

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего и профессионального образования

Сибирский федеральный университет

кафедра медицинской биологии

**РОЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В  
РЕГУЛЯЦИИ СОМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ**

Красноярск 2015

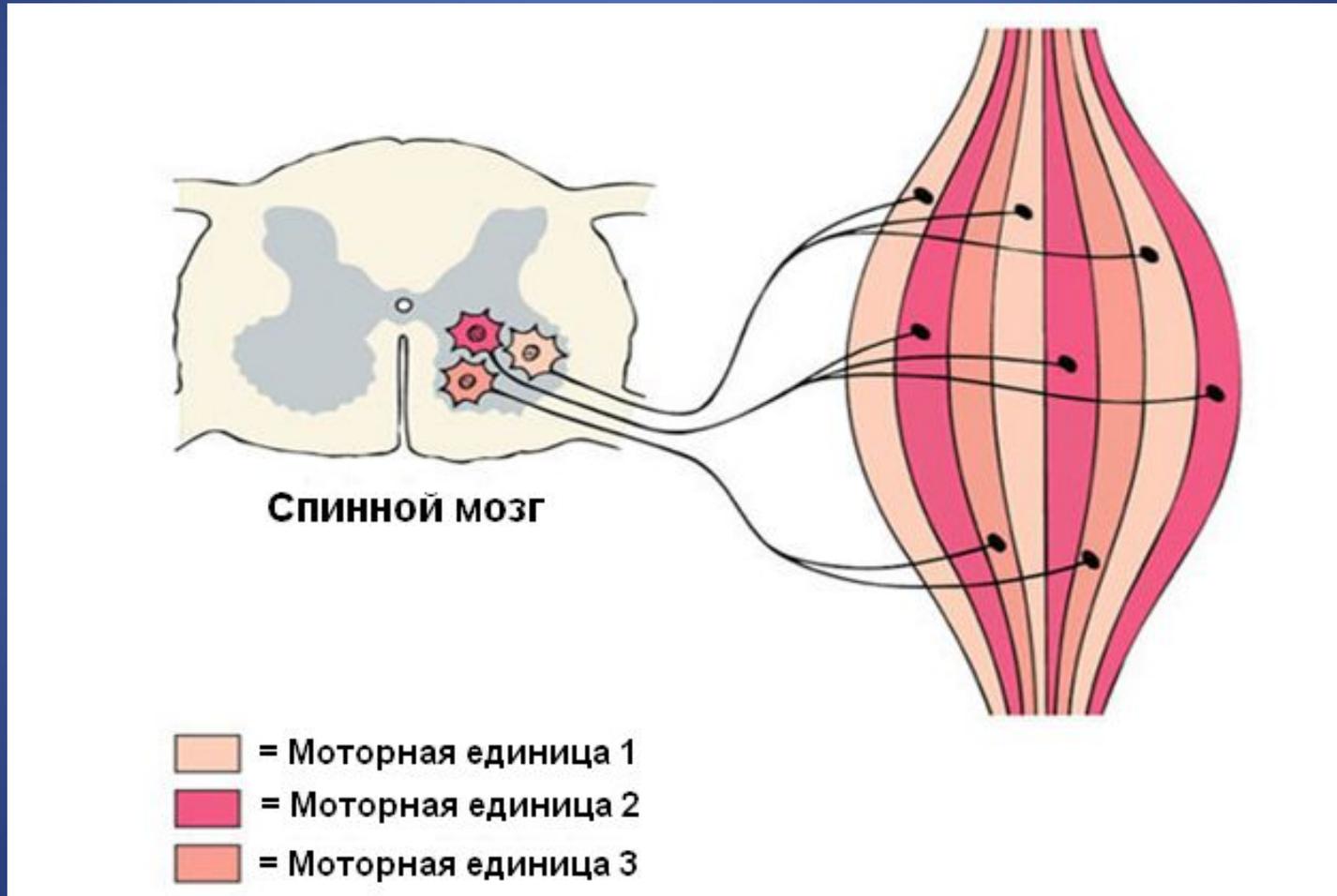
# Содержание

- ✓ **Общий план организации двигательных систем**
- ✓ **Роль спинного мозга в регуляции мышечного тонуса и двигательной активности**
- ✓ **Ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, кора больших полушарий и их роль в регуляции движений и мышечного тонуса**
- ✓ **Функциональная организация скелетных мышц**
- ✓ **Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного**
- ✓ **Режимы и виды сокращения мышц**

# Общий план организации двигательных систем

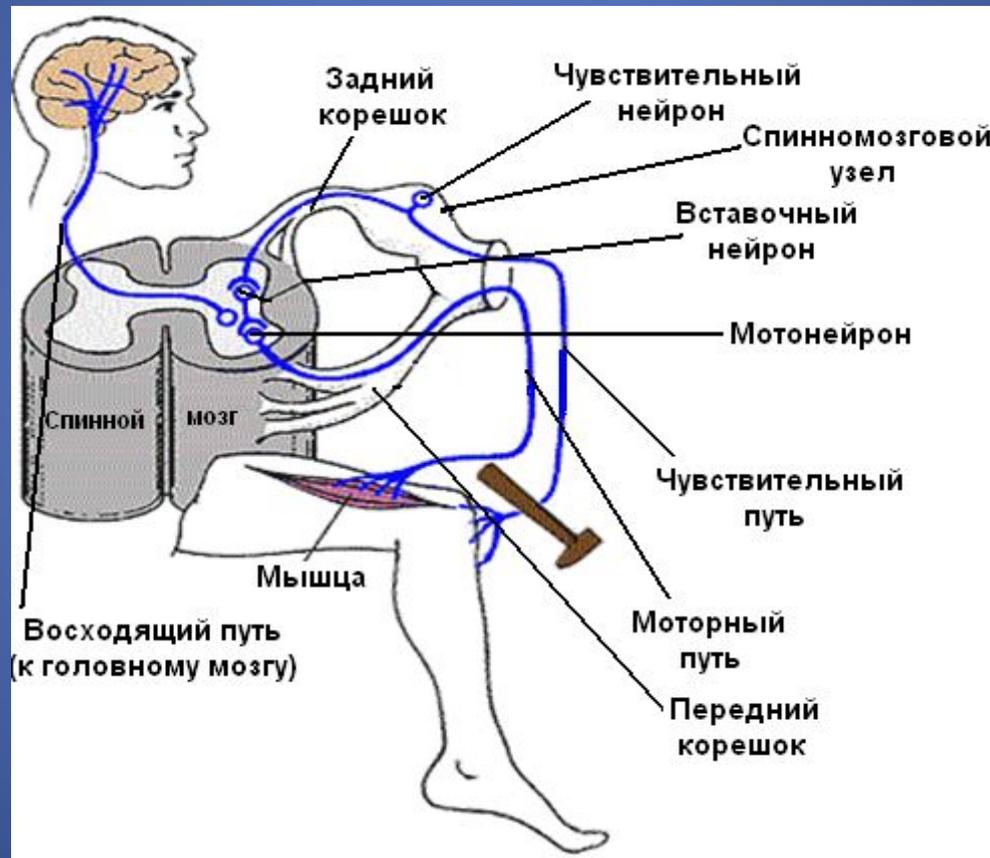
Структура	Функция, выполняемая изолированной структурой	Роль структуры в осуществлении движения
Подкорковые и корковые мотивационные зоны	Побуждение к действию	План
Ассоциативные зоны коры	Замысел действия	План
Базальные ганглии Мозжечок	Схемы целенаправленных движений (врожденные и приобретенные)	Программа
Таламус Двигательная кора	Схемы целенаправленных движений (врожденные и приобретенные)	Программа и ее выполнение
Ствол мозга	Регуляция позы	Выполнение
Спинномозговые нейроны	Моно- и полисинаптические рефлексy	Выполнение
Моторные единицы	Длина и напряжение мышц	Выполнение

## Моторные единицы



# Общий план организации двигательных систем

## Схема коленного рефлекса. Взаимосвязь спинного и головного мозга



# Роль спинного мозга в регуляции мышечного тонуса и двигательной активности

В спинном мозге расположены:

- – центр диафрагмального нерва (3 – 4 шейные сегменты);
- – центры мускулатуры верхних конечностей (5 – 8 шейные сегменты);
- – центры мускулатуры груди, живота и спины (сегменты грудного отдела);
- – центры мускулатуры нижних конечностей (поясничное утолщение);
- – вегетативные центры (сегменты грудопоясничного и крестцового отделов).

## Роль спинного мозга в регуляции мышечного тонуса и двигательной активности

- Для поддержания мышечного тонуса достаточно рефлекторной деятельности спинного мозга, в этом случае импульсы к мышце поступают от альфа-мотонейронов спинного мозга.
- Двигательные рефлексы, за которые ответственен спинной мозг, осуществляются без участия сознания, однако связь спинного мозга с головным является необходимой.
- В процессе регуляции рефлекторной деятельности со стороны отделов головного мозга задействованы гамма-мотонейроны спинного мозга.

# Рефлексы спинного мозга (спинальные рефлексы):

- 1. **Сухожильные рефлексы.** Данные рефлексы возникают после нанесения удара молоточком по сухожилию, в результате чего мышца, прикрепленная к данному сухожилию, растягивается, в проприорецепторах возникает импульс (потенциал действия), который идет к спинному мозгу, от него — к мышце, вызывая ее сокращение.
- В клинической практике используются такие сухожильные рефлексы, как *коленный рефлекс*, *ахиллов рефлекс*, *локтевой рефлекс*; при этом клиническое значение имеет разница между силой рефлекса с правой и левой стороны тела. От слова «tendon» — сухожилие, данные рефлексы называют Т-рефлексами. Если на афферентные волокна оказывать электрическое раздражение, то будет наблюдаться Н-рефлекс (по имени Р. Hoffmann).

# Рефлексы спинного мозга (спинальные рефлексы):

**2. Рефлексы растяжения.** В случае быстрого растяжения мышцы, происходит ее сокращение (фазические рефлексы, примером являются сухожильные рефлексы). В случае медленного растяжения мышцы ее длина не изменяется (тонические рефлексы), что необходимо для поддержания равновесия тела в пространстве, так как мышца в этом случае сопротивляется растягивающей ее силе.

**3. Рефлексы сгибания и разгибания.** Рефлексы сгибания верхних и нижних конечностей наблюдаются после болевого раздражения последних. При этом на противоположной стороне тела часто происходит разгибание конечности. Данное явление связано с тем, что при активации мотонейронов мышц-сгибателей, через контрлатерали аксонов вставочных нейронов на противоположной стороне спинного мозга происходит активация мотонейронов мышц-разгибателей и торможение мотонейронов мышц-сгибателей. В некоторых случаях может иметь место одновременное возбуждение мотонейронов мышц-сгибателей и разгибателей.

## Рефлексы спинного мозга (спинальные рефлексы):

4. **Ритмические рефлексы.** Наблюдаются при раздражении кожи (в случае, например, зуда), когда конечность совершает ритмические чесательные движения; при этом присходит чередование процессов сгибания и разгибание конечности. В данном случае сгибательный и разгибательный центры спинного мозга реципрокно тормозят друг друга. Ритмические рефлексы являются также основой шагательных рефлексов.
5. **Рефлекс отталкивания от опоры** (при ходьбе, беге).
6. **Локомоция.** Регуляция спинным мозгом координации движений, что является необходимым для перемещения тела в пространстве. В данном случае спинномозговые рефлекторные центры находятся под контролем ядерных образования ствола мозга, мозжечка, двигательной зоны коры больших полушарий вследствие влияния импульсов, поступающих от экстеро- и проприорецепторов.

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

- **Тонус мышц** – длительное напряжение мышцы, вызванное регулирующими влияниями нервной системы.
- Под влиянием **ретикулярной формации** мышечный тонус возрастает.
- **Продолговатый мозг**, наоборот, оказывает тормозящее влияние на тонус мышц. Причем, действие, как ретикулярной формации, так и ствола мозга в данном случае является **неспецифическим**, то есть распространяется на различные мышцы.
- **Специфическое влияние** различных отделов ЦНС заключается в их действии на отдельные группы мышц. В частности, **кора больших полушарий** через **красные ядра среднего мозга** (кортикоспинальный тракт), **ретикулярную формацию** (ретикулоспинальный тракт), а также непосредственно через **спинной мозг** (короково-спинномозговой или кортикоспинальный тракт) усиливает тонус мышц-сгибателей, а **продолговатый мозг** посредством **вестибулоспинального тракта** усиливает тонус мышц-разгибателей.

## Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

**Голубое пятно моста** угнетает мышечный тонус в фазу быстрого сна.

**Бледное ядро** оказывает тормозящее влияние на мышечный тонус, а **полосатое тело** снимает это влияние.

Получая команды от вышележащих центров, **красные ядра** направляют импульсы по руброспинальному тракту к спинному мозгу и, таким образом, регулируют мышечный тонус.

**Мозжечок** участвует в поддержание мышечного тонуса: через красные ядра среднего мозга он активирует тонус мышц-сгибателей, а через вестибулярные ядра продолговатого мозга – тонус мышц-разгибателей. Основную роль в поддержании мышечного тонуса, позы и равновесия тела играет кора червя.

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

**Ретикулярная формация** может оказывать тормозящее и активирующее влияние на осуществление ритмических рефлексов спинного мозга.

**Средний мозг** участвует в регуляции движений (см. выше). Клетки черного вещества выделяют медиатор дофамин, который направляется к базальным ганглиям.

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

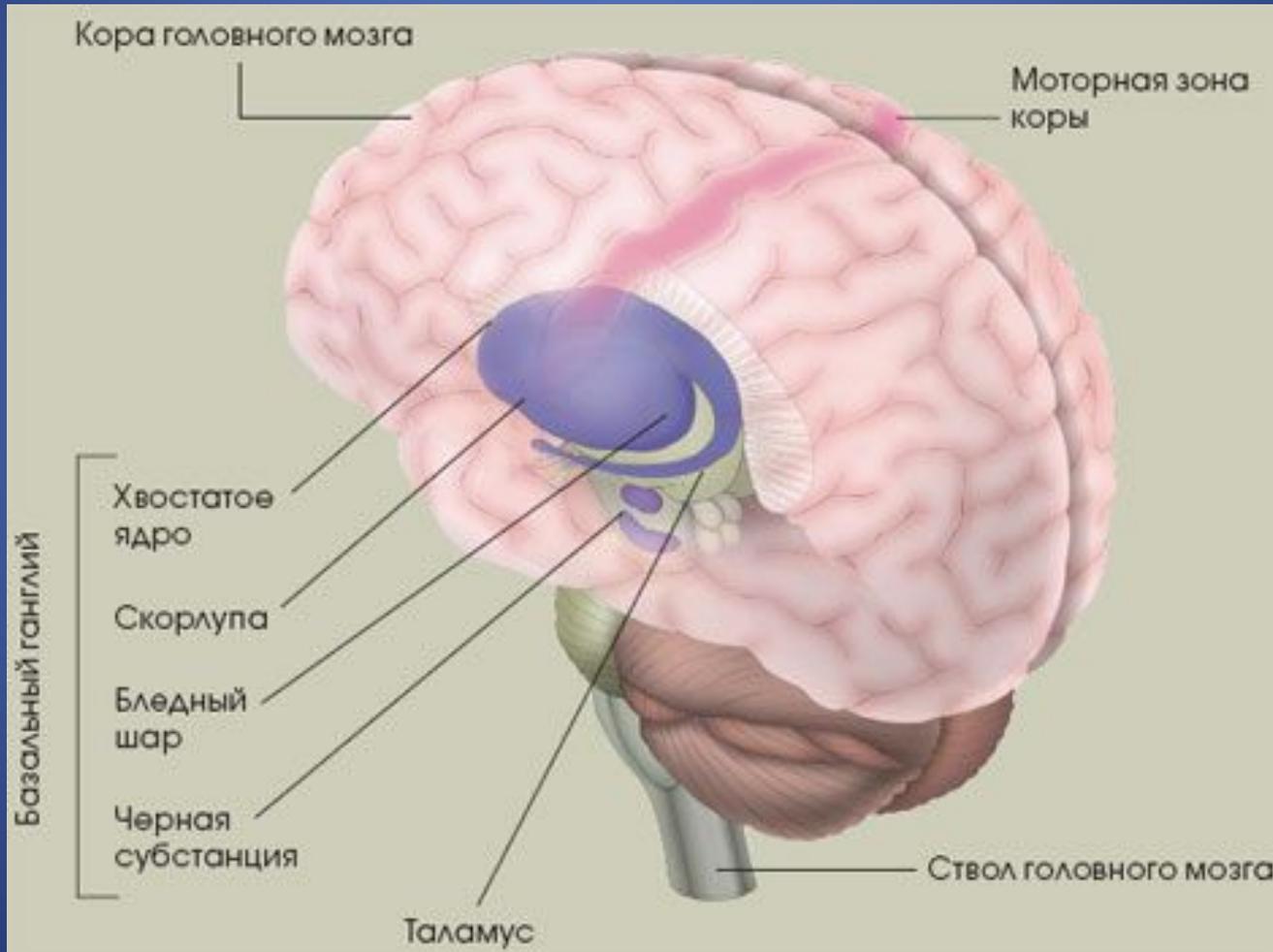
Автоматизирование движений и их содружественность находятся под контролем **базальных ганглиев**.

Считается, что базальные ганглии являются высшим эфферентным центром ствола головного мозга и регулируют двигательные безусловные рефлексy, а также вегетативные реакции, сопровождающие данные рефлексy.

Предполагается также, что базальные ганглии получают информацию от ассоциативных зон коры больших полушарий, данная информация передается в таламус, куда также поступают сигналы от мозжечка. Собранная информация направляется к двигательной зоне коры больших полушарий, где формируется программа действия (целенаправленного движения), далее импульсы поступают в нижележащие отделы ЦНС, ответственные за выполнение движения.

# Ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, кора больших полушарий и их роль в регуляции движений и мышечного тонуса

## Базальные ганглии



РОЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В РЕГУЛЯЦИИ СОМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

**Средний и продолговатый мозг, мост** играют важную роль в осуществлении статических и статокинетических рефлексов.

Выделяют два типа **статических рефлексов**: позные (сохраняется поза) и рефлексы выпрямления (например, при переходе из состояния лежа или сидя в состояние стоя).

К статическим рефлексам относятся: лабиринтные рефлексy (возникают при изменениях положения головы в пространстве, импульсы поступают от рецепторов вестибулярного анализатора); шейные (возникают при изменениях положения головы относительно туловища, импульсы поступают от проприорецепторов шеи); выпрямительные (импульсы поступают от рецепторов кожи, вестибулярного и зрительного анализаторов).

**Статокинетические рефлексy** помогают сохранить равновесие при действии на организм ускорения (линейный и лифтный рефлексy), а также при повороте головы, туловища в сторону, противоположную движению (вращательный рефлекс).

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

Через клетки молекулярного и зернистого (гранулярного) слоев импульсы направляются к клеткам Пуркинье.

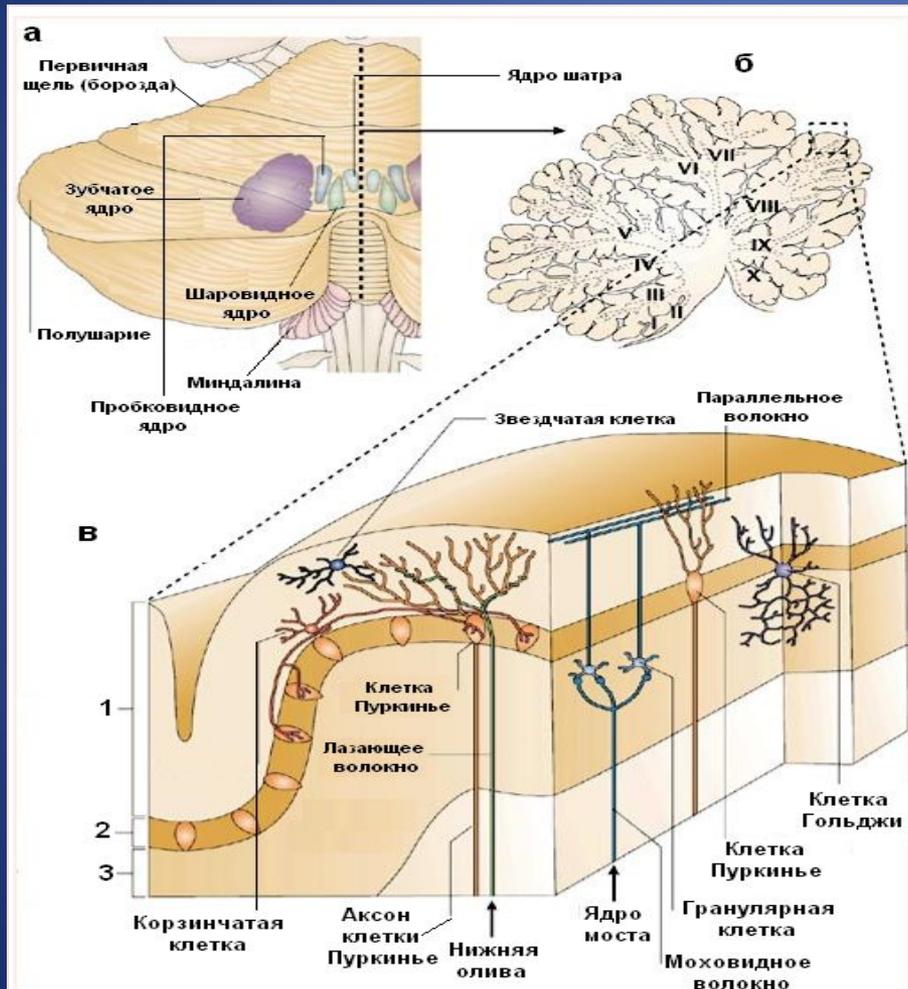
Последние являются эфферентным выходом коры мозжечка и оказывают тормозящее влияние на ядра мозжечка, которые регулируют активность двигательных центров спинного, продолговатого, среднего и промежуточного мозга.

На уровне **коры мозжечка** осуществляется программирование движений, их согласование.

Роль мозжечка в регуляции двигательной активности заключается в правильном перемещении тела в пространстве, в точном выполнении движений в соответствии с командами, поступающими из коры больших полушарий.

# Ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, кора больших полушарий и их роль в регуляции движений и мышечного тонуса

## Мозжечок



а – мозжечок (вид сзади), ядра мозжечка, расположенные под корой в белом веществе;

б – дольки мозжечка;

в – строение коры мозжечка;

1 – молекулярный слой,

2 – слой клеток Пуркинье,

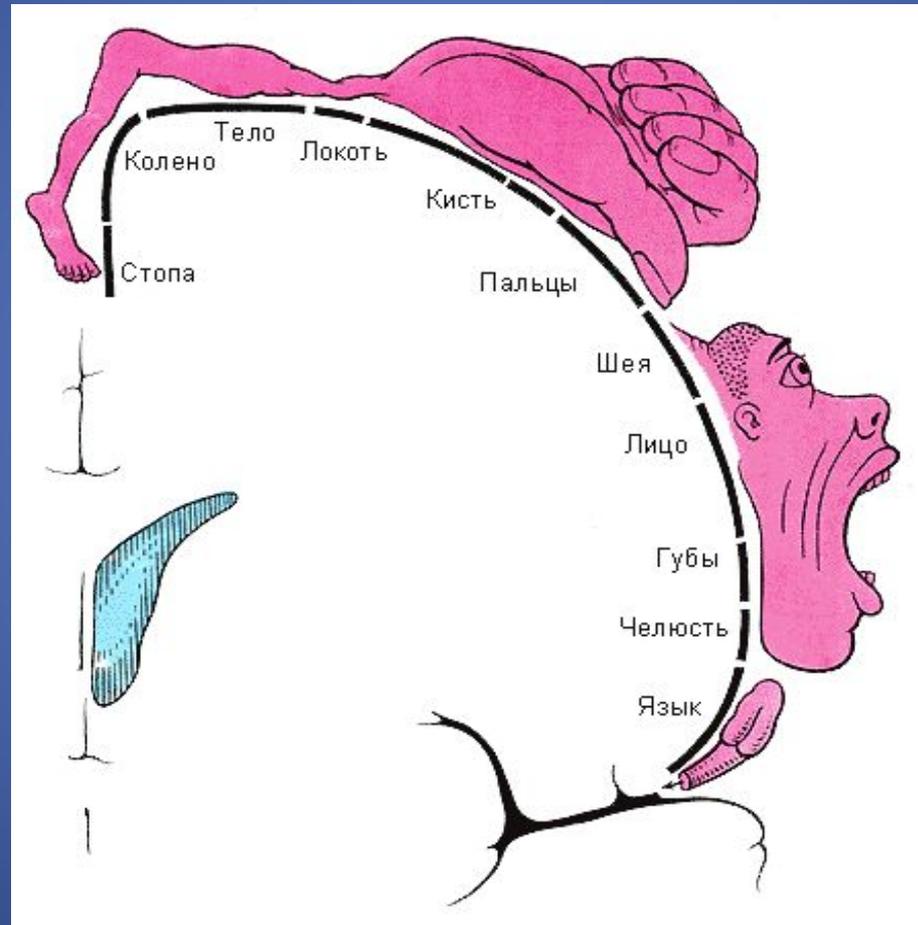
3 – зернистый слой

## Явления, наблюдаемые при поражении мозжечка:

- **атония** (от греч. tonos – напряжение) – снижение мышечного тонуса;
- **астения** (от греч. astheneia – бессилие) – снижение мышечной силы;
- **атаксия** (от греч. ataxia – беспорядок) – невозможность соотносить выполняемые движения с поставленной целью, нарушение координации и точности движений;
- **астазия** (от греч. stasis – стояние) – колебательные движения, неспособность стоять;
- **дистония** – непроизвольное нарушение мышечного тонуса;
- **тремор** – дрожание частей тела;
- **дисметрия** – нарушение амплитуды движений (недостаточность или избыточность);
- **дизартрия** – нарушение моторики речи;
- **дизэквilibрия** – нарушение равновесия при закрытых глазах.

Ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, кора больших полушарий и их роль в регуляции движений и мышечного тонуса

Двигательные представления различных частей тела в прецентральной извилине коры головного мозга человека



## Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

Во вторичную моторную кору (6 поле Бродмана) импульсы приходят из ассоциативных зон коры.

На основе поступившей информации во вторичной коре формируется программа выполнения движений, которая направляется в первичную кору (4 поле Бродмана), то есть первичная кора подчиняется вторичной.

От моторной зоны импульсы направляются к базальным ганглиям, к красным ядрам и черной субстанции среднего мозга, к продолговатому мозгу и ретикулярной формации и далее по рубро-, ретикуло- и вестибулоспинальным трактам – к спинному мозгу.

# Роль структур головного мозга в регуляции движений и мышечного тонуса

- Нижнетеменные области коры способствуют точной адресации команд к определенным мышцам.
- Переднелобные зоны участвуют в программировании и регуляции произвольных движений.
- Зоны коры, относящиеся к лимбической системе, обеспечивают эмоциональную окраску движений.

Ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, кора больших полушарий и их роль в регуляции движений и мышечного тонуса

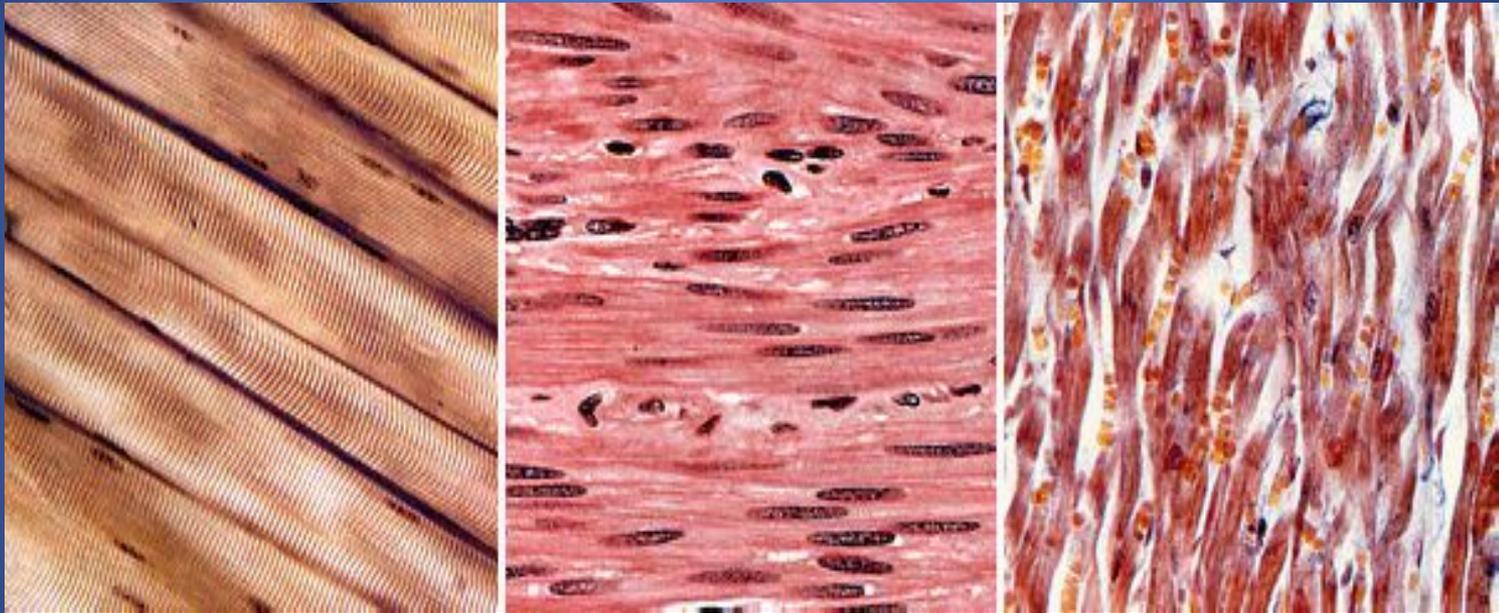
## Взаимосвязь отделов ЦНС, участвующих в осуществлении движений



РОЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В РЕГУЛЯЦИИ СОМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

## Виды мышечной ткани

Продольные срезы скелетной (а), гладкой (б) и сердечной (в) мышцы



а

б

в

# Поперечнополосатая скелетная мышечная ткань

- Имеет поперечнополосатую исчерченность, прикрепляется к скелету, приводит его в движение, а также способствует поддержанию равновесия тела в пространстве и является источником тепла.
- Может сокращаться быстро, со значительной силой. Поперечнополосатая скелетная мышца состоит из поперечно-исчерченных мышечных волокон, которые представляют собой многоядерные клетки (100 – 200 ядер).

# Поперечнополосатая сердечная мышца (миокард)

- входит в состав сердечной стенки, имеет поперечнополосатую исчерченность, также способна к быстрому сокращению с большой силой.
- состоит из мышечных клеток (одноядерных) – кардиомиоцитов, формирующих сетчатое образование, что способствует быстрому проведению возбуждения по мышце.

# Гладкая мышечная ткань

- входит в состав стенок внутренних органов, кровеносных сосудов, дыхательных путей, выводных протоков желез внешней секреции, имеет продольную исчерченность.
- практически непрерывно сокращается, однако с довольно низкой скоростью, то есть, способна к длительному, медленному тоническому сокращению.
- растяжение волокон вызывает быстрое сокращение ткани (такое явление называется **перистальтикой**), это способствует продвижению содержимого внутренних органов (например, перистальтика кишечника).
- структурной единицей гладкой мускулатуры является одноядерная клетка – миоцит.

# Мышечная ткань

- Деятельность поперечнополосатой скелетной мышечной ткани подчиняется воле человека, в отличие от гладкой и поперечнополосатой сердечной мышечной ткани, деятельность которых является непроизвольной

# Скелетные мышечные волокна

- **Красные мышечные волокна** содержат большое количество митохондрий и миоглобина (белка, выполняющего функцию переноса кислорода), в связи с чем способны сокращаться в течение длительного времени но с низкой силой сокращения (примером являются мышцы спины, мышцы шеи, поддерживающие нижнюю челюсть, мышцы, участвующие в поддержании позы).
- Это так называемые **тонические**, плохо возбудимые волокна, с низкой амплитудой, низкой утомляемостью и аэробной энергетикой, они расположены в глубине

# Скелетные мышечные волокна

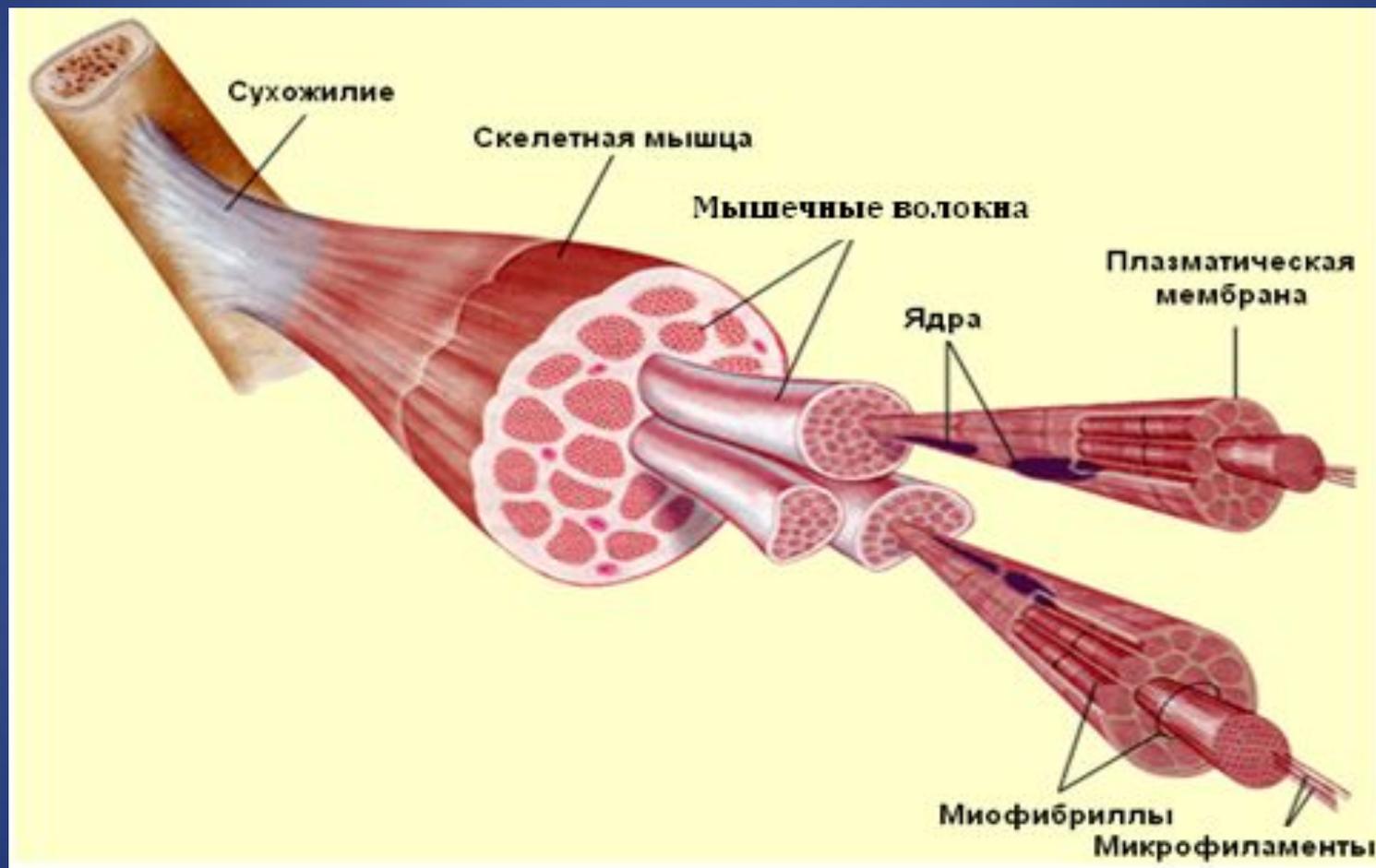
- **Белые мышечные волокна** сокращаются с большой силой, однако в течение короткого промежутка времени, так как быстро утомляются (причиной является меньшее, по сравнению с красными волокнами, количество митохондрий и миоглобина).
- Данные волокна называются **фазическими**, легко возбудимыми, с анаэробной энергетикой и расслабляются из поверхности мышцы.

## Виды мышечной ткани

### Сравнительная характеристика скелетных и гладких мышц

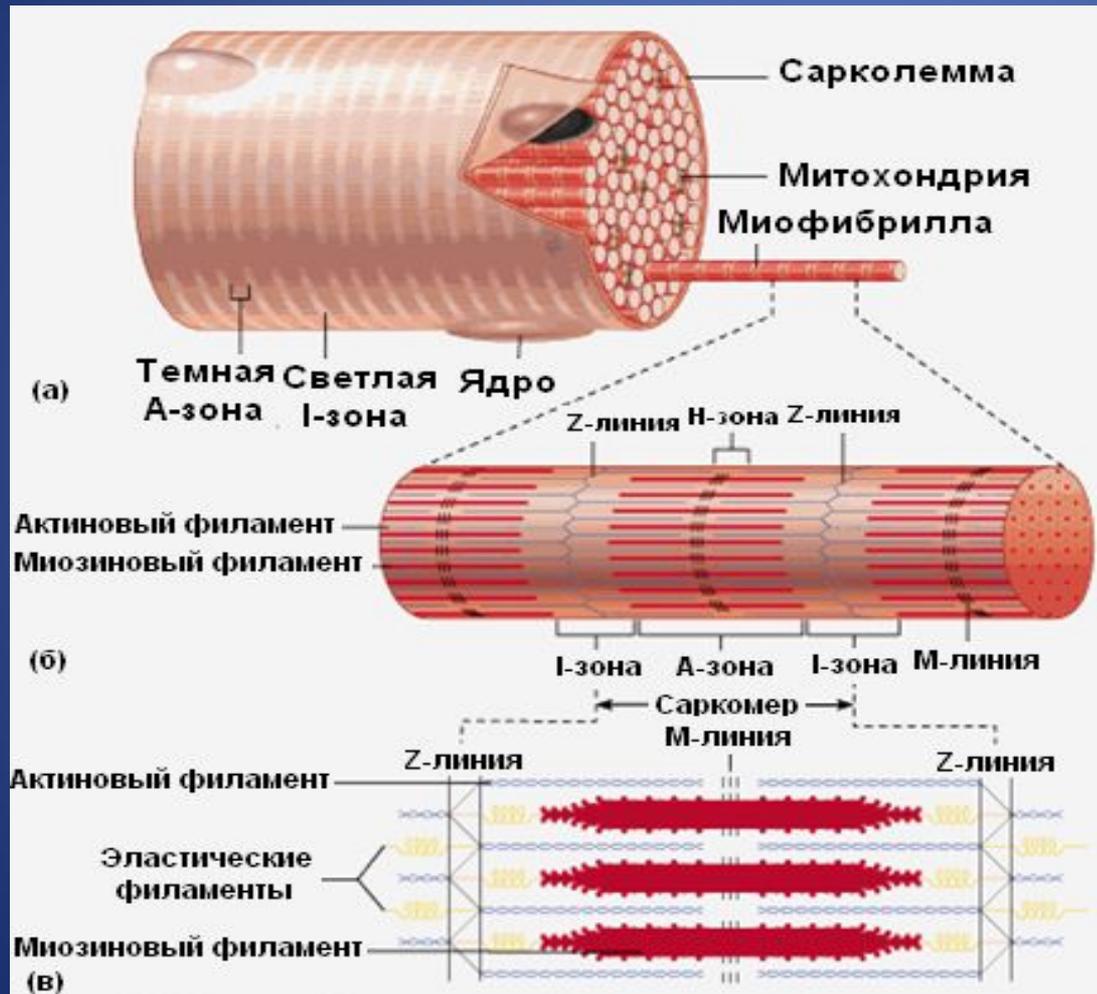
Свойство	Скелетные мышцы	Гладкие мышцы
Скорость деполяризации	быстрая	медленная
Период рефрактерности	короткий	длительный
Характер сокращения	быстрые фазические	медленные тонические
Энергозатраты	высокие	низкие
Пластичность	нет	есть
Автоматия	нет	есть
Проводимость	нет	есть
Иннервация	мотонейронами соматической НС	постганглионарными нейронами ВНС
Осуществляемые движения	произвольные	непроизвольные
Чувствительность к химическим веществам	низкая	высокая
Способность к делению и дифференцировке	нет	есть

## Строение мышцы



# Функциональная организация скелетных мышц

## Строение мышечного волокна и миофибриллы



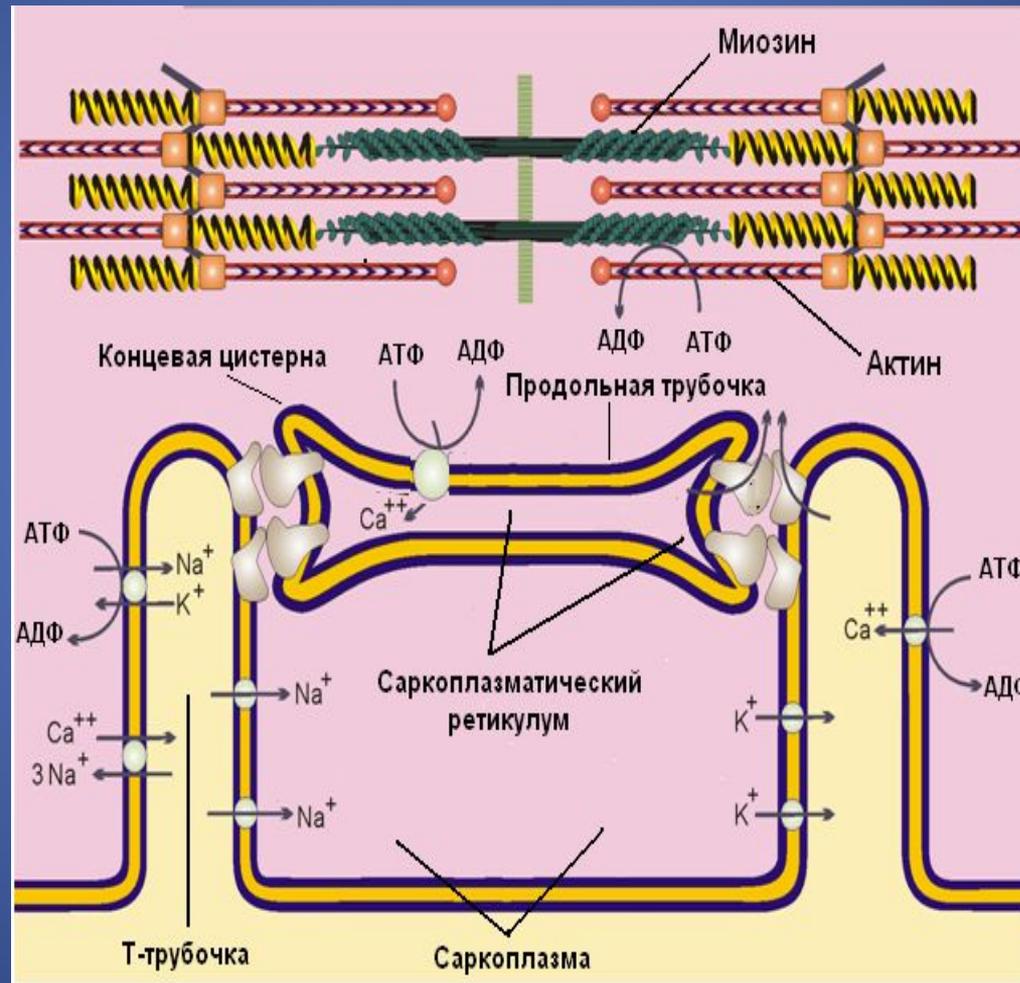
а – мышечное  
волокно,  
б – участок  
миофибриллы,  
в – микрофиламенты

# Строение мышечного волокна

- Сарколемма
- Саркоплазма (здесь расположены клеточные органеллы (ядра, митохондрии, саркоплазматический ретикулум, рибосомы, миофибриллы).
- Т-трубочки (поперечные трубочки, Т-система).
- Продольные трубочки и терминальные (концевые) цистерны, являющиеся депо ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . Белок кальсеквестрин связывает ионы  $\text{Ca}^{2+}$  в терминальных цистернах саркоплазматического ретикулума.

# Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного сокращения

## Структуры, ответственные за мышечное сокращение



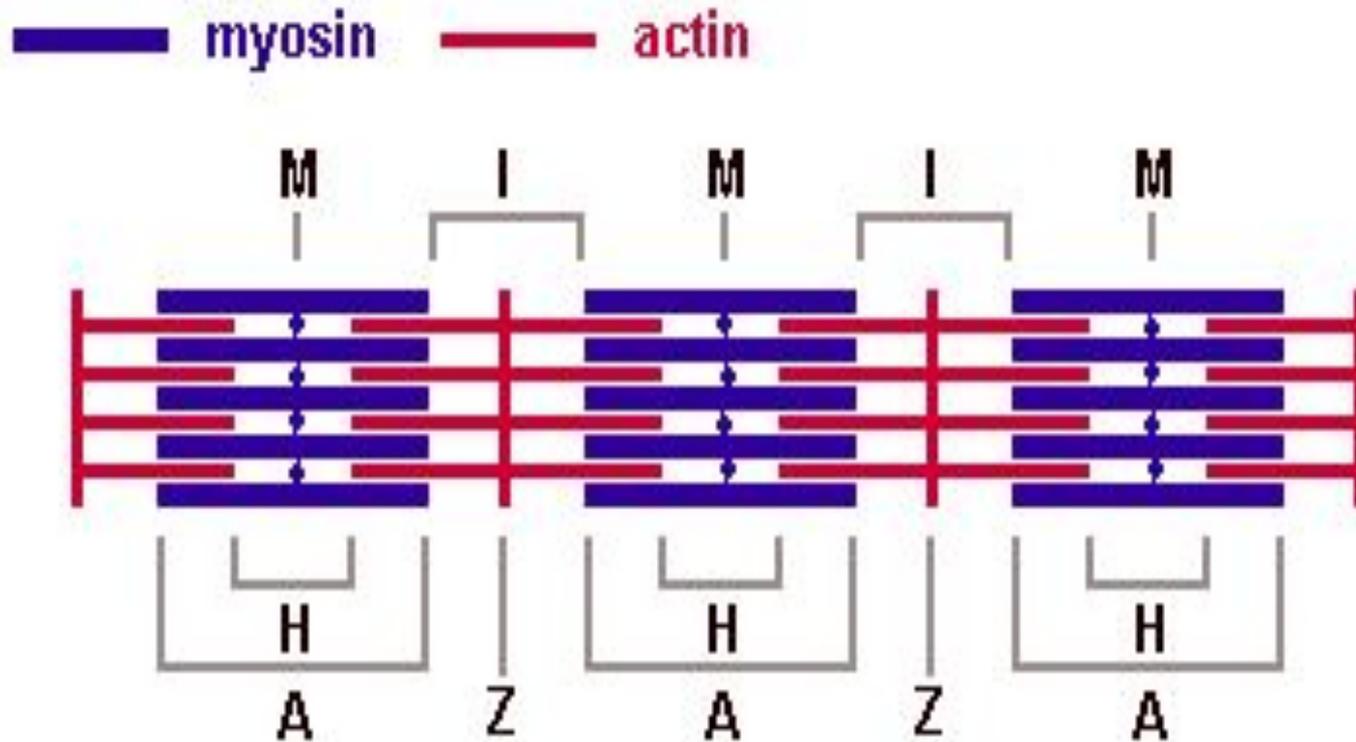
# Строение мышечного волокна

- Структурным элементом мышечного волокна является **миофибрилла**.
- В состав миофибриллы входят **микрофиламенты**, состоящие из белков: актина и миозина.
- Полимеризованные нити актина и миозина объединяются понятием **протофибрилла**.

# Строение миофибриллы

- Темные диски А (анизотропные, двоякопреломляющие лучи света), разделены светлой полосой Н;
- Светлые диски I (изотропные, однопреломляющие световые лучи) разделены полосой Z.
- Структурно-функциональной единицей миофибриллы является саркомер – участок миофибриллы между двумя линиями Z

# Строение миофибриллы



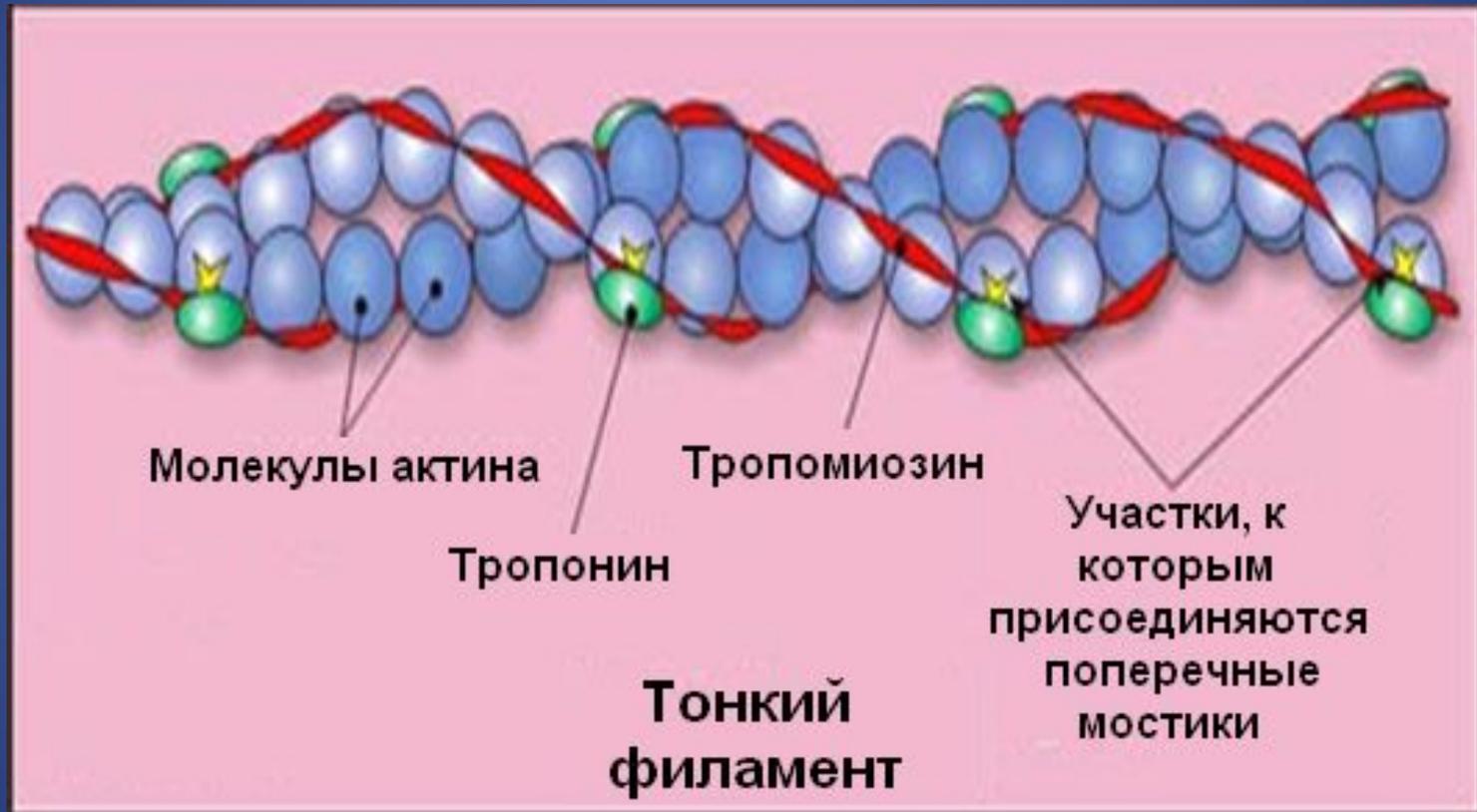
Bands and lines in the contractile apparatus of skeletal muscle

# Мышечные белки

- Актин
- Миозин
- Тропонин
- Тропомиозин

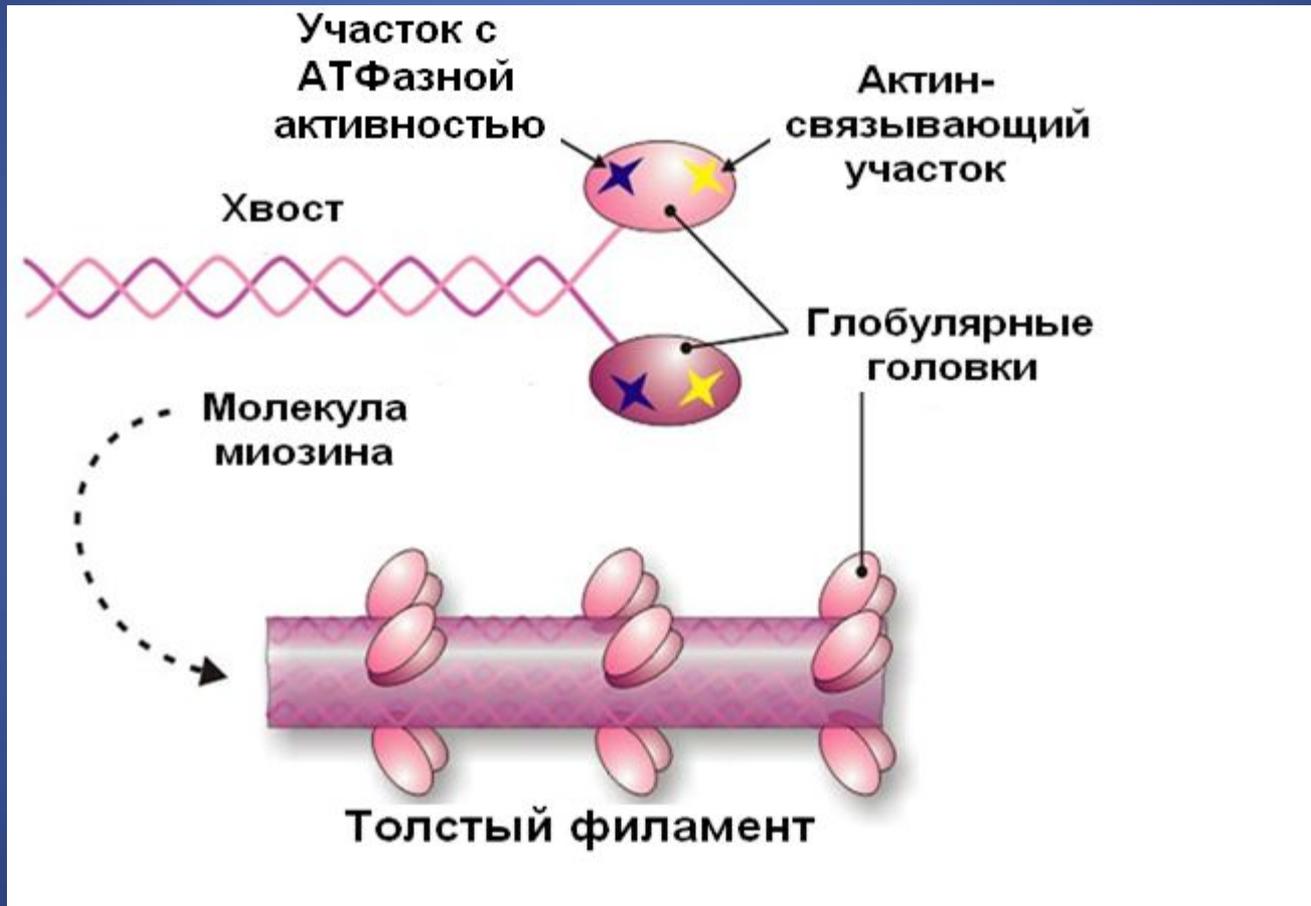
# Функциональная организация скелетных мышц

## Строение актинового микрофиламента



# Функциональная организация скелетных мышц

## Строение миозинового микрофиламента

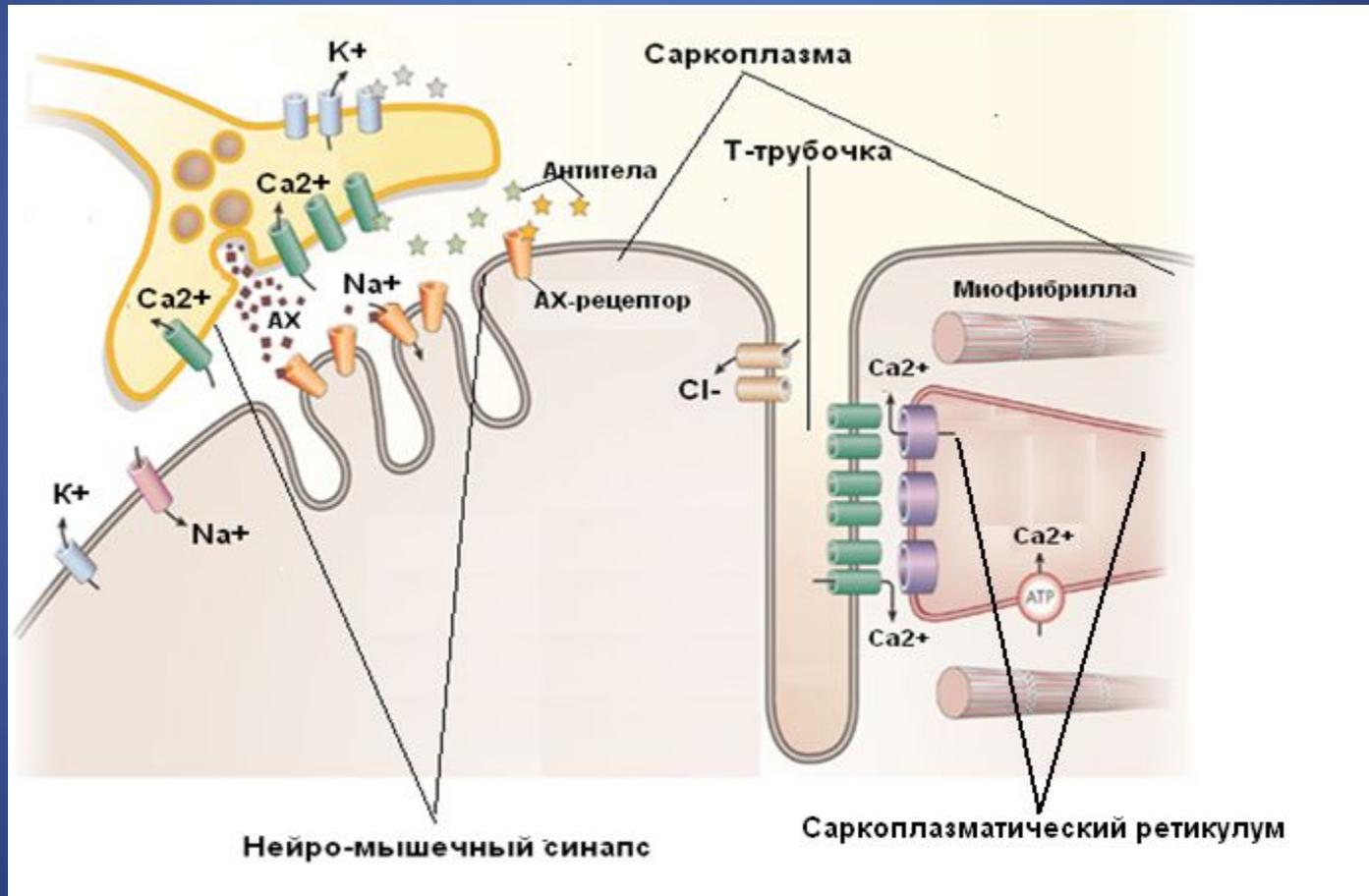


# Миозин

- $120^\circ$
- $45^\circ$
- Гребковые движения

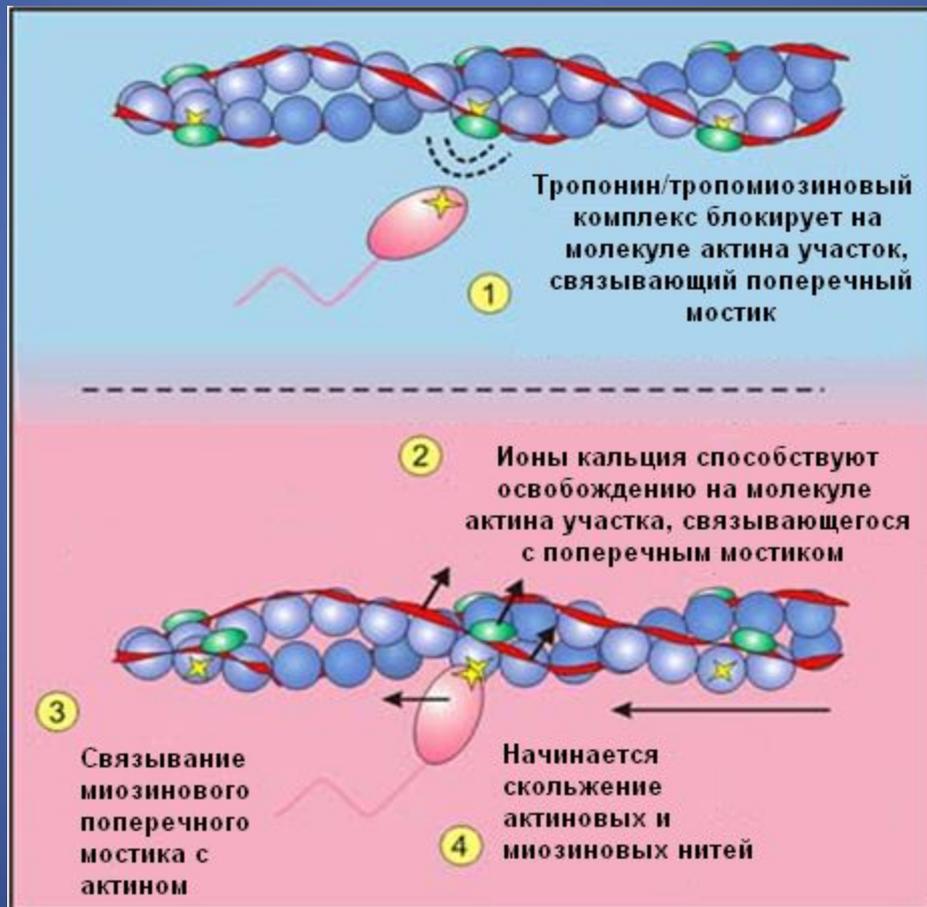
# Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного сокращения

## Нейромышечный синапс, Т-трубочки, ионные каналы, внутриклеточные органеллы



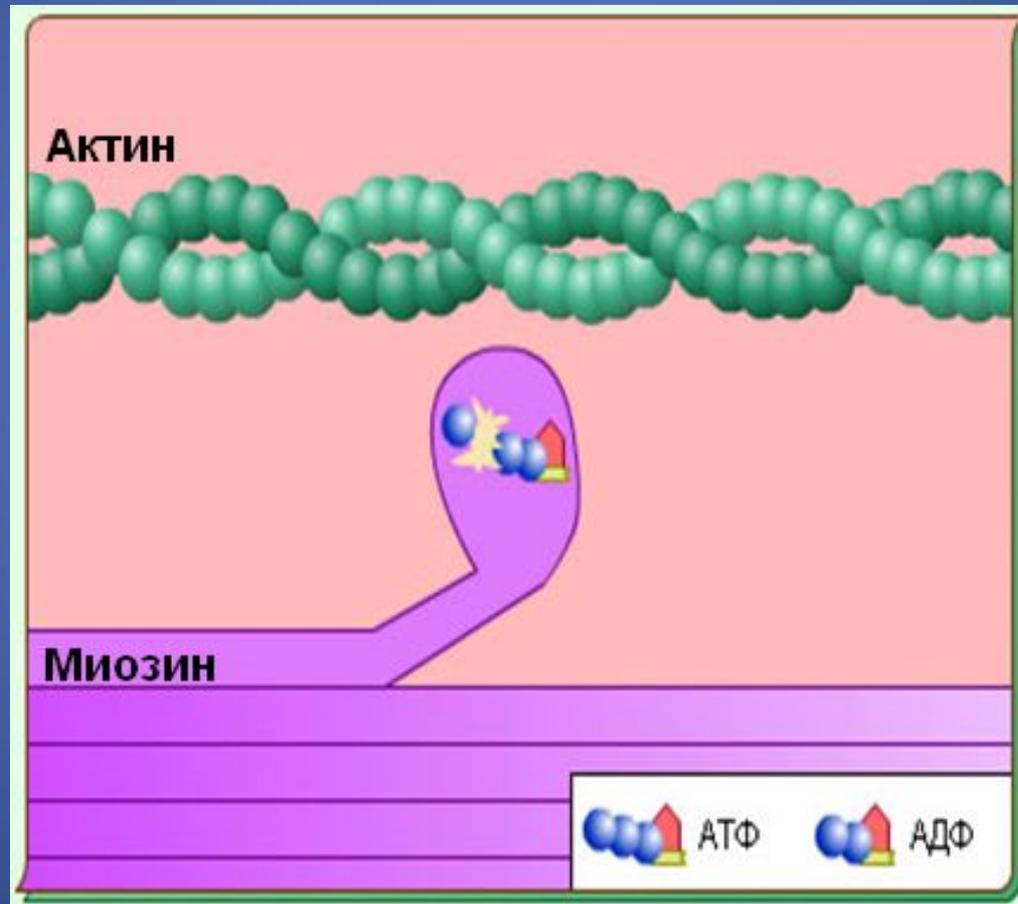
# Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного сокращения

## Переход в мышце от состояния расслабления к сокращению



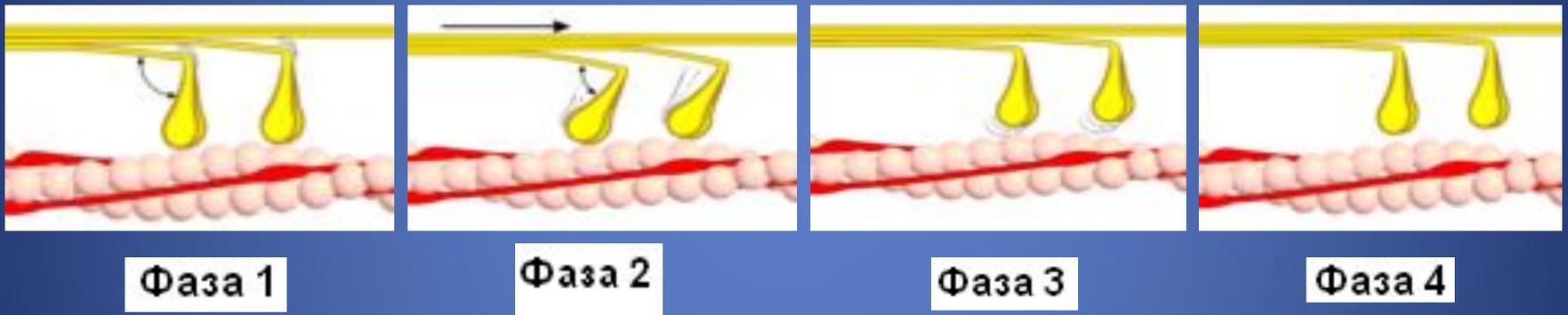
Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна.  
Энергетика мышечного сокращения

Взаимодействие актиновых и миозиновых нитей  
(микрофиламентов), образование поперечного мостика



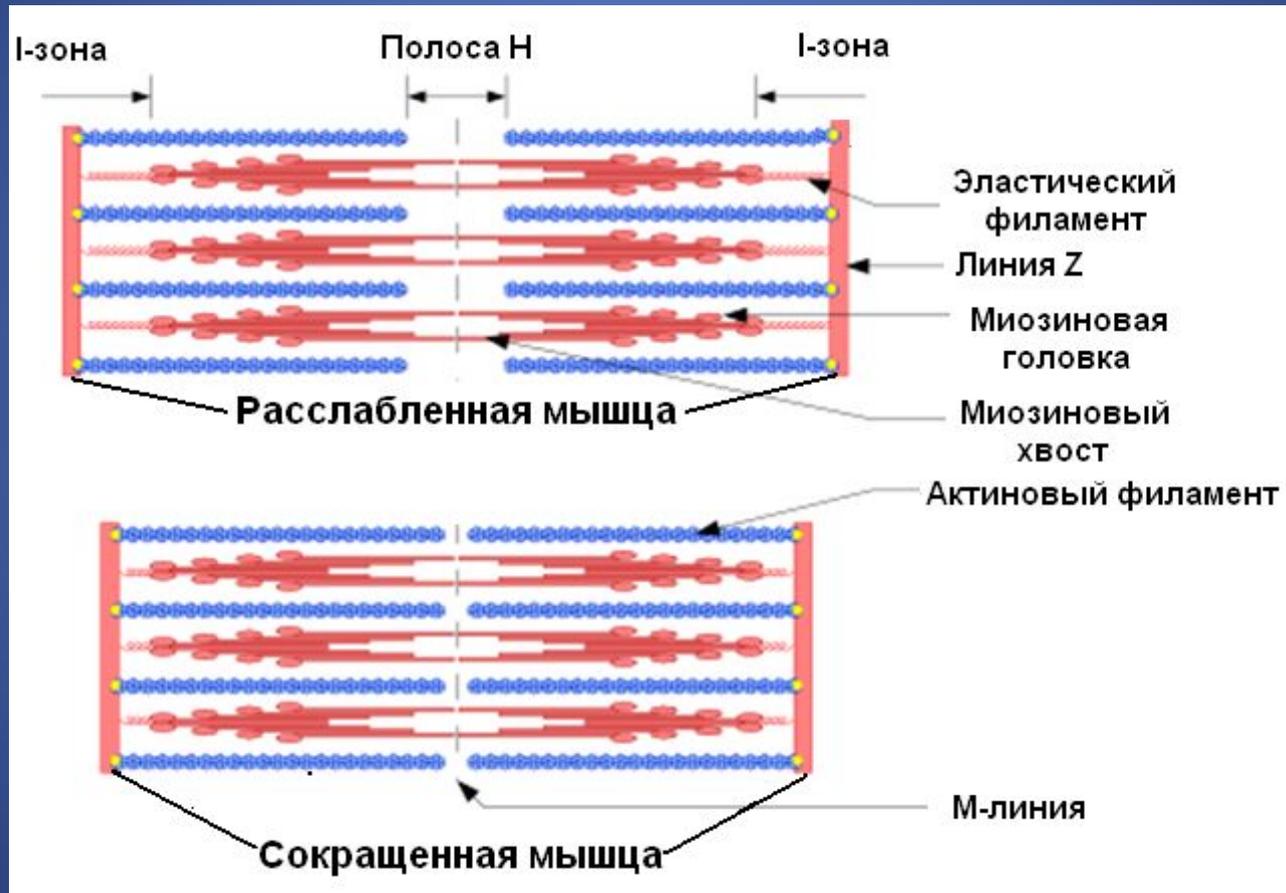
# Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного сокращения

## Последовательность взаимодействия актиновых и миозиновых нитей (микрофиламентов)



# Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна. Энергетика мышечного сокращения

## Мышца в расслабленном и сокращенном состоянии



# Контрактура

- Длительное, стойкое мышечное сокращение.
- После тетанического сокращения наблюдается кратковременная контрактура (причиной является наличие в саркоплазме высоких концентраций ионов  $Ca^{2+}$ , отсутствие АТФ).
- В результате воздействия ядов, либо в случае нарушения обменных процессов наблюдается длительная контрактура.

# Энергетика мышечного сокращения

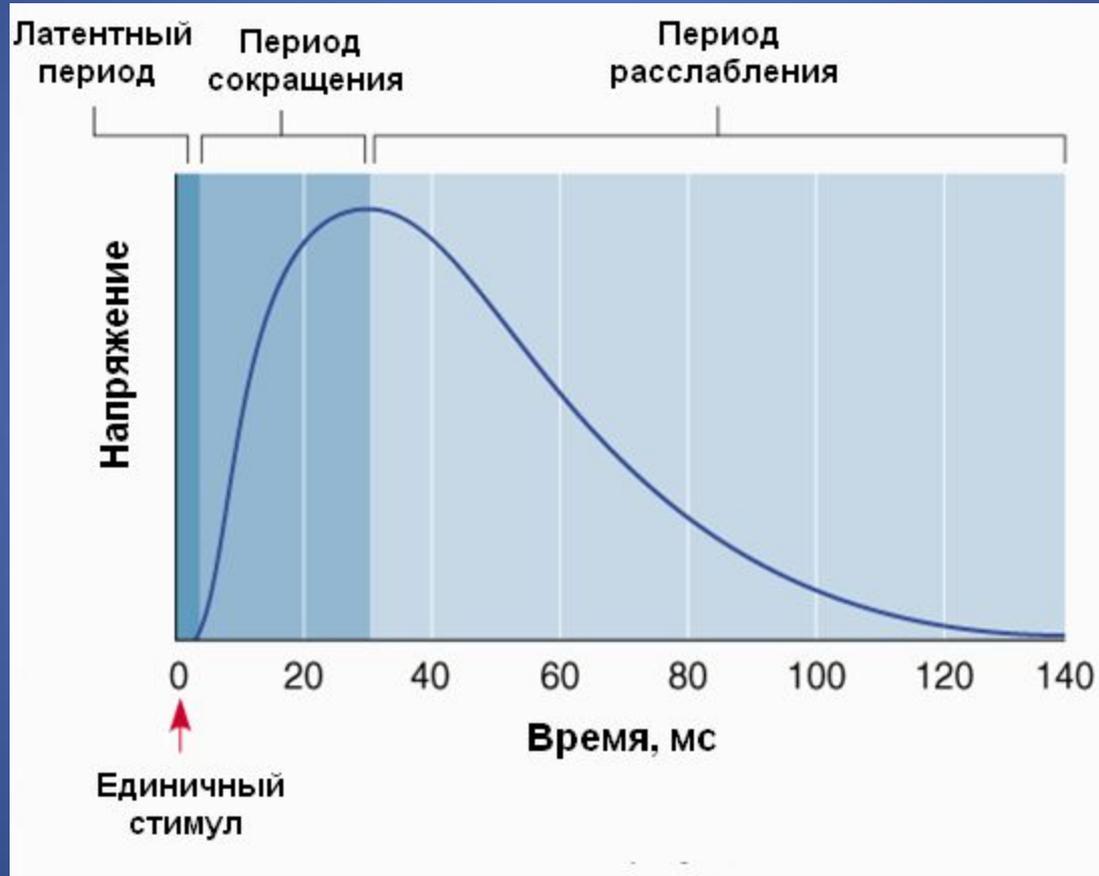
- АТФ
- Креатинфосфат (взаимодействие АДФ и креатинфосфата с образованием АТФ и креатина)
- Анаэробный гликолиз
- Аэробные реакции окисления углеводов и жиров

# Энергетика мышечного сокращения

- при расщеплении 1 моля АТФ выделяется 10 ккал энергии,
- 1 моля креатинфосфата – 10,5 ккал энергии, 1 моля глюкозы – около 700 ккал энергии,
- 1 моля жиров 2400 ккал энергии

# Режимы и виды сокращения мышц

## Фазы мышечного сокращения



# Режимы и виды сокращения мышц

## Виды мышечного сокращения



## Режимы мышечного сокращения

– **изотонический режим** – в данном случае выделяют два типа сокращения:

1) мышца находится в состоянии постоянного тонуса, мышца с одного конца закреплена, с другого конца свободно сокращается, нагрузка на мышцу отсутствует (работа мышцы языка);

2) на мышцу оказывается нагрузка, при этом длина мышцы изменяется, а напряжение остается постоянным (в чистом виде такой режим практически не встречается);

– **изометрический режим** – мышца находится в состоянии напряжения, при этом длина ее не изменяется (скольжения актиновых и миозиновых нитей не происходит), так как мышца закреплена с обоих концов (статическая работа);

– **ауксотонический (смешанный) режим** – длина и напряжение мышцы изменяются, мышца сокращается (выполнение динамической работы.)

# Сокращение гладких мышц

- Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  поступает в цитоплазму миоцита из СР и межклеточного пространства.
- Кальмодулин, содержащий четыре Са-связывающих центра
- Фермент миозина –  
“киназа легких цепей миозина” (КЛЦМ).

# Сокращение гладких мышц

