

Физиологическая роль мышц

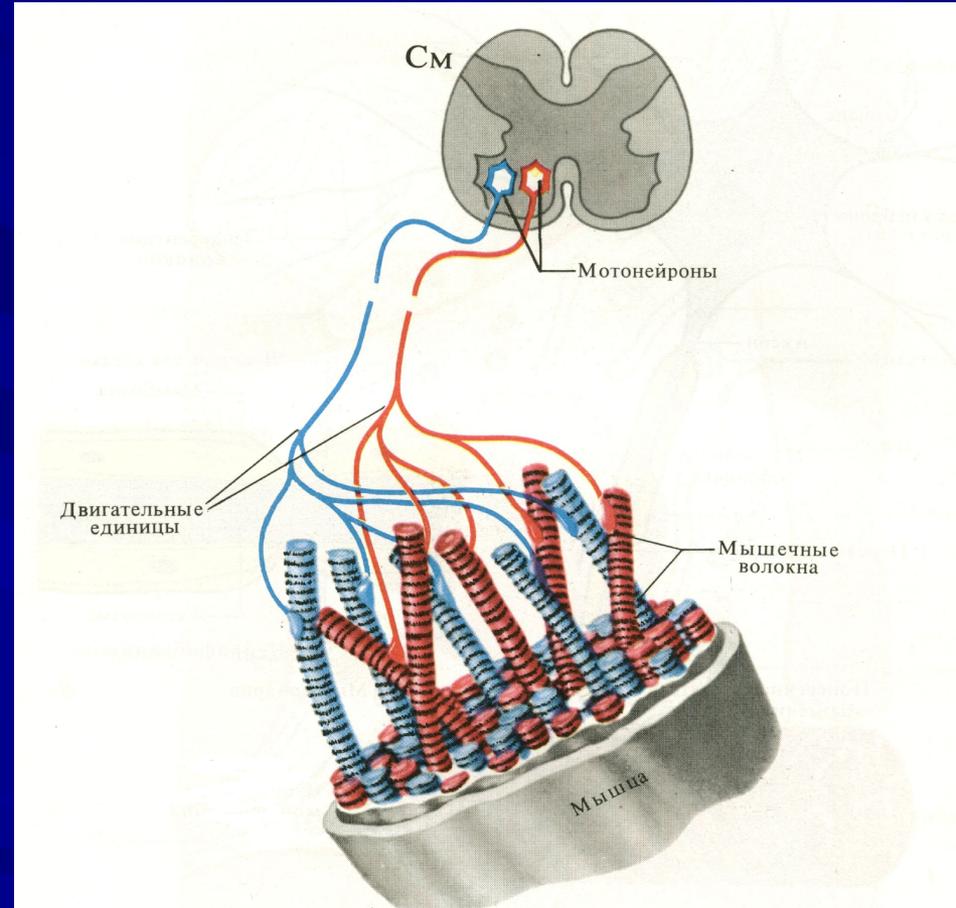
1. Поддержание позы и равновесия тела
2. Произвольные движения
3. Воспроизведение речи
4. Работа сердца
5. Регуляция тонуса сосудов
6. Моторика желудка и кишечника
7. Терморегуляция (сократительный термогенез)

У детей

- В постнатальном периоде до реализации позы, функция мышечной системы в значительной степени связана с терморегуляцией. Для детей этого периода характерна постоянная активность скелетной мускулатуры. Постоянная активность мышц является стимулом бурного роста мышечной массы и скелета, правильного формирования суставов.
- В период реализации позы терморегуляторная функция скелетной мускулатуры снижается, и тоническая форма деятельности сменяется фазно-тонической.

Двигательная единица

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



Два варианта классификации скелетных мышц

1. Анатомическая

По плотности иннервации
(количество двигательных
единиц в мышце)

2. Функциональная

По работоспособности двигательных
единиц

Классификация по количеству двигательных единиц в мышце

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).

Мало двигательных единиц на одну мышцу

Плотность иннервации низкая

1 мотонейрон иннервирует 700 – 1000 волокон)

В мышцах поддерживающих позу, осуществляющих "грубые" движения (мышцы туловища).

Классификация по работоспособности

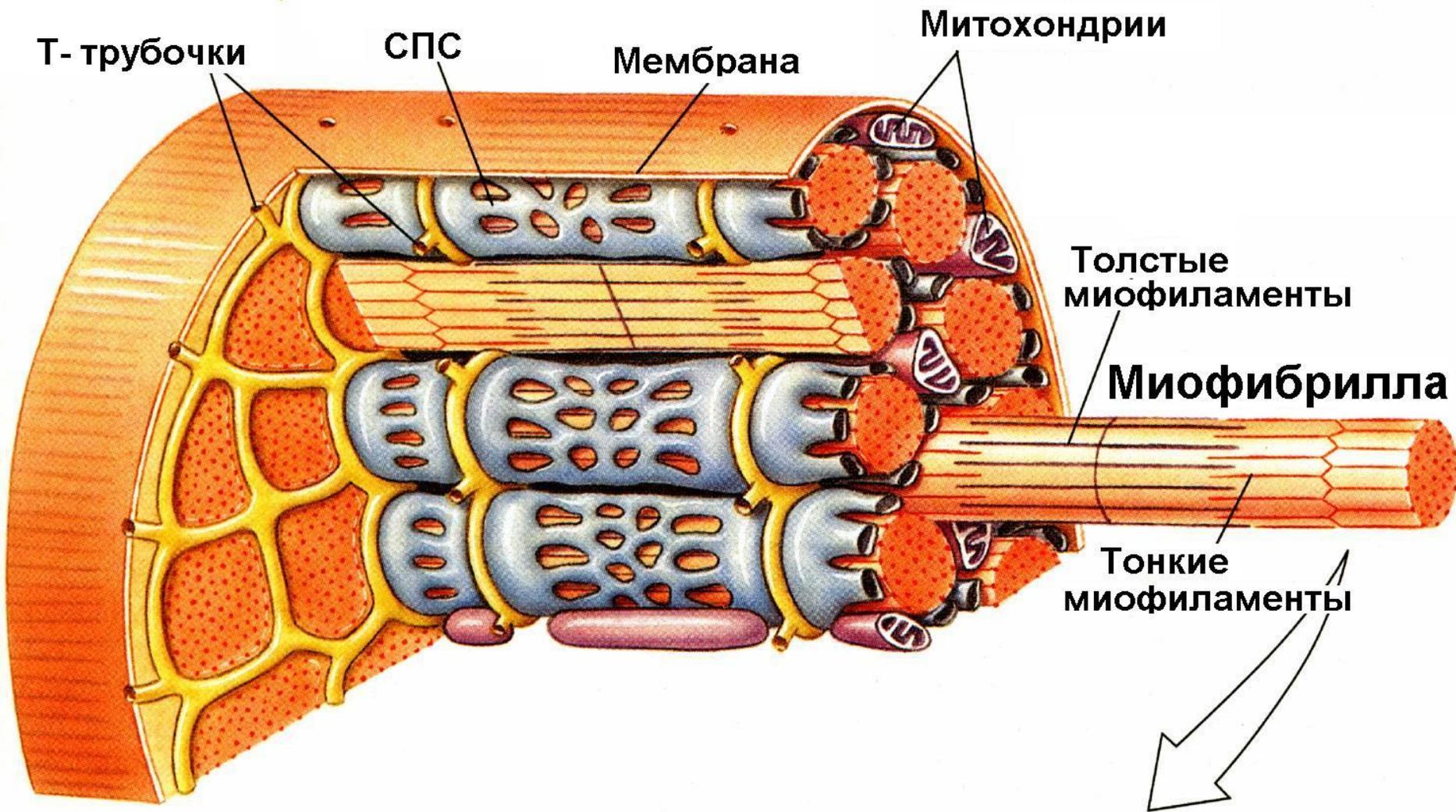
- 1. Медленные
малоутомляемые**
- 2. Быстрые
легкоутомляемые**

	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 O₂	Малочувствительны к недостатку	Высокочувствительны к недостатку

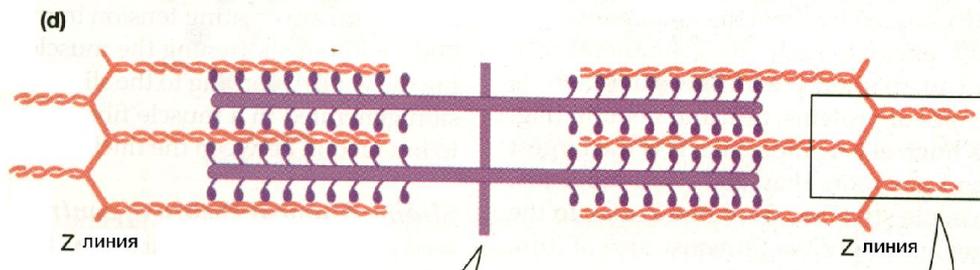
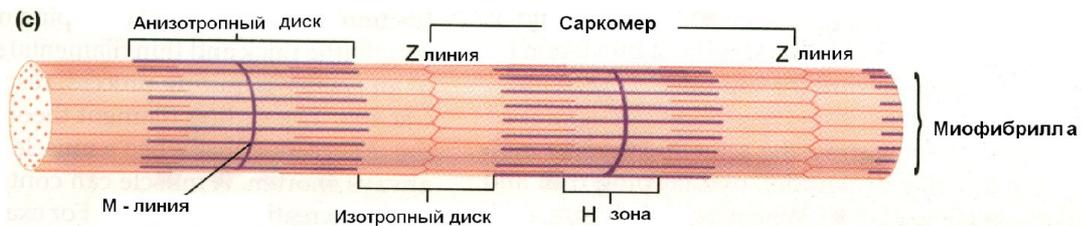
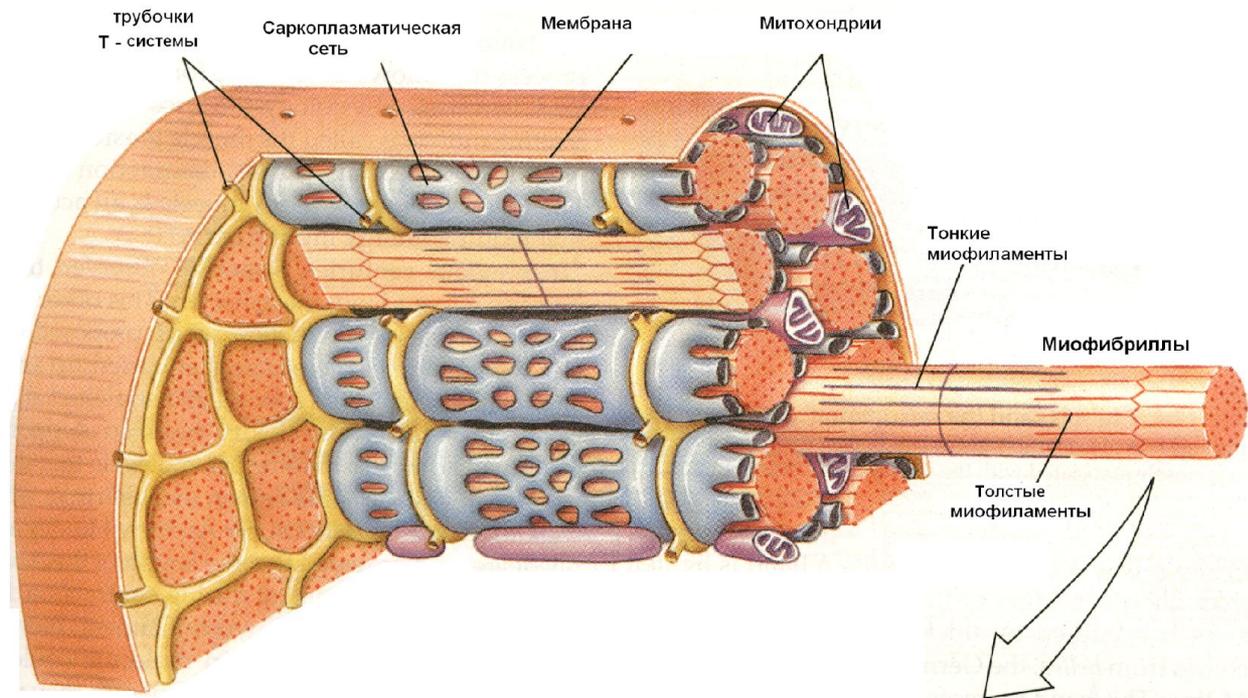
Свойства мышцы

1. Возбудимость
2. Проводимость
3. Сократимость
4. Эластичность – способность сокращаться при растягивании.
5. Тонус

Мышечное волокно

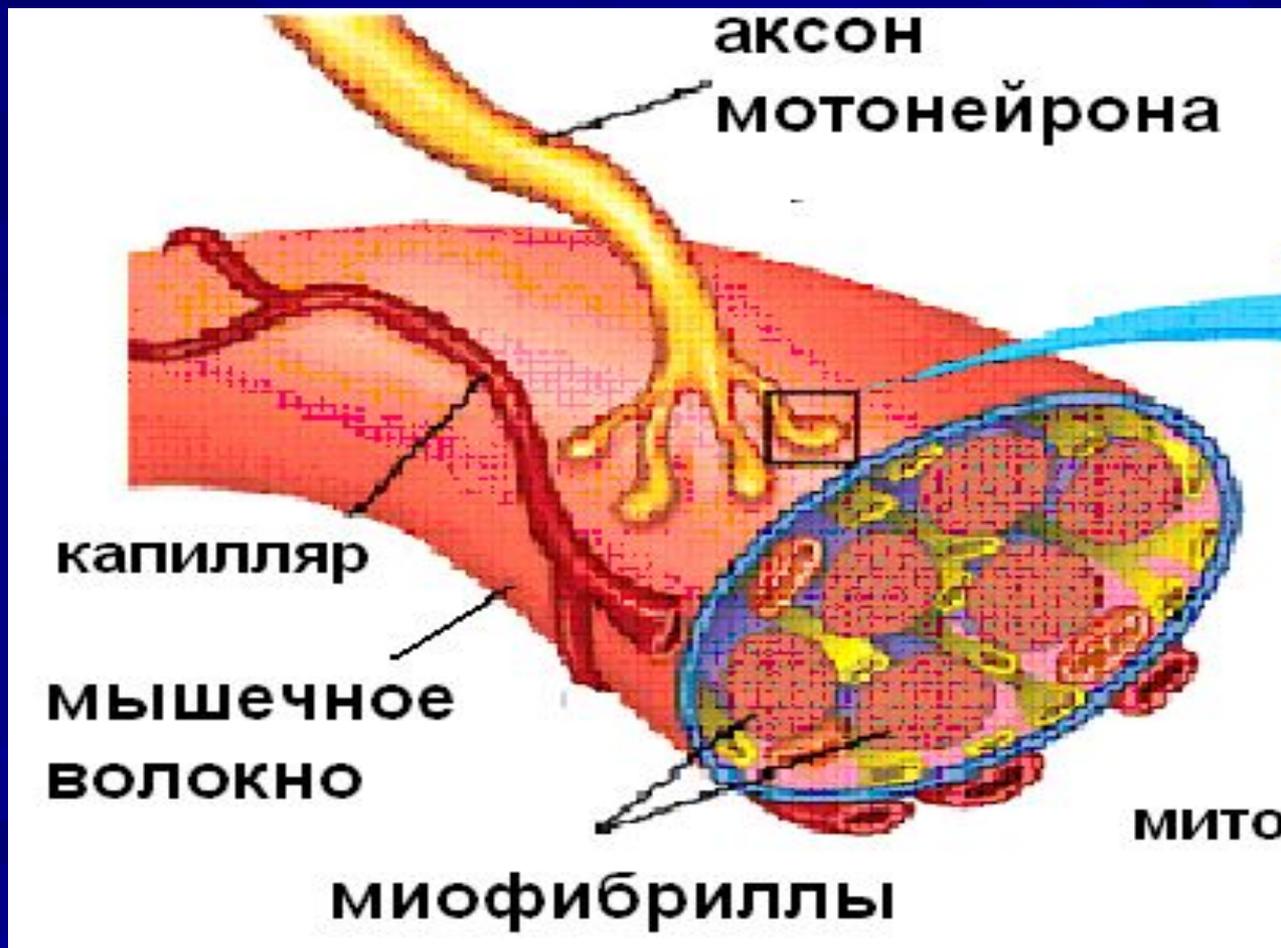


Саркомер



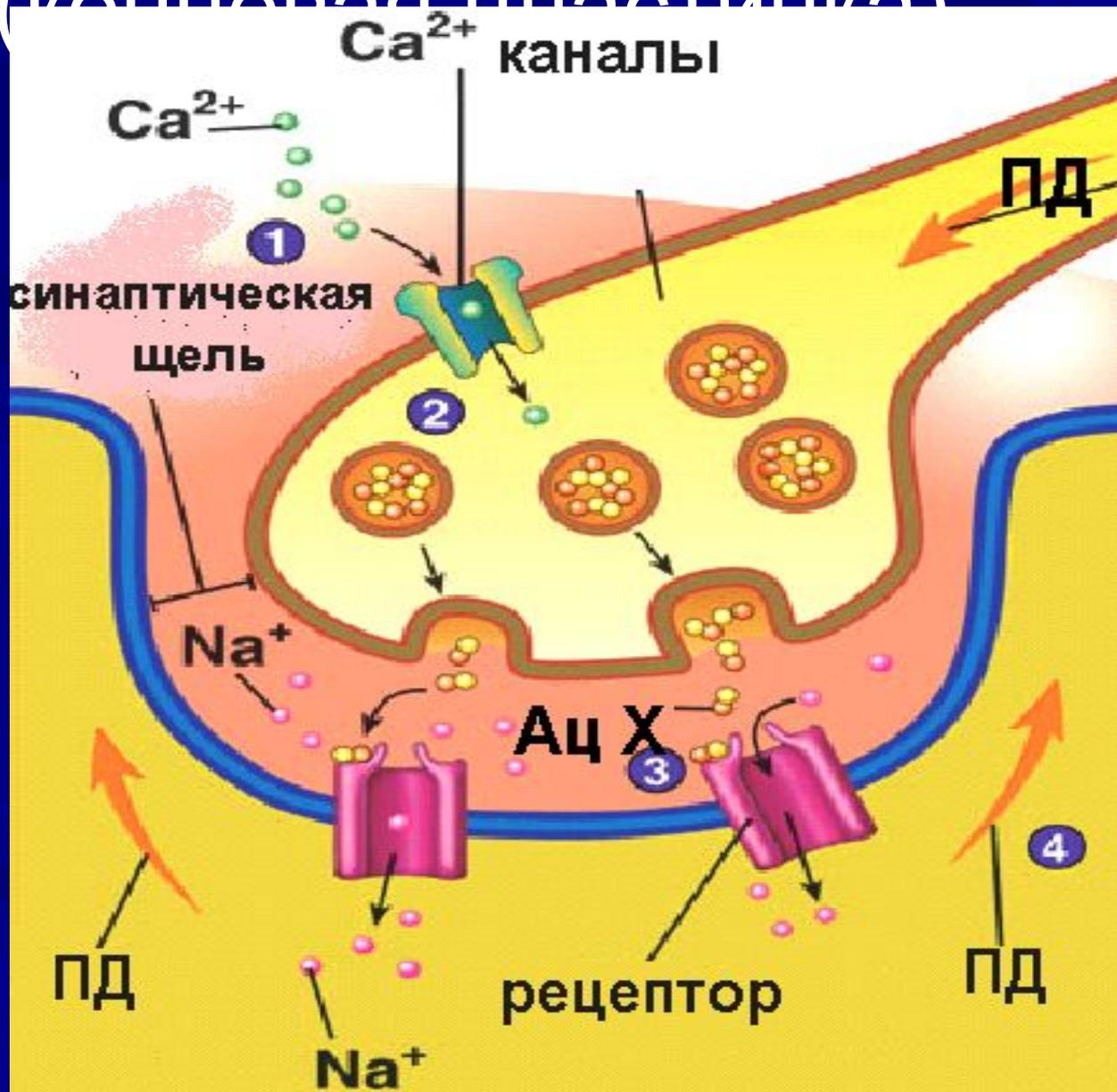
Возбуждение мышечных волокон

Одно мышечное волокно получает нервный импульс от одного синапса



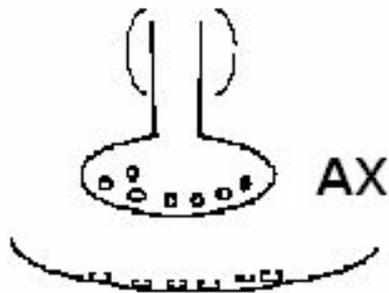
Нервно-мышечный синапс

(контрера пластинка)



Потенциал концевой пластинки

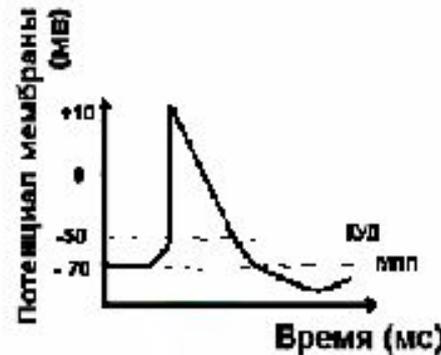
Аксон мотонейрона



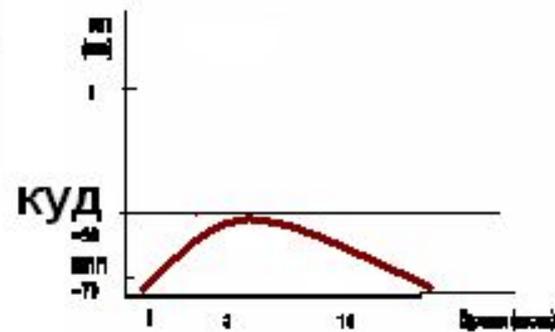
Н-холинорецепторы



активация Na
каналов



ПД мотонейрона



Потенциал концевой
пластинки (ПКП)

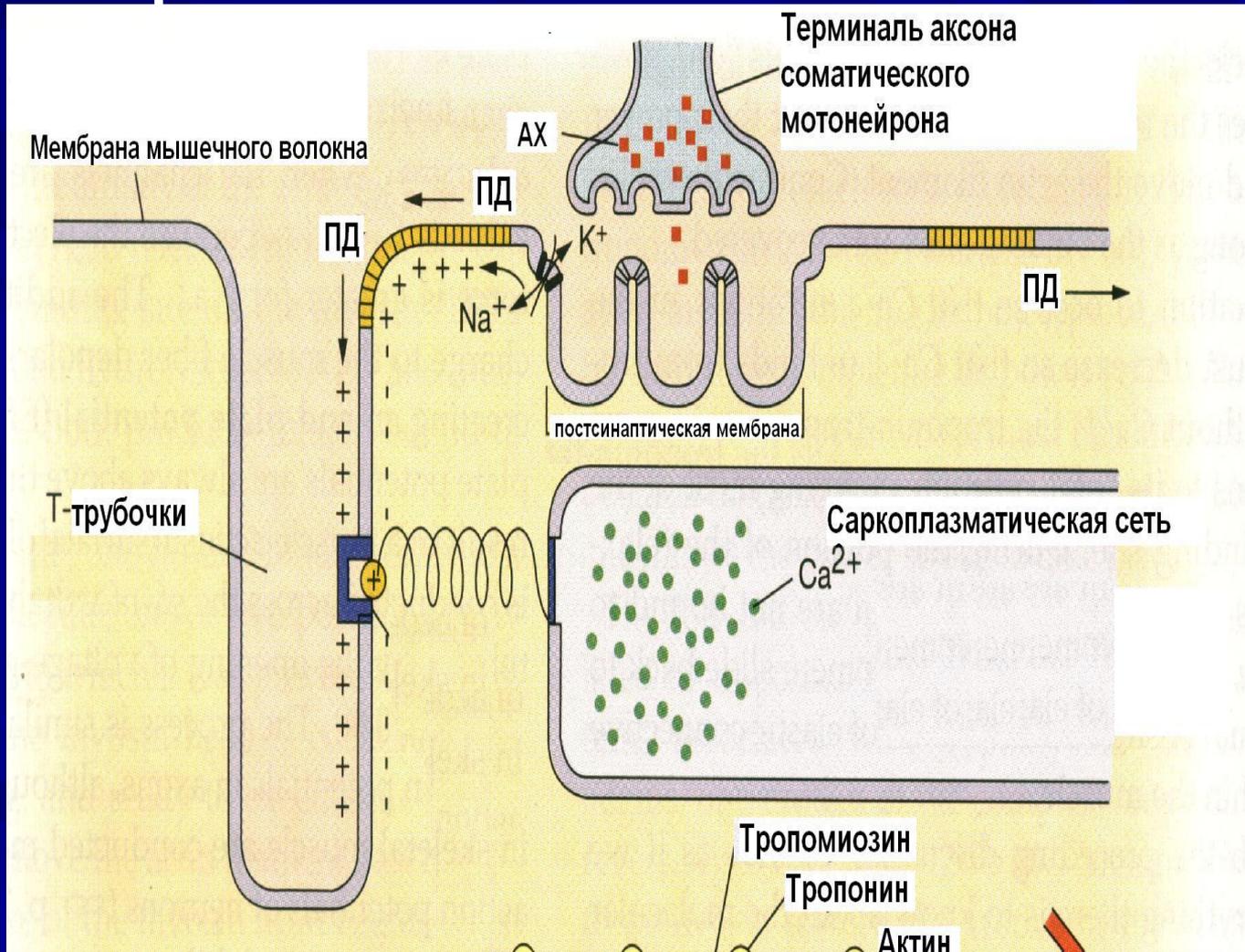
Особенности нервно-мышечного синапса

1. Большая поверхность пресинаптической мембраны
2. Синаптическая щель содержит много ГАГ, митохондрий
3. Большая складчатость постсинаптической мембраны
4. Нет суммации – ПКП сразу переходит в ПД

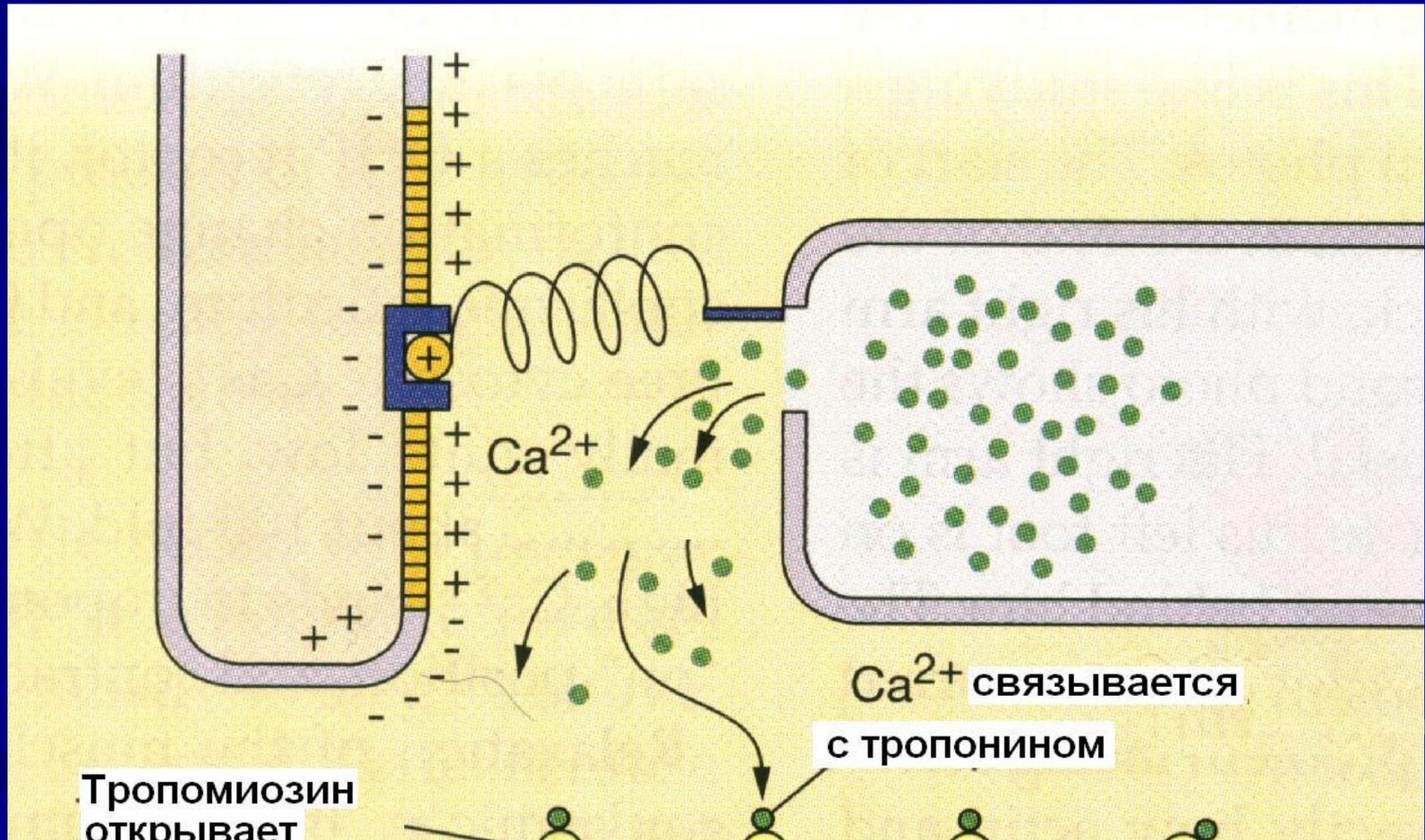
У детей

постсинаптическая мембрана не сформирована, мышечное волокно чувствительно к ацетилхолину на всем его протяжении, а не только в непосредственной близости нервного волокна. Постепенно участок мышечной клетки, реагирующий на ацетилхолин, становится меньше и ограничивается небольшим участком, соответствующим зоне синапса. У человека расширение нервно-мышечного синапса, усложнение его структуры (складчатость постсинаптической мембраны, количество медиатора, митохондрий) продолжается до 18 – 20 лет.

ПД распространяется по мембране мышечного волокна

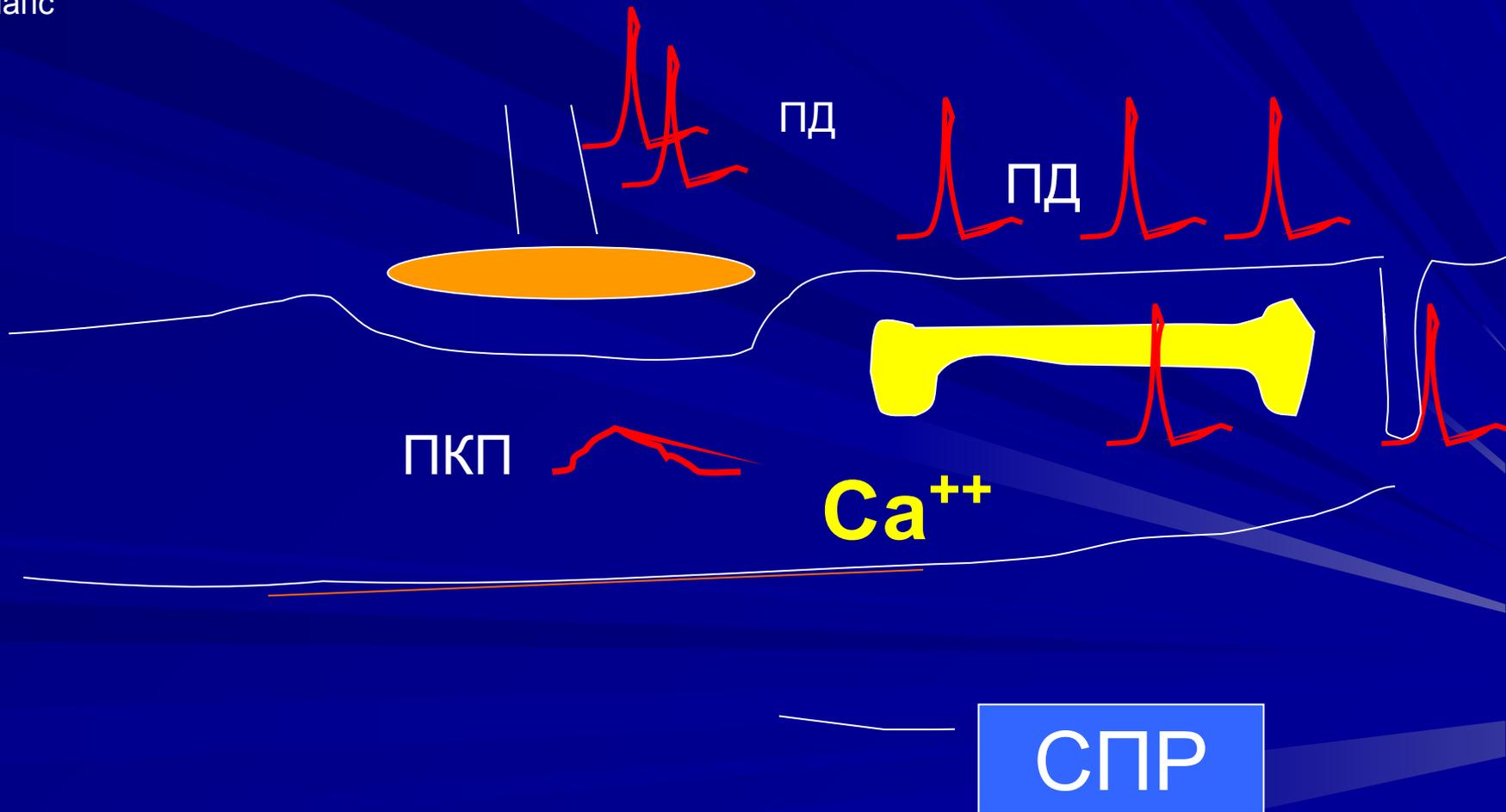


Результат возбуждения - увеличение концентрации внутриклеточного кальция



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

Синапс



У детей

- **Возбудимость** мышц плода и детей низка, т. к. мембранный потенциал покоя значительно менее отрицателен, чем у взрослых, примерно -20 - -40 мВ, Это объясняется небольшим количеством и малой активностью ионных насосов, недостаточным количеством ионных каналов на мембране мышечных волокон.
- Эти же причины лежат в основе низкой **проводимости** мышечных волокон новорожденных и детей. По мере взросления скорость проведения ПД увеличивается и за счет появления новых ионных каналов, и за счет увеличения толщины мышечного волокна.

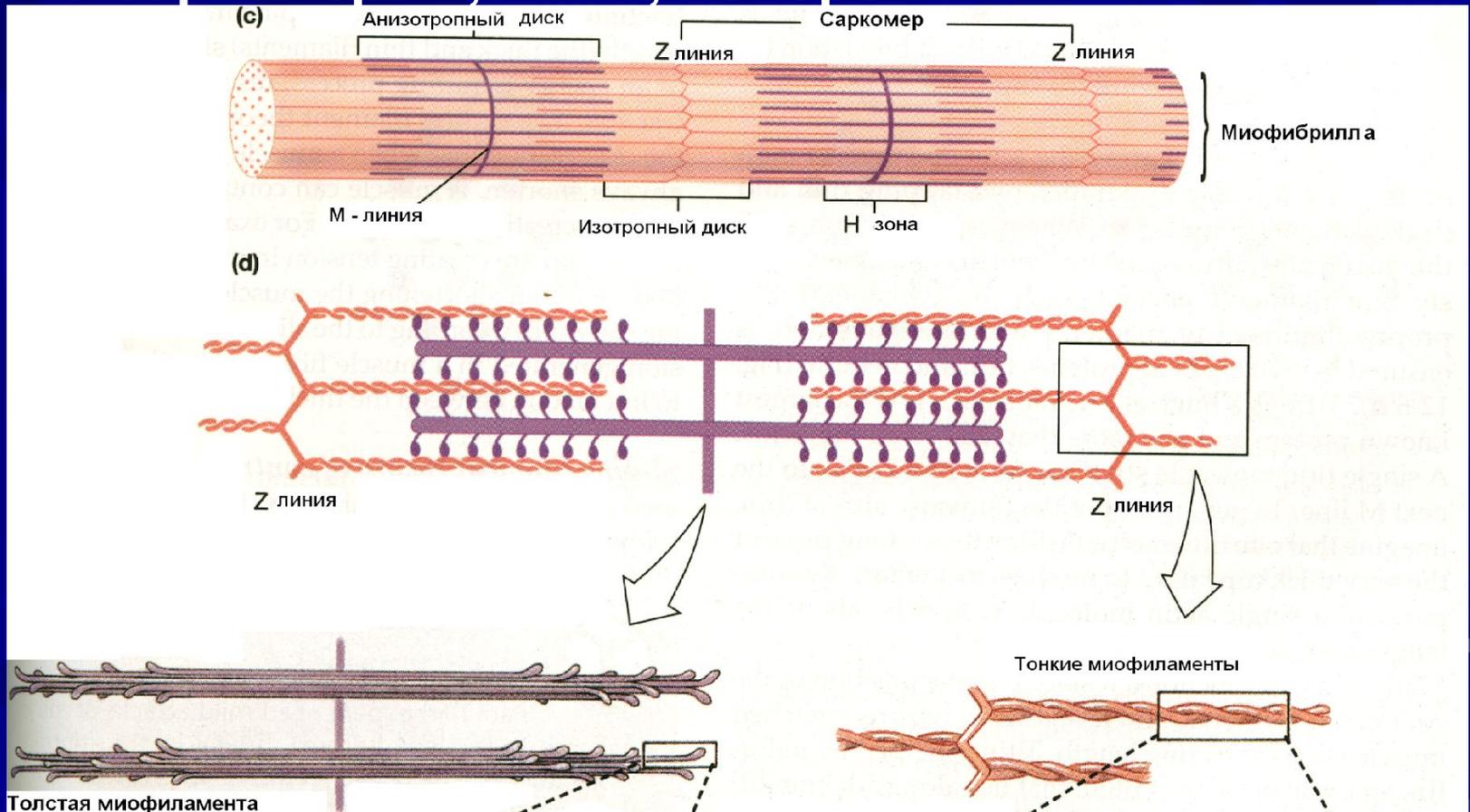
Последовательность событий при возбуждении

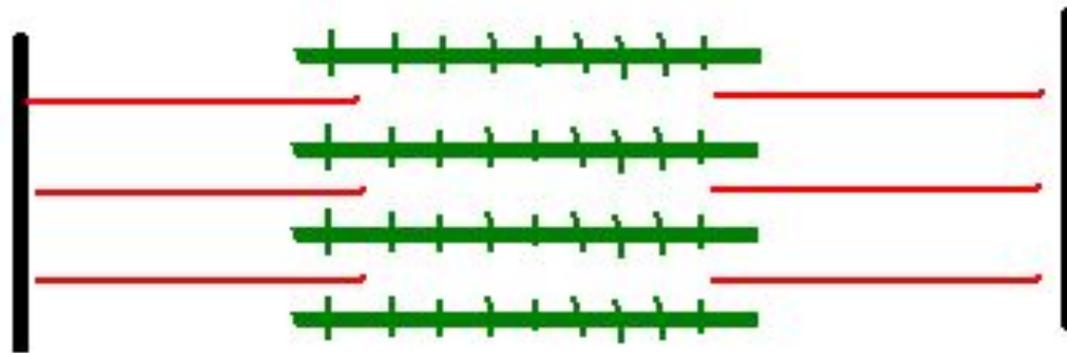
1. ПД пресинаптического окончания приводит к выделению медиатора.
2. Возникновение ПКП на постсинаптической мембране.
3. Возникновение ПД - возбуждение мембраны.
4. Проведение возбуждения по Т-системе
5. высвобождение Ca^{++} из саркоплазматического ретикулума (СПР). Концентрация ионов увеличивается с 10^{-8} до 10^{-5} моль.
6. Взаимодействие Ca^{++} с тропонином

Сокращение

Сократительные и
регуляторные белки
саркомера

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

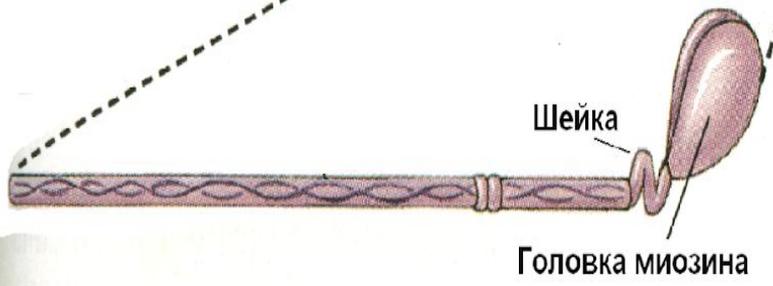
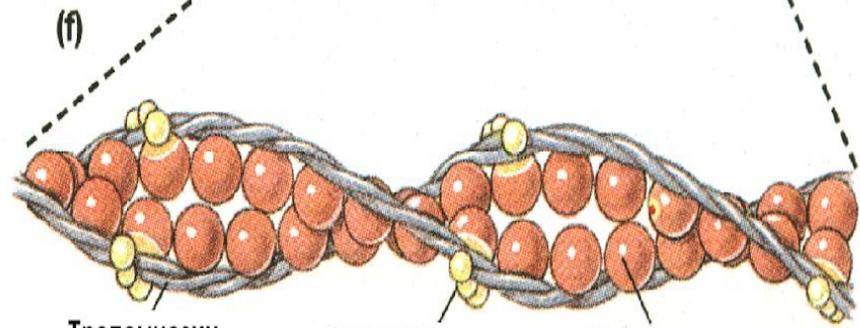
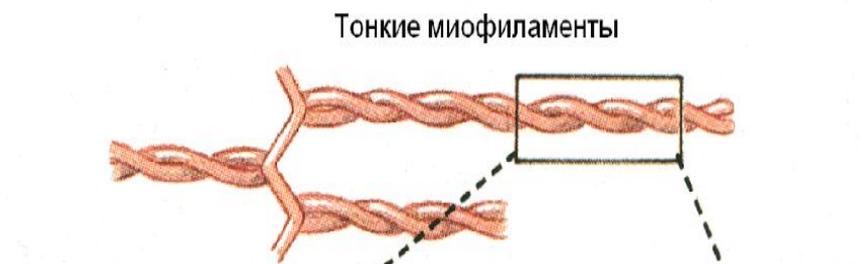
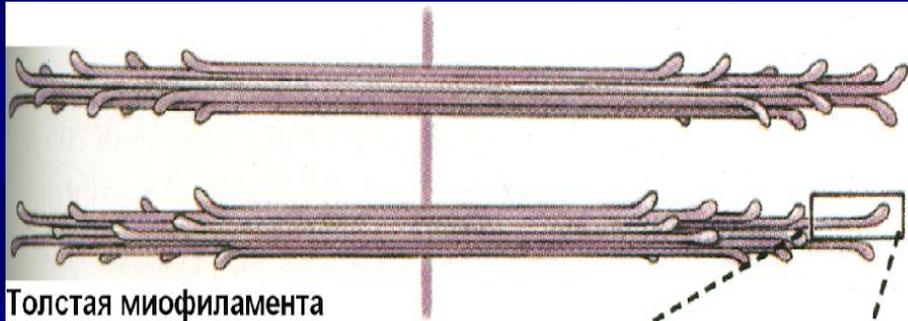




Z - линия

Z - линия

Саркомер



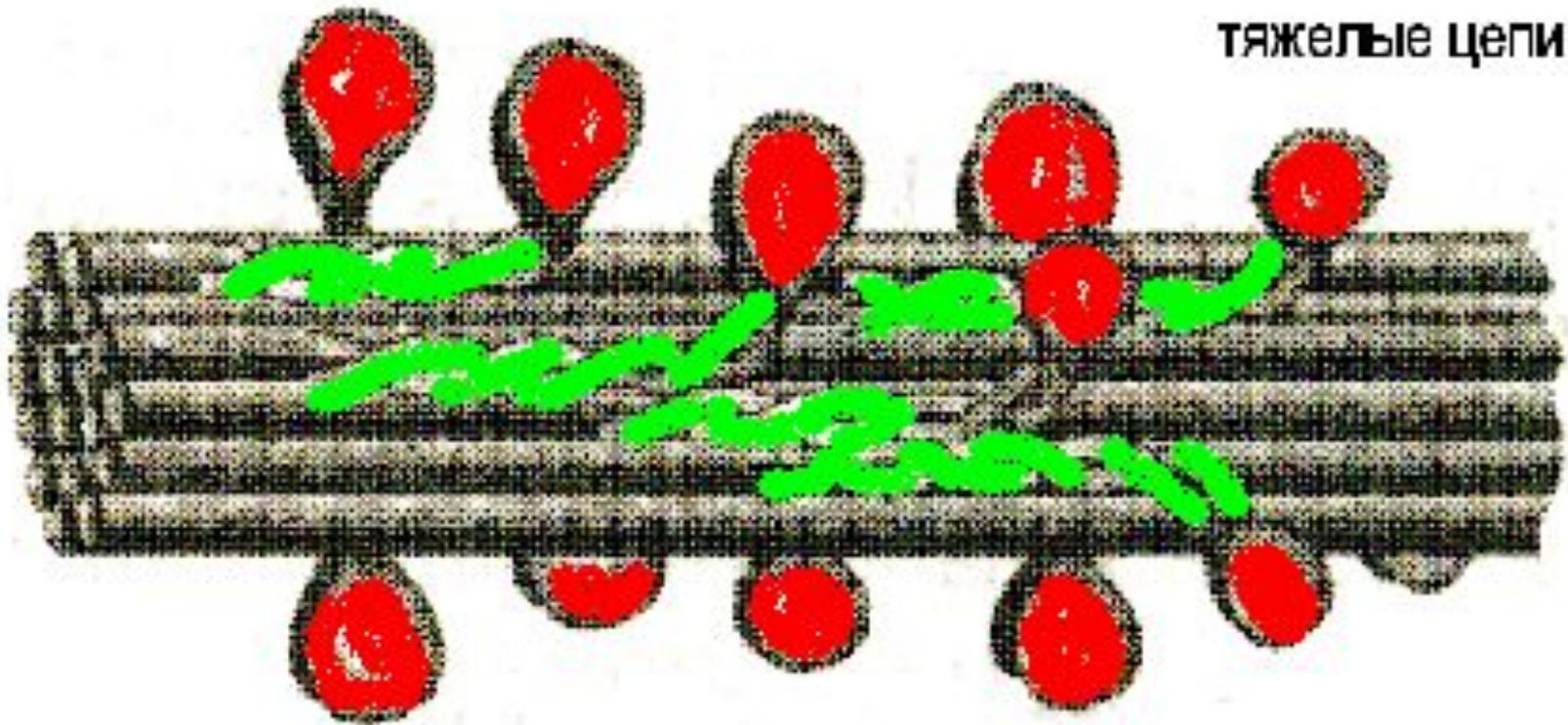
Молекула миозина

Актиновая нить

Толстые миофиламенты

головка шейка

тяжелые цепи



Свойства миозина

Толстые миофиламенты – образованы молекулами миозина, Тяжелые цепи миозина - головка миозина и шейка.

Головка обладает АТФ-азной активностью

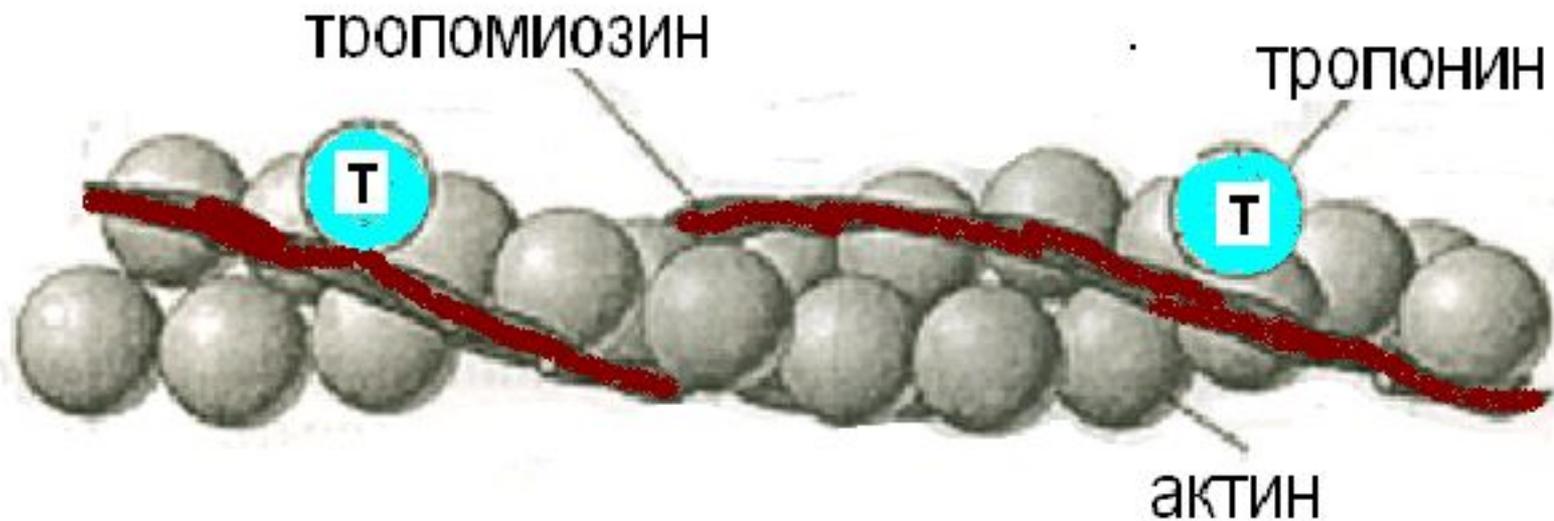
Шейка обладает эластическими свойствами.

В толстой филаменте 150 молекул миозина.

Под электронным микроскопом на толстой миофиламенте видны выступы, расположенные под углом 120 градусов. Они получили название поперечных мостиков.

Эти мостики образованы головкой и шейкой молекул миозина, их длина 20 нм.

Тонкие миофиламенты



тонкие миофиламенты

Свойства актина

Тонкие миофиламенты построены из глобулярных молекул белка актина. Актиновые филаменты представляют собой закрученную двойную спираль. Таких нитей в саркомере 2000.

Они одним концом прикреплены к Z-пластинке, а второй конец достигает середины саркомера.

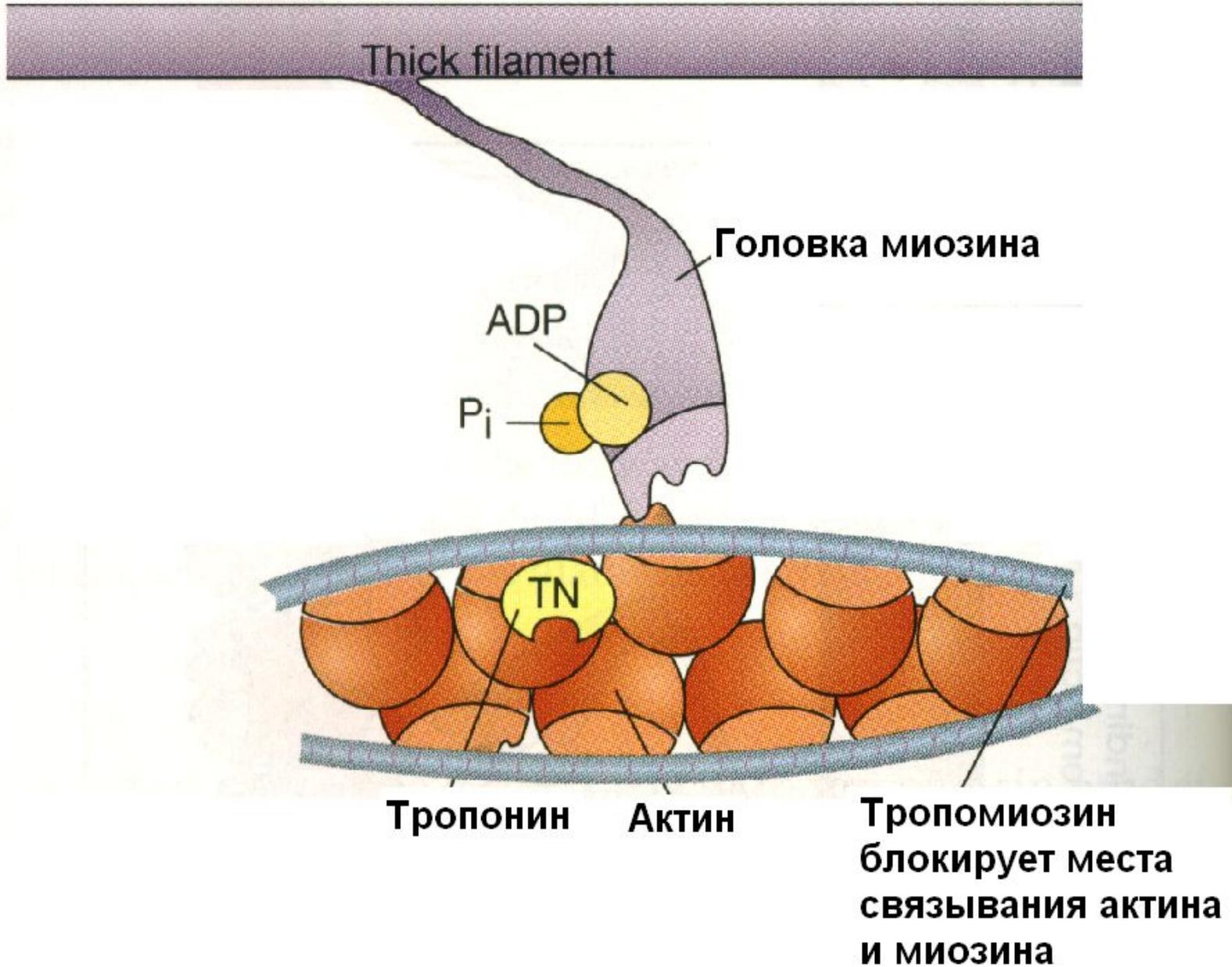
Регуляторные белки

В продольных бороздках актиновой спирали располагаются нитевидные молекулы белка тропомиозина.

Тропомиозин закрывает активные центры на **актиновых нитях**

К молекуле тропомиозина равномерно прикреплены молекулы **тропонины**. Этот белок может связывать катионы **Ca⁺⁺**

Расслабление

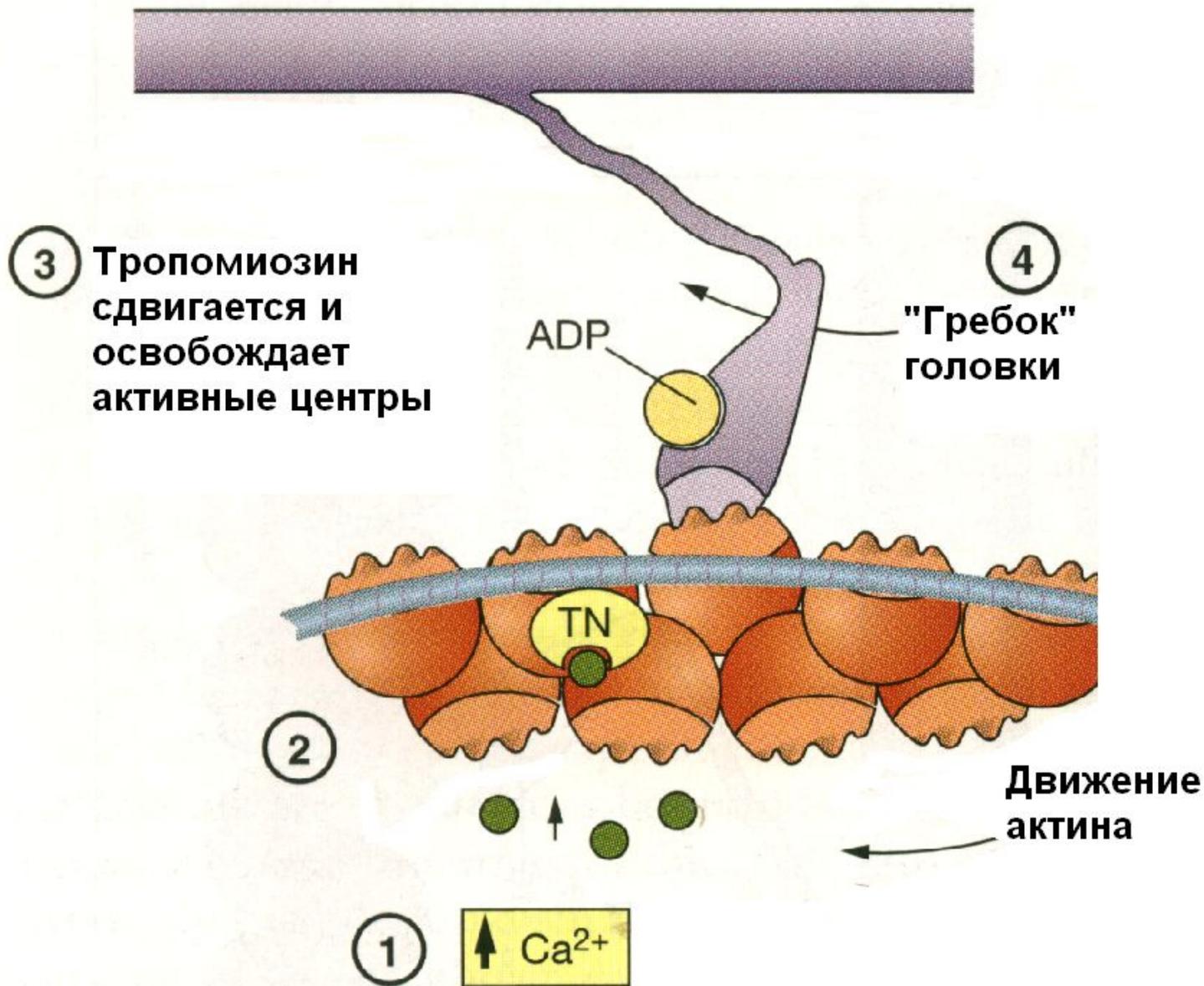


Контакт актина с миозином
возможен, если тропомиозин
сдвинется и откроет активные
центры на тонких – актиновых
- миофиламентах

Ключевой момент – переход от возбуждения к сокращению

- **Связывание ионов кальция молекулами тропонина**
- **Изменение конформации тропомиозина**
- **Сдвиг тропомиозина**
- **Освобождение активных центров актиновых миофиламентов**

Сокращение



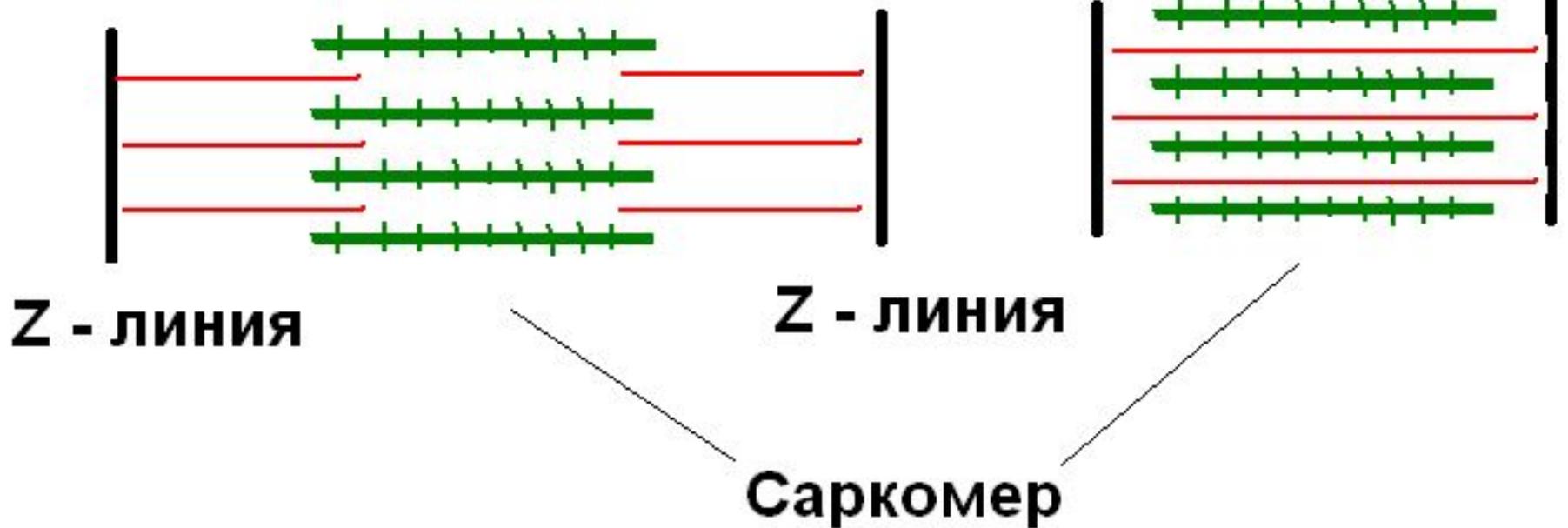
«гребок»

- В момент контакта головка миозина совершает «гребковое» движение и передвигает тонкую миофиламенту вдоль толстой по направлению к центру саркомера

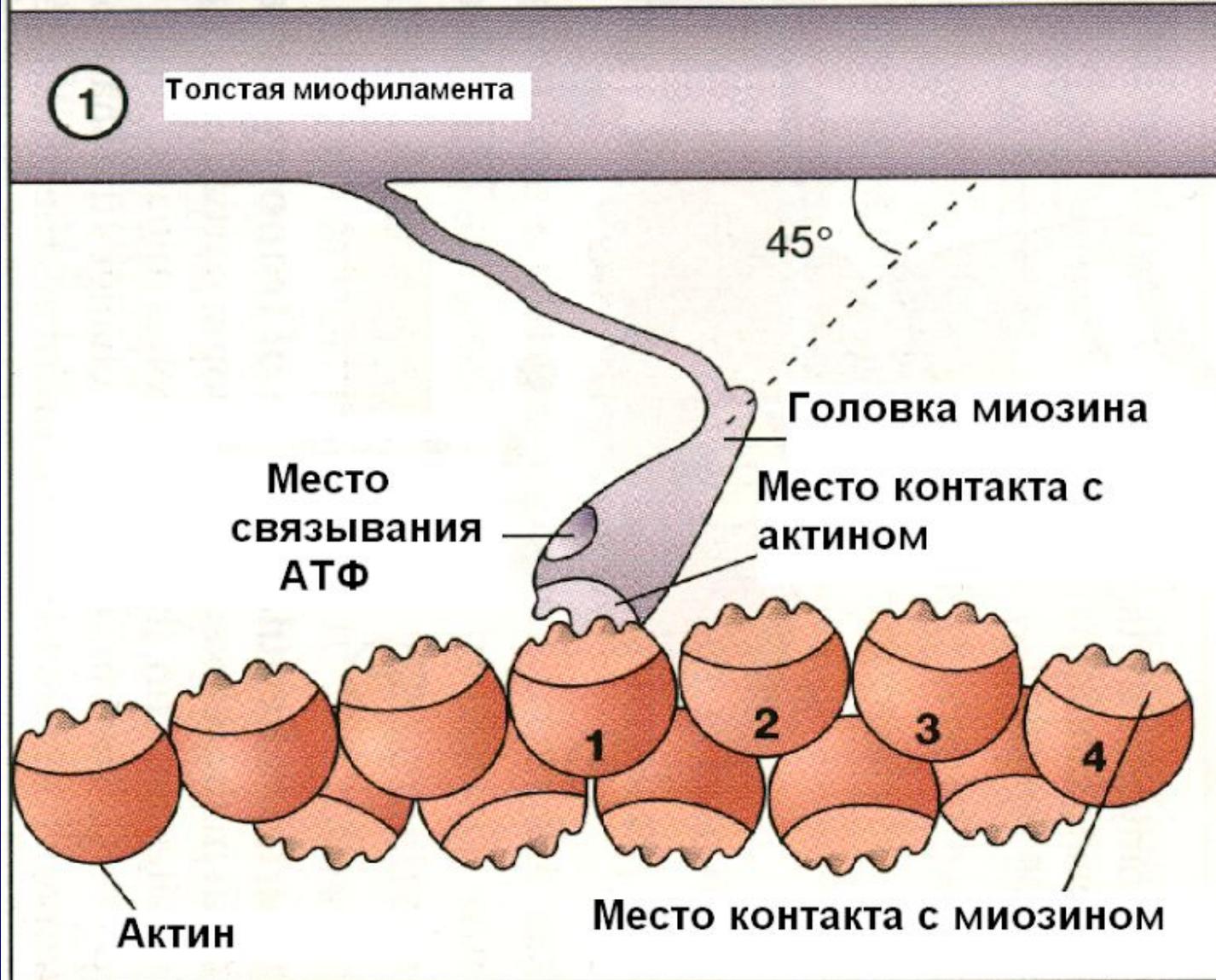
Укорочение саркомера

Расслабление

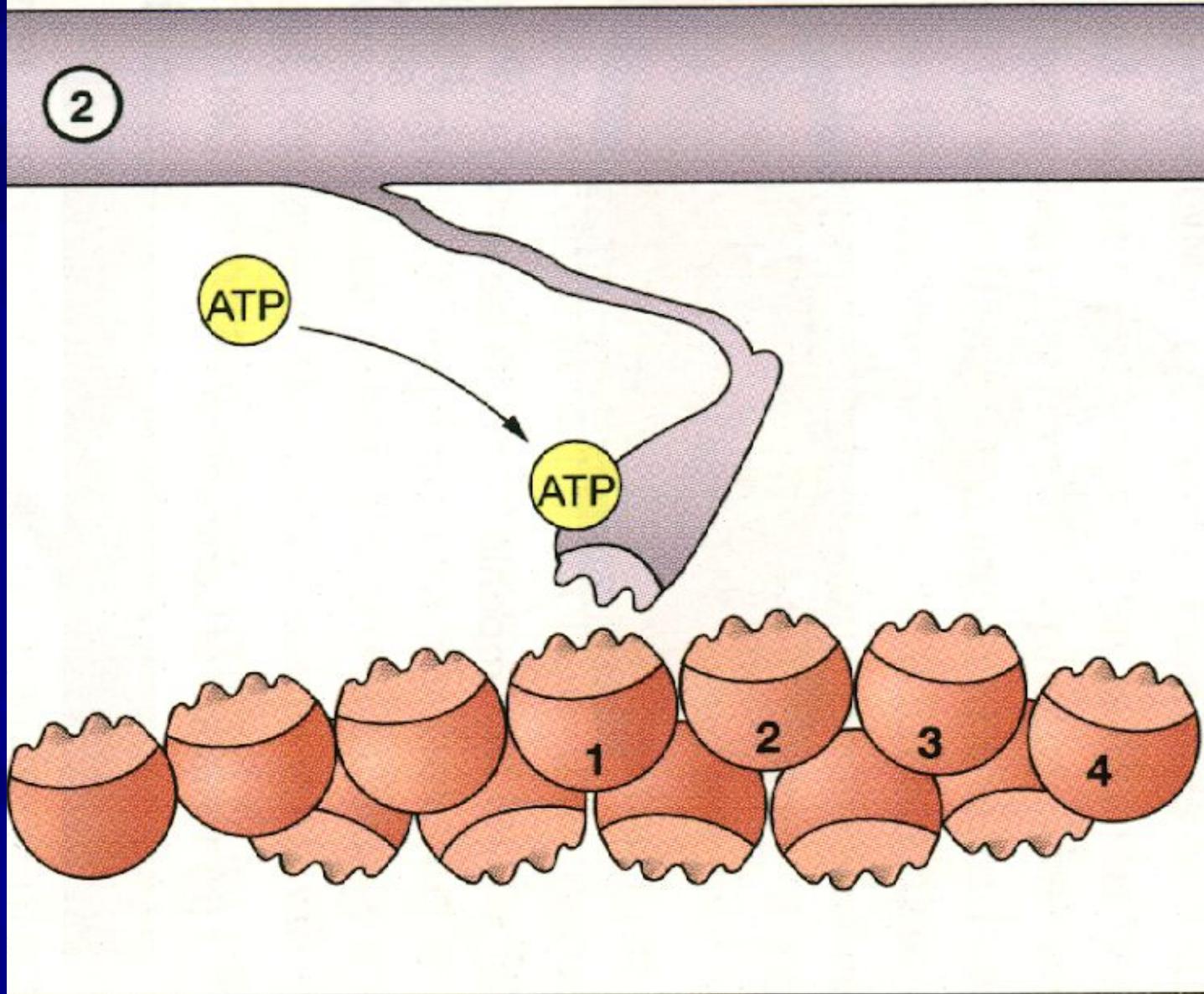
Сокращение



После завершения "гребка" положение головки под 45градусов относительно толстой нити

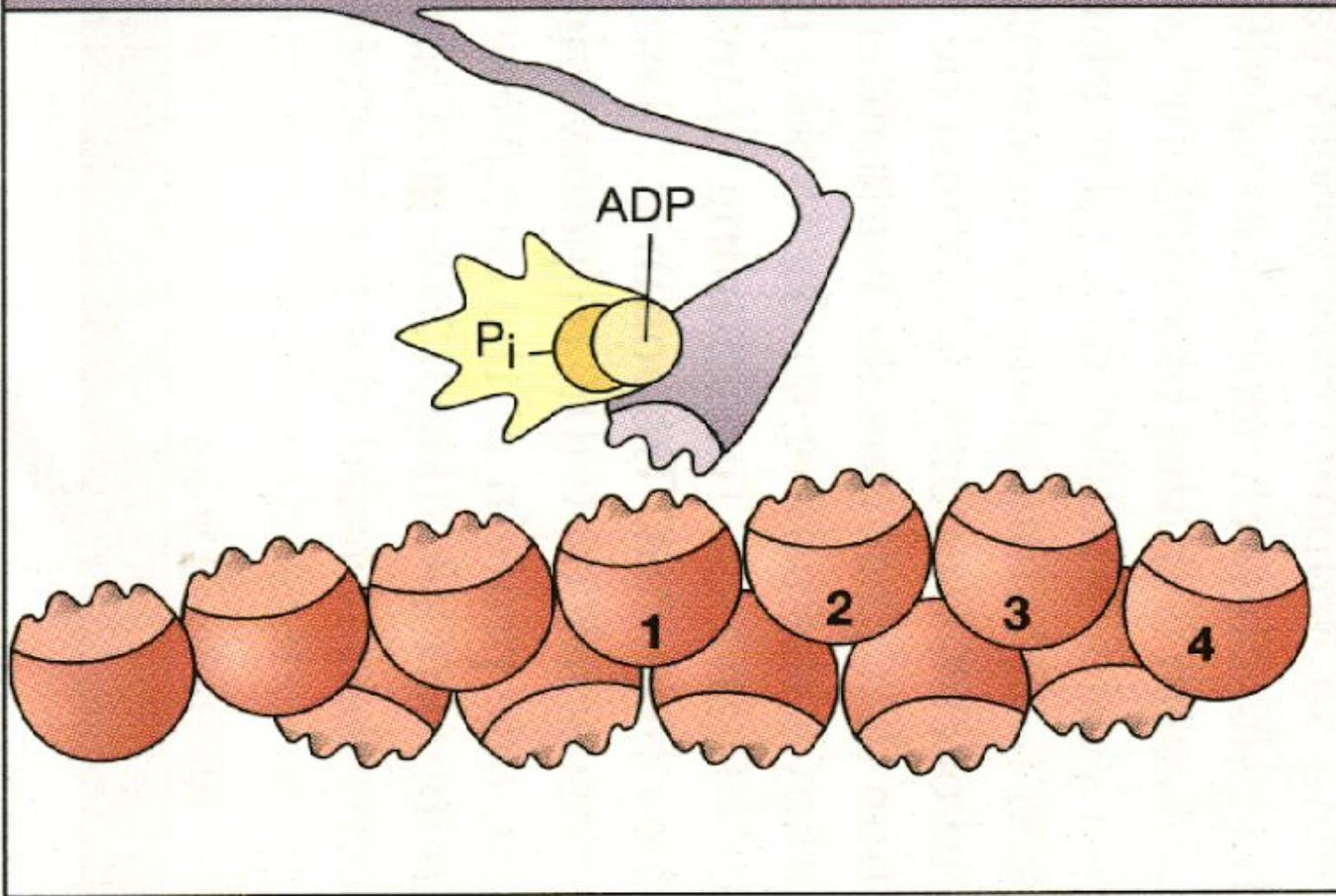


Миозин связывает АТФ и отделяется от актиновой нити

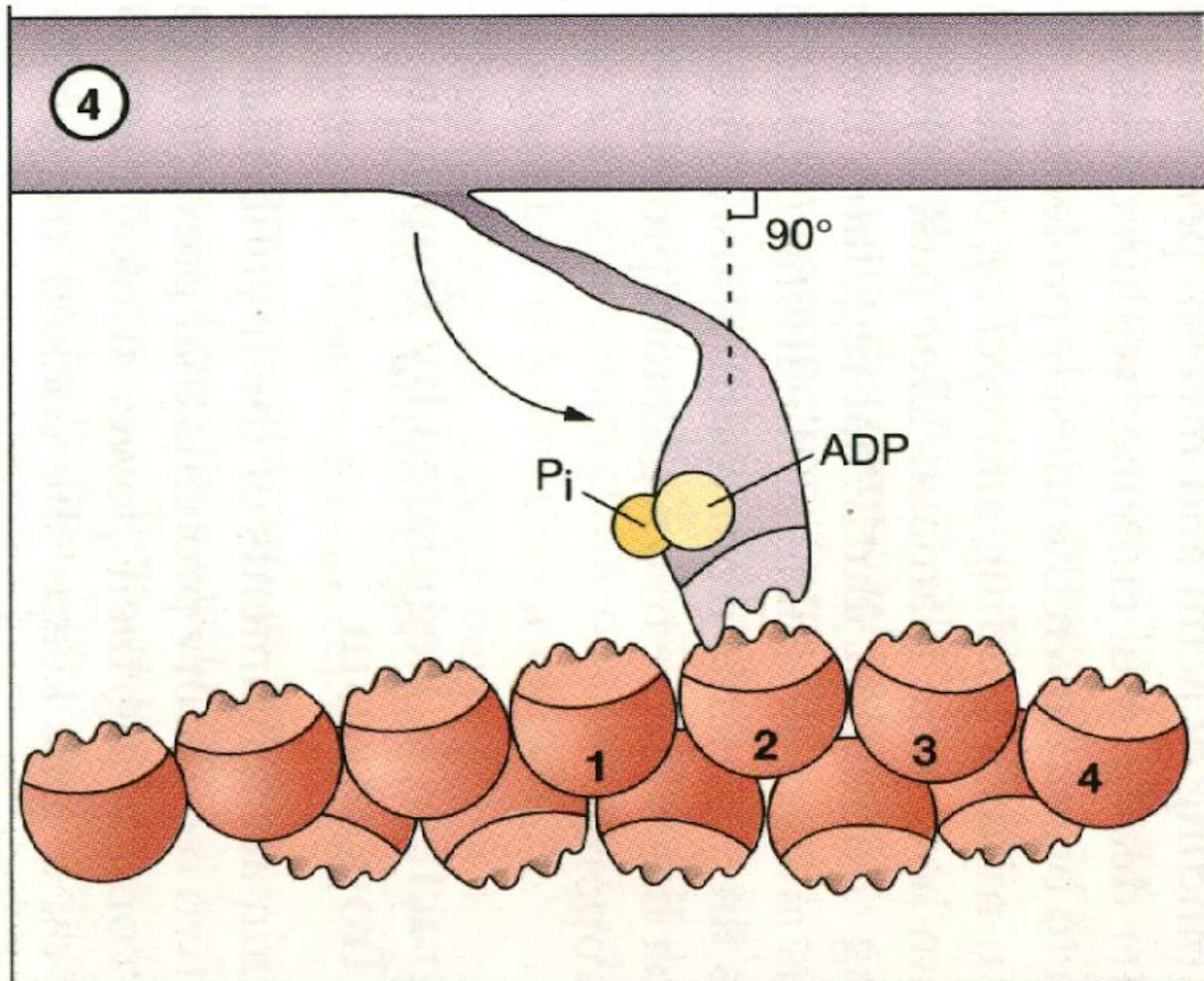


АТФ-аза миозина расщеплет АТФ. АДФ и фосфат пока
связаны с ГОЛОВКОЙ

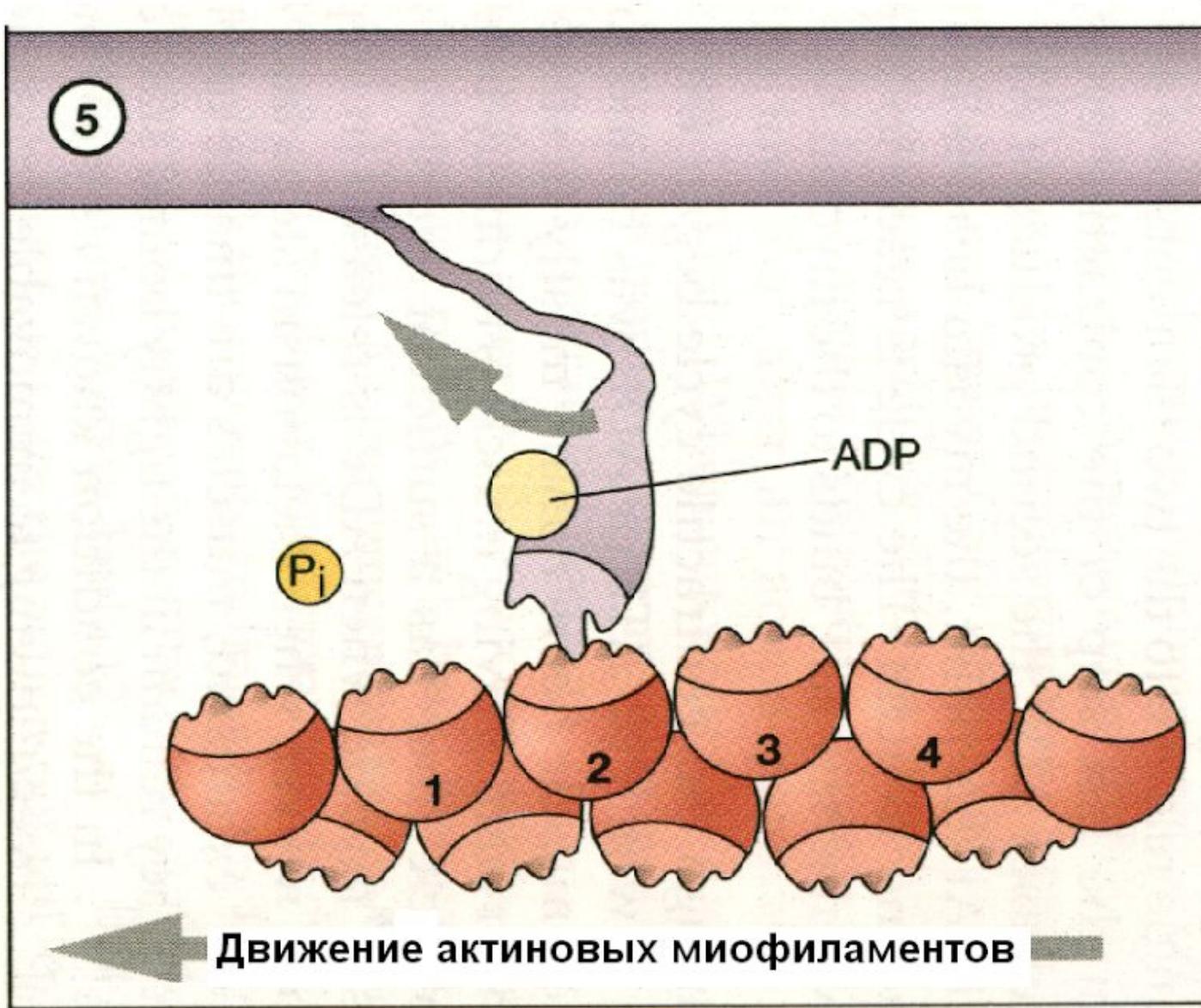
3



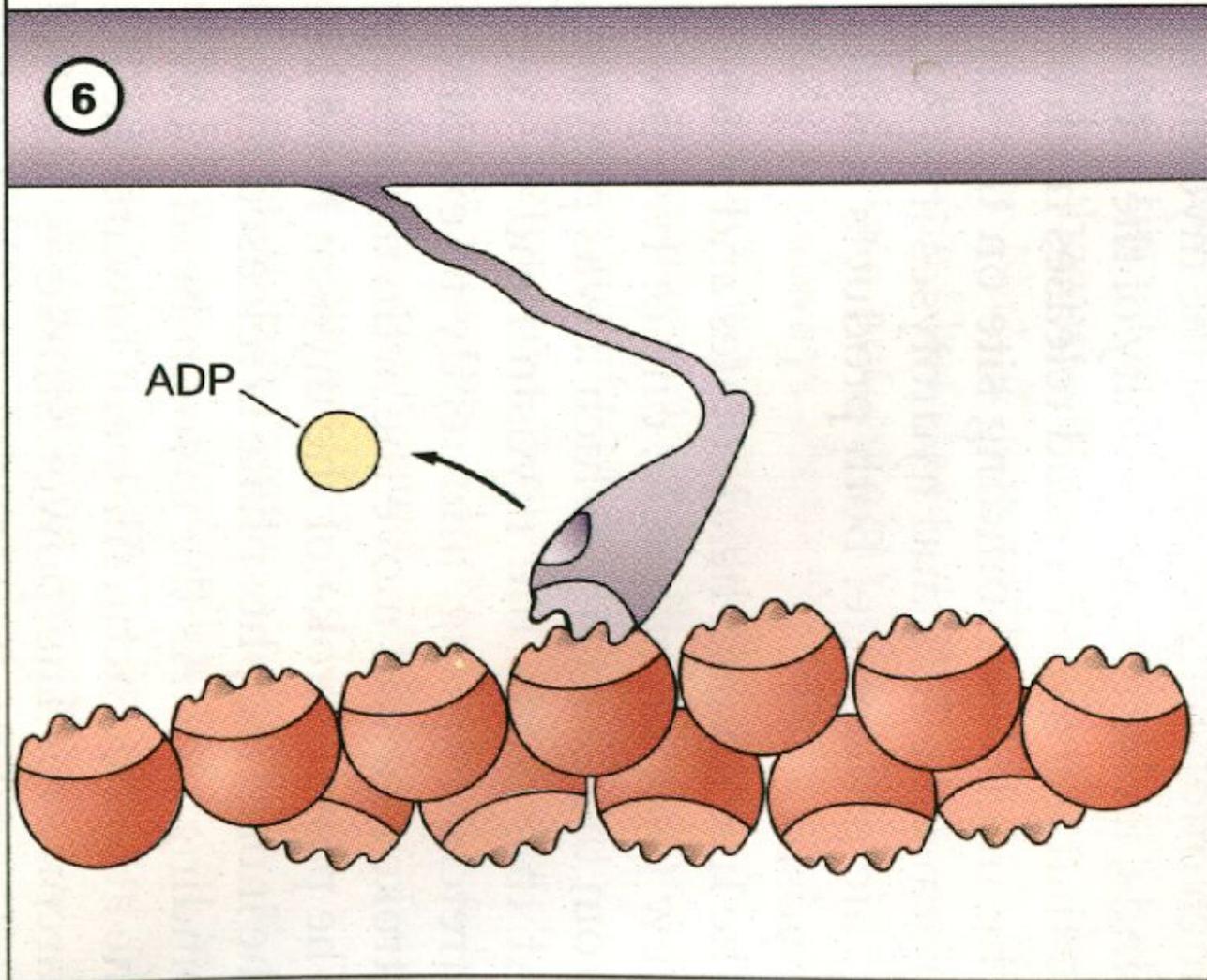
Изменение положения головки - 90 градусов и контакт со следующей молекулой актина на тонкой миофиламенте.
(готовность к следующему "гребку" на фоне высокой концентрации ионов Ca^{++})



- Освобождение неорганического фосфата и "гребок" - головка миозина поворачивается на шейке от 90 до 45 градусов



Положение головки снова под 45 градусов, вновь нужна молекула АТФ, чтобы отсоединиться от актина и изменить положение головки для следующего гребка.



Последовательность событий при сокращении.

1. молекулы тропомиозина опускаются в желобки между цепочками мономеров актина, открывая участки прикрепления для поперечных мостиков миозина.

Электромеханическое сопряжение

2. Прикрепление головки миозина к активному центру в актиновых нитях и повышение АТФ-азной активности.
3. Гребковое движение шейки и перемещение нитей актина относительно миозина.
4. Поворот головки и увеличение напряжения шейки
5. Гидролиз АТФ, отрыв и прикрепление к следующему активному центру

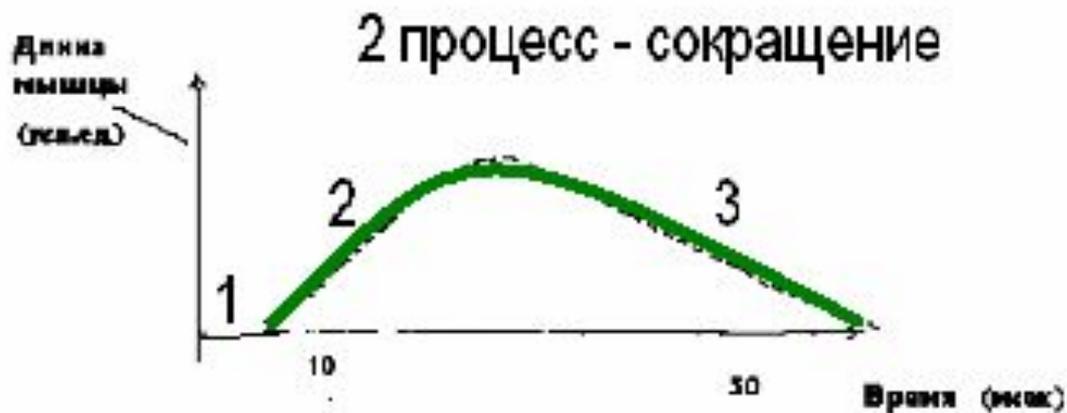
Расслабление

- Работа Ca^{++} АТФ-азы
- Снижение концентрации внутриклеточного Ca^{++}
- Восстановление конформации тропомиозина
- Активные центры тонких миофиламентов закрыты.

Временная характеристика процесса сокращения



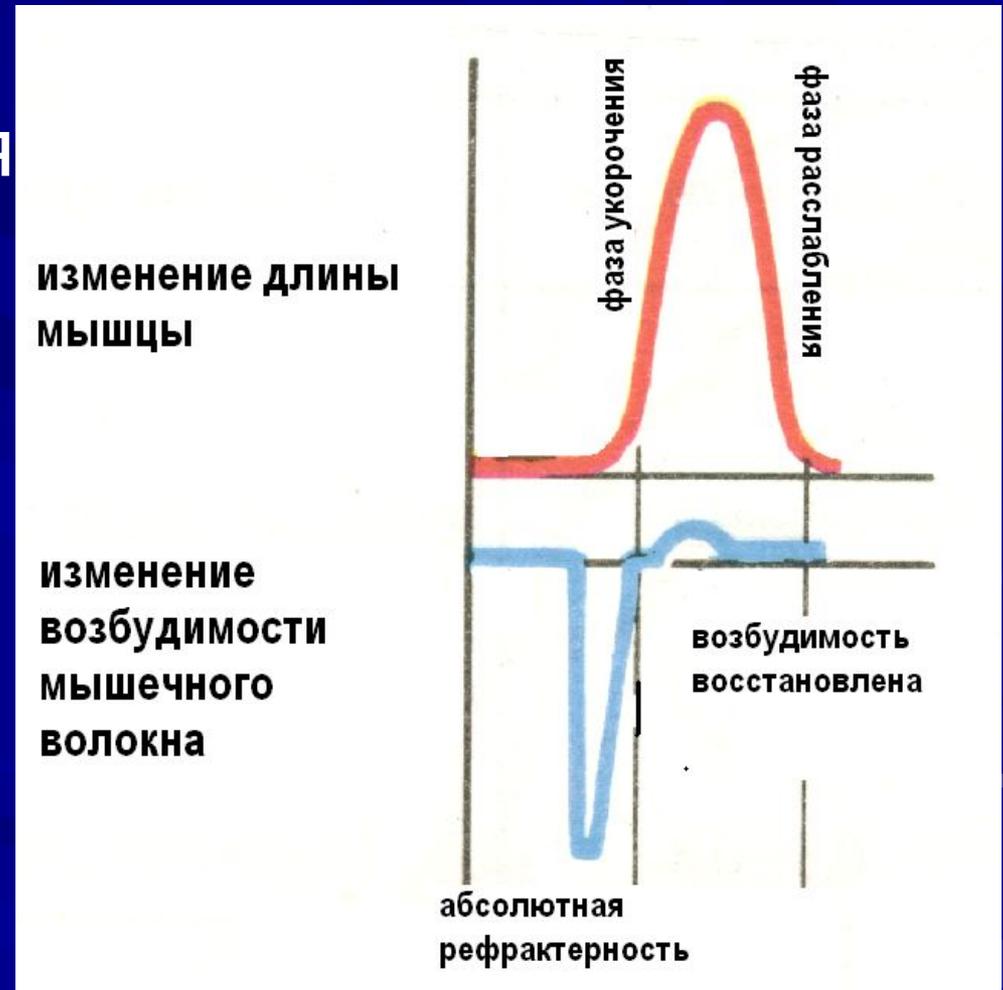
Электро-механическое сопряжение



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

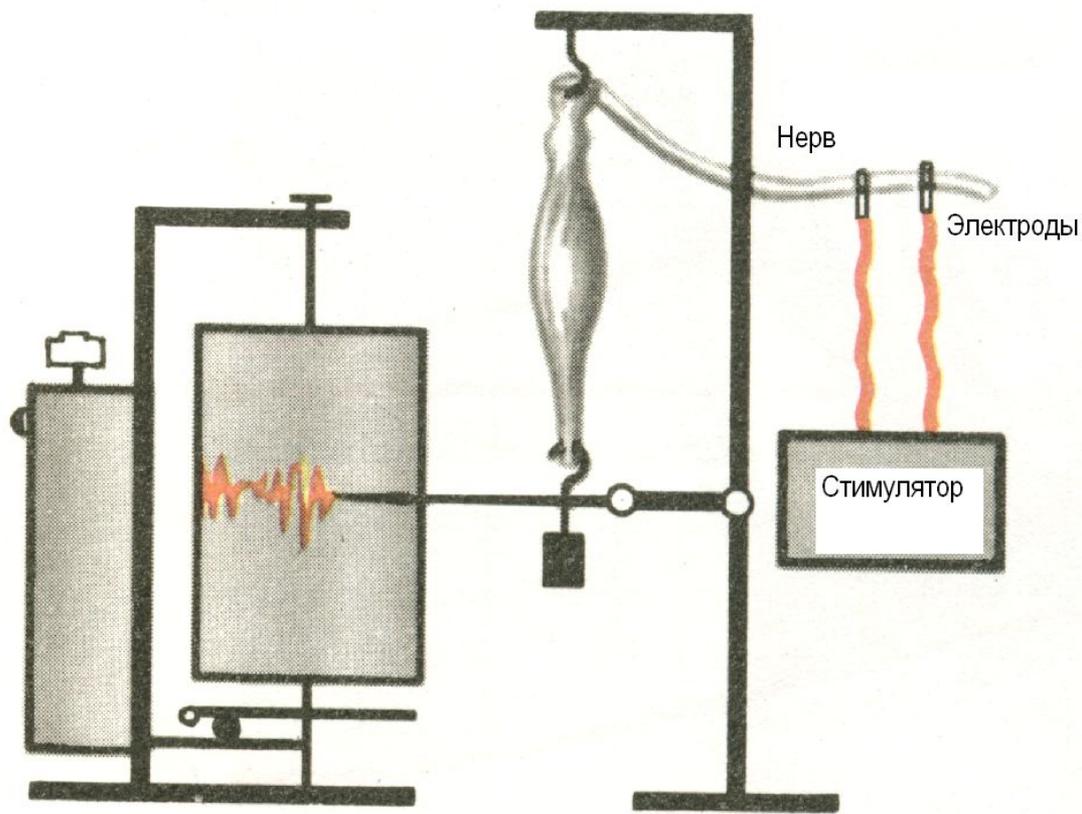
Сопоставление во времени сокращения мышцы и возбудимости

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

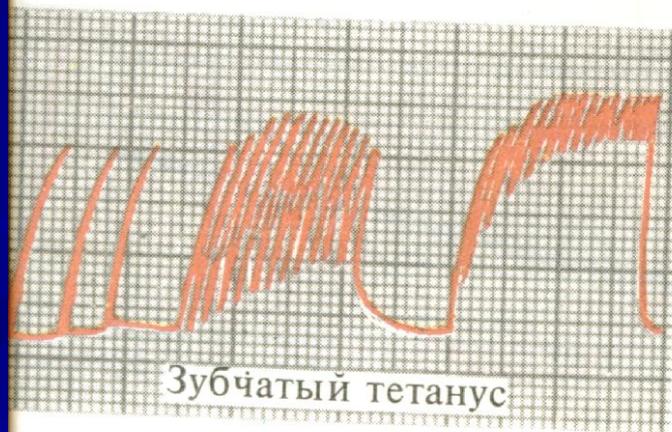
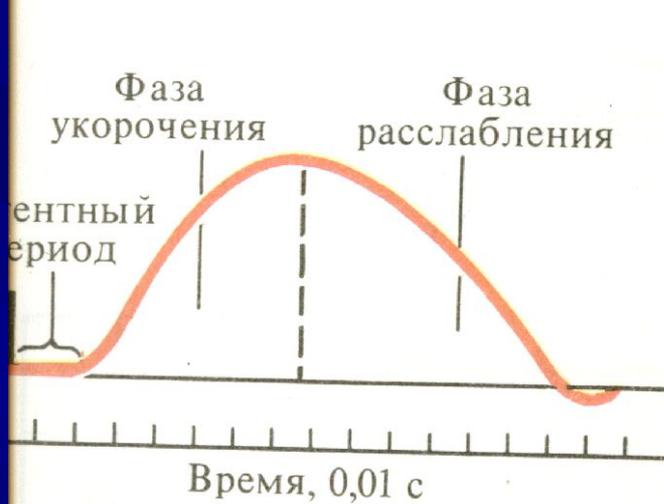


Запись мышечных сокращений

МИОГРАФ



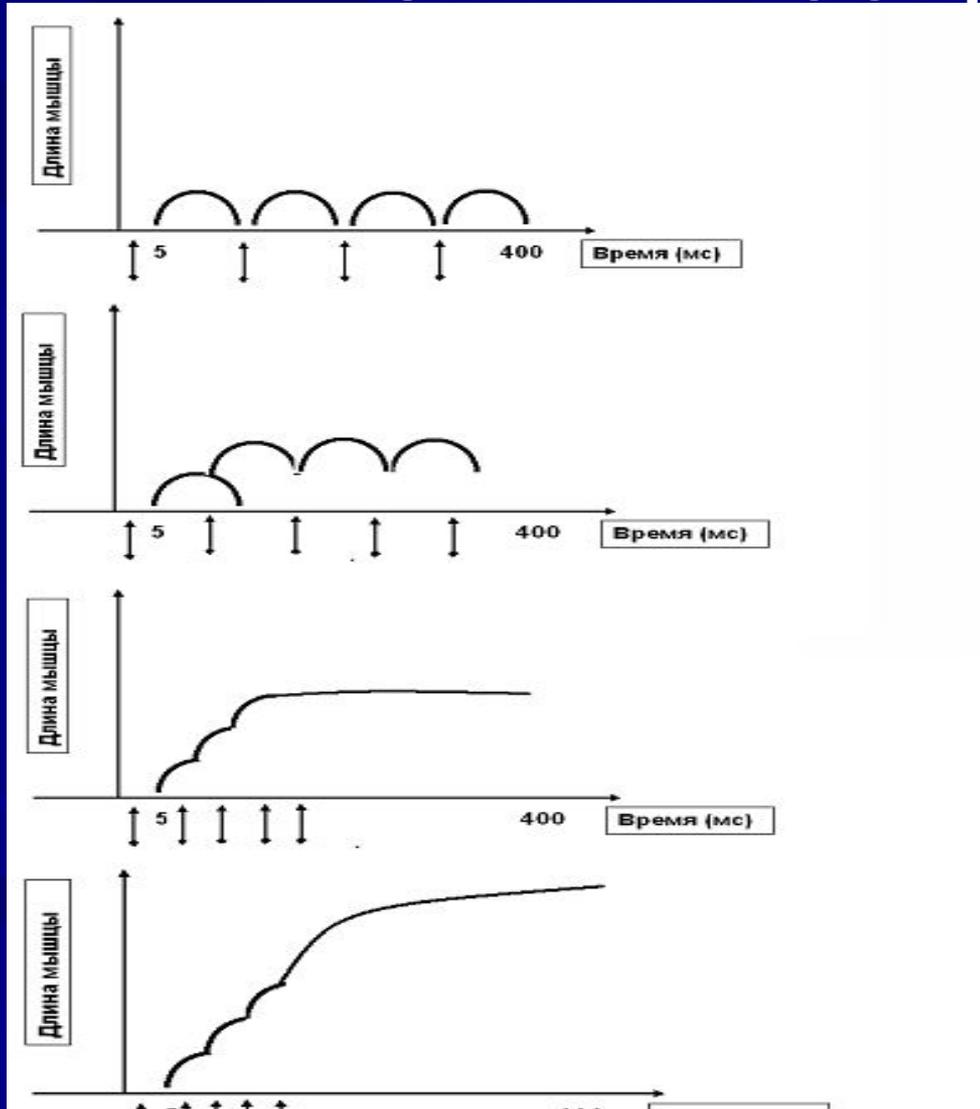
Суммация сокращений



Режимы мышечного сокращения

1. Одиночное сокращение
2. Тетанус – слитное сокращение без расслабления
 - а) Зубчатый – импульс в фазу расслабления
 - б) Гладкий – импульс в фазу укорочения
3. Оптимум – частота для включения всех двигательных единиц
4. Пессимум – частота за пределами функциональной лабильности

Режимы сокращения



1. Одночное
2. Зубчатый тетанус
3. Гладкий тетанус
4. Оптимум

- **СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ
НОВОРОЖДЕННЫХ НЕ СПОСОБНЫ
РАЗВИВАТЬ ТЕТАНУС** - низкая
функциональная лабильность (высокая
продолжительность ПД).

Виды мышечного сокращения

Виды

1. Изометрическое
2. Изотоническое
3. Ауксотоническое

Регуляция силы сокращения мышцы

Сила сокращения зависит от

1. числа включенных мышечных волокон
2. частоты импульсов возбуждения – режима сокращения
3. степени синхронизации частот для всех волокон

Законы мышечного сокращения

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