



*Механизмы проведения нервного  
импульса по нервным волокнам.  
Мионевральный синапс*

*ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЦ*

**Лекция 4.**

# Проводимость

- способность проводить возбуждение по ходу нервного волокна в виде потенциала действия.

## Типы нервных волокон:

Миелиновые

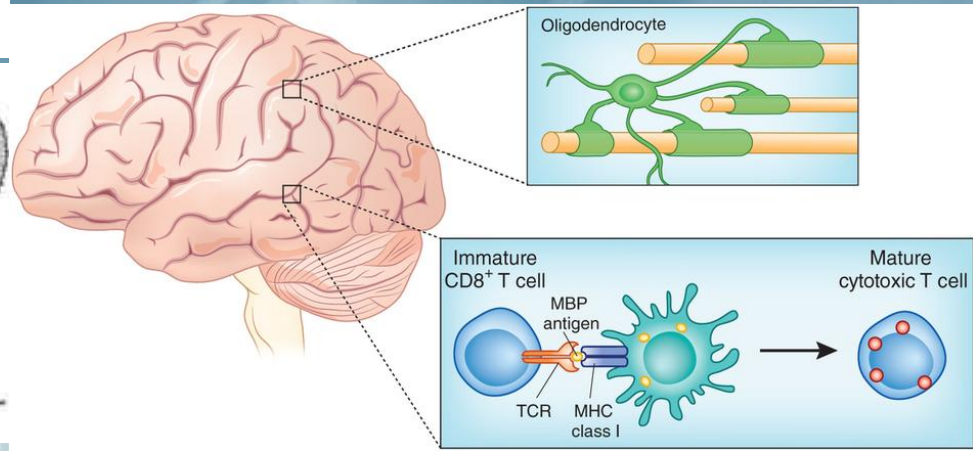
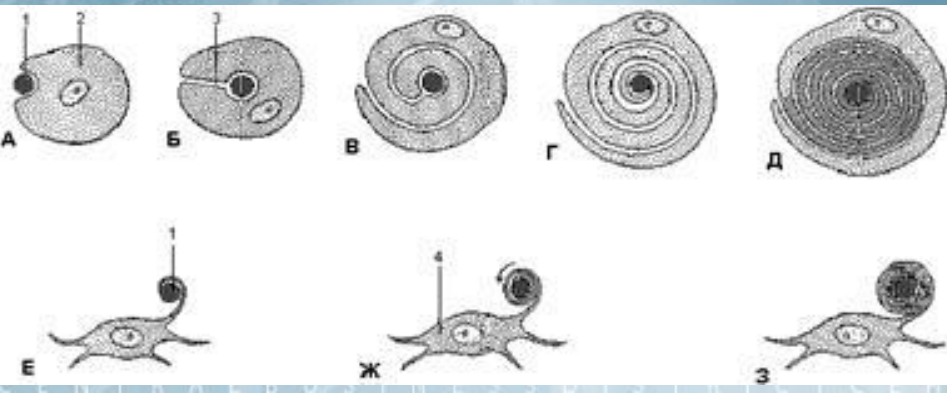
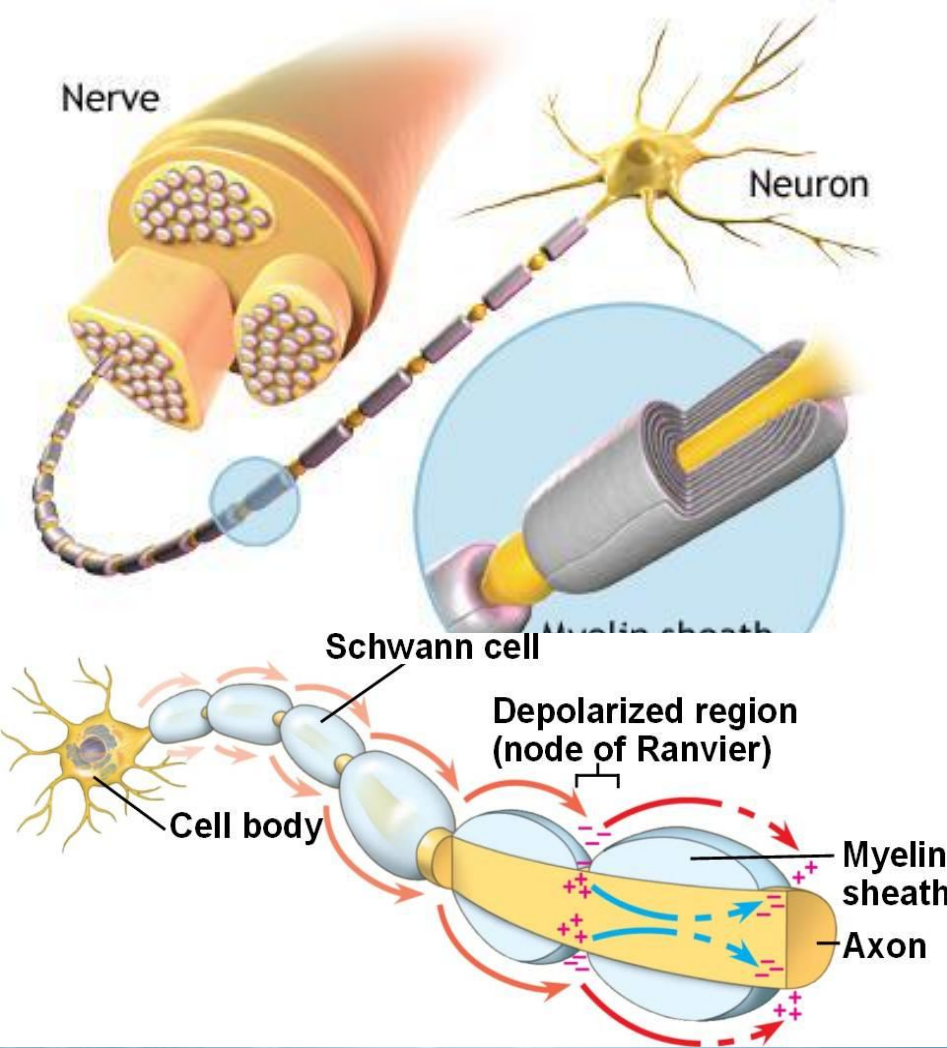
Немиелиновые





# Функции миелиновой оболочки

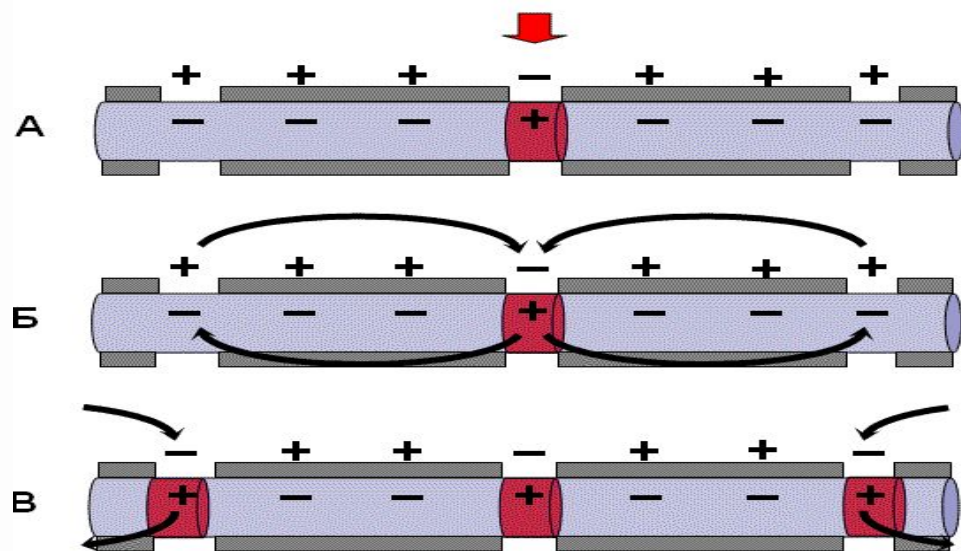
- ✓ Проводниковая;
- ✓ Трофическая;
- ✓ Структурная;
- ✓ Защитная.



# Механизм проведения нервного импульса по немиелиновым и миелиновым нервным волокнам



**Распространение возбуждения по немиелиновому волокну**



**Распространение возбуждения по миелиновому волокну**

**Преимущества:**

- 1) большая скорость;**
- 2) экономичность.**



# Скорость проведения возбуждения по нервному волокну зависит от:

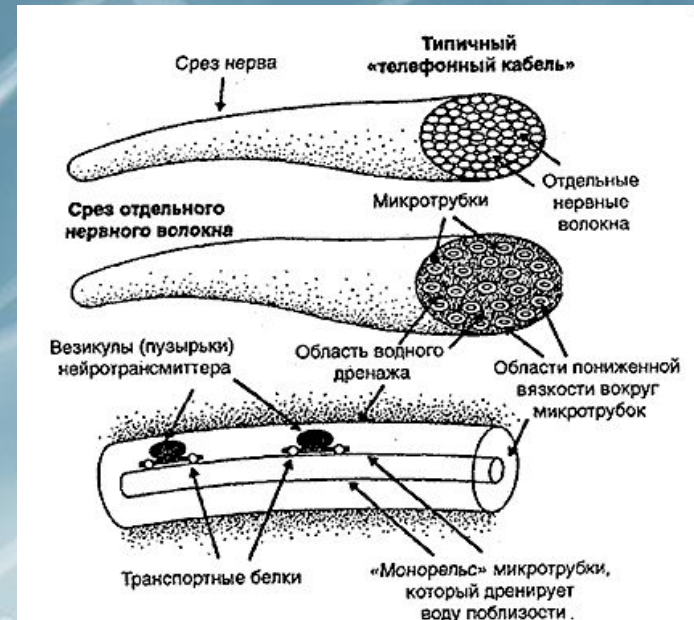
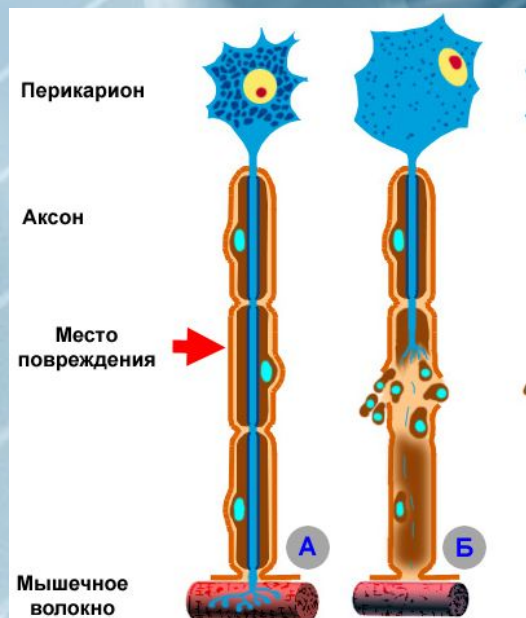
- 1 - строения оболочки;
- 2 - диаметра волокон.

Типы волокон в нервах млекопитающих (по Эрлангеру—Гассеру)

Тип волокон	Диаметр волокна, мкм	Скорость проведения возбуждения, м/с	Длительность абсолютного рефрактерного периода, мс
A $\alpha$	12–20	70–120	0,4–1,0
A $\beta$	5–12	30–70	—
A $\delta$	3–6	15–30	0,4–1,0
A $\gamma$	2–5	12–30	—
B	1–3	5–12	1,2
C	0,3–1,3	0,5–2,3	2

# Законы распространения возбуждения по нерву

- Закон физиологической целостности;
- Закон двустороннего проведения возбуждения;
- Закон изолированного распространения возбуждения.



# Аксонный транспорт - это перемещение по аксону нервной клетки различного биологического материала.

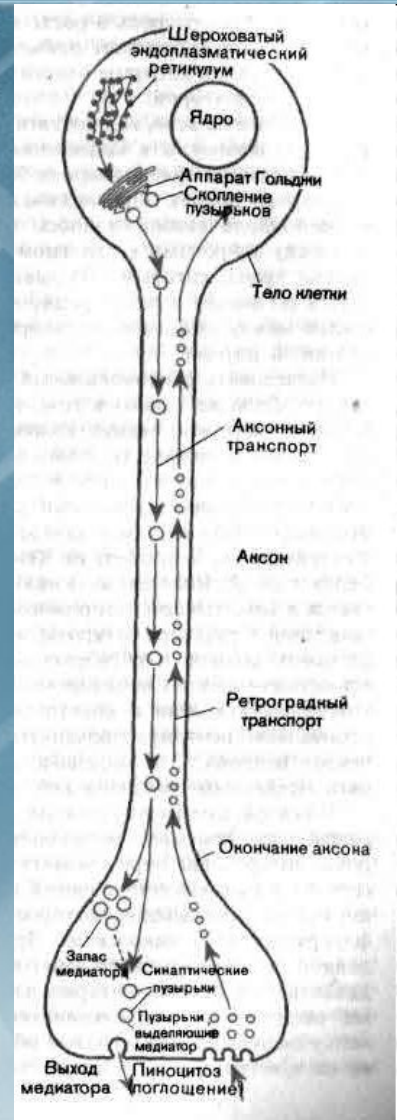
- **Быстрый транспорт (скорость 200—400 мм/сут)**

- прямой - от тела клетки до аксонных окончаний;
- обратный - к телу клетки;

- **Медленный транспорт (скорость 1—2 мм/сут.);**

## *Значение аксонного транспорта:*

- необходим для поддержания структуры нервного волокна;
- необходим для аксонного роста и образования синаптических контактов;
- играет важную роль при регенерации нервных волокон.



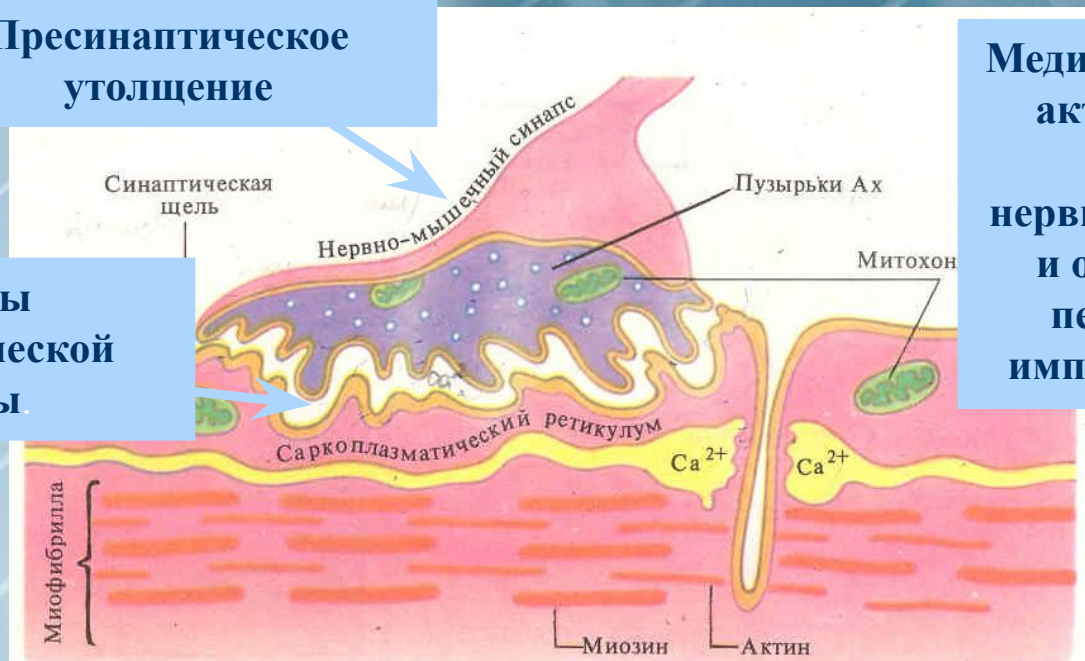


# Нервно-мышечный синапс (мионевральный синапс)

— эффекторное нервное окончание на скелетном мышечном волокне.

Пресинаптическое утолщение

Рецепторы постсинаптической мембраны.



Медиатор - биологически активное вещество, секретируемое нервными окончаниями и обуславливающее передачу нервных импульсов в синапсах.

- Пресинаптическая мембрана;
- Синаптическая щель;
- Постсинаптическая мембрана.



# Этапы синаптической передачи

1. Молекулы нейромедиатора поступают в синаптические пузырьки, располагающиеся в пресинаптическом утолщении;

2. Деполяризация пресинаптической мембраны;

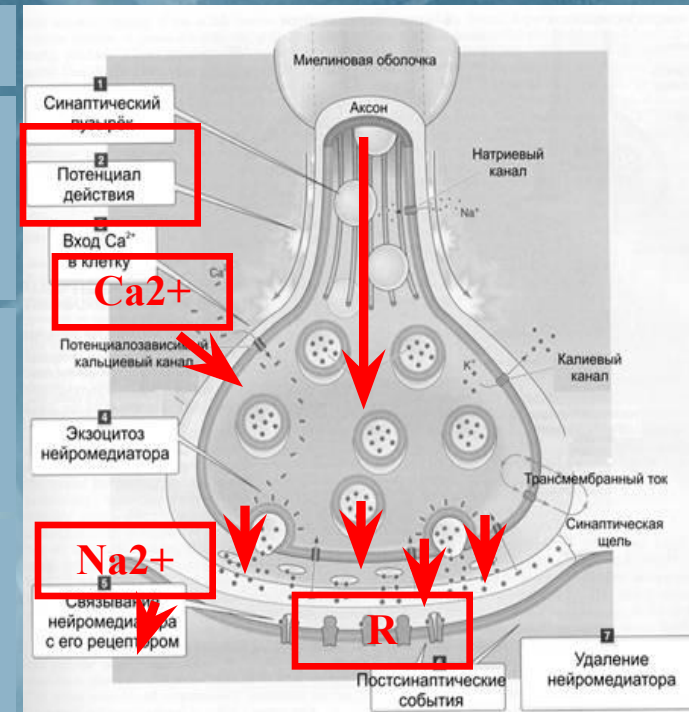
3. Открытие потенциалозависимых  $\text{Ca}^{2+}$ -каналов, и поступление ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в пресинаптическое утолщение;

4. Движение везикул с нейромедиатором к пресинаптической мембране, слияние с ней и выброс нейромедиаторов в синаптическую щель;

5. Связывание нейромедиаторов со специфичными для них рецепторами постсинаптической мембраны;

6. Открытие  $\text{Na}^+$  каналов, деполяризация постсинаптической мембраны, возникновение потенциала действия;

7. Инактивация нейромедиаторов (их ферментное расщепление, обратное поступление нейромедиатора в пресинаптическую мембрану).



# Свойства мионеврального синапса

- Синапс проводит возбуждение только **в одном направлении** – в направлении от пресинаптической мембраны к постсинаптической;
- В синапсе имеет место **синаптическая задержка** возбуждения;
- В синапсе отмечается **облегчение** проведения каждого последующего возбуждения;
- При длительном возбуждении синапса в нем может наблюдаться **снижение чувствительности рецепторов** к медиатору, обусловленное закрытием части натриевых каналов, за счет включения системы инактивации;
- В синапсах быстро **развивается процесс утомления**, связанный с быстрым метаболическим истощением запасов медиатора в везикулах пресинаптических утолщений.

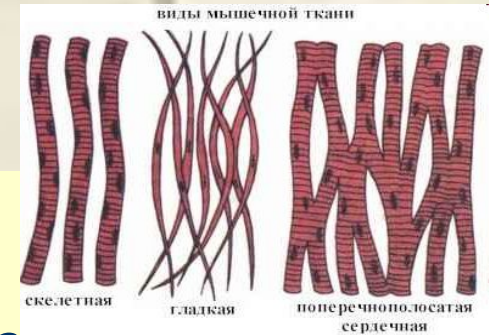


# **ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЦ**



# Мышцы

(от лат. *musculus* — мышка, маленькая мышь) — органы тела животных и человека, состоящие из упругой, эластичной мышечной ткани, способной сокращаться под влиянием нервных импульсов.



## Типы мышц:

- **скелетные (поперечно-полосатые, исчерченные);**

**Функции:** двигательная, дыхательная, коммуникативная, терморегуляторная.

- **гладкие мышцы;**

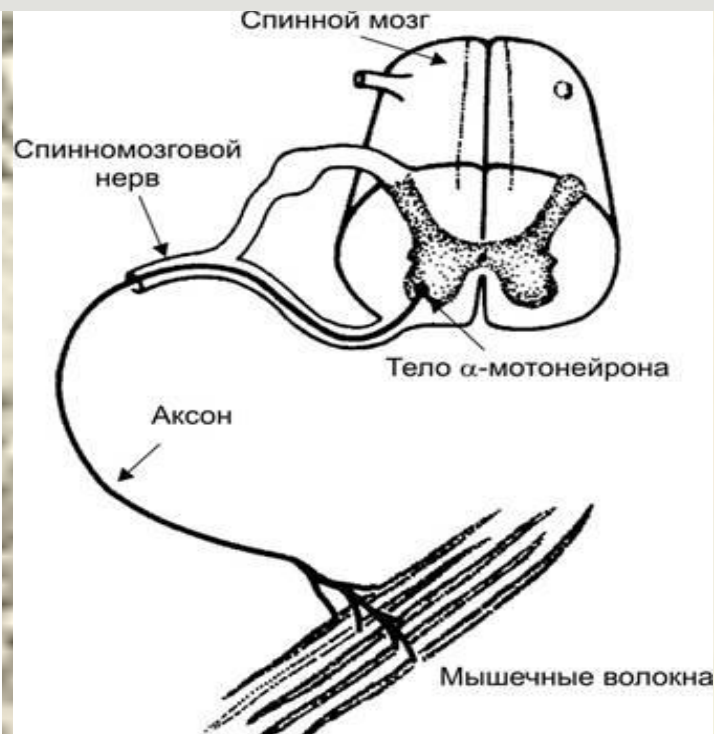
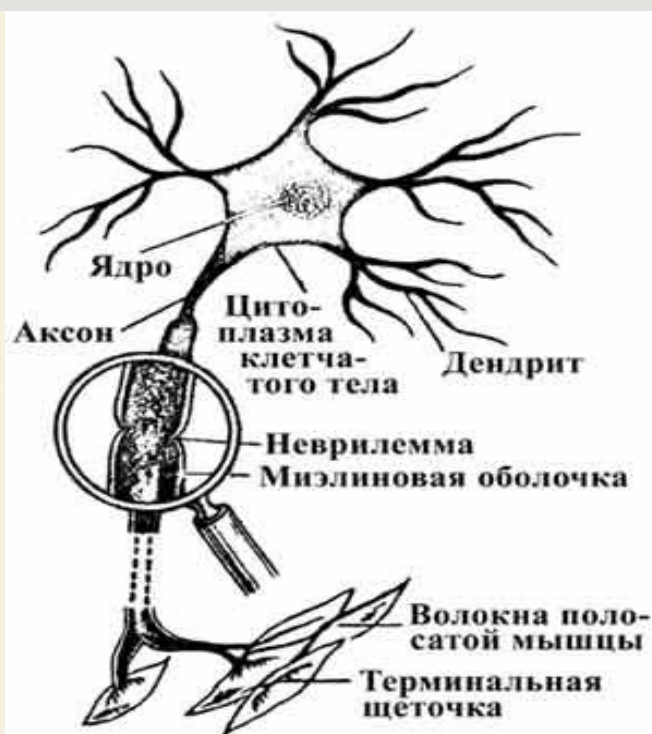
**Функции:** обеспечение тонуса полых внутренних органов и сосудов.

- **сердечные мышцы (гемодинамическая функция).**



# Нейромоторная единица

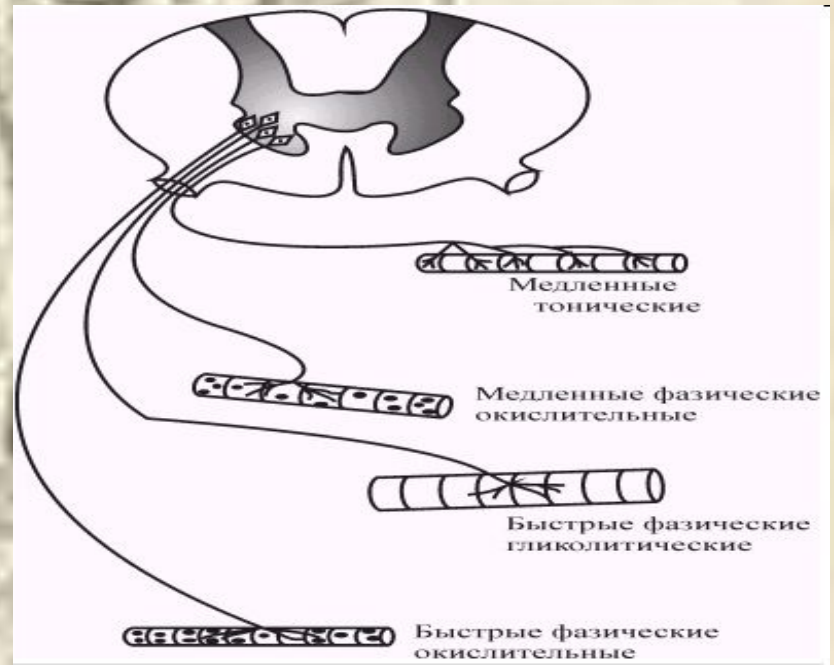
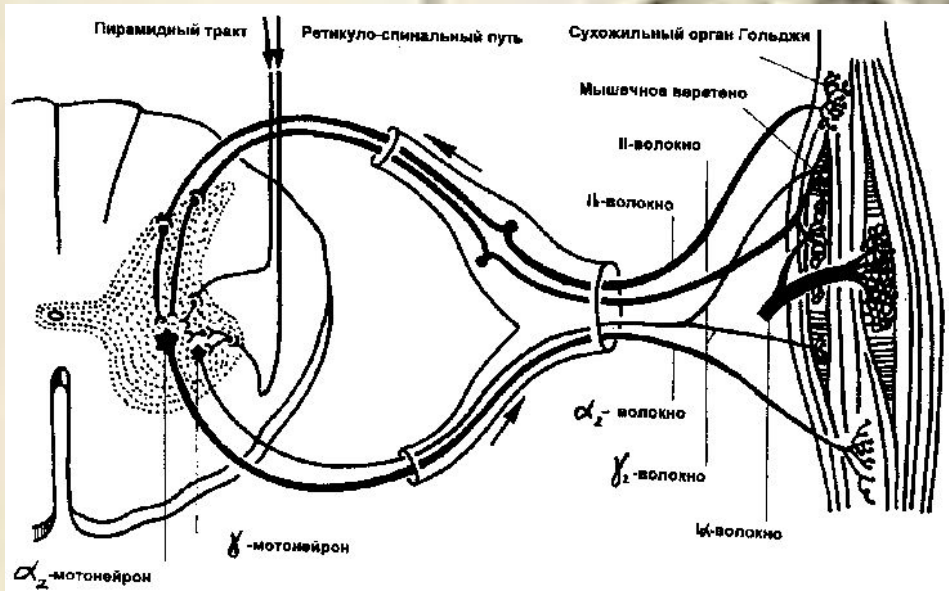
- **нервная клетка** - мотонейроны, тела, которых лежат в передних рогах спинного мозга;
- **аксон мотонейрона** (миелиновые волокна);
- **группа мышечных волокон**, иннервируемые ЭТИМ аксоном.



# Виды нейромоторных единиц

По характеру возбуждения, возникающего в мышечных волокнах:

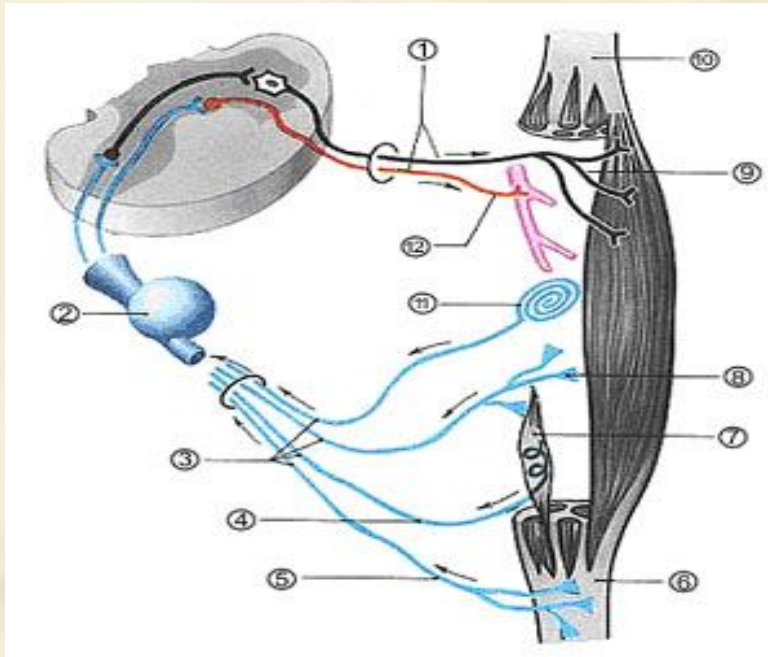
- **Фазные нейромоторные единицы** (образуются альфа-мотонейронами);
  - быстрые;
  - медленные;
- **Тонические нейромоторные единицы** (образуются гамма-мотонейронами);





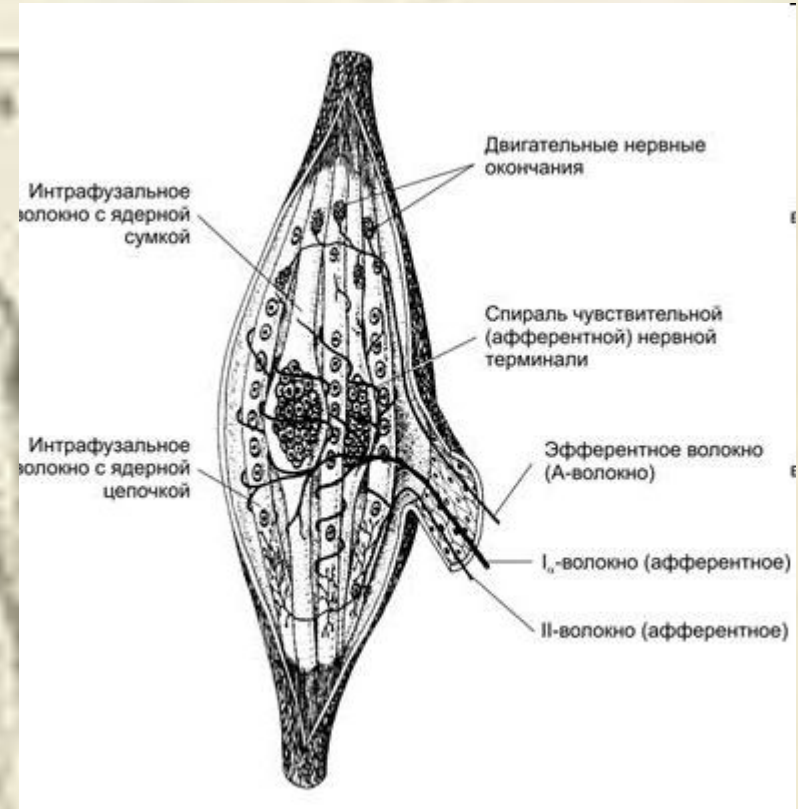
# Тонус мышц

- умеренное напряжение мышц, когда они находятся в состоянии относительного покоя.



## Иннервация мышц.

1, 12 - эфферентные волокна;  
2 - спинальный ганглий;  
3 - афферентные волокна, от  
интрафузального аппарата (4); от рецептора  
Гольджи (5); от сухожилия (6); 7 -  
интрафузальное мышечное волокно; 8 -  
свободное нервное окончание; 9 - волокна  
мотонейрона;  
10 - сухожилие.

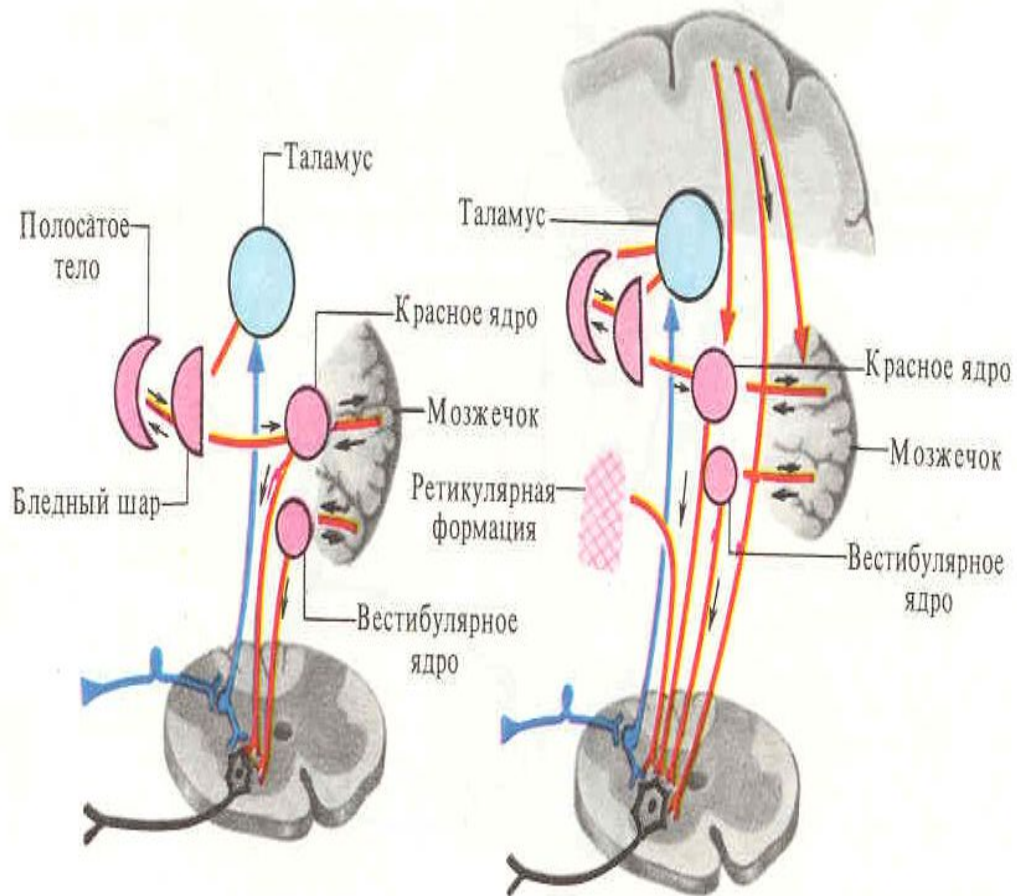
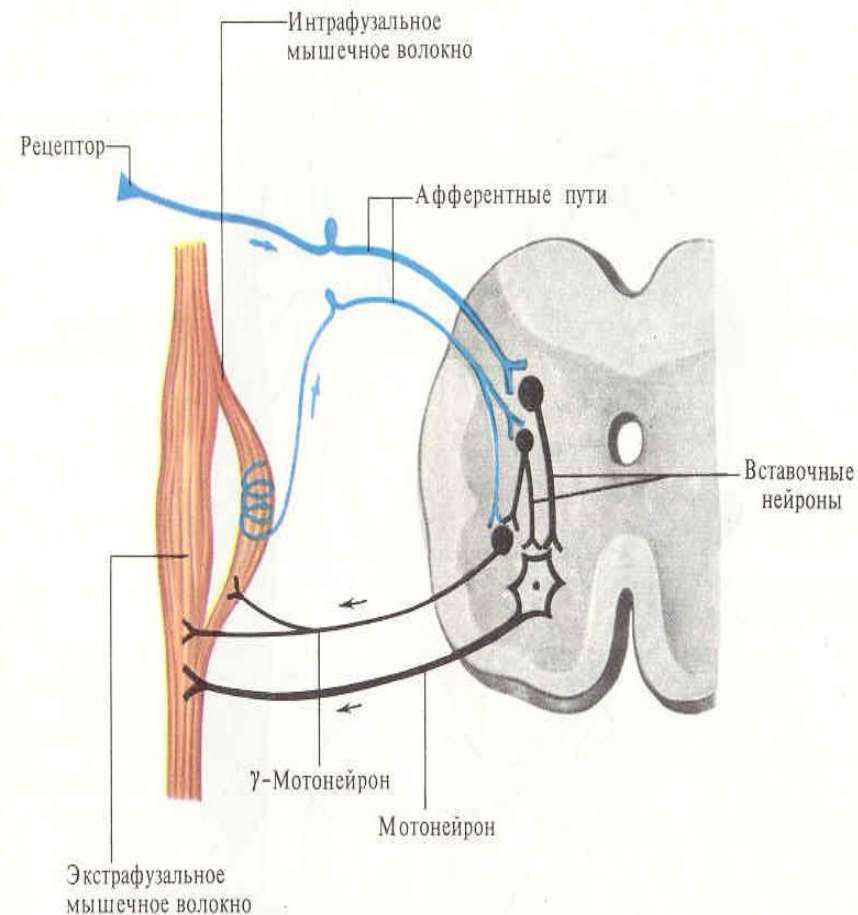


## Строение мышечного веретена

### Значение мышечных веретен:

- помогает ЦНС определить положение мышцы, сустава
- сигнализирует о влиянии условий окружающей среды

# Регуляция тонуса мышц

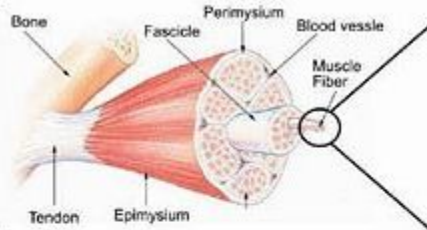


**На тонус мышц оказывают влияния импульсы, поступающие из: коры ГМ, базальных ядер, ретикулярной фармации, мозжечка, среднего и продолговатого мозга**

# Строение скелетной мускулатуры

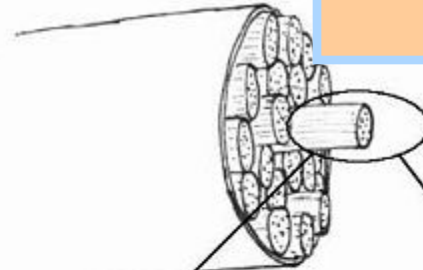


**Мышца**

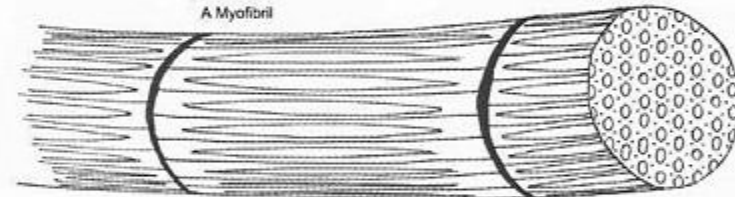


**Мышечное ВОЛОКНО**

Muscle Fiber (single cell, multi-nuclear)



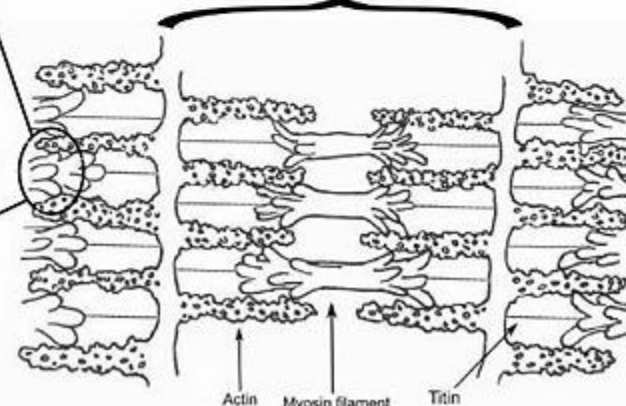
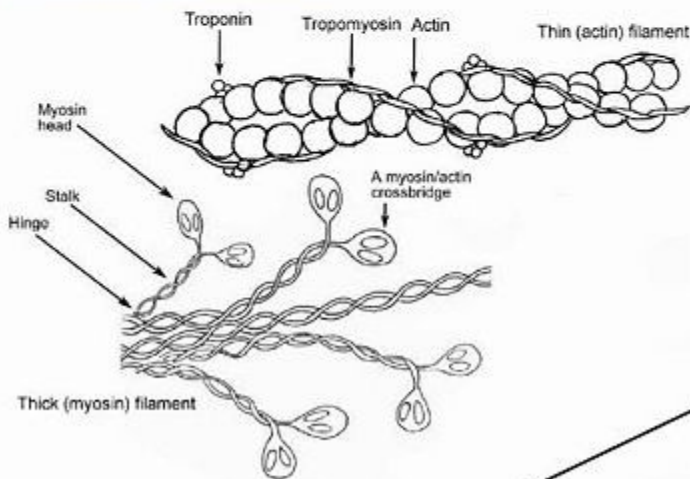
**Миофибрилла**



A Myofibril

One sarcomere

**Миофиламенты**



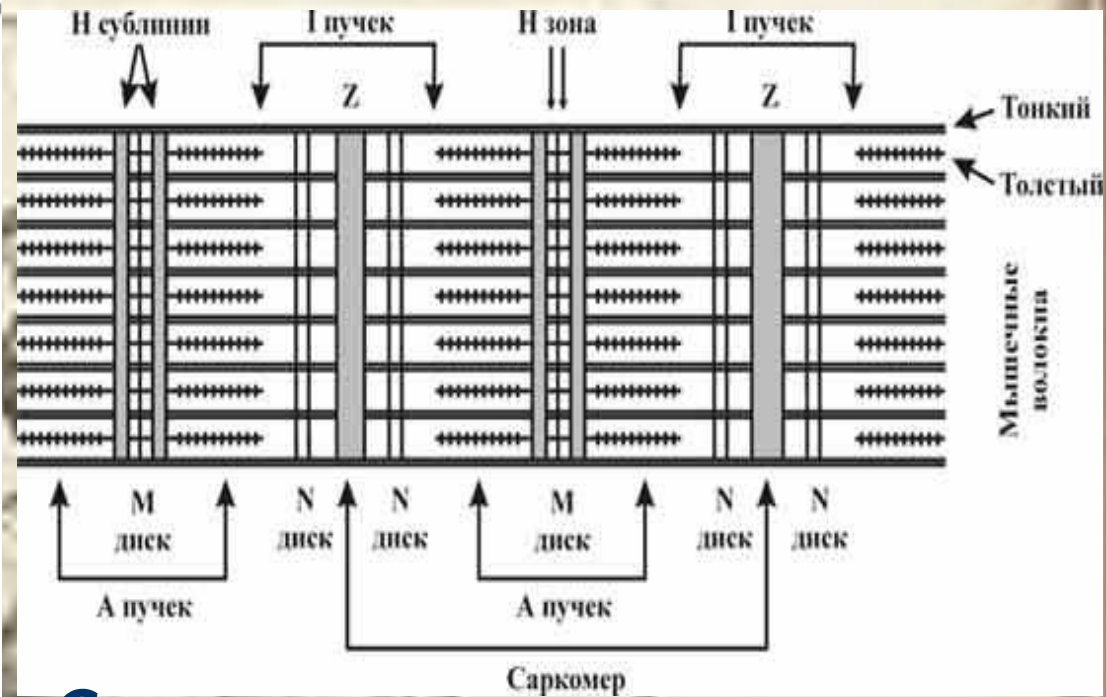
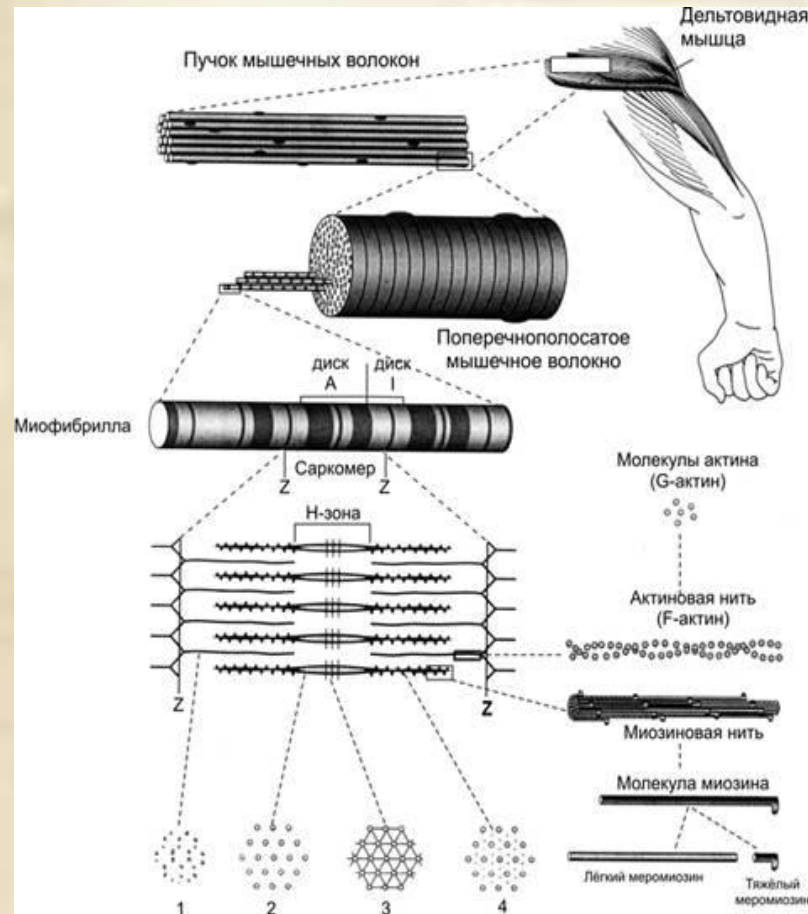
Actin

Myosin filament

Titin



# Строение мышечного волокна



**Саркомер – структурно-функциональная единица мышечного волокна;**

**Саркомер = 1А-диск + 2\*0,5 I-диска**

# Строение мышечного волокна



# Свойства скелетных мышц

## Физические;

- Двойное лучепреломление – способность ткани по разному преломлять солнечные лучи;
- Растяжимость – способность ткани растягиваться;
- Эластичность – способность ткани после растяжения мышца приходит в исходное положение;
- Упругость – способность ткани после сжатия приходит в исходное состояние;
- Пластичность – способность ткани некоторое время сохранять приданную ей искусственную форму.

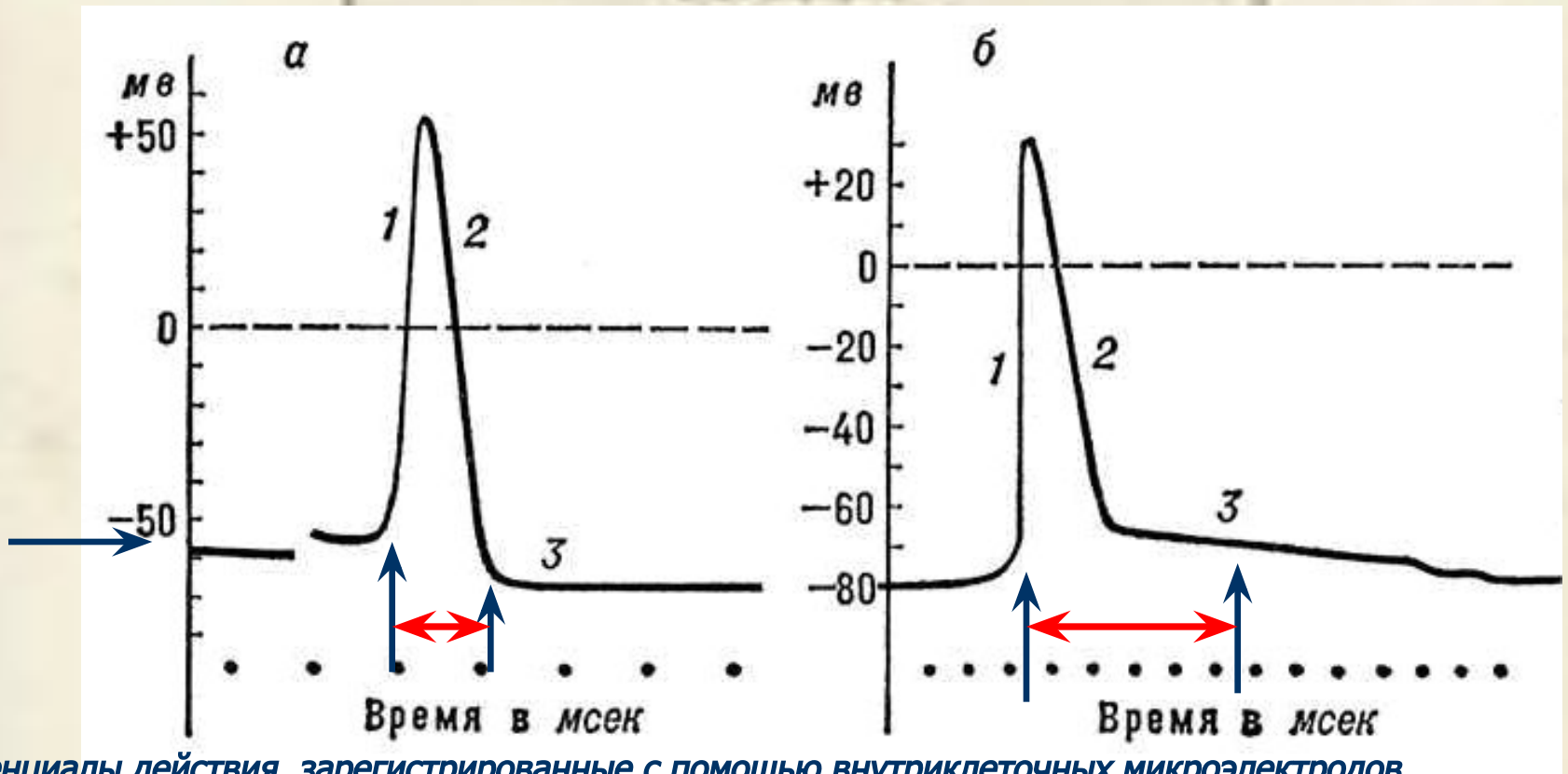
## Физиологические;

- Возбудимость – свойство клеточных мембран отвечать на действие раздражителя изменением ионной проницаемости мембраны и формированием возбуждения;
- Проводимость – способность мышцы проводить возбуждение вдоль и вглубь мышечного волокна;
- Сократимость - способность мышцы при действии раздражителя изменять свою длину или тонус.



# Физиологические свойства скелетных мышц

## • Возбудимость скелетной мышцы



Потенциалы действия, зарегистрированные с помощью внутриклеточных микроэлектродов.

а — ПД гигантского аксона кальмара; б — ПД скелетного мышечного волокна;

1 — восходящая фаза ПД; 2 — нисходящая фаза; 3 — следовая гиперполяризация (а) и следовая деполяризация (б).

# Различные фазы теплообразования в мышцах

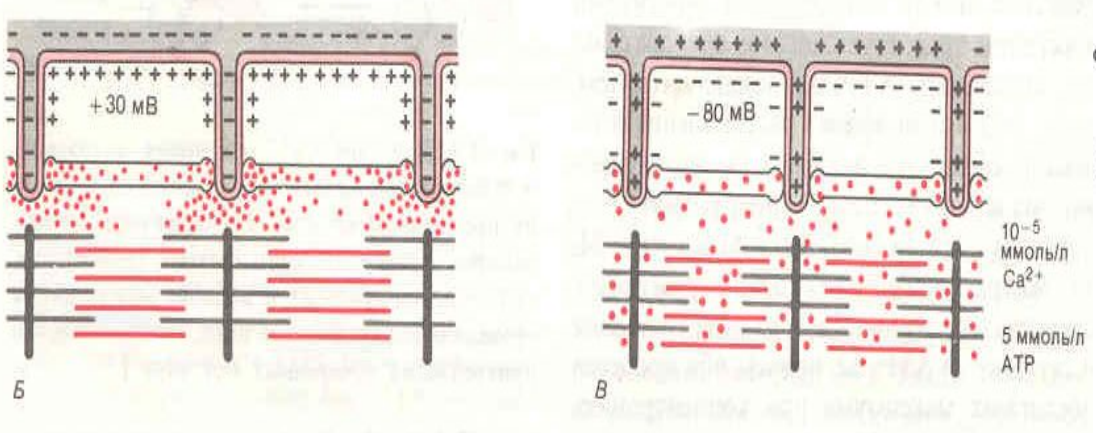
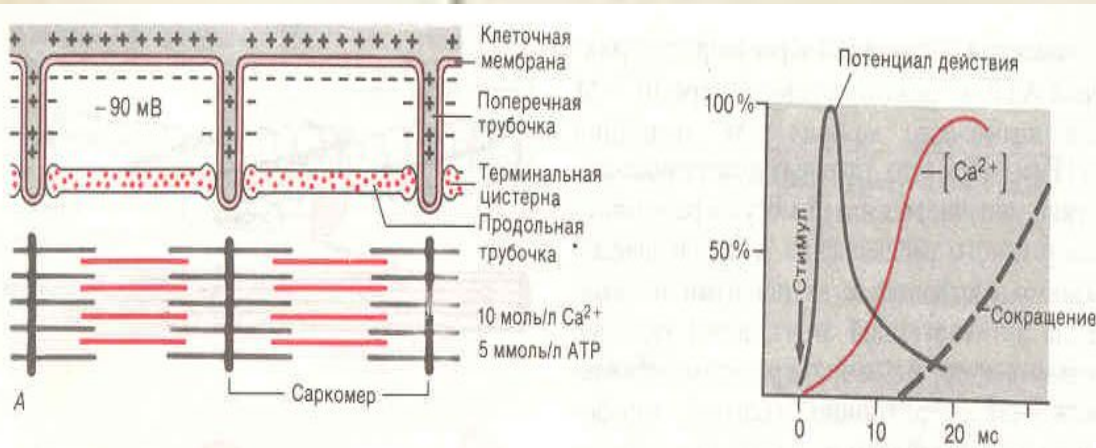


30-40%

60-70%

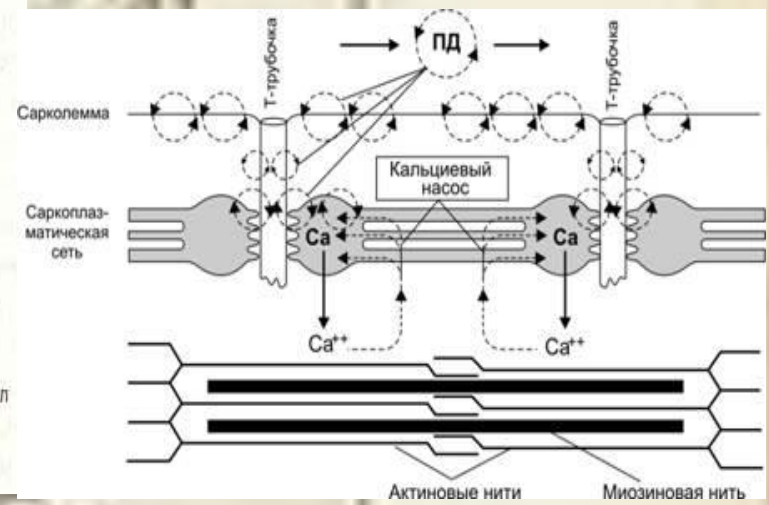
# Физиологические свойства скелетных мышц

## • Проводимость скелетной мышцы



## Проводящая система мышцы:

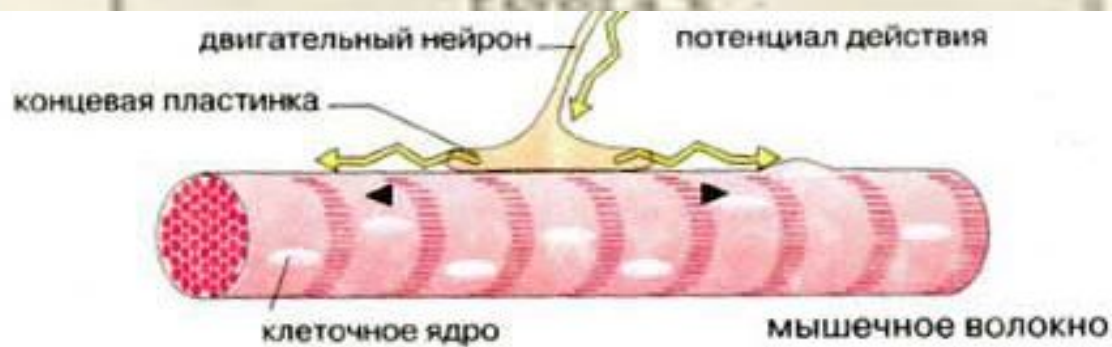
- Сарколемма;
- Поперечные трубочки;
- Саркоплазматический ретикулум.





# Физиологические свойства скелетных мышц

## • Проводимость скелетной мышцы

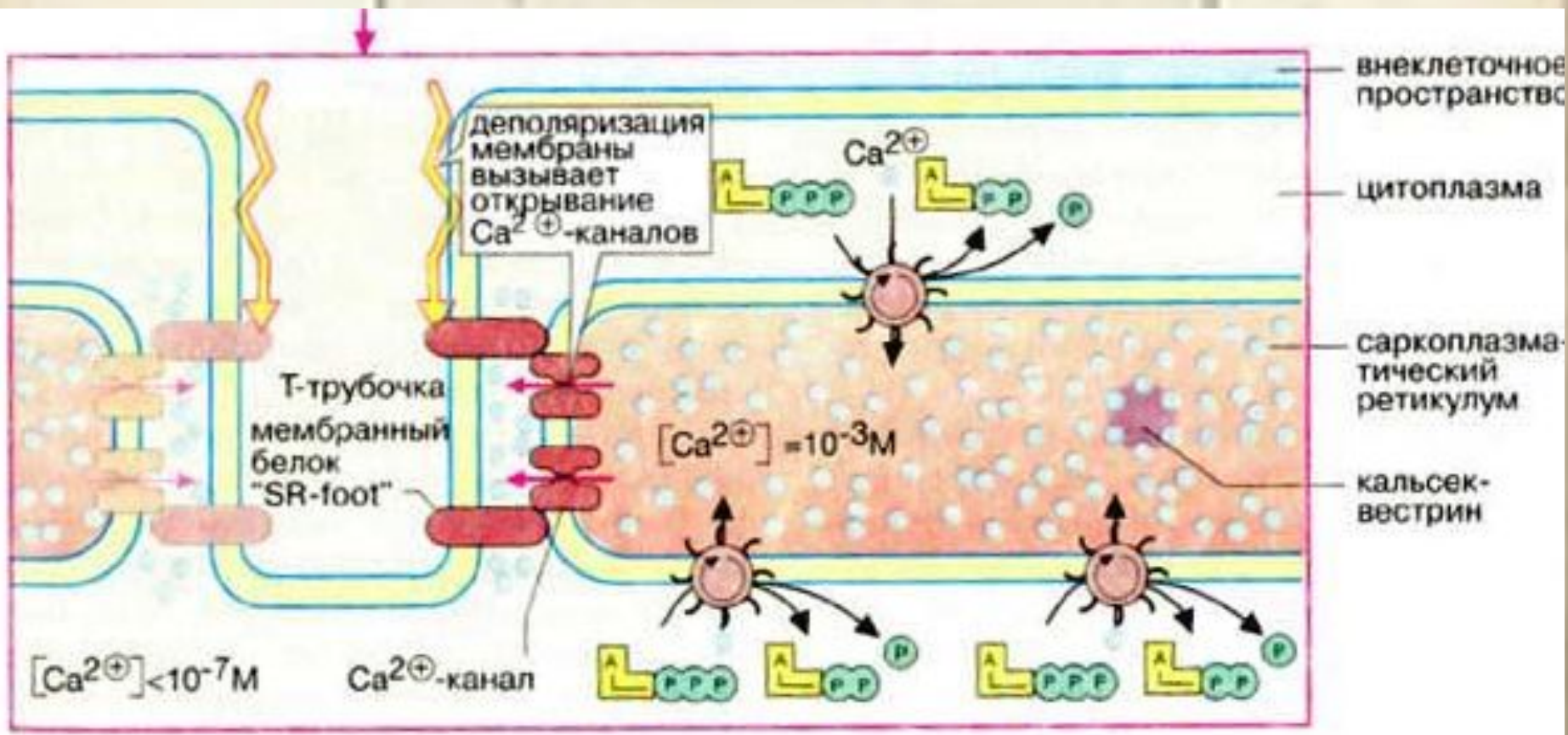


### А. Электромеханическое сопряжение



# Физиологические свойства скелетных мышц

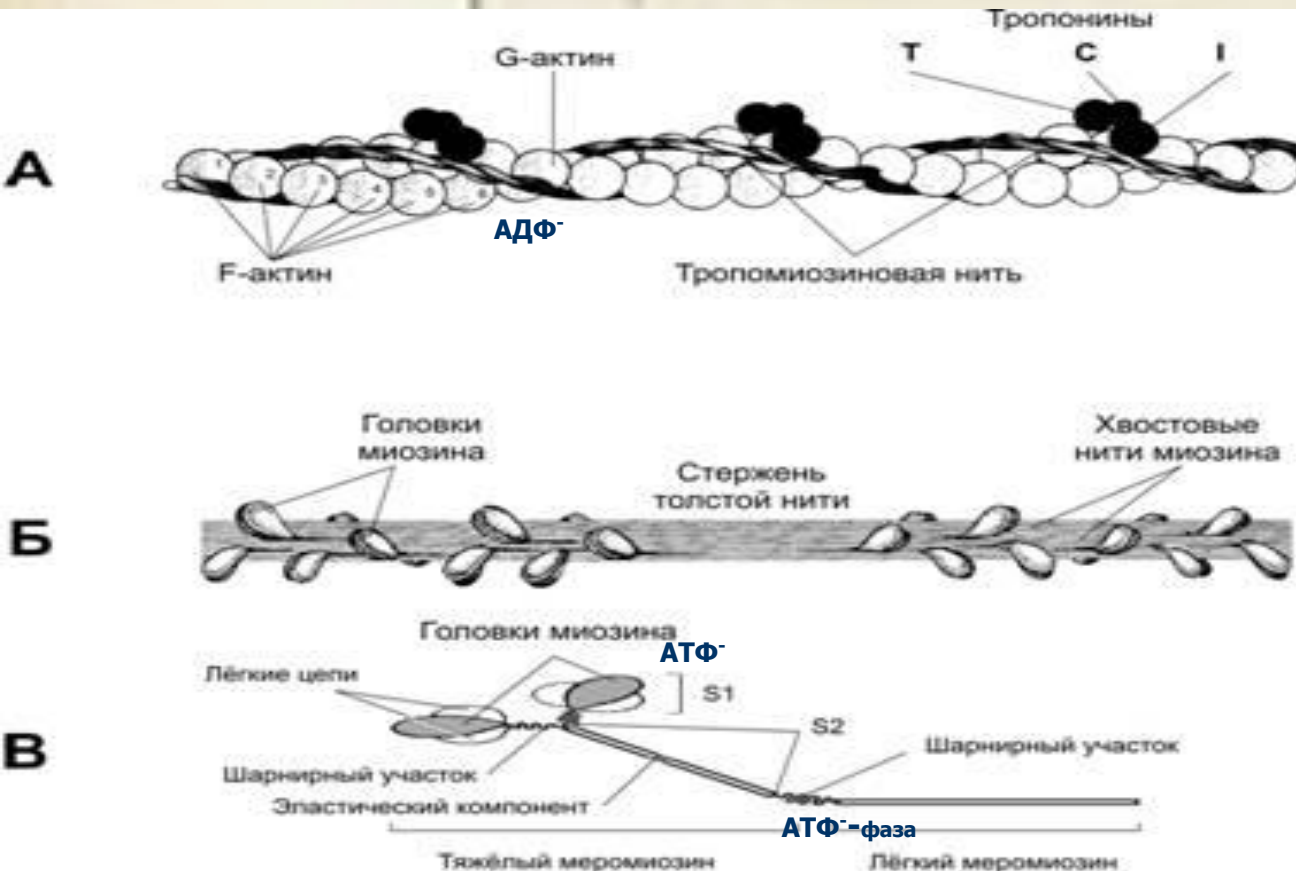
## • Проводимость скелетной мышцы



Б. Саркоплазматический ретикулум

# Физиологические свойства скелетных мышц

## • Сократимость скелетной мышцы



*А – строение актиновой нити;*

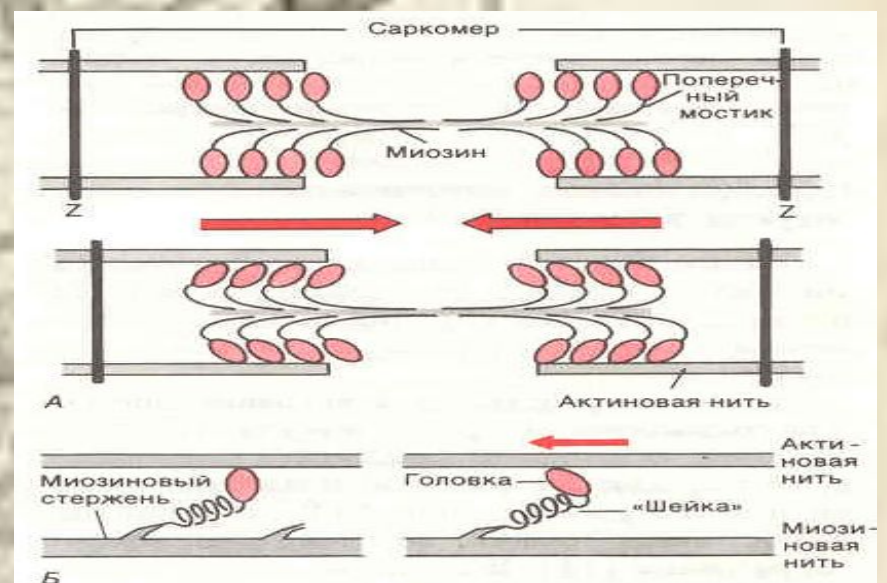
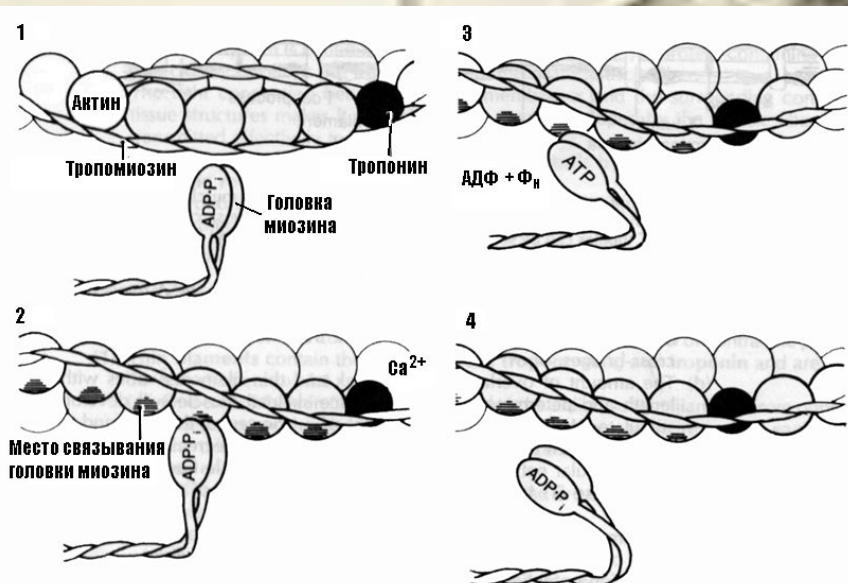
*Б – строение миозиновой нити;*

*В – строение молекулы миозина.*

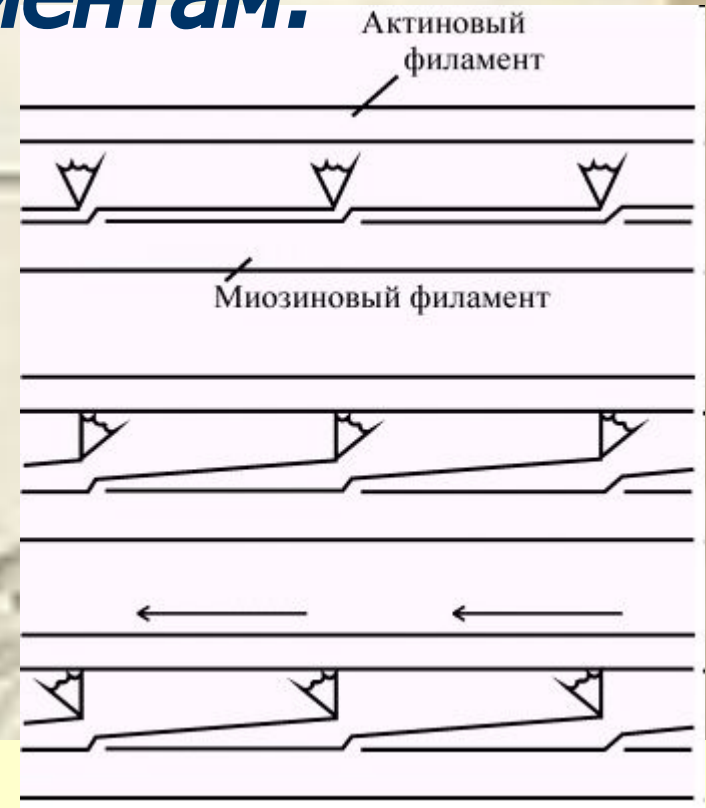
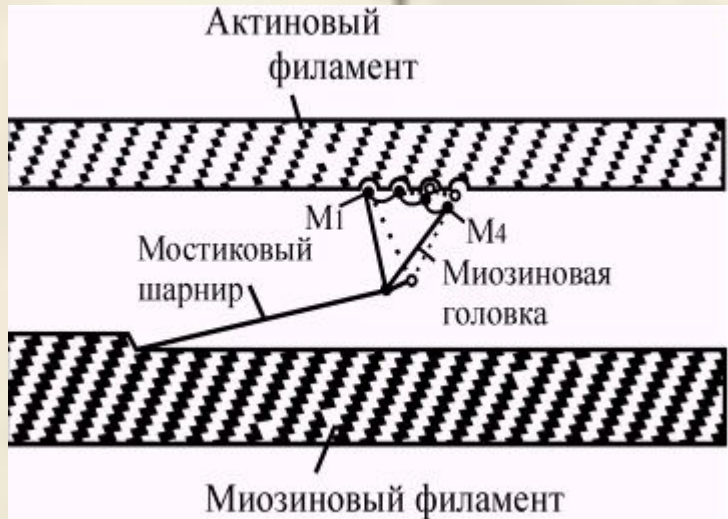


# Последовательность этапов мышечного сокращения

- (1) деполяризация постсинаптической мембраны и генерация ПД;
- (2) распространение ПД по сарколемме МВ;
- (3) передача сигнала в проводящих триадах на саркоплазматический ретикулум;
- (4) выброс  $\text{Ca}^{2+}$  из саркоплазматического ретикулума;  
(задачи  $\text{Ca}$  - открытия активного центра актиновых нитей, смена заряда молекулы АТФ с отрицательного на положительный, активация фермента АТФазы);
- (5) связывание  $\text{Ca}^{2+}$  тропонином С тонких нитей;
- (6) взаимодействие тонких и толстых нитей (формирование мостиков) появление тянущего усилия и скольжение нитей относительно друг друга;
- (7) Цикл взаимодействия нитей;
- (8) укорочение саркомеров и сокращение МВ;
- (9) расслабление.



# Последовательность процессов прикрепления миозиновых мостиков к актиновым филаментам:



- расслабленное состояние (вверху);
- прикрепление миозиновых головок к актину (в середине);
- вращение головки, тянущее актиновый филамент (внизу) и заставляющее его скользить вдоль миозинового. Здесь показано синхронное действие поперечных мостиков, но в действительности оно происходит асинхронно. (Huxley, 1969).

# Роль $\text{Ca}^{2+}$ и АТФ в процессе мышечного сокращения:

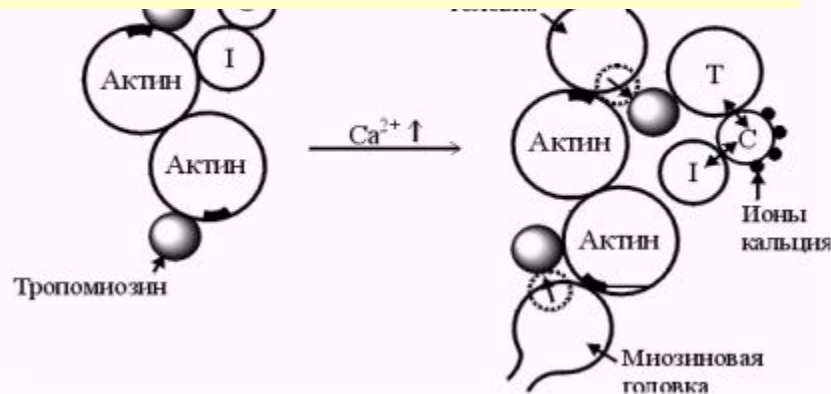
$\text{Ca}^{2+}$ :

- Связываясь с тропонином С тонких нитей, открывает их активные центры;
- Меняет заряд на АТФ;
- Активирует АТФ-азу.

АТФ необходим для:

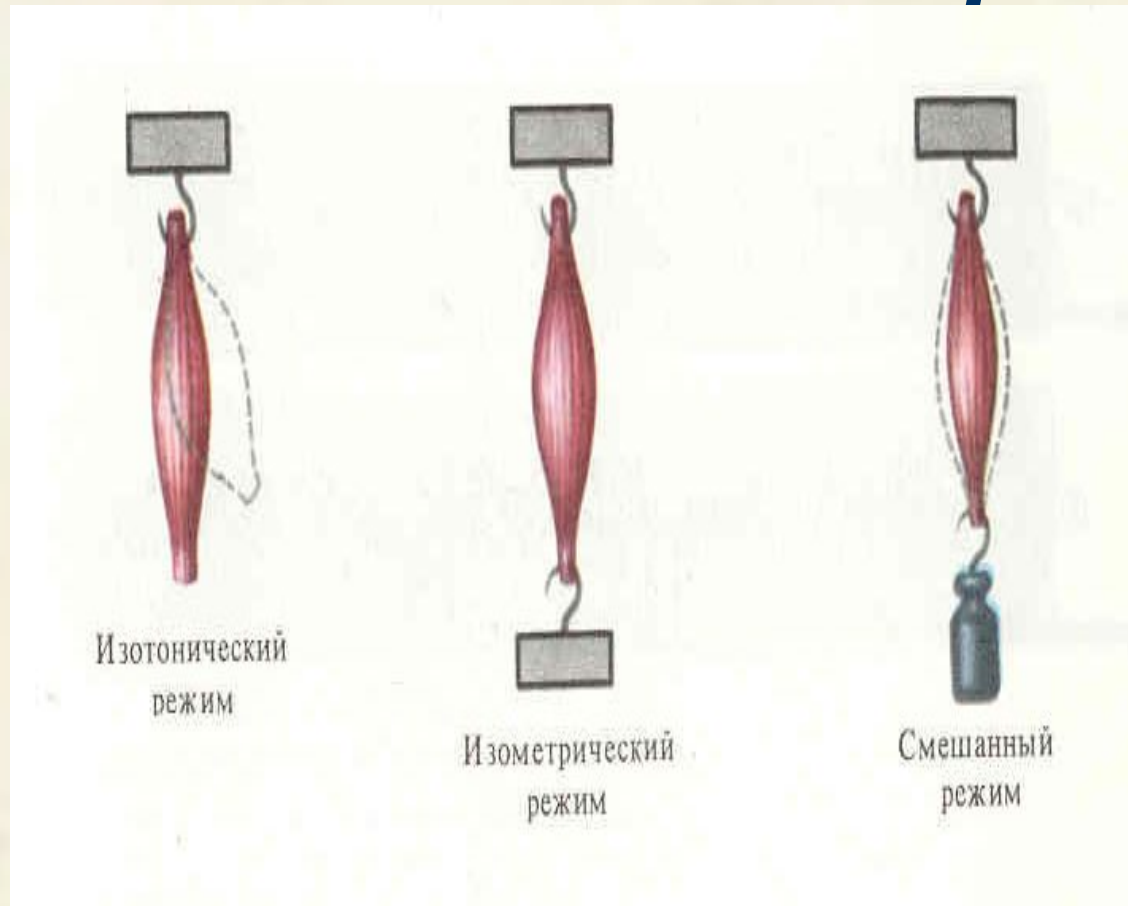
- Сокращения (образования мостиков);
- Расслабления (разрыва мостиков);
- Работы Са-насоса;
- Работы Na, K-насоса.

расслабление





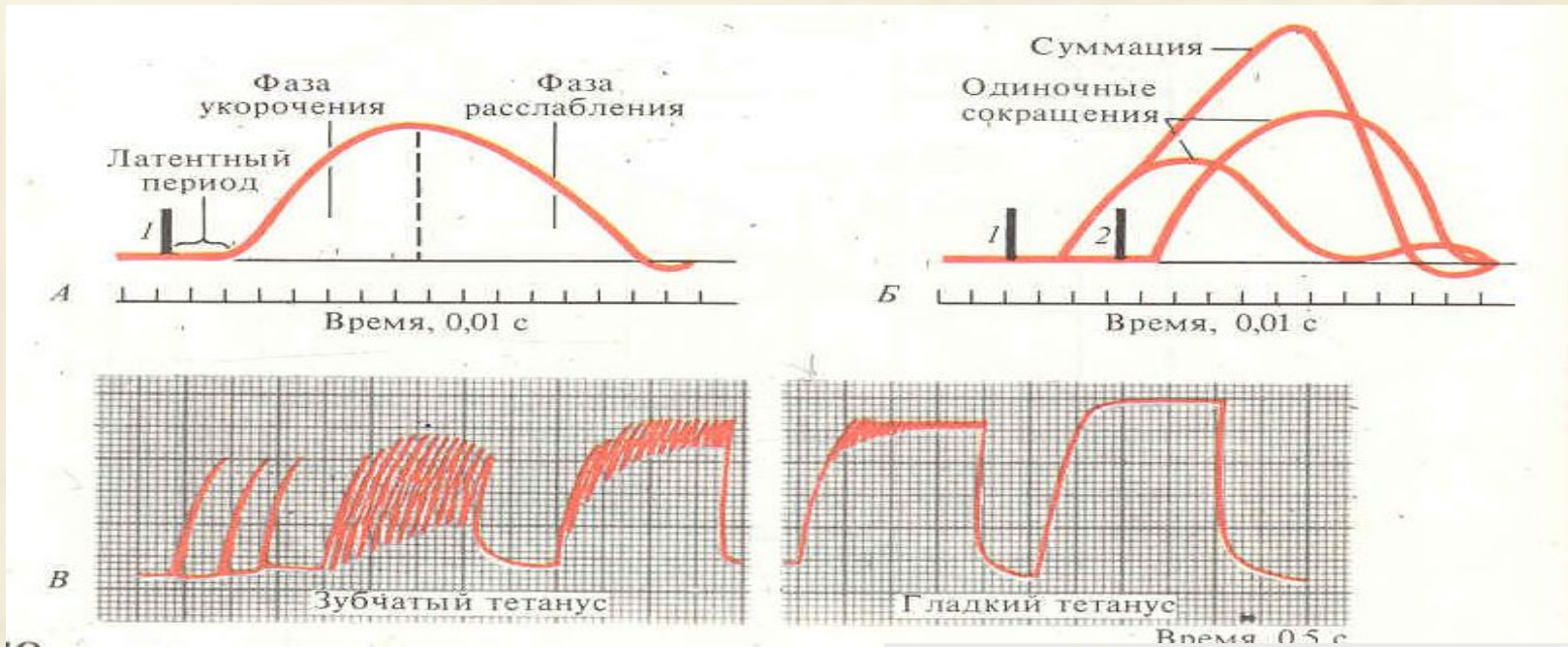
# Режимы мышечных сокращений



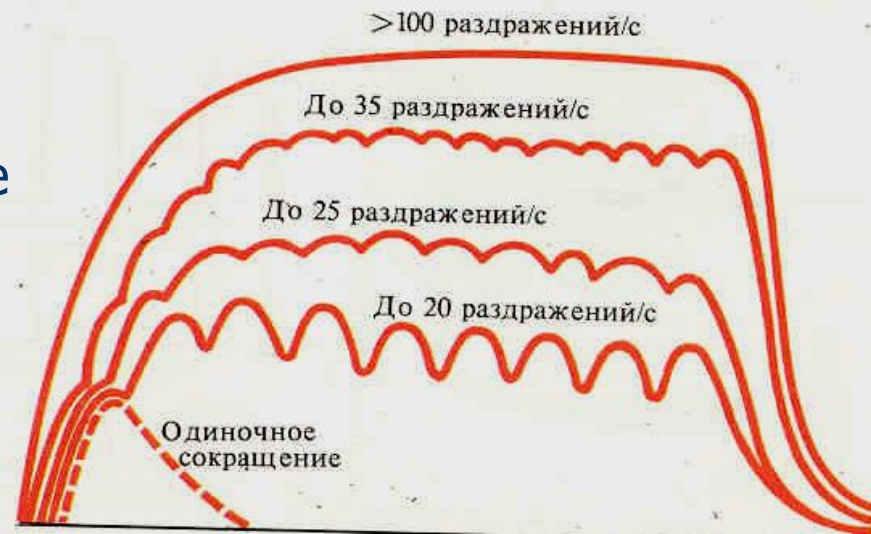
**Изотонический режим** - это такой режим сокращения, при котором тонус мышц не меняется, однако длина мышечных волокон уменьшается.

**Изометрический режим** - это такой режим сокращения, когда мышечный тонус увеличивается, а длина мышцы не изменяется (имеет место напряжение мышцы).

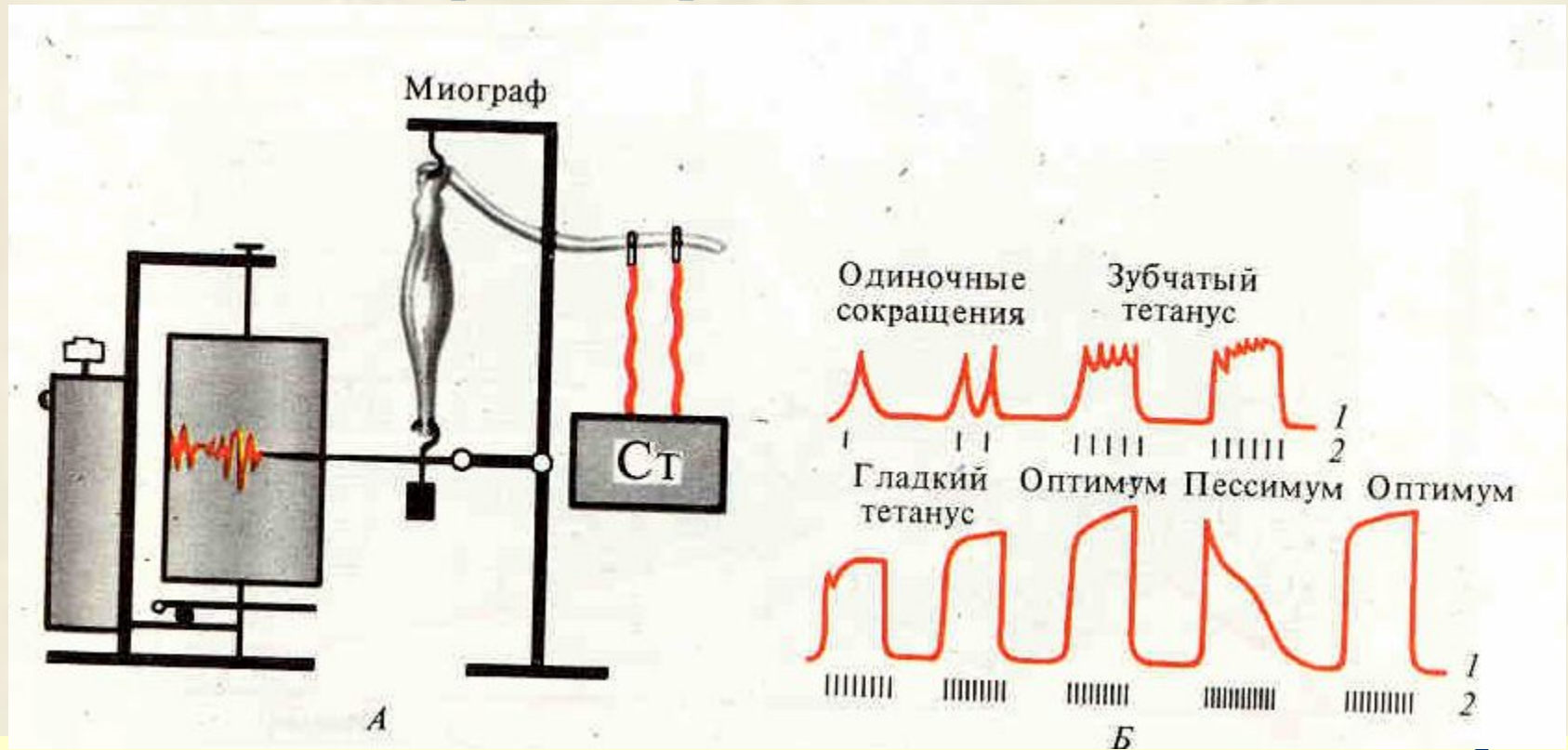
# Виды мышечных сокращений



- **Одиночное сокращение** – укорочение мышцы в ответ на однократное раздражение;
- **Тетаническое сокращение** – укорочение мышцы в ответ на серию импульсов;
- **зубчатое тетаническое сокращение;**
- **гладкое тетаническое сокращение.**



# Оптimum и пессимум раздражителя



**Под оптimumом параметров раздражителя** следует понимать ту наибольшую частоту или силу раздражителя, при действии которых на мышцу наблюдается ее максимальное сокращение.

**Под пессимумом параметров раздражителя** подразумевают такие частота и сила раздражителя, при действии которых на мышцу вместо увеличения сократительного эффекта имеет место его уменьшение.



# Сила мышц

определяется максимальной массой груза, которую она в состоянии поднять, либо максимальным напряжением, которое она может развить в условиях изометрического сокращения.

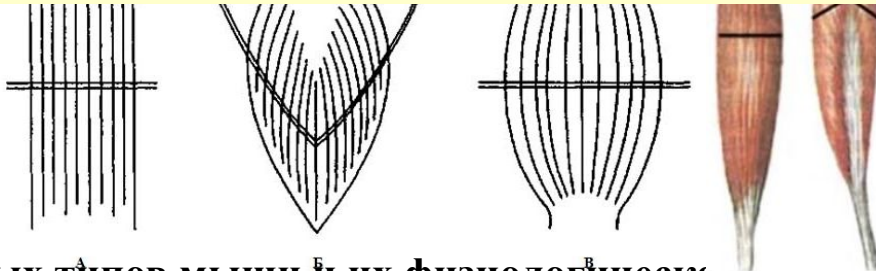
**Зависит:**

- От соотношения быстрых и медленных двигательных единиц;
- От физиологического поперечного сечения мышцы.



**Анатомический поперечник** - это площадь поперечного сечения, перпендикулярного длиннику мышцы и проходящего через брюшко в наиболее широкой его части. Этот показатель характеризует величину мышцы, ее толщину

**Физиологический поперечник** представляет собой суммарную площадь поперечного сечения всех мышечных волокон, входящих в состав мышцы.



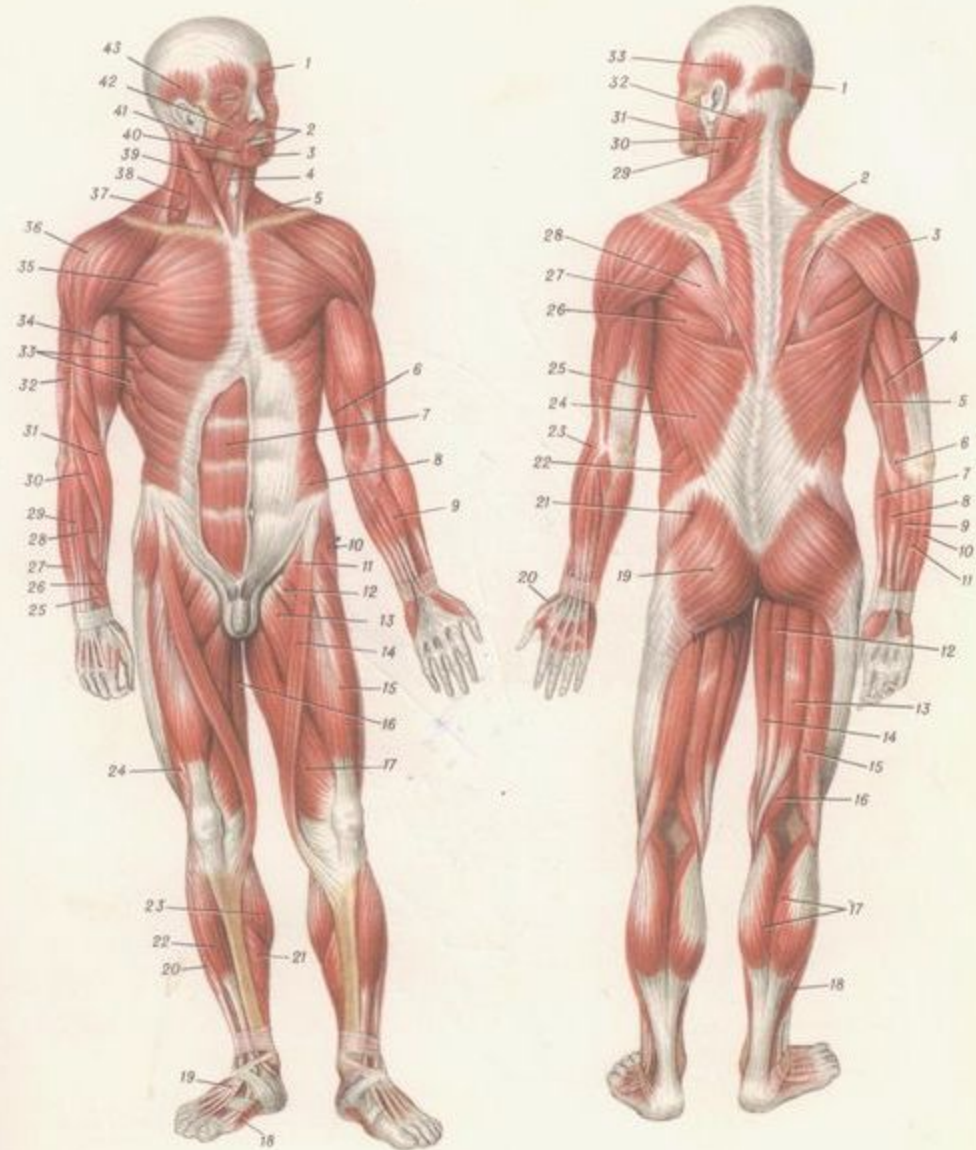
Строение различных типов мышц и их физиологическое сечение.

А - портняжная мышца; Б - икроножная мышца; В - двуглавая мышца плеча.

# Сила мышц

**Относительная сила  
мышц человека (на 1  
см<sup>2</sup> площади  
поперечного сечения):**

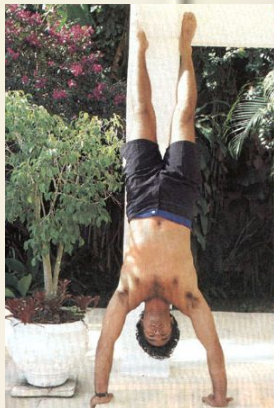
- Икроножная мышца – 5,9 кг;
- Сгибатель плеча – 8,1 кг;
- Жевательная – 10,0 кг;
- Двуглавая мышца плеча – 11,4 кг;
- Трехглавая мышца плеча – 16,7 кг.



# Работа мышц

## Статическая работа

совершается при удерживании частей тела в определенном положении, удерживания груза, стоянии, сохранении позы.



## Динамическая работа

выражается в перемещении тела или его частей. Такая работа совершается при поднятии тяжестей, ходьбе, беге.

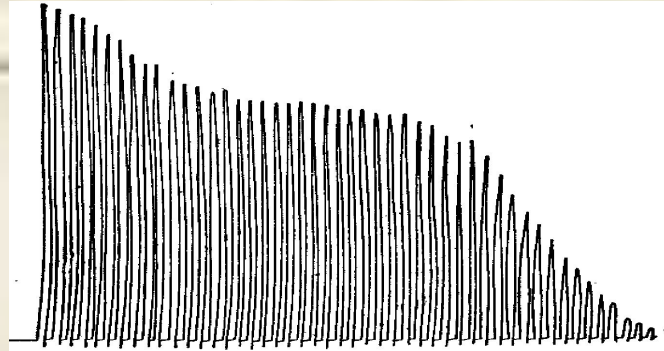


***Правило средних нагрузок – мышца может совершить максимальную работу при средних нагрузках.***

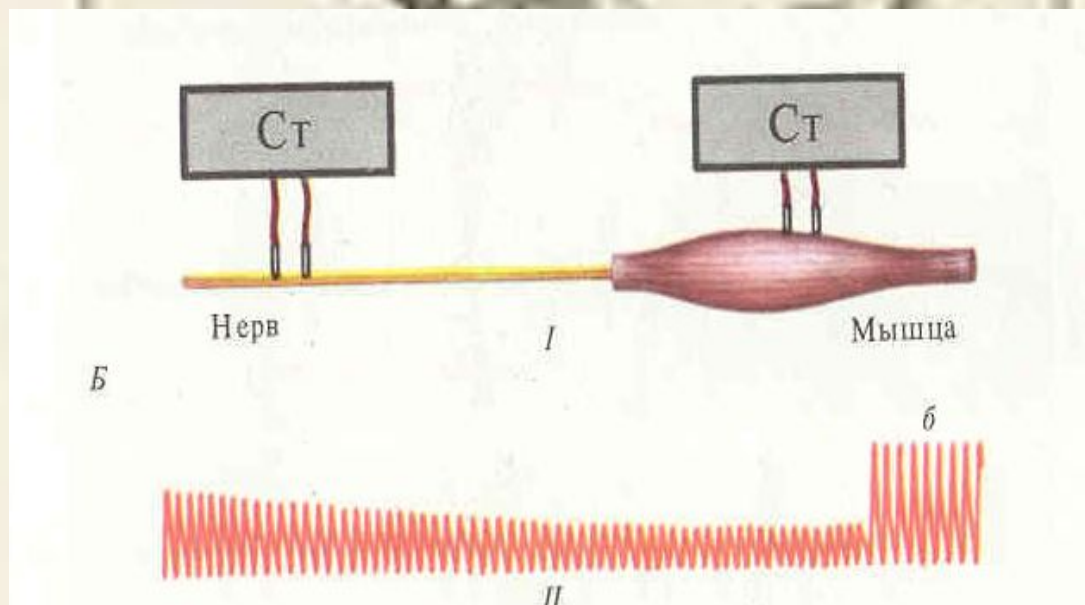


# Утомление мышц

- временное понижение их работоспособности, вызываемое с накоплением в них продуктов обмена (фосфорной, молочной кислот), понижающих возбудимость мембран мышечных клеток.

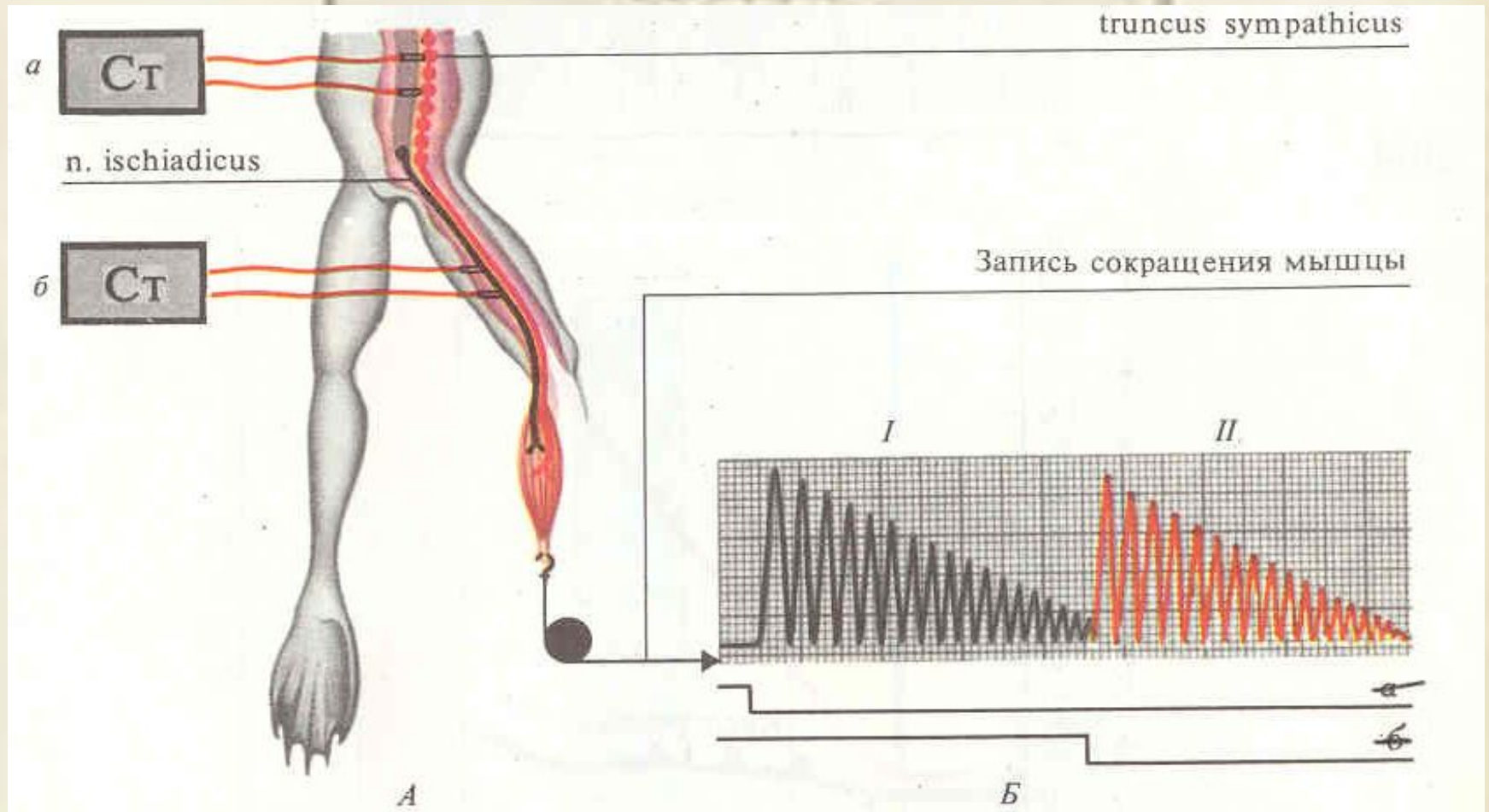


Эргограмма утомления



Локализация утомления в нервно-мышечном препарате

# Феномен Орбели-Гинецинского



***Благодарю за внимание!***

