

# **ДВИГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

# **Физиология мышц**

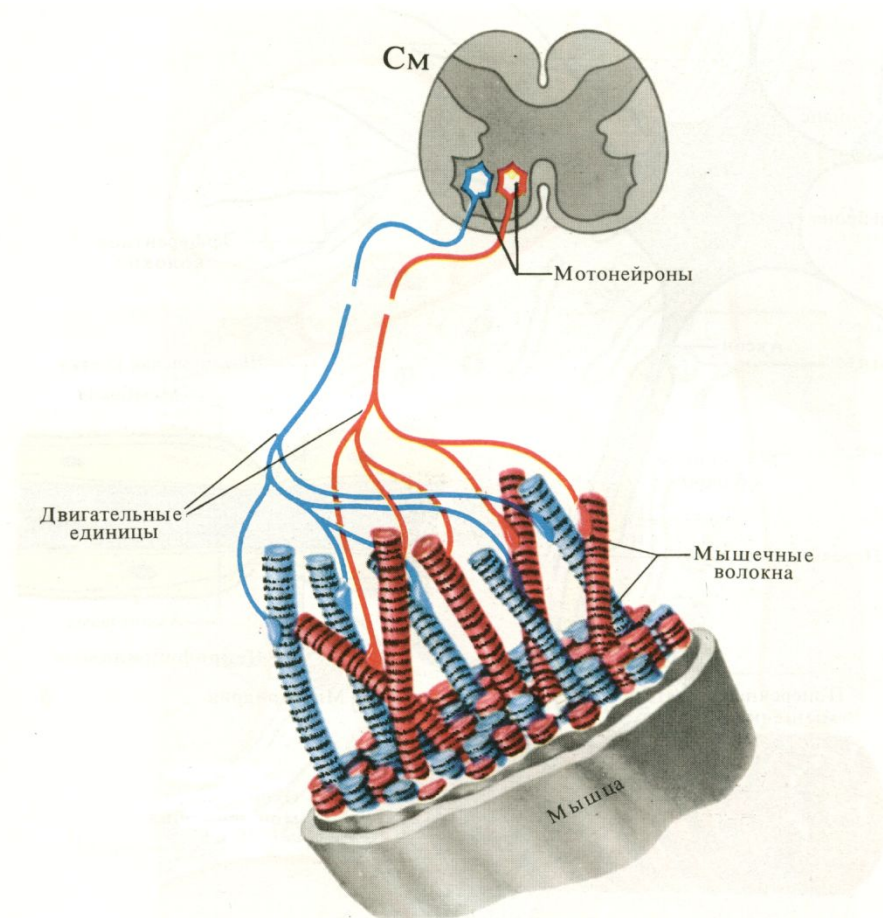
- **Поддержание позы и равновесия тела**
- **Произвольные движения**
- **Воспроизведение речи**
- **Работа сердца**
- **Регуляция тонуса сосудов**
- **Моторика желудка и кишечника**
- **Терморегуляция (сократительный термогенез)**

# Классификация

1. **Скелетные, сердечная и гладкие мышцы.**
2. **Скелетные мышцы принято классифицировать**
  - а) **По количеству входящих двигательных единиц**
  - б) **по функциональной характеристике двигательных единиц.**

# Двигательная единица

- Комплекс, включающий один мотонейрон и иннервируемые им мышечные волокна, называется **ДВИГАТЕЛЬНОЙ ИЛИ НЕЙРОМОТОРНОЙ ЕДИНИЦЕЙ**



# **Два варианта классификации скелетных мышц**

- **Анатомическая**

**По плотности иннервации**

- **Функциональная**

**По работоспособности**

# **Анатомическая классификация по количеству двигательных единиц**

- 1. Много двигательных единиц на одну мышцу (плотность иннервации высокая)  
1 мотонейрон иннервирует 10–25 волокон – в мышцах, приспособленных для тонких движений (пальцы, язык, наружные мышцы глаза).**
- 2. Мало двигательных единиц на одну мышцу (плотность иннервации низкая)  
1 мотонейрон иннервирует 700–1000 волокон – в мышцах поддерживающих позу, осуществляющих "грубые" движения (мышцы туловища).**

# **Функциональная классификация по работоспособности**

- 1. Медленные  
(малоутомляемые)**
- 2. Быстрые  
(легкоутомляемые)**

# Функциональная характеристика

Показатели	Медленные малоутомляемые	Быстрые легкоутомляемые
мотонейроны	низкопороговые	высокопороговые
частота импульсов	до 10 гц	50-60 гц
сила, сокращения	меньше	больше
количество митохондрий	много	мало
запасы гликогена	много	мало
количество миоглобина	много	мало
плотность капилляров	много	мало
зависимость от поступления O <sub>2</sub>	малочувствительны к недостатку	высокочувствительны к недостатку



# **Свойства мышцы**

**Возбудимость**

**Проводимость**

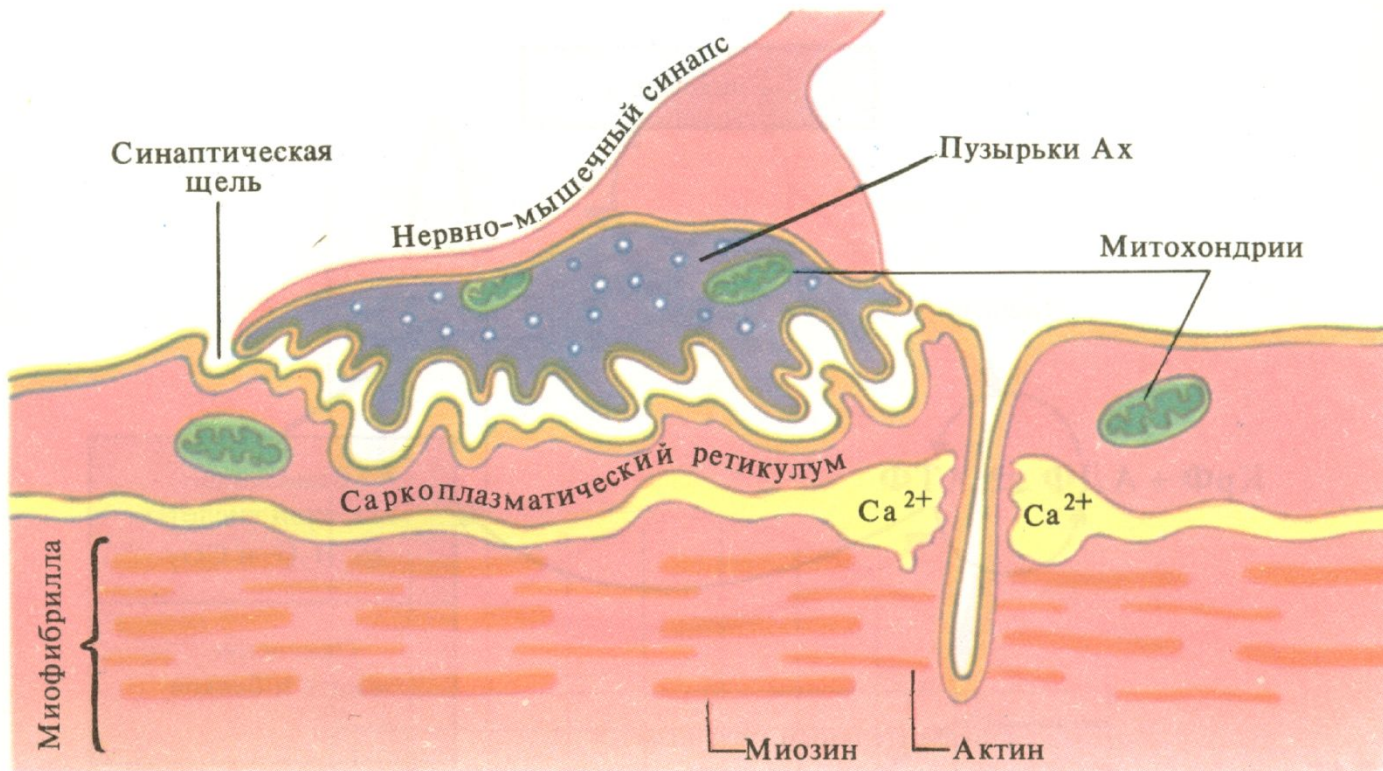
**Сократимость**

**Эластичность – способность  
сокращаться при растягивании**

**Пластичность – способность сохранять  
приданную растяжением длину без  
изменения напряжения**

**Тонус – рефлекторное напряжение  
мышц**

# Возбуждение мышцы



# **Особенности нервно-мышечного синапса (концевой пластинки)**

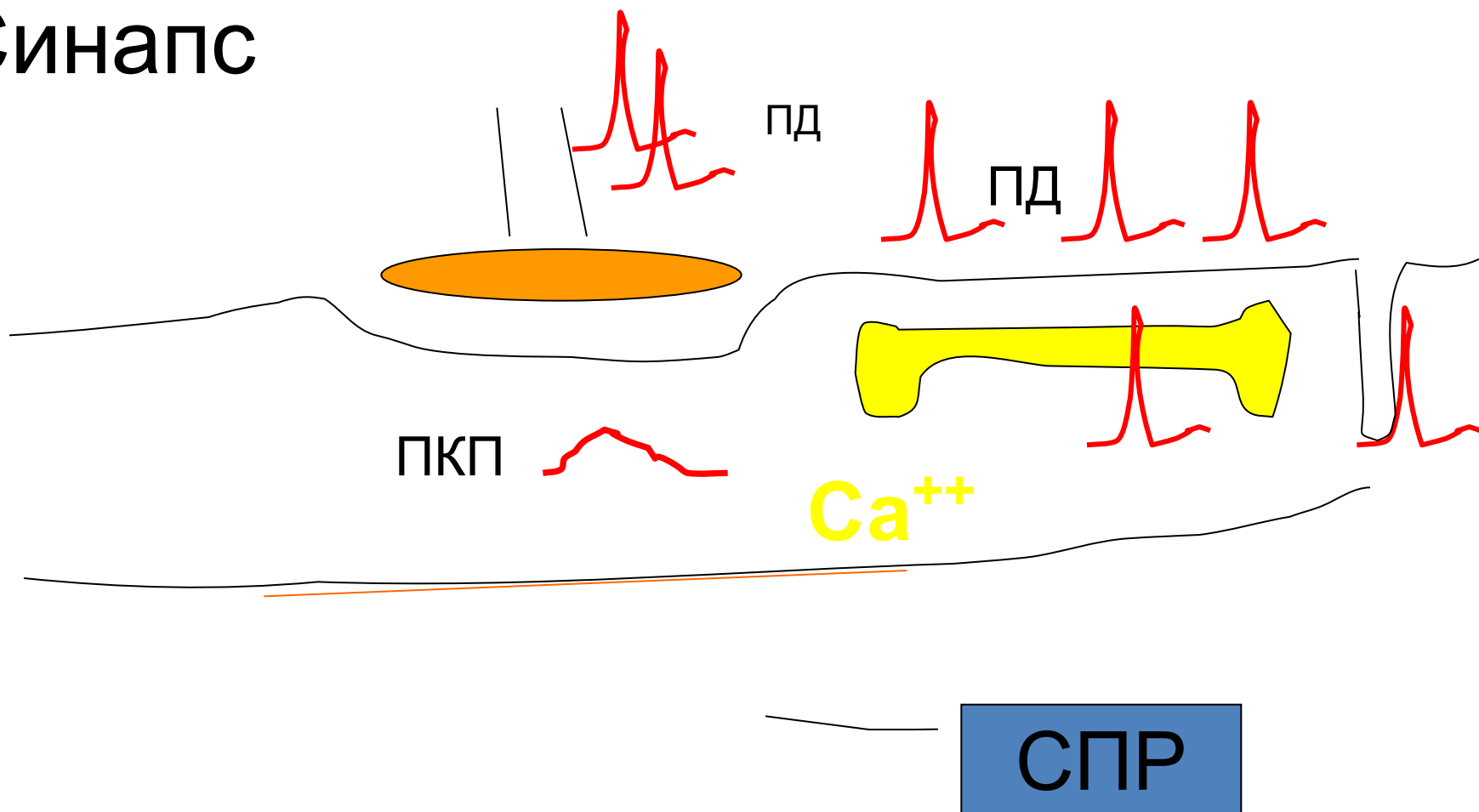
**Большая поверхность пресинаптической  
мембраны**

**Большая складчатость  
постсинаптической мембраны**

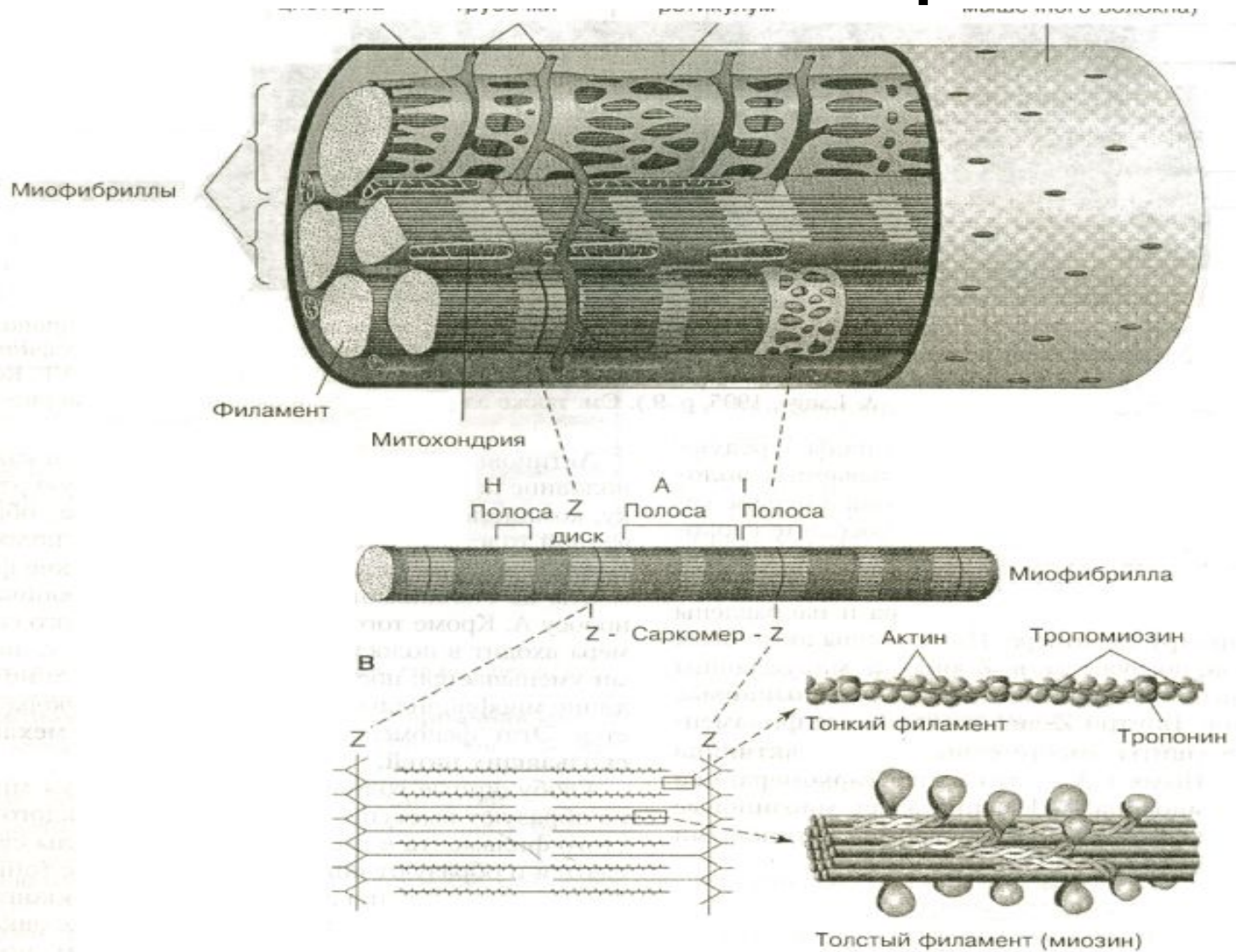
**Нет суммации – ПКП (потенциал концевой  
пластинки) сразу переходит в ПД**

# Потенциал концевой пластинки (ПКП) и потенциал действия (ПД) мышечного волокна

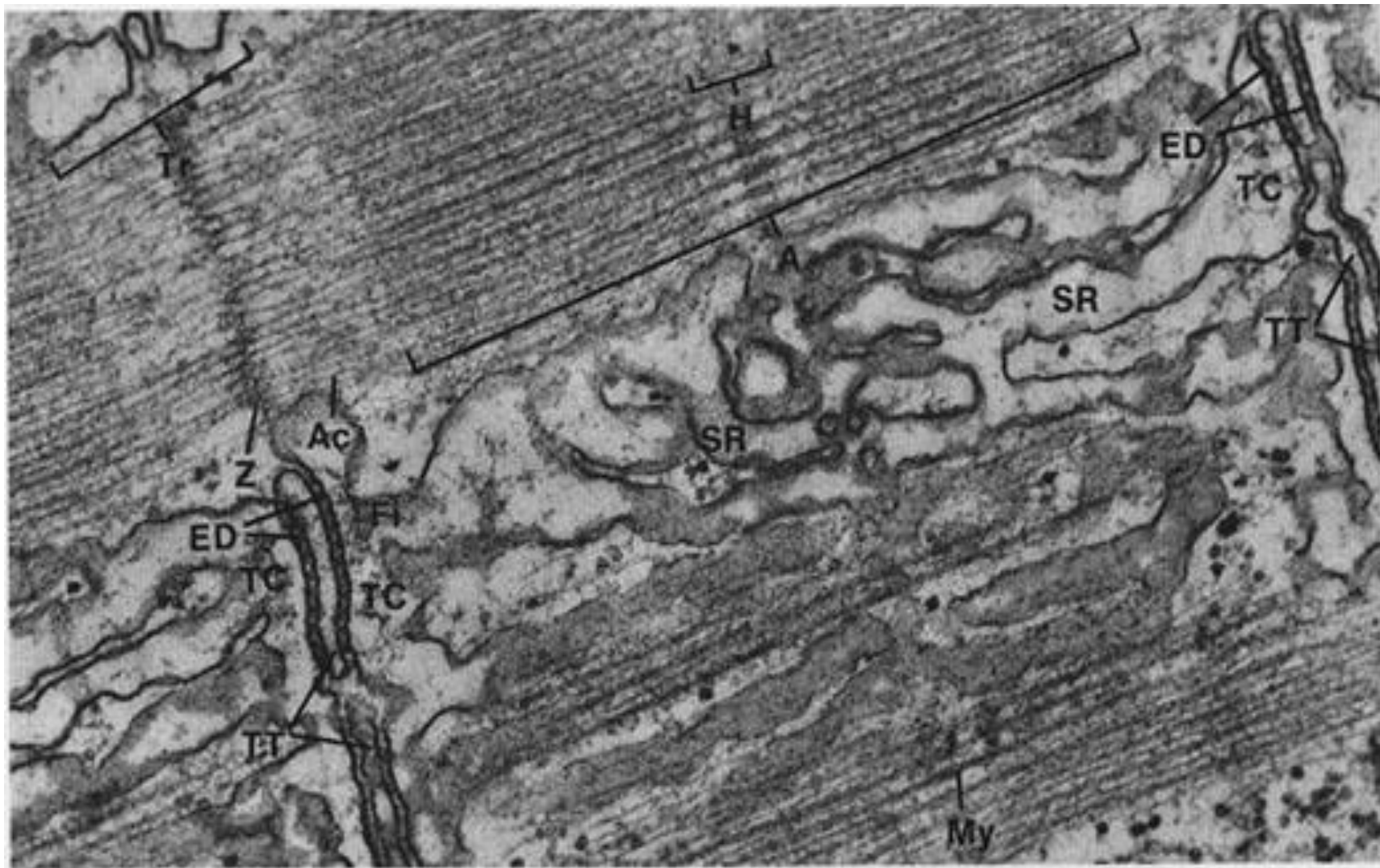
Синапс



# Уровни организации скелетной мышцы

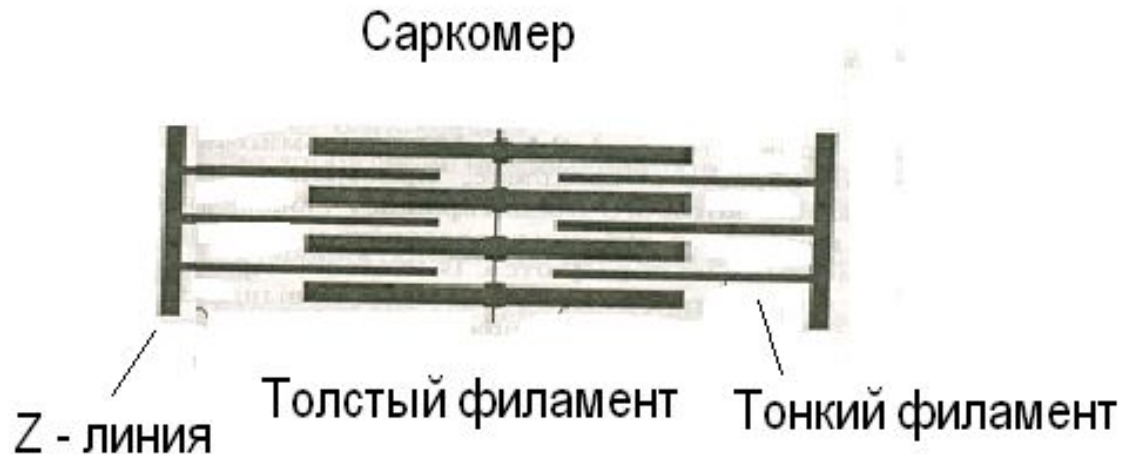


# Микрофотография мышечного волокна



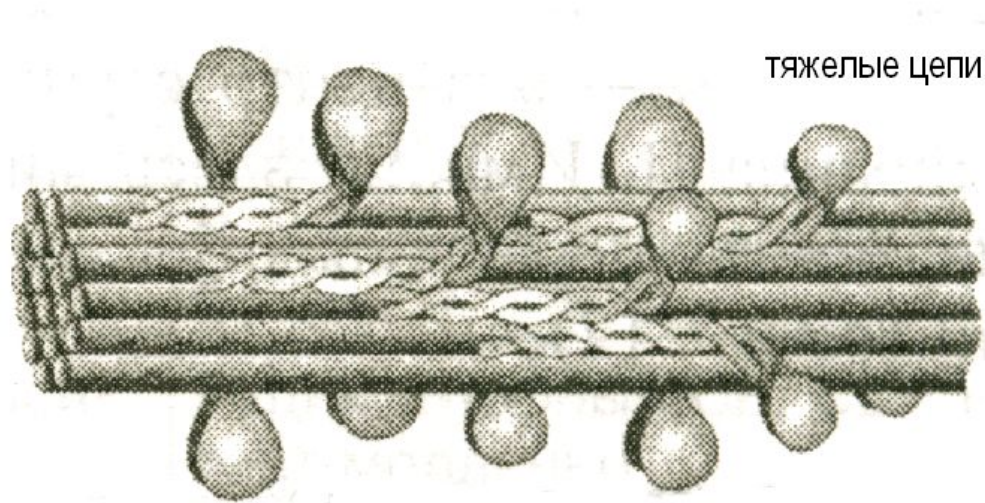
# Строение саркомера

- Саркомер – функциональная единица сократительного аппарата мышечной клетки.
- Длина саркомера 2,5 мкм, поперечник – 1мкм.



# Толстые миофиламенты

головка шейка



тяжелые цепи

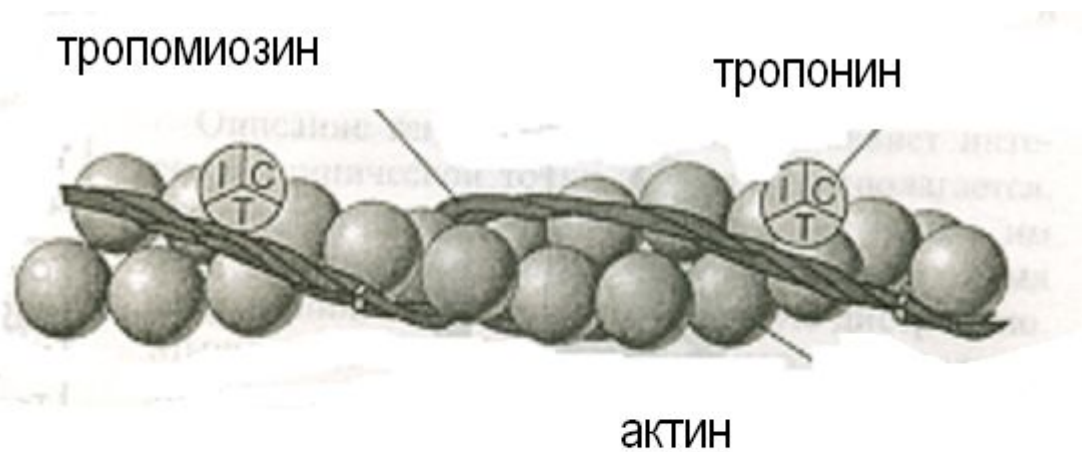
Толстый филамент (миозин)



# Свойства миозина

- Толстые миофиламенты – образованы молекулами миозина, которые имеют четыре легкие цепи миозина и две тяжелые цепи, скрученные между собой.
- Тяжелые цепи миозина образуют головку миозина и шейку. Головка обладает АТФ-азной активностью, а шейка эластическими свойствами.
- В толстой филаменте 150 молекул миозина.
- Под электронным микроскопом на толстой миофиламенте видны выступы, расположенные под углом 120 градусов. Они получили название поперечных мостиков. Выяснилось, что эти мостики образованы головкой и шейкой молекул миозина, их длина 20

# Тонкие миофиламенты



тонкие миофиламенты

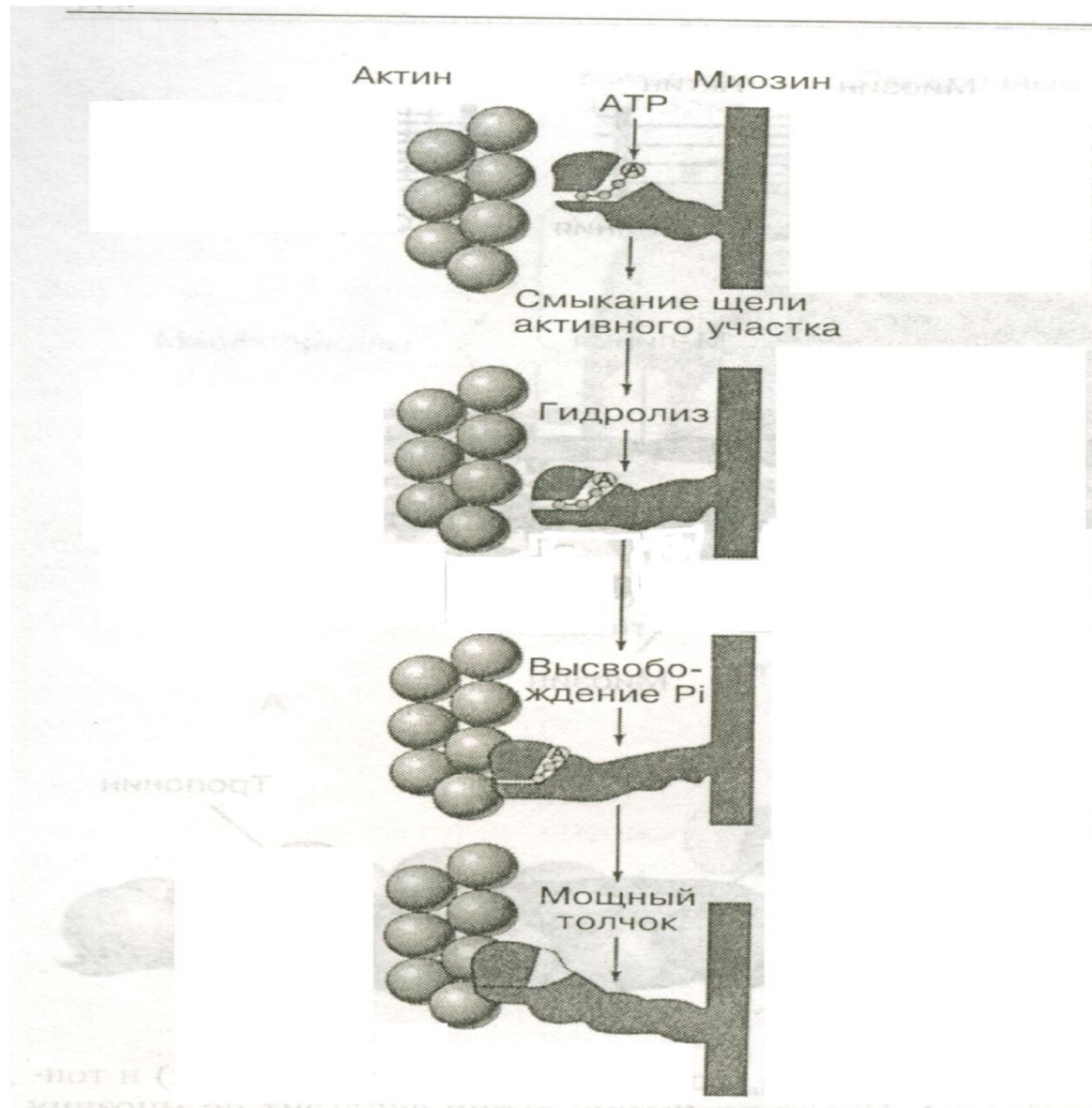
# Свойства актина

- Тонкие миофиламенты построены из нитей белка актина.
- Мономеры актина взаимодействуют между собой и образуют фибриллярный актин.
- Актиновые филаменты представляют собой закрученную двойную спираль (похоже на две связки бус, которые перекручены с шагом в 14 молекул), примерно 36,5 нм. Таких нитей в саркомере 2000.
- Эти нити одним концом прикреплены к Z-пластинке, а второй конец достигает середины саркомера.

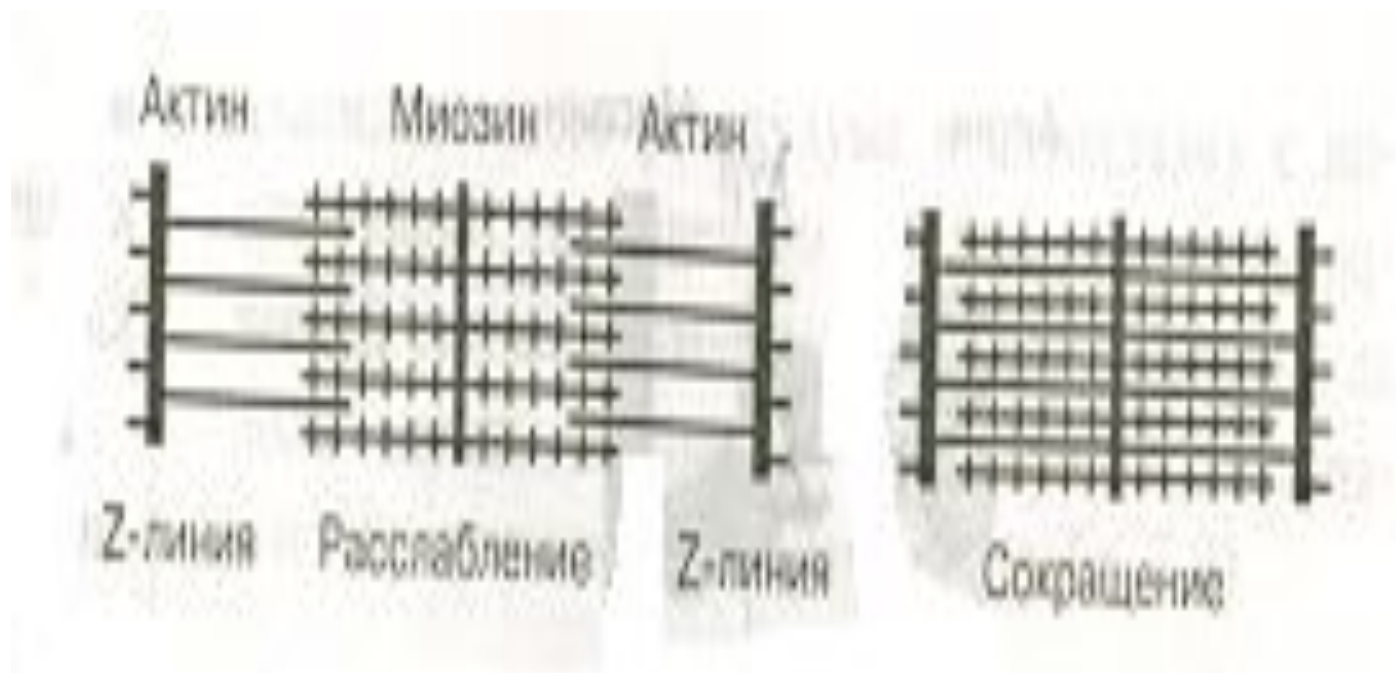
# Регуляторные белки

- В продольных бороздках актиновой спирали располагаются нитевидные молекулы белка тропомиозина.
- Тропомиозин закрывает активные центры на актиновых нитях.
- К молекуле тропомиозина равномерно прикреплены молекулы белка тропонина. Этот белок может связывать катионы  $\text{Ca}^{++}$ .

# Механизм скольжения



# Укорочение саркомера



# Последовательность событий при сокращении

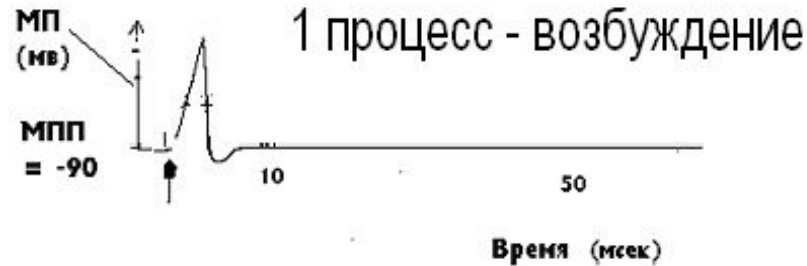
**I этап. ПД пресинаптического окончания приводит к выделению медиатора (электрохимическое сопряжение)**

- 1. Возникновение ПКП на постсинаптической мембране.**
- 2. Возникновение ПД - возбуждение мембраны.**
- 3. Проведение возбуждения по Т-системе мышечного волокна.**
- 4. Высвобождение  $Ca^{++}$  из саркоплазматического ретикулума (СПР). Концентрация ионов увеличивается с  $10^{-8}$  до  $10^{-5}$  моль.**

**II этап. Электромеханическое сопряжение**

- 1. Взаимодействие  $Ca^{++}$  с тропонином**
- 2. Молекулы тропомиозина глубже опускаются в желобки между цепочками мономеров актина, открывая участки прикрепления для поперечных мостиков миозина.**
- 3. Прикрепление головки миозина к активному центру в актиновых нитях и повышение АТФ-азной активности.**
- 4. Поворот головки и увеличение напряжения шейки.**

# Временная характеристика процесса сокращения



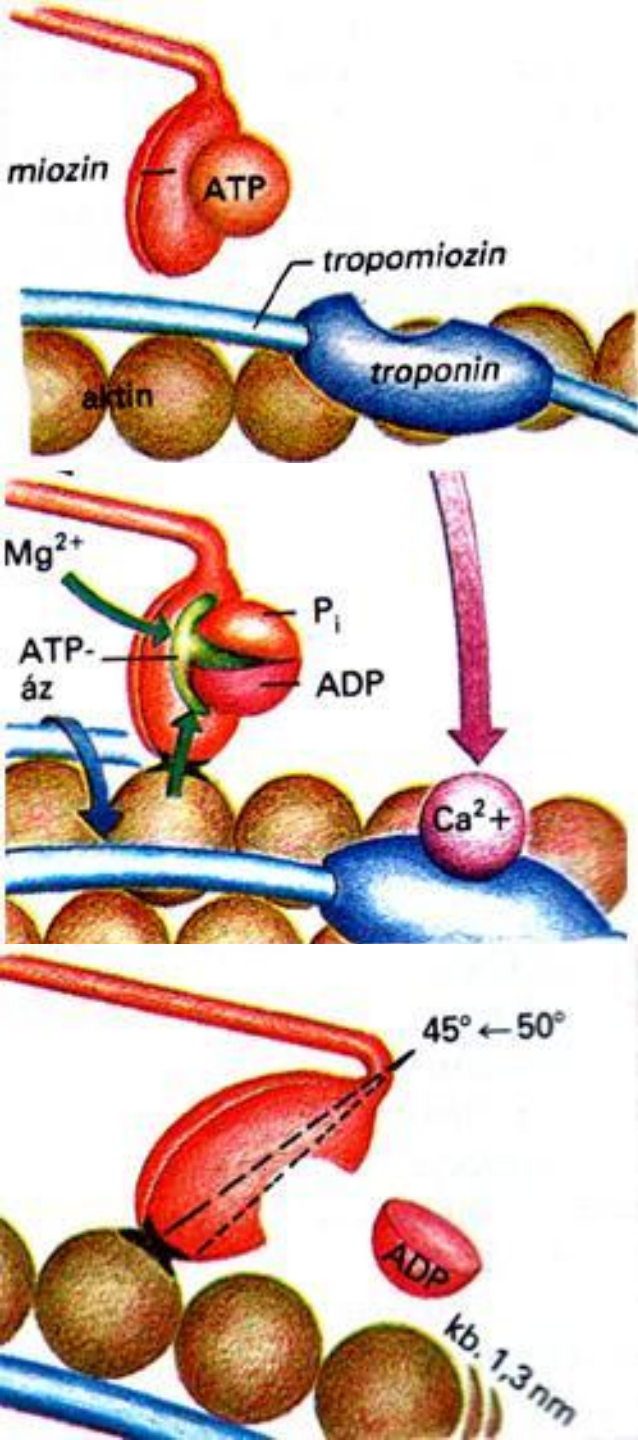
Электро-механическое сопряжение



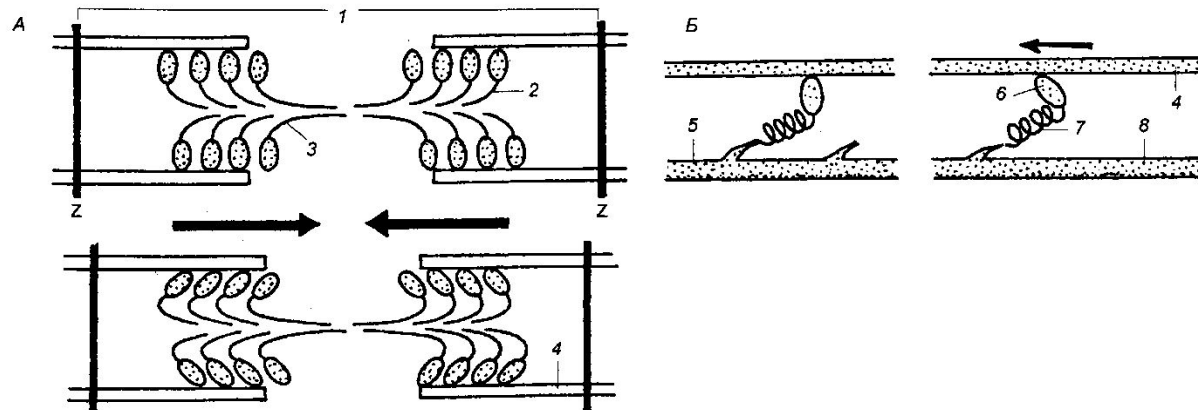
- 1 - Латентный период
- 2 - Фаза укорочения
- 3 - Фаза расслабления



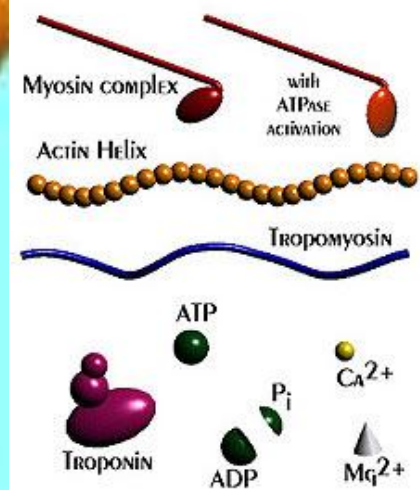
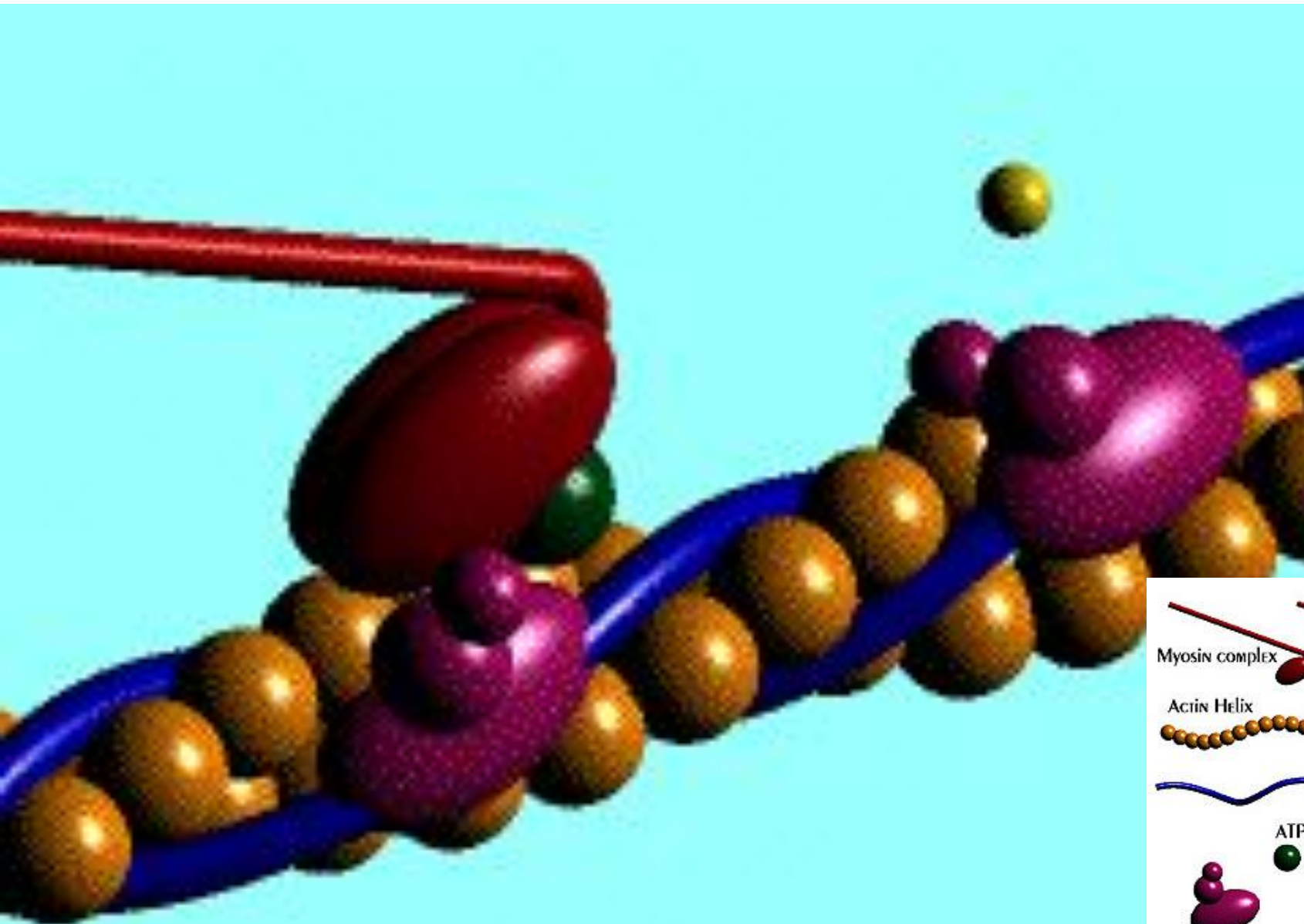
# Механизм сокращения



1. Ca<sup>+</sup> выходит из цистерн ЭПР (опыт с экворином, Рюгель 1977)
  2. Ca<sup>+</sup> связывается с тропонином в присутствии Mg<sup>++</sup>
  3. Тропомиозиновая нить отходит от актина
  4. Миозиновые головки образуют мостики с актином
  5. Гидролиз АТФ до АДФ
  6. Сгибание головки миозина
  7. Укорочение саркомера
  8. Замена АДФ на АТФ
  9. Разгибание головки миозина
- 2-9: цикл повторяется 50 раз при одном сокращении



# Кинематика сокращения



# Виды и режимы мышечного сокращения

## Виды

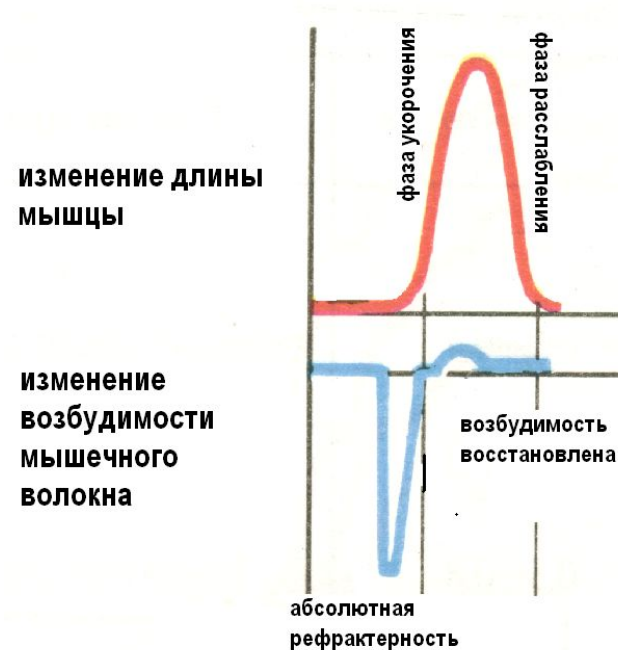
1. Изометрическое
2. Изотоническое
3. Ауксотоническое

## Режимы

1. Одиночное сокращение
2. Тетанус
  - а) Зубчатый
  - б) Гладкий
3. Оптимум
4. Пессимум

# Сопоставление во времени сокращения мышцы и возбудимости

**Возбудимость  
мышцы во время  
сокращения  
нормальна,  
следовательно  
она может  
ответить на  
раздражение**



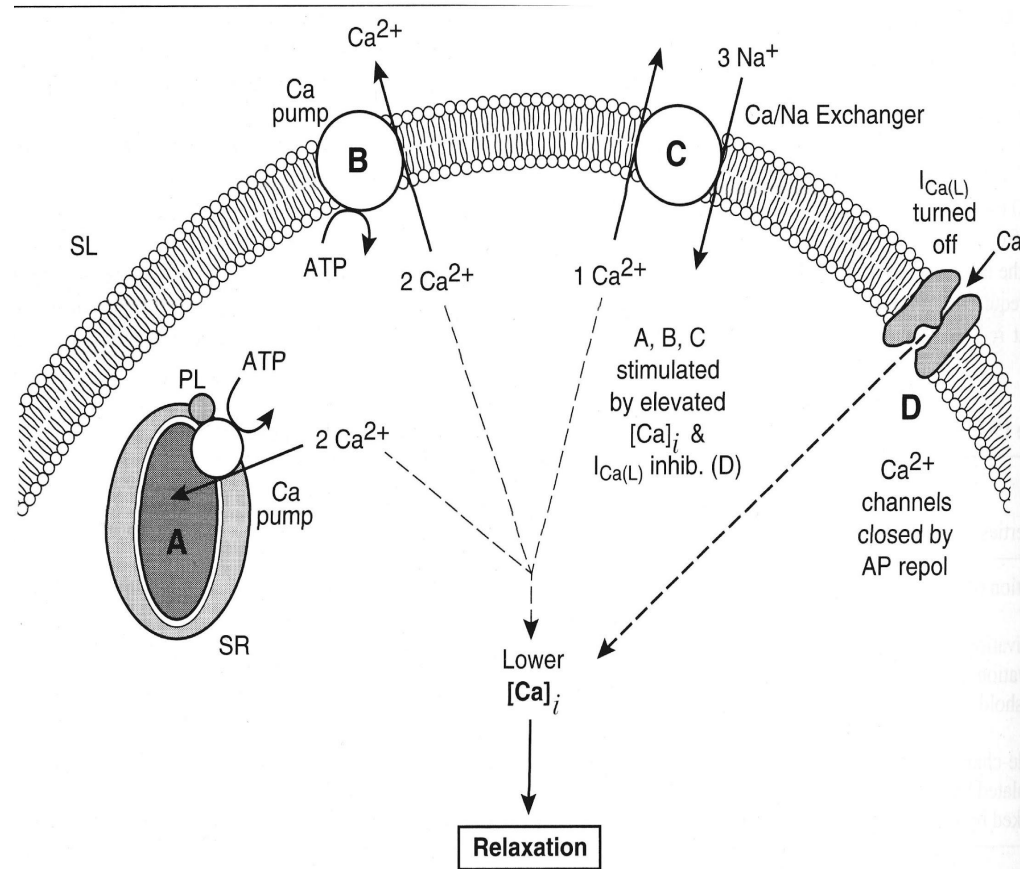
# Расслабление мышцы

1.  $\text{Ca}^{++}$  удаляется от тропонина и уходит в ЭПР
2. Тропомиозин блокирует актин
3. Поперечные мостики актин-миозин разрываются

## Пути удаления $\text{Ca}^{++}$

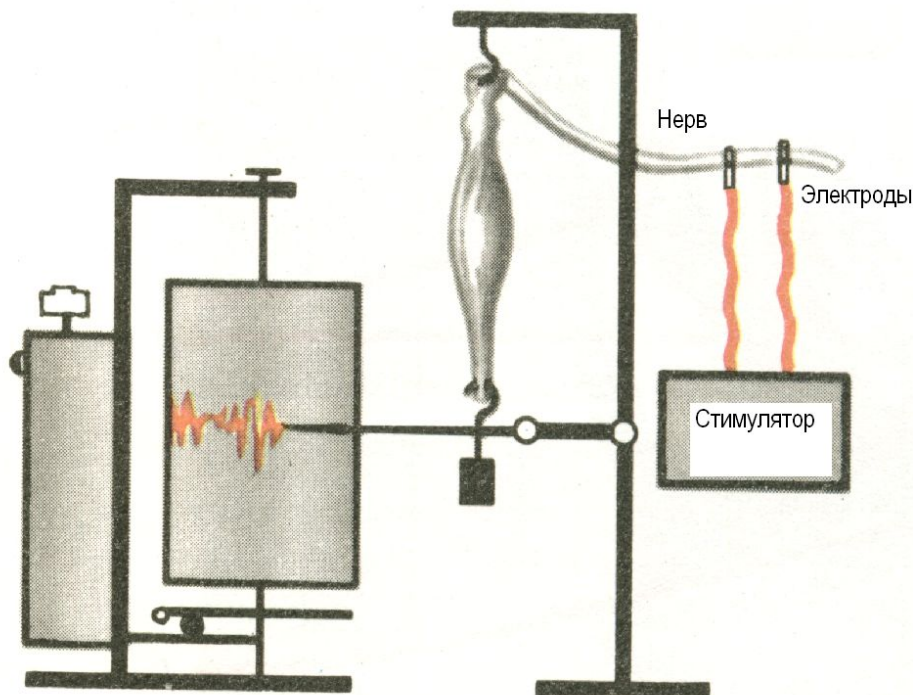
1.  $\text{Ca}^{++}$  насос на ЭПР
2.  $\text{Ca}^{++}$  насос на НЦМ\*
3.  $\text{Na}^{+}$ - $\text{Ca}^{++}$  обменник
4. Закрытие  $\text{Ca}^{++}$  каналов\*

\* -Не характерно для скелетной мышцы

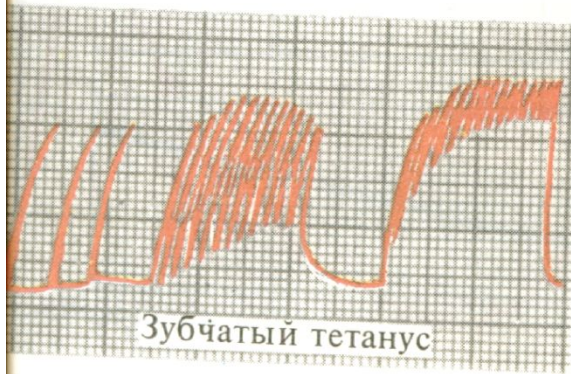


# Запись мышечных сокращений

МИОГРАФ



# Суммация сокращений



# Режимы мышечного сокращения

## Одиночное сокращение

Тетанус – слитное сокращение без расслабления

А) Зубчатый – импульс в фазу расслабления

Б) Гладкий – импульс в фазу укорочения

Оптимум – частота для включения всех двигательных единиц

Пессимум – частота за пределами функциональной лабильности

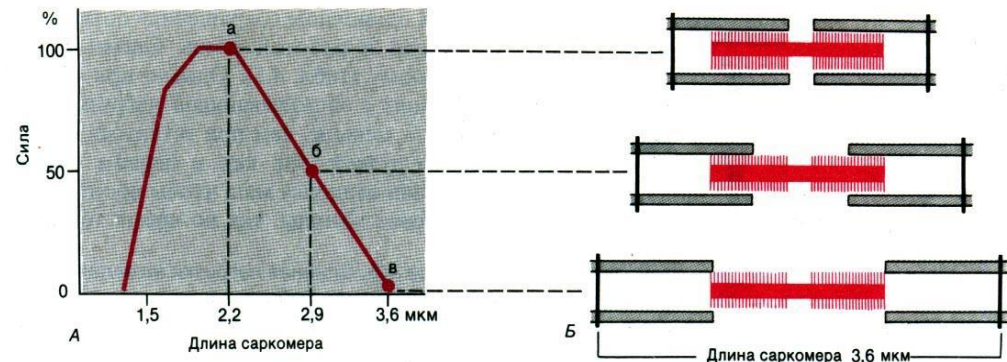


# Регуляция силы сокращения

## МЫШЦЫ

Сила сокращения зависит от

1. числа включенных нейромоторных единиц;
2. частоты импульсации мотонейронов;
3. синхронизации частоты возбуждения мотонейронов;
4. исходной длины мышцы (саркомера).  
Максимальная при длине саркомера 2,0-2.2 мкм;

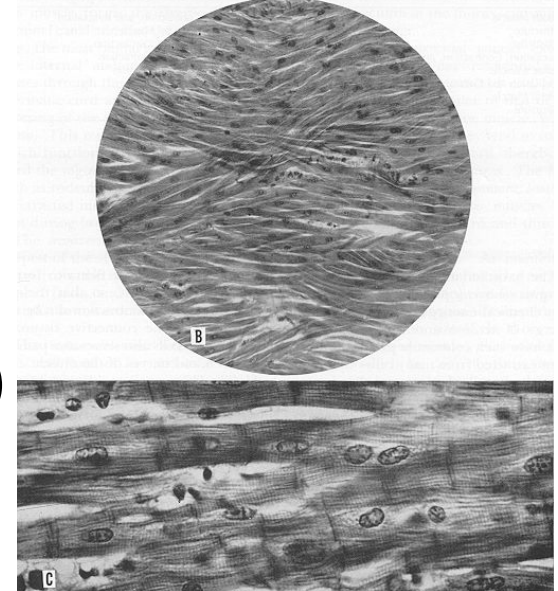


5. состояния ЦНС.

# Законы мышечного сокращения

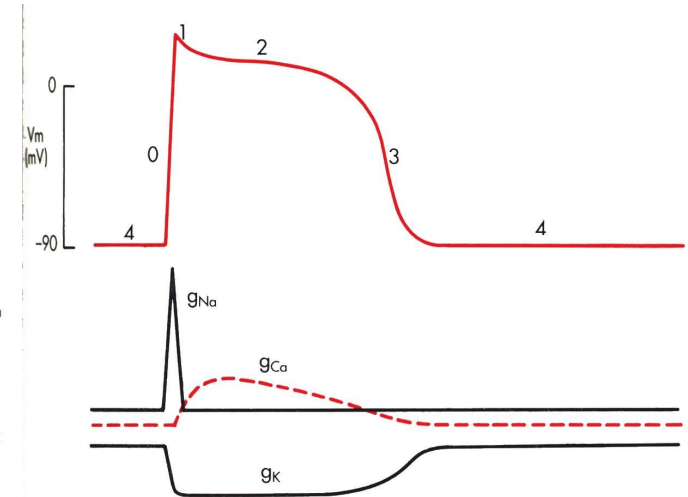
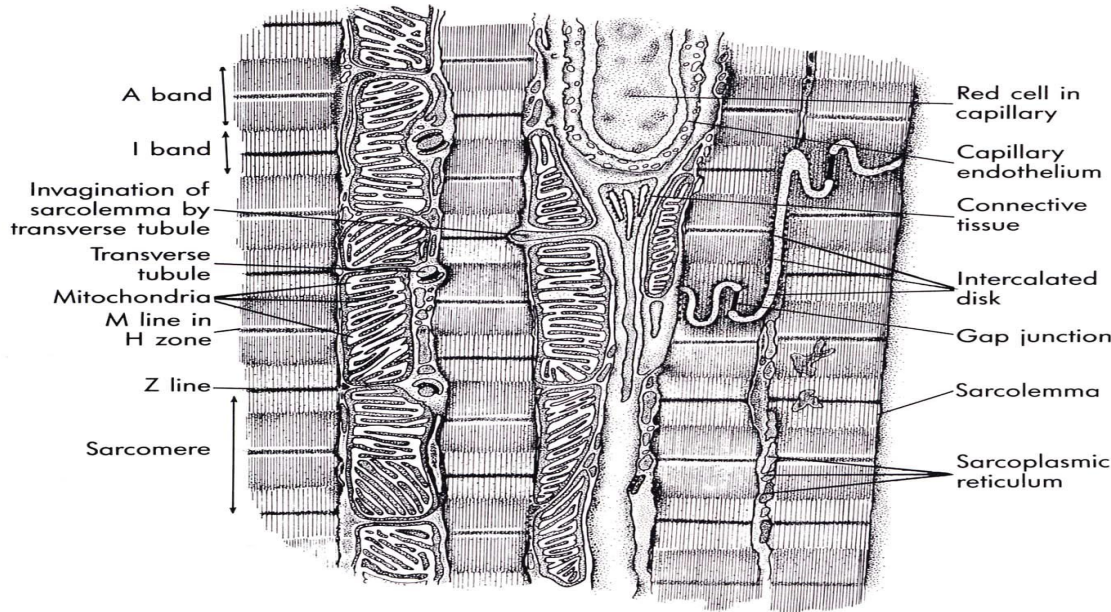
1. Мышечное волокно подчиняется закону «все или ничего»
2. Целая мышца подчиняется закону силы (число включенных мышечных волокон, режим их работы)

# Гладкие МЫШЦЫ



- Мелкие (2-10 мкм диаметр, 50-500 мкм длина)
- Одноядерные, способны к делению
- Механо- и хемочувствительны
- Актин прикреплен к НЦМ, либо к плотным тельцам (аналог Z-линии) «хаотично», т.е. нет миофибрилл
- ЭПР выражен мало
- В ответ на ПД активируются не все акто-миозиновые мостики
- Вместо тропонина (на актине) – кальмодулин + киназа легких цепей (на миозине)
- Длительность сокращения 1-20 сек (в 10-100 раз ниже скелетной)
- Способность поддерживать напряжение почти без затрат АТФ (тонус)
- Соединены нексусами, сокращаются группами по неск. десятков
- Синапсы не имеют «классических» очертаний (утолщения на аксоне)

# Сердечные мышцы



-Одноядерные клетки

-Т-система развита в 100 раз сильнее (около 30 % от объема цитоплазмы)

-Характерны вставочные диски, состоящие из щелевых контактов (вдоль продольной оси клетки)

- $Ca^{++}$  поступает также из внеклеточной среды ( $Ca^{++}$  плато на ПД)

-Некоторые клетки способны к автоматии

-Скорость сокращения ниже

