

# **Физиология –1**

**Тема: «Механизм мышечного  
сокращения»**

Лектор: доцент Евневич А.М.

# Цель

- по окончании лекции будете компетентны в механизмах проведения возбуждения, сокращения и расслабления мышц, а также функциональных особенностях скелетных и гладких мышц

# План

1. Функции скелетных мышц.
2. Виды и режимы мышечных сокращений.
3. Физические и физиологические свойства мышц.
4. Современная теория механизма сокращения и расслабления мышц.

# Функциональная классификация мышечных волокон

**Скелетные**

**Сердечные**

**Гладкие**

**Тонические**  
(обеспечивают неполноценный ПД)

**Фазные**  
(обеспечивают полноценный ПД)  
(быстрые и медленные)

**Тонические**  
(базальный тонус)

**Фазно-тонические:**  
Обладающие автоматией и не обладающие автоматией

**Интрафузальные волокна**  
находятся внутри мышечного веретена

**Экстрафузальные**  
волокна (все остальные волокна)

# Функции скелетных мышц

1. перемещение тела в пространстве
2. перемещение частей тела относительно друг друга
3. поддержание позы (положение тела в пространстве) – антигравитационные тонические функции
4. передвижение по сосудам крови и лимфы

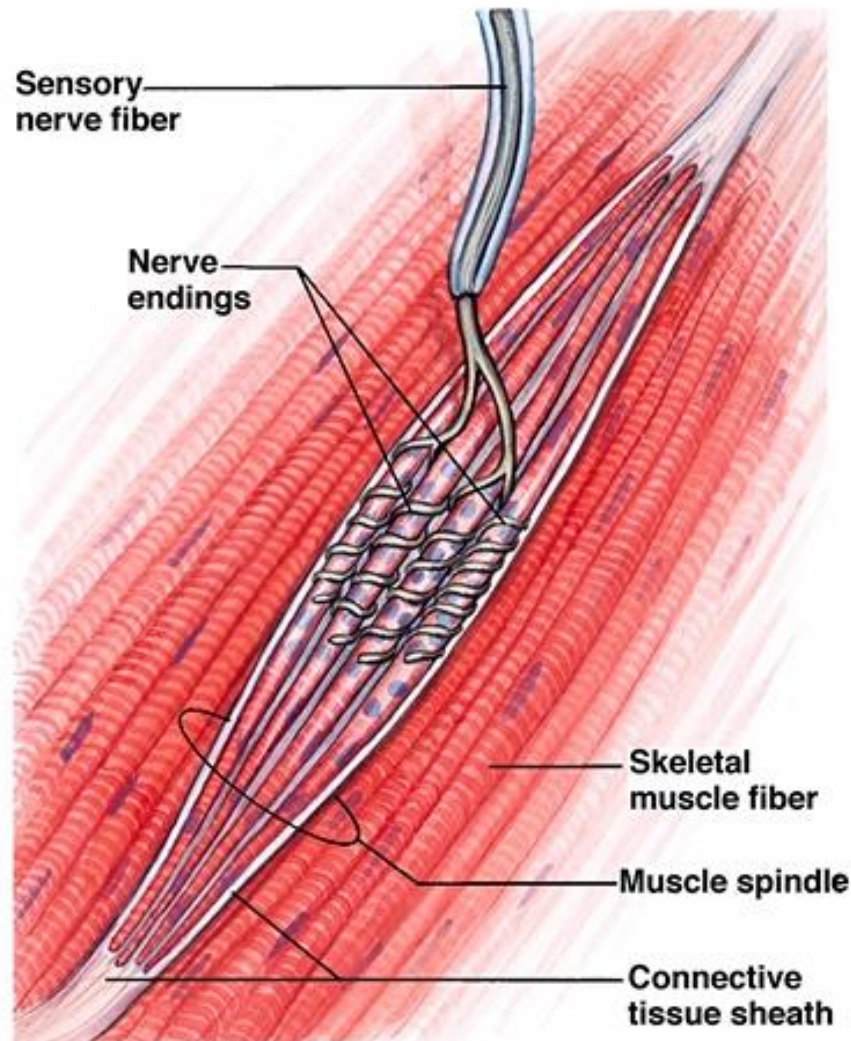
# Функции скелетных мышц

5. выработка в организме тепла, участие в терморегуляции (мышечная дрожь)
6. акты вдоха и выдоха
7. депо воды и солей
8. защита внутренних органов (мышцы брюшной стенки)

# Функции скелетных мышц

9. участие в речеобразовательной функции, жевании, мимике, движении глазных яблок
10. чувствительное (рецепторное) поле
11. регуляция внутренней среды (перемещение пищевых веществ, крови, лимфы и мочи, депонирование углеводов и жировых веществ и др.)
12. антистрессорные влияния

# Экстрафузальные и интрафузальные волокна





# Формы работы мышц

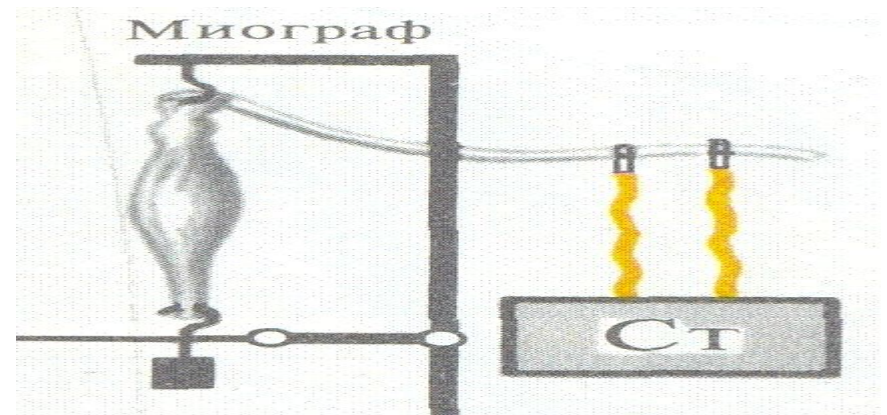
1. **Динамическая** (перемещение груза, движение) – **фазное сокращение**, определяется белыми мышечными волокнами.
2. **Статическая** (поддержание позы, груза) – **тоническое сокращение**, определяется красными мышечными волокнами.

# Тонус мышц

- **длительное, но не выраженное напряжение мышц, которое характеризуется низким уровнем обменных процессов, без признаков утомления**

# Типы (режимы) сокращения мышц

1. **Изотоническое** (изменение длины при неизменном напряжении)
2. **Изометрическое** (изменение напряжения, при постоянной длине)
3. **Ауксотоническое** (смешанное) в целом организме



# Виды сокращений мышц

- **скелетных:**
  - тонические
  - тетанические
- **сердечной:**
  - одиночные
- **гладких:**
  - длительные тонические

# Одиночное и тетаническое сокращения



# Тетанус

- **длительное и сильное сокращение** **мышцы**, вызванное частым поступлением импульсов к мышце, в результате чего возникает суммация сокращений
- суммируются только сократительные ответы на раздражение, ПД не суммируются

# Оптимум

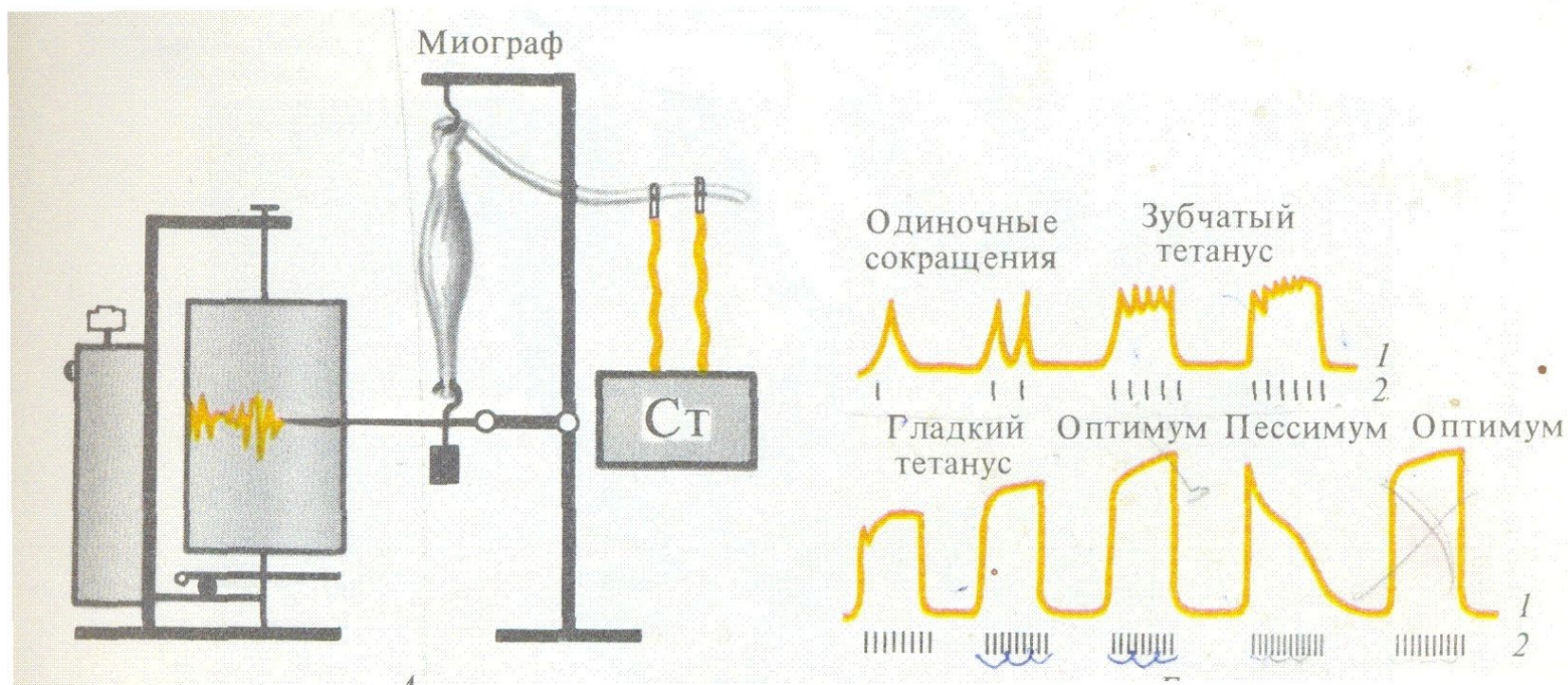
- высота тетанического сокращения скелетной мышцы в ответ на ритмические раздражения возрастает с увеличением частоты раздражения
- при некоторой **оптимальной частоте раздражения** тетанус достигает наибольшей величины

# Пессимум

- если продолжать и дальше повышать частоту стимуляции, то вместо увеличения тетаническое сокращение мышцы начинает резко ослабевать и при некоторой большой, **пессимальной частоте раздражения** мышца почти полностью расслабляется



# Оптimum и пессимум (по Н. Введенскому)



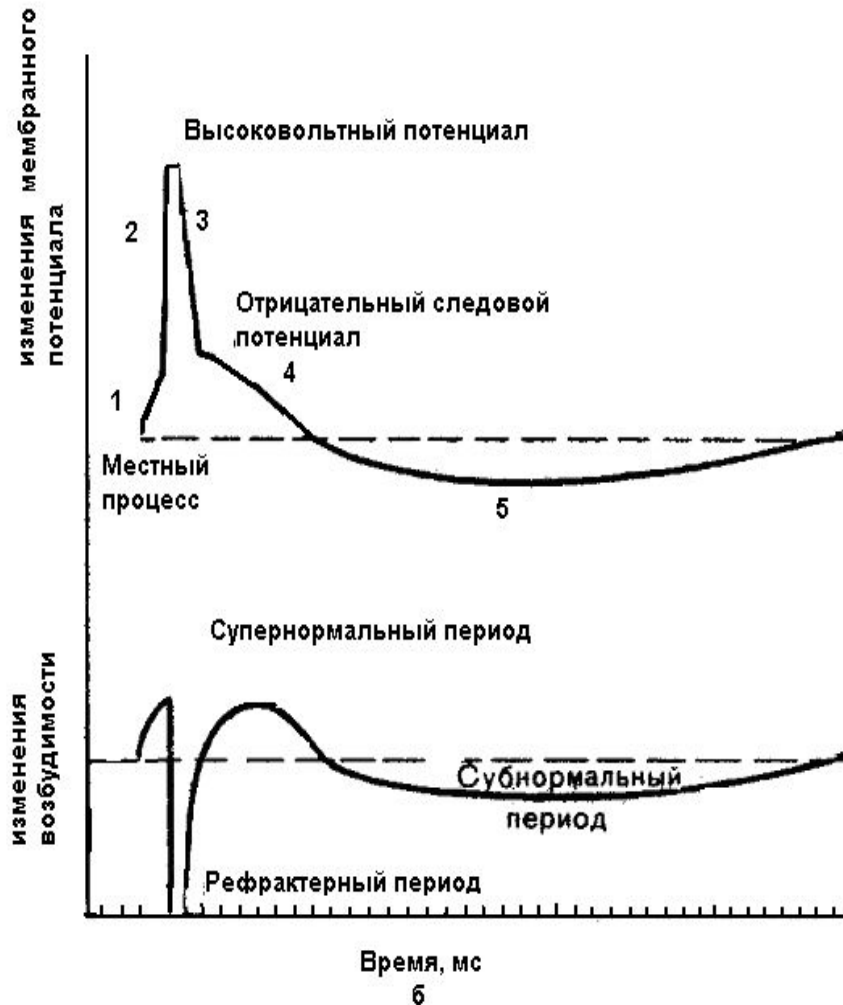
# Послететаническая (остаточная) контрактура

- после прекращения тетанического сокращения волокна вначале расслабляются не полностью, их исходная длина восстанавливается лишь по истечении некоторого времени

# **Механизм суммации сокращений при тетанусе**

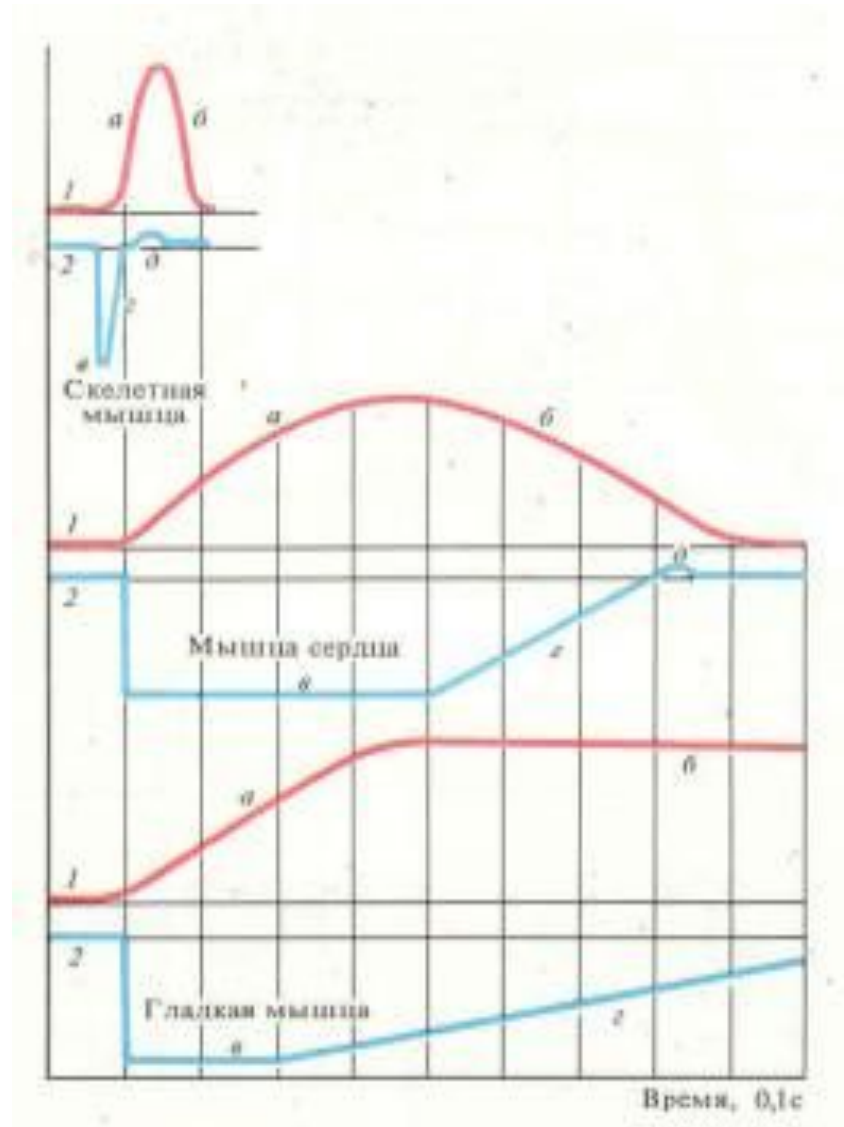
1. Теория суперпозиции Гельмгольца
2. Теория Введенского
3. Теория Бабского

# ИЗМЕНЕНИЕ ВОЗБУДИМОСТИ НЕРВНОГО ВОЛОКНА В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ И СЛЕДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА



- 1 - местный процесс
- 2 - фаза деполяризации
- 3 - фаза реполяризации
- 4 - отрицательный следовой потенциал
- 5 - положительный следовой потенциал

# Сократимость И возбудимость разных мышц



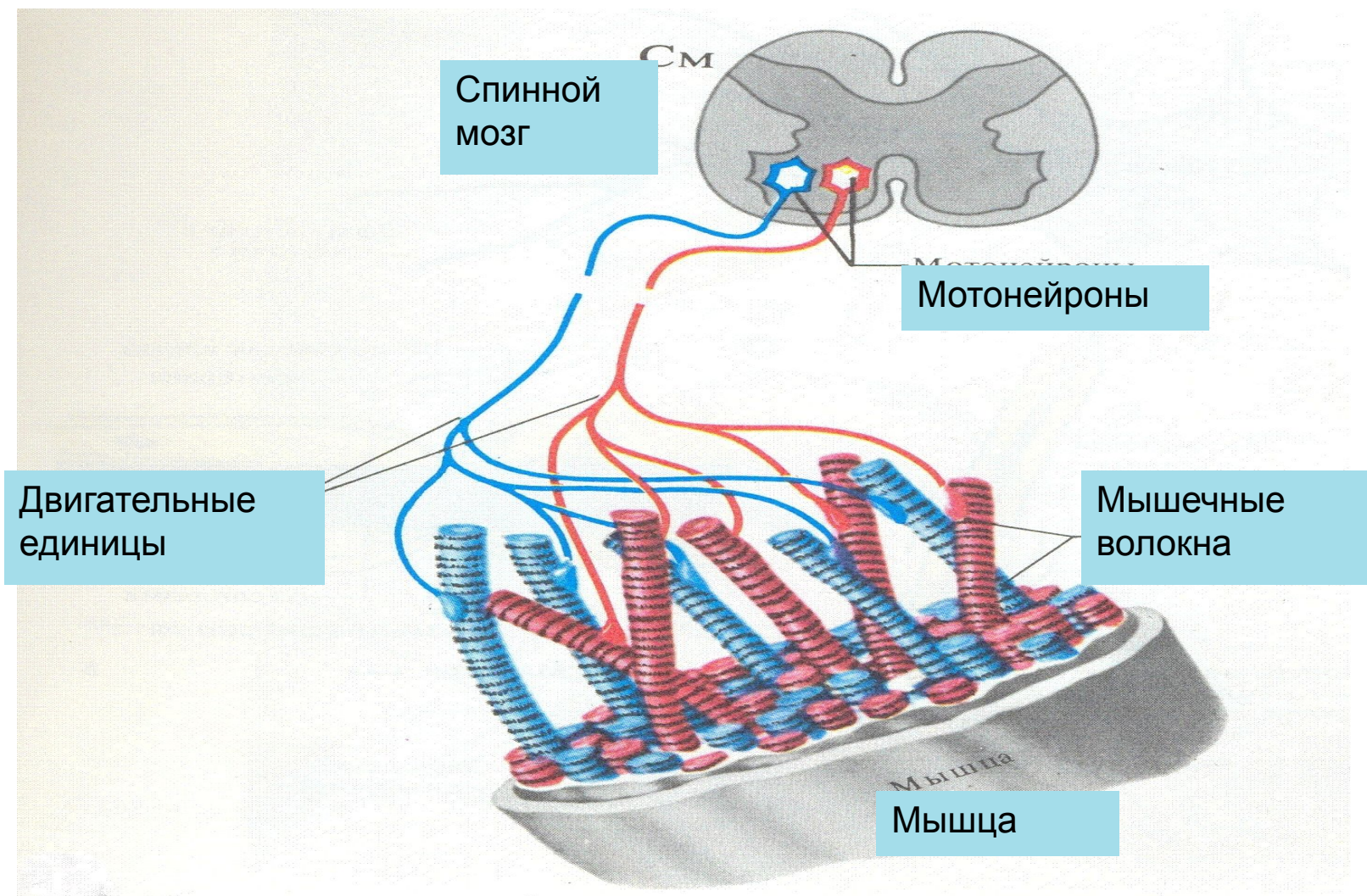
# Двигательная (нейромоторная) единица

- структурно-функциональная единица  
мышцы
- **мотонейрон вместе с группой  
иннервируемых им мышечных волокон**

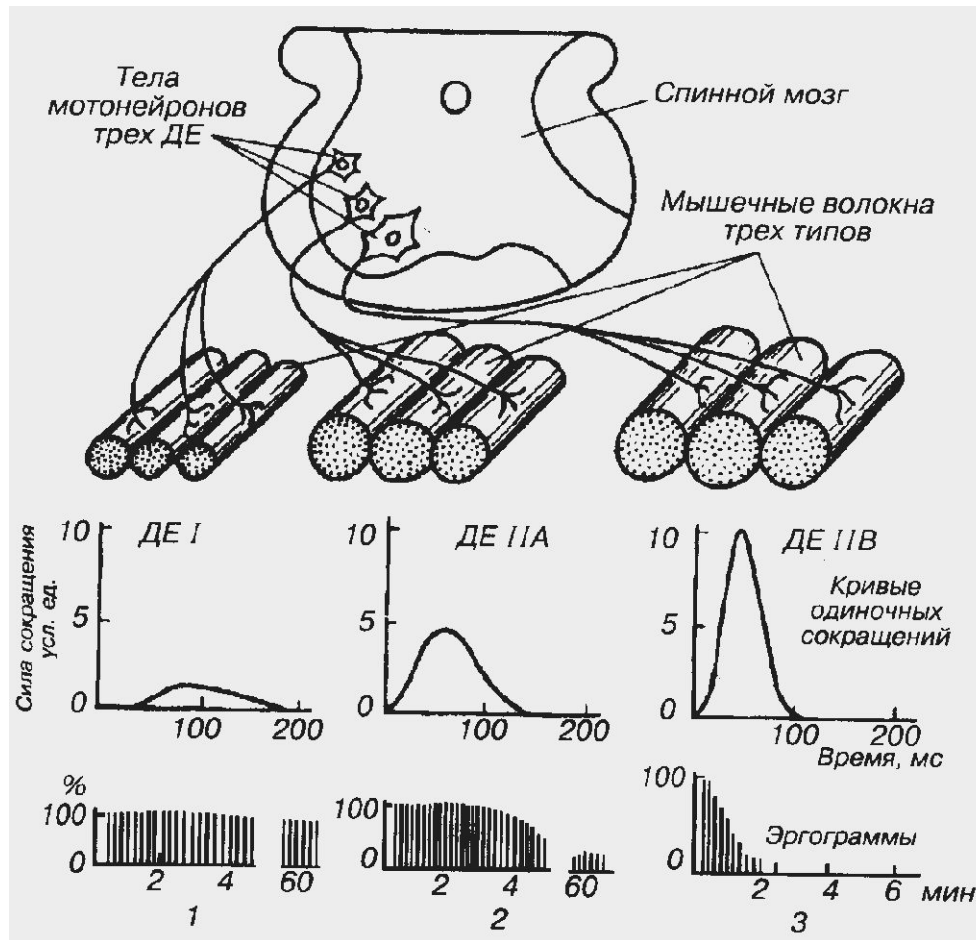
Мышца иннервируется несколькими мотонейронами.

Одно мышечное волокно получает иннервацию из различных мотонейронов.

# Строение двигательной единицы



# Типы двигательных единиц



**Рис. 4.4.** Двигательные единицы (ДЕ) мышцы и их типы: 1 – медленные, слабые, неустойчивые мышечные волокна. Низкий порог активации мотонейрона; 2 – промежуточный тип ДЕ; 3 – быстрые, сильные, быстроустойчивые мышечные волокна. Высокий порог активации мотонейрона



# **Физические свойства мышц**

- 1. Растяжимость** – способность изменять длину под влиянием приложенной силы.
- 2. Эластичность** – способность восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия сил, вызвавших ее деформацию.

# Физические свойства мышц

3. **Сила мышц** – максимальный груз, который мышцы в состоянии поднять или максимальное напряжение, которое мышца может развить
- зависит от её поперечного сечения
  - мышца с поперечным сечением в  $1\text{ см}^2$  развивает силу сокращения в  $10\text{ кг}$

# **Физические свойства мышц**

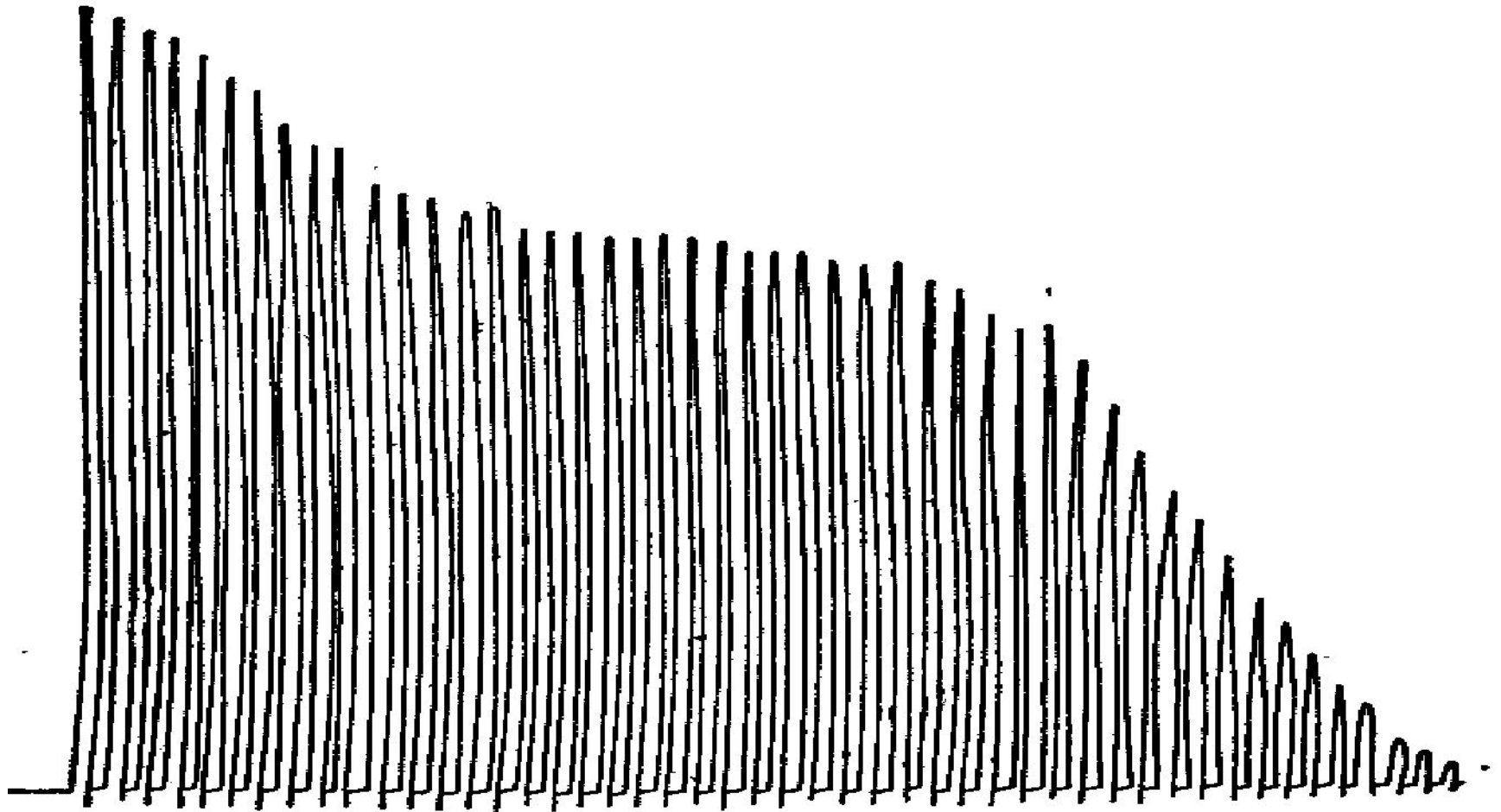
**4. Работа мышц – произведение величины поднятого груза на высоту подъема мышц (величину укорочения мышцы).**

**Наибольшую работу мышца совершает при некоторых средних нагрузках.**

# Сила скелетных мышц зависит:

1. числа возбуждаемых двигательных единиц (ДЕ)
2. синхронности работы ДЕ
3. частоты потенциалов действия
4. исходной длины саркомера (максимальное сокращение при средней длине 2.2-2.5 мкм)

# Кривая утомления мышцы



# **Физиологические свойства мышц**

- 1. Возбудимость** – генерация ПД в ответ на действие раздражителя.
- 2. Проводимость** – способность проводить возбуждение вдоль всего мышечного волокна бездекрементно.
- 3. Сократимость** – способность укорачиваться или изменять напряжение при возбуждении.

# Возбудимость

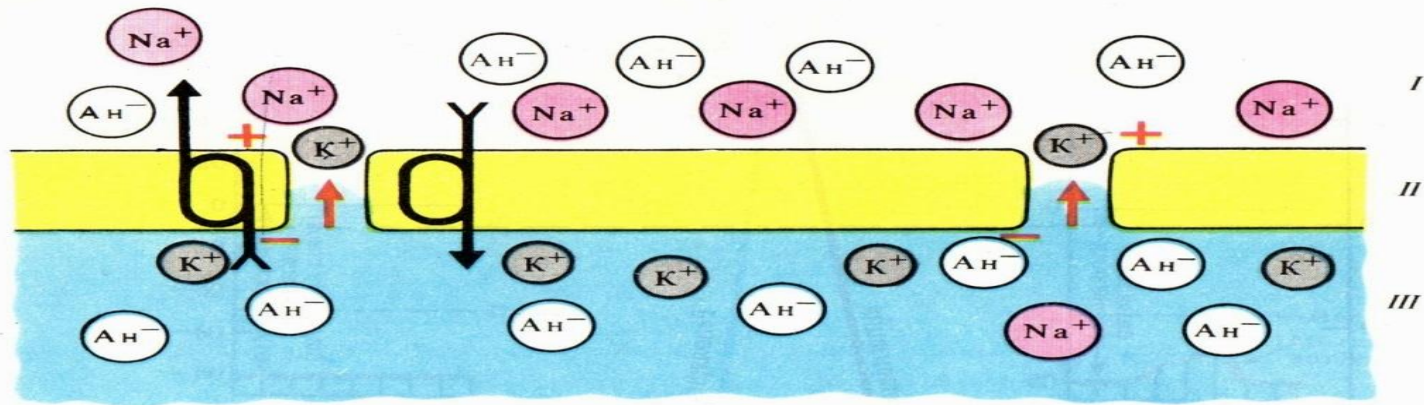
**Амплитуда ПД = 120-130 мВ**

**Длительность ПД = 2-3 мс**

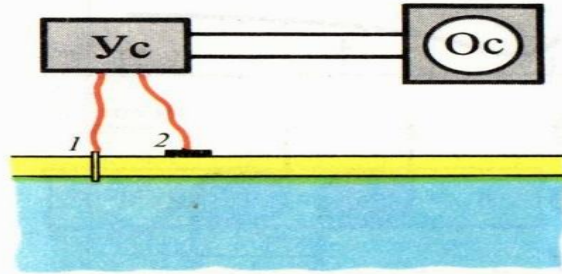
**Скорость распространения = 3-5 м/с**

**МП = -80-85 мВ**

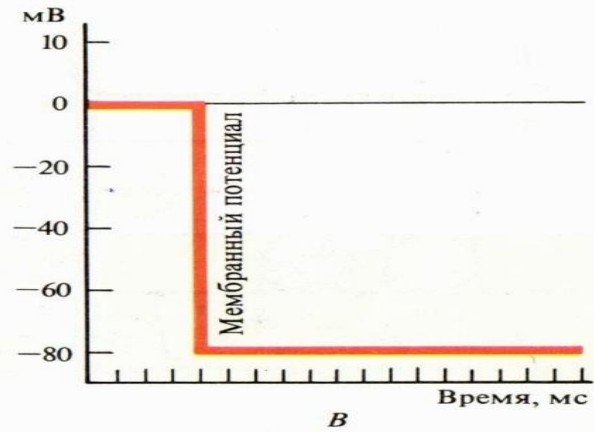
**Связь возбуждения с сокращением  
осуществляется внутриклеточным  
механизмом – мембранно-  
миофибриллярной связью**



A



B



B

234

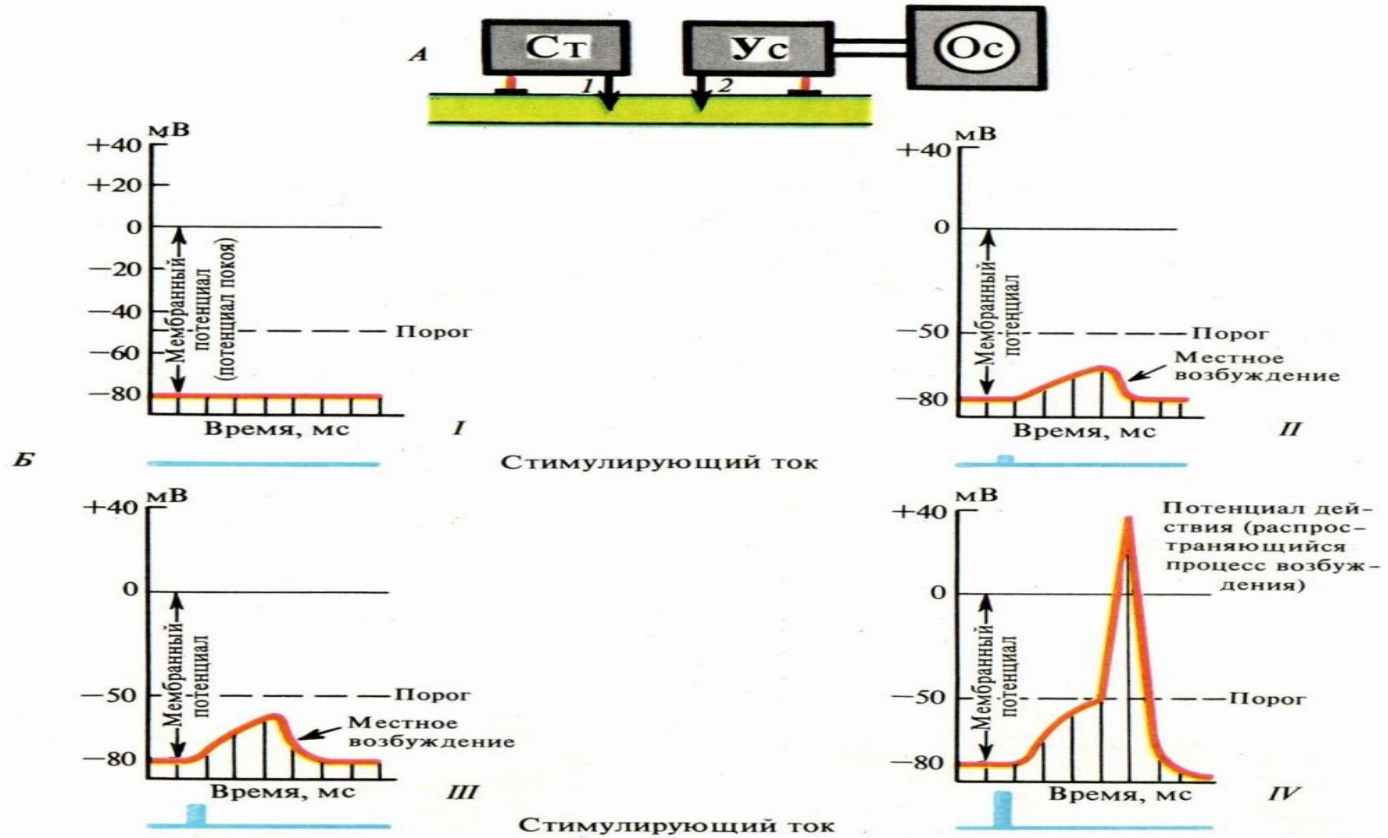
**Рис. 234. Мембранный потенциал:**

A — поляризация мембраны за счет деятельности  $\text{Na}^+$   $\text{K}^+$  помпы: I — внешняя среда, II — мембрана, III — содержимое клетки;

B — схема регистрации мембранного потенциала: 1 — электрод внутри волокна, 2 — поверхностный электрод;

B — графическое изображение мембранного потенциала





236

**Рис. 236.** Изменение мембранного потенциала и формирование потенциала действия в зависимости от силы раздражения:

*А* — схема опыта: 1 — стимулирующий, 2 — отводящий микроэлектроды;

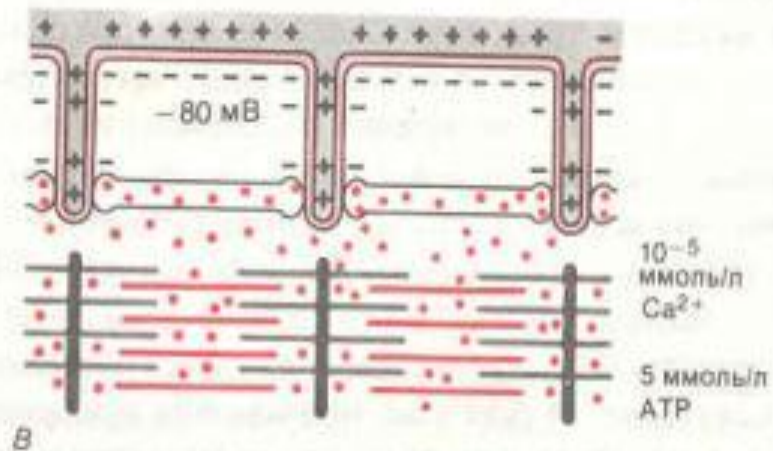
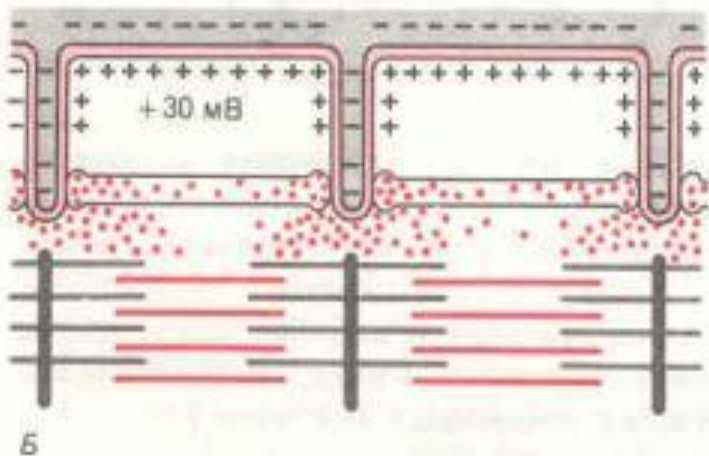
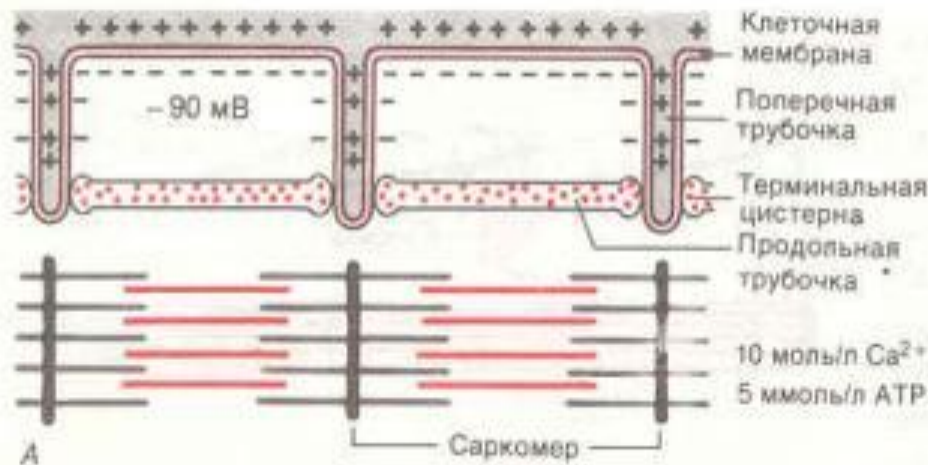
*Б* — графики регистрации потенциала действия: *I* — потенциал покоя до раздражения, *II*, *III* — местное возбуждение (раздражение током возрастающей силы), *IV* — потенциал действия — бегущая волна возбуждения

# Проводимость

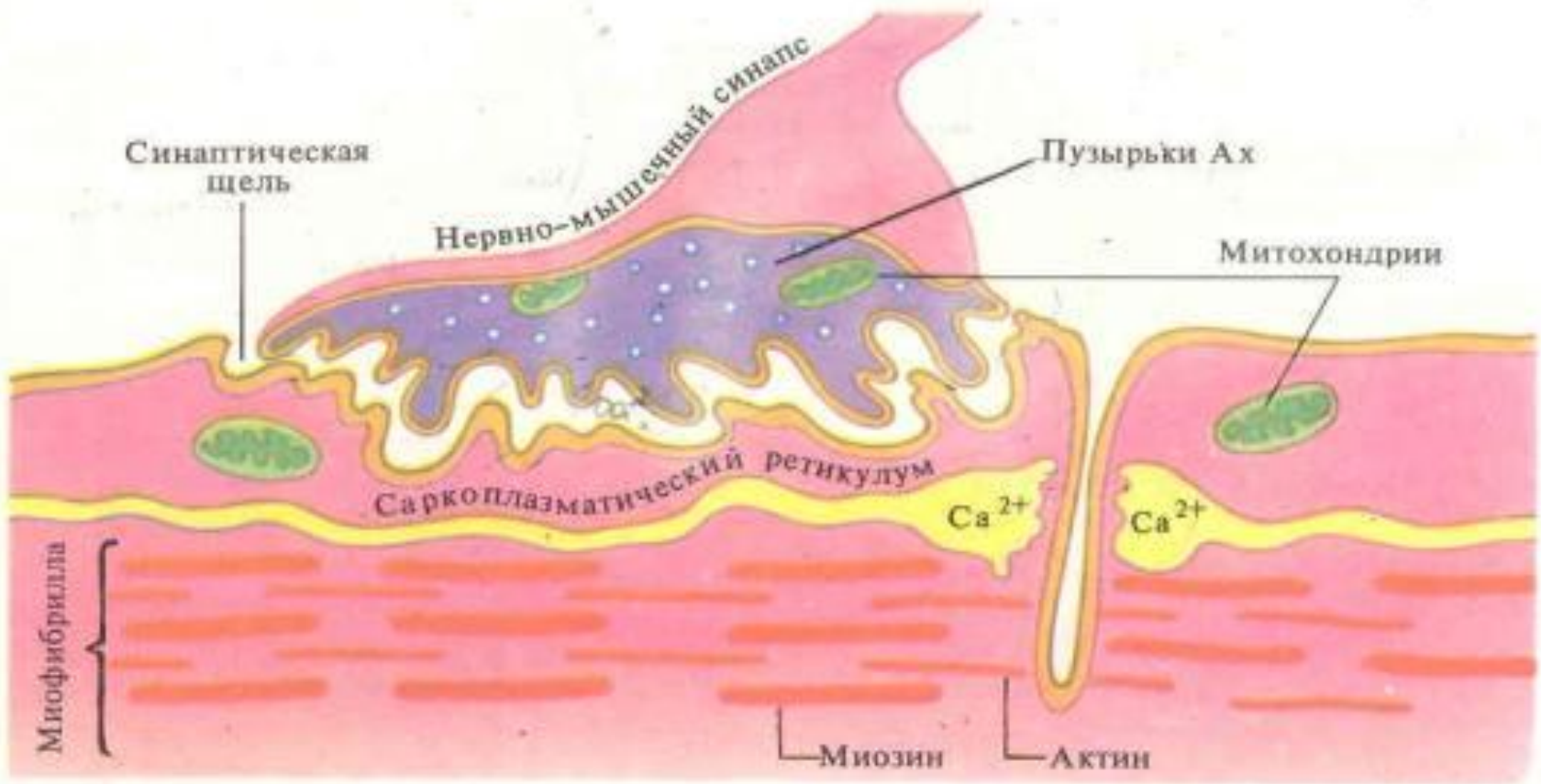
К проводящей системе мышечного волокна относится:

- **поверхностная плазматическая мембрана**
- **система поперечных трубочек – (Т-система)**
- **система продольных трубочек саркоплазматического ретикулума**

# Схема электрохимического сопряжения



# Строение нервно-мышечного синапса



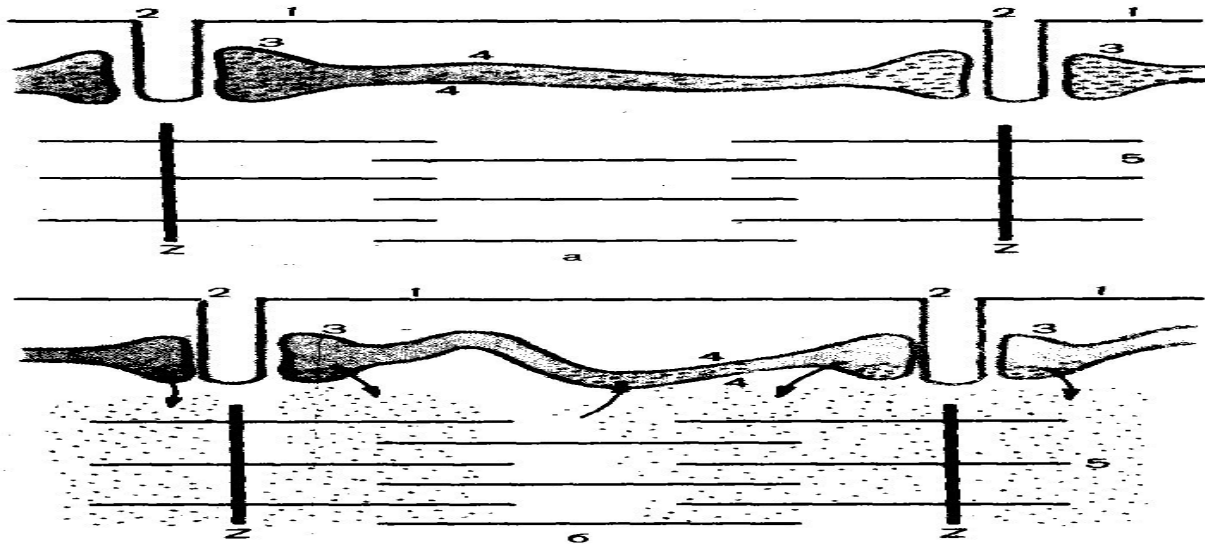
# Электромеханическое сопряжение

совокупность процессов, обуславливающих распространение ПД вглубь мышечного волокна, выход ионов  $\text{Ca}^{++}$  из СР, взаимодействие сократительных белков и укорочение мышечного волокна

# Теория скольжения Хаксли

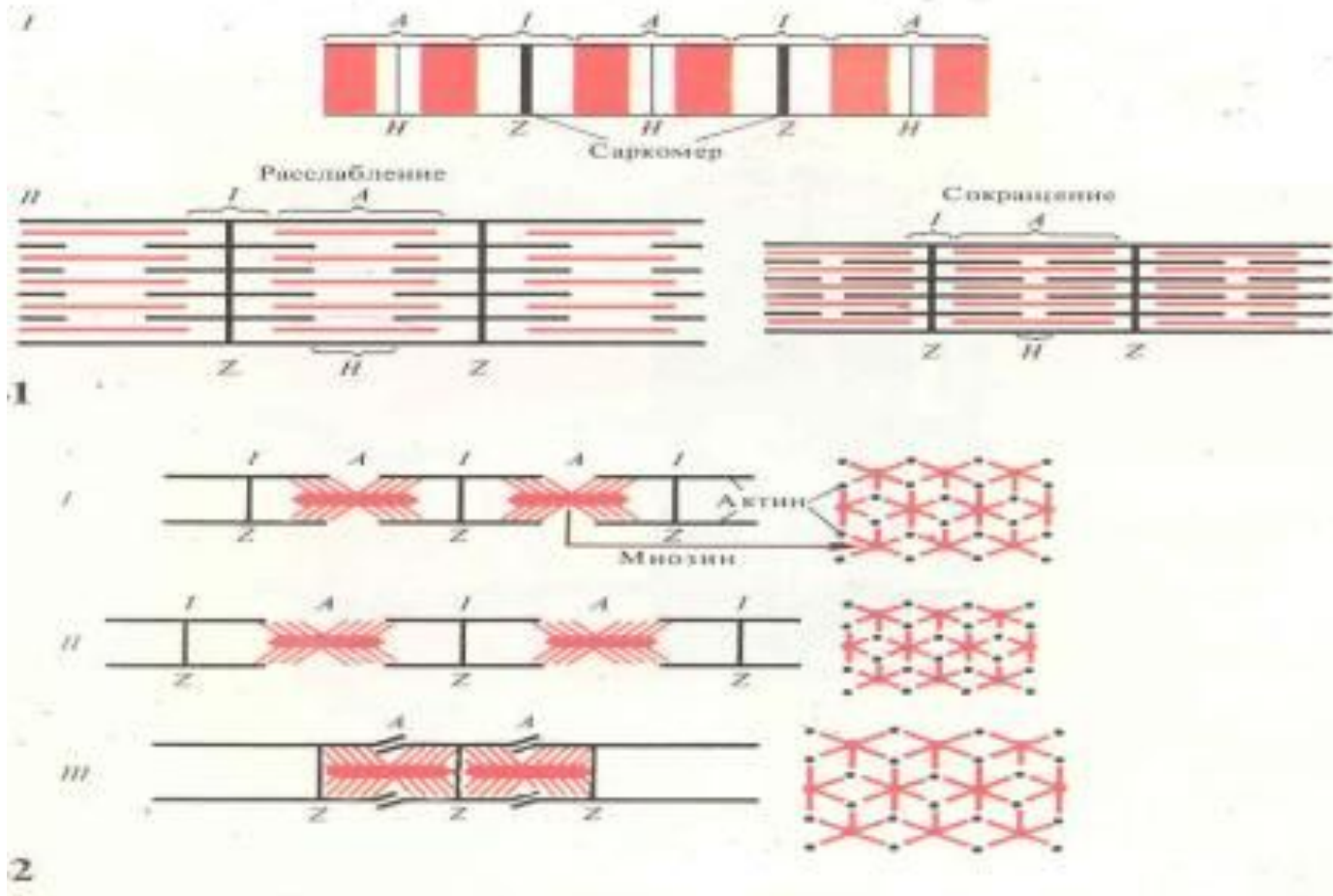
- объясняет механизм сокращения мышц и согласуется с современными морфо-функциональными и энергетическими представлениями

# МЕХАНИЗМ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ



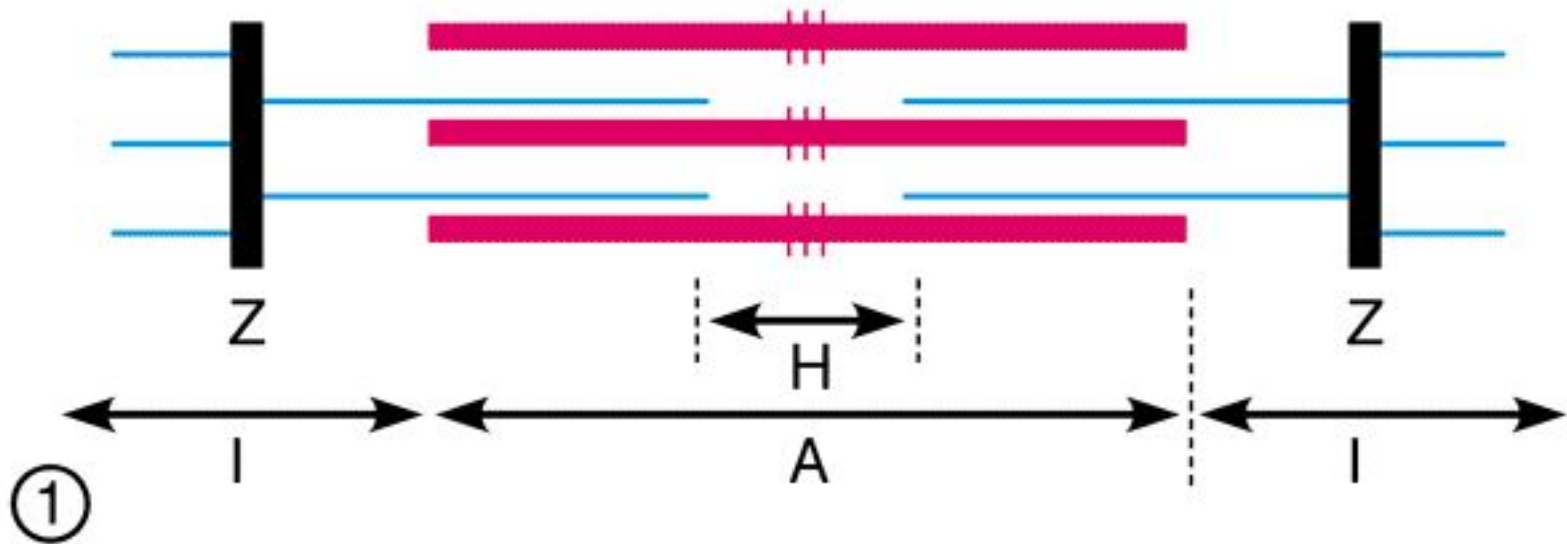
- а - мышечное волокно в состоянии покоя
- б - мышечное волокно во время сокращения
- 1 - поверхность мембраны мышечного волокна
- 2 - поперечные трубочки
- 3,4 - боковые цистерны и продольные трубочки саркоплазматического ретикулума мышечного волокна
- 5 - миофибриллы мышечного волокна
- Z - мембрана Z

# СТРОЕНИЕ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА И МИОФИБРИЛЛЫ

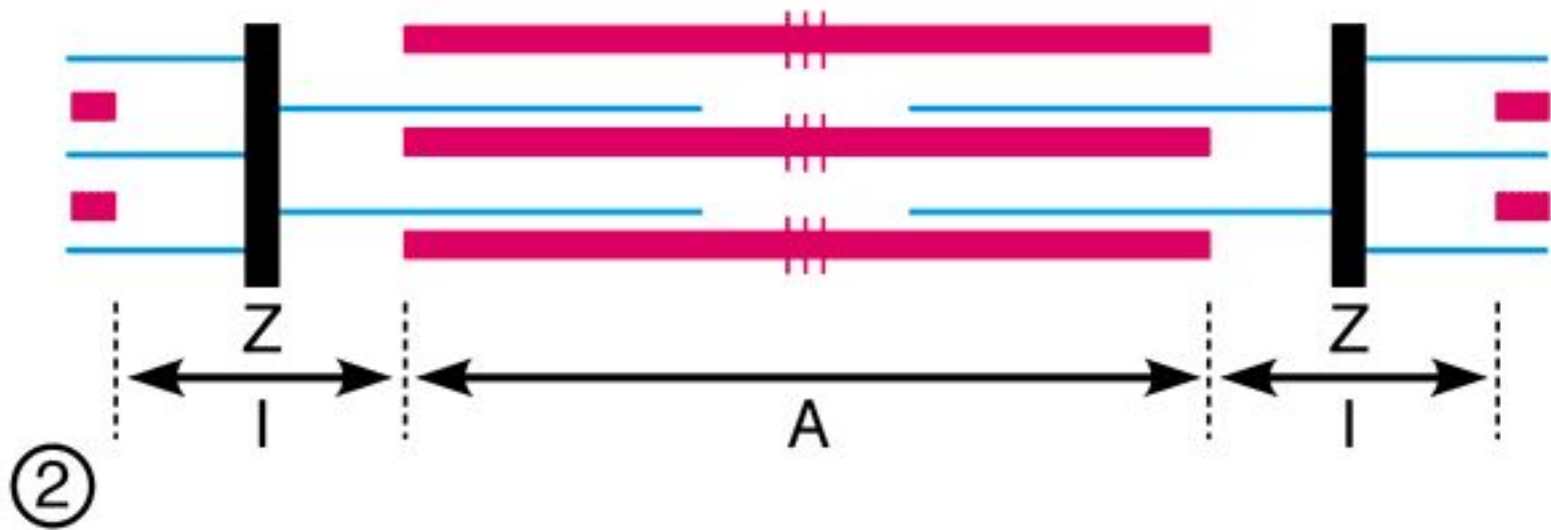


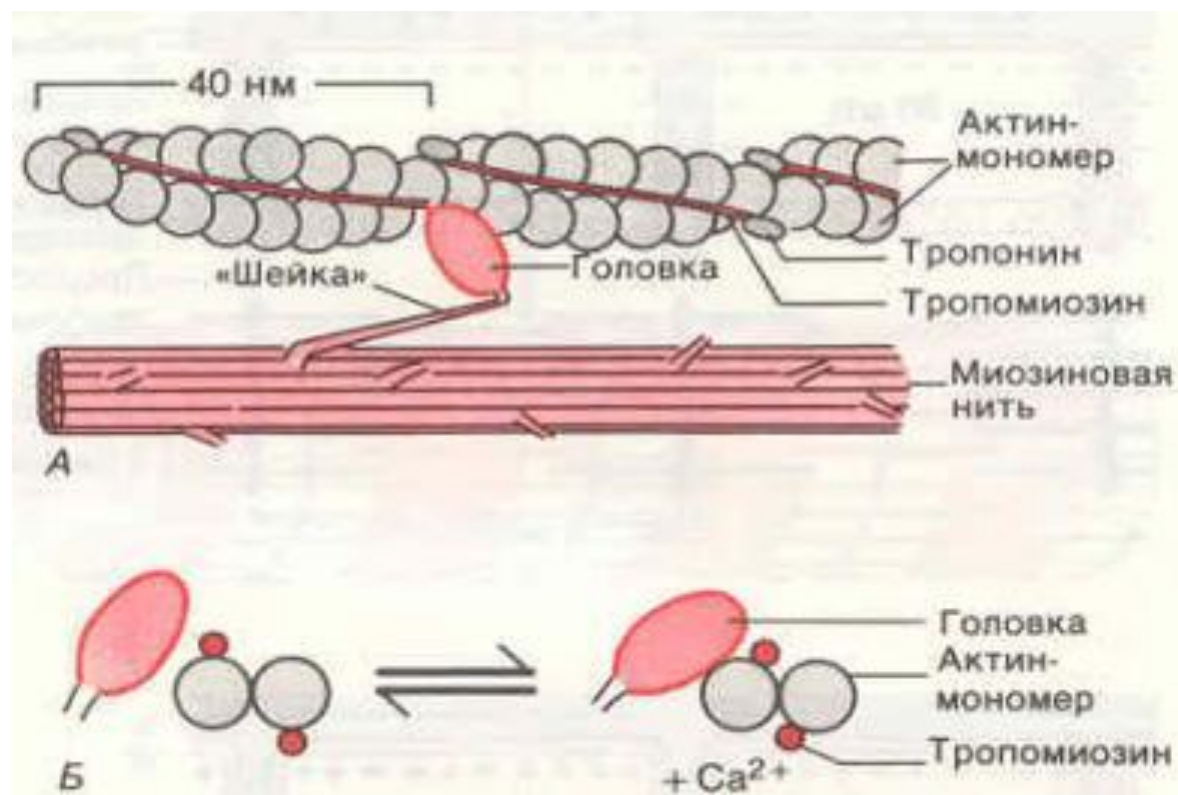


# Строение миофибриллы



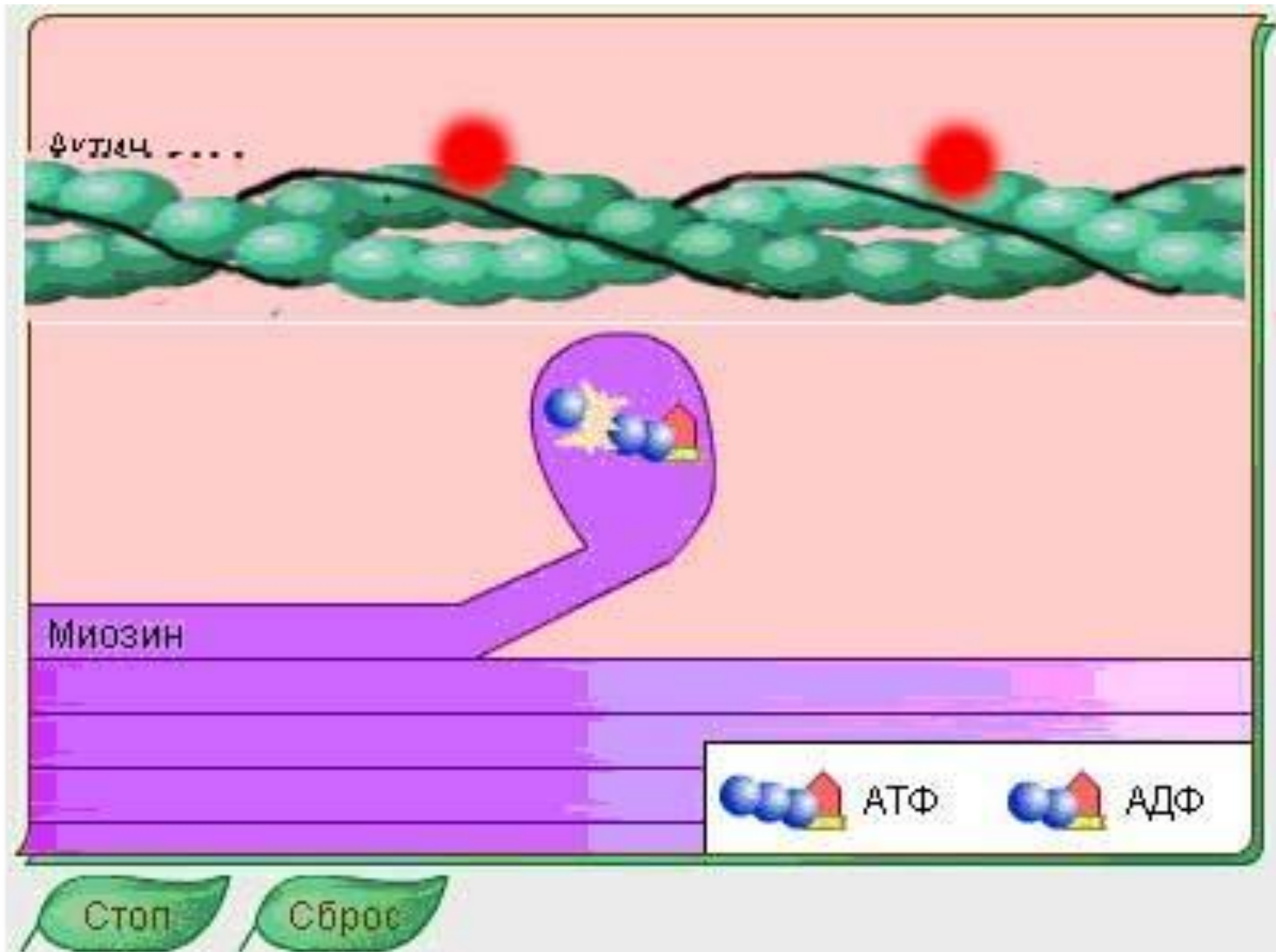
# Строение миофибриллы





**Рис. 2-4.** Действие  $\text{Ca}^{2+}$  во время активации. А. Изображение актиновой и миозиновой нитей на продольном сечении. Б. Поперечное сечение волокна. Когда  $\text{Ca}^{2+}$  связывается с тропонином, тропомиозин скользит в желобке между двумя субъединицами актиновой нити, обнажая участки прикрепления поперечных мостиков [2].

# Взаимодействие актина с миозином



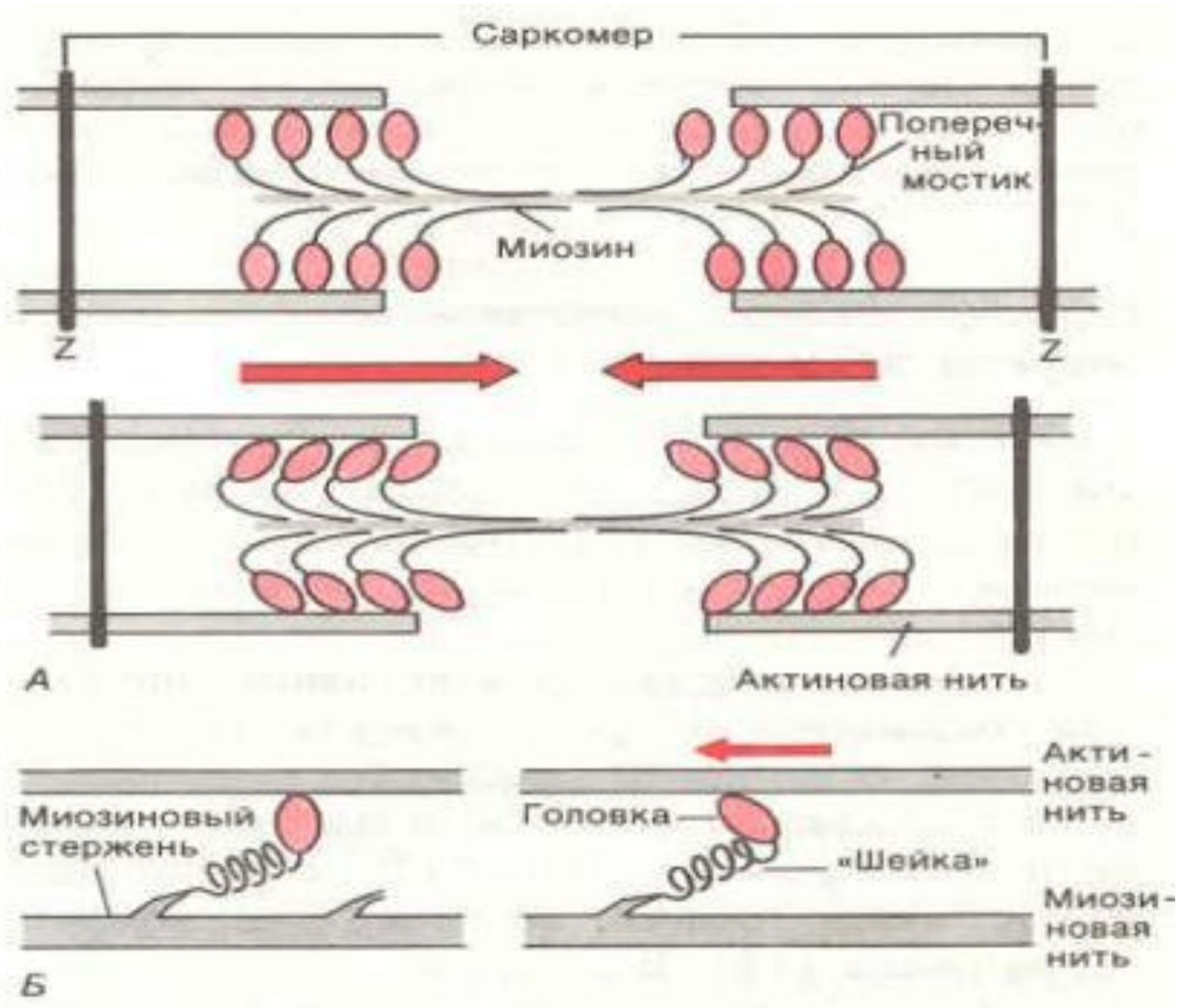
# Механизм мышечного сокращения

- **Тропомиозин** – блокирует активные центры на актине.
- **Тропонин** – тормозит миозин-АТФ-азную активность, АТФ не расщепляется.
- **Кальций** связывает тропонин и активизирует АТФ-азу миозина

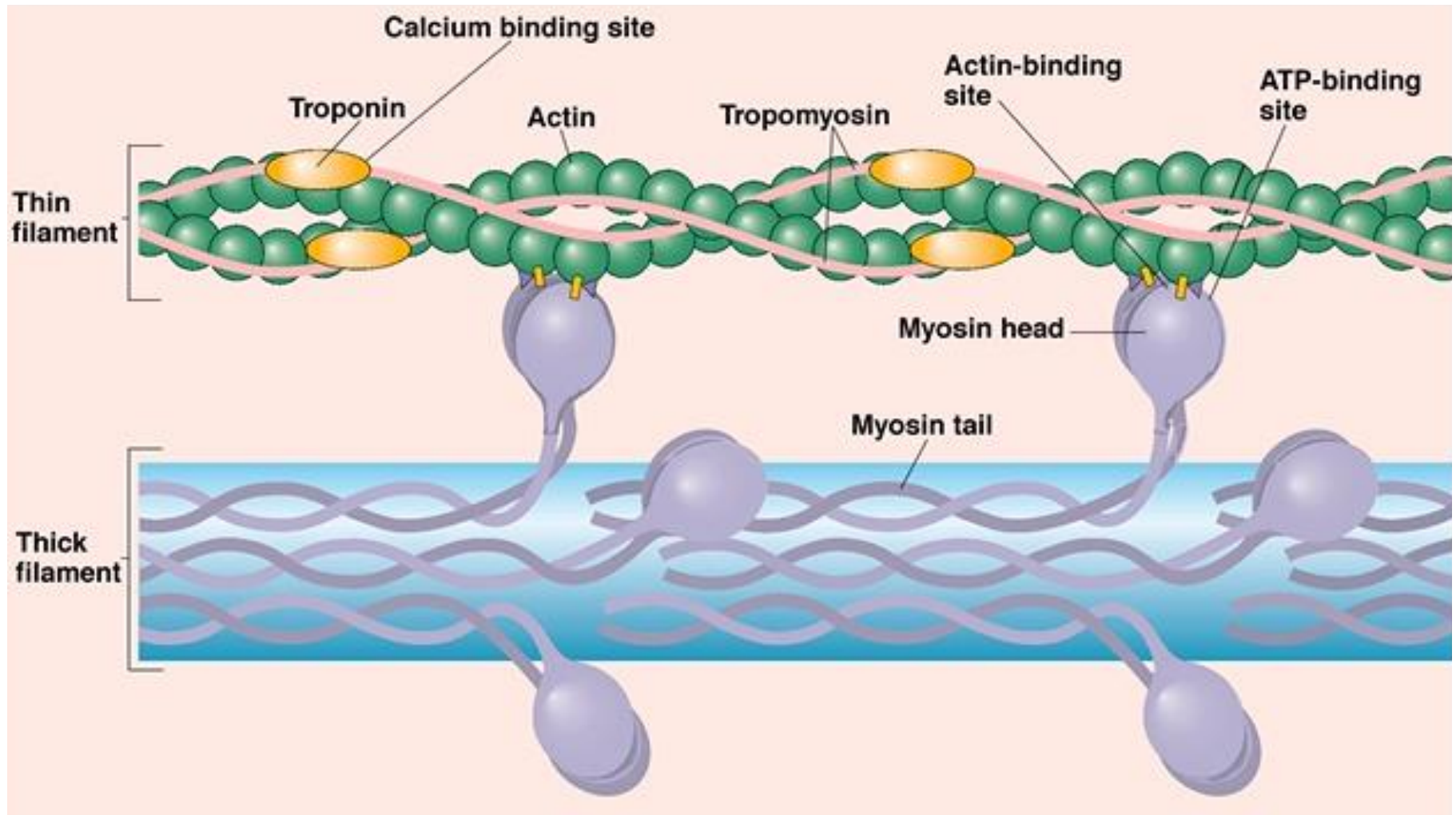
# Механизм мышечного сокращения

- 50 гребков совершает поперечный мостик при сокращении за 0,1с
- длина каждого саркомера укорачивается на 50%
- при каждом движении расщепляется АТФ

# Поперечные мостики и механизм сокращения



# МЕХАНИЗМ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ





# Последовательность процессов при ЭМС

1. Раздражение.
2. Возникновение ПД.
3. Проведение его вдоль клеточной мембраны и вглубь волокна по трубочкам Т-систем.
4. Деполяризация мембраны саркоплазматического ретикулюма.
5. Освобождение  $\text{Ca}^{++}$  из триад и диффузия его к миофибриллам.
6. Взаимодействие  $\text{Ca}^{++}$  с тропонином и выделение энергии АТФ.
7. Скольжение актиновых нитей вдоль миозиновых нитей.
8. Сокращение мышцы.
9. Понижение концентрации  $\text{Ca}^{++}$  в межфибрилярном пространстве из-за работы Са-насоса.
10. Расслабление мышцы.

# **Регуляция тонуса и сократительной активности скелетных мышц**

- осуществляется соматической нервной системой

# **Методы физиологических исследований скелетных мышц**

1. Метод прямого и непрямого раздражения мышцы электрическим током.
2. Миография
3. Электромиография
4. Электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ и др.

# Функции гладких мышц

1. **Динамическая** – (перемещение пищевых масс по ЖКТ)
2. **Тоническая** – создание сосудистого тонуса, сохранение объема полых органов, напряжение сфинктеров

# Функциональные особенности гладких мышц:

- функциональный синцитий
- возбуждение распространяется электротонически
- нерегулярное распределение актина и миозина
- больше актина, миозин в дисперсной и агрегированной форме
- много тропомиозина, мало развит саркоплазматический ретикулум

# Функциональные особенности гладких мышц:

- скорость сокращения и скорость расщепления АТФ в 10-100 раз меньше, чем в скелетных мышцах
- малые энерготраты
- длительное тоническое сокращение без развития утомления
- чувствительны к химическим веществам, т. к. мембрана хеморецептивная

# Свойства гладких мышц

## 1. Возбудимость:

- ПП = -20-60мВ
- ПП= -30-70мВ, в клетках с автоматией
- Скорость распространения возбуждения = 2-10см/с

## 2. Пластичность – способность длительно сохранять измененную длину

## 3. Автоматия – спонтанная активность

# **Сила гладких мышц зависит от:**

1. исходной длины саркомеров
2. синхронности возбуждения гладкомышечных клеток (ГМК)
3. числа ГМК
4. величины входа ионов кальция внутрь ГМК



# Экспериментальная задача

- Известно, что гладкие мышцы имеют ряд физиологических особенностей по сравнению со свойствами скелетных мышц.
- В ходе эксперимента из стенки кишечника и стенки артерии мышечного типа животного было выделено по фрагменту длиной и шириной 2см, содержащим гладкомышечные волокна.

# Экспериментальная задача

- Третий фрагмент такого же размера был выделен из скелетной мышцы.

Внешне мало отличающиеся друг от друга мышечные фрагменты поместили в камеру с физиологическим раствором, что обеспечивало условия для их жизнедеятельности в течение некоторого времени.

# Вопросы:

1. Как различить принадлежность фрагментов мышечной ткани по их функциональным свойствам?
2. По какому функциональному признаку, без применения воздействий, можно идентифицировать принадлежность одного из фрагментов к мышечной ткани кишечника?

# Вопросы:

3. Как с помощью раздражения фрагментов мышечной ткани можно отличить мышечную ткань внутренних органов от скелетной мышцы?

# Вопрос:

1. Как различить принадлежность фрагментов мышечной ткани по их функциональным свойствам?

# Ответ:

1. При наличии морфологического сходства между тремя фрагментами мышечной ткани, **фрагменты гладкомышечной ткани отличаются автоматизмом**, т.е. способностью к спонтанной генерации потенциалов действия и к сокращению.

# Вопрос:

2. По какому функциональному признаку, без применения воздействий, можно идентифицировать принадлежность одного из фрагментов к мышечной ткани кишечника?

# Ответ:

2. Автоматия хорошо выражена у гладких мышц стенок полых органов, в частности, кишечника, по сравнению с гладкими мышцами стенок кровеносных сосудов, и нехарактерна для скелетных мышц.



# Вопрос:

3. Как с помощью раздражения фрагментов мышечной ткани можно отличить мышечную ткань внутренних органов от скелетной мышцы?

# Ответ:

3. Гладкие мышцы в отличие от скелетных мышц обладают высокой чувствительностью к биологически активным веществам. Раствор ацетилхолина вызовет ритмические сокращения мышечного фрагмента кишечника. Раствор адреналина вызовет спастическое сокращение фрагмента скелетной мышцы.

## **Контрольные вопросы (обратная связь):**

1. Какие структуры относятся к проводящей системе скелетных мышц?
2. Какие белки различают в скелетных мышцах?
3. В чем заключается механизм мышечного сокращения?
4. Что является депо кальция в скелетных мышцах?

**Благодарим за внимание!**

