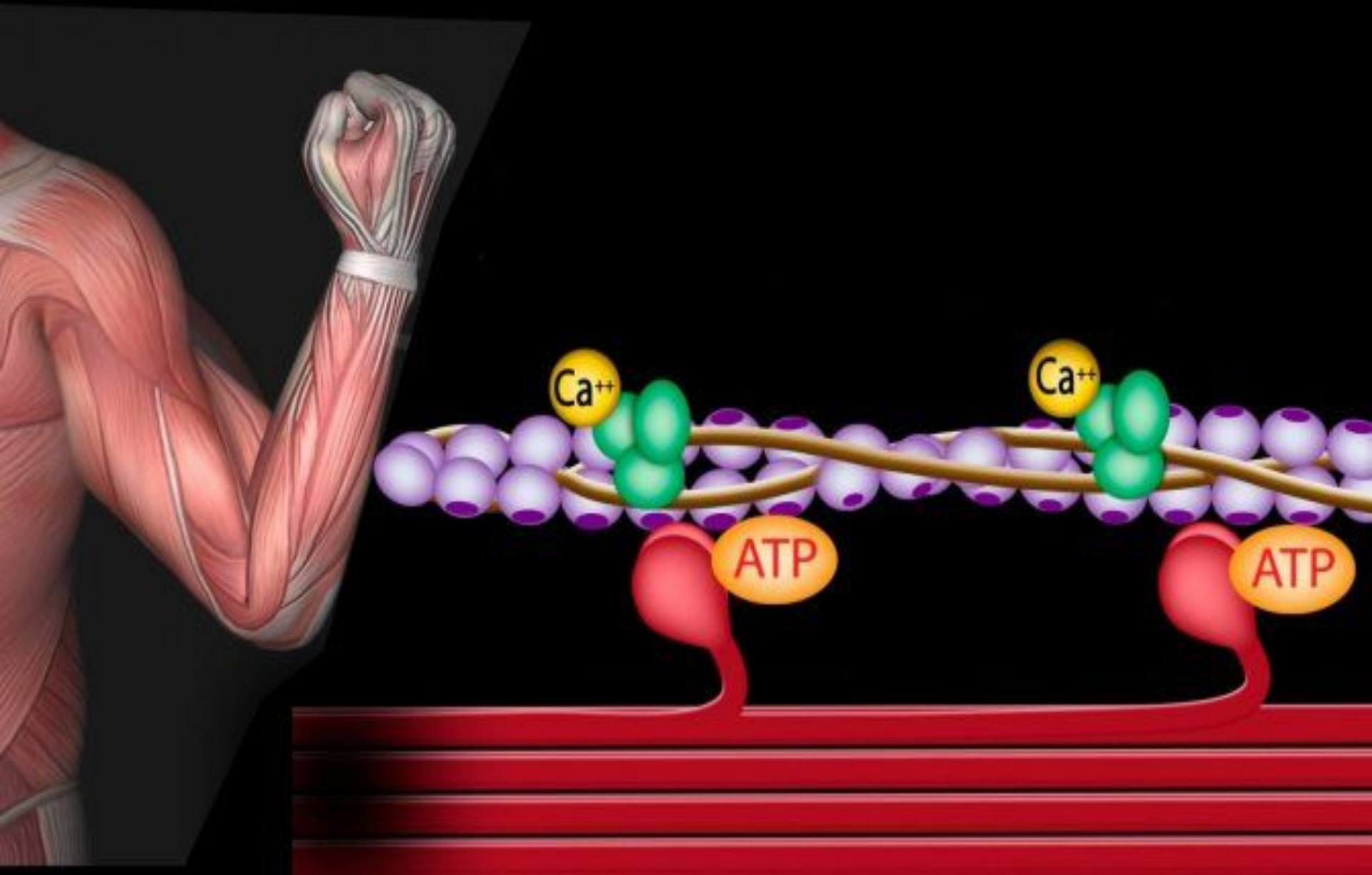


Физиология мышц



Дагестанский государственный медицинский университет

Кафедра нормальной физиологии

доц. А.Х. Измайлова

Тема лекции:

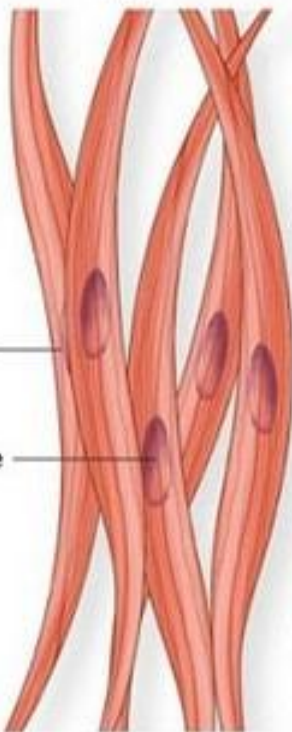
- Физиология мышечной ткани;
- Виды и механизм мышечных сокращений;
- Сила, работа и утомление мышц.



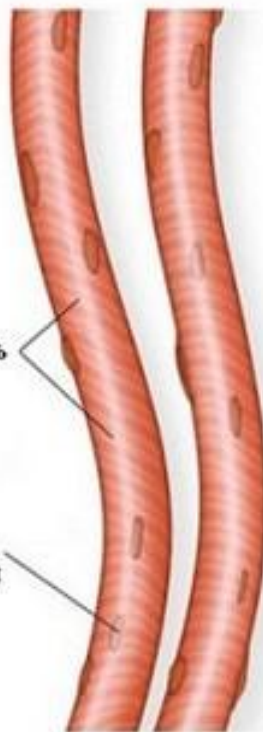
Виды мышц

- Мышечные ткани — это ткани, отличающиеся по структуре и происхождению, но все они обладают общей способностью сокращаться.
- По морфофункциональным особенностям выделяют следующие виды мышечной ткани: 1) поперечно-полосатая скелетная; 2) поперечно-полосатая сердечная; 3) гладкая.

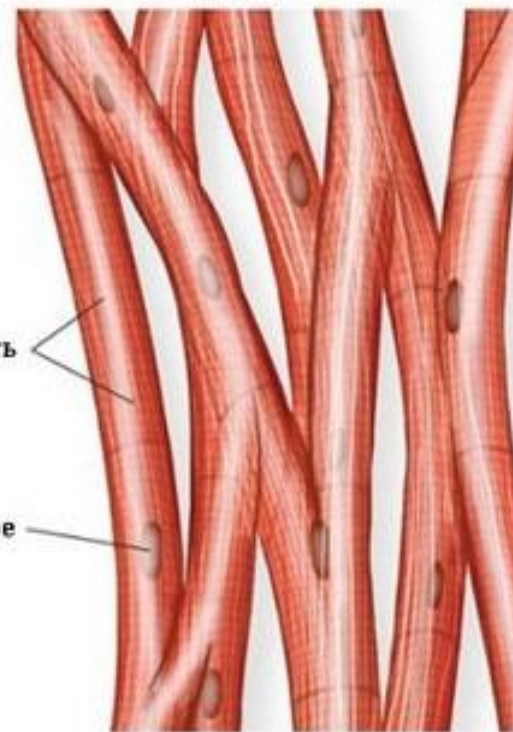
Гладкая



Скелетная



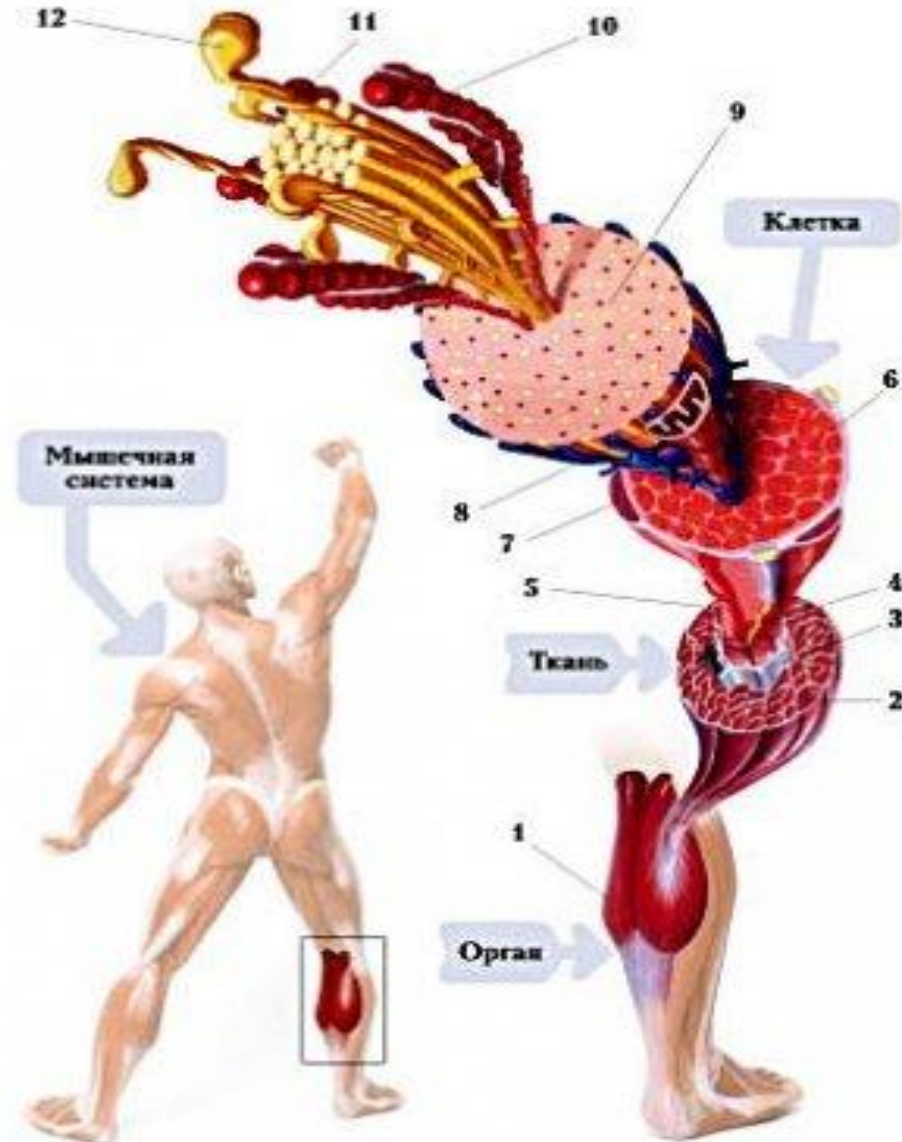
Сердечная



- **Поперечно-полосатые мышцы** скелета являются активной частью опорно-двигательного аппарата, который помимо мышц включает кости, связки, сухожилия.

- В результате сократительной деятельности скелетных мышц выполняются следующие **функции** в организме:

- а) передвижение организма в пространстве;
- б) перемещение частей тела относительно друг друга;
- в) поддержание позы тела в пространстве;
- г) выработка тепла и участие в терморегуляции.



Физические и физиологические свойства скелетных мышц

- **Возбудимость** - способность отвечать на раздражитель возбуждением (формированием ПД).
- **Проводимость** - способность к проведению ПД вдоль всего волокна.
- **Сократимость** - способность сокращаться и изменять напряжение при возбуждении.
- **Лабильность** - функциональная подвижность; лабильность скелетных мышц в пределах 100-200 Гц.
- **Растяжимость** - способность мышцы изменять длину под действием растягивающей силы.
- **Эластичность** - способность мышцы возвращаться к исходной длине после прекращения действия растягивающей силы.

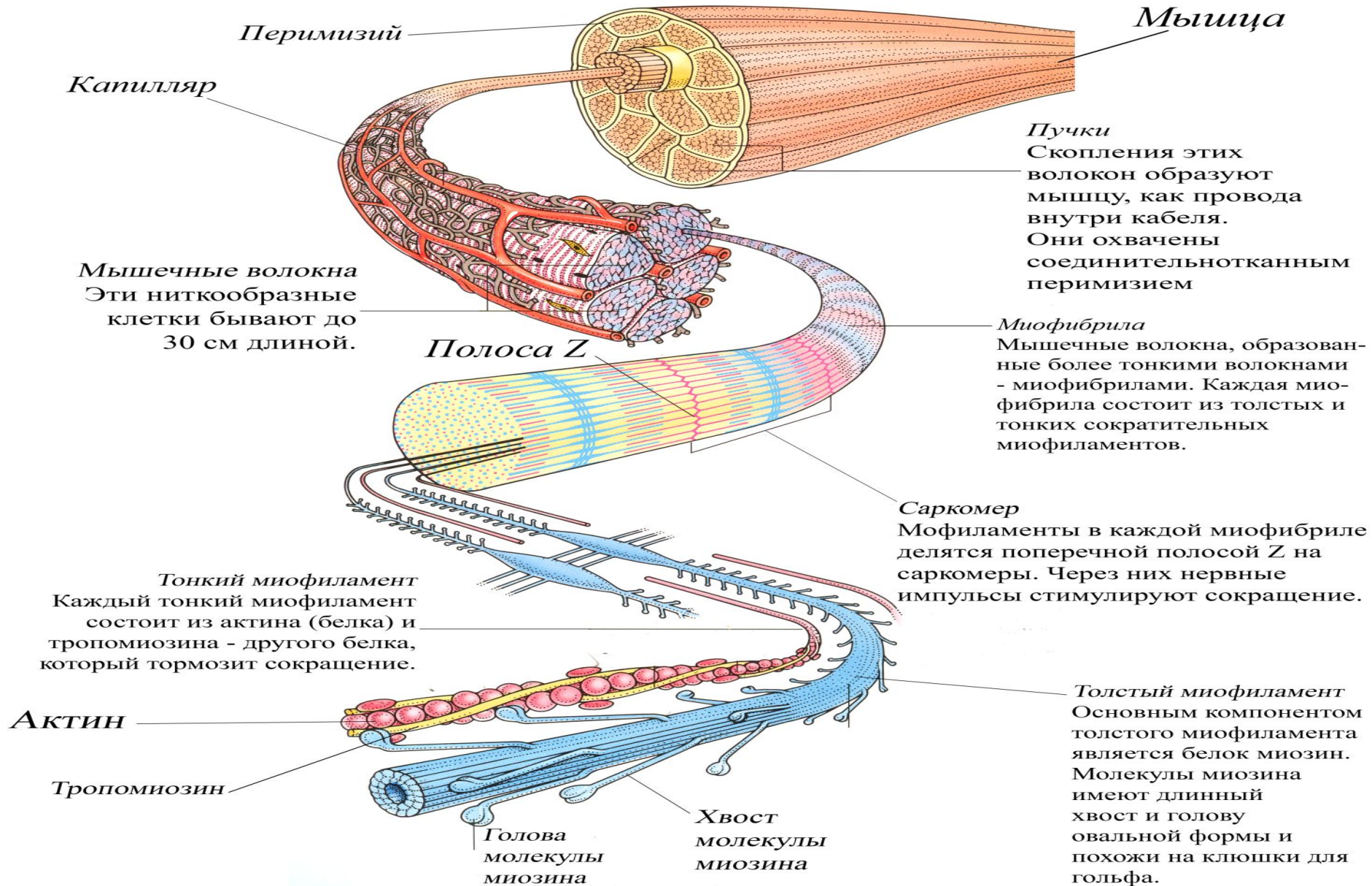
Нервно-мышечная передача

1. Как правило, на одном мышечном волокне находится один нервно-мышечный синапс (концевая пластинка).
2. Химический медиатор - **ацетилхолин**, который выделяется нервным окончанием, взаимодействует с н-холинорецептарами постсинаптической мембраны.
3. В результате диффузии Na^+ возникает деполяризация постсинаптической мембраны - потенциал концевой пластинки (ПКП).
4. Когда ПКП достигает критического уровня деполяризации (КУД) он переходит в распространяющееся возбуждение (ПД).
5. Один мотонейрон иннервирует от нескольких, до нескольких десятков мышечных волокон в составе одной мышцы, образуя **двигательную единицу**.
6. Регистрация биоэлектрической активности двигательных единиц лежит в основе метода **электромиографии** (ЭМГ), который позволяет оценить функциональное состояние мышцы.

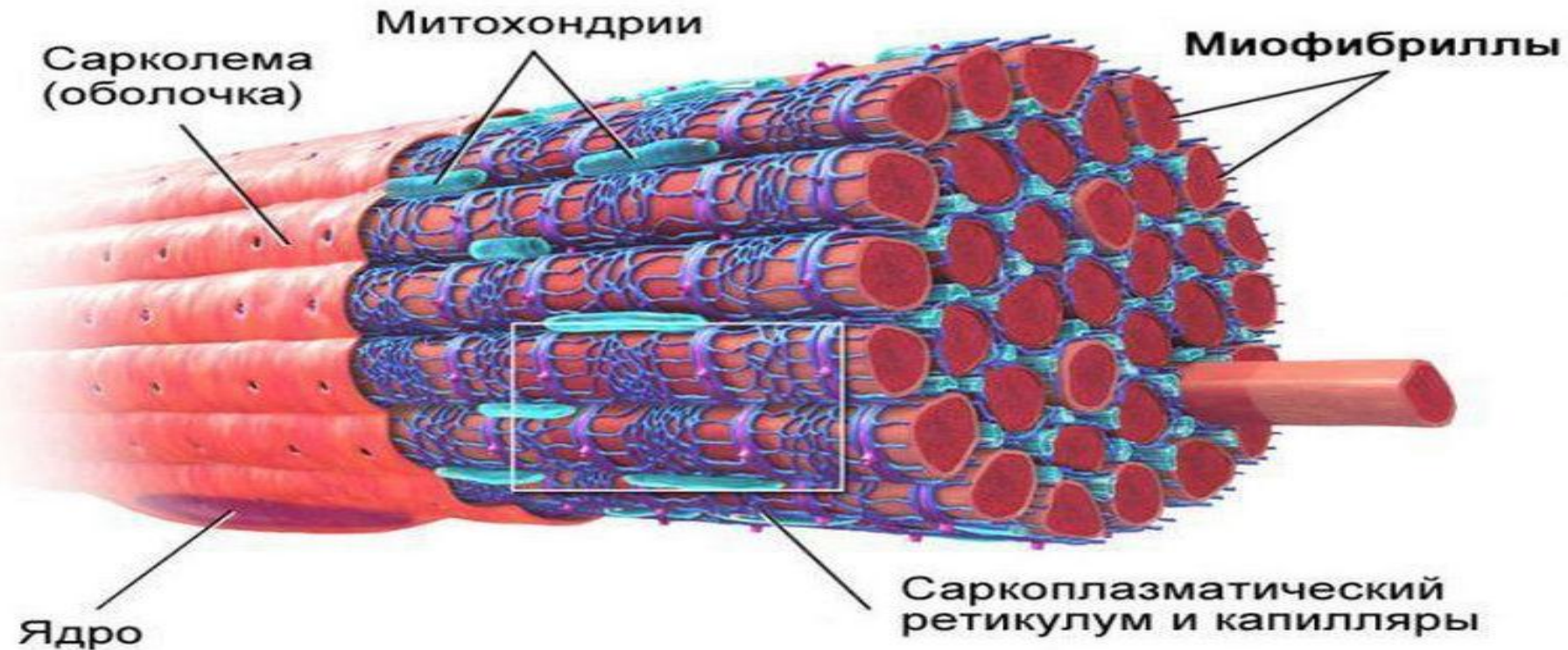
Структурно-функциональная характеристика

- Структурной и сократительной единицей поперечно-полосатой мышцы скелета является мышечное волокно.
- Мышцы состоят из множества мышечных волокон, которые заключены в общий соединительнотканый футляр; с помощью сухожилия они крепятся к скелету.
- В составе скелетной мышцы имеются быстрые и медленные мышечные волокна.
- Быстрые волокна обеспечивают быстрые фазные сокращения мышц и обладают повышенной утомляемостью (таких волокон, к примеру, много в мышцах глазного яблока).
- Медленные волокна имеют более продолжительный период сокращения и они более устойчивы к утомлению. В основном, из таких волокон состоят мышцы, длительно поддерживающие определенную позу.
- Большинство мышц организма человека состоят как из быстрых, так и медленных мышечных волокон.

Строение мышц



Структура мышечного волокна

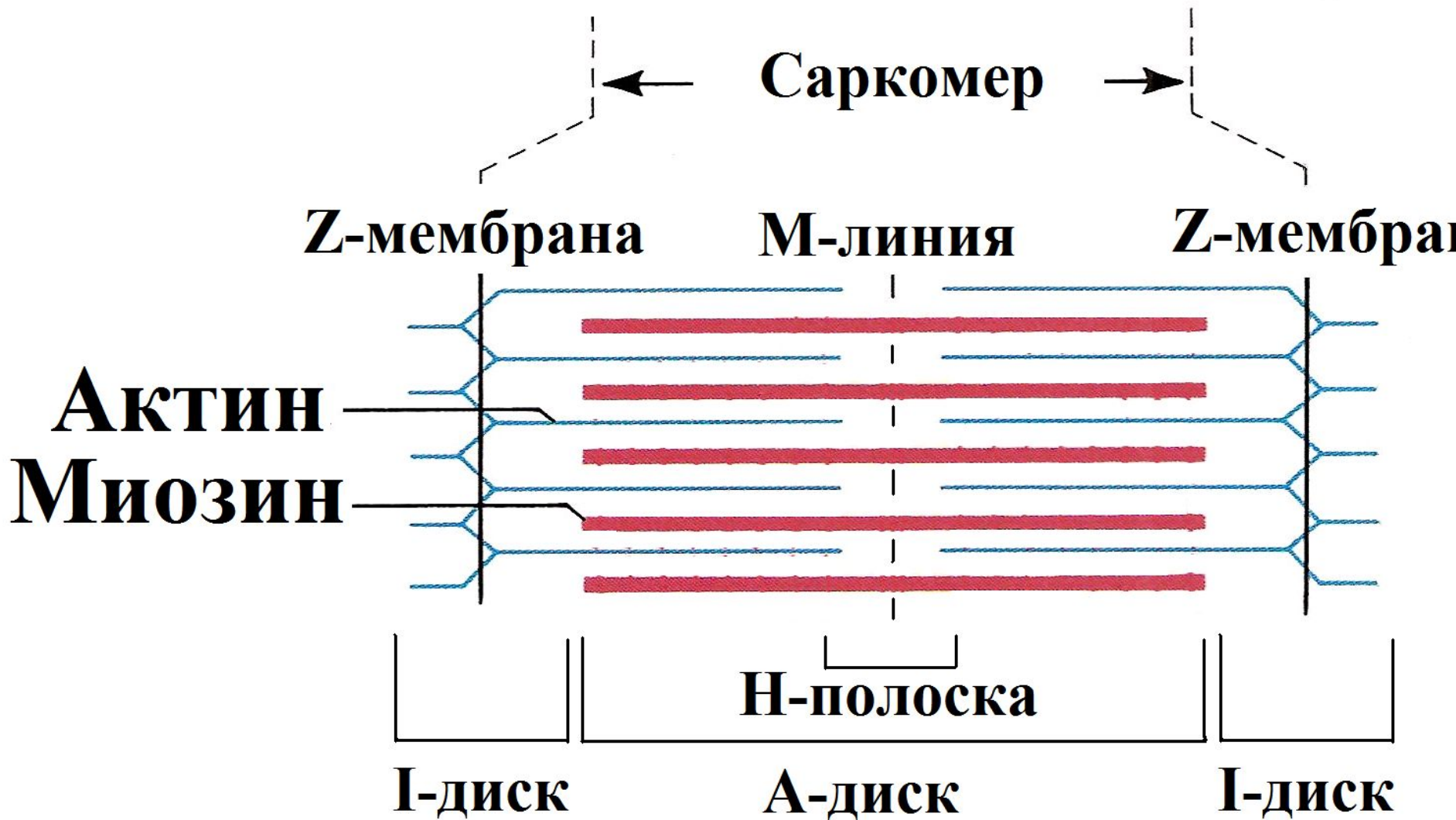


1. Мышечное волокно имеет мембранную оболочку - сарколемму.
2. Под оболочкой находится саркоплазма (цитоплазма) с большим количеством ядер, расположенных по периферии цитоплазмы, и сократительными нитями — миофибриллами.
3. Сарколемма имеет впячивания в саркоплазму, образуя систему поперечных трубочек - Т-система, которая обеспечивает быстрое распространение возбуждения от сарколеммы вглубь волокна.

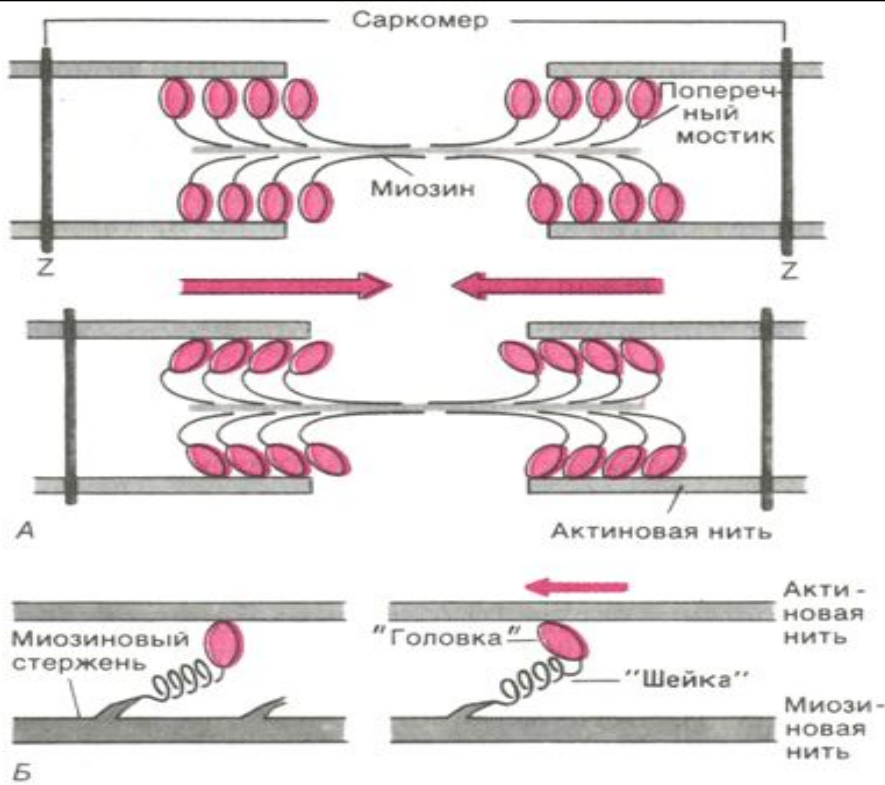
Структура мышечного волокна

- По бокам от каждой поперечной трубочки продольно располагаются цистерны саркоплазматического ретикулума (депо Ca^{++}).
- Сократительным аппаратом мышечного волокна являются миофибриллы, которые тянутся от одного конца мышечного волокна до другого.
- В одном мышечном волокне - более 2000 миофибрилл. В каждой миофибрилле до 2500 протофибрилл - тонких и толстых. Тонкие состоят из белка **актина**, толстые - из **миозина**.
- Миофибриллы состоят из чередующихся светлых (изотропных - I-дисков) и темных (анизотропных - A дисков) участков, которые придают поперечную исчерченность мышечному волокну.
- Комплекс из одного темного (A) и двух светлых (I) дисков, ограниченный тонкими Z-линиями, называется **саркомером**.
- Саркомер является функциональной единицей миофибриллы.

Строение миофибрилл



Механизм мышечного сокращения

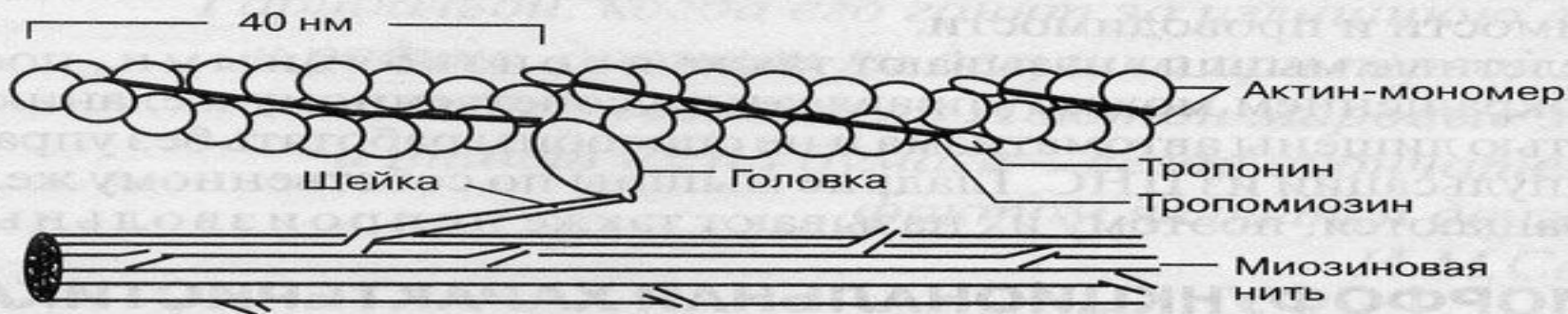


- Выход кальция запускает процесс взаимодействия актина с миозином.
- Совокупность процессов, обеспечивающих связь между возбуждением и сокращением мышечных волокон называется электромеханической связью.

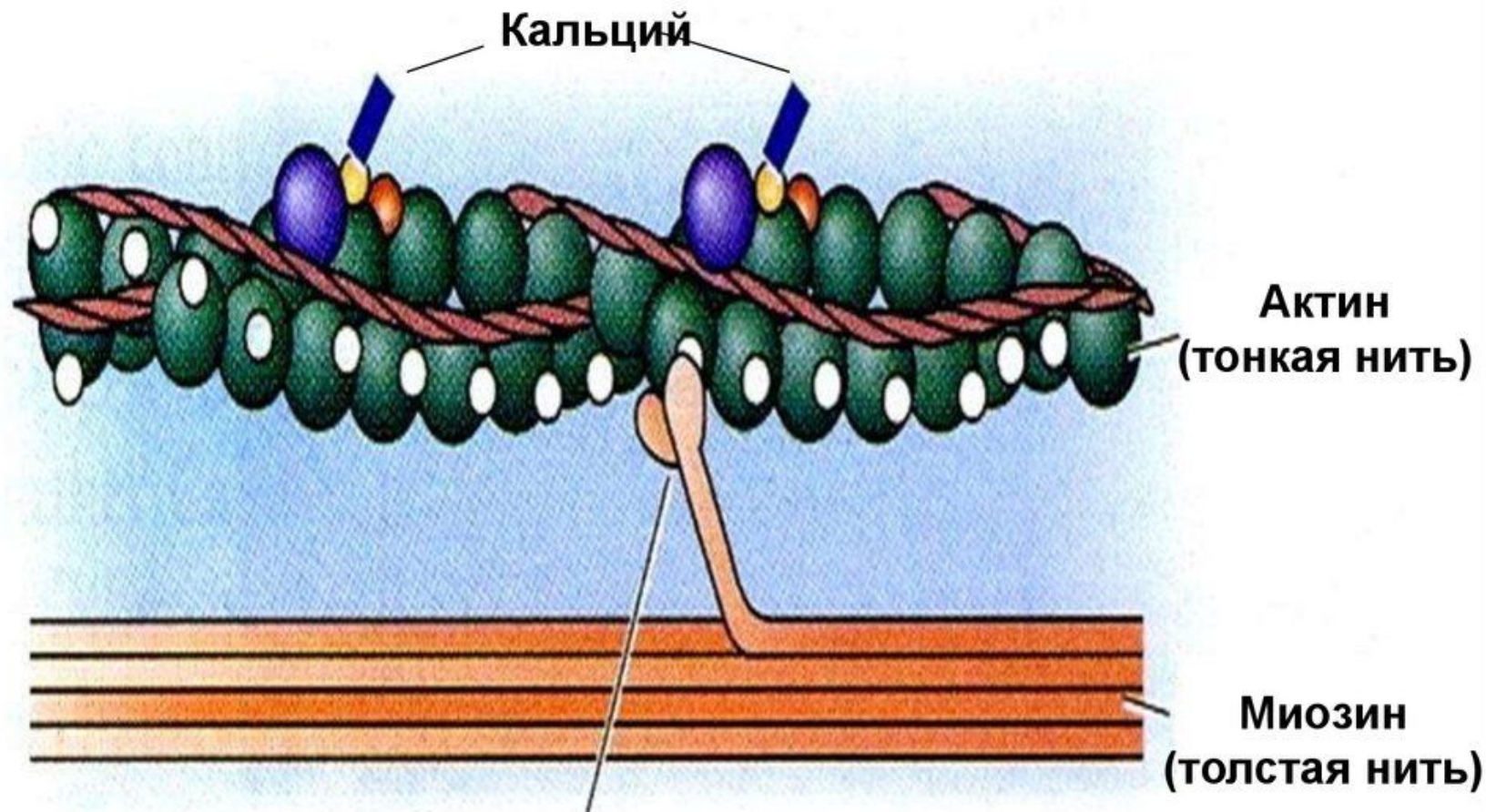
- На миозиновых нитях имеются выступы - поперечные мостики, которые состоят из головки и шейки;
- В расслабленном состоянии они не могут связаться с актиновыми нитями из-за особого расположения белка тропомиозина, который блокирует участки связывания (активные центры) на актине.
- При возбуждении мышечного волокна импульсный потенциал распространяется вдоль сарколеммы и вглубь волокна по Т-системе, способствуя деполяризации мембран цистерн саркоплазматического ретикулула.
- При этом Ca^{++} выходит из боковых цистерн в межфибрилярное пространство.

Теория «скользящих нитей»

- В 1954 году две группы исследователей - Х. Хаксли с Дж. Хэнсон и А. Хаксли с Р. Нидергерке, сформулировали теорию, объясняющую мышечное сокращение скольжением сократительных нитей.
- Как оказалось, в присутствии ионов Са и АТФ тропонин меняет свою конфигурацию и отодвигает нить тропомиозина на актиновых нитях, открывая участки связывания, на которых взаимодействует миозин.
- Соединение головки миозина с актином способствует её АТФазной активности и изменению пространственной ориентации.
- Происходит «гребковое» движение поперечных мостиков миозина и скольжение тонких актиновых нитей в промежутки между толстыми миозиновыми на один шаг, без изменения длины.
- Затем, мостик отрывается и происходит взаимодействие миозина уже на новом участке актиновых нитей. При каждом «гребковом» движении головки поперечного мостика расщепляется одна молекула АТФ.

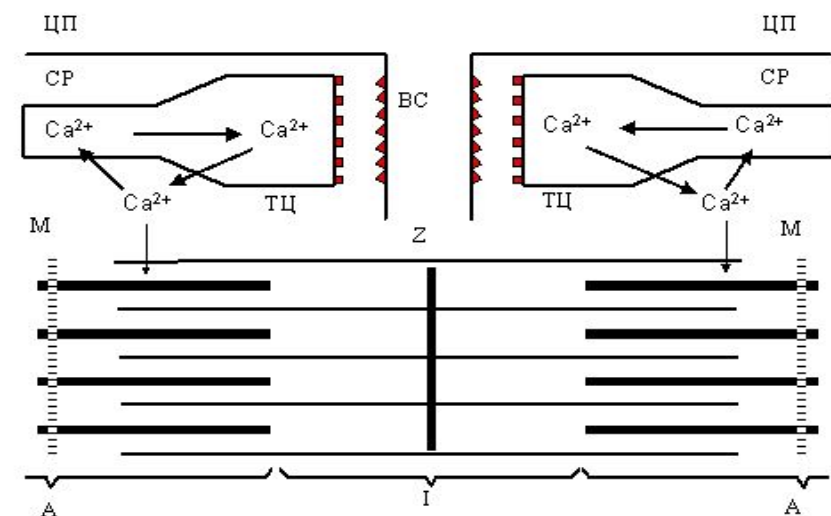


Взаимодействие актина и миозина



Головка миозина соединяется
с миозин-связывающим
участком актина

ЭТАПЫ СОКРАЩЕНИЯ



Возбуждение по системе Т-трубочек быстро проникает во внутрь волокна, переходит к продольной системе и вызывает высвобождение ионов Ca^{2+} из саркоплазматического ретикулума. Расслабление происходит за счет активации Са-насоса, который обеспечивает вкачивание ионов Са в цистерны.

1. Переход возбуждения с нервного окончания на мембрану мышечного волокна.
2. При этом ПД распространяется вдоль и вглубь мышечного волокна по поперечным трубочкам.
3. Деполяризация мембраны саркоплазматического ретикулума и выброс ионов Ca^{++} в межфибрилярное пространство.
4. Связывание ионов Са с тропонином. Конформационные изменения белков тропонин-тропомиозин и высвобождение активных центров актина.
5. Контакт поперечных мостиков миозина с актином, с высвобождением энергии АТФ и скольжение актиновых и миозиновых нитей.

На что расходуется энергия АТФ?

Роль АТФ в мышечном сокращении выявили наши отечественные ученые В.А. Энгельгардт и М.Н. Любимова, которые в 1939 г. доказали, что миозин обладает свойствами фермента АТФазы.

Таким образом, энергия АТФ в скелетной мышце используется для трех процессов:

1. - Работы натрий-калиевого насоса, обеспечивающего градиент концентрации этих катионов по обе стороны мембраны.
2. - Процесс скольжения актиновых и миозиновых нитей, приводящий к укорочению миофибрилл.
3. - Работы кальциевого насоса, который способствует «вкачиванию» катионов Ca^{++} в цистерны саркоплазматического ретикулума (против концентрационного градиента).

При снижении концентрации Ca^{++} в саркоплазме взаимодействие миозина с актином прекращается и происходит расслабление мышечного волокна.

Ресинтез АТФ осуществляется двумя основными путями:

1. Ферментативный перенос фосфатной группы от креатинфосфата на АДФ (в течение тысячных долей секунды, т.к. запасы КФ значительно больше в клетке, чем запасы АТФ);
2. Гликолитические и окислительные процессы в покое и активной мышце (медленный ресинтез АТФ через окисление молочной и пировиноградной кислот).

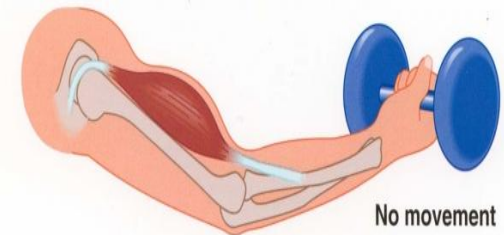
Нарушение ресинтеза АТФ ядами ведет к полному исчезновению АТФ и креатинфосфата, вследствие чего кальциевый насос перестает работать. Концентрация Ca^{2+} в области миофибрилл значительно возрастает и мышца приходит в состояние длительного необратимого укорочения. Это состояние называется контрактурой.

ТИПЫ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- а) **изометрическое сокращение** характеризуется постоянством длины мышцы, так как оба конца ее неподвижно закреплены. В этом случае сокращение происходит за счет повышения тонуса (напряжения) мышцы.
- б) **изотоническое сокращение** - это сокращение мышцы, при котором мышечные волокна укорачиваются, но напряжение (тонус) остается постоянным.
- с) **ауксотонический (смешанный)** тип мышечного сокращения - происходит чаще всего в естественных условиях. При этом сокращении уменьшается длина и повышается тонус мышцы.

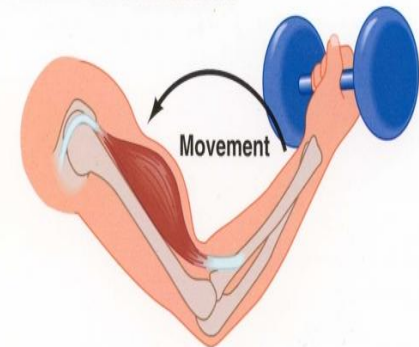
Isometric contraction

Muscle contracts
but does not shorten



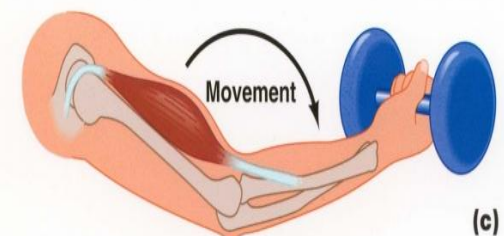
(a)

Concentric contraction



(b)

Eccentric contraction



(c)

Одиночное мышечное сокращение

• Воздействие на мышцу одиночного стимула вызывает одиночное сокращение, в котором выделяют три фазы:

- 1) **латентный период** - от начала действия раздражителя до появления видимого сокращения;
- 2) **фаза сокращения** - от начала сокращения до его максимума;
- 3) **фаза расслабления** - от максимума сокращения до восстановления начальной длины мышцы.



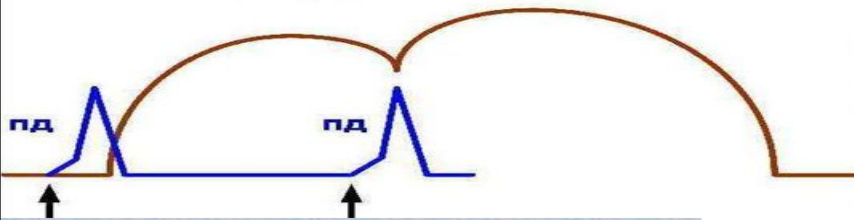
Суммация сокращений и тетанус

- При нанесении на мышцу нескольких раздражений, быстро следующих друг за другом возникает **суммация** мышечных сокращений;
- Для возникновения суммации необходимо, чтобы интервал между раздражениями был больше латентного периода, но меньше всего периода сокращения мышцы.
- При этом могут произойти два вида суммации - **неполная**, если раздражитель подействовал на мышцу в фазе расслабления, или **полная** суммация - если раздражитель нанесен в фазе сокращения (укорочения) мышцы.

Частичная и полная суммация

НЕПОЛНАЯ СУММАЦИЯ:

второй стимул поступает к мышце в фазу расслабления

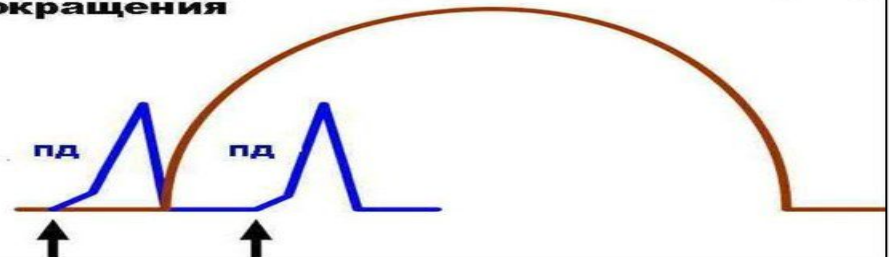


• Неполная суммация возникает, когда раздражение наносится на мышцу, когда она уже начала расслабляться.

• Полная суммация возникает, когда повторное раздражение действует на мышцу до начала периода расслабления, т.е. в конце периода укорочения

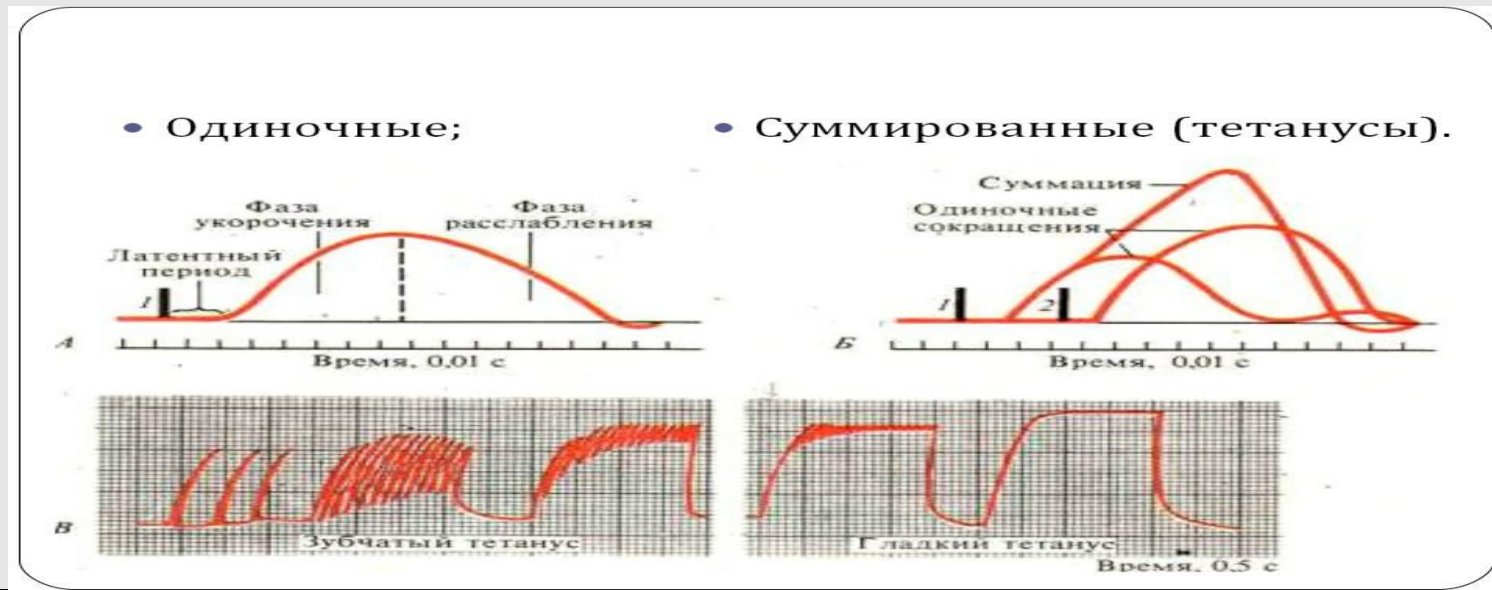
ПОЛНАЯ СУММАЦИЯ:

второй стимул поступает к мышце в фазу сокращения

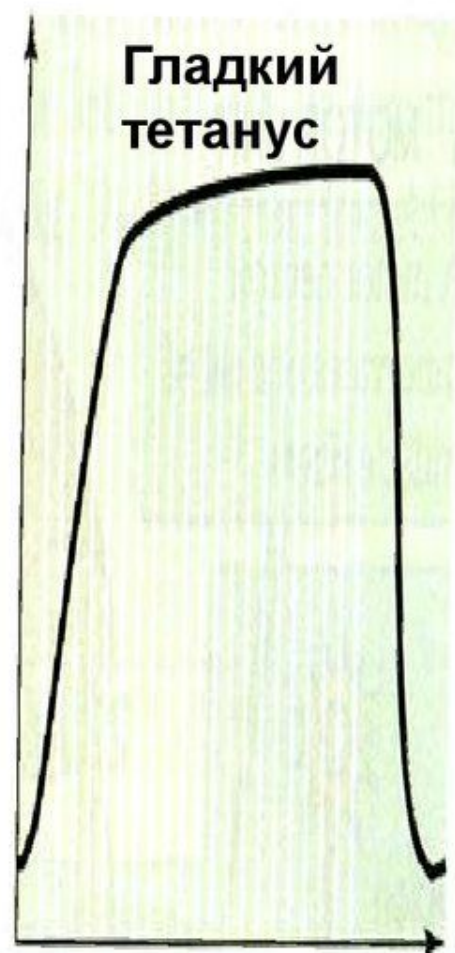
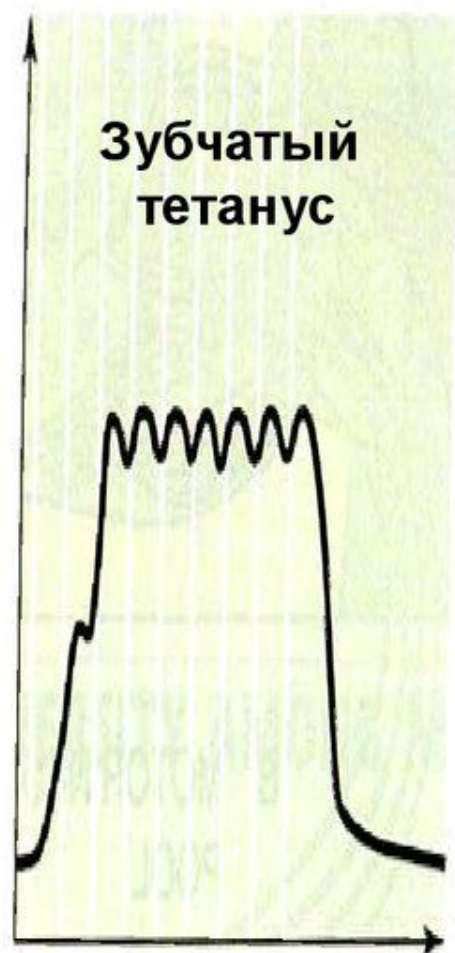
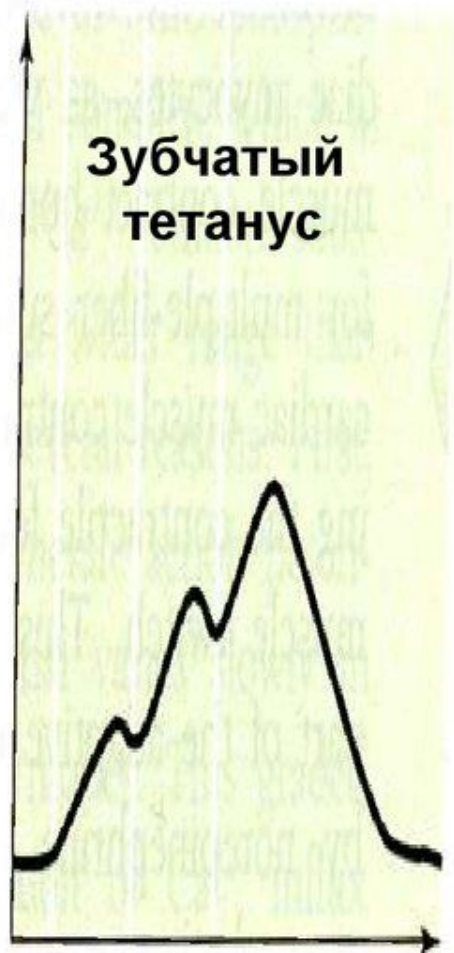
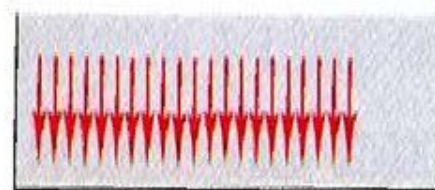
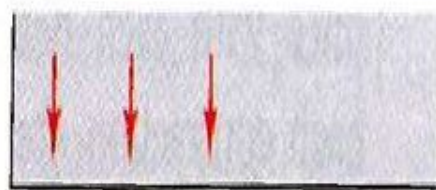
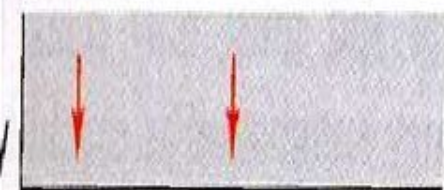


Суммация сокращений и тетанус

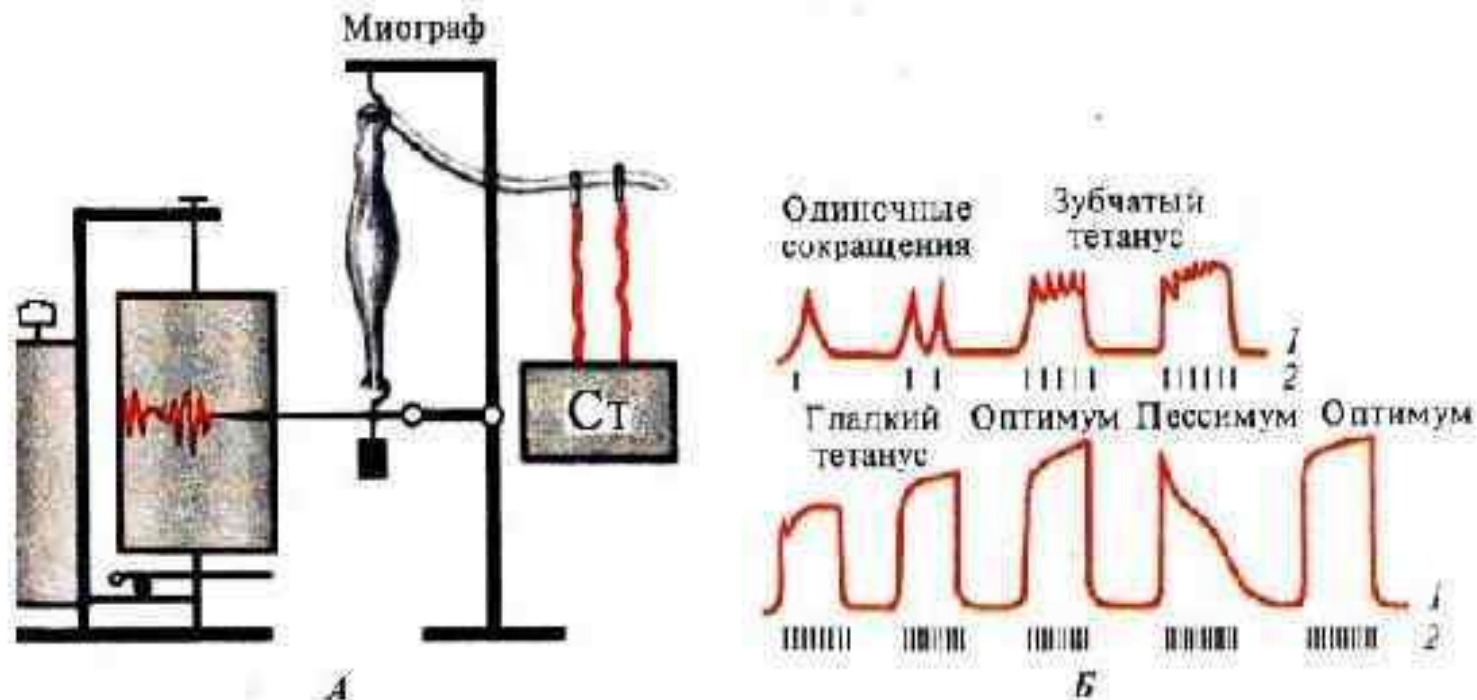
- В естественных условиях к скелетной мышце из ЦНС поступают не одиночные нервные импульсы, а серии импульсов, на которые мышца отвечает длительным сокращением;
- Такое длительное, непрерывное сокращение мышцы, возникающее в ответ на её ритмическое раздражение - называется **тетаническим** или **тетанусом**.
- Различают 2 вида тетануса: зубчатый и гладкий ;
- **Зубчатый** тетанус возникает при таком раздражении мышцы, когда каждый последующий импульс поступает к ней в фазу расслабления (т.е. в его основе лежит эффект **неполной** суммации);
- При **гладком** тетанусе - импульсы поступают в фазу сокращения (эффект **полной** суммации мышечных сокращений).



Виды мышечного сокращения



Оптimum и пессимум (по Н. Введенскому)



Примечание. Явления пессимума и параболы возможны в условиях эксперимента.

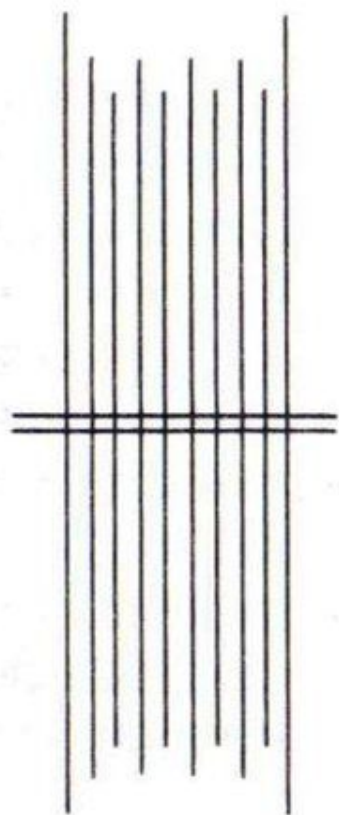
А — схема регистрации;

Б — кривые мышечных сокращений (1) при различной частоте раздражении (2)

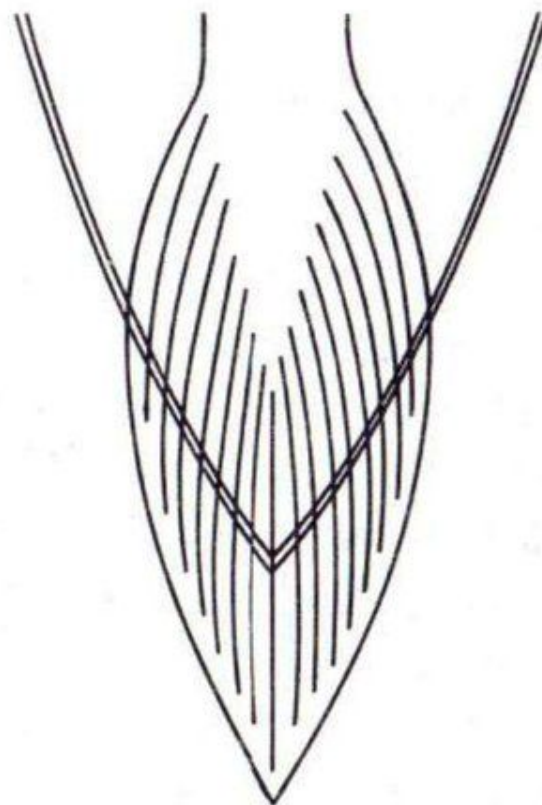
Сила, работа и утомление мышц

- Величина сокращения мышцы при данной силе раздражения зависит как от ее морфологических свойств, так и от физиологического состояния.
- **Сила мышцы** - это максимальный груз, который мышца подняла или максимальное напряжение, которое она развивает при сокращении.
- Чем больше физиологическое поперечное сечение мышцы, тем большую силу она может развивать.
- **Физиологическое поперечное сечение** - это сумма поперечных сечений всех волокон, которые составляют мышцу. Оно совпадает с геометрическим сечением только в мышцах с продольно расположенными мышечными волокнами.
- У мышц с косым расположением волокон (перистая мышца) физиологический поперечник значительно превосходит геометрический. Эти мышцы развивают большую силу при своем сокращении.
- Измеряется сила мышцы в кг специальным прибором - **динамометром**.
- На нашей кафедре представлены 2 вида динамометров: кистевой (ручной) - для измерения суммарной силы мышц кисти руки и становой - для измерения силы мышц разгибателей спины.

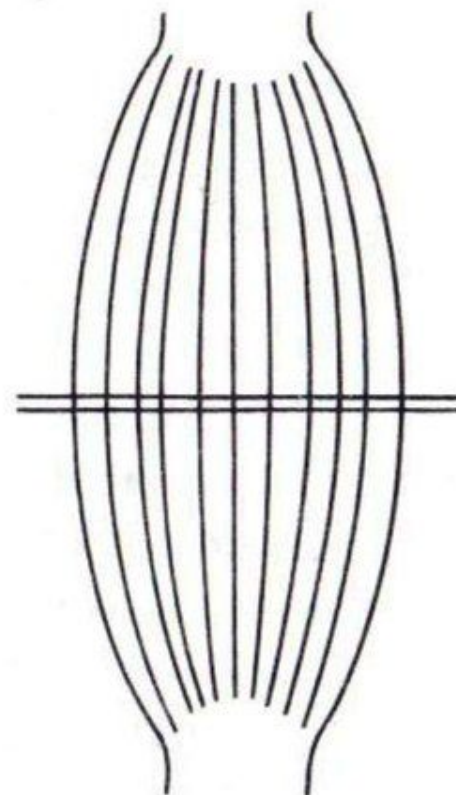
Сила мышц зависит от их физиологического сечения



А



Б



В

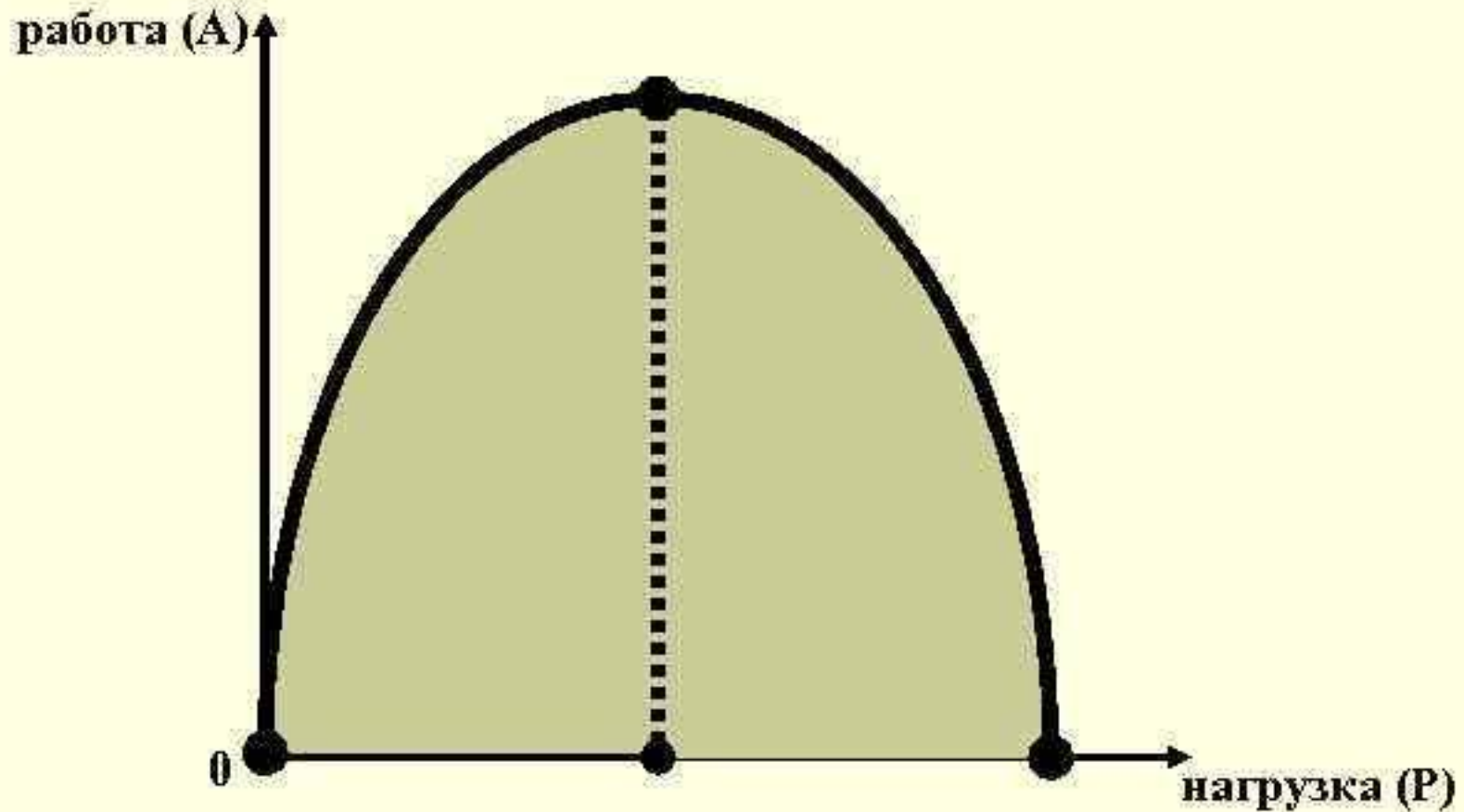
Динамометрия - метод определения силы мышц



Работа мышцы. Закон «средних нагрузок»

- **Работа мышцы** - это произведение поднятого груза на величину её укорочения ($A = F \times S$).
- Различают статическую и динамическую работу.
- **Статическая** работа совершается в режиме изометрического сокращения мышц и при больших нагрузках быстро приводит к утомлению.
- **Динамическая** работа производится в режиме изотонического сокращения и менее утомительна.
- Мышечная работа зависит от нагрузки. Если мышца сокращается без нагрузки, то её внешняя работа равна нулю. По мере увеличения груза работа также сначала увеличивается, достигая максимума при средних нагрузках.
- По мере дальнейшего увеличения груза, выполняемая мышцей работа уменьшается. И, наконец, при большом грузе, который она не способна поднять, работа становится равной нулю.
- Закон **«средних нагрузок»** гласит: наибольшая работа мышцей выполняется ни при малых и ни больших нагрузках, а при средних.

Закон средних нагрузок



$$A = P \cdot h$$

РАБОТА МЫШЦ

**Статическая
работа мышц**
(в удерживании
частей тела в
определенном
положении,
сохранении позы,
удержании груза)



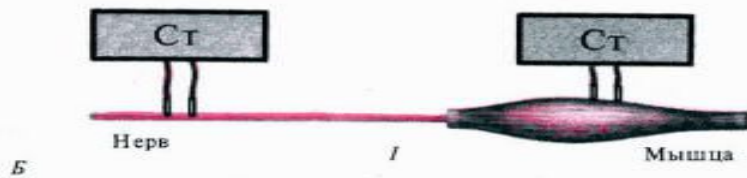
**Динамическая
работа мышц**
(перемещение
тела, груза в
пространстве)



Утомление мышцы

- **Утомление** мышцы - это временное снижение её работоспособности после длительной нагрузки и исчезающее после отдыха.
- **Признаками** наступившего утомления являются снижение амплитуды мышечного сокращения и увеличение продолжительности сокращения.

Утомление мышцы



Примечание. Опыт показывает локализацию утомления в мионевральном синапсе.

- А - кривая одиночного сокращения (а) и эргограмма (б) неустоленной и утомленной мышцы;
- Б - локализация утомления в нервно-мышечном аппарате:
- I - схема опыта.
- II - кривая утомления мышцы: а - утомление при раздражении нерва, который иннервирует мышцу; б - утомление при раздражении самой мышцы

Утомление мышцы

• Теории утомления стали возникать давно. Среди местных (локальных) известны:

а) теория «отравления» Пфлюгера (1872) - он объяснял наступление утомления засорением мышцы ядовитыми продуктами (обмена веществ);

б) теория «истощения» Шиффа (1868) - рассматривает утомление как недостаток в мышце питательных веществ (истощение запасов АТФ, КФ);

в) теория «удушения» Ферворна (1901), утомление - результат недостатка кислорода в мышце (кислородный «долг»).

На сегодняшний день доказано, что развитие утомления обусловлено целым рядом факторов (центральных, периферических), начиная с недостаточности кровообращения при мышечном утомлении и заканчивая изменением механизмов гомеостатической регуляции со стороны высших отделов ЦНС.

Дорогие студенты!

- Вопросами «утомления» мы завершаем с вами общую физиологию возбудимых тканей. Впереди не менее интересный раздел - «Физиология ЦНС».
- Главное, чтобы сам процесс освоения теории медицины был для вас интересен, вызывал много вопросов, заставлял думать, «ломать» голову, но ни в коем случае не доводил до утомления...
- Но если все же мы довели вас до утомления, как я своей презентацией, то вспомните теорию великого Ивана Сеченова, - что «активный отдых» - это лучший способ восстановления работоспособности вашего мозга.

Успехов в учебе и здоровья!

