

ДВИГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Физиология мышц

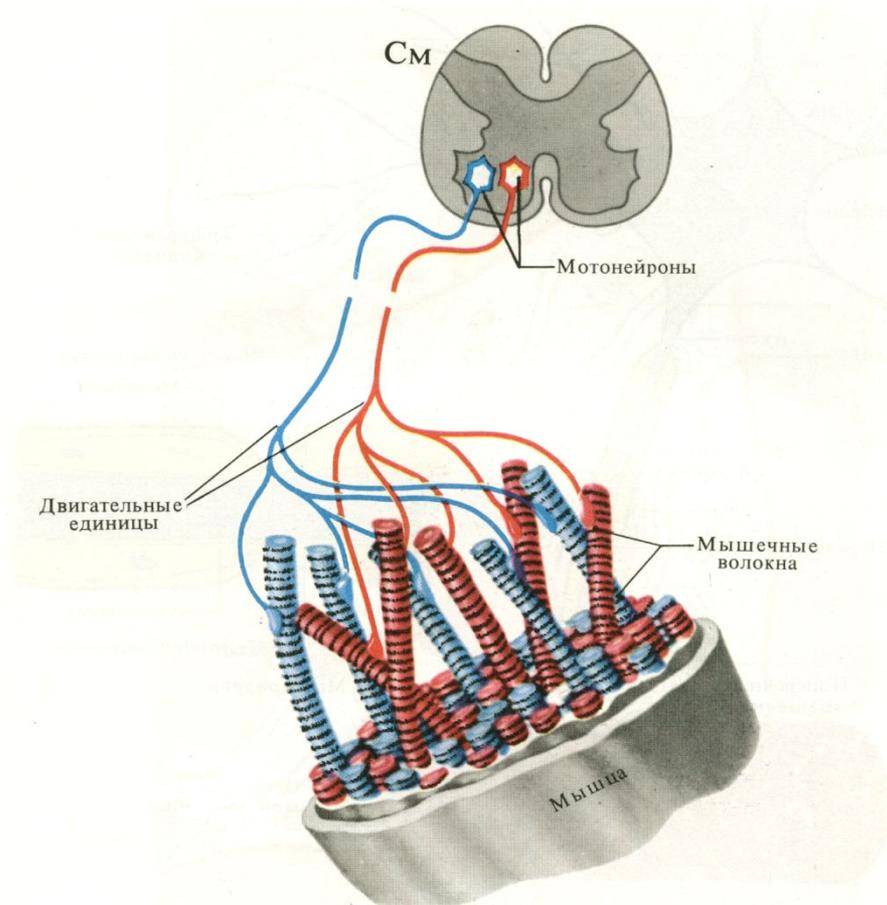
- **Поддержание позы и равновесия тела**
- **Произвольные движения**
- **Воспроизведение речи**
- **Работа сердца**
- **Регуляция тонуса сосудов**
- **Моторика желудка и кишечника**
- **Терморегуляция (сократительный термогенез)**

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 ₂	малочувствительны к недостатку	высокочувствительны к недостатку

Свойства мышцы

Возбудимость

Проводимость

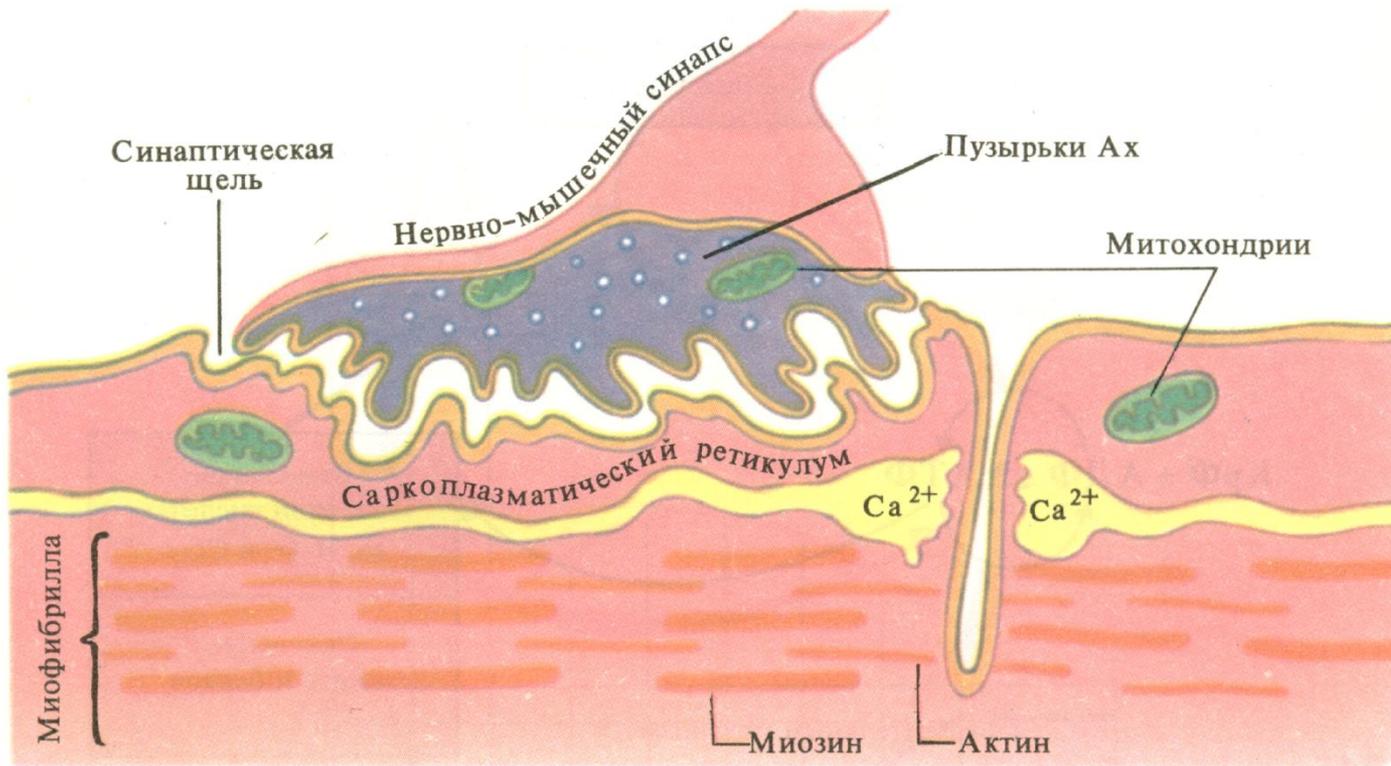
Сократимость

**Эластичность – способность
сокращаться при растягивании**

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

**Тонус – рефлекторное напряжение
мышц**

Возбуждение мышцы



А

Особенности нервно-мышечного синапса (концевой пластинки)

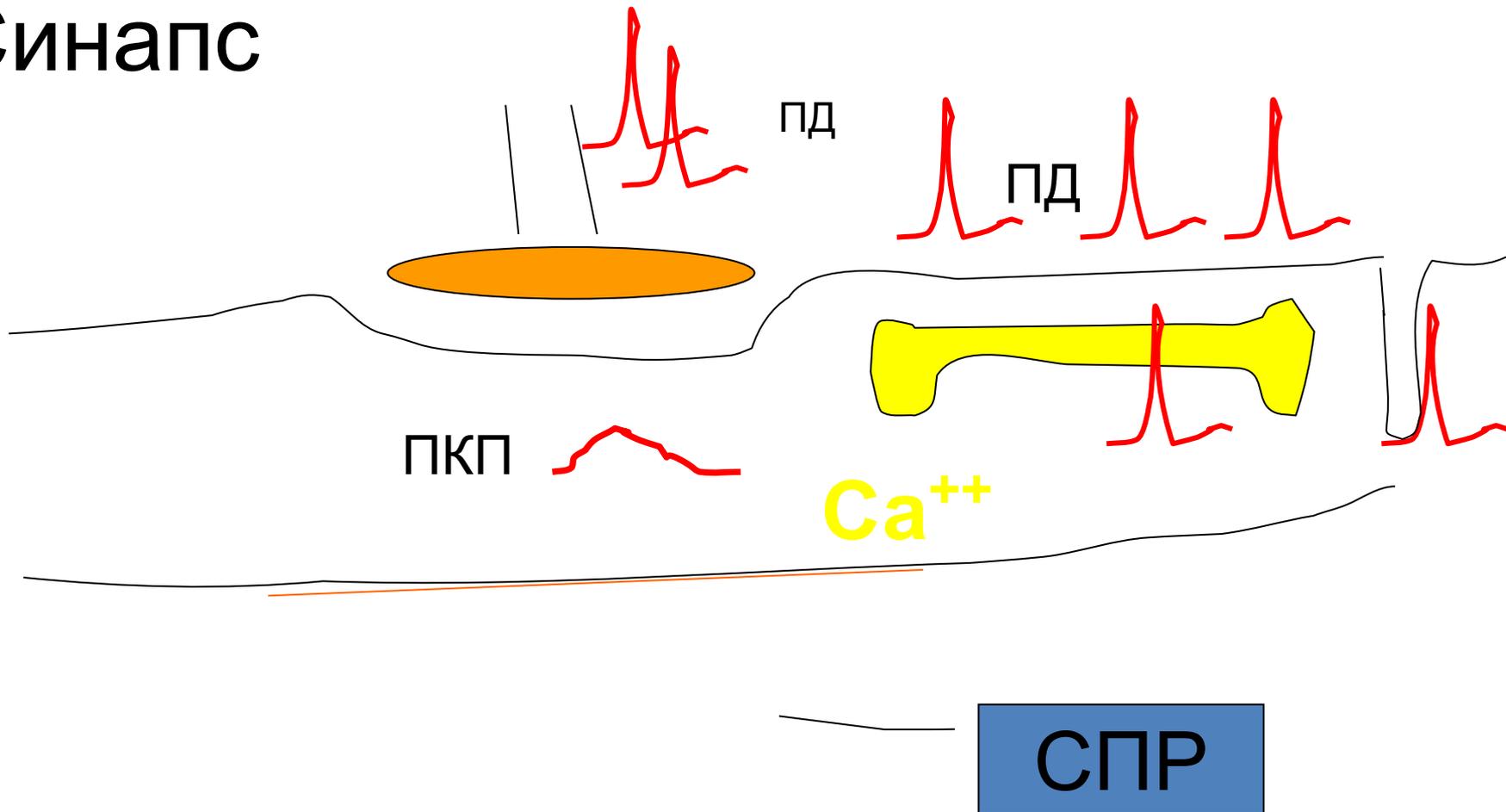
**Большая поверхность пресинаптической
мембраны**

**Большая складчатость
постсинаптической мембраны**

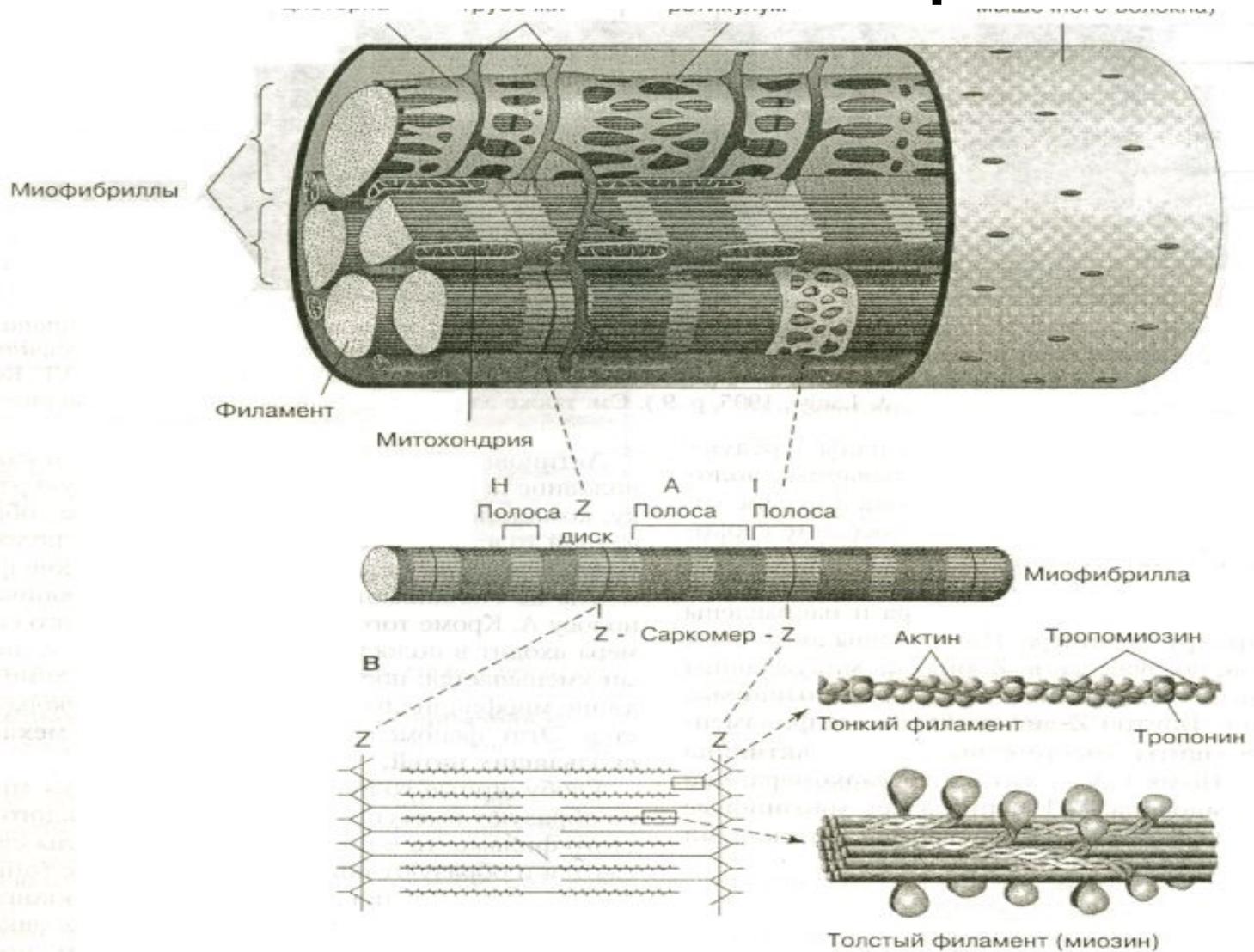
**Нет суммации – ПКП (потенциал концевой
пластинки) сразу переходит в ПД**

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

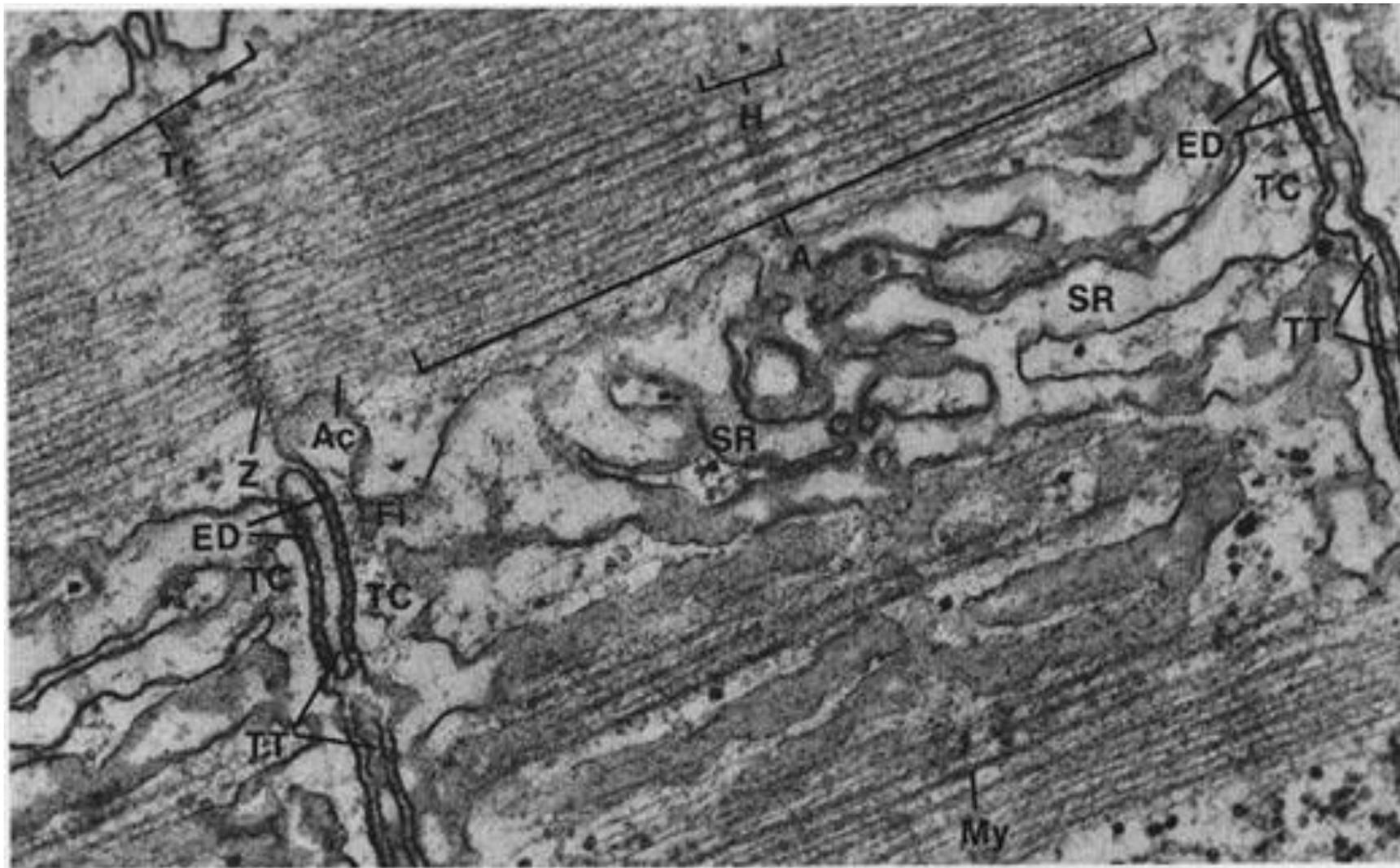
Синапс



Уровни организации скелетной мышцы

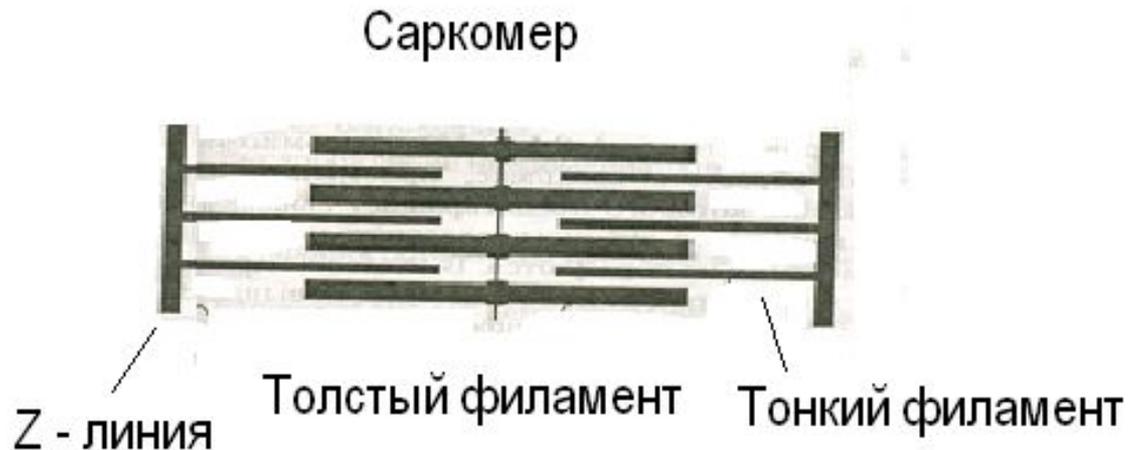


Микрофотография мышечного волокна



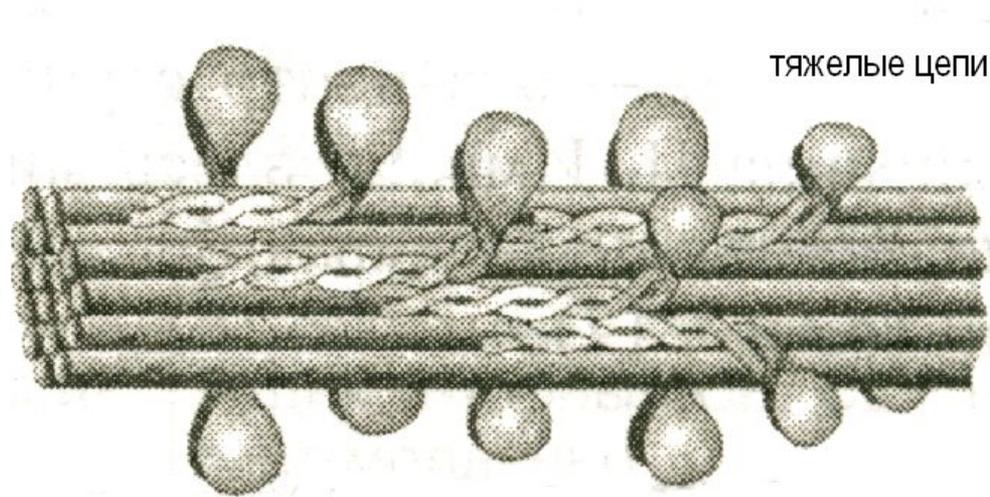
Строение саркомера

- 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

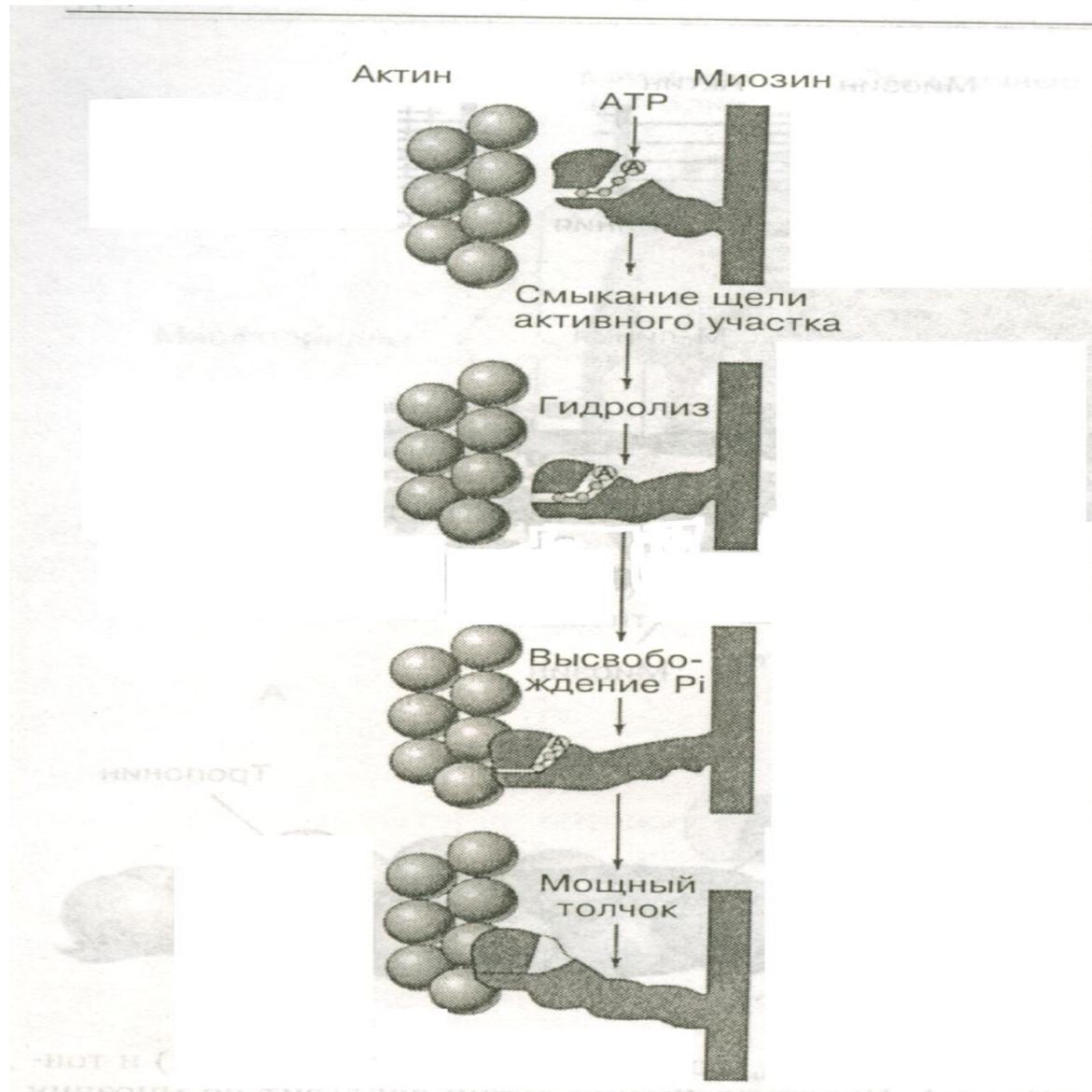
Свойства актина

- 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.

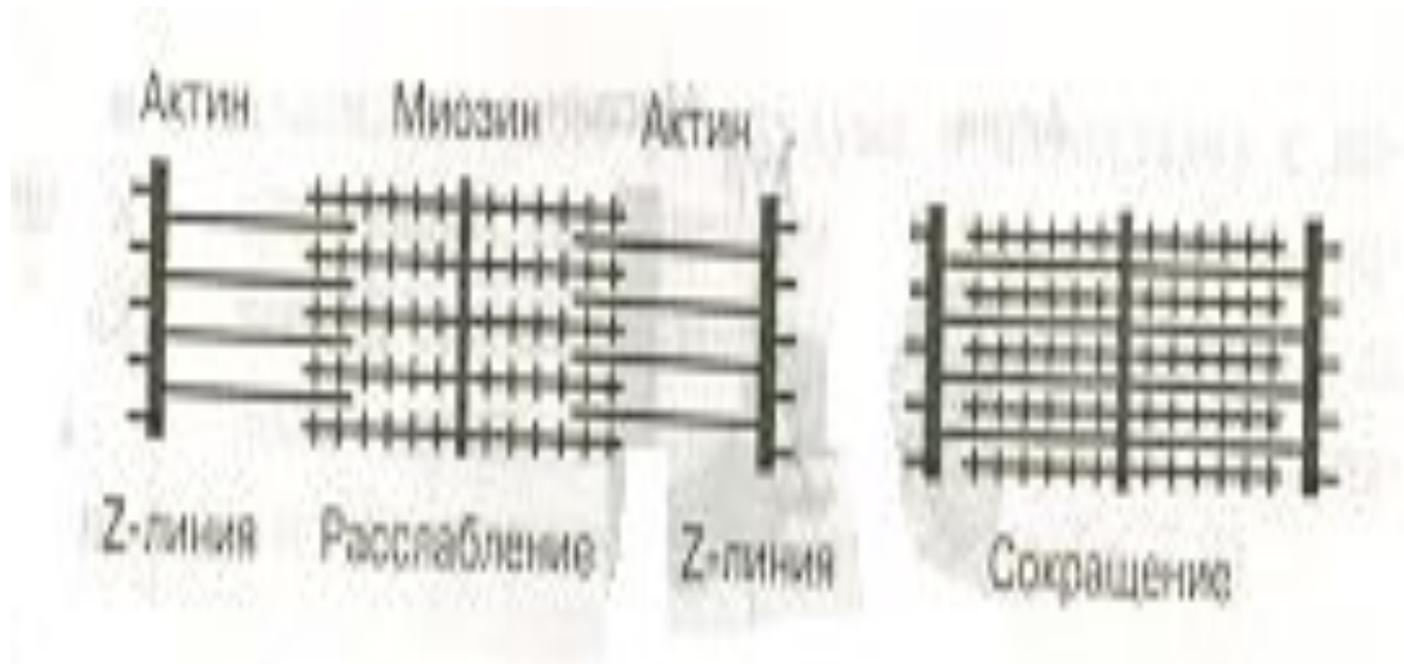
Регуляторные белки

- 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 Ca^{++} .

Механизм скольжения



Укорочение саркомера



Последовательность событий при сокращении

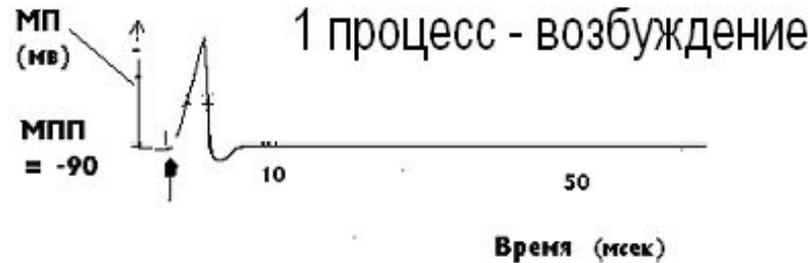
I этап. ПД пресинаптического окончания приводит к выделению медиатора (электрохимическое сопряжение)

- 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.**

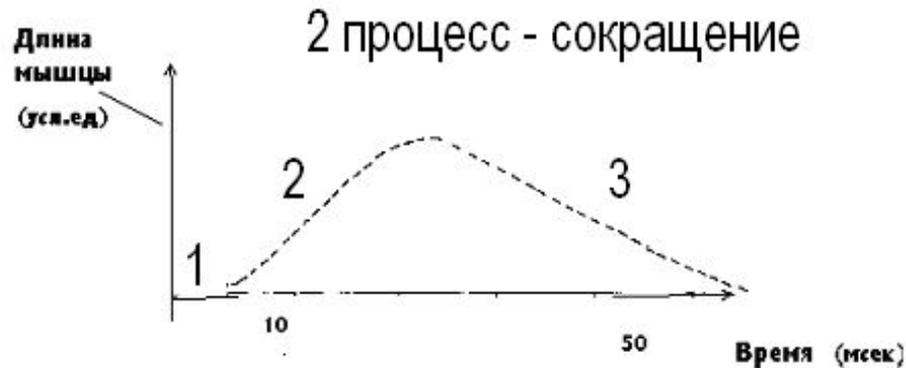
II этап. Электромеханическое сопряжение

- 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

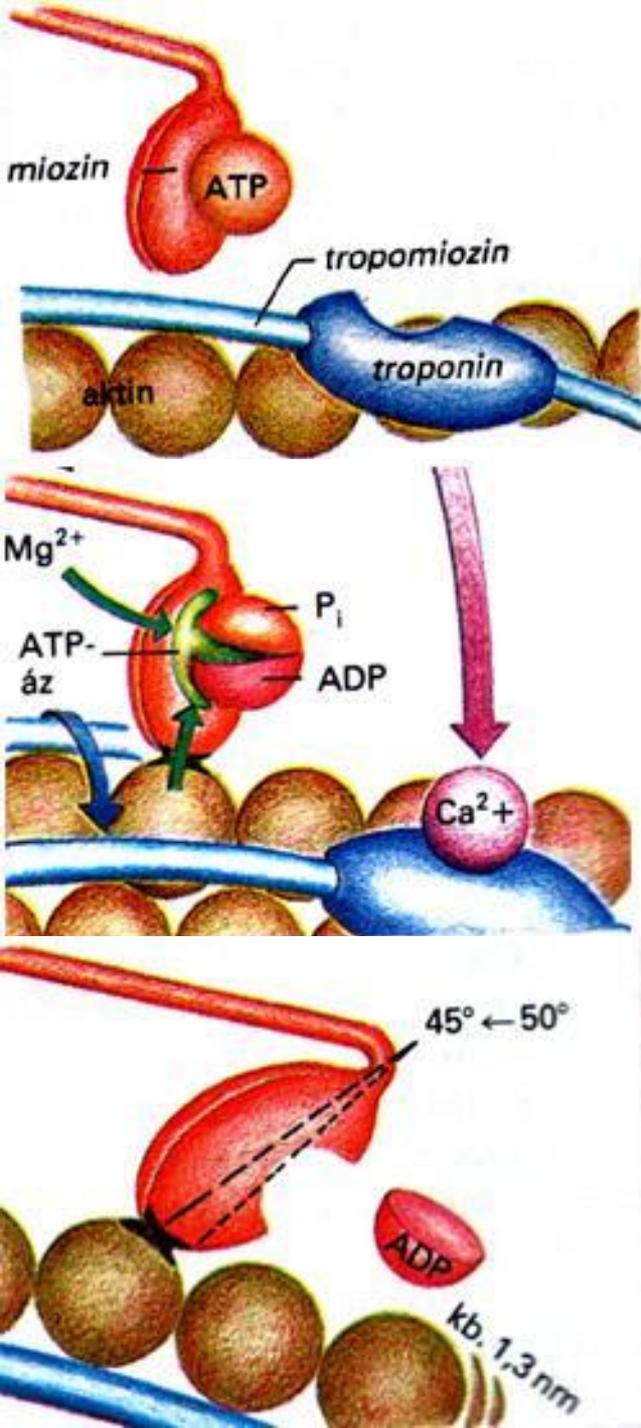


Электро-механическое сопряжение

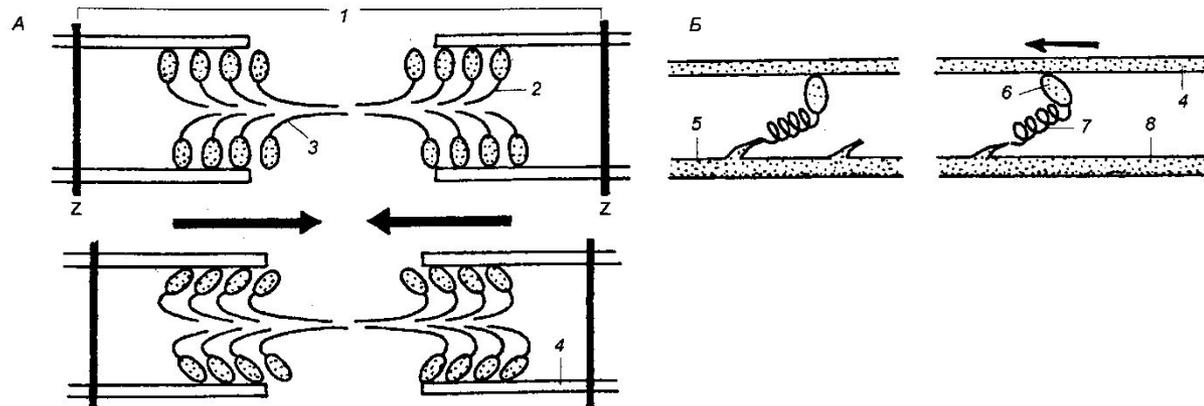


- 1 - Латентный период
- 2 - Фаза укорочения
- 3 - Фаза расслабления

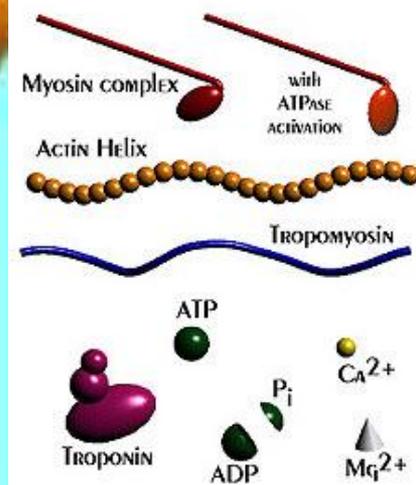
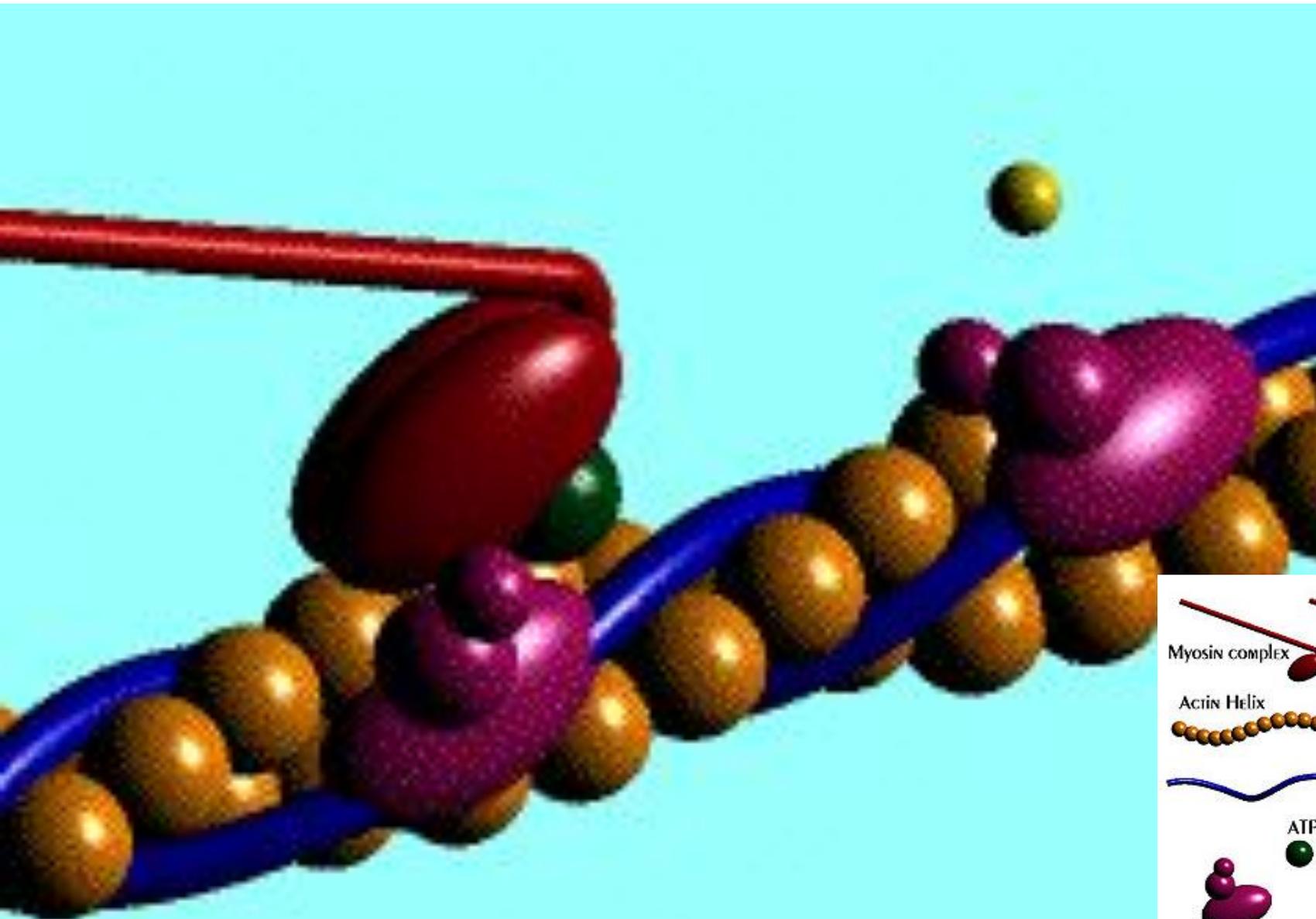
Механизм сокращения



1. Ca⁺ выходит из цистерн ЭПР (опыт с экворином, Рюгель 1977)
 2. Ca⁺ связывается с тропонином в присутствии Mg⁺⁺
 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

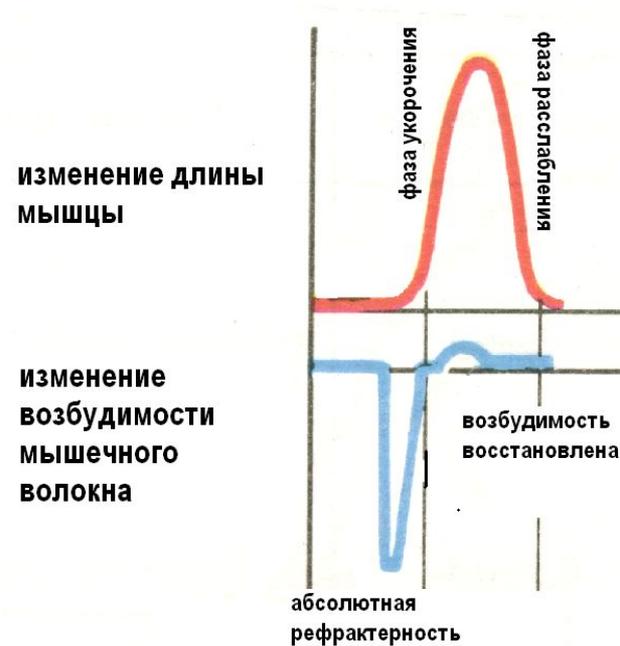
1. Изометрическое
2. Изотоническое
3. Ауксотоническое

Режимы

1. Одиночное сокращение
2. Тетанус
 - a) Зубчатый
 - b) Гладкий
3. Оптимум
4. Пессимум

Сопоставление во времени сокращения мышцы и возбудимости

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



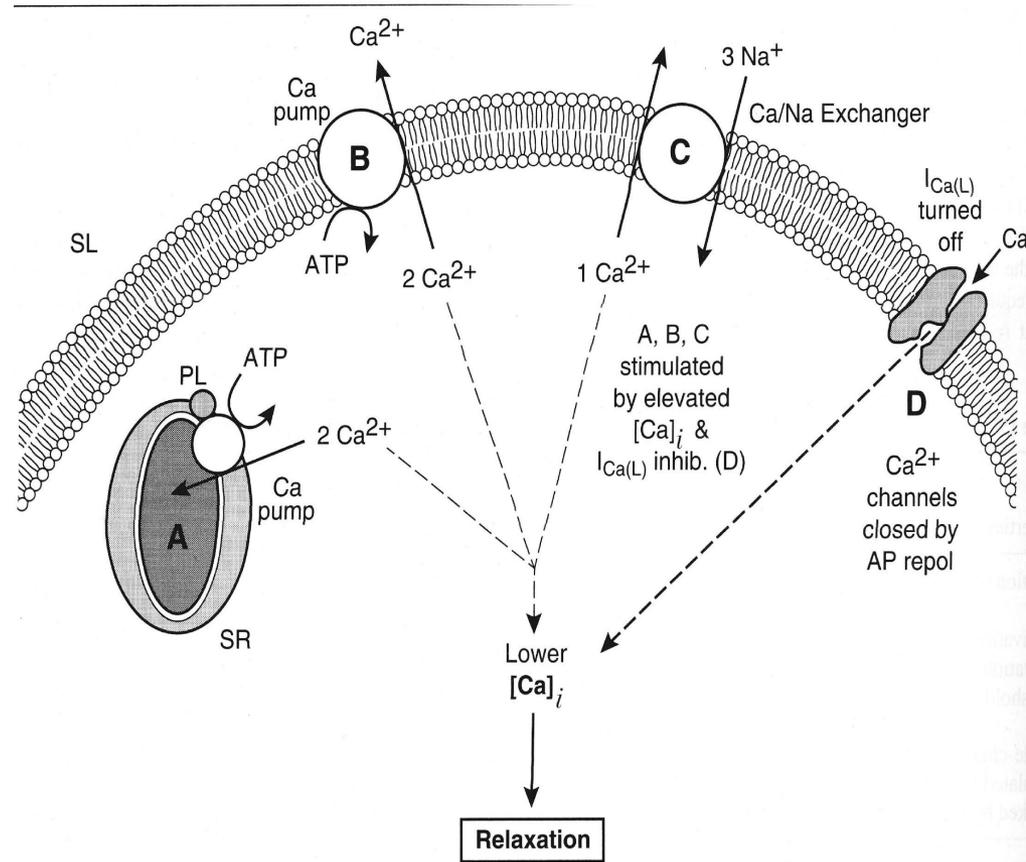
Расслабление мышцы

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

Пути удаления Ca^{++}

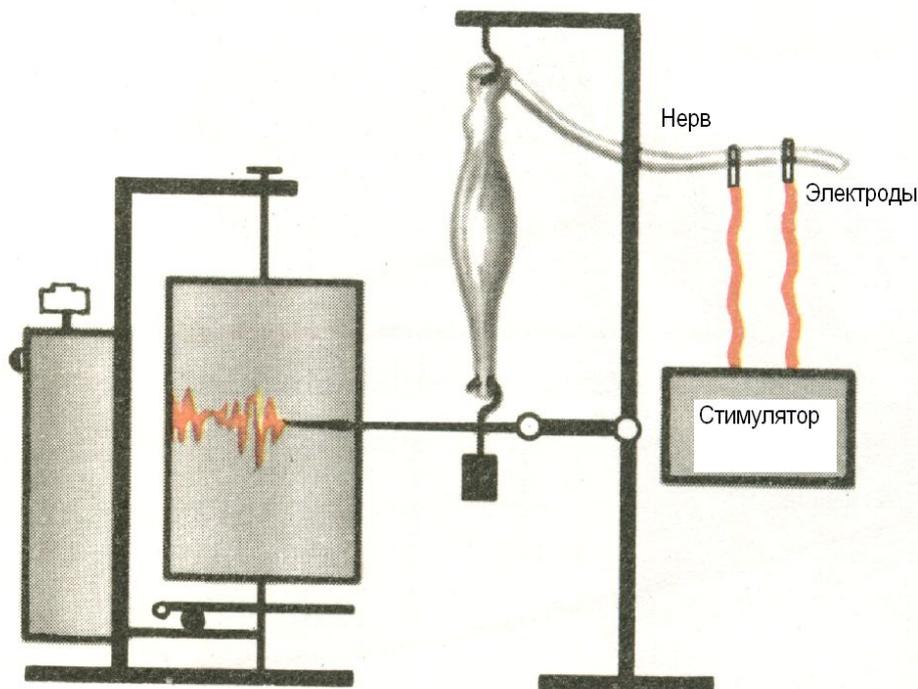
1. Ca^{++} насос на ЭПР
2. Ca^{++} насос на НЦМ*
3. Na^{+} - Ca^{++} обменник
4. Закрытие Ca^{++} каналов*

* -Не характерно для скелетной мышцы

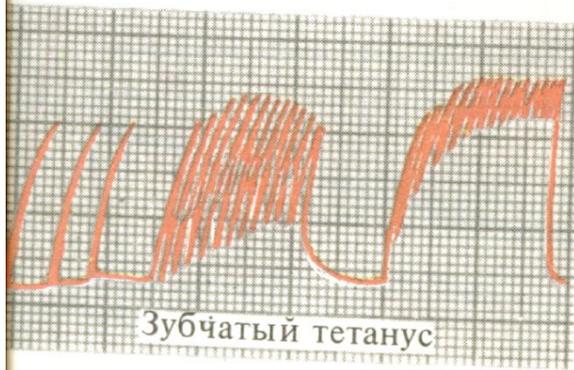
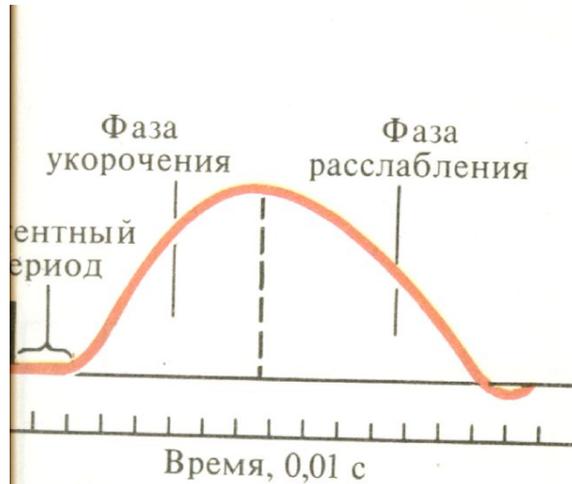


Запись мышечных сокращений

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

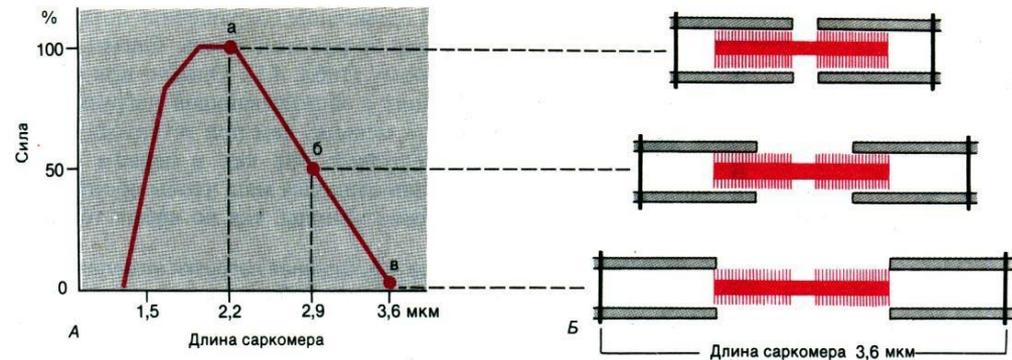
Пессимум – частота за пределами функциональной лабильности

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;

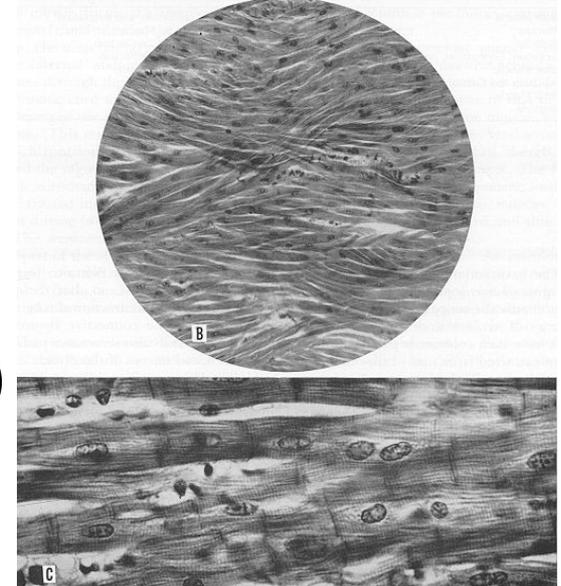


5. состояния ЦНС.

Законы мышечного сокращения

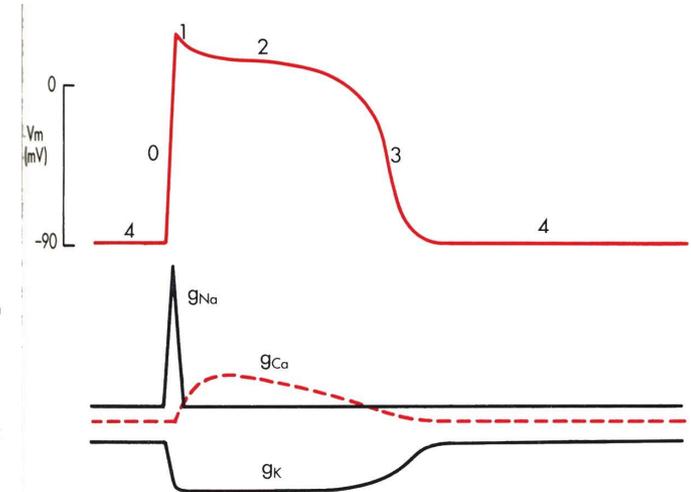
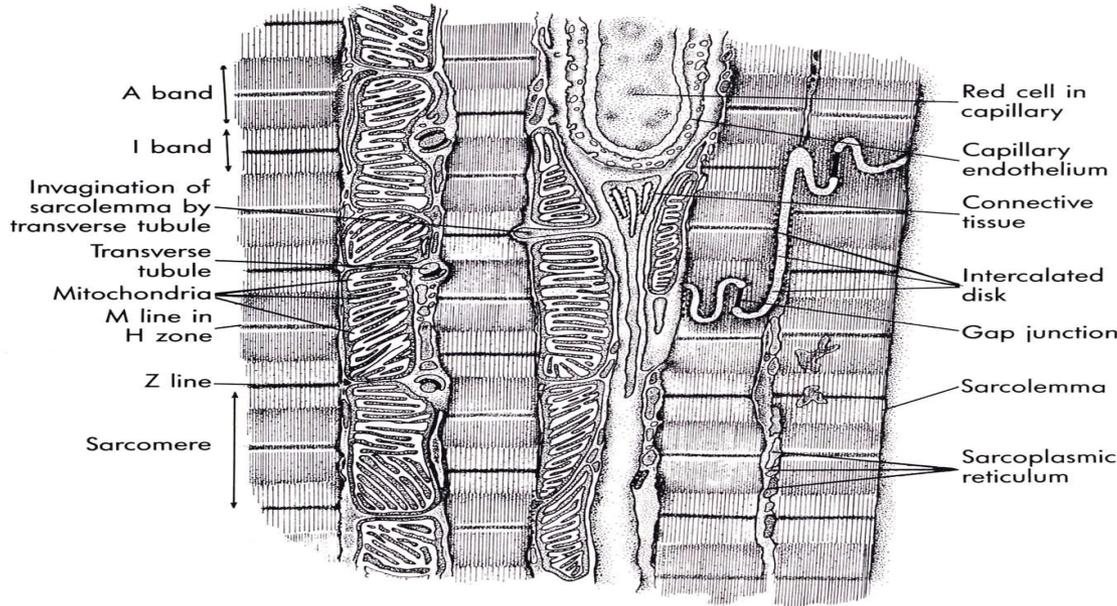
1. Мышечное волокно подчиняется закону «все или ничего»
2. Целая мышца подчиняется закону силы (число включенных мышечных волокон, режим их работы)

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

