ДВИГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Физиология мышц

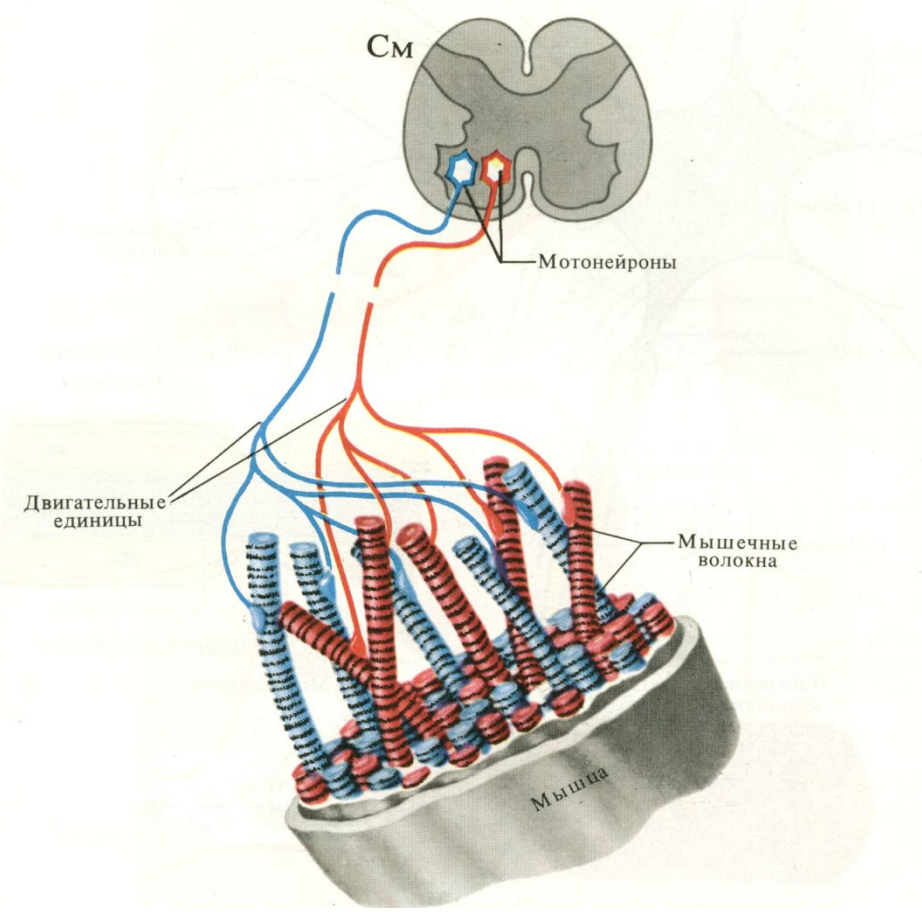
- Поддержание позы и равновесия тела
- Произвольные движения
- Воспроизведение речи
- Работа сердца
- Регуляция тонуса сосудов
- Моторика желудка и кишечника
- Терморегуляция (сократительный термогенез)

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 <u>по работоспособности</u>

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

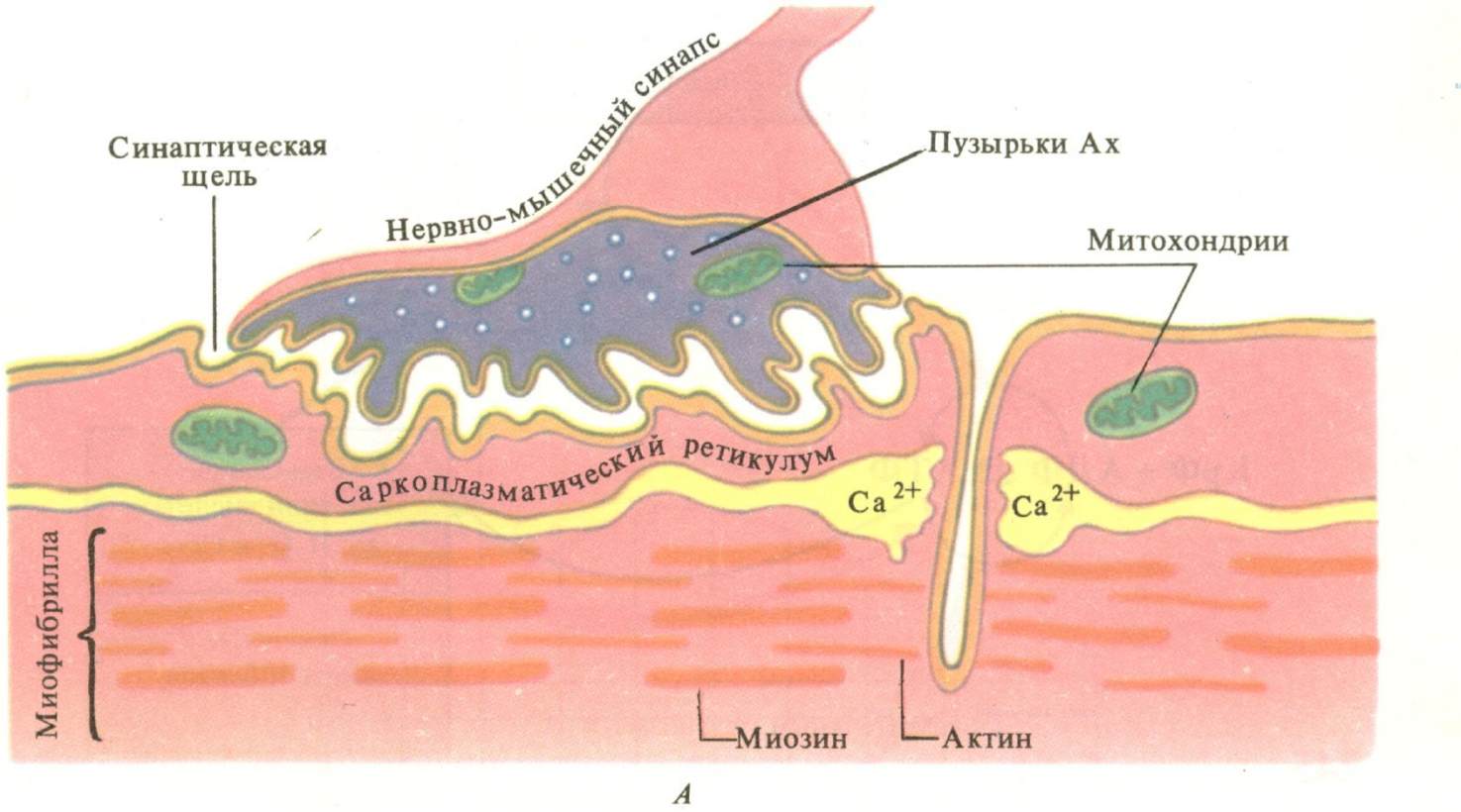
Сократимость

Эластичность – способность сокращаться при растягивании

Пластичность – способность сохранять приданную растяжением длину без изменения напряжения

Тонус – рефлекторное напряжение мышц

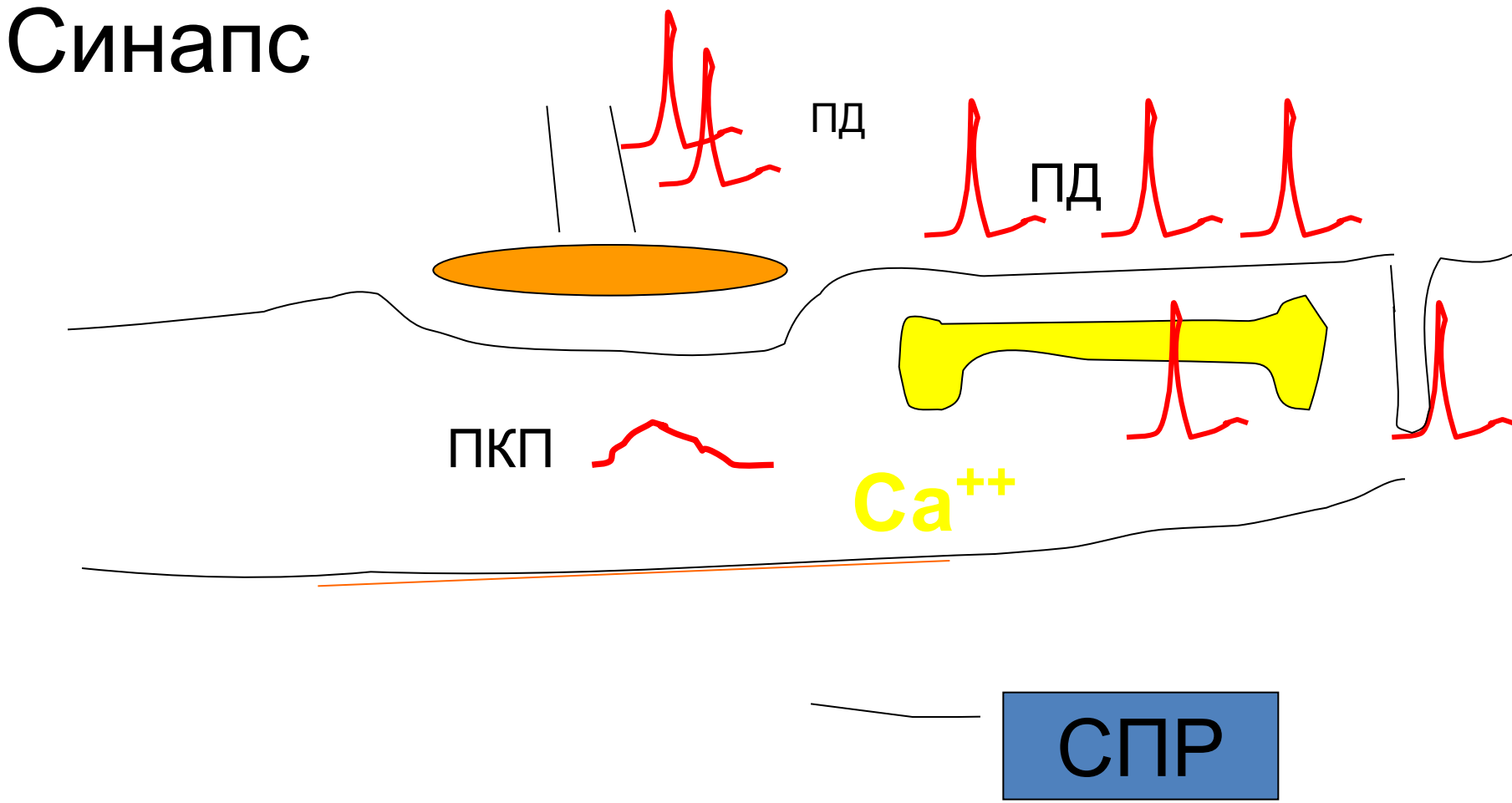
Возбуждение мышцы



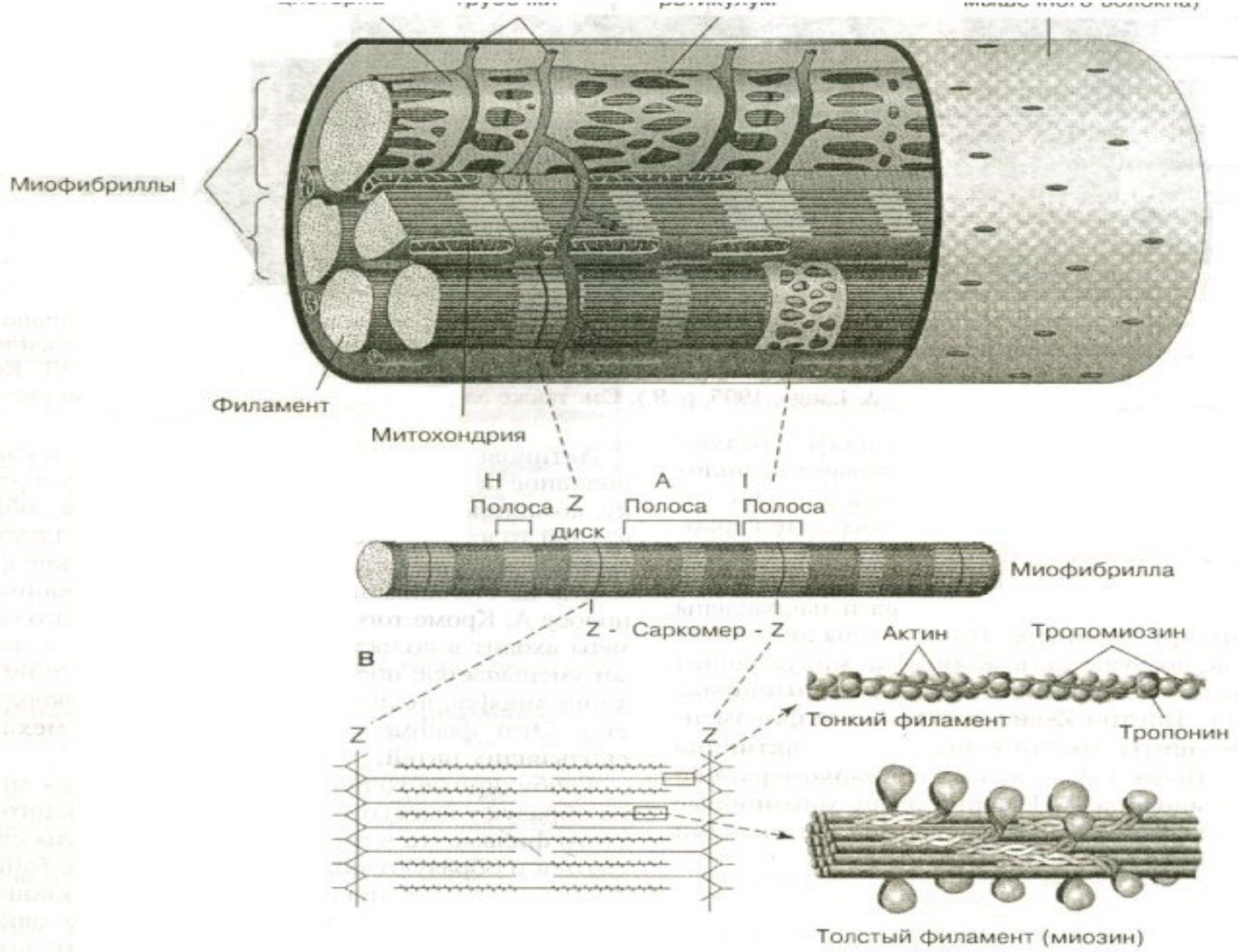
Особенности нервно-мышечного синапса (концевой пластинки)

- Большая поверхность пресинаптической мембраны
- Большая складчатость постсинаптической мембраны
- Нет суммации – ПКП (потенциал концевой пластинки) сразу переходит в ПД

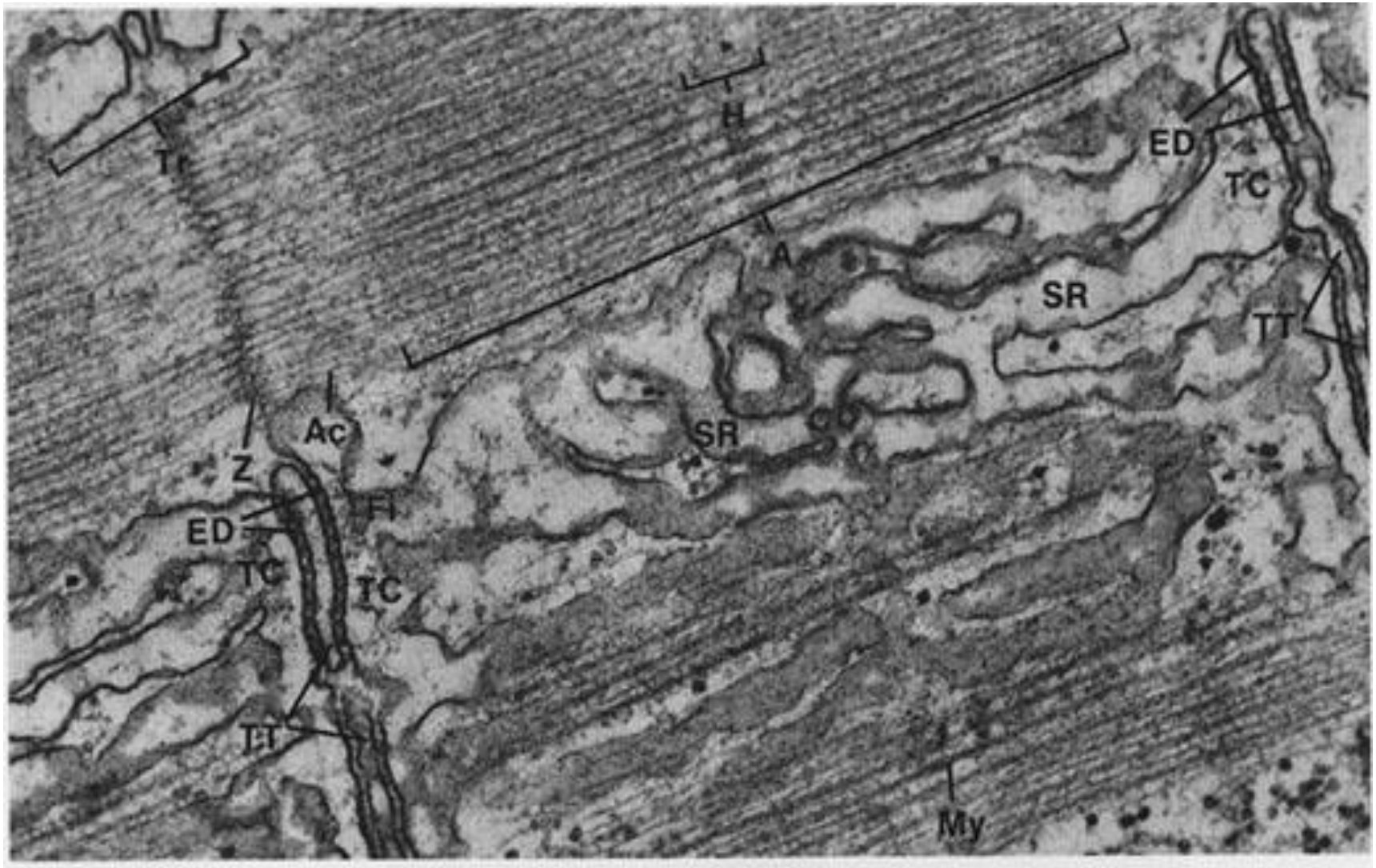
Потенциал концевой пластинки (ПКП) и потенциал действия (ПД) мышечного волокна



Уровни организации скелетной мышцы



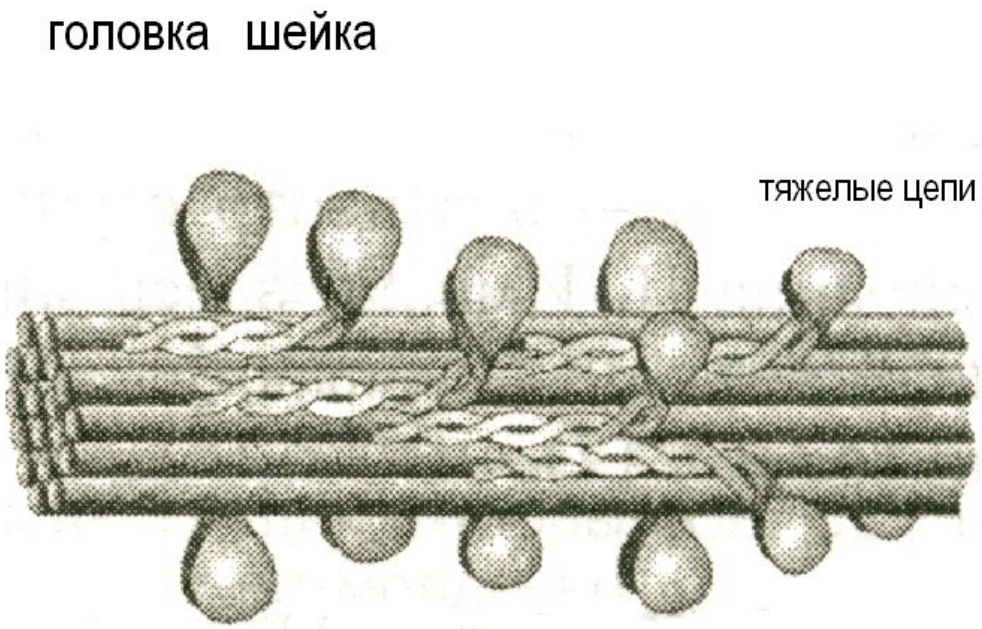
Микрофотография мышечного волокна



Строение саркомера

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

Толстые миофиламенты

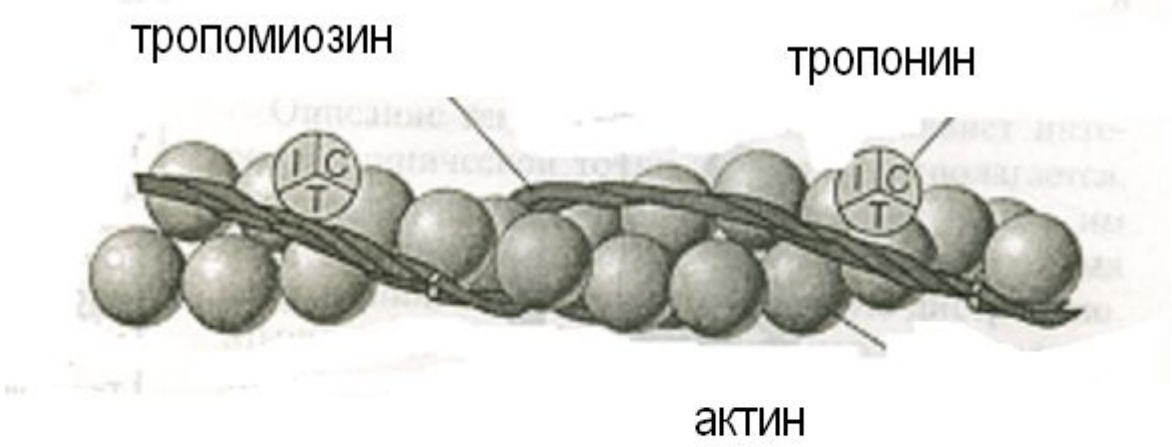


Толстый филамент (миозин)

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

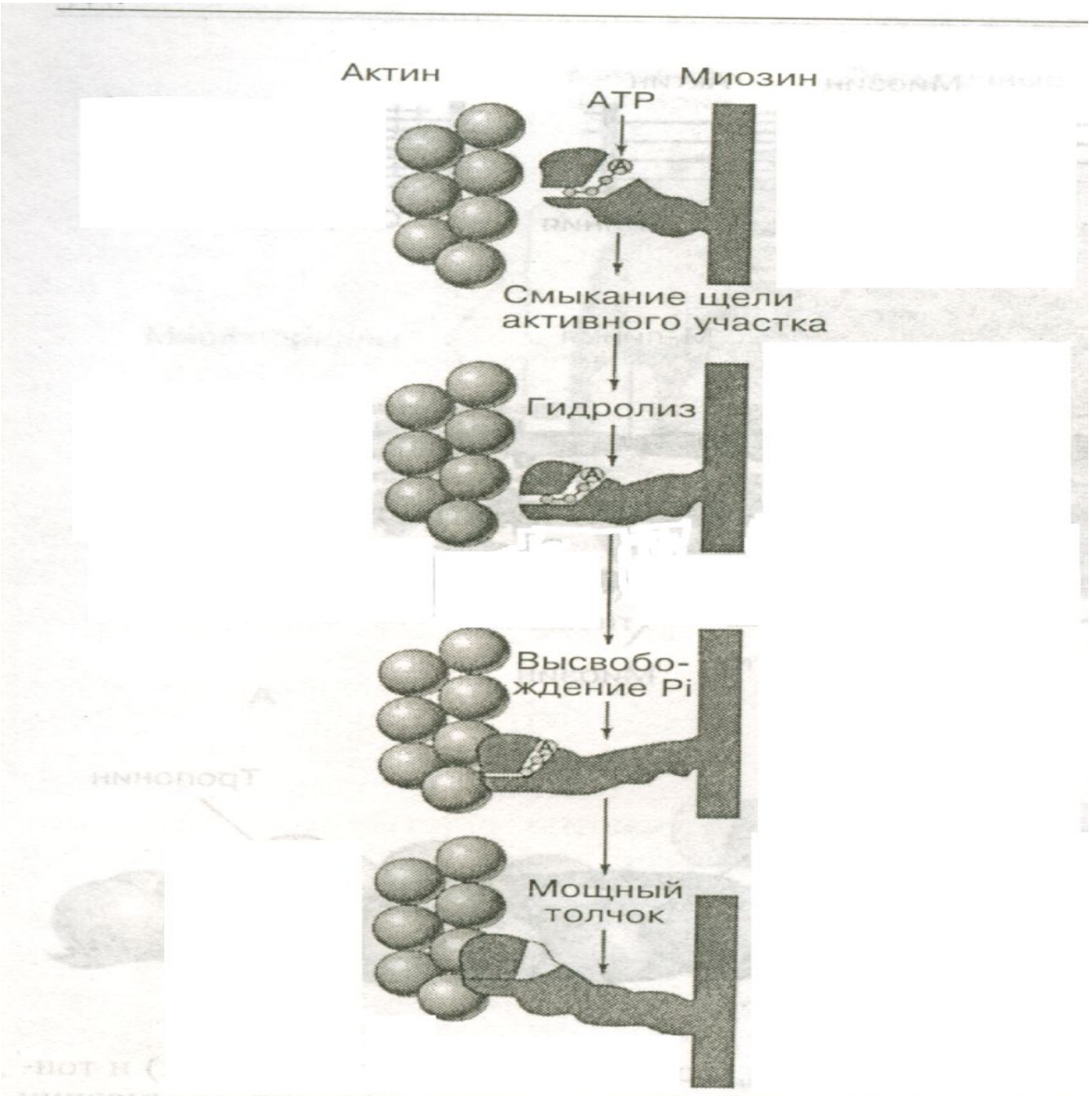
Свойства актина

- 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), примерно36,5нм. Таких нитей в саркомере 2000.
- Эти нити одним концом прикреплены к Z-пластинке, а второй конец достигает середины саркомера.

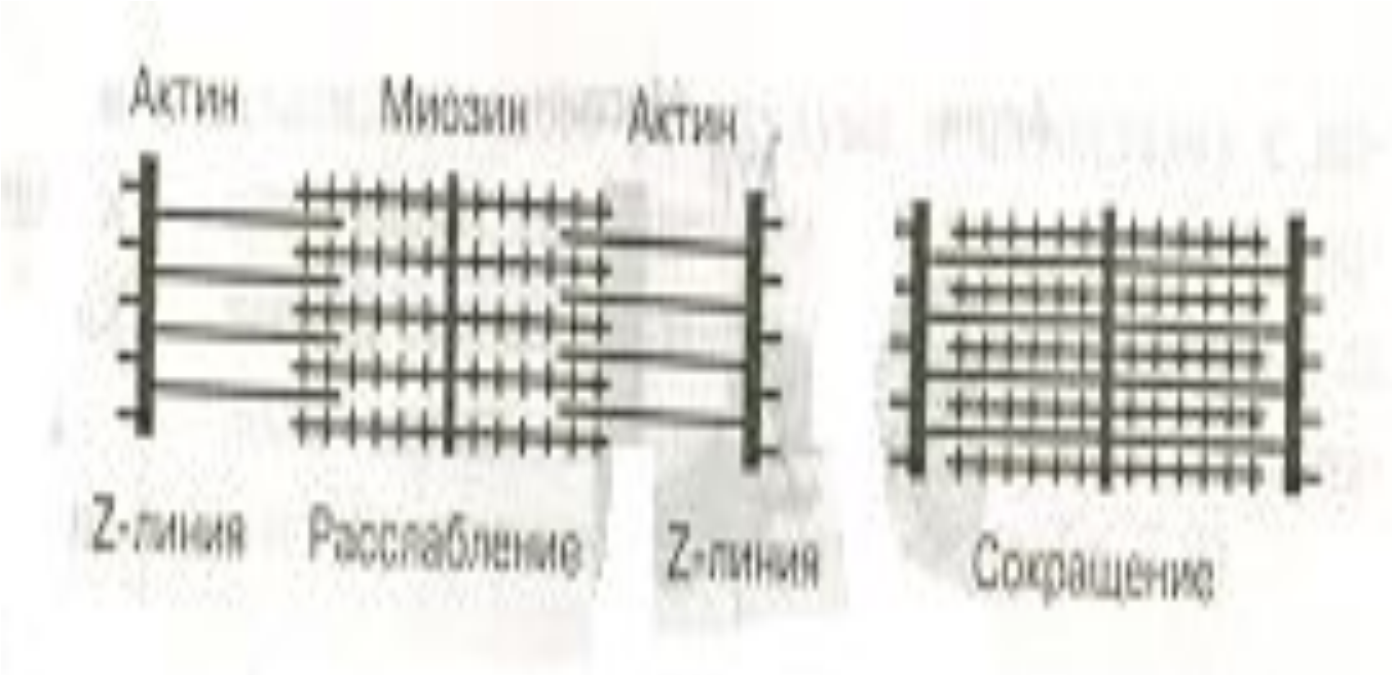
Регуляторные белки

- **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

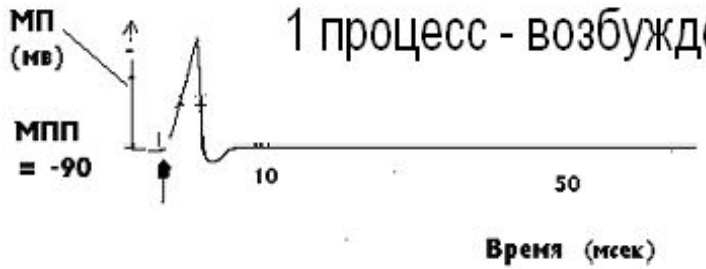
I этап.ПД пресинаптического окончания приводит к выделению медиатора (электрохимическое сопряжение)

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

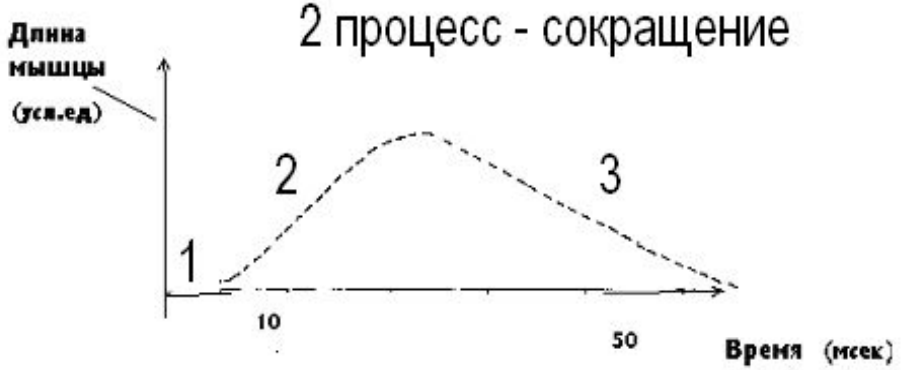
II этап. Электромеханическое сопряжение

1. Взаимодействие Са++ 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.

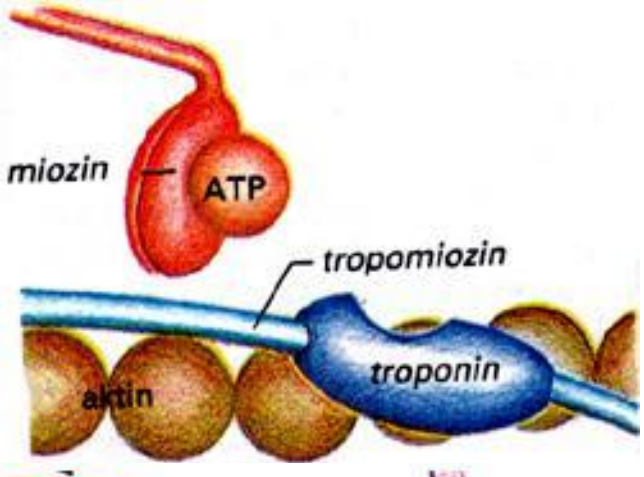
Временная характеристика процесса сокращения

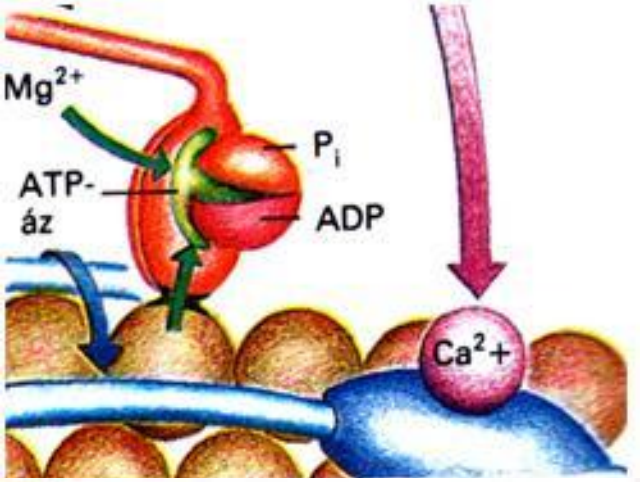


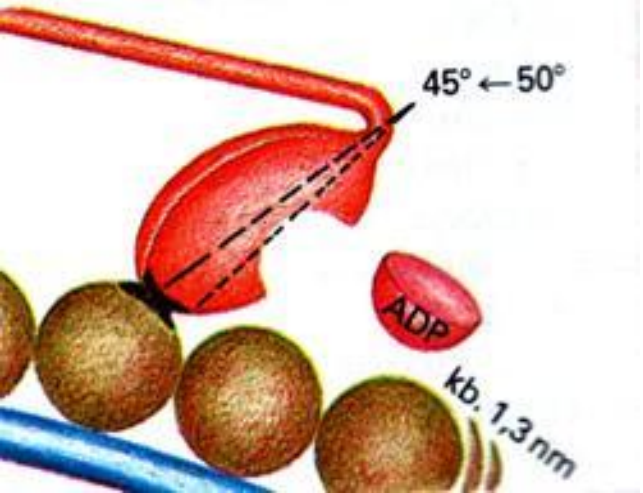
Электро-механическое сопряжение



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

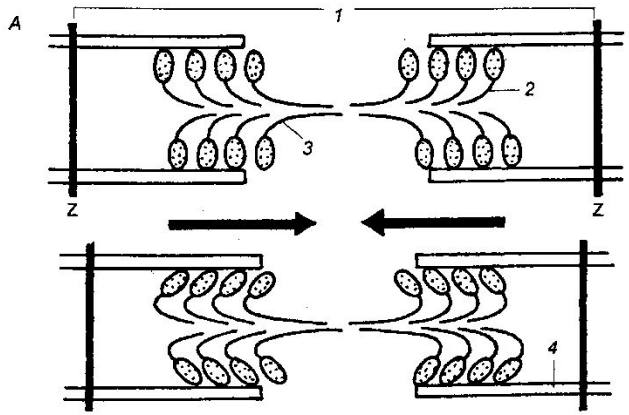


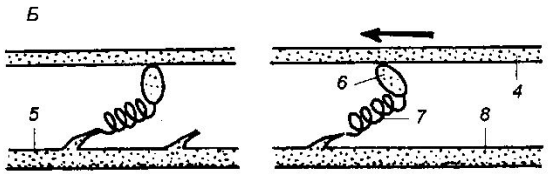




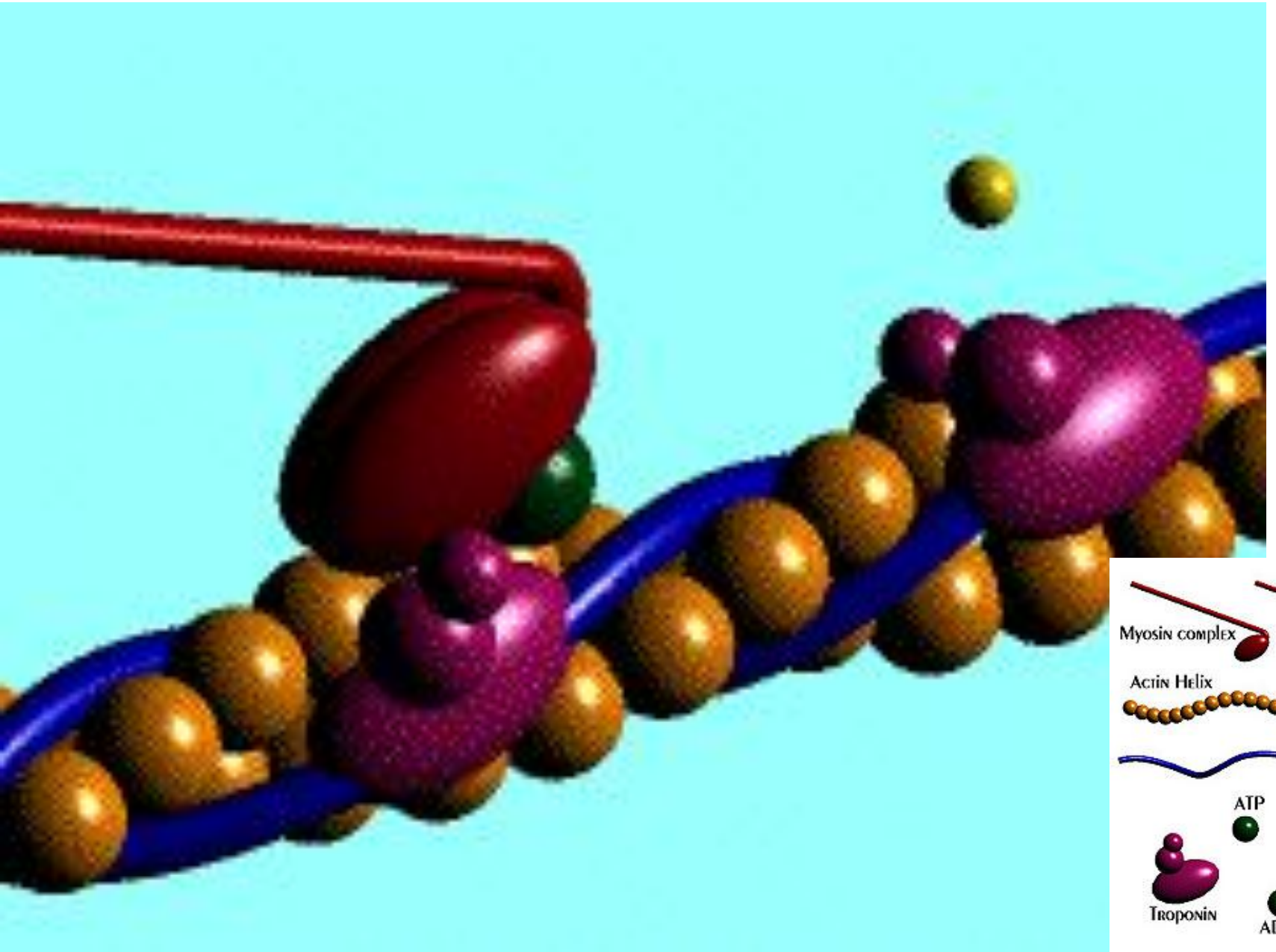
Механизм сокращения

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

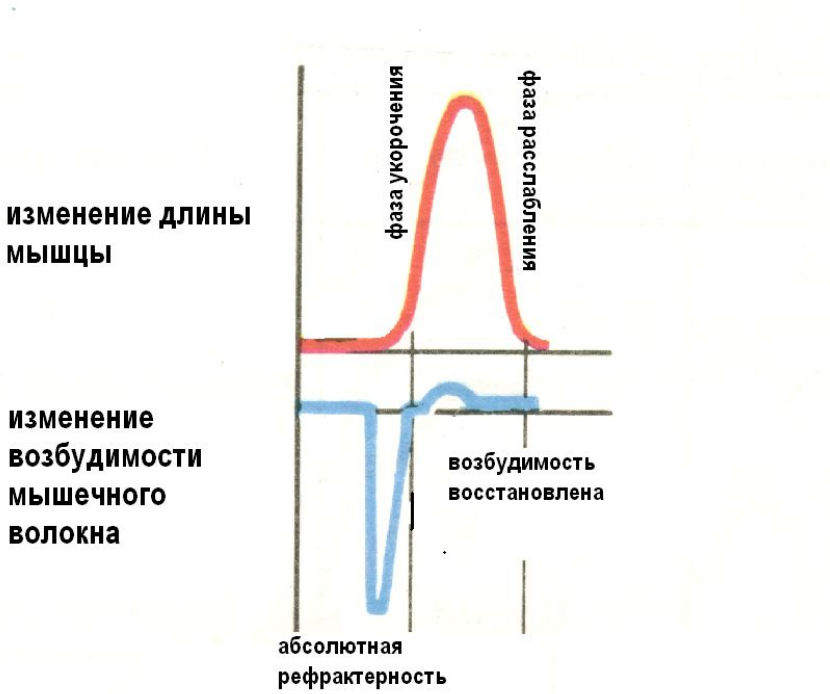
1. Изометрическое
2. Изотоническое
3. Ауксотоническое

Режимы

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

Сопоставление во времени сокращения мышцы и возбудимости

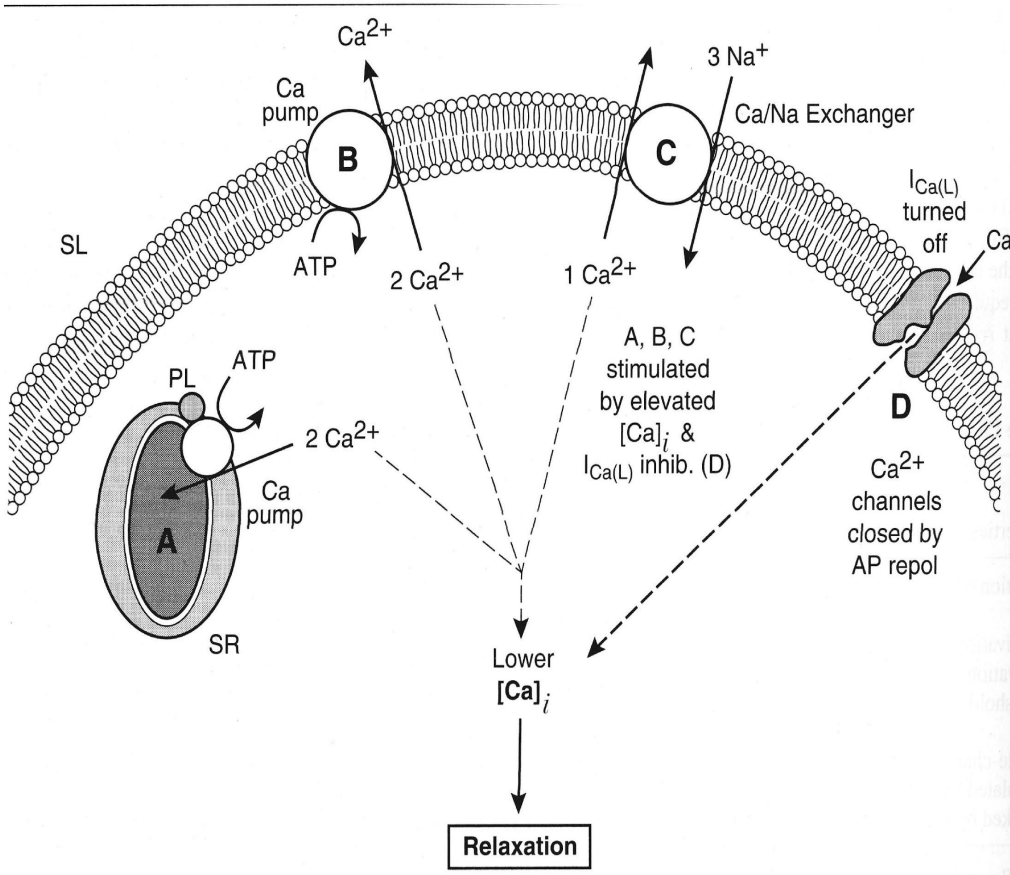
Возбудимость мышцы во время сокращения нормальна, следовательно она может ответить на раздражение



Расслабление мышцы

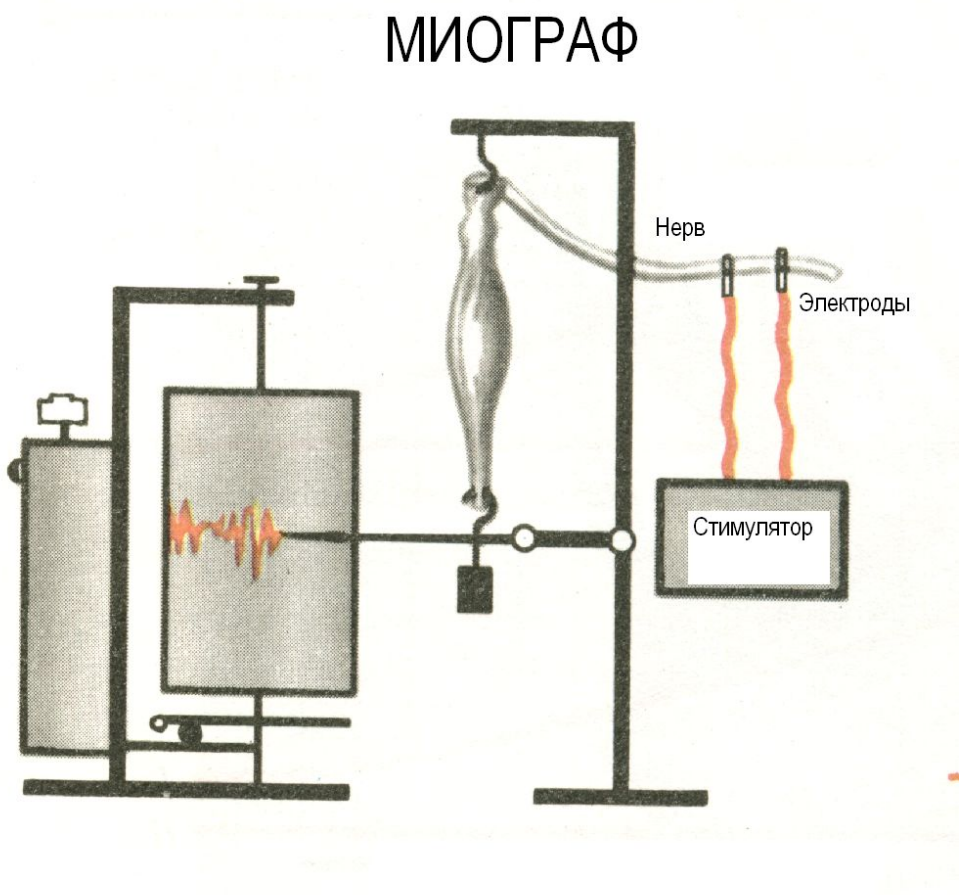
1. **Ca+ удаляется от тропонина и уходит в ЭПР**
2. **Тропомиозин блокирует актин**
3. **Поперечные мостики актин-миозин разрываются**

Пути удаления Ca++
1. Ca++ насос на ЭПР
2. Ca++ насос на НЦМ*
3. Na+-Ca++ обменник
4. Закрытие Ca++ каналов*

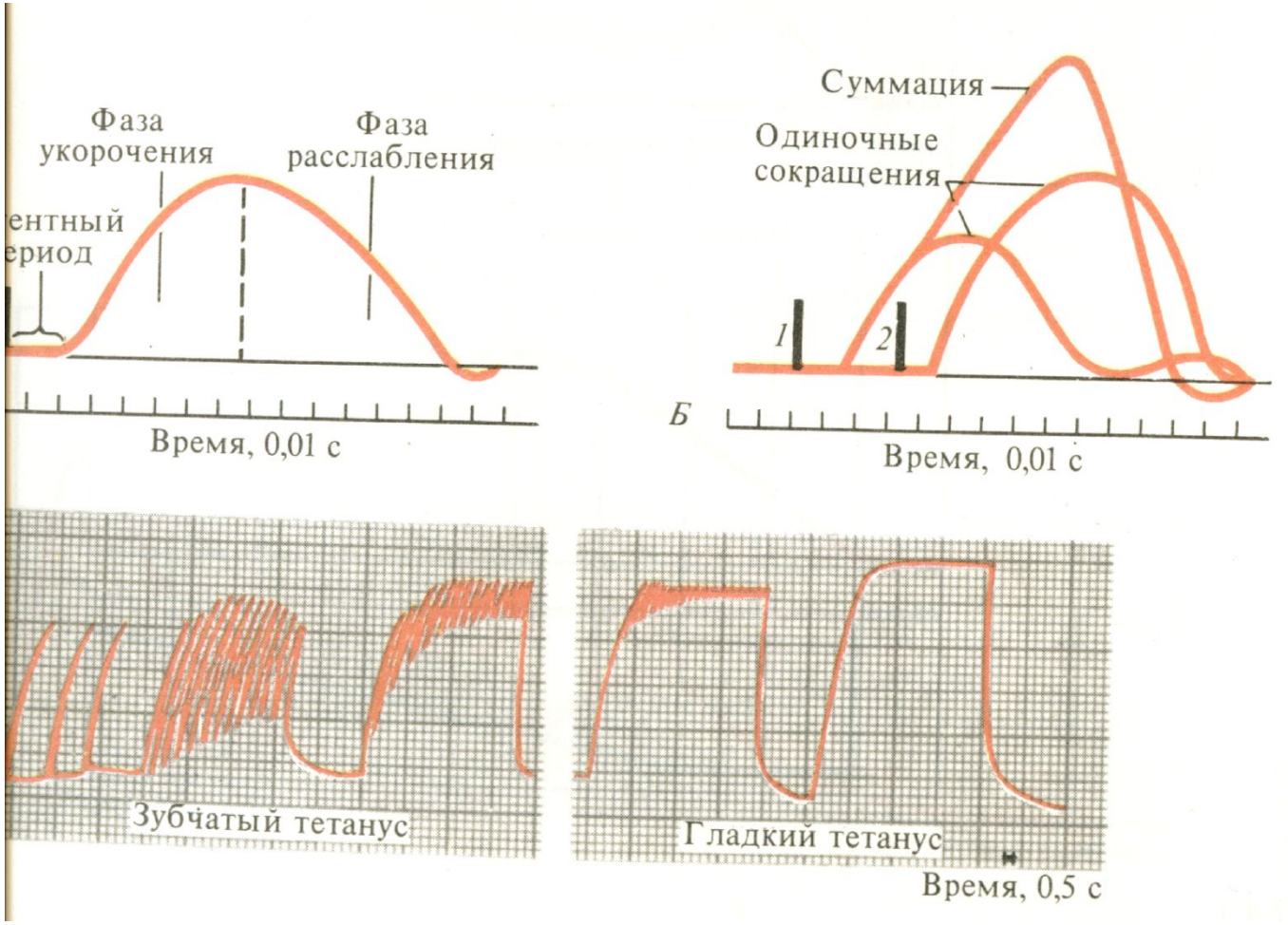


* -Не характерно для скелетной мышцы

Запись мышечных сокращений



Суммация сокращений



Режимы мышечного сокращения

Одиночное сокращение

Тетанус – слитное сокращение без расслабления

А)Зубчатый – импульс в фазу расслабления

Б)Гладкий – импульс в фазу укорочения

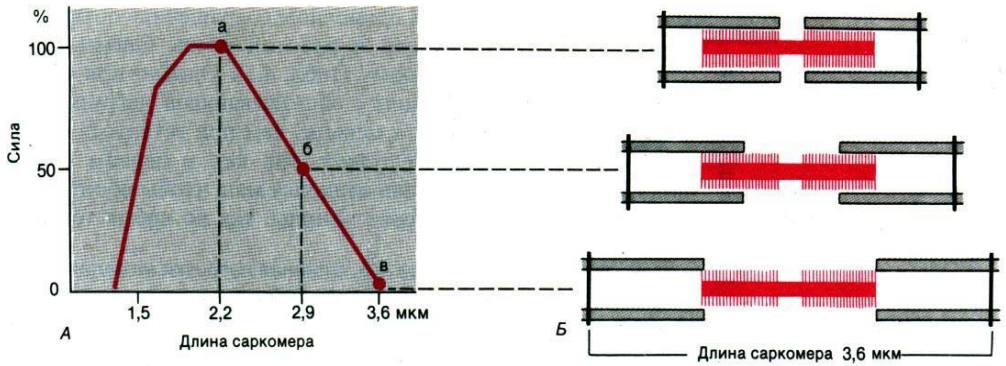
Оптимум – частота для включения всех двигательных единиц

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;

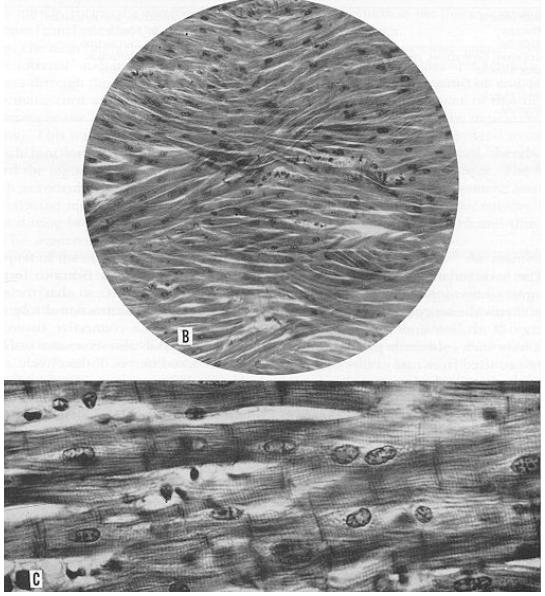


5. состояния ЦНС.

Законы мышечного сокращения

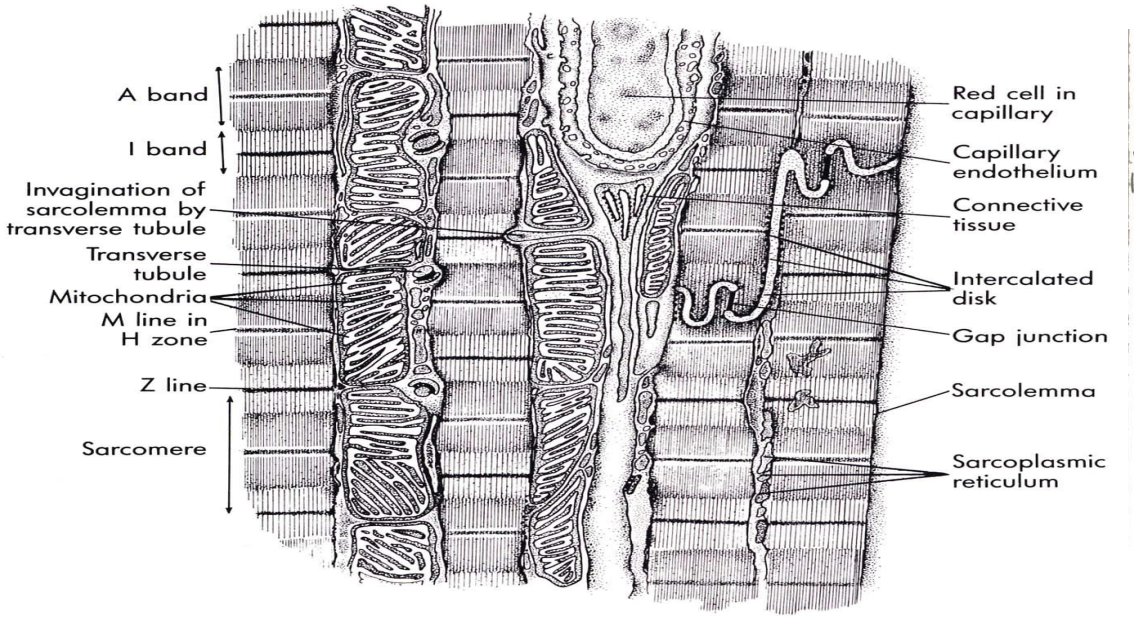
1. **Мышечное волокно подчиняется закону «все или ничего»**
2. **Целая мышца подчиняется закону силы (число включенных мышечных волокон, режим их работы)**

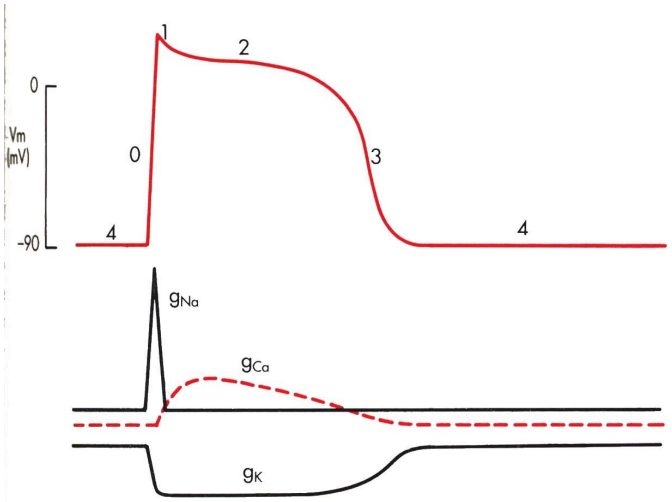
Гладкие мышцы



- **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)**
- **Длительнсть 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



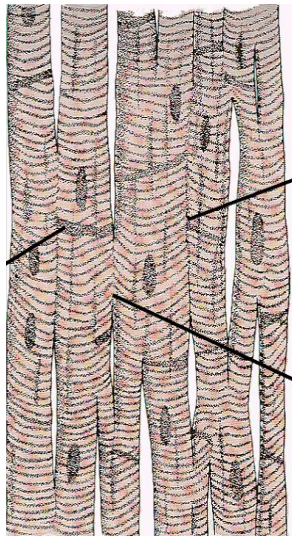


-Одноядерные клетки

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

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

-Са++ поступает также из внеклеточной среды (Са++ плато на ПД)

-Некоторые клетки способны к автоматии

-Скорость сокращения ниже