

3. Строение, свойства и функции мышечной ткани.

У позвоночных животных различают три вида мышечной ткани:

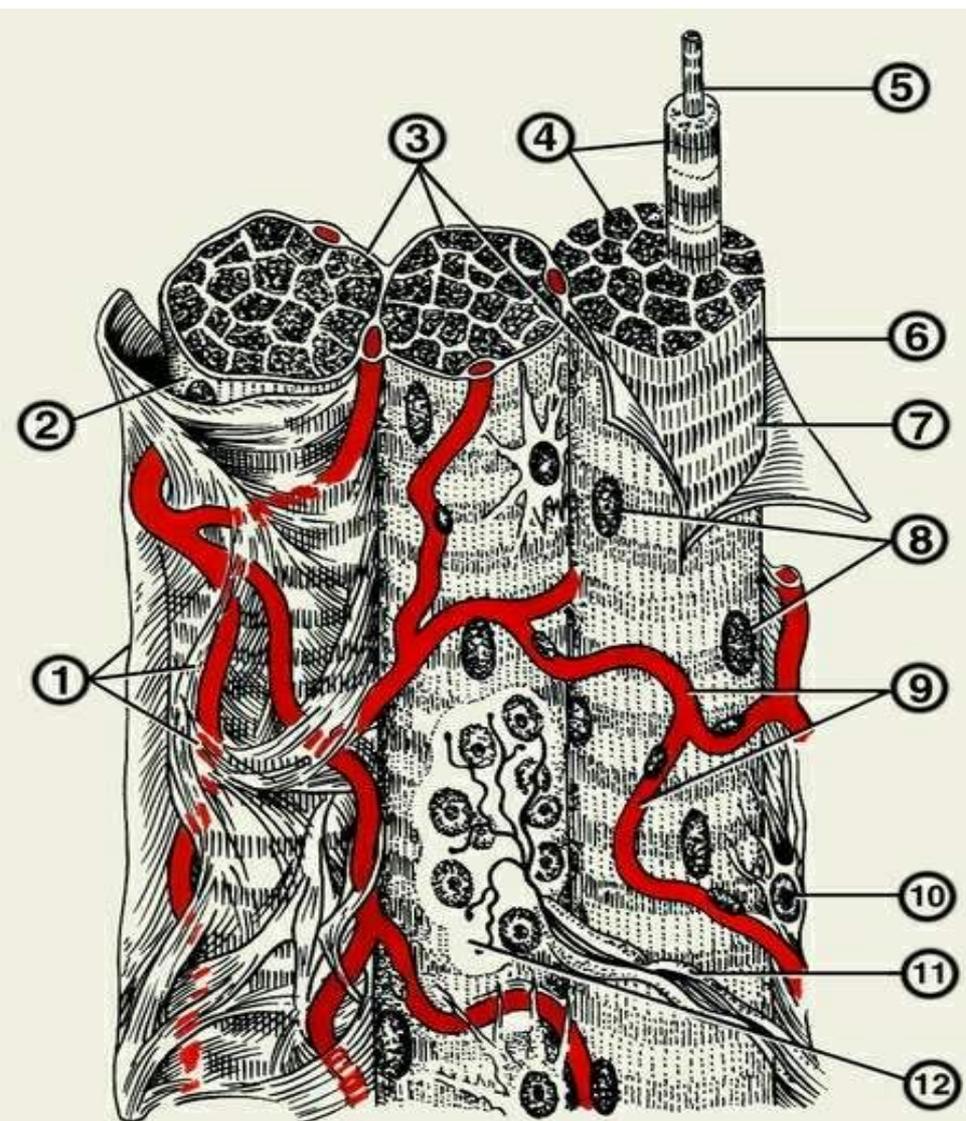
1. **скелетная поперечнополосатая мышечная ткань** (произвольная).

2. **поперечнополосатая сердечная ткань** (непроизвольная).

3. **гладкая мышечная ткань** внутренних органов, кровеносных сосудов, кожи (непроизвольная).

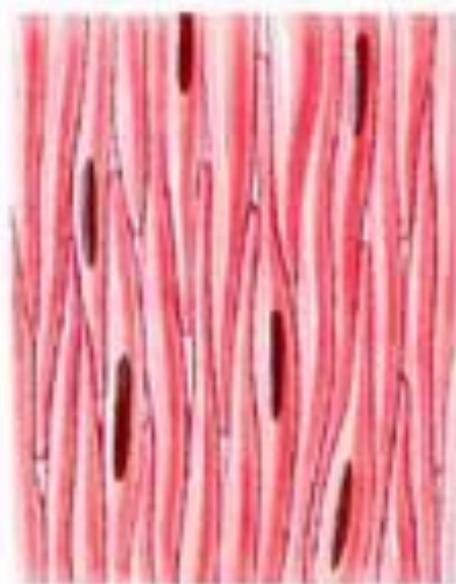
Скелетные мышцы состоят из мышечных волокон (клетки) диаметром от 20 до 100 мкм длиной 12-16 см. Каждое волокно покрыто оболочкой – **сарколеммой**, внутри – **саркоплазма** (протоплазматическое вещество) и многочисленные тонкие нити – **миофибриллы**, количество которых достигает 1000-2000 шт диаметром 0,5-2 мкм. Между

Схема строения поперечнополосатой мышечной ткани:



- 1 - ЭНДОМИЗИЙ;
- 2 - мышечные волокна;
- 3 - сарколемма;
- 4 - пучки миофибрилл;
- 5 - миофибрилла;
- 6 - анизотропный диск;
- 7 - изотропный диск;
- 8 - ядра;
- 9 - кровеносные капилляры;
- 10 - соединительнотканнные клетки ЭНДОМИЗИЯ;
- 11 - моторное нервное волокно;

Типы мышечной ткани



гладкая



поперечнополосатая

вставочные
диски



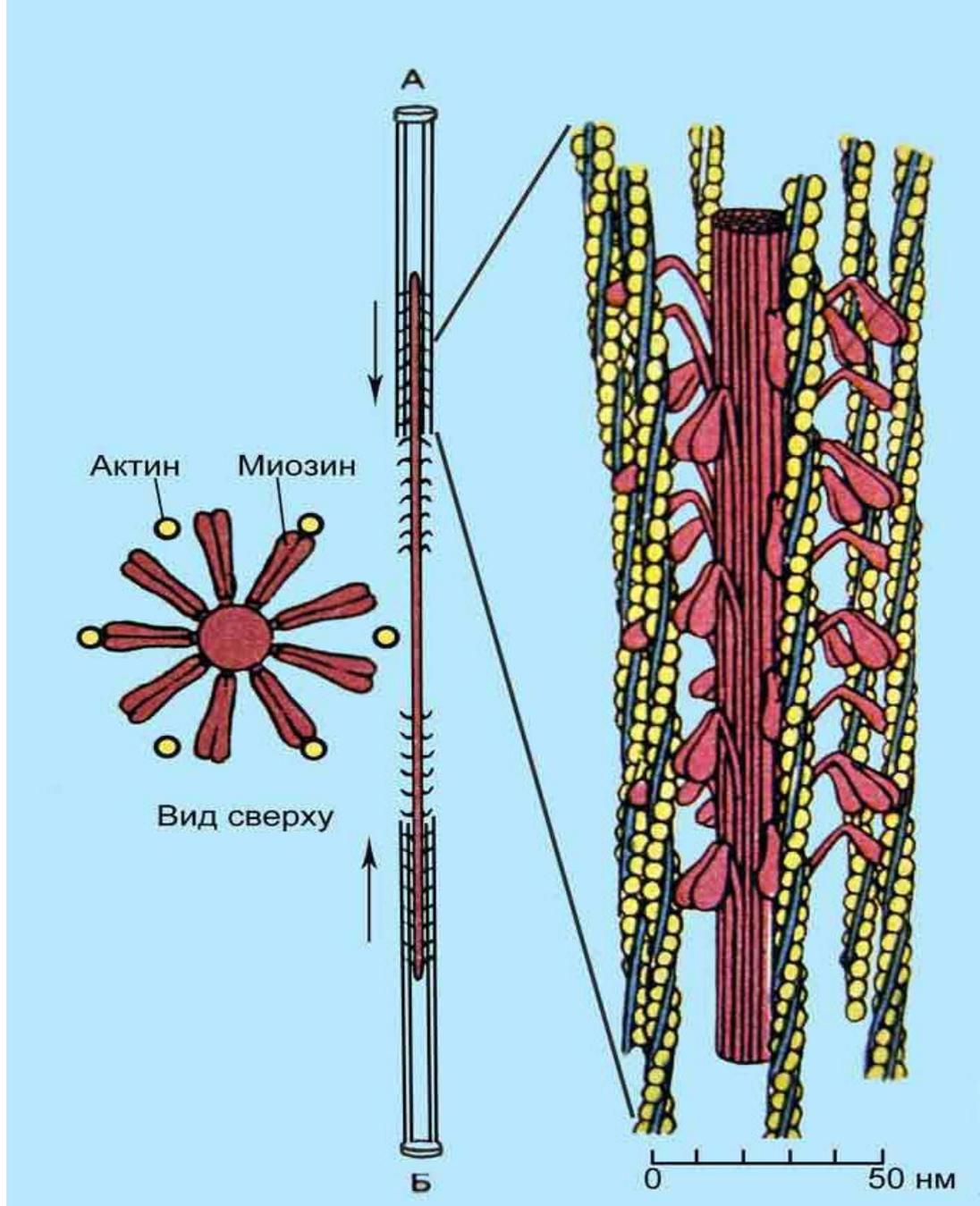
сердечная

Миофибриллы имеют исчерченность – это чередование тёмных и светлых сегментов.

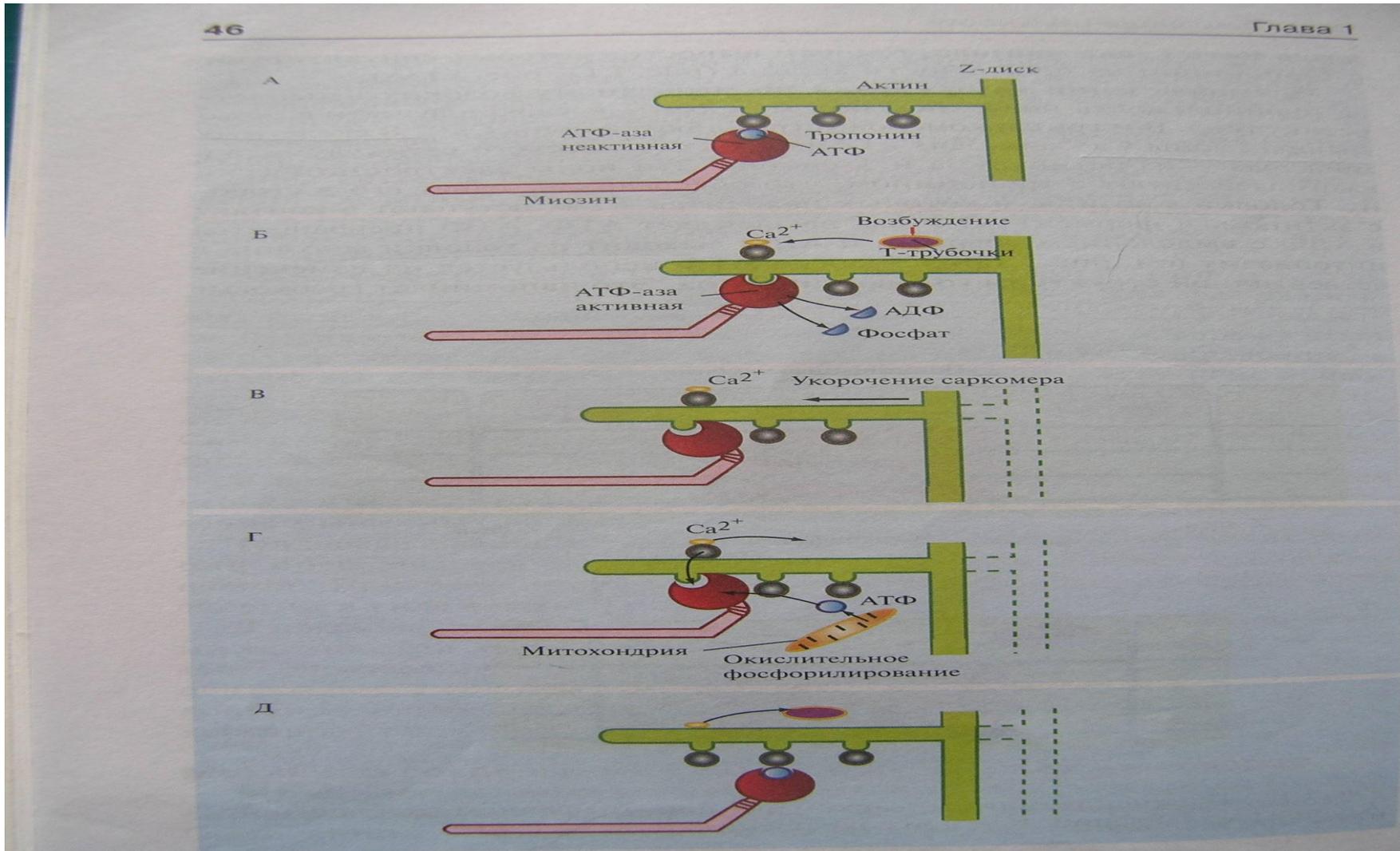
В структуру миофибрилл входят 2000-2500 **протофибрилл** (филаменты) в которых идет чередование молекул белка миозина – **анизотропные**, темные диски и молекул белка актина – **изотропные**, светлые диски.

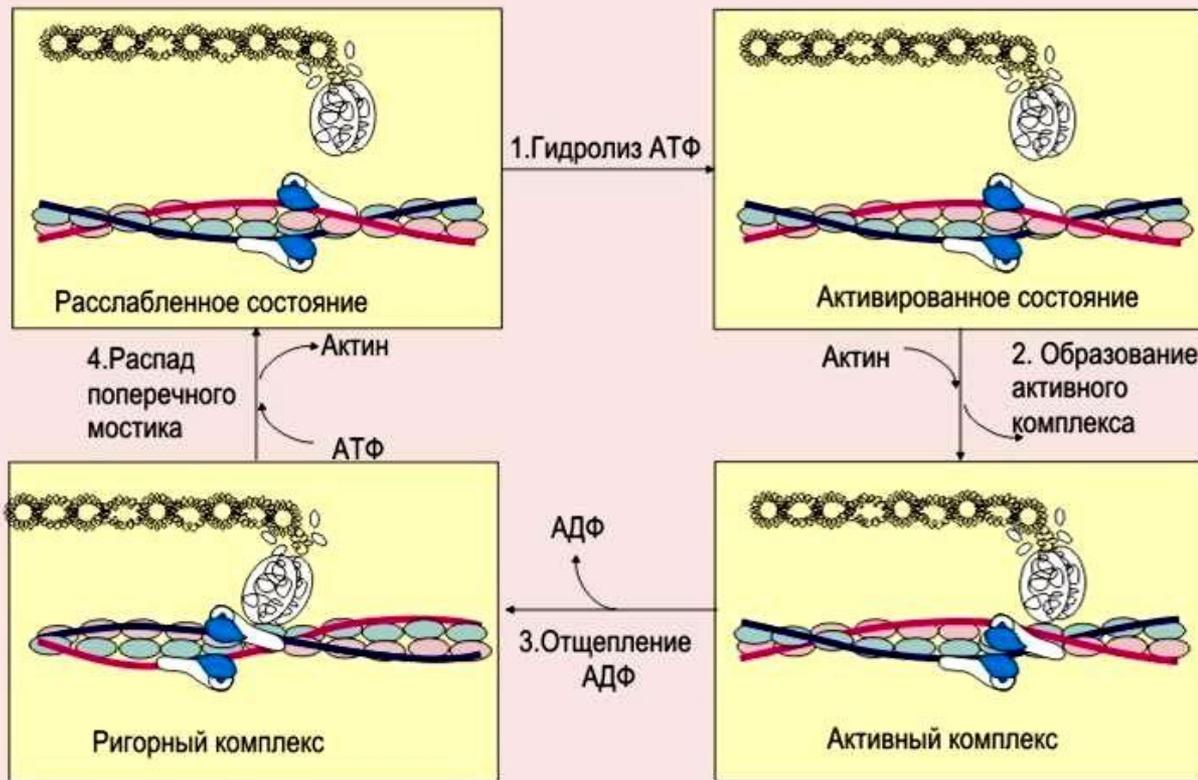
Функциональной и структурной единицей является **саркомер**. Это повторяющиеся в миофибриллах блоки светлых и тёмных дисков отделённых друг от друга Z-пластинками. Механизм сокращения мышц согласно **теории «скольжение нитей» Х. Хаксли и А. Хаксли** – есть перемещение актиновых нитей вдоль миозиновых к центру саркомера, при активном участии белков **тропомиозина, тропонина и ионов**

- **Пространственное взаимное расположение нитей актина и миозина**



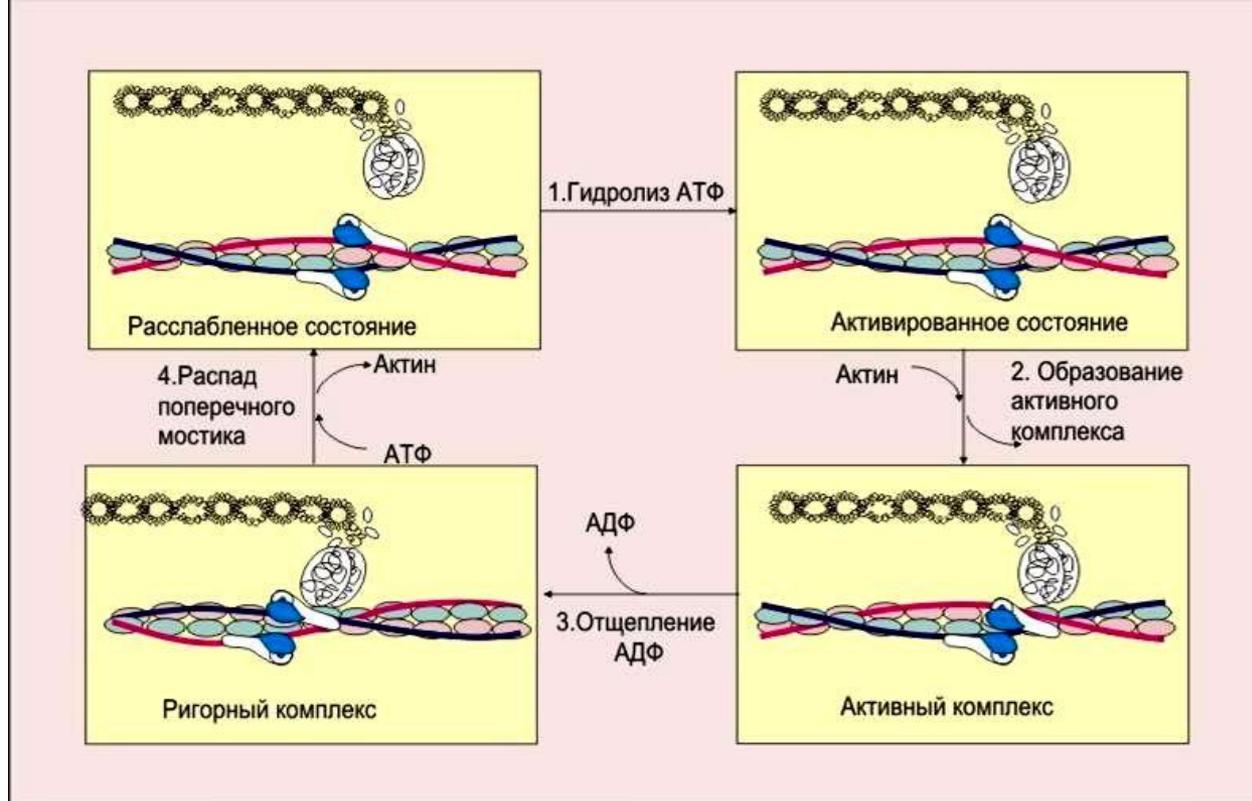
А-исходное состояние; Б-выход кальция, сдвиг тропонина; В-за счет АТФ разворот головки миозина; Г-кальций закачивается в Т трубочки и ретикулум, тропонин возвращается на место, АТФ заполняет головку миозина; Д-головка миозина контактирует с другой молекулой тропонина на актине.





При возбуждении мышечного волокна в саркоплазме резко возрастает содержание ионов Ca^{2+}

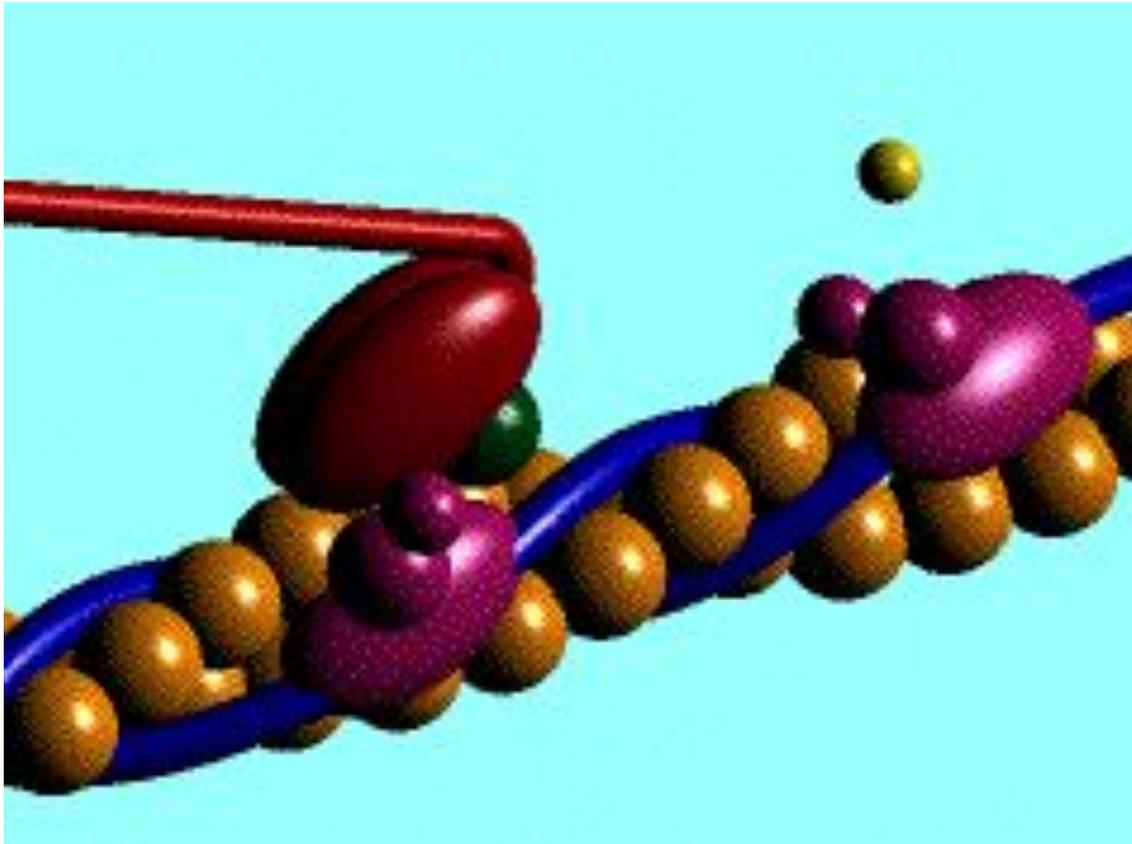
- **Этап 1.** АТФазный участок головки миозина **гидролизует АТФ**, и головка переходит в **активированное состояние** (вверху справа). Однако если концентрация Ca^{2+} в цитоплазме низка, то поперечный мостик не возникает – тропонин и тропомиозин закрывают активный центр актина.
- **Этап 2.** Соединение Ca^{2+} с тропонином приводит к **открыванию активного центра**, и тогда возникает поперечный мостик (активный комплекс, внизу справа).



- **Этап 3.** При отсоединении от головки миозина АДФ осуществляется "**гребковое движение**" - головка сгибается, нить актина скользит относительно нити миозина, и происходит сокращение. Именно на этом этапе энергия, запасенная при расщеплении АТФ, преобразуется в механическую энергию. При этом образуется **низкоэнергетический**, так называемый **ригорный комплекс** (rigor mortis - трупное окоченение) (внизу слева).
- **Этап 4.** Присоединение к головке миозина АТФ ведет к распаду мостика, цикл завершается.
- Далее он повторяется, пока Ca^{2+} связан с тропонином. Когда же Ca^{2+} удаляется обратно в саркоплазматический ретикулум, мышца расслабляется.

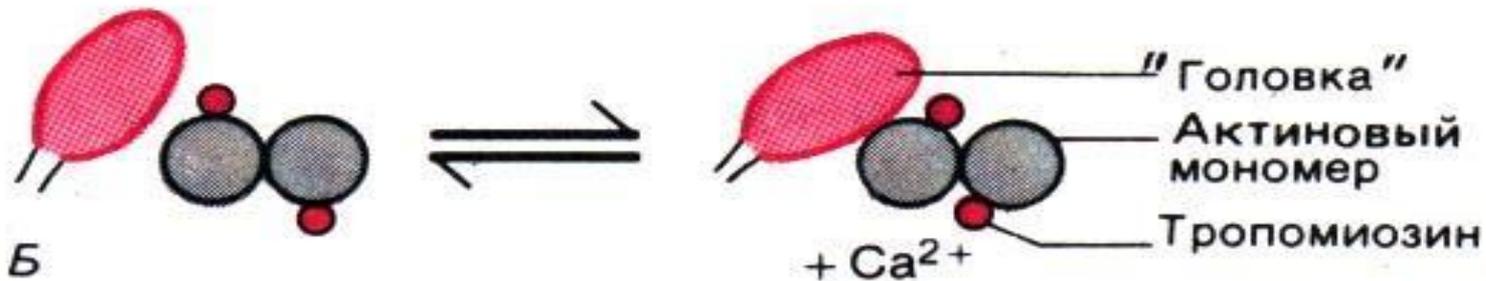
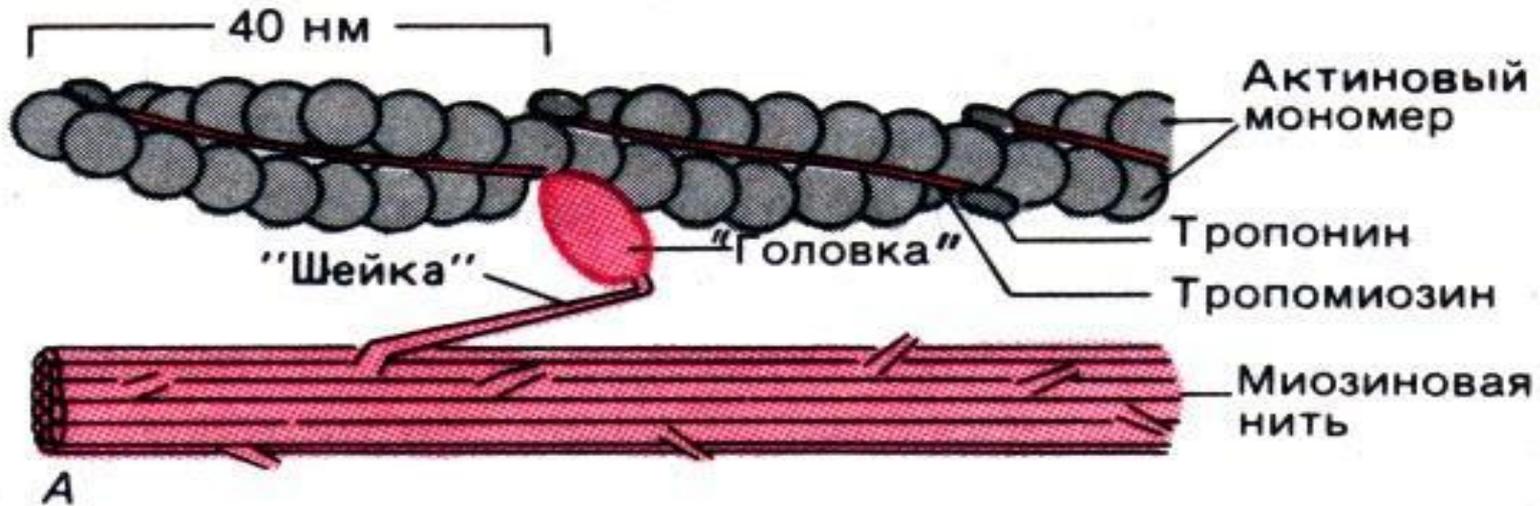
Схема, демонстрирующая молекулярные механизмы мышечного сокращения с точки зрения теории "скользящих нитей":

(Источник: San Diego State University College of Sciences [www.sci.sdsu.edu])



каталитический центр расщепления АТФ - АТФаза – располагается непосредственно на миозиновой головке, однако активируется он актином в присутствии ионов Mg^{2+}

Механизм мышечного сокращения. Действие Ca^{2+} во время активации миофибриллы.

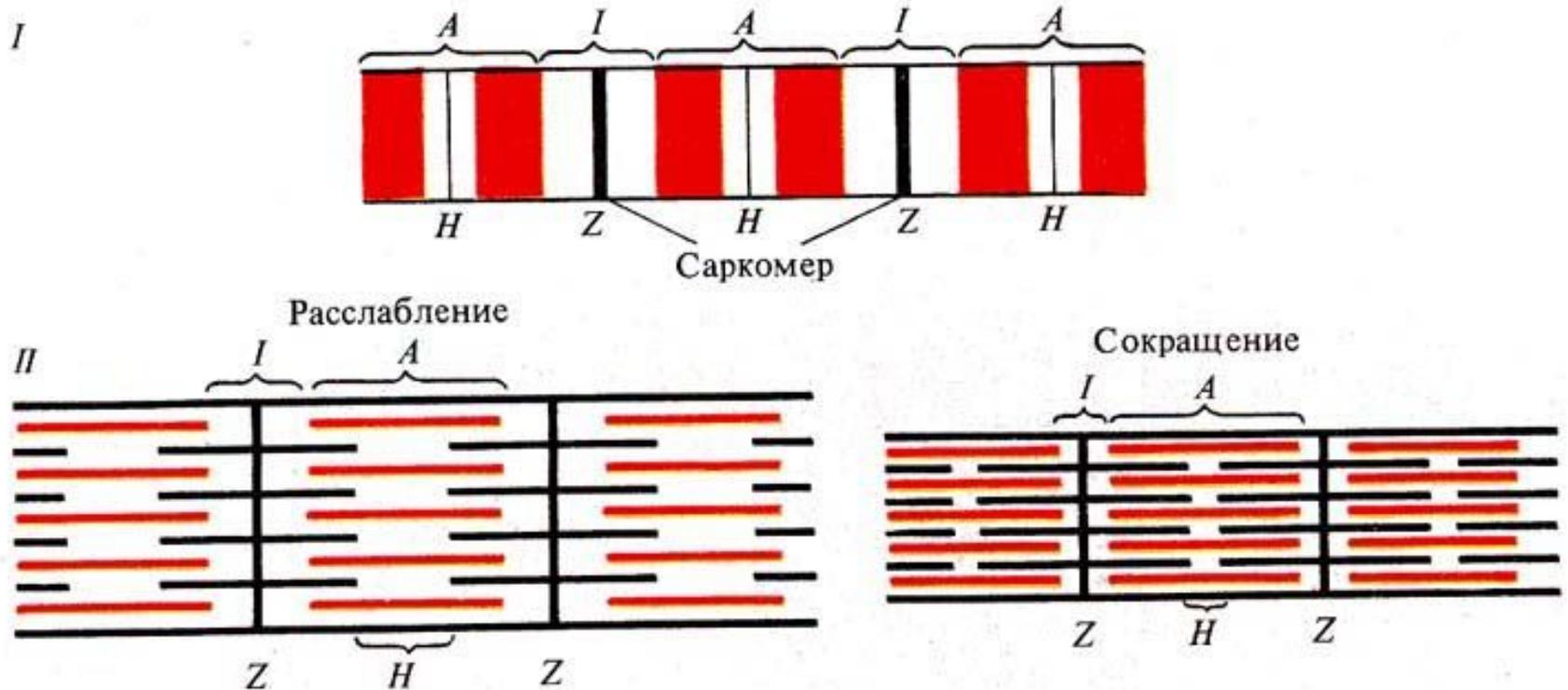


А. Актиновая и миозиновая нити на продольном сечении волокна.

Б. Они же на его поперечном сечении.

Когда Ca^{2+} связывается с тропонином, тропомиозин попадает в желобок между двумя мономерами актина, обнажая участки прикрепления поперечных мостиков.

Саркомер и механизм мышечного сокращения



Строение мышечного волокна (I) и миофибриллы (II):
A — анизотропные диски, I — изотропные диски, H и Z —
пластинки

Биохимические и морфологические различия мышечных волокон разных типов.

Показатели	<i>Медленные (Тип I)</i>	<i>Быстрые Окислительные (Тип II A)</i>	<i>Быстрые гликолитические (Тип II B)</i>
Содержание гликогена	Умеренное	Умеренное-высокое	Умеренное-высокое
Плотность капилляров	Высокая	Высокая	Низкая
Содержание миоглобина	Высокое	Высокое	Низкое
АТФазная активность	Низкая	Высокая	Высокая
Плотность митохондрий	Высокая	Высокая	Низкая
Способность к окислению	Высокая	Умеренно высокая	Низкая
цвет	Красный	Промежуточный	Белый
Основной тип энергоснабжения	Аэробный	Комбинированный	

Свойства мышечной ткани

1. Возбудимость - свойство мышечной ткани отвечать на действие раздражителя специфическим изменением проницаемости мембраны, возникновением разности потенциалов и электродвижущей силы (ЭДС).

2. Проводимость – возбуждение распространяется по всему мышечному волокну и не переходит на рядом лежащие, т. к. сарколемма служит изолятором.

3. Сократимость – основная функция мышечной ткани. При этом она укорачивается, утолщается, изменяя свои линейные размеры.

- **изотоническое сокращение** – без изменения тонуса;
- **изометрическое сокращение** – без изменения линейных размеров мышцы;
- **ауксотоническое сокращение** – смешенное сокращение при котором изменяется и длинна и тонус мышц.

4. Эластичность – когда после прекращения действия деформирующей силы – мышечная ткань принимает первоначальные размеры.

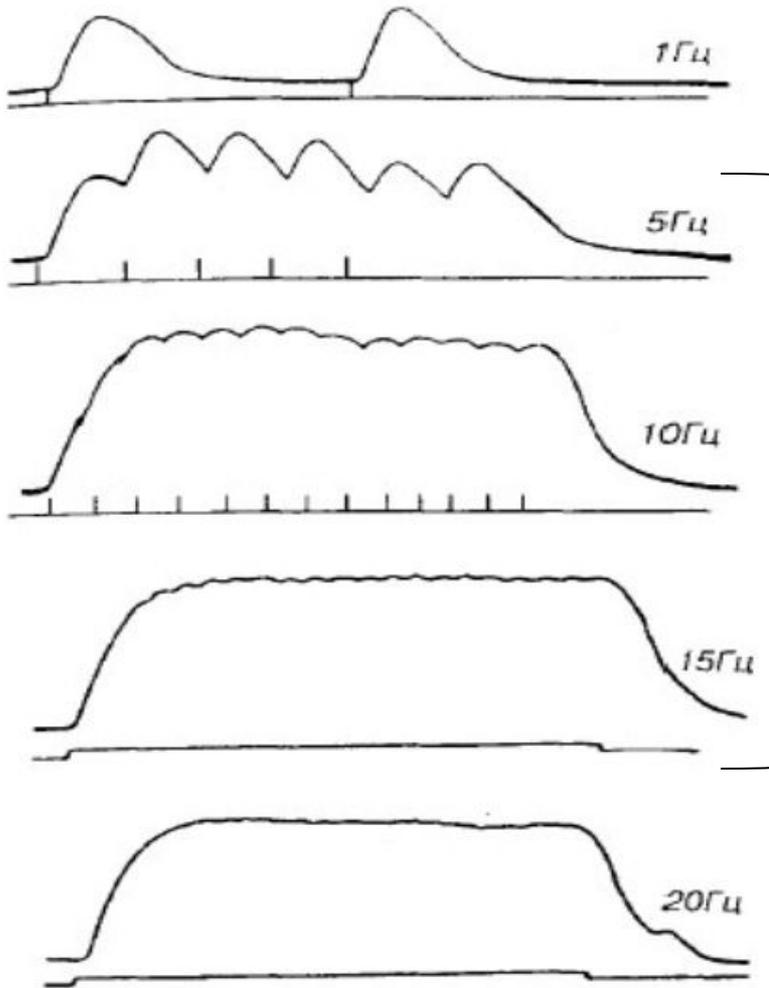
Виды сокращения мышц

1. Одиночное сокращение – возникает как ответ на одиночное кратковременное действие раздражителя.

2. Тоническое сокращение - это сильное длительное сокращение мышцы при действии раздражителя высокой частоты:

- **зубчатый тетанус** – возникает при частоте подачи раздражителя 5-15 Гц в секунду.
- **гладкий тетанус** – возникает при частоте подачи раздражителя более 20 Гц в секунду.

Виды сокращения мышечной ткани

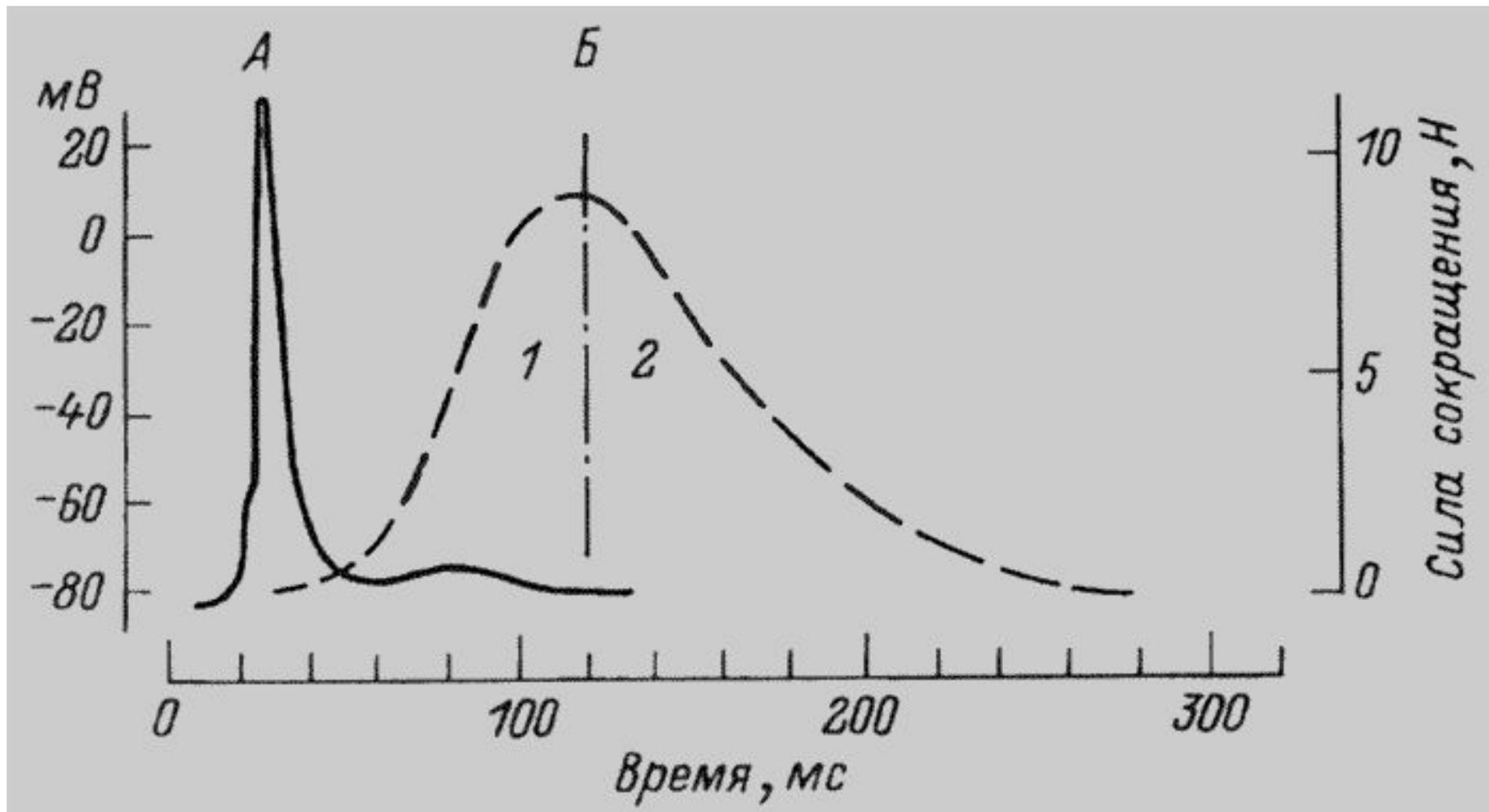


1. *Одиночное сокращение.*

2. *Зубчатый тетанус.*

3. *Гладкий тетанус.*

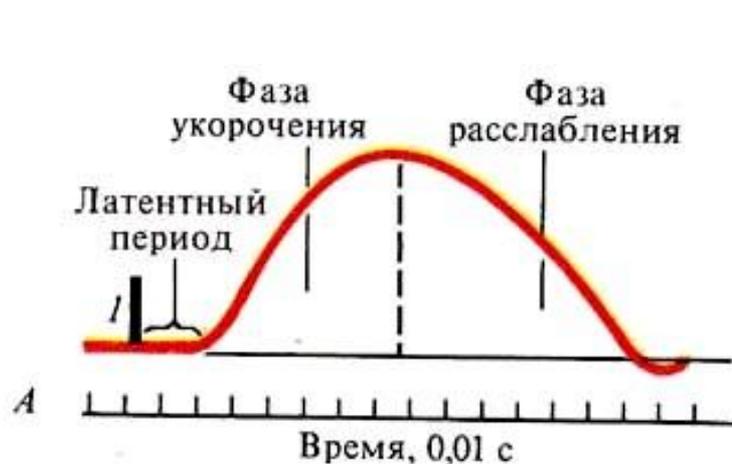
Развитие во времени потенциала действия (А) и изометрического сокращения мышцы, приводящей большой палец кисти (Б).



1 - фаза развития напряжения; 2 - фаза расслабления.

Одиночное сокращение и тетанус

Одиночное сокращение (А), суммация (Б), тетанус (В):



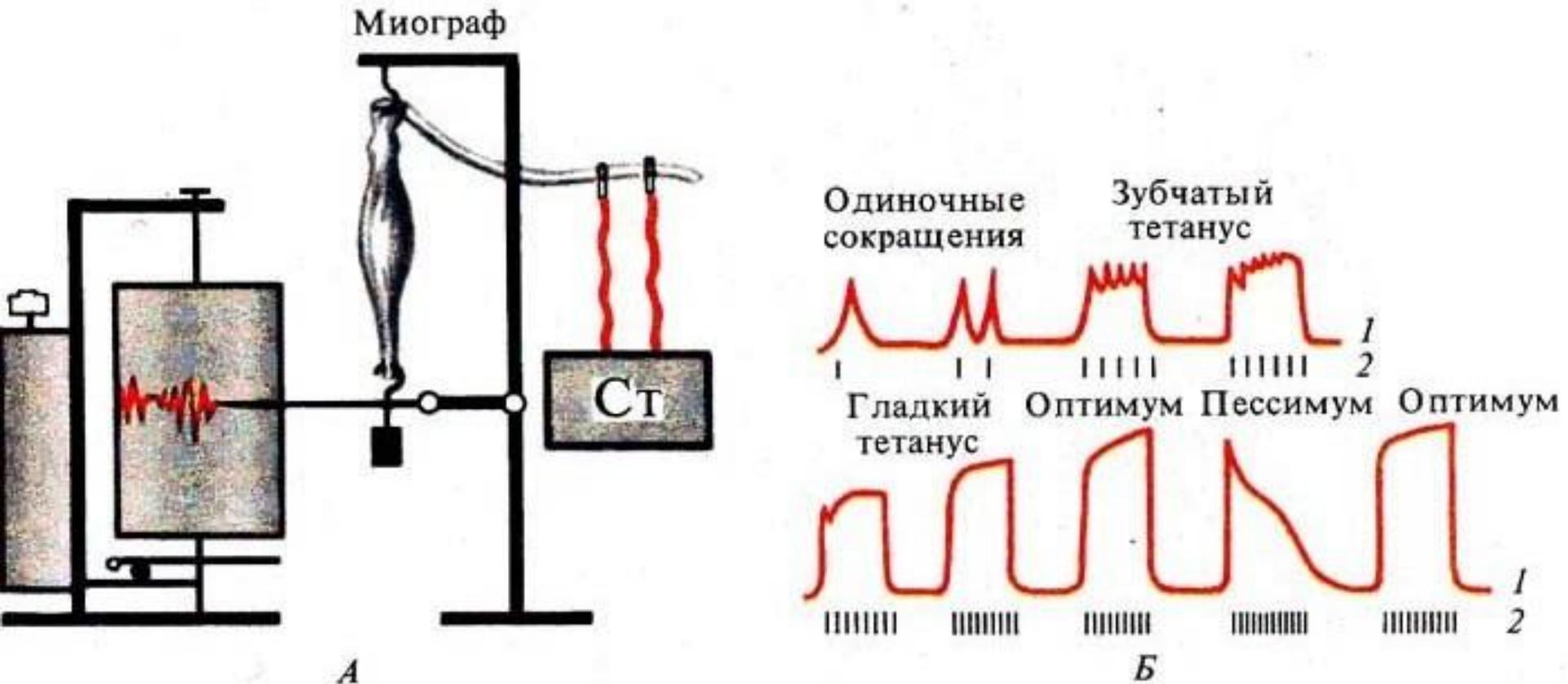
- 1 — момент первого раздражения,
- 2 — момент второго раздражения

Тетанус - длительное сокращение мышц, основанное на временной суммации следующих друг за другом одиночных волн сокращения

Формирование тетануса в зависимости от частоты раздражения



Оптimum и пессимум (по Н. Введенскому, 1886)

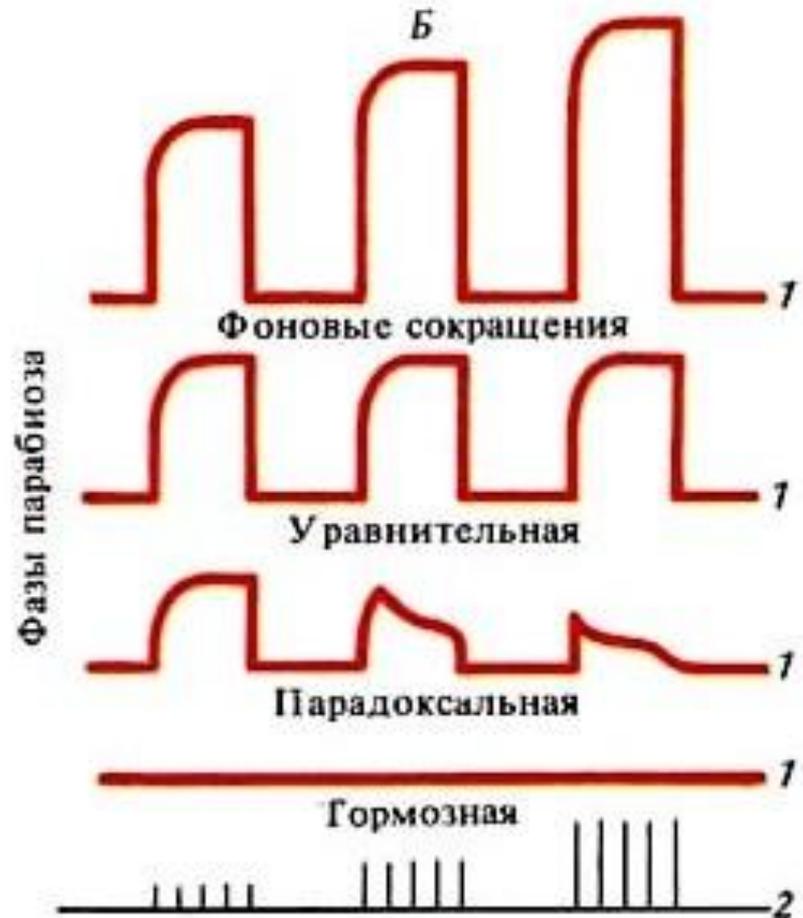
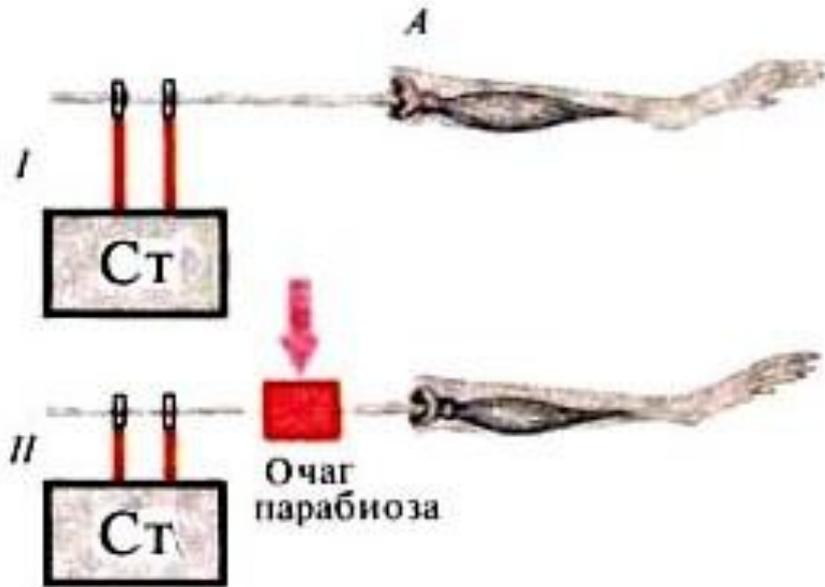


Примечание. Явления пессимума и парабииоза возможны в условиях эксперимента.

- А — схема регистрации; Б — кривые мышечных сокращений (1) при различной частоте раздражении (2)

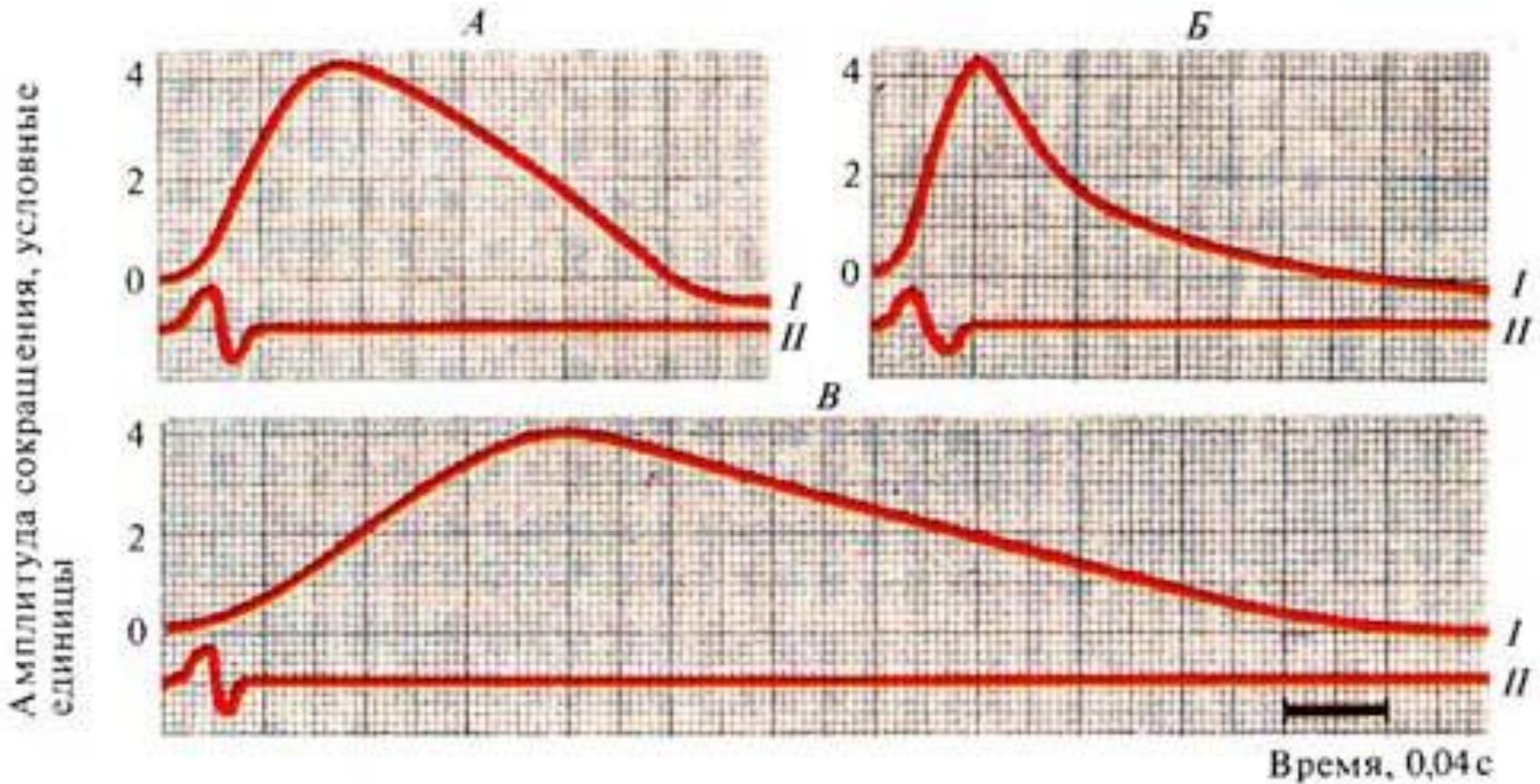
Парабиоз (по Н. Введенскому):

особенность функц-я нервной ткани, состоит в переходе из возбуждения в состояние пассивности, если стимуляция превышает предел устойчивости к ней.



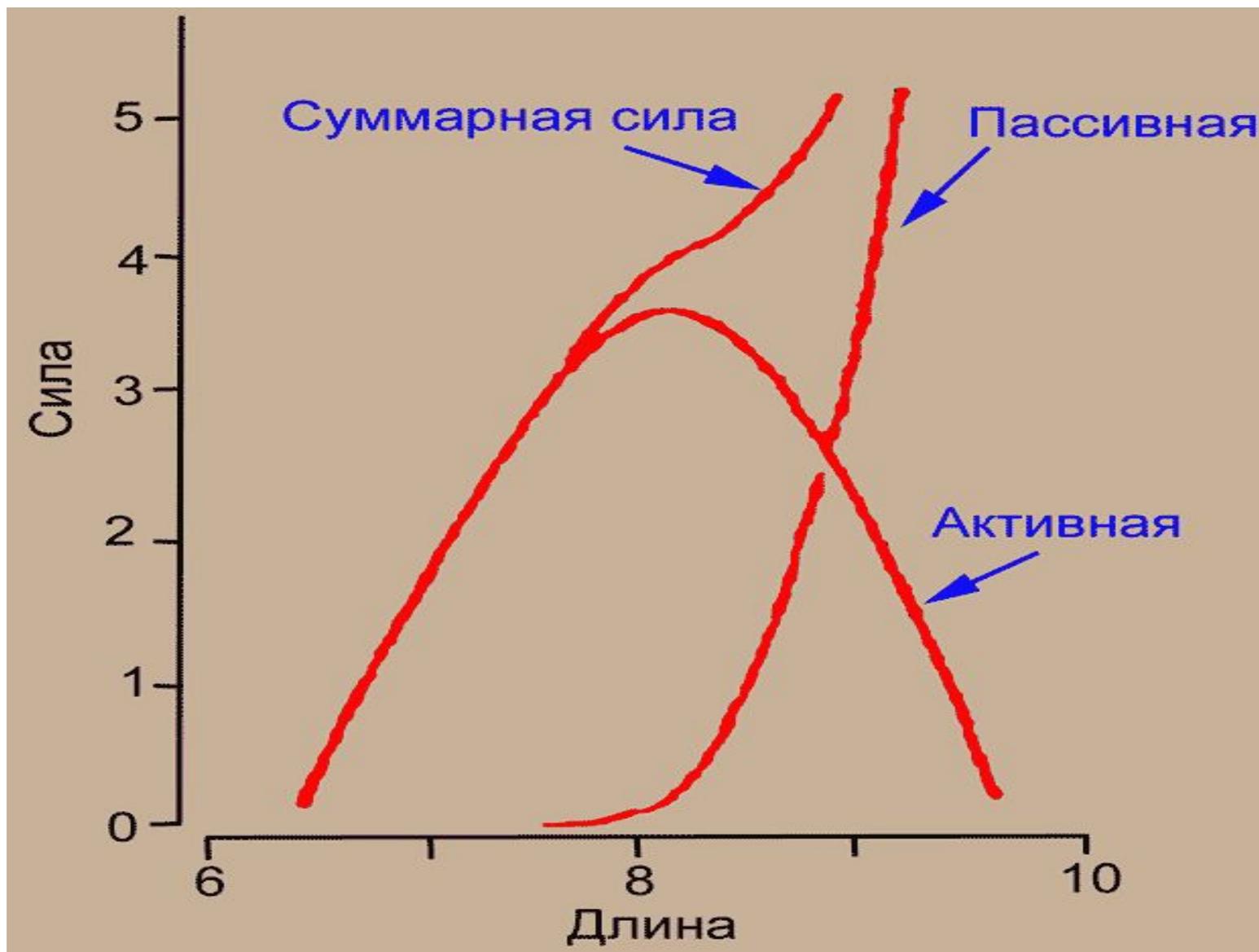
- А — схема опыта: / — положение электродов, // — создание очага парабиоза;
- Б — кривые мышечных сокращений (тетанусы) (1) при нарастающей силе тока (2)

Кривые одиночного сокращения смешанной мышцы (А), мышцы из белых волокон (Б), мышцы из красных волокон (В);
I — сокращение, II — ток действия

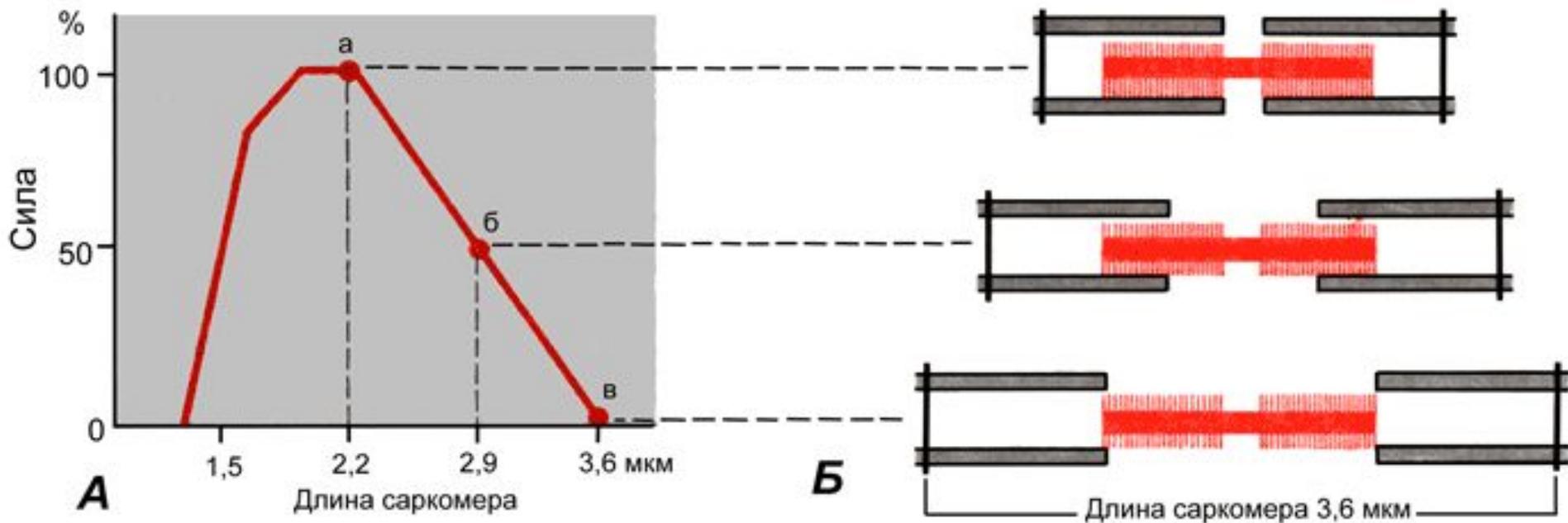


Зависимость силы от длины мышцы

Соотношение между силой и длиной скелетной мышцы.



Соотношение между силой сокращения, длиной саркомера и степенью перекрывания нитей



А. Развитие максимальной изометрической силы во время тетануса при разной длине мышечного волокна.

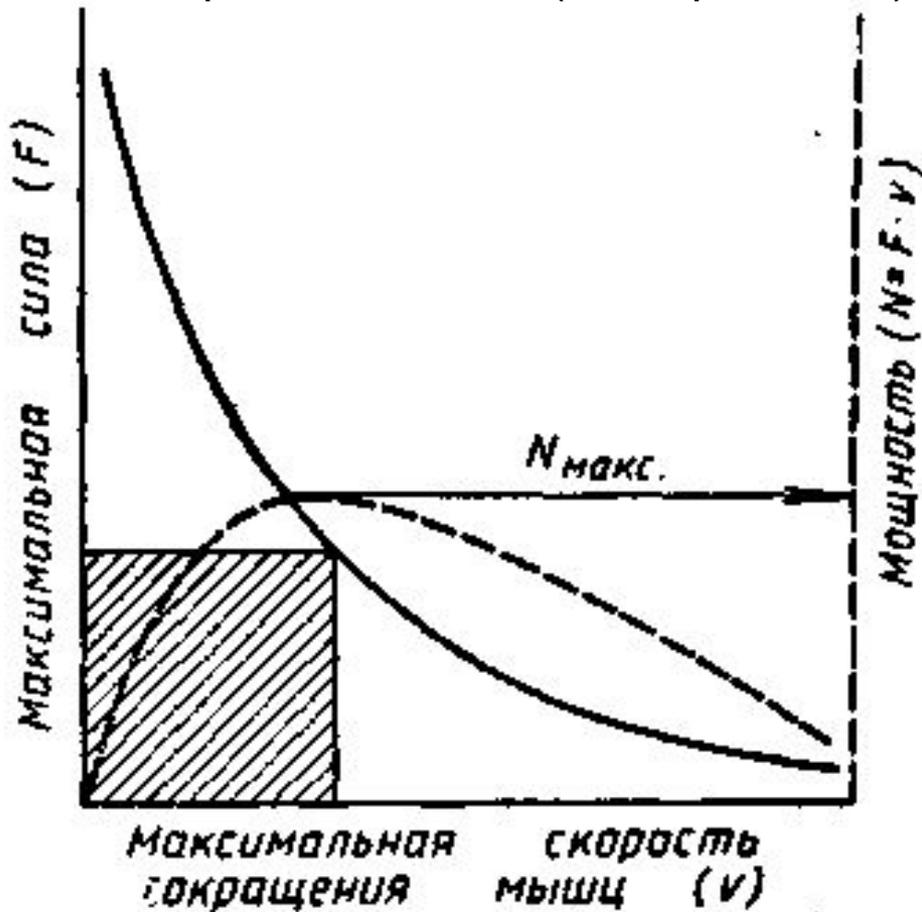
Б. Перекрывание актиновых и миозиновых нитей при длине саркомера 2,2, 2,9 и 3,6 мкм.

**Зависимость между силой и
скоростью сокращения**

Зависимость между силой и скоростью сокращения обратная

Изометрическое сокращение

Кривая А.Хилла (англ.физиолог)

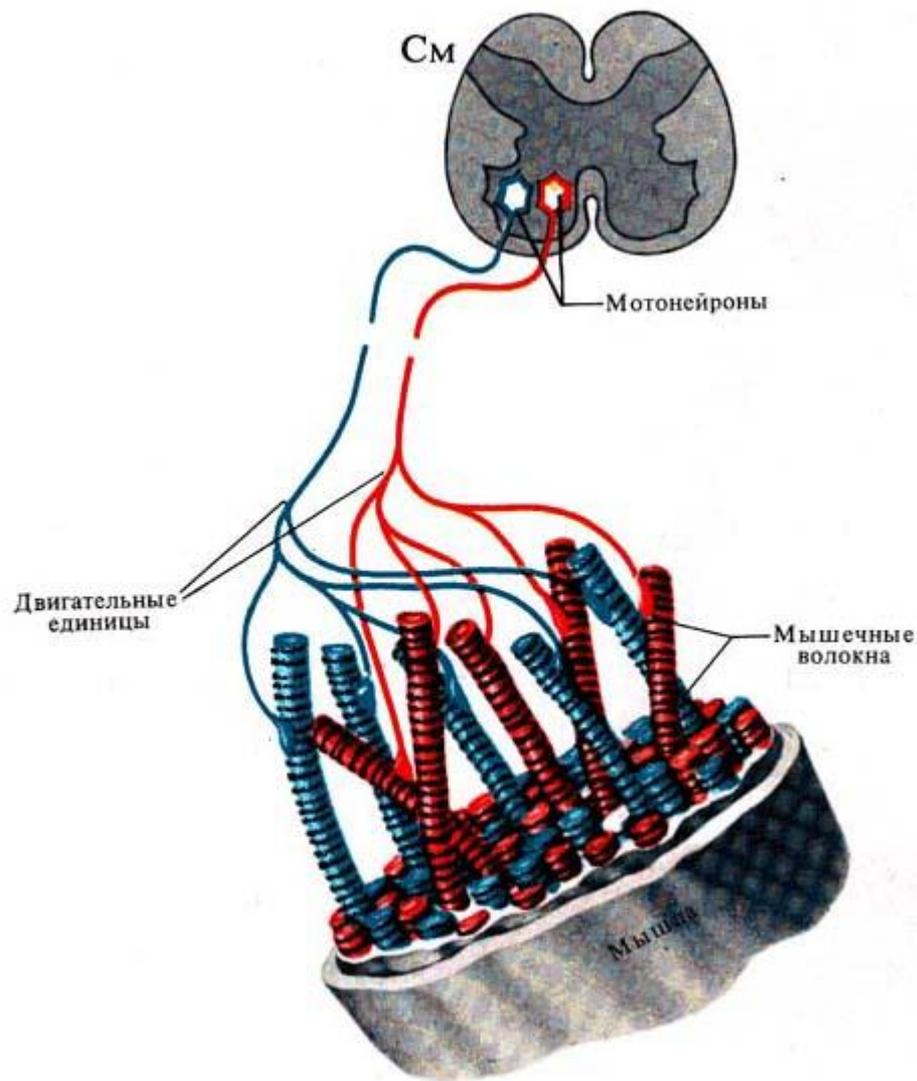


Заштрихованный прямоугольник соответствует максимальной мощности

V макс. при нулевой нагрузке

Двигательная единица – группа мышечных волокон, иннервируемых одним двигательным нейроном передних рогов спинного мозга, которые сокращаются одновременно

Строение двигательной единицы



Гладкие мышцы

Свойства гладкой мышечной ткани

Гладкая мышечная ткань находится во внутренних органах, в кровеносных сосудах и коже.

Структурными и функциональными элементами являются одноядерные мышечные клетки **МИОЦИТЫ** веретенообразной формы, соединенные между собой дисками (нексусы).

Миофибриллы мышечной клетки размещаются параллельно друг другу. Актиновые и миозиновые нити распределены неравномерно – поэтому нет исчерченности.

Свойства гладкой мышечной ткани

1. Возбудимость и проводимость ниже, чем у скелетных мышц;
2. Удлинен латентный (скрытый) период до 1 сек.;
3. Сократимость миофибрил осуществляется с участием белков тропомиозина, тропонина и ионов Ca^{++} . Продолжительность до 100 сек.;
4. Пластический тонус – гладкие мышцы способны изменять линейные размеры (растягиваться) не изменяя своего тонуса.
5. Автоматизм – способность гладкой мышечной ткани сокращаться под воздействием импульсов, которые зарождаются в ней самой (собственная интрамуральная нервная система – нервные ганглии,

Сократимость и возбудимость мышц разного вида:

- 1 — кривая сокращения,
- 2 — кривая возбудимости;
- а — период укорочения,
- б — период расслабления,
- в — абсолютный рефракторный период,
- г — относительный рефракторный период,
- д — фаза экзальтации

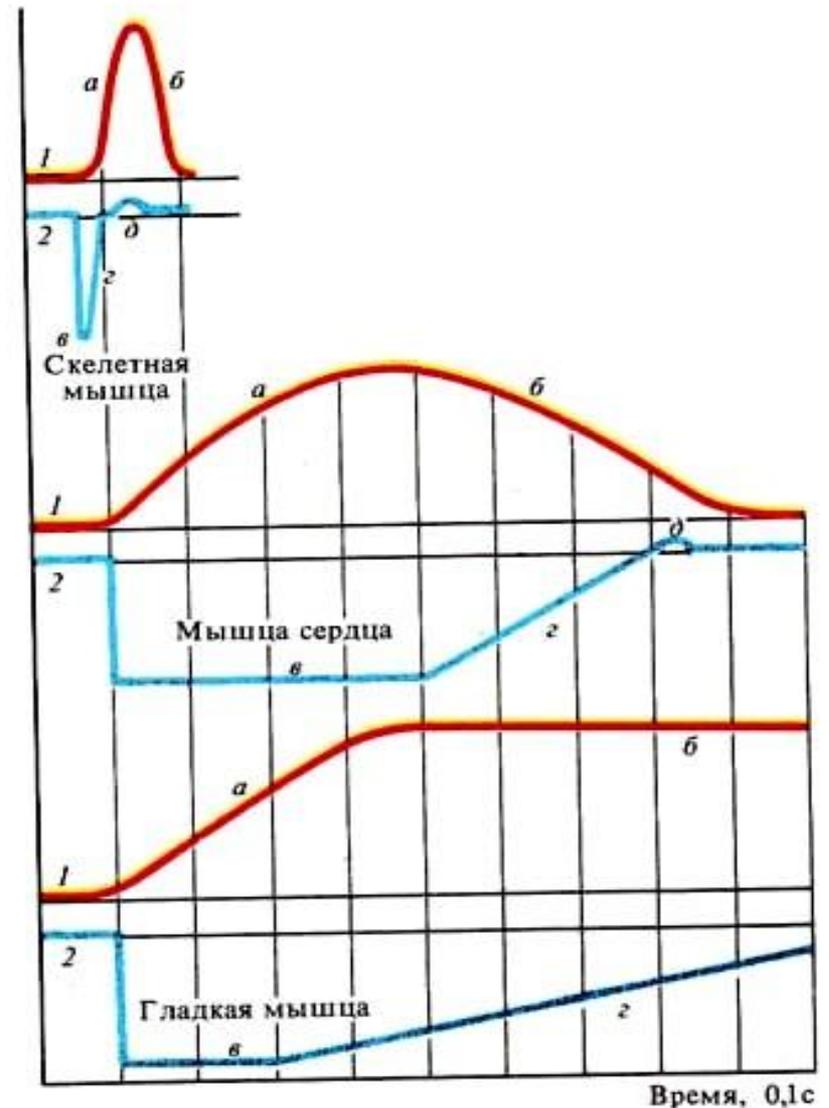


Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств скелетной, сердечной и гладкой мышц

Показатели	Скелетная мышца	Мышца сердца	Гладкая мышца
Хронаксия, мс	0,08—0,4	2—3	20—40
Длительность рефрактерного периода, с	0,005—0,01	0,3—0,4	десяты́е доли секунды
Скорость проведения возбуждения, мс	6—11	1—4	0,5—1
Длительность одиночных сокращений, с	0,05—0,1	0,5—0,8	деся́тки секунд

Сравнительная характеристика физиологических свойств скелетных и гладких мышц

- Имеют быструю деполяризацию и короткий период абс. рефр-ти
- Не дифференцируются и не делятся
- Иннервация СНС
- Нет автоматизма
- Быстрые фазические
- Нет пластического тонуса
- Произвольные движения
- Б. энергетические затраты
- М. чув-ть к хим. в-вам
- М. упр-мы лек. ср-ми
- Имеют медленную деполяризацию и длительный период Рабс.
- дифференцируются и делятся
- Иннервация ВНС
- Есть автоматизм
- Медленные тонические
- Есть пластический тонус
- Непроизвольные движения
- М. энергетические затраты
- Б. чув-ть к хим. в-вам
- С. упр-мы лек. ср-ми

Работа, сила и утомление мышц

Работа – это произведение величины поднятого груза на высоту его поднятия.

$$A=P*h$$

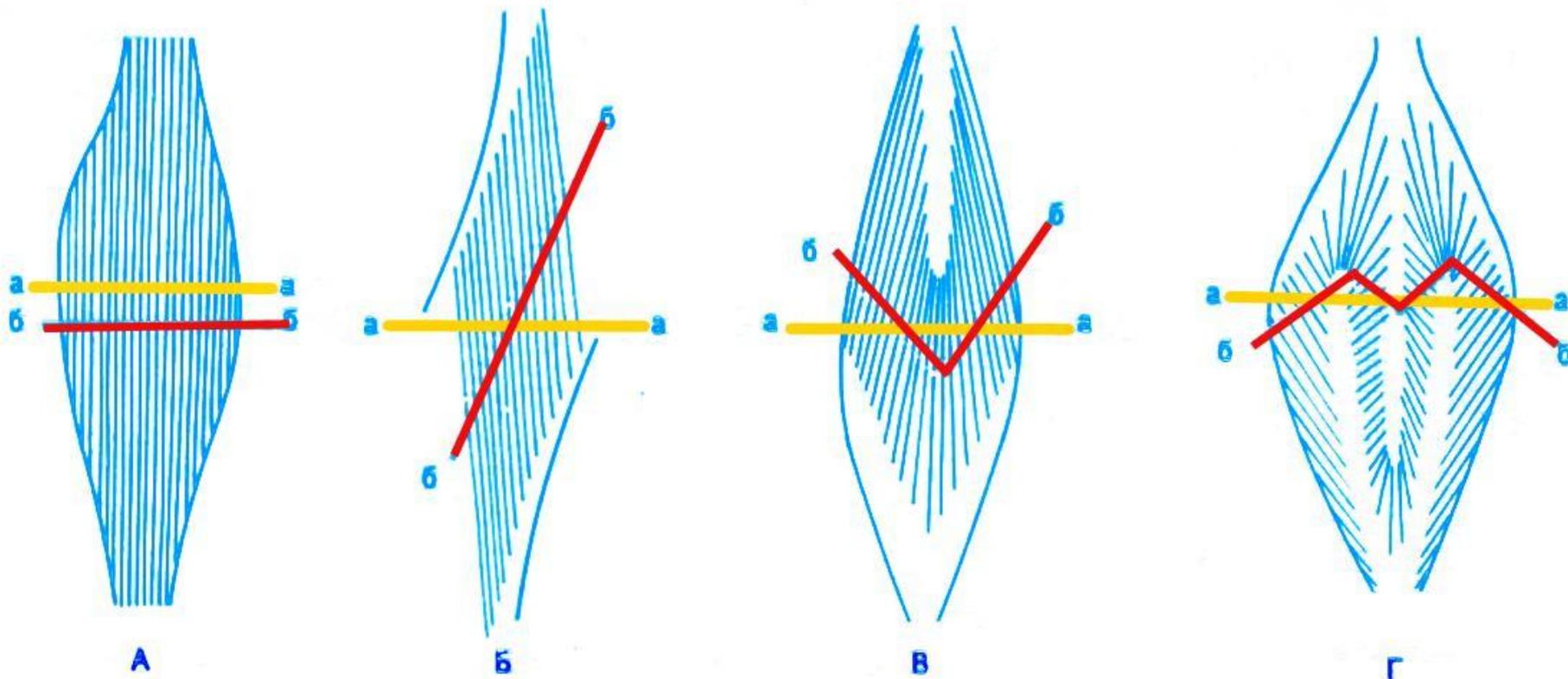
Динамическая работа - при которой происходит перемещение груза и движение костей в суставах.

Статическая работа – происходит при изометрическом сокращении мышц. В этом случае внешняя работа не совершается.

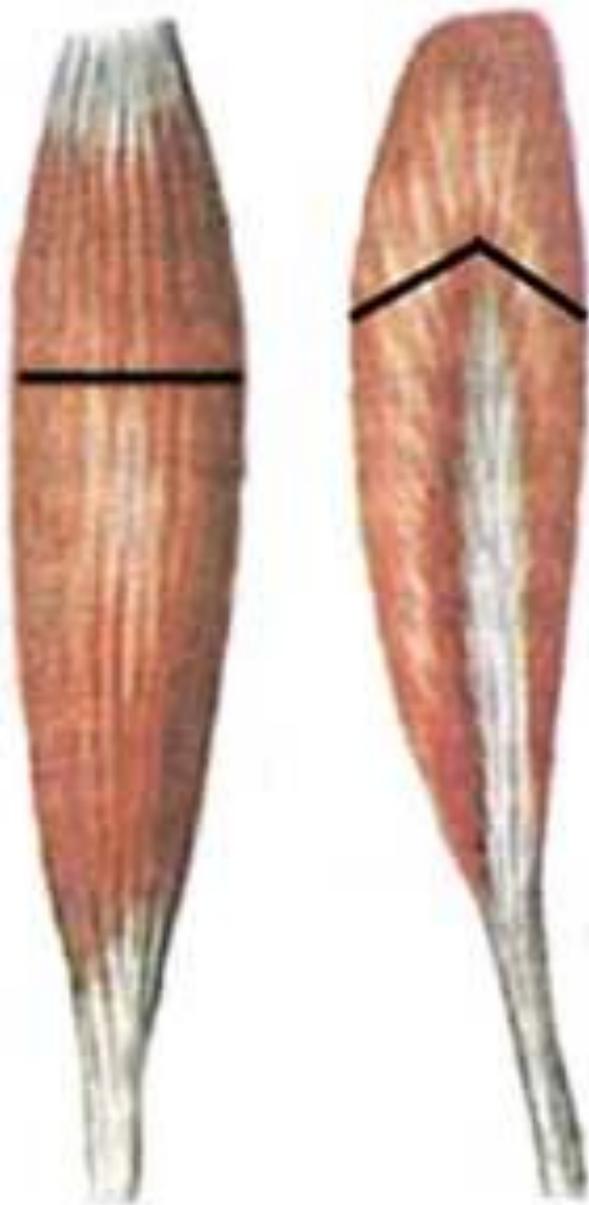
Сила мышц – величина максимально поднятого груза и зависит от количества и толщины мышечных волокон, т. е. решающее значение имеет *физиологическая площадь поперечного сечения* мышечных волокон. Физиологическое поперечное сечение (поперечник) совпадает с анатомическим только в мышцах с продольно расположенными волокнами. У мышц с косым направлением мышечных волокон физиологический поперечник больше анатомического. Поэтому и сила мышц с косыми волокнами всегда больше.

Сравнительным показателем силы различных мышц является *абсолютная сила мышц* – это величина максимально поднятого груза

Анатомический (а-а) и физиологический (б-б) поперечники мышц с разным расположением мышечных волокон.



А – параллельно волокнистый тип, **Б** – одноперистый, **В** – двуперистый, **Г** - многоперистый



Слева: мышца веретенообразной формы, её анатомический и физиологический поперечники совпадают. То же характерно для мышц лентовидной формы.

Справа: мышца двоякоперистой формы, её физиологический поперечник значительно больше анатомического (анатомический поперечник не показан).

Утомление мышц – это временное снижение или полная потеря работоспособности после длительных нагрузок.

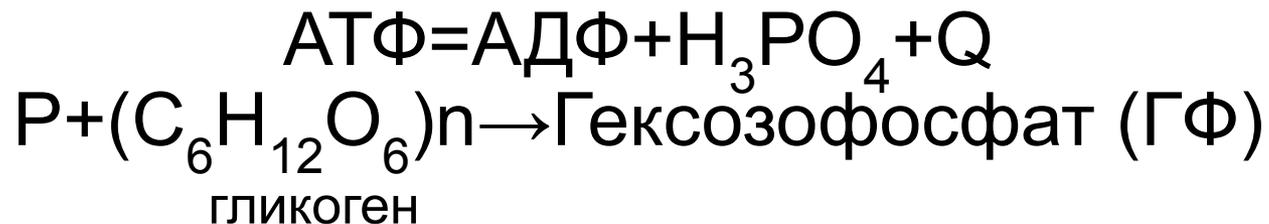
Причиной утомляемости является:

- *истощение запасов медиатора* в синапсах и АТФ, креатинфосфата (КФ), гликогена в мышцах (энергетический материал);
- *отравление мышц продуктами метаболизма* – накопление в мышцах молочной, угольной и фосфорной кислот и др., что вызывает обратимые изменения сократительных белков мышечной ткани

Энергия (химизм) мышечного Сокращения

Энергия, необходимая для работы мышц образуется в результате сложных химических процессов, протекающих в две фазы:

анаэробная



аэробная фаза – идёт окисление молочной кислоты до CO_2 и H_2O около 20%, а 80% идёт на ресинтез гликогена.

