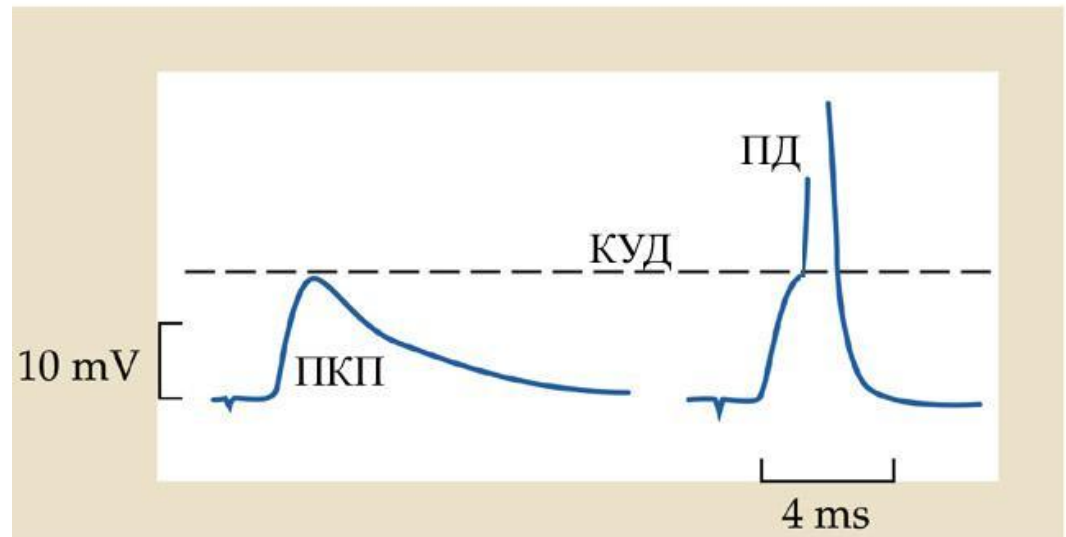
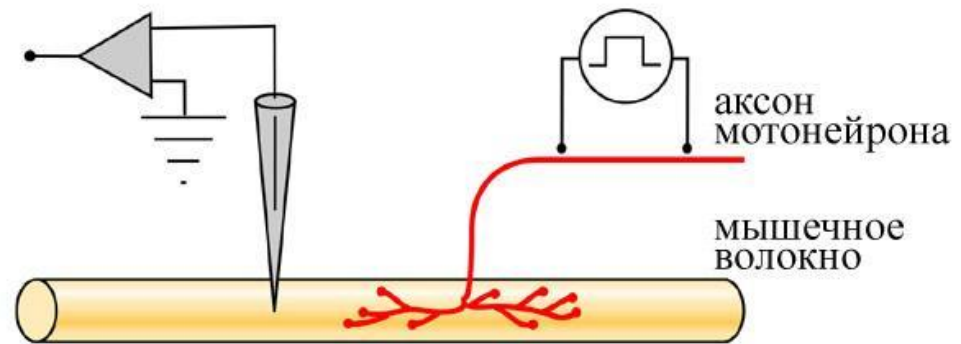
## Особенности концевой пластинки:

- ❑ Синаптические зоны в концевой пластинке расположены линейно вдоль двигательной терминали.
- ❑ Места освобождения медиатора и локализации постсинаптических рецепторов противостоят друг другу.
- ❑ Медиатор нервно-мышечного синапса – **ацетилхолин**.
- ❑ Рецепторы к медиатору: **Н-холинорецепторы**.

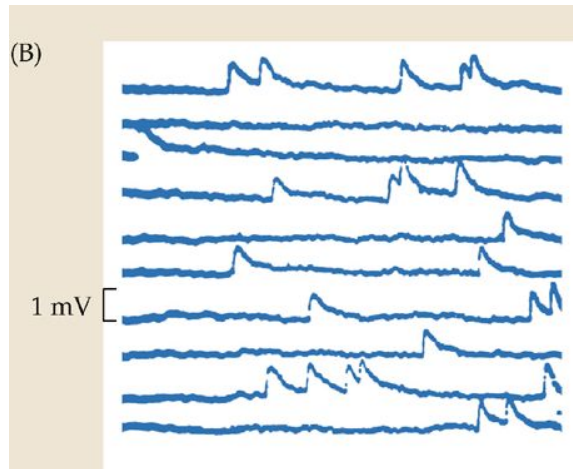
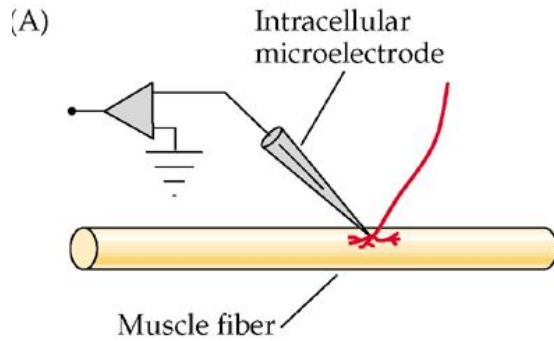
# ПОТЕНЦИАЛ КОНЦЕВОЙ ПЛАСТИНКИ

В нервно-мышечном синапсе на постсинаптической мембране возникает *потенциал концевой пластинки (ПКП)*:

- ПКП имеет **большую величину** – экзоцитоз большого количества медиатора (содержимого 100-300 везикул).
- если амплитуда ПКП достигает **критического уровня**, то возникает ПД.
- большая величина ПКП обеспечивает **надежность** нервно-мышечной передачи возбуждения



# Миниатюрные потенциалы концевой пластинки



Миниатюрные потенциалы концевой пластинки (МПКП)

Квант – содержимое 1 **везикулы**.

Выделение отдельных квантов в покое: на постсинаптической мембране возникают слабые потенциалы - **миниатюрные**.

Миниатюрные потенциалы концевой пластинки (МПКП):

- возникают спонтанно;
- амплитуда МПКП зависит от состояния холинорецепторов и концентрации ацетилхолина в везикуле;
- частота МПКП зависит от состояния терминали.

При возбуждении мотонейрона возникает ПКП - суммарный ответ на синхронное освобождение многих квантов (>100).

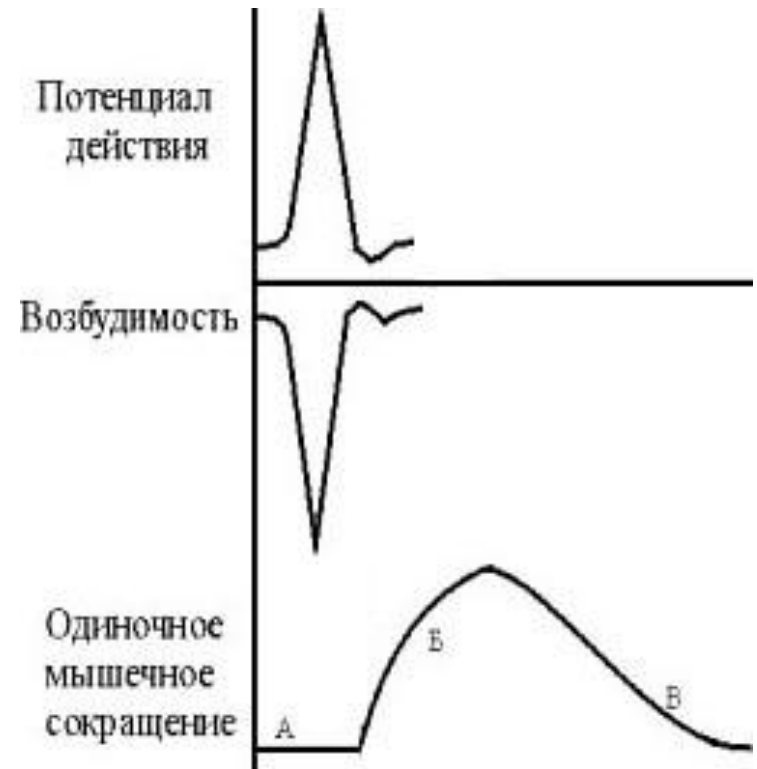
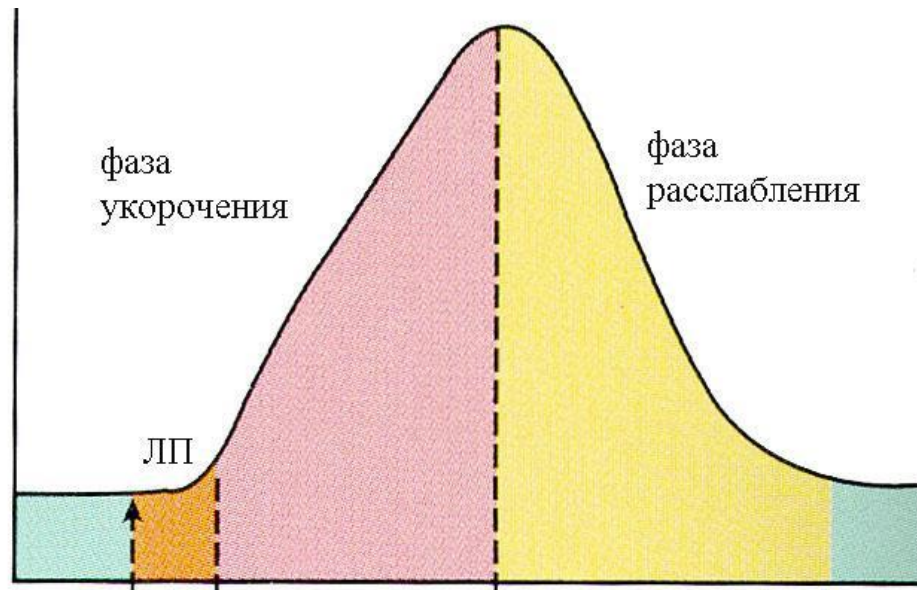
# ВИДЫ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

## Одиночное сокращение

**Одиночное сокращение** мышцы возникает при ее однократном раздражении.

**Фазы:**

- А. Латентный период** (длится около 10 мс) – период от начала возбуждения до начала сокращения мышцы.
- Б. Фаза укорочения (сокращения)** (около 50 мс).
- В. Фаза расслабления** (около 50 мс).



# Тетаническое сокращение

**Тетаническое сокращение (тетанус)** – суммация сокращений мышцы при действии ритмических раздражителей.

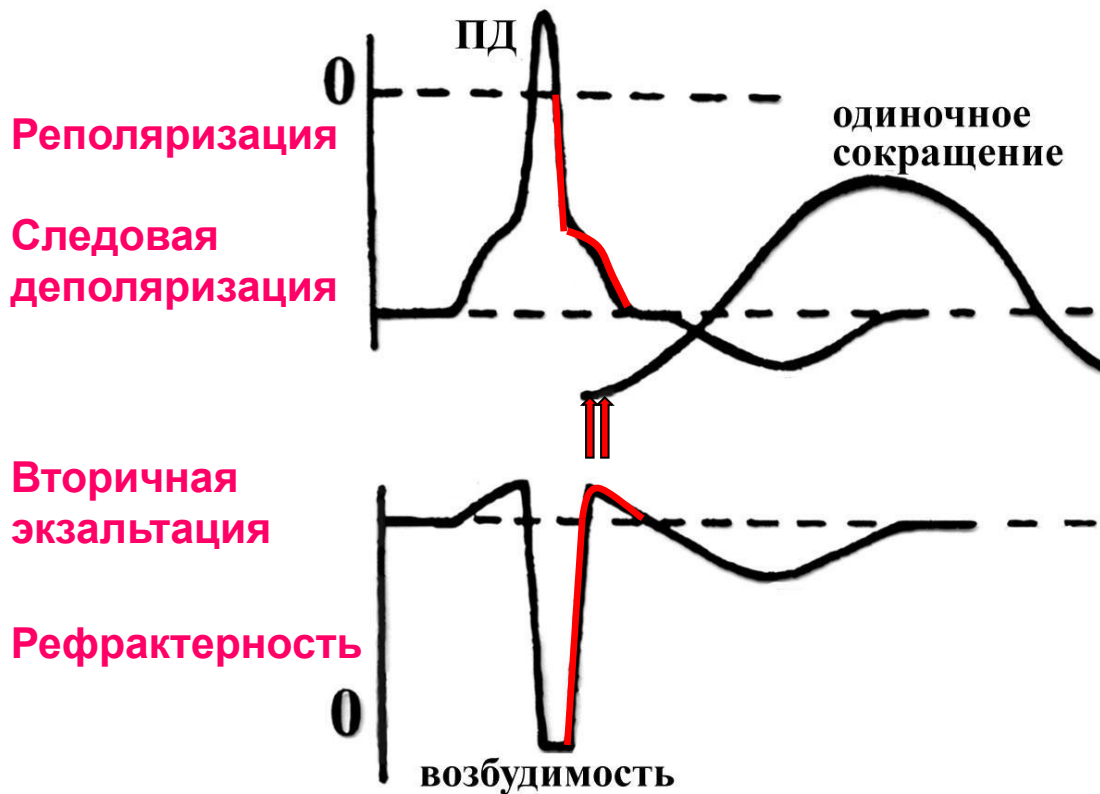
## Виды тетануса:

- 1. Зубчатый тетанус:** наступает, когда каждый последующий раздражитель попадает в фазу расслабления мышцы.
- 2. Гладкий тетанус:** наступает, когда каждый последующий раздражитель попадает в фазу сокращения мышцы.

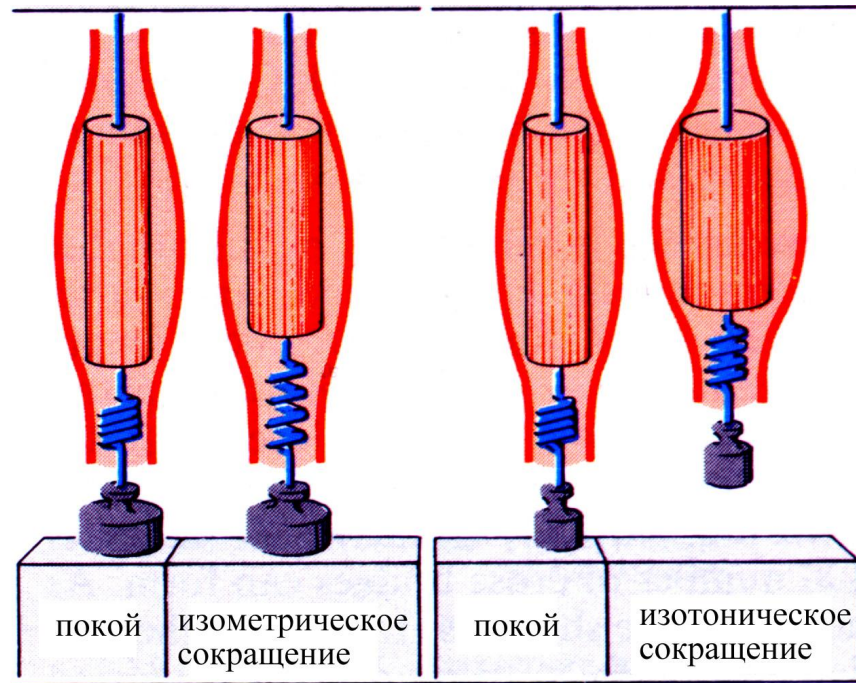




восстановление оптимума после снижения частоты



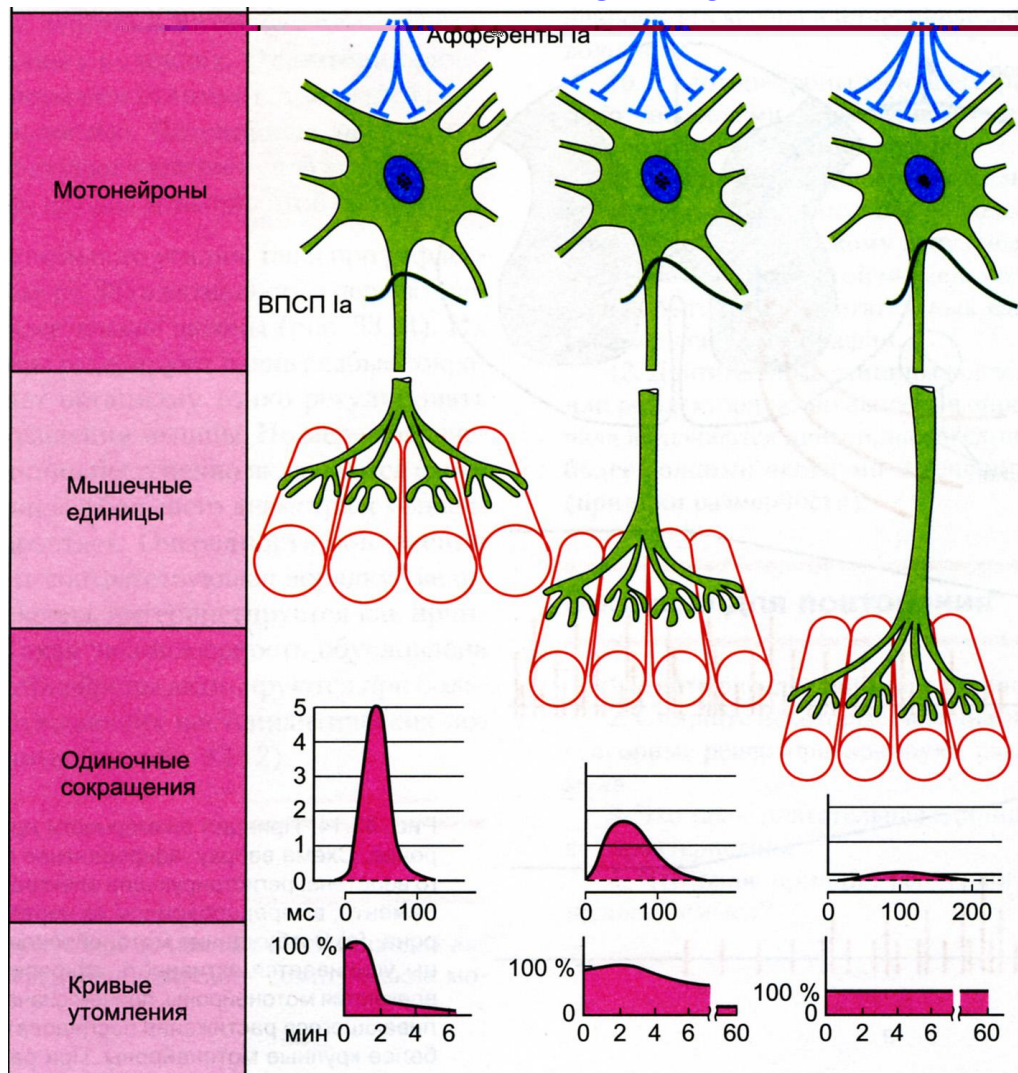
# Режимы мышечного сокращения



1. **Изометрический** – длина мышцы постоянна, но развивается внутреннее напряжение за счет силы растяжения упругих элементов.
2. **Изотонический** – укорочение мышцы при постоянном напряжении или нагрузке.
3. **Ауксотонический (смешанный)** – длина мышцы уменьшается наряду с возрастанием развиваемой ею силы.

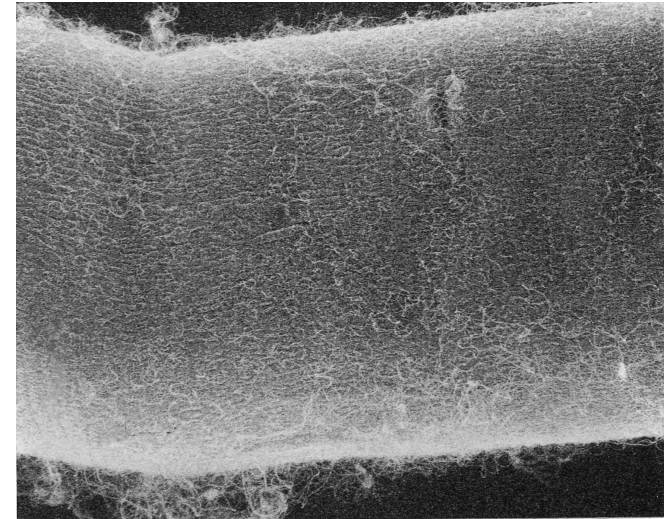
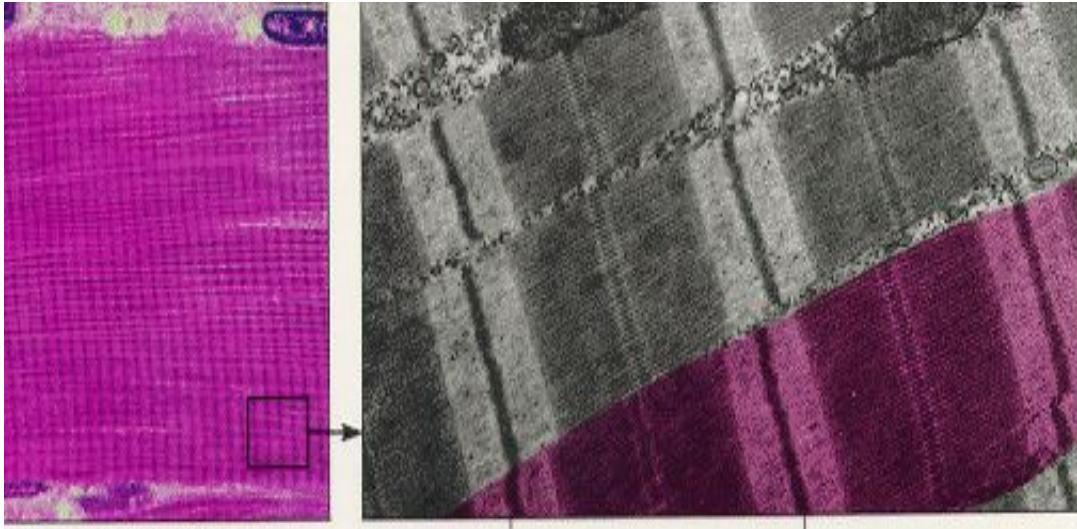
# Типы мышечных волокон

Быстрые Промежуточные Медленные

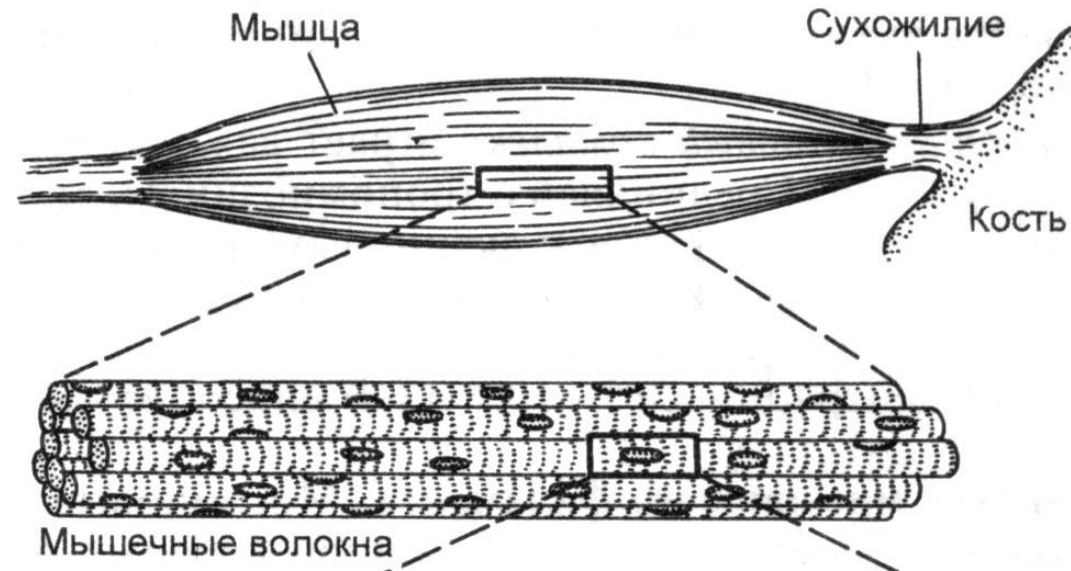




# СТРОЕНИЕ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

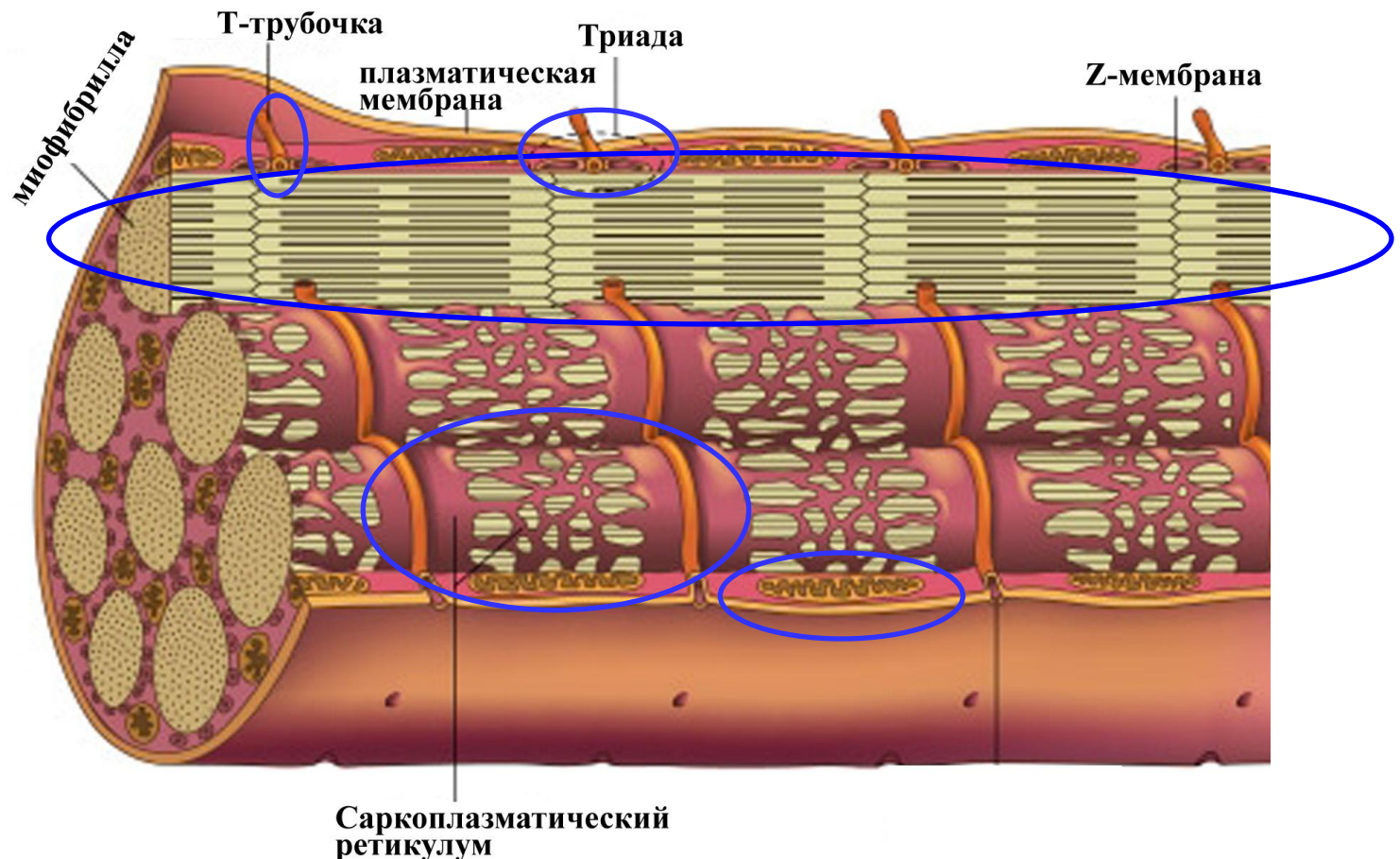


**Мышца состоит из**  
***мышечных волокон.***

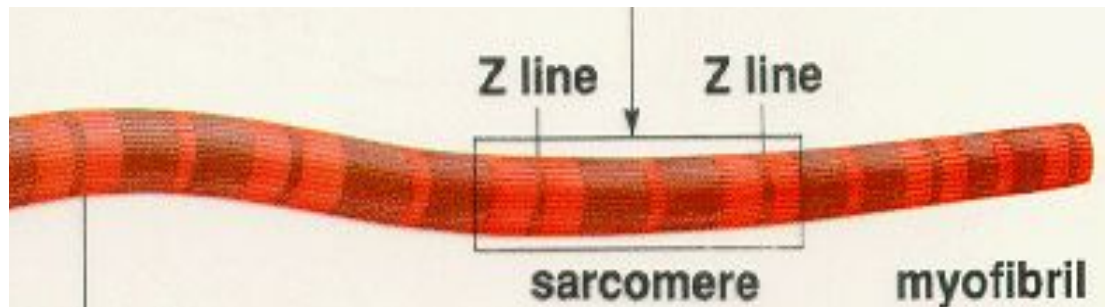
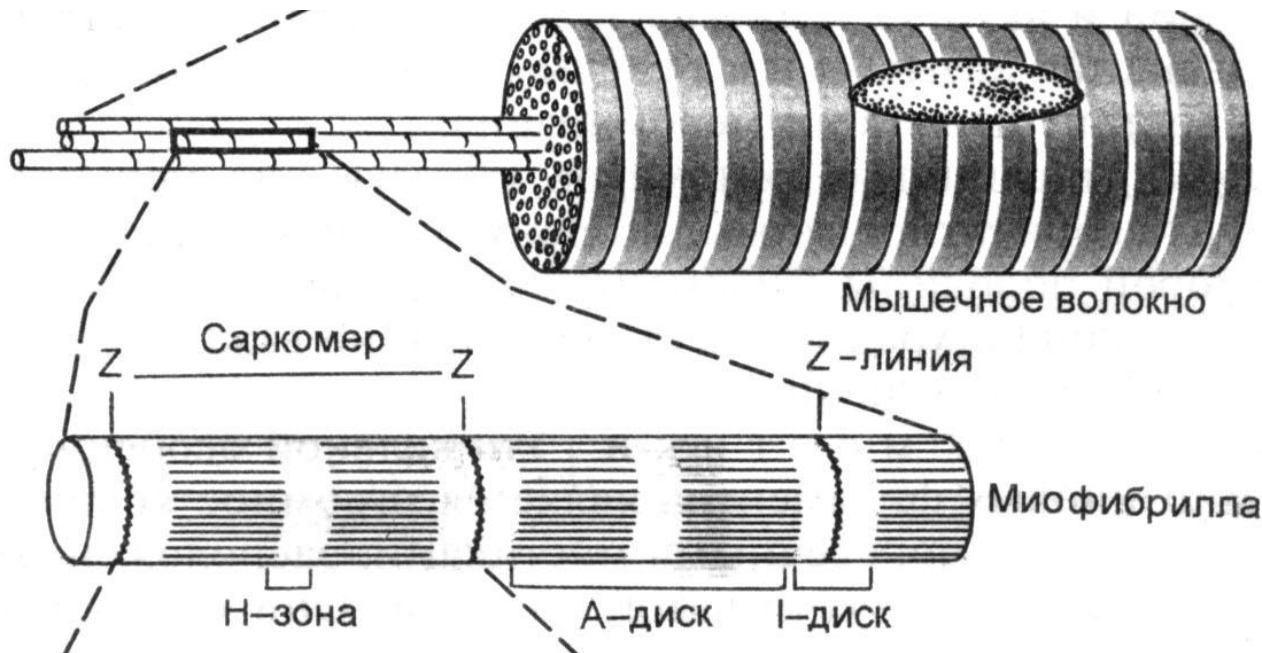


# СТРОЕНИЕ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА

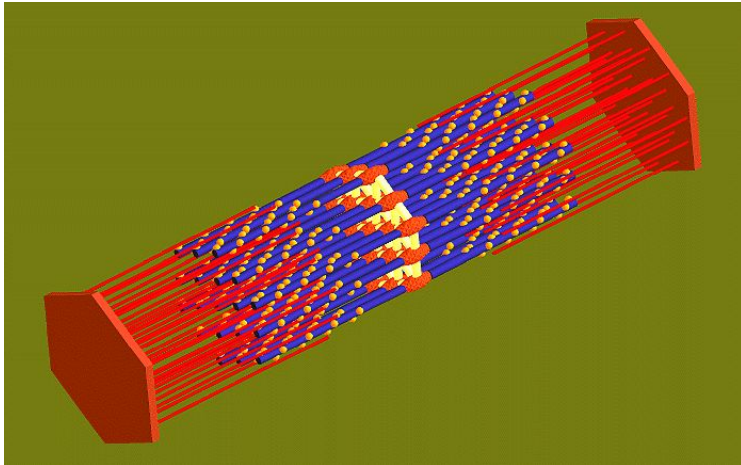
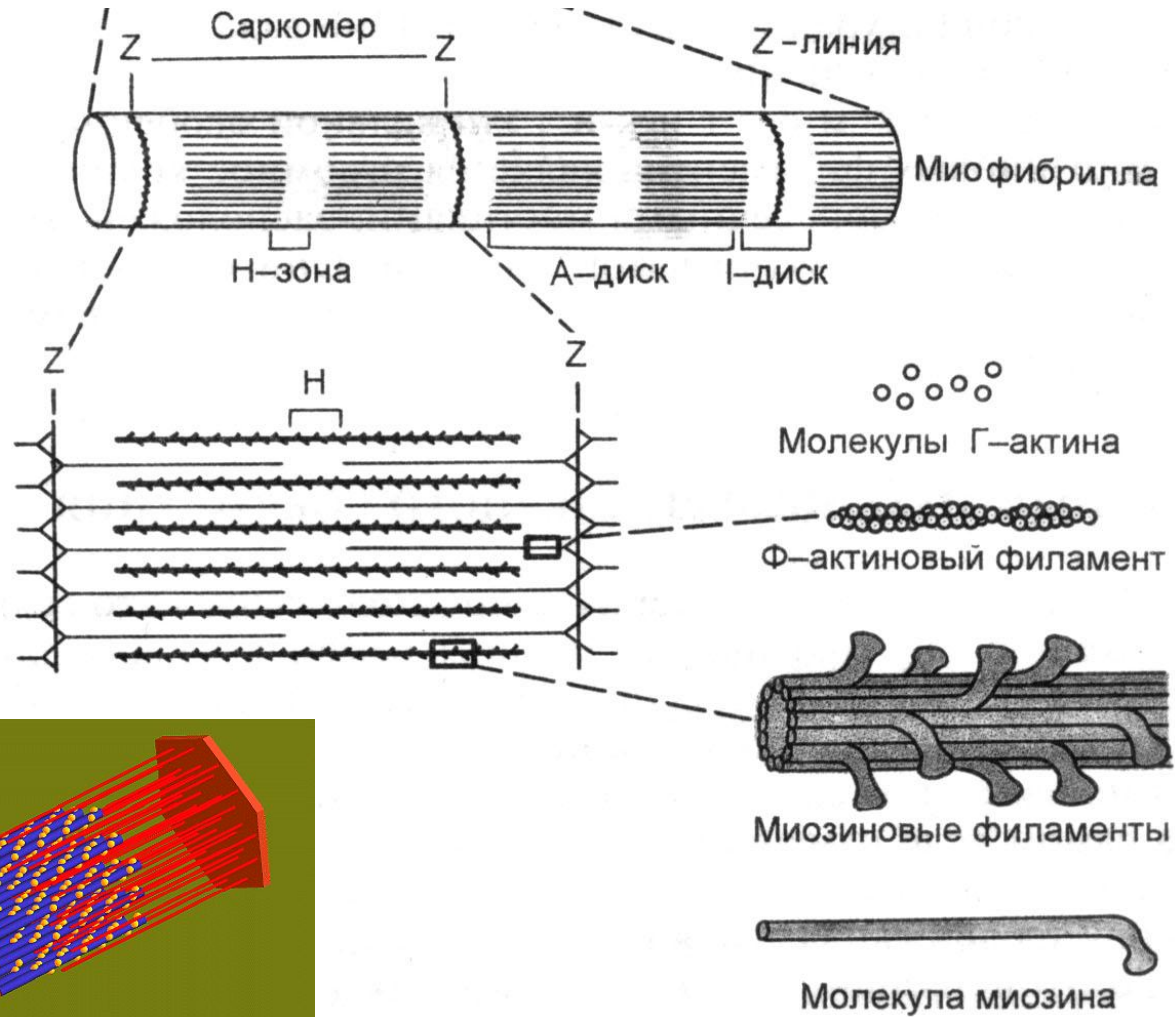
- миофибриллы, состоящие из *саркомеров*;
- *саркоплазматический ретикулум* - депо  $\text{Ca}^{++}$ ;
- митохондрии;
- плазматическая мембрана мышечного волокна имеет впячивания (продольные *T-трубочки*), которые вместе с цистернами саркоплазматического ретикулума образуют *T-системы (триады)*.



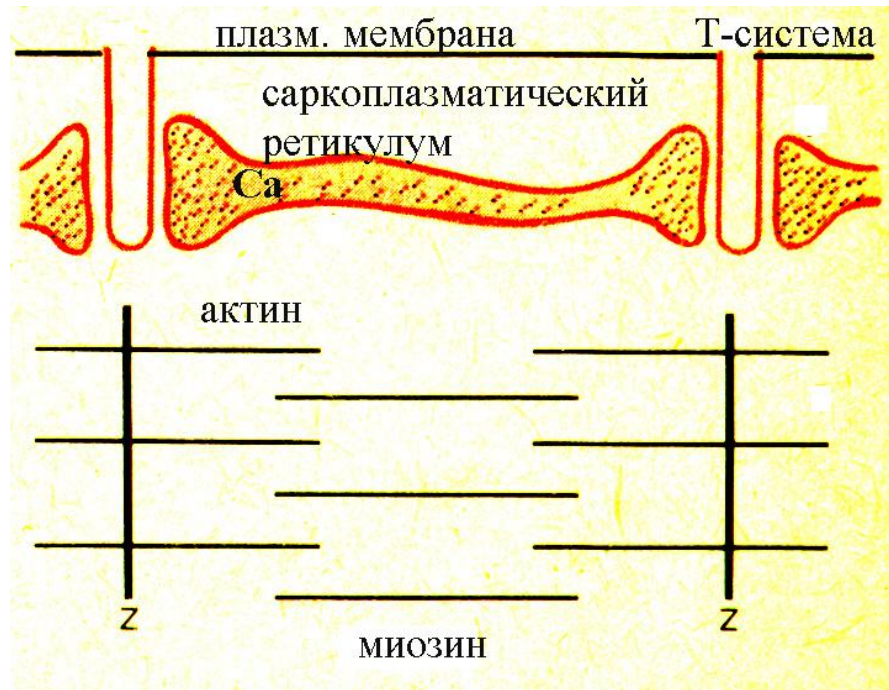
Миофибриллы содержат *саркомеры* – структурно-функциональные единицы мышцы.



# СТРОЕНИЕ САРКОМЕРА МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА

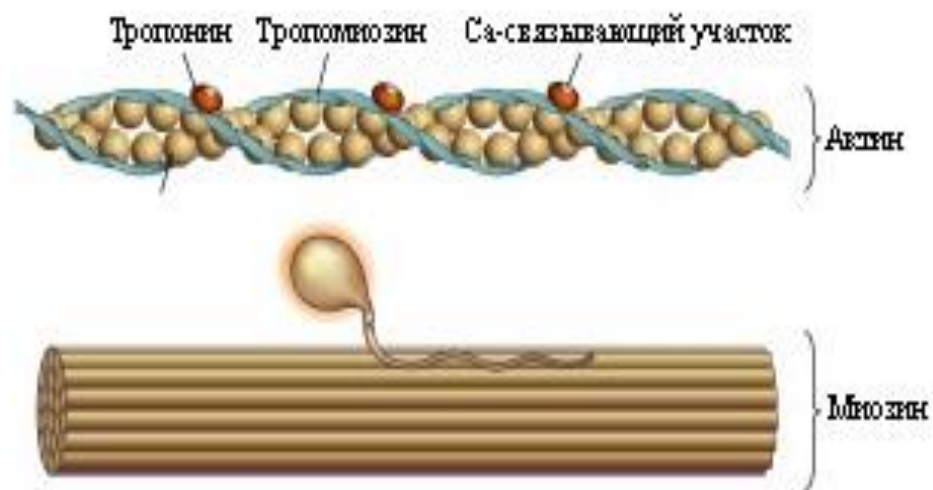
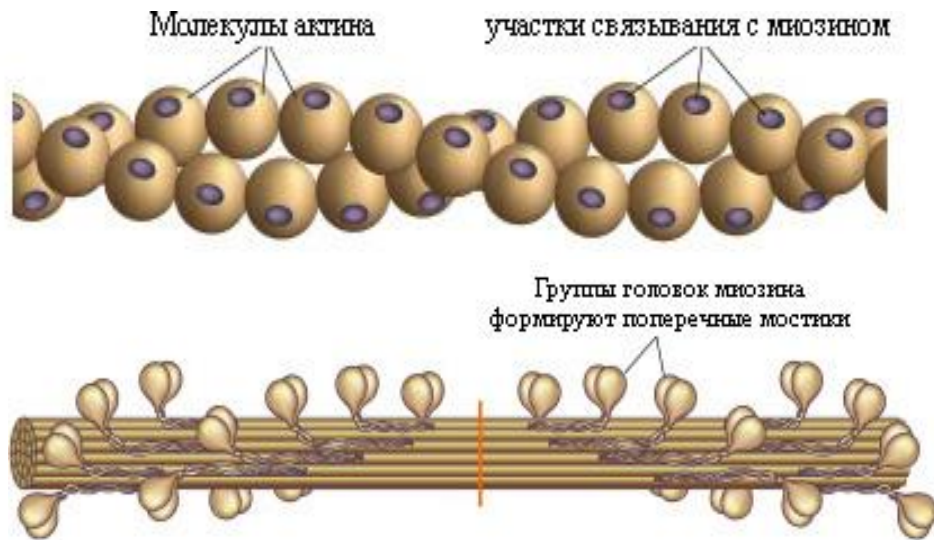


# СХЕМА СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА



- Саркомер состоит из сократительных белков и **Z-мембран**.
- Z-мембраны располагаются в области Т-трубочек.
- К Z-мембранам крепятся тонкие нити белка **актина**.
- Между нитями актина располагаются толстые нити белка **миозина**.
- Сокращение мышцы происходит путем взаимного **скольжения** нитей актина и миозина.
- **Сопряжение** возбуждения мембраны мышечного волокна и скольжения нитей обеспечивает работа Т-систем.

# Строение актина и миозина

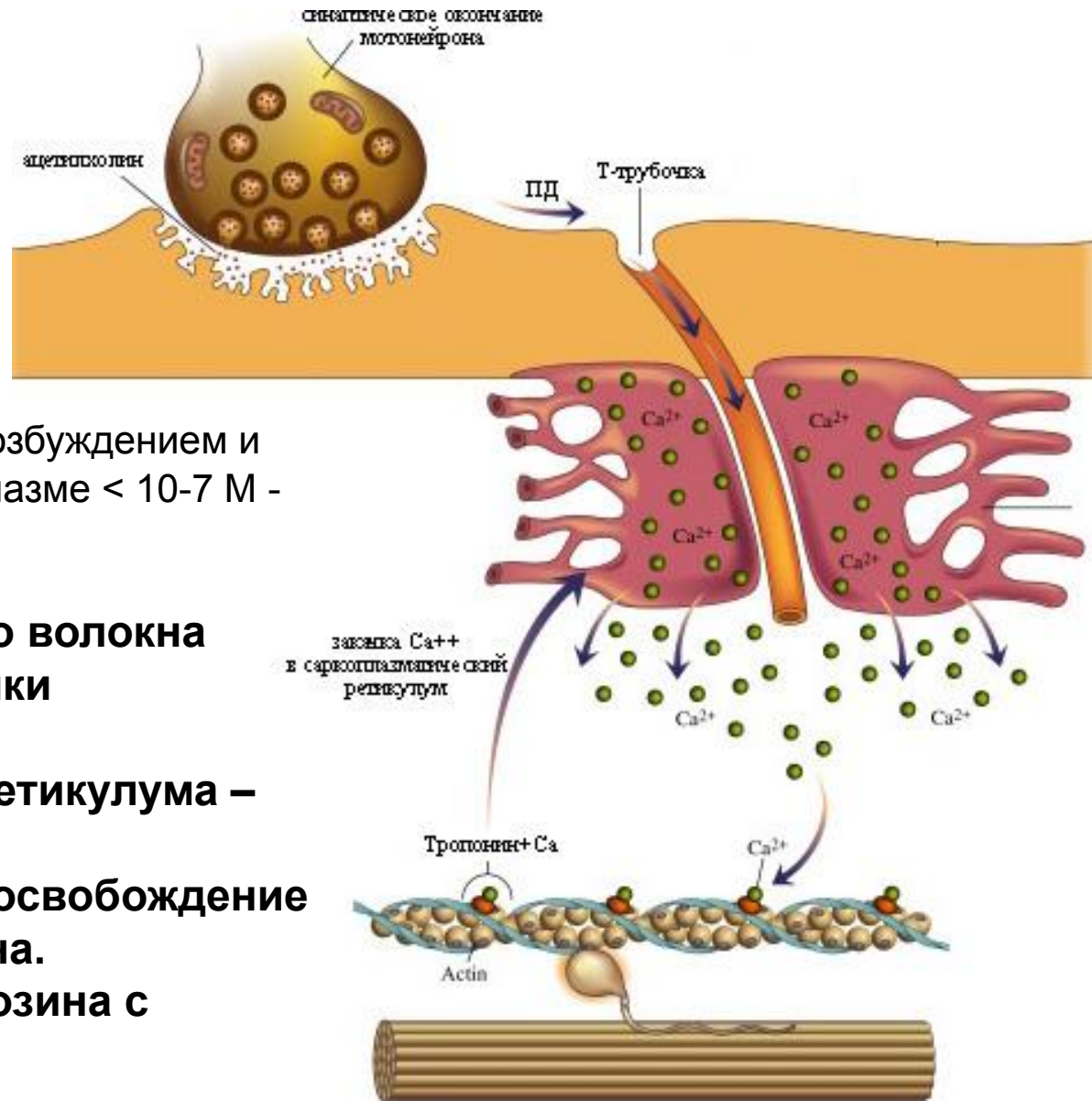


**Миозиновые нити** имеют выступы – **поперечные мостики**. На их концах расположены утолщения - «головки» миозина.

**На актиновых нитях** расположены **активные центры**, способные связываться с головками миозина.

В покое активные центры актина закрыты белком **тропомиозином**. Тропомиозин фиксирован на актине с помощью белка **тропонина**. Тропонин+тропомиозин – **тропонин-тропомиозиновый комплекс (ТТК)**.

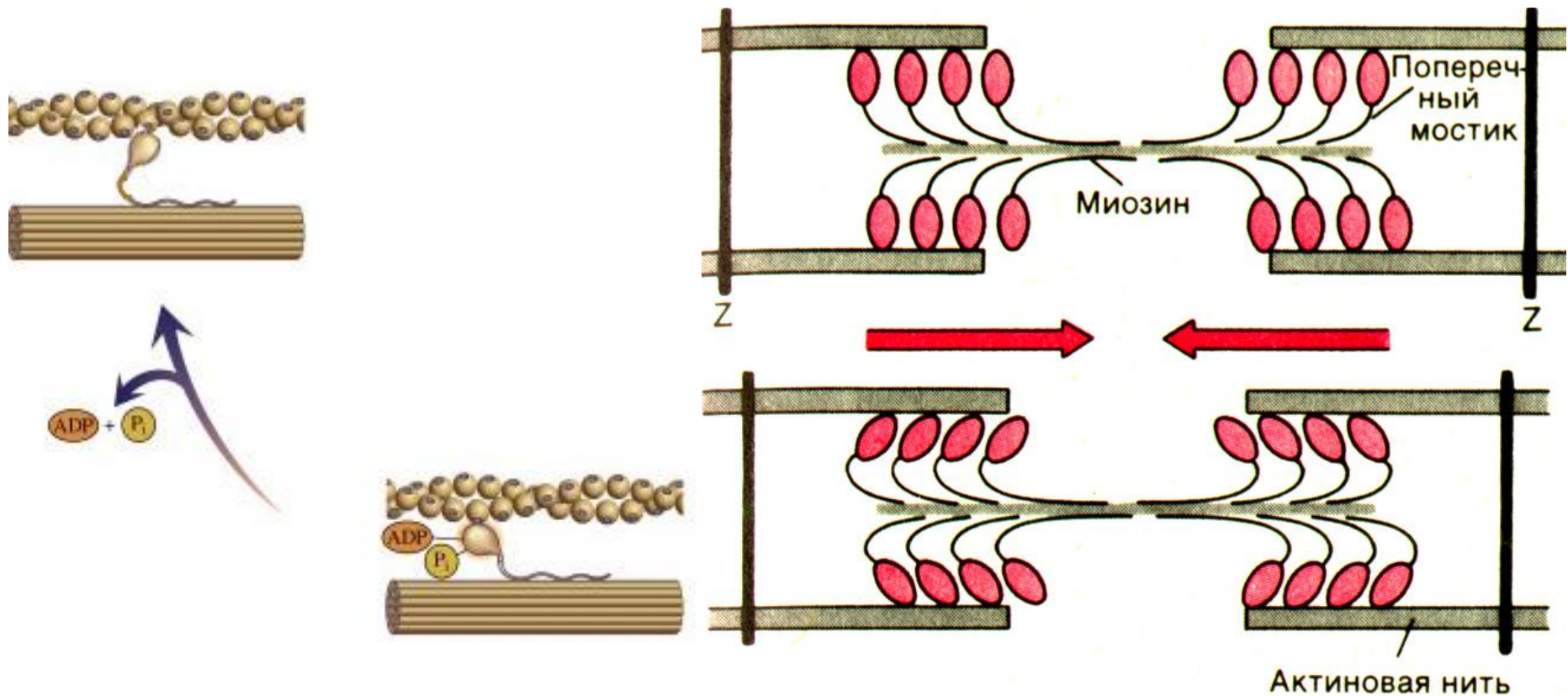
# Механизм скольжения нитей актина и миозина. Электромеханическое сопряжение.



**Ион Ca<sup>2+</sup>** – посредник между возбуждением и сокращением. Ca<sup>2+</sup> в цитоплазме < 10<sup>-7</sup> М – мышца расслаблена.

1. Возбуждение мышечного волокна
2. Деполяризация Т-трубочки
3. Открытие Ca-каналов саркоплазматического ретикулума – выход Ca<sup>2+</sup>.
4. Действие Ca<sup>2+</sup> на ТТК – освобождение активных участков актина.
5. Связывание головок миозина с актином.

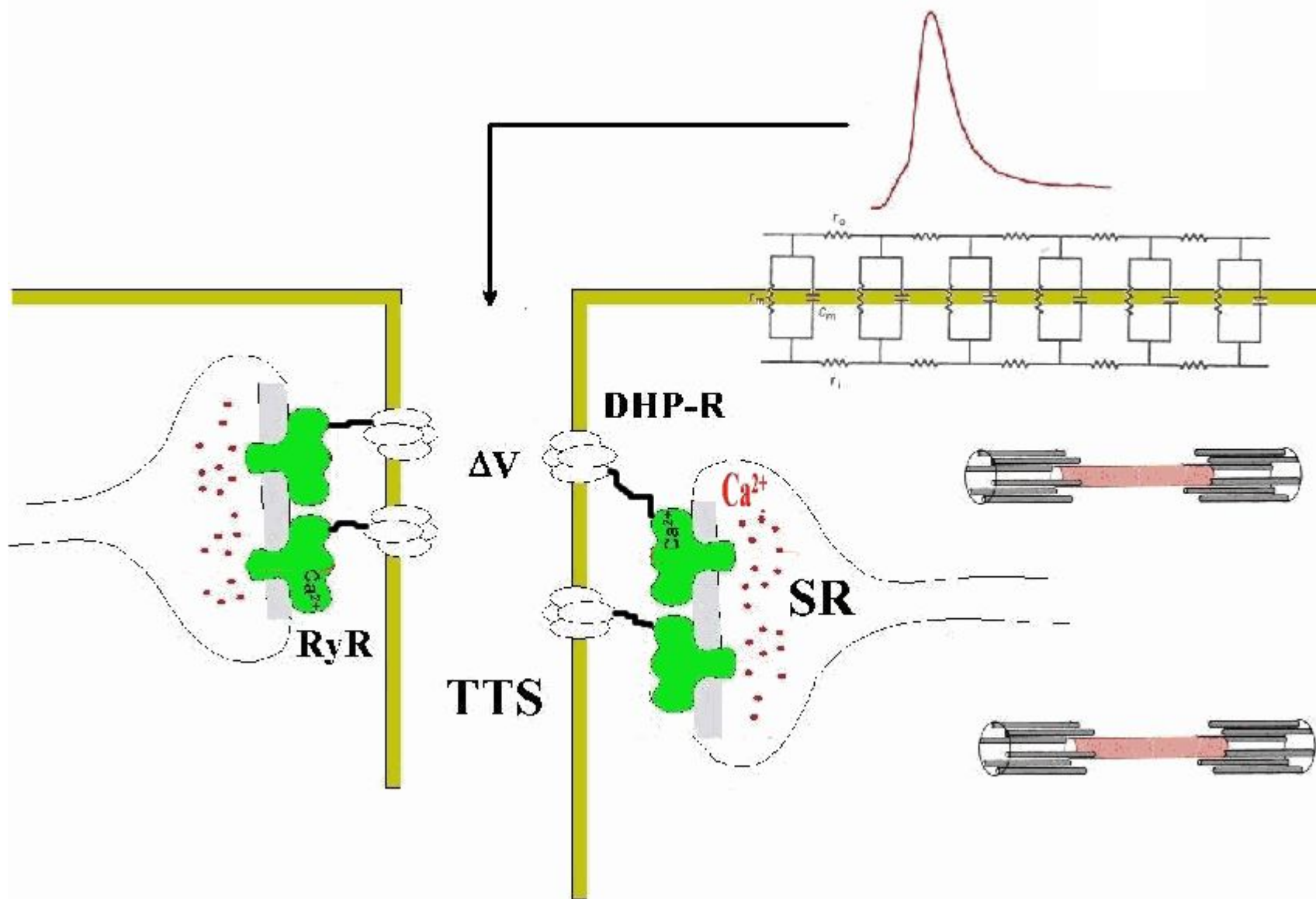
# Механизм скольжения нитей: укорочение саркомера



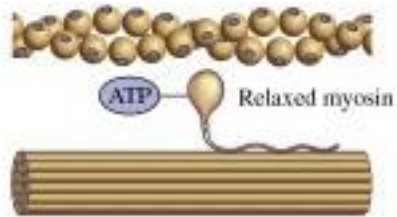
6. Гидролиз АТФ головки миозина, отсоединение АДФ и  $P_i$  – высвобождение энергии – смещение головок миозина по направлению к актину (от 90 град до 45 град) – скольжение актиновой нити на один шаг по направлению к центру саркомера, в результате саркомер укорачивается.



# Электромеханическое сопряжение



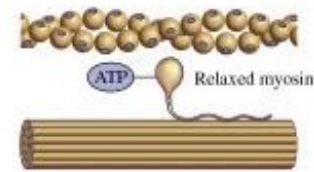
# Механизм скольжения: разобцение нитей



Отсоединение головки миозина от актина:  
связывание **свободной АТФ** с головкой миозина.

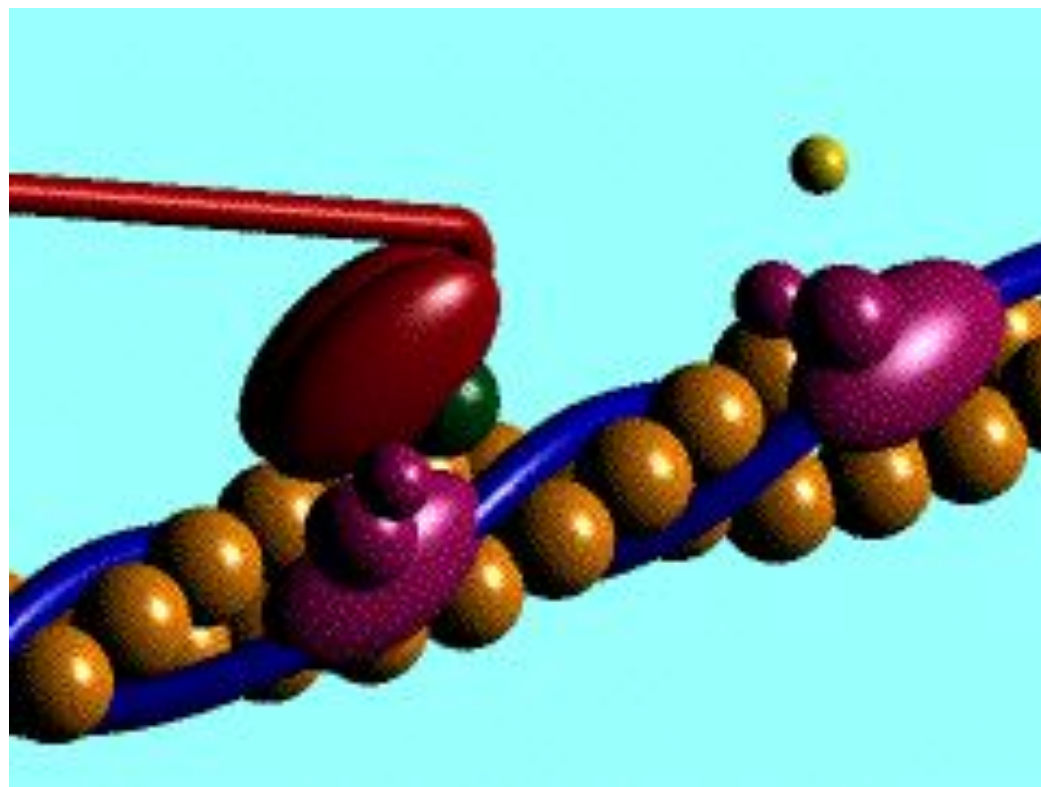
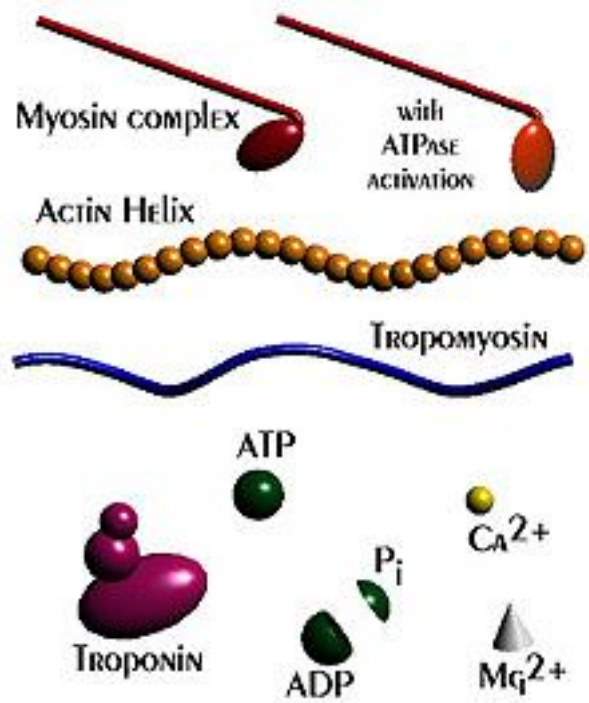


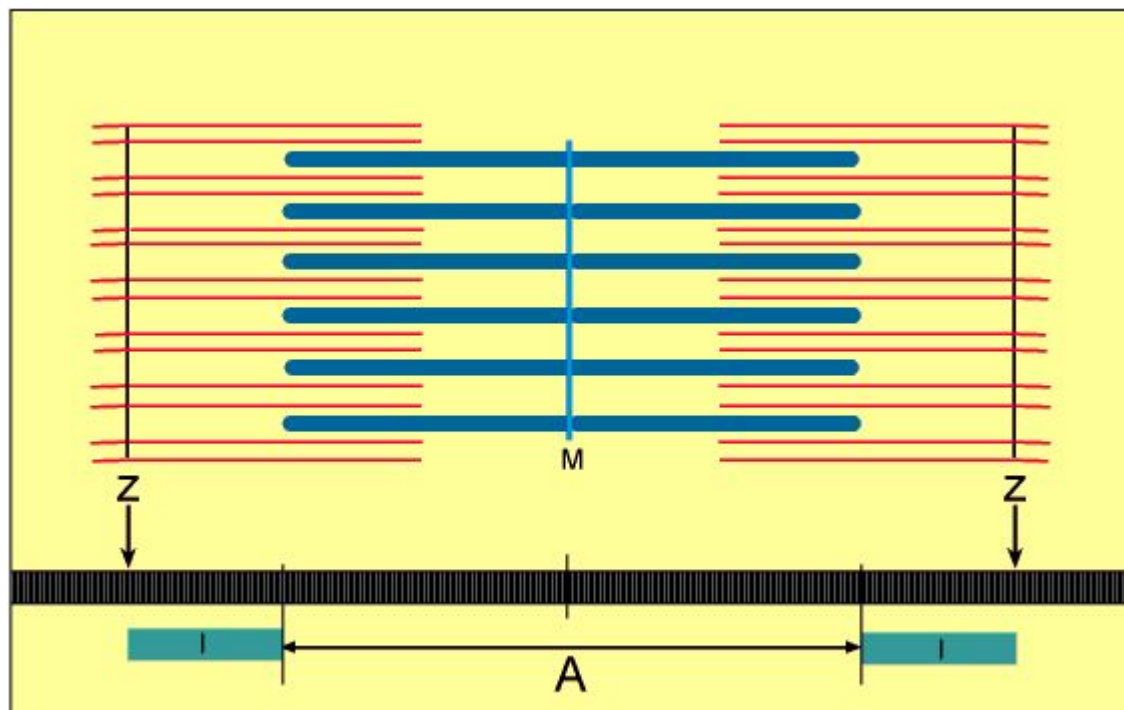
Поперечный мостик распрямляется,  
головка миозина присоединяется к  
следующему активному центру актина.



+ Mg

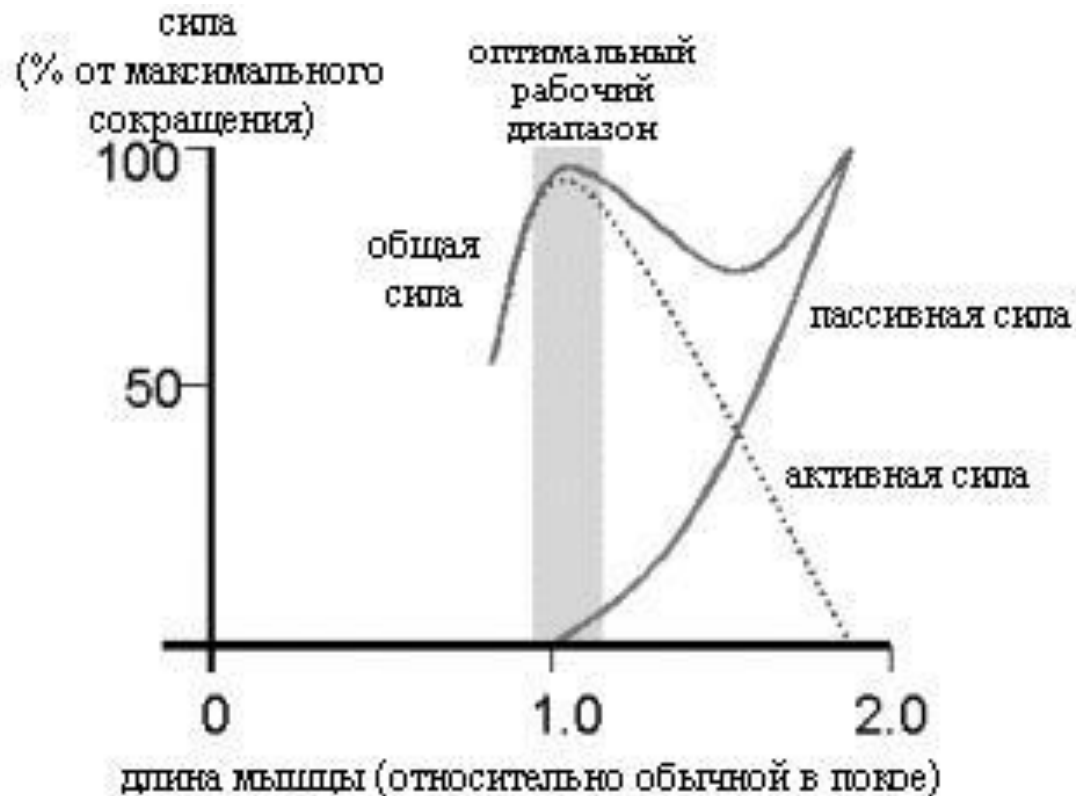






**Расслабление мышцы** происходит в результате **снижения** уровня  $\text{Ca}^{++}$  в цитоплазме.  $\text{Ca}^{++}$  закачивается обратно в саркоплазматический ретикулум с помощью **Са-насоса** мембраны ретикулума.

# ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ СОКРАЩЕНИЯ ОТ ИСХОДНОЙ ДЛИНЫ МЫШЦЫ



A light micrograph of smooth muscle tissue. The image shows several bundles of spindle-shaped cells with single, centrally located nuclei. The cells are arranged in a somewhat parallel fashion, and the overall appearance is that of a dense, fibrous tissue. The nuclei are stained dark purple, while the cytoplasm and surrounding connective tissue are stained pink.

**ФИЗИОЛОГИЯ**

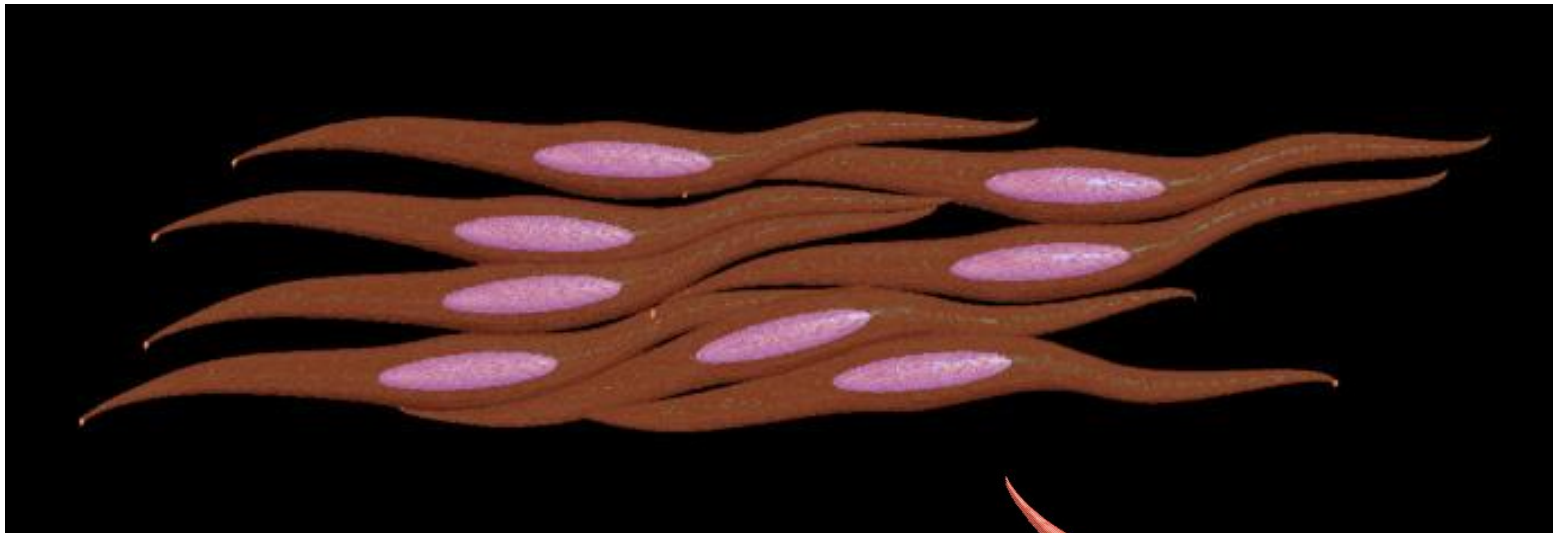
**ГЛАДКИХ**

**МЫШЦ**

Nonstriated  
Spindle-shaped  
Single Nucleus

Гладкие мышцы располагаются в стенках внутренних полых органов:

- Сосудов
- Верхних дыхательных путей
- Желудочно-кишечного тракта
- Мочевого пузыря
- Матки, семявыносящих протоков



# Сократительные особенности гладких мышц

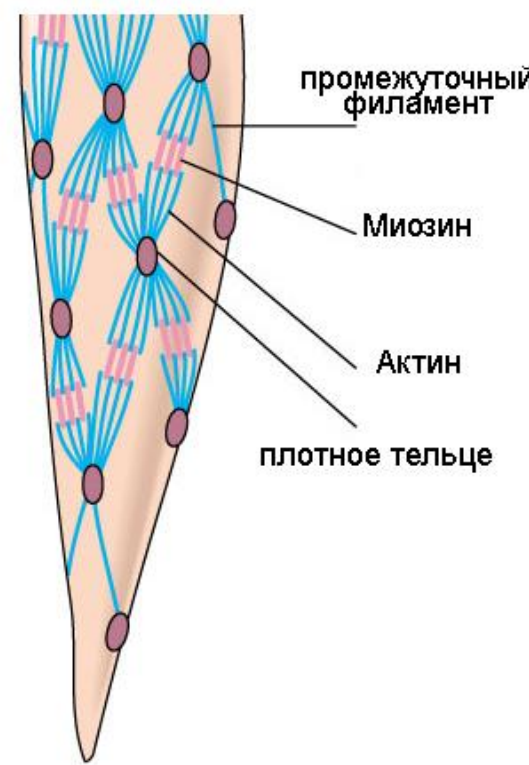
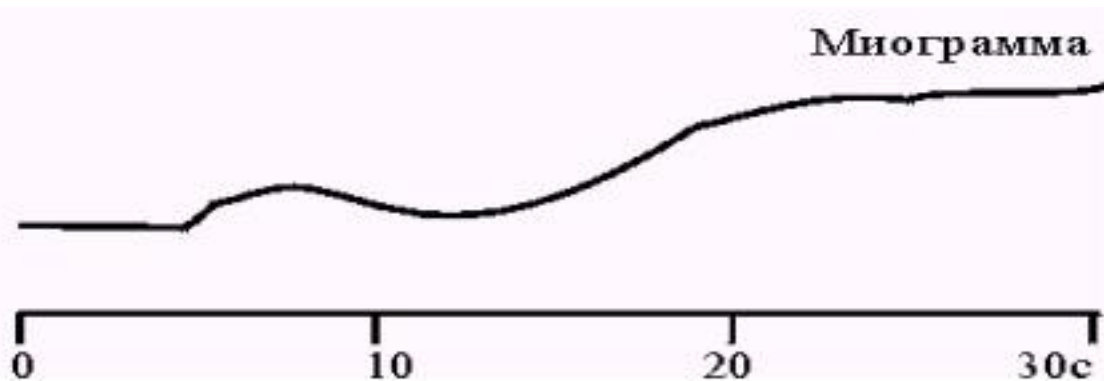
- 1) Миофибриллы с саркомерами располагаются *нерегулярно*.
- 2) Другой механизм сокращения (участвует внешний  $Ca^{++}$ ).
- 3) Сокращение развивается *позже, более медленно*, чем в скелетных мышцах, и имеет *меньшую амплитуду*.
- 4) Обладают **пластичностью** – способностью сохранять длительное время форму после растягивающей деформации.



в состоянии расслабления



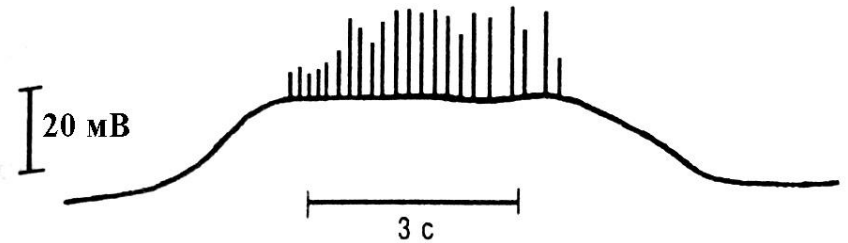
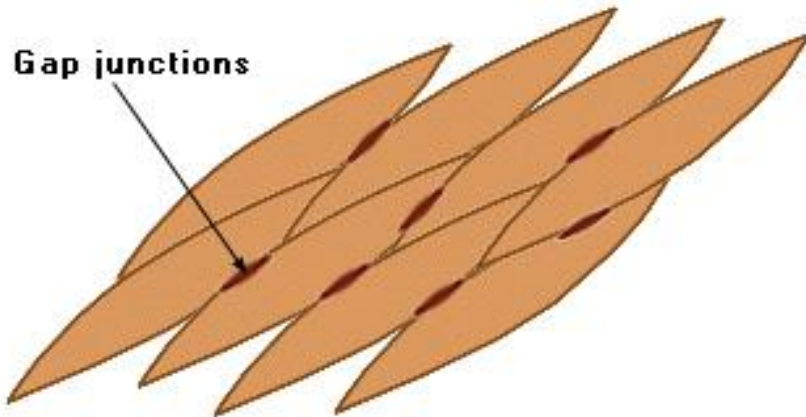
в состоянии сокращения





# Особенности возбуждения гладких мышц

1. *Способность к автоматии.*
2. Низкий мембранный потенциал покоя
3. Наличие *потенциалзависимых медленных Ca-каналов* на плазматической мембране.
4. Потенциал действия может иметь *плато*.
5. В гладкомышечной ткани есть некоторое количество *нексусов*.
6. Гладкомышечные клетки иннервируют нервные *волокна автономной* нервной системы.



## Сравнительная характеристика скелетных и гладких мышц

<b>Характеристика</b>	<b>Скелетная мышца</b>	<b>Гладкая мышца</b>
<b>Диаметр мышечных волокон, мкм</b>	<b>&lt; 100</b>	<b>&lt; 5</b>
<b>Длина мышечных волокон, мкм</b>	<b>200 000</b>	<b>&lt; 200</b>
<b>Т-трубочки</b>	<b>есть</b>	<b>нет</b>
<b>Расположение миофибрилл</b>	<b>Упорядочено</b>	<b>Не упорядочено</b>
<b>Саркоплазматический ретикулум</b>	<b>выражен</b>	<b>Менее развит, участвует внешний Ca+</b>
<b>Тропонин</b>	<b>есть</b>	<b>нет</b>
<b>Нексусы</b>	<b>нет</b>	<b>есть</b>
<b>МПП</b>	<b>-80 -90</b>	<b>-60 -70</b>
<b>Латентный период сокращения, мс</b>	<b>10</b>	<b>200</b>
<b>Длительность сокращения, мс</b>	<b>10-100</b>	<b>3000</b>
<b>Амплитуда сокращения</b>	<b>Высокая</b>	<b>низкая</b>
<b>Проявления нарушений функционирования</b>	<b>атрофия</b>	<b>Астма, гипертензия</b>

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**