

# 3. Строение, свойства и функции мышечной ткани.

У позвоночных животных различают три вида мышечной ткани:

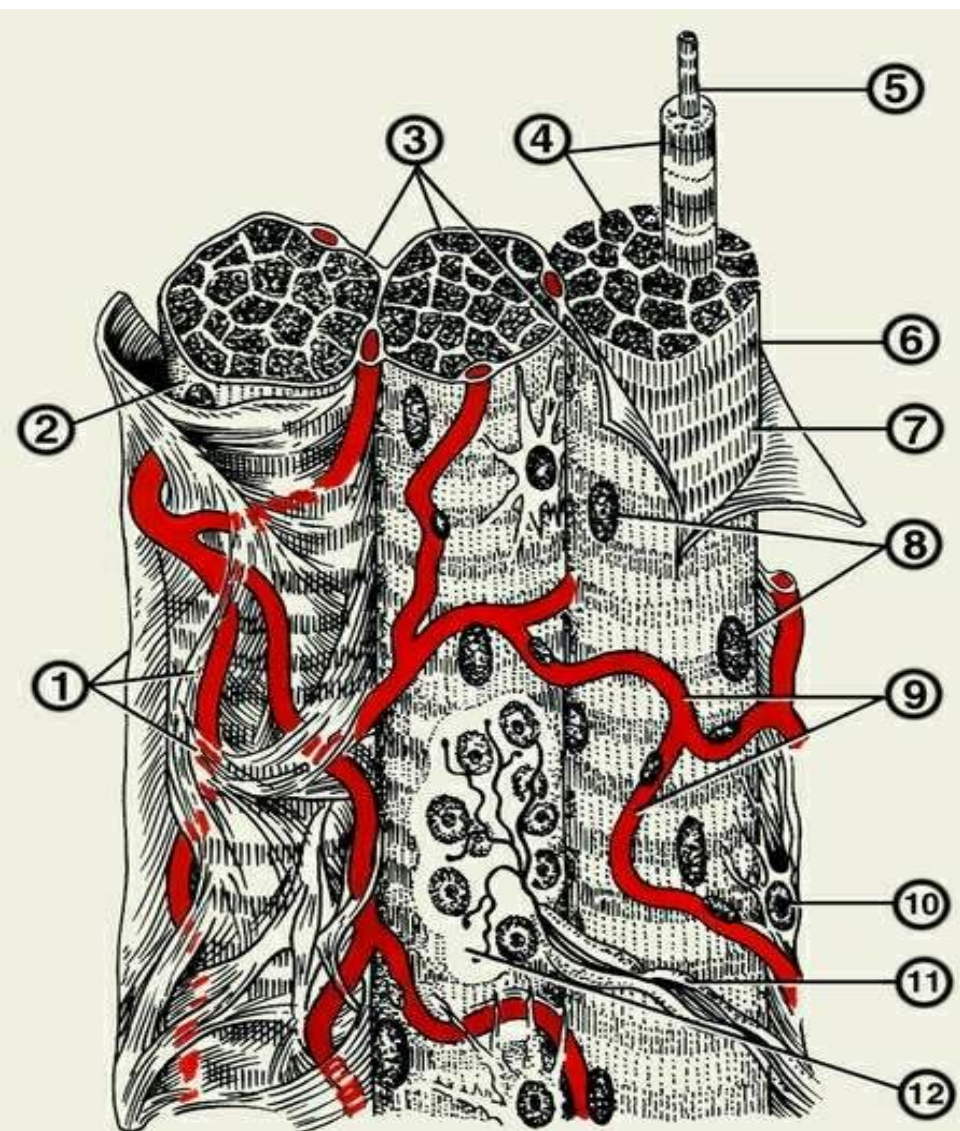
1. **скелетная поперечнополосатая мышечная ткань** (произвольная).

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

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

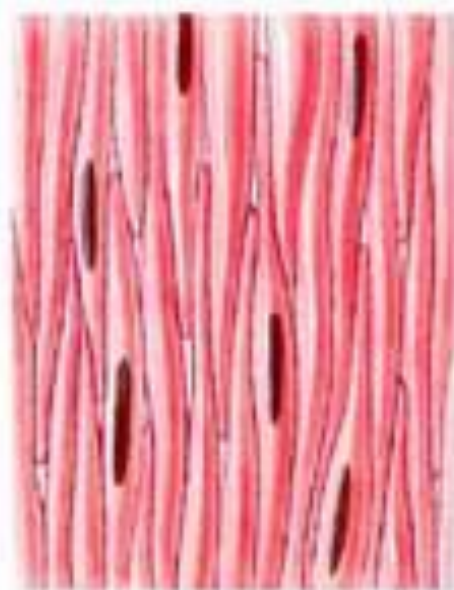
**Скелетные мышцы** состоят из мышечных волокон (клетки) диаметром от 20 до 100 мкм длиной 12-16 см. Каждое волокно покрыто оболочкой – **сарколеммой**, внутри – **саркоплазма** (протоплазматическое вещество) и многочисленные тонкие нити – **миофибриллы**, количество которых достигает 1000-2000 шт диаметром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

# Схема строения поперечнополосатой мышечной ткани:



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

# Типы мышечной ткани



гладкая



поперечнополосатая

вставочные  
диски



сердечная

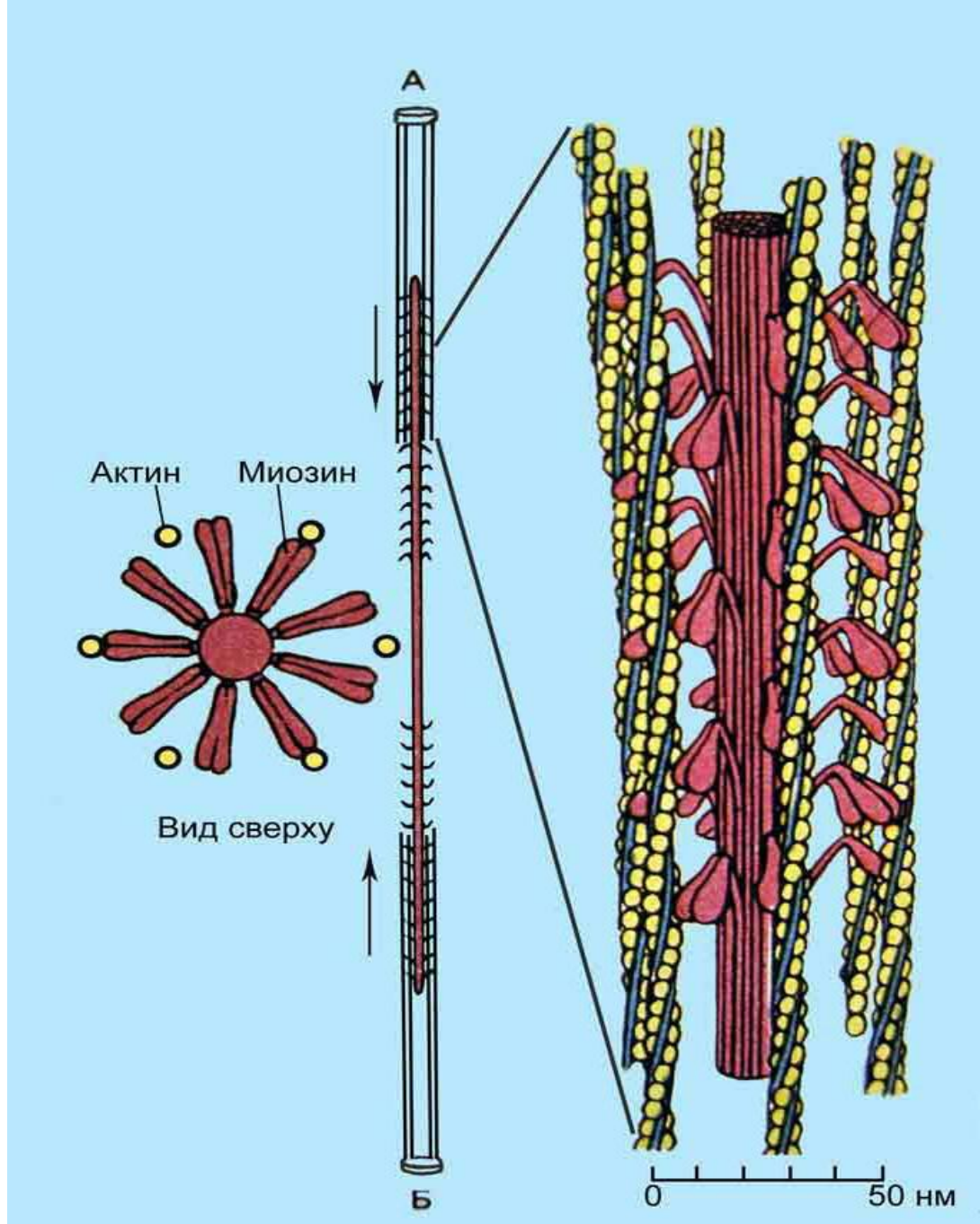
**Миофибриллы** имеют исчерченность – это чередование тёмных и светлых сегментов.

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.

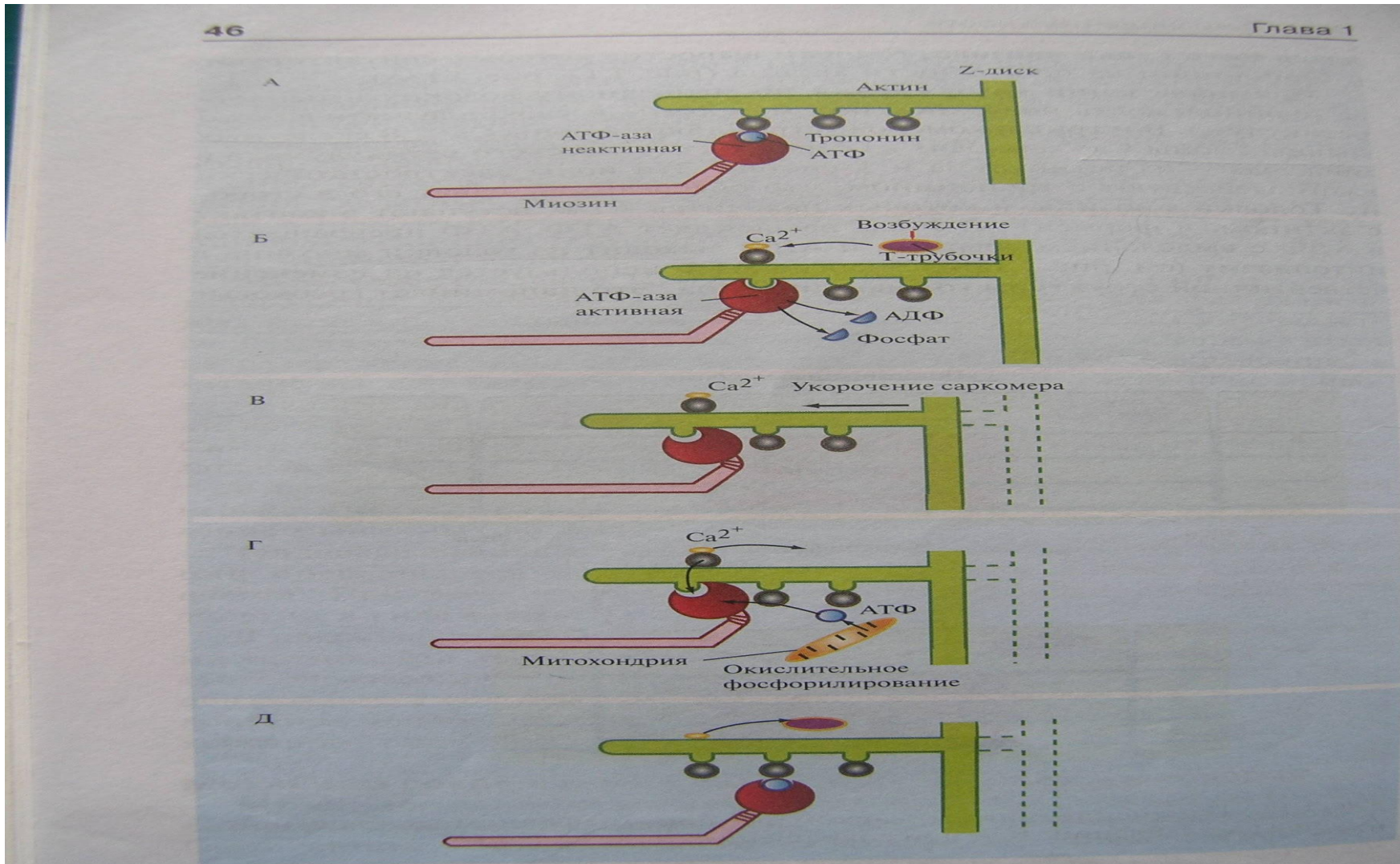
Функциональной и структурной единицей является **саркомер**. Это повторяющиеся в миофибриллах блоки светлых и тёмных дисков отделённых друг от друга Z-пластинками. Механизм сокращения мышц согласно **теории «скольжение нитей» Х. Хаксли и А. Хаксли** – есть перемещение актиновых нитей вдоль миозиновых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

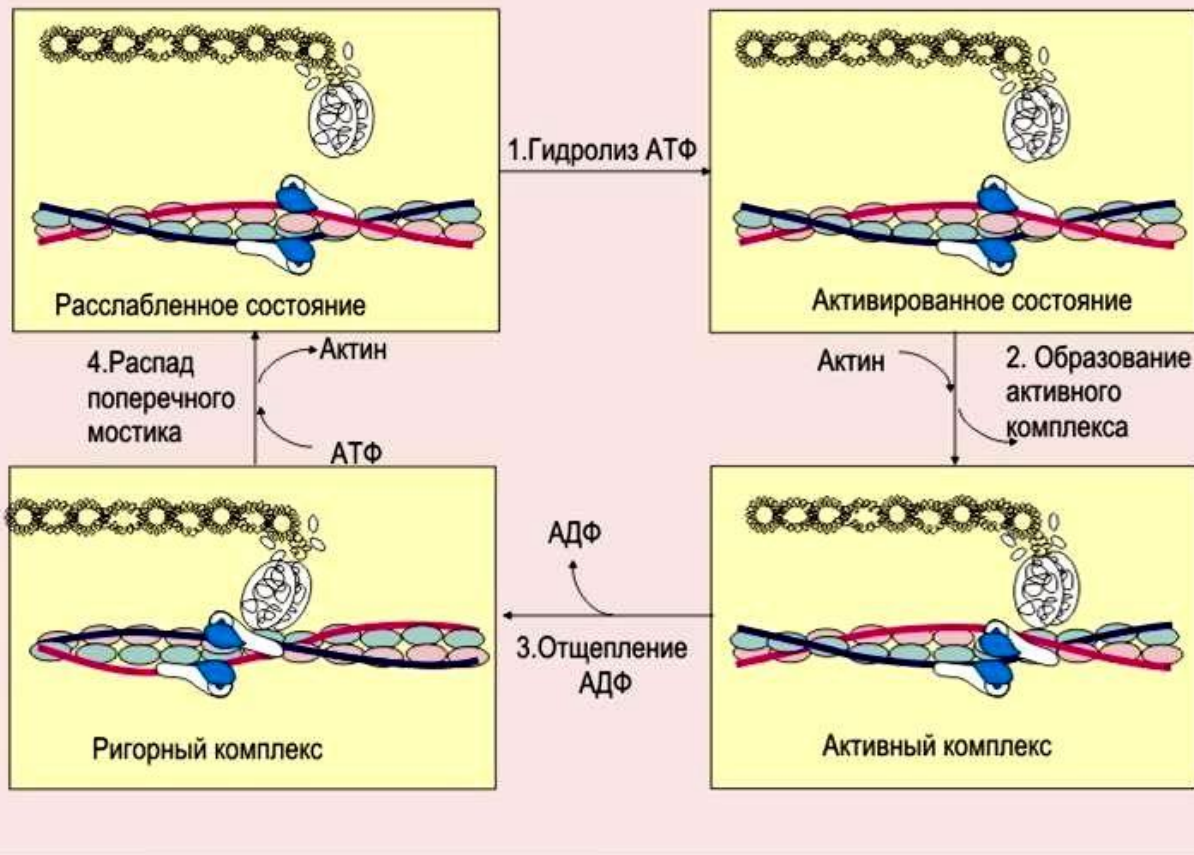


- **Пространственное взаимное расположение нитей актина и миозина**



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.

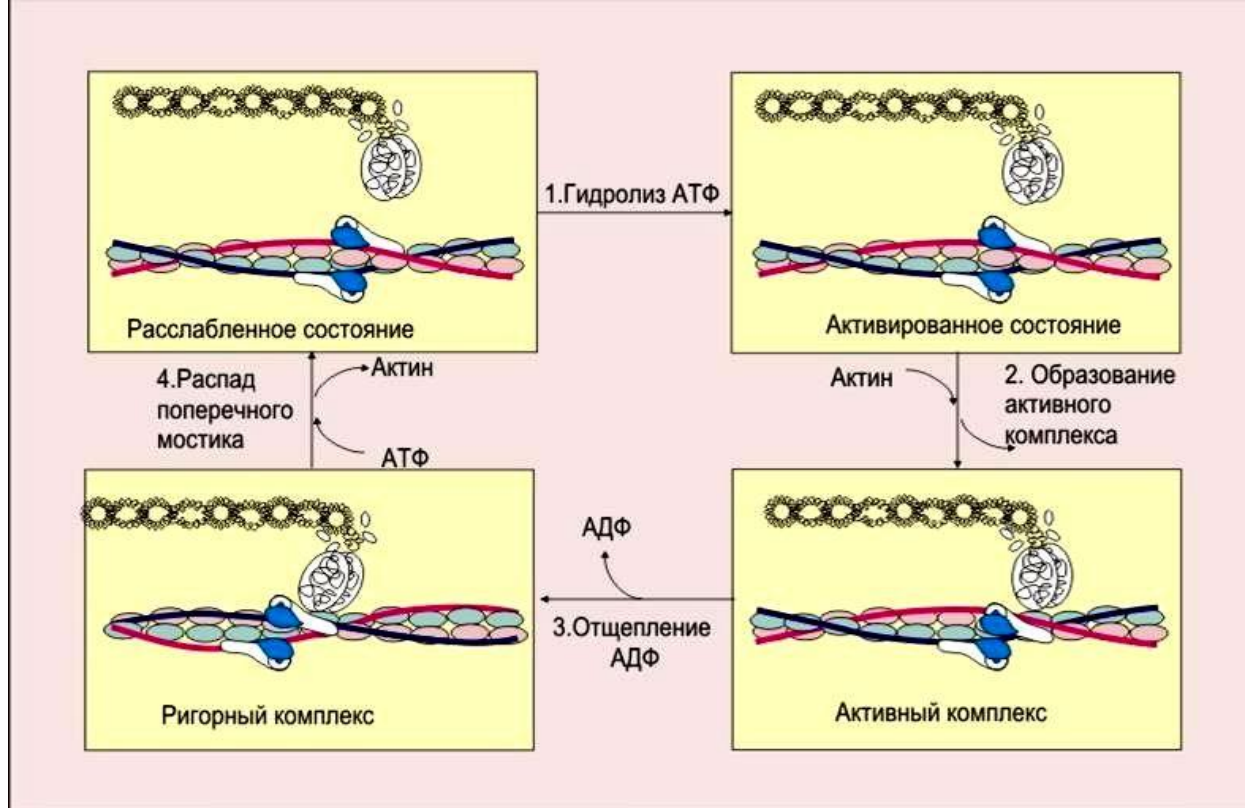




При возбуждении мышечного волокна в саркоплазме резко возрастает содержание ионов Ca<sup>2+</sup>

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



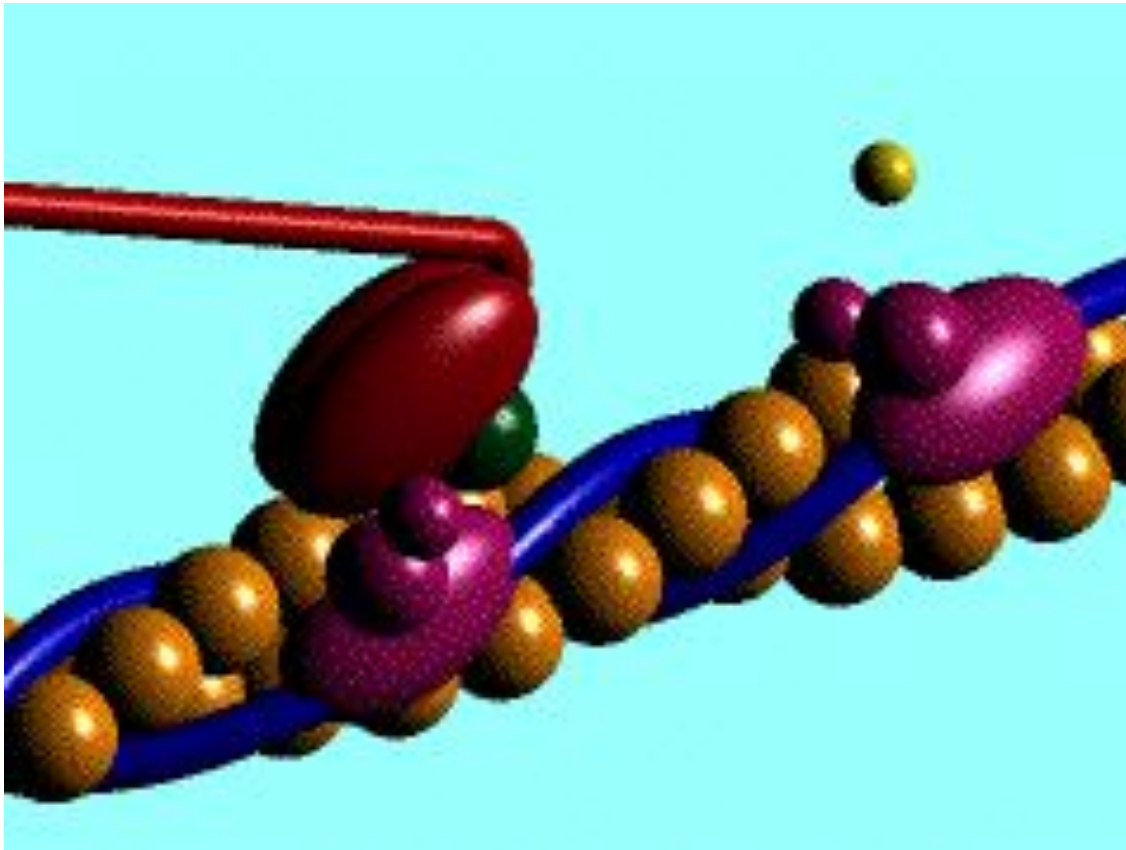


- **Этап 3.** При отсоединении от головки миозина АДФ осуществляется "**гребковое движение**" - головка сгибается, нить актина скользит относительно нити миозина, и происходит сокращение. Именно на этом этапе энергия, запасенная при расщеплении АТФ, преобразуется в механическую энергию. При этом образуется **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  $\text{Ca}^{2+}$  связан с тропонином. Когда же  $\text{Ca}^{2+}$  удаляется обратно в саркоплазматический ретикулум, мышца расслабляется.



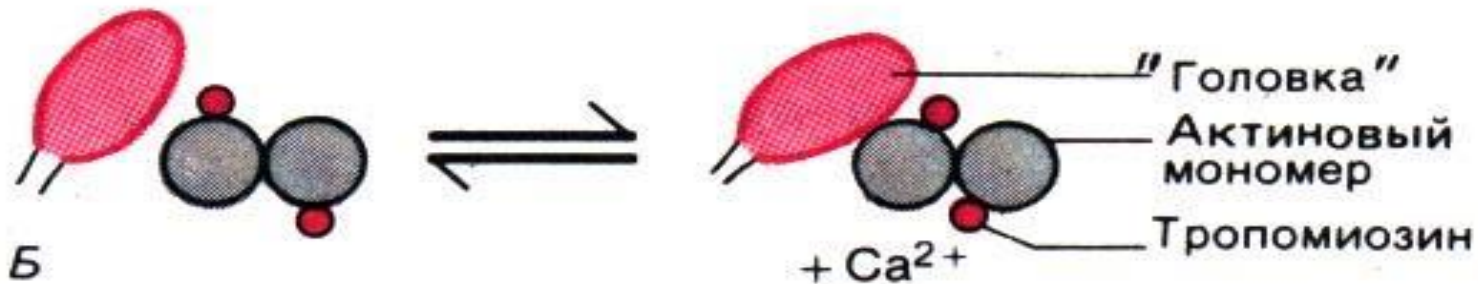
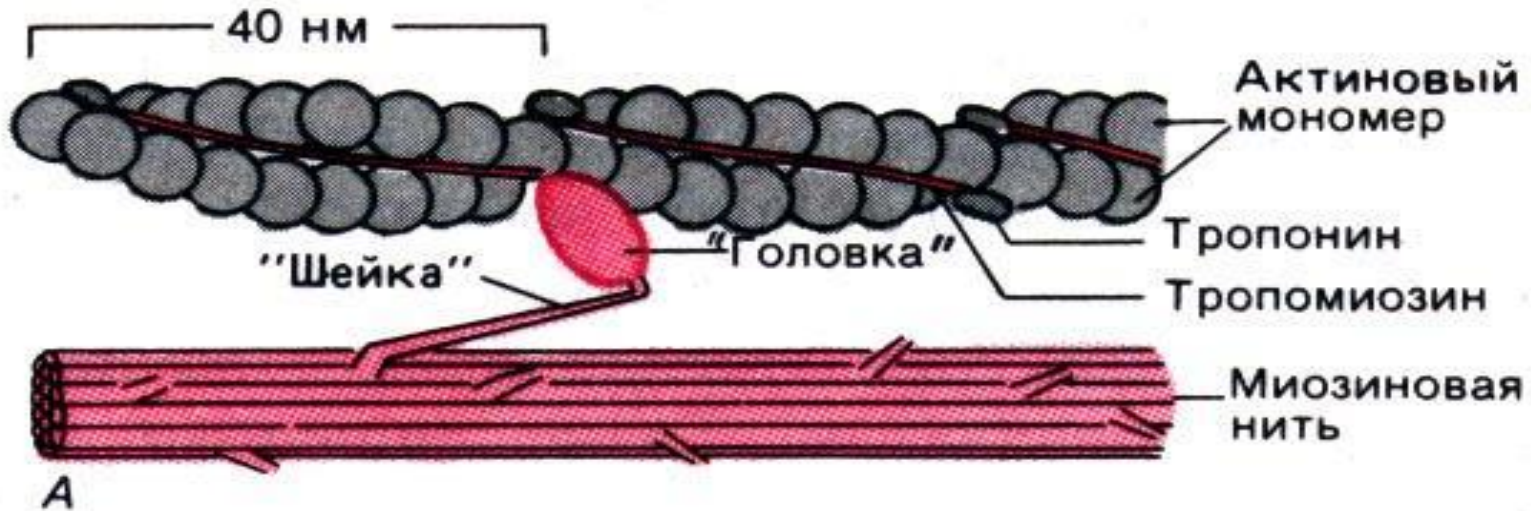
# Схема, демонстрирующая молекулярные механизмы мышечного сокращения с точки зрения теории "скользящих нитей":

(Источник: San Diego State University College of Sciences [[www.sci.sdsu.edu](http://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 $\text{Ca}^{2+}$ во время активации миофибриллы.

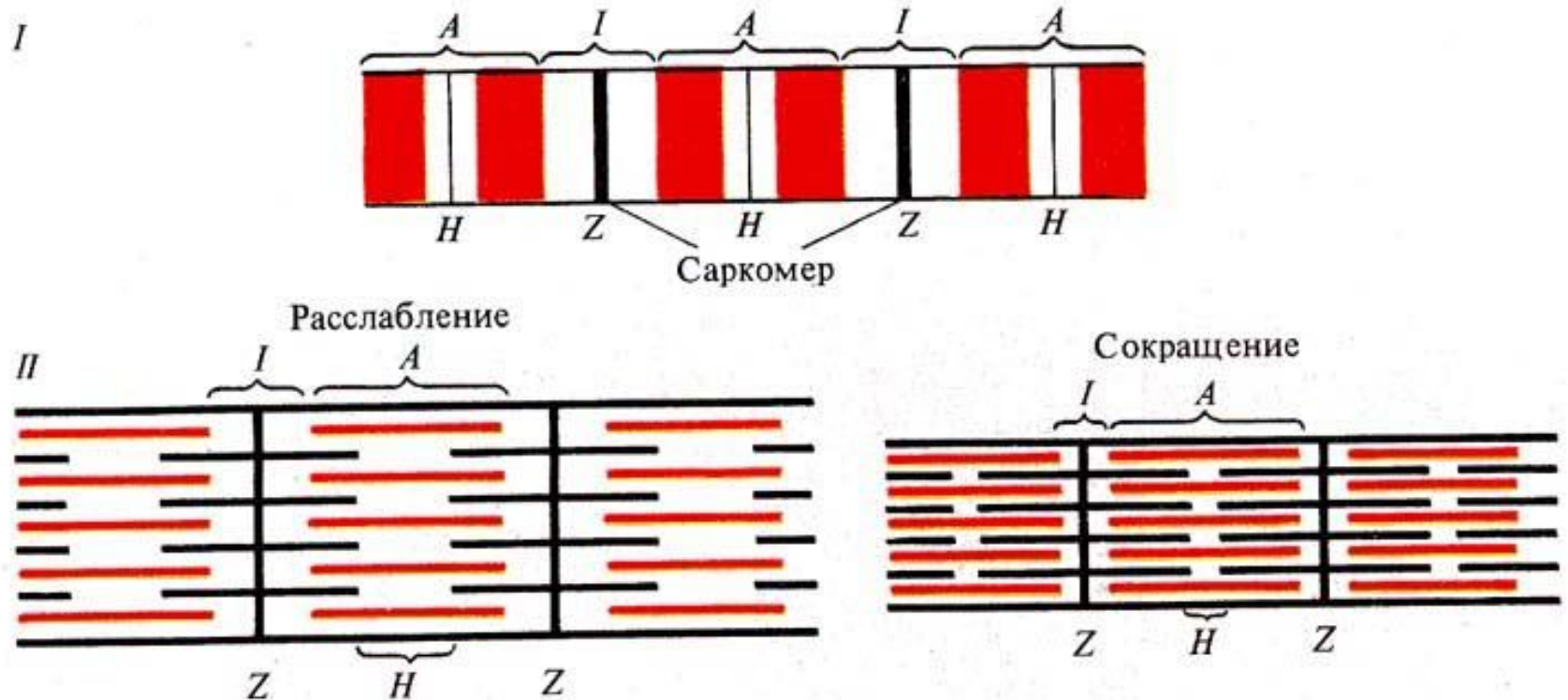


**А.** Актиновая и миозиновая нити на продольном сечении волокна.

**Б.** Они же на его поперечном сечении.

Когда  $\text{Ca}^{2+}$  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.**

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

# 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.



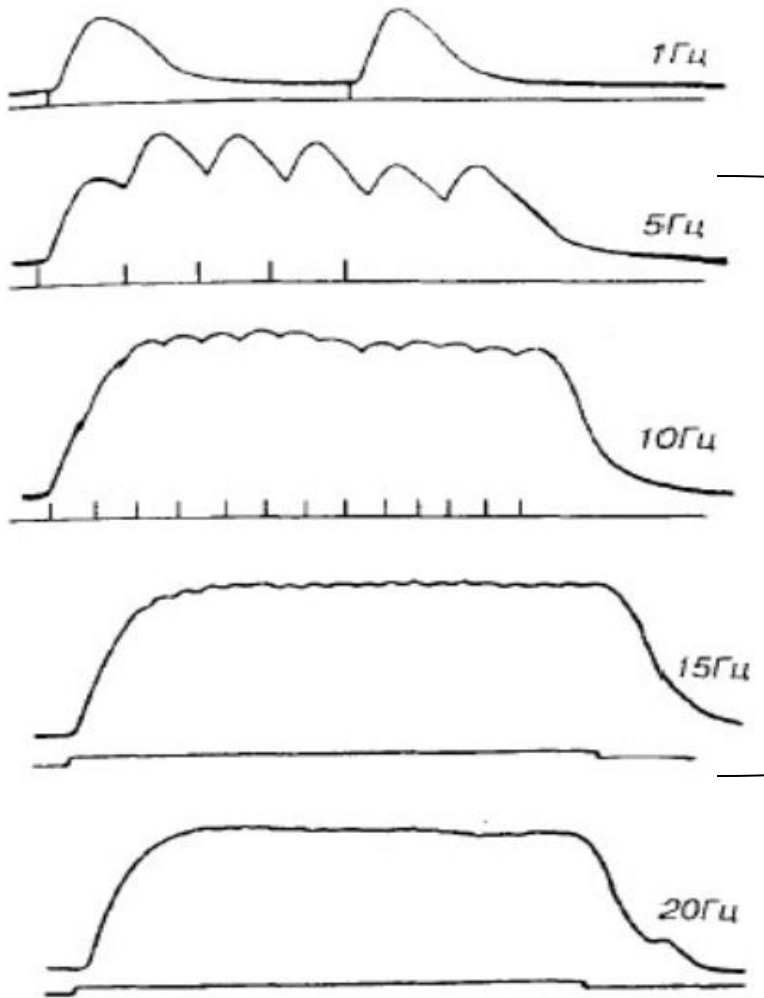
# Виды сокращения мышц

**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

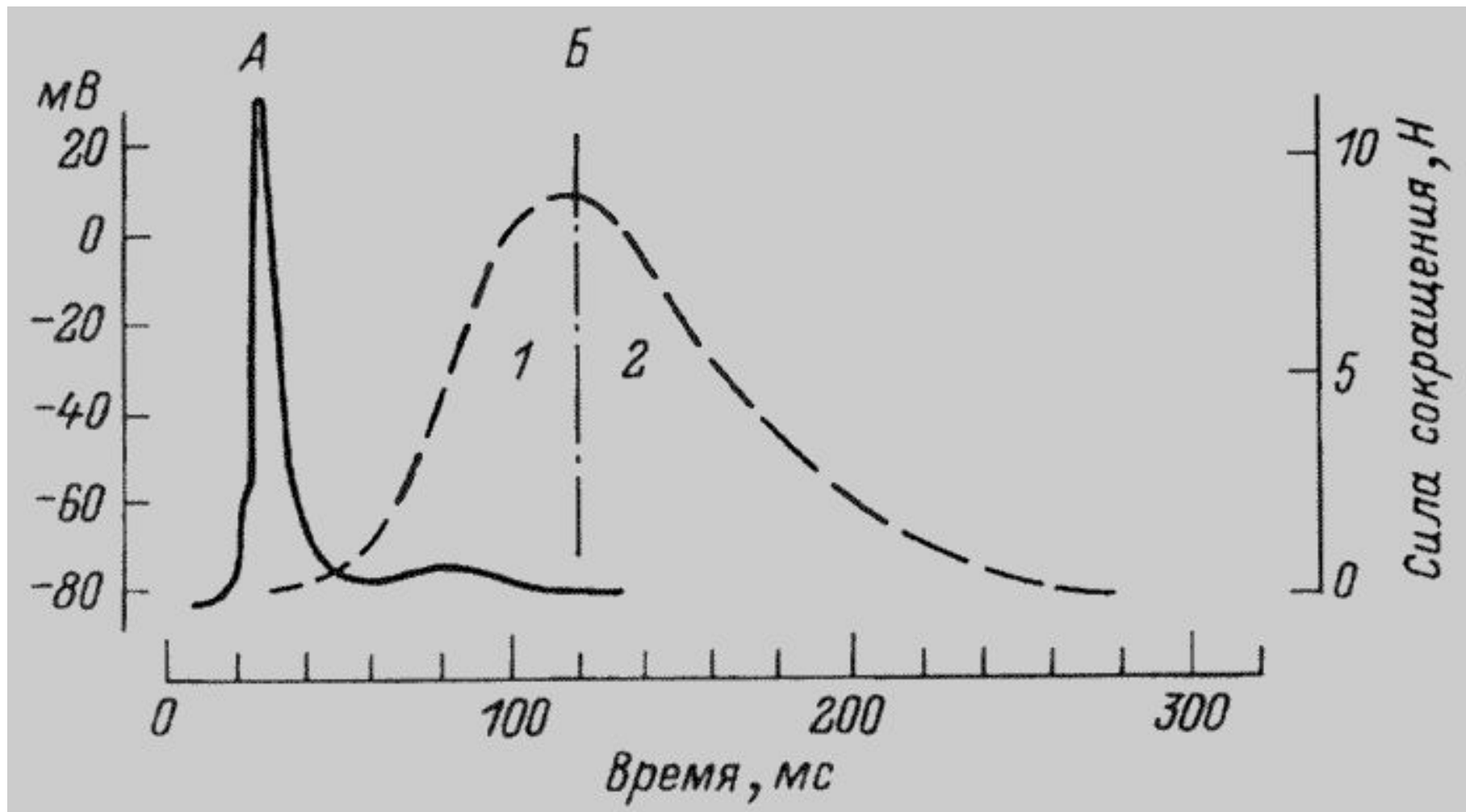


**1. *Одиночное сокращение.***

**2. *Зубчатый тетанус.***

**3. *Гладкий тетанус.***

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

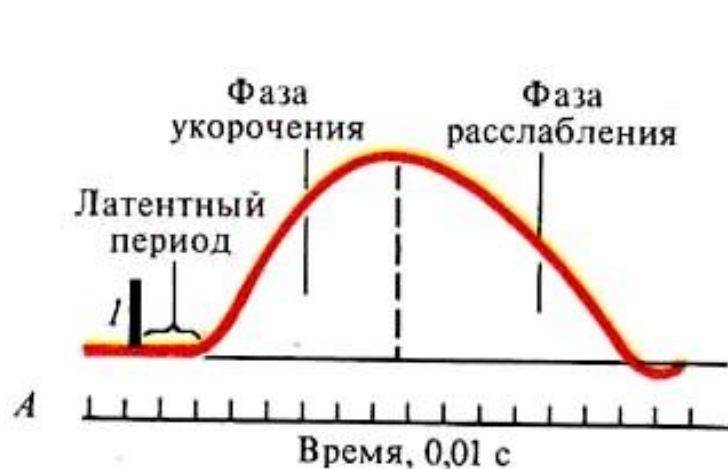


**1 - фаза развития напряжения; 2 - фаза расслабления.**



# Одиночное сокращение и тетанус

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



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

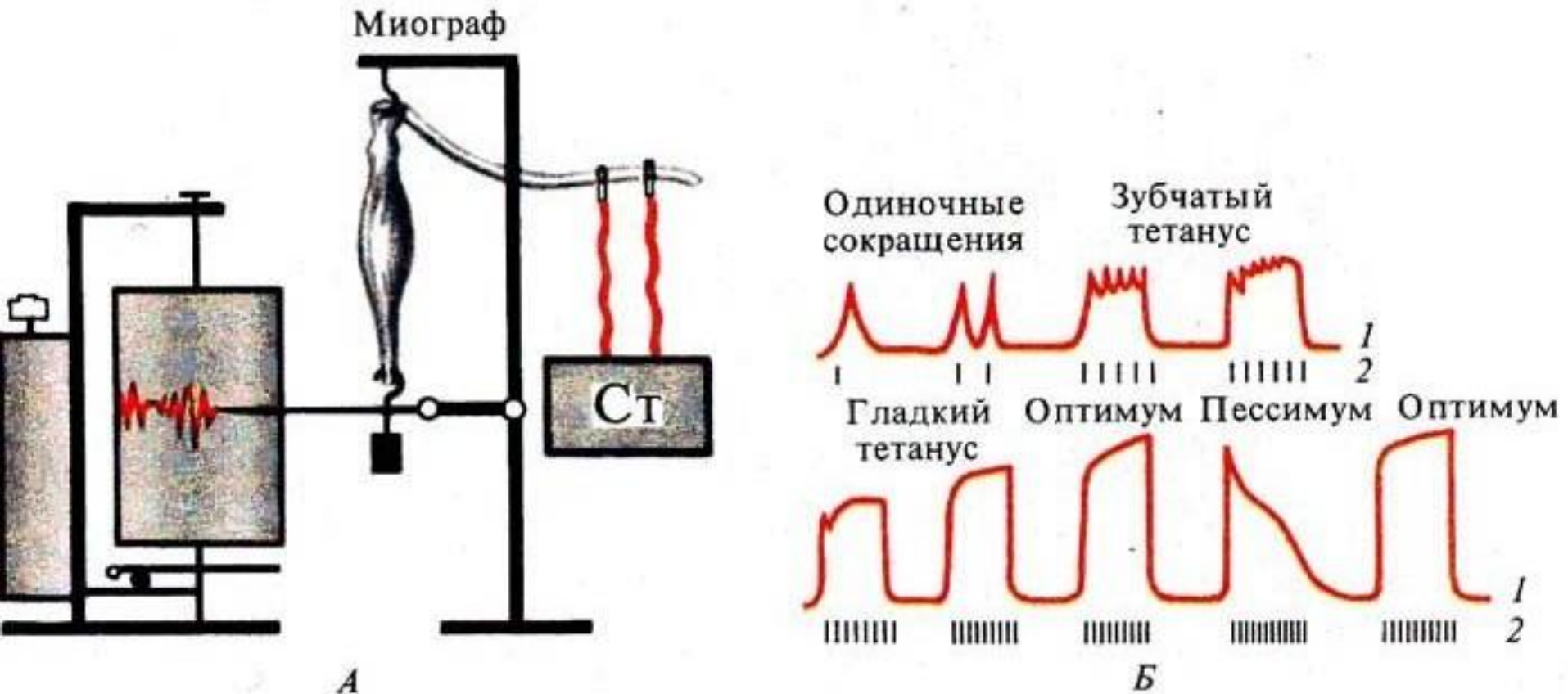
**Тетанус** - длительное сокращение мышц, основанное на временной суммации следующих друг за другом одиночных волн сокращения

# Формирование тетануса в зависимости от частоты раздражения





# Оптimum и пессимум (по Н. Введенскому, 1886)

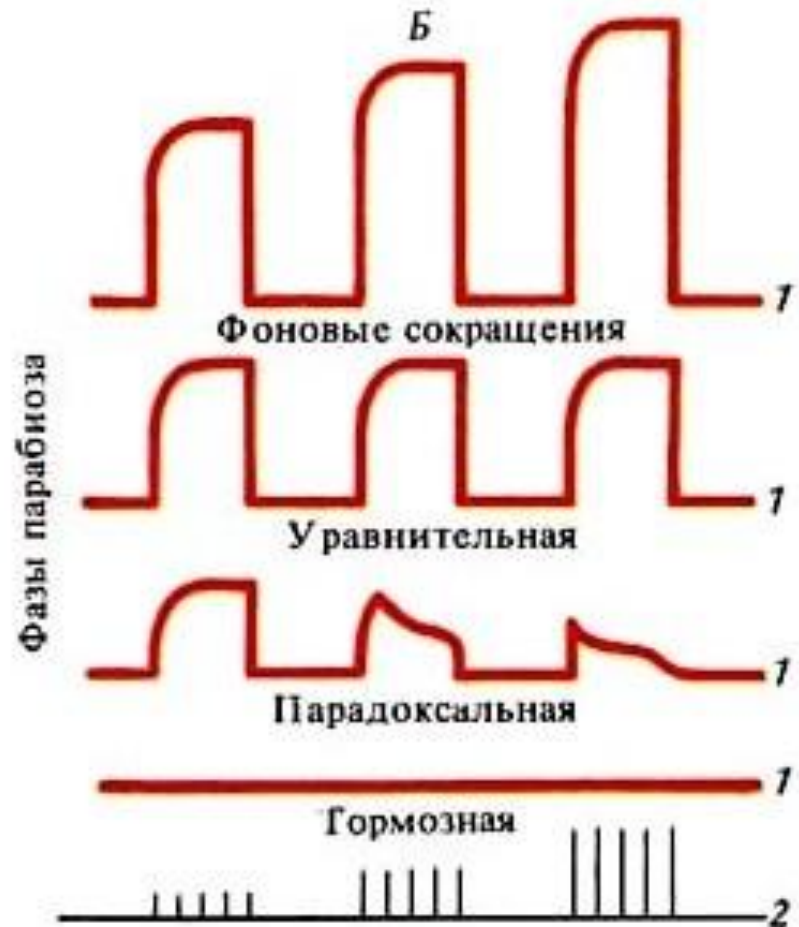
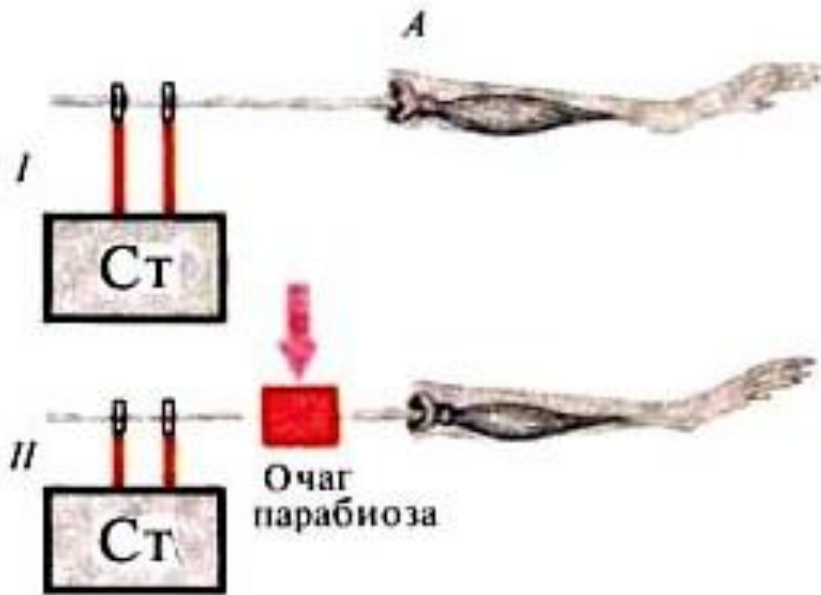


*Примечание.* Явления пессимума и парабииоза возможны в условиях эксперимента.

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

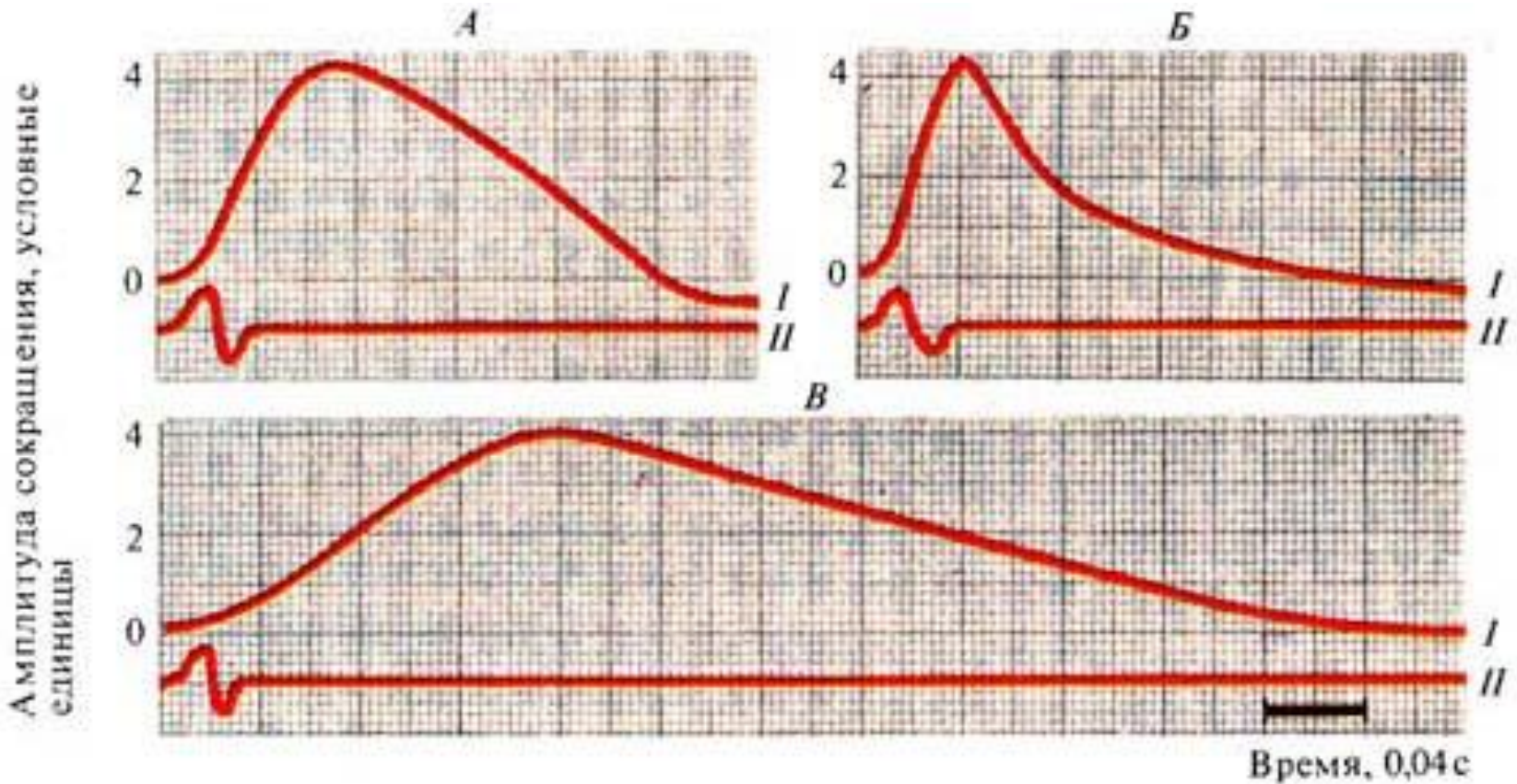
# Парабиоз (по Н. Введенскому):

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



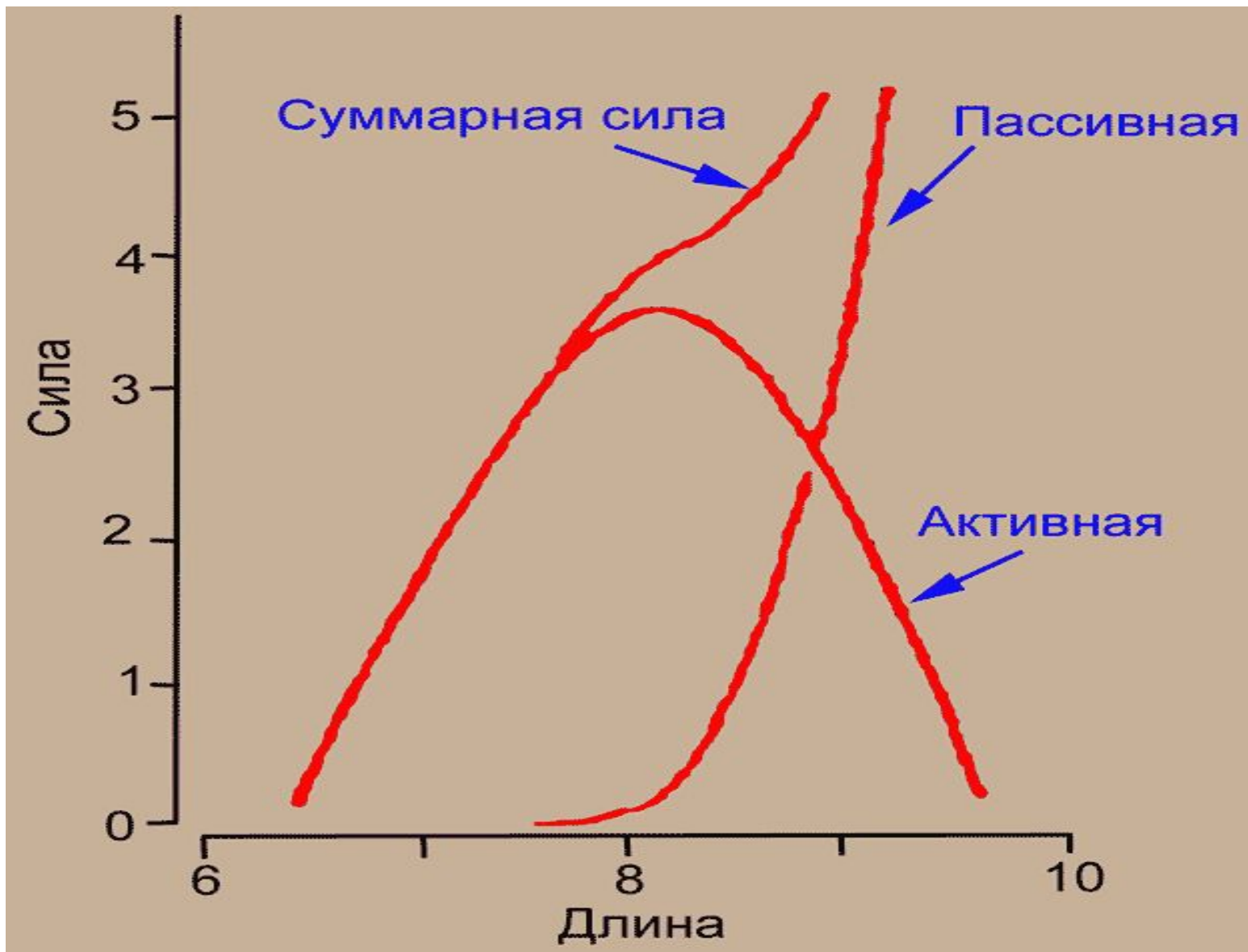
- А — схема опыта: / — положение электродов, // — создание очага парабиоза;
- Б — кривые мышечных сокращений (тетанусы) (1) при нарастающей силе тока (2)

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



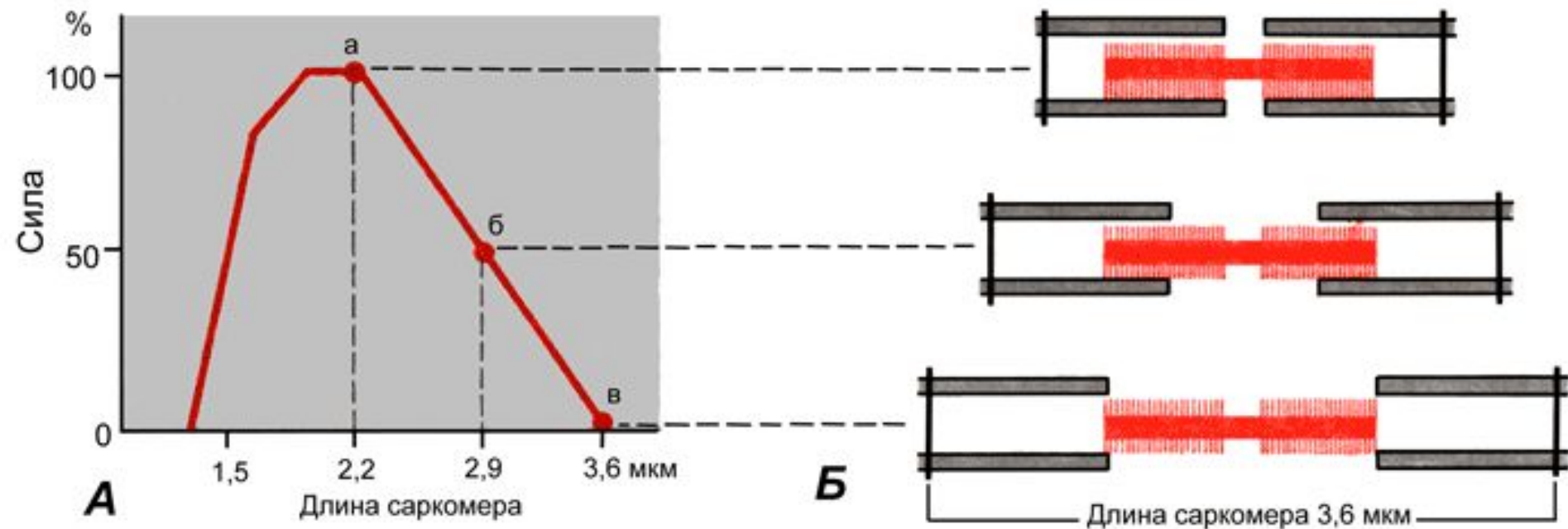
# **Зависимость силы от длины мышцы**

# 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.***

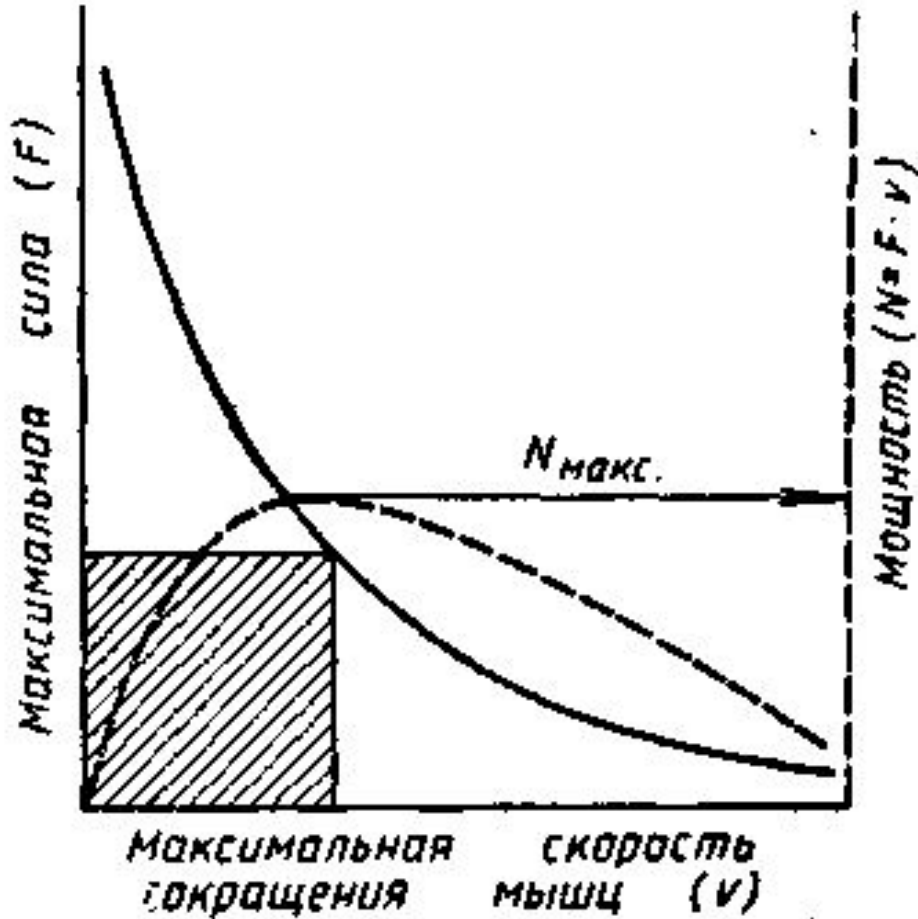
***Б. Перекрывание актиновых и миозиновых нитей при длине саркомера 2,2, 2,9 и 3,6 мкм.***

**Зависимость между силой и  
скоростью сокращения**

# Зависимость между силой и скоростью сокращения обратная

Изометрическое сокращение

Кривая А.Хилла (англ.физиолог)

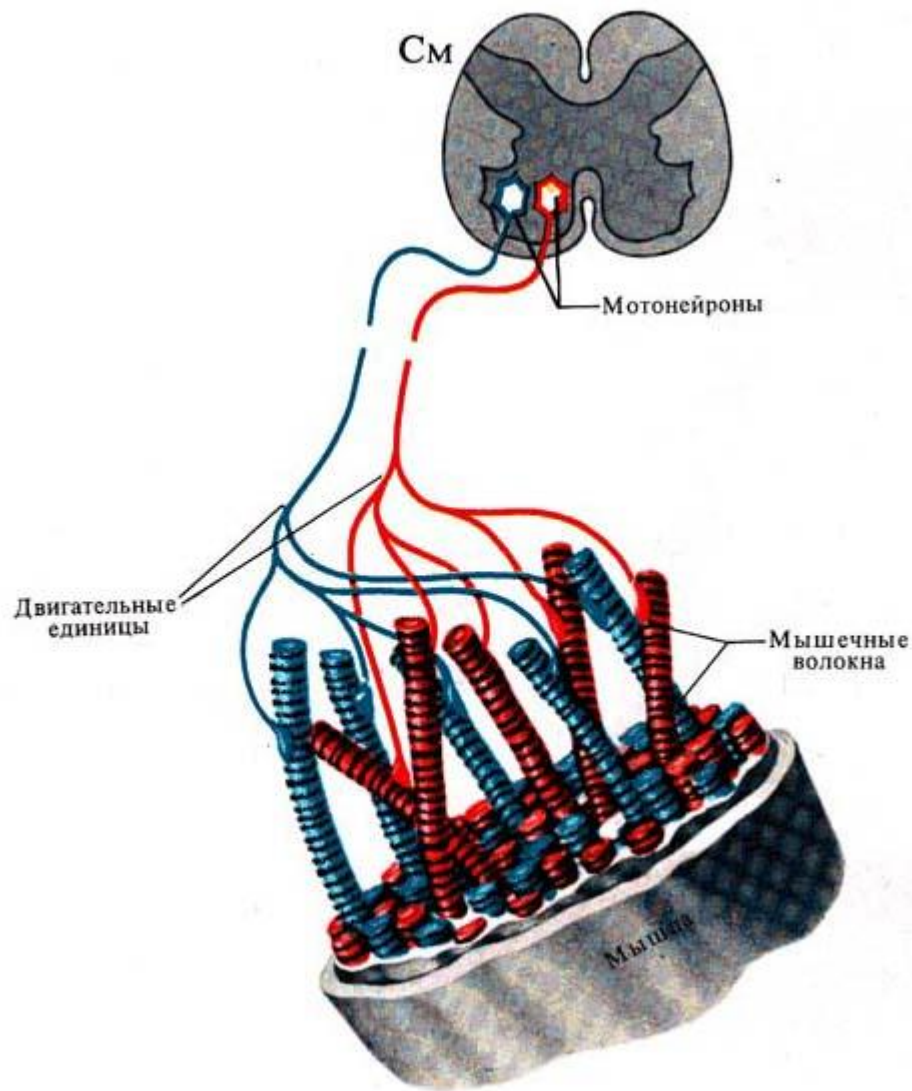


Заштрихованный прямоугольник соответствует максимальной мощности

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).

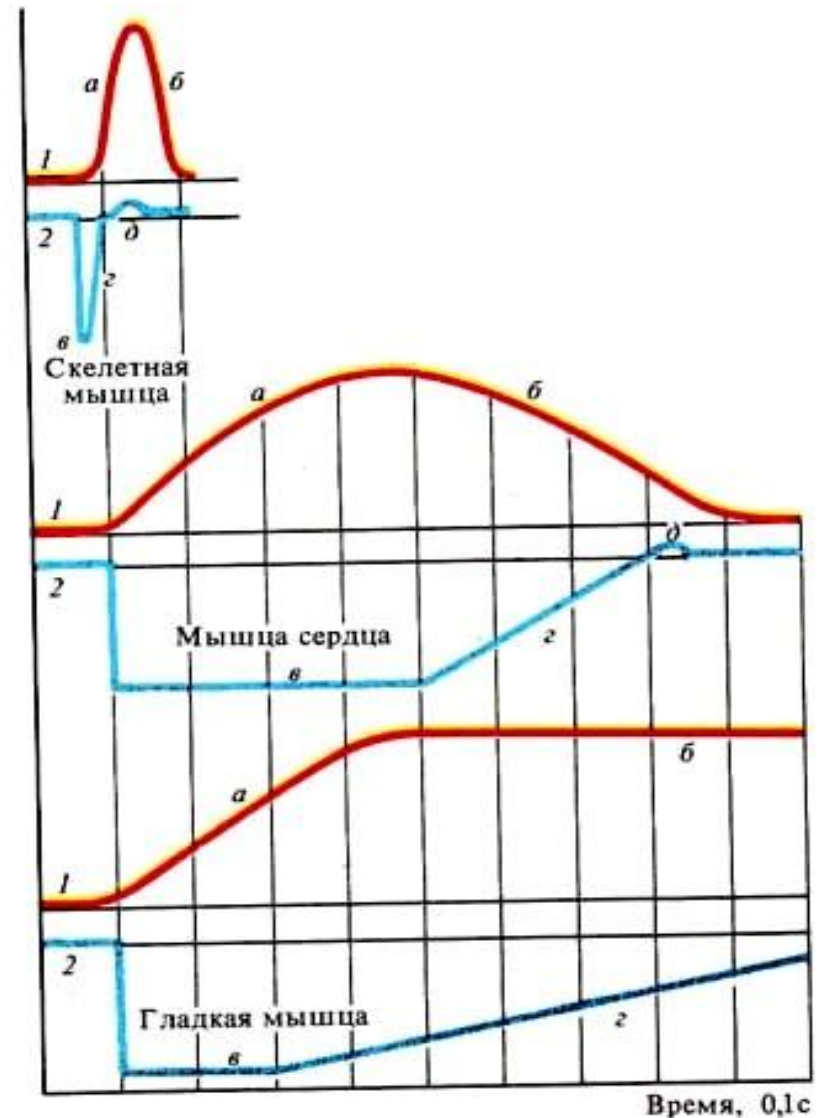
**Миофибриллы мышечной клетки** размещаются параллельно друг другу. Актиновые и миозиновые нити распределены неравномерно – поэтому нет исчерченности.

## 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  $\text{Ca}^{++}$ . 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.

$$A=P*h$$

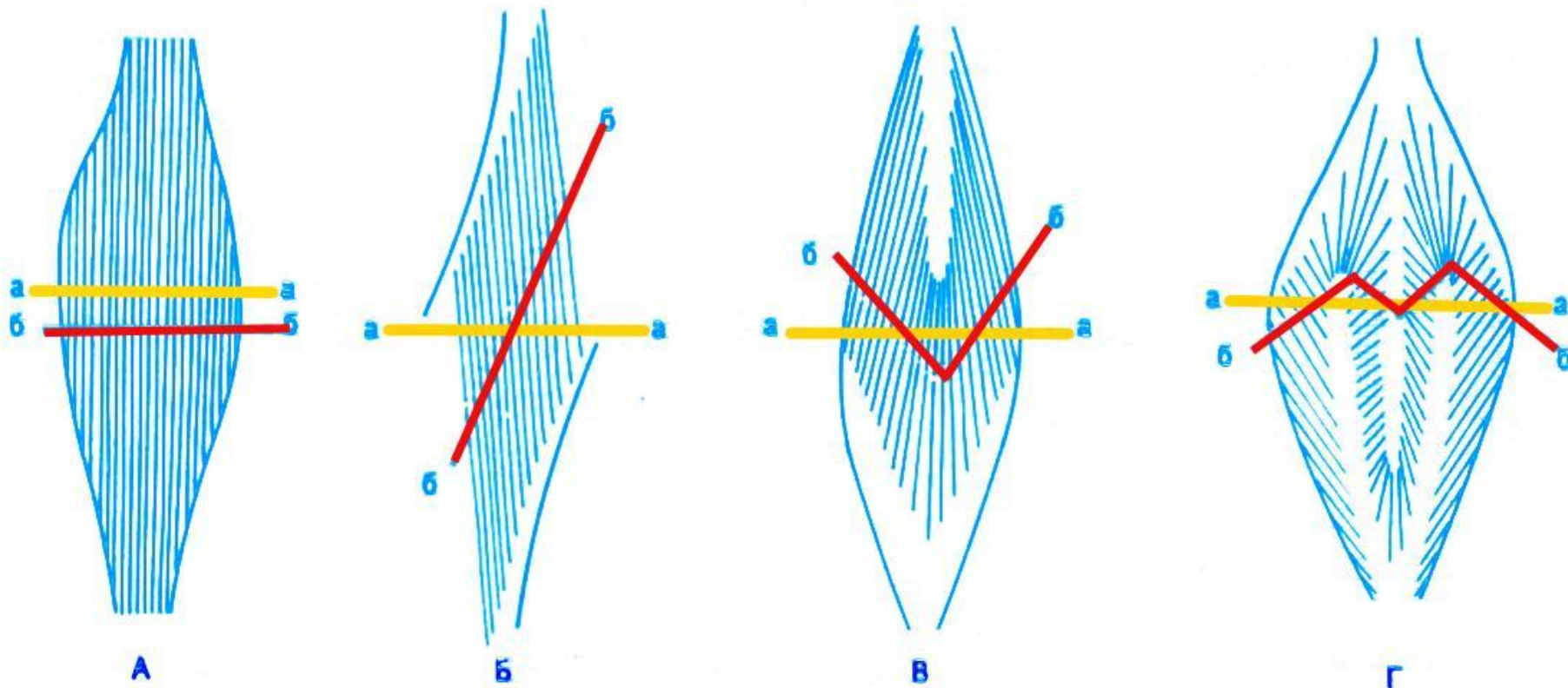
**Динамическая работа** - при которой происходит перемещение груза и движение костей в суставах.

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

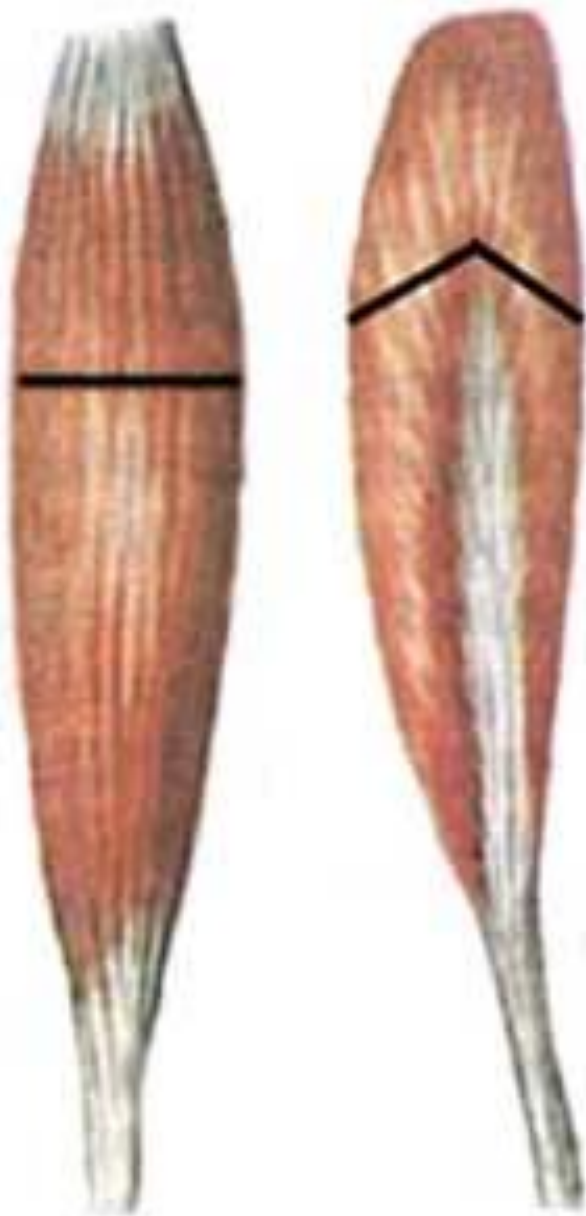
**Сила мышц** – величина максимально поднятого груза и зависит от количества и толщины мышечных волокон, т. е. решающее значение имеет *физиологическая площадь поперечного сечения* мышечных волокон. Физиологическое поперечное сечение (поперечник) совпадает с анатомическим только в мышцах с продольно 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.

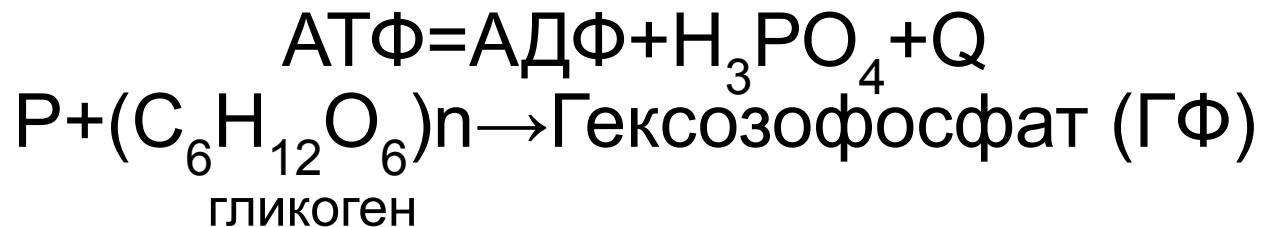
**Причиной утомляемости является:**

- *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  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  около 20%, а 80% идёт на ресинтез гликогена.

