

# Законы раздражения



Нервно-мышечный синапс.  
Парабиоз, его фазы.

# Есть ряд законов, которым подчиняются

## возбуждаемые ткани:

1. Закон «силы»;
2. Закон «всё или ничего»;
3. Закон «силы — времени»;
4. Закон «крутизны нарастания тока»;
5. Закон «полярного действия постоянного тока».

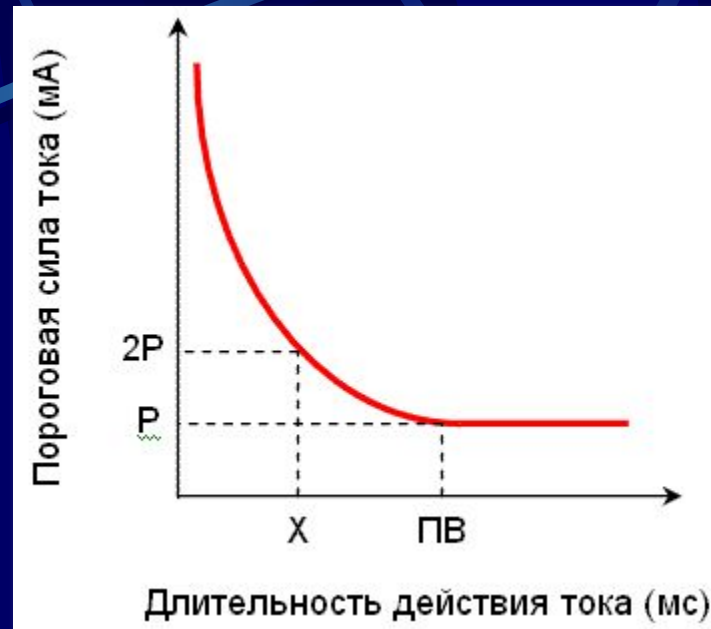
## Закон «силы»

- Чем больше сила раздражителя, тем больше величина ответной реакции.
- К примеру, величина сокращения скелетной мышцы в определенных пределах зависит от силы раздражителя: чем больше сила раздражителя, тем больше величина сокращения скелетной мышцы (до достижения максимального ответа).

## Закон «все или ничего»

- Ответная реакция не зависит от силы раздражения (пороговая или сверхпороговая). Если сила раздражителя ниже пороговой, то ткань не реагирует («ничего»), но если сила достигла порогового значения, то ответная реакция – максимальная («всё»).
- Соответственно этому закону сокращается, к примеру, сердечная мышца, которая реагирует максимальным сокращением уже на пороговую (минимальную) силу раздражения.

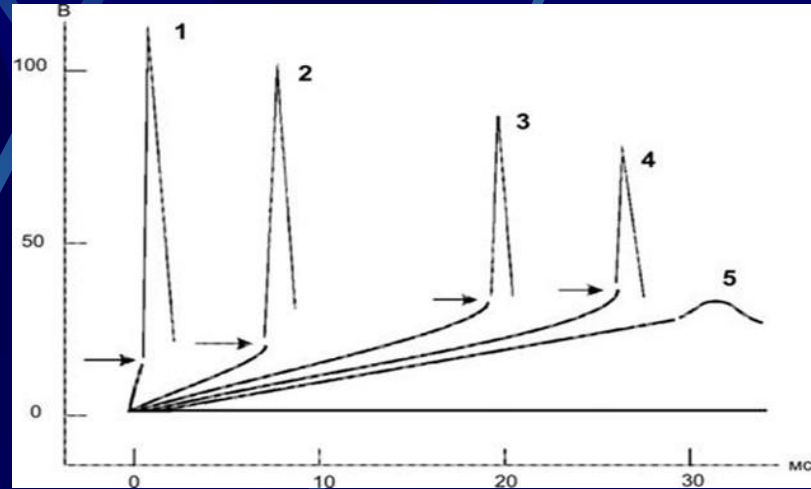
# Закон «силы – времени»



- Время ответа ткани зависит от силы раздражения: чем больше сила раздражителя, тем меньше времени он должен действовать, чтобы вызвать возбуждение ткани и, наоборот.

# Закон «аккомодации»

- Чтобы вызвать возбуждение, раздражитель должен нарастать достаточно быстро.
- При действии медленно нарастающего тока, возбуждение не возникает, так как происходит приспособление возбудимой ткани к действию раздражителя. Это явление называется аккомодацией.



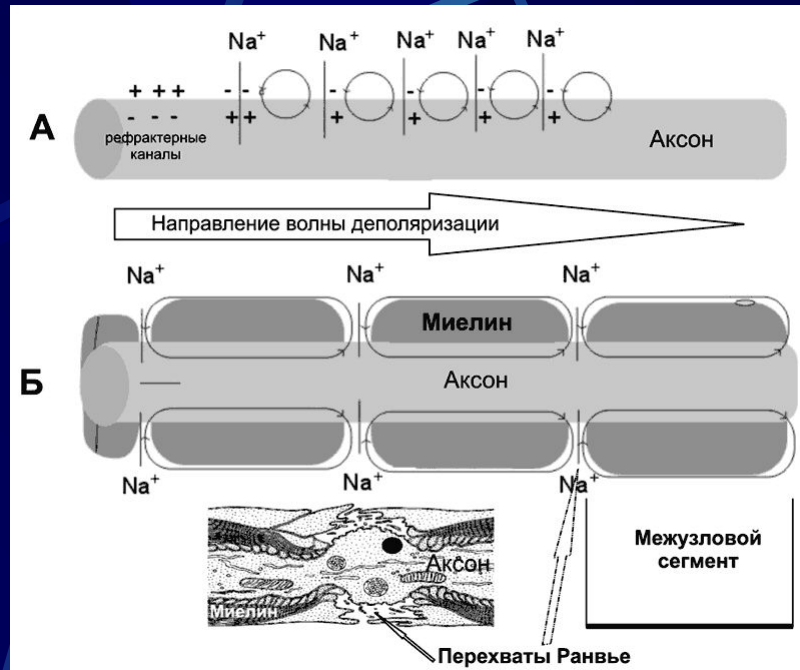
# Закон «полярного действия» постоянного тока



- При действии постоянного тока возбуждение возникает только в момент замыкания и размыкания цепи.
- При замыкании – под катодом, а при размыкании – под анодом.
- Возбуждение под катодом больше, чем под анодом.

# Физиология нервного ствола

По структуре различают миелиновые и безмиелиновые нервные волокна. В миелиновых – возбуждение распространяется скачкообразно. В безмиелиновых – непрерывно вдоль всей мембраны, с помощью локальных токов.





## Законы проведения возбуждения по н/в

1. Закон двухстороннего проведения возбуждения: возбуждение по нервному волокну может распространяться в двух направлениях от места его раздражения – центростремительно и центробежно.

2. Закон изолированного проведения возбуждения: каждое нервное волокно, входящее в состав нерва, проводит возбуждение изолированно (ПД не передается от одного волокна на другое).

3. Закон анатомической и физиологической целостности нервного волокна: для проведения возбуждения необходимы анатомическая (структурная) и физиологическая (функциональная) целостность нервного волокна.

# Учение о парабиозе

Разработал Н.Е.Введенский в **1891** году

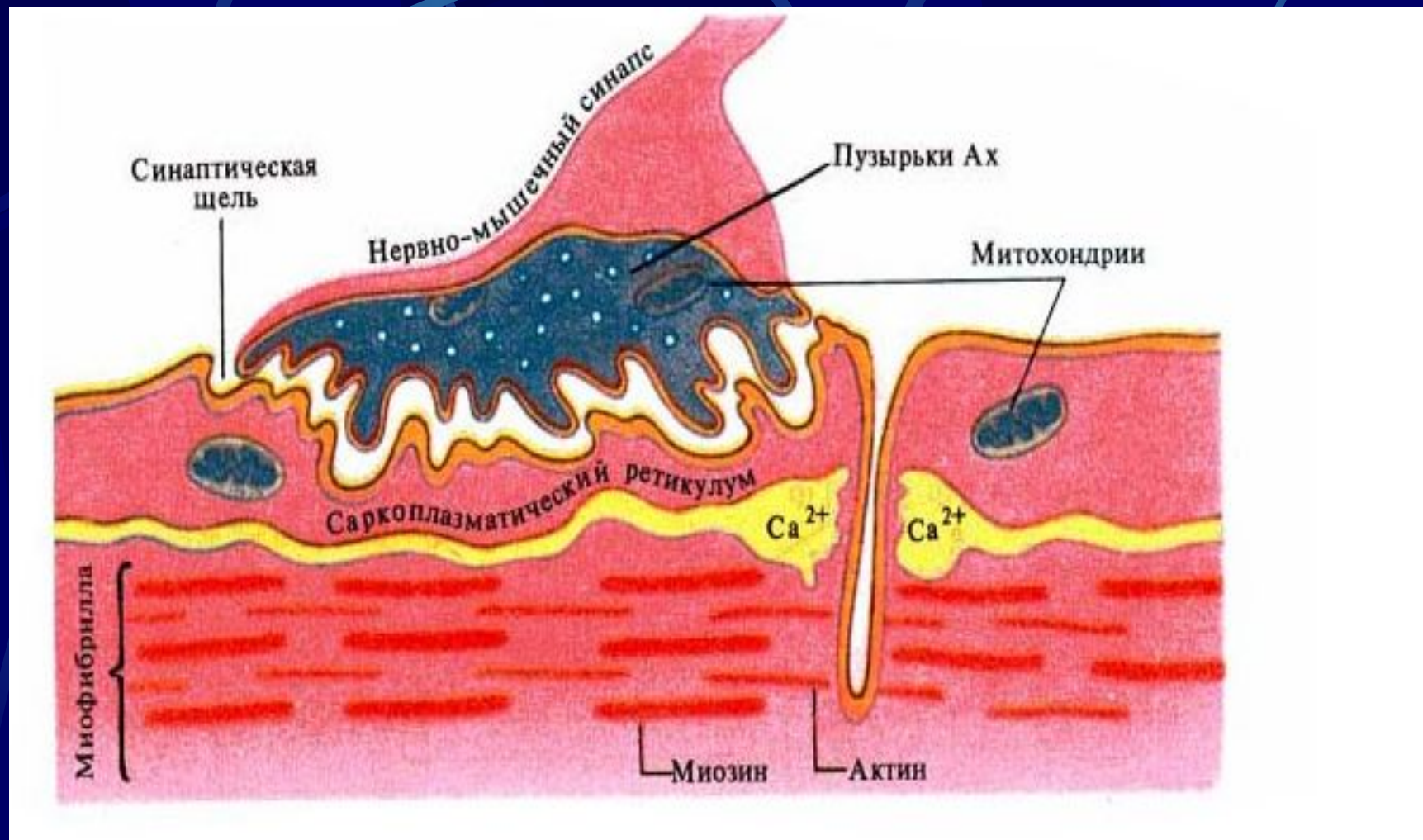
Фазы парабиоза

Уравнительная

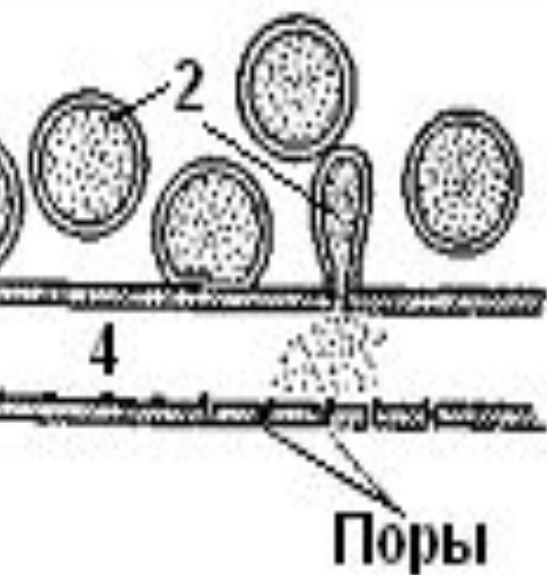
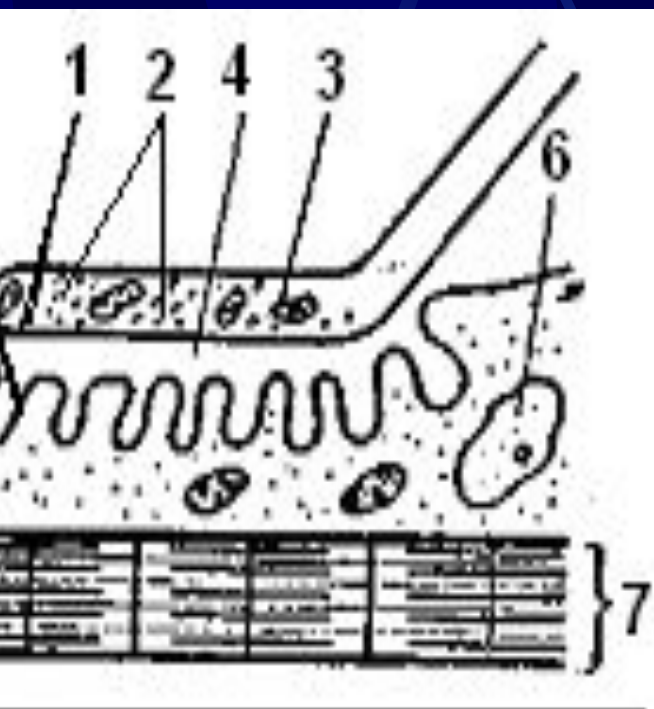
Парадоксальная

Тормозная

# Строение нервно-мышечного синапса в разрезе



# Нервно-мышечный синапс



Нервно-мышечный синапс – это структурно-функциональное образование, которое обеспечивает передачу возбуждения с нервного волокна на мышечное. Синапс состоит из следующих структурных элементов:

1 - пресинаптической мембраны (это часть мембраны нервного окончания, которая контактирует с мышечным волокном);  
2 - синаптической щели (её ширина 20-30 нм);  
3 - постсинаптической мембраны (концевая пластинка); В нервном окончании располагаются многочисленные синаптические пузырьки, содержащие химический посредник передачи возбуждения с нерва на мышцу – медиатор. В нервно-мышечном синапсе медиатором является ацетилхолин. В каждом пузырьке – около 10 000 молекул ацетилхолина.



# Этапы нервно-мышечной передачи

Первый этап – выброс ацетилхолина (АХ) в синаптическую щель. Он начинается с деполяризации пресинаптической мембраны. При этом активируются  $Ca$ -каналы. Кальций по градиенту концентрации входит в нервное окончание и способствует выбросу путем экзоцитоза ацетилхолина из синаптических пузырьков в синаптическую щель.

Второй этап: медиатор (АХ) путем диффузии достигает постсинаптической мембраны, где взаимодействует с холинорецептором (ХР).

Третий этап – возникновение возбуждения в мышечном волокне.

Ацетилхолин взаимодействует с холинорецептором на постсинаптической мембране. При этом активируются **хемовозбудимые  $Na$ -каналы**. **Поток ионов  $Na^+$**  из синаптической щели внутрь мышечного волокна (по градиенту концентрации) вызывает деполяризацию постсинаптической мембраны. Возникает потенциал концевой пластинки (ПКП).

Четвертый этап – удаление АХ из синаптической щели. Этот процесс происходит под действием фермента – ацетилхолинэстеразы.

# Ресинтез АХ

- Для передачи через синапс одного ПД требуется около 300 пузырьков с АХ. Поэтому необходимо постоянное восстановление запасов АХ.
- Ресинтез АХ происходит:
- За счет продуктов распада (холина и уксусной кислоты);
- Новый синтез медиатора;
- Подвоз необходимых компонентов по нервному волокну.

# Нарушение синаптической проводимости

Некоторые вещества могут частично или полностью блокировать нервно-мышечную передачу. Основные пути блокирования:

- а) блокада проведения возбуждения по нервному волокну (местные анестетики);
- б) нарушение синтеза ацетилхолина в пресинаптическом нервном окончании,
- в) угнетение ацетилхолинэстеразы (ФОС);
- г) связывание холинорецептора (*α-бунгаротоксин*) или длительное вытеснение АХ (кураре); инактивация
- рецепторов (*сукцинилхолин, декаметоний*).

# Двигательные единицы

- К каждому мышечному волокну подходит отросток мотонейрона.
- Как правило, 1 мотонейрон иннервирует несколько мышечных волокон. Это и есть двигательная (или моторная) единица.
- Двигательные единицы различаются размерами: объемом тела мотонейрона, толщиной его аксона и числом мышечных волокон, входящих в двигательную единицу.



# Физиология мышц

- Функции мышц и их значение.
- Физиологические свойства мышц.
- Виды мышечного сокращения.
- Механизм мышечного сокращения.
- Работа, сила и утомление мышц.

# ФУНКЦИИ МЫШЦ

В организме существуют 3 вида М. (скелетные, сердечные, гладкие), которые осуществляют

- Передвижение в пространстве
- Взаимоперемещение частей тела
- Поддержание позы (сидя, стоя)
- Выработку тепла (терморегуляция)
- Передвижение крови, лимфы
- Вдох и выдох
- Передвижение пищи в ЖКТ
- Защиту внутренних органов

# Свойства мышц

М. обладают следующими свойствами:

1. Возбудимость;
2. Проводимость;
3. Сократимость;
4. Эластичность;
5. Растяжимость.

# Виды сокращения мышц:

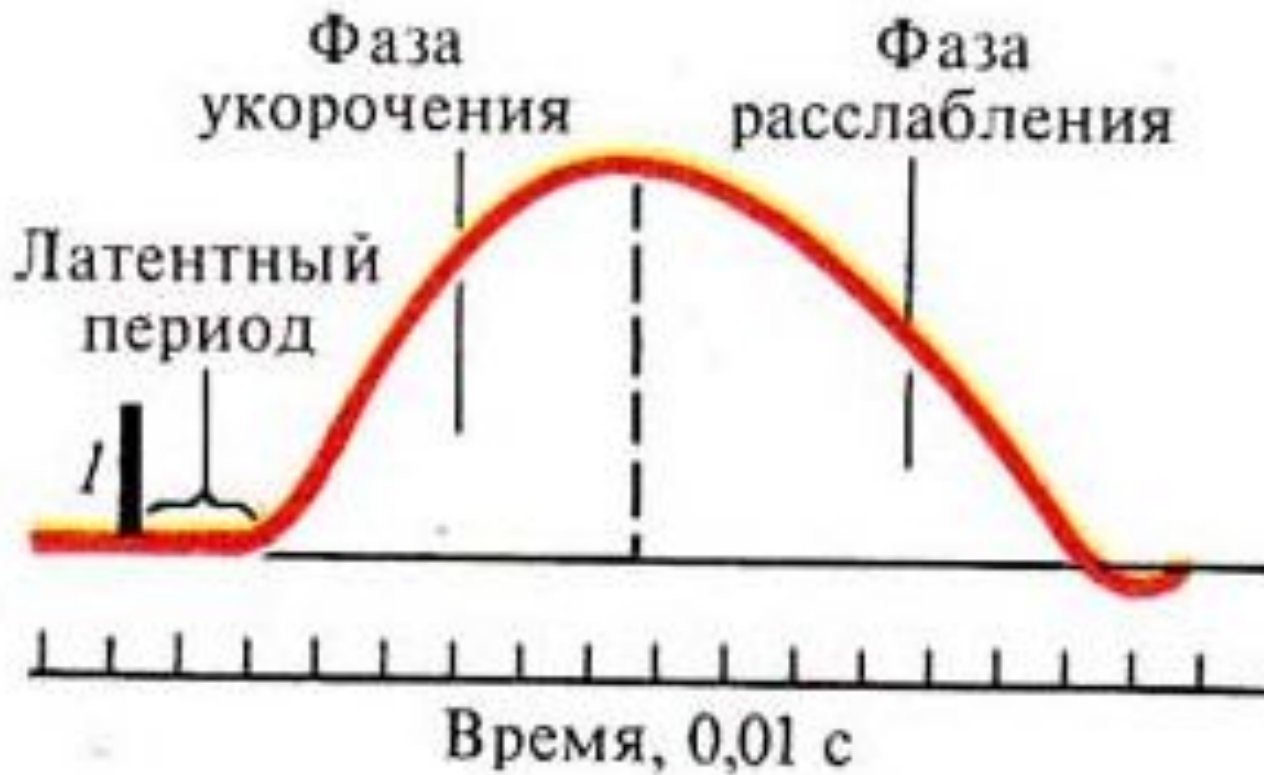
1. Изотонические – когда при сокращении изменяется длина мышц (они укорачиваются), но напряжение (тонус) мышц при этом остается постоянным.
  - Изометрические сокращения характеризуются повышением тонуса мышц, при этом длина мышцы не меняется.
  - Ауксотонические (смешанные) – сокращения, при которых меняется и длина, и тонус мышц.

## Виды сокращения мышц:

- Различают также одиночные и тетанические сокращения мышц. Одиночные сокращения возникают в ответ на действие редких одиночных импульсов. При высокой частоте раздражающих импульсов происходит суммация мышечных сокращений, которая вызывает длительное укорочение мышцы – тетанус.



# Одиночное мышечное сокращение





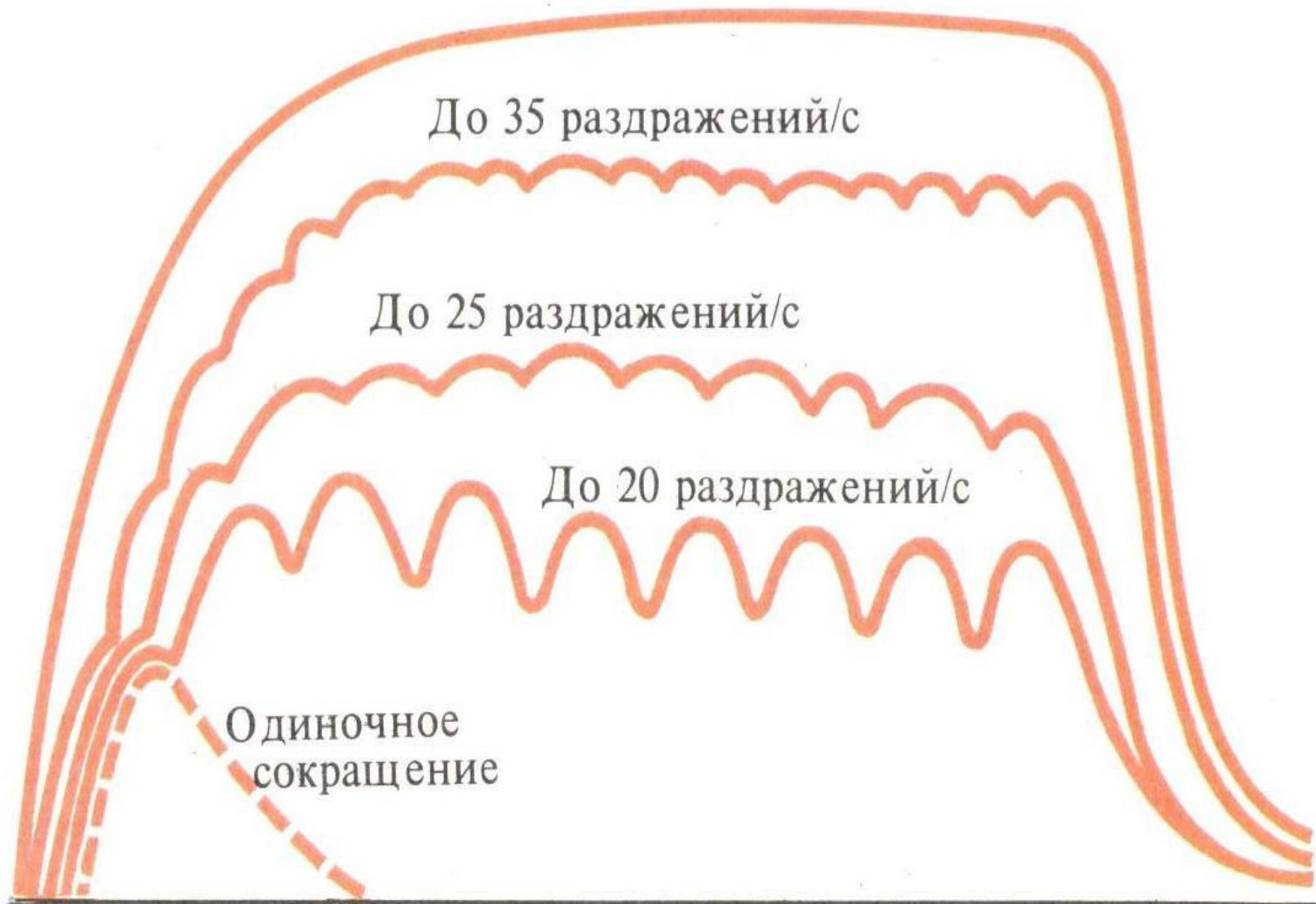
>100 раздражений/с

До 35 раздражений/с

До 25 раздражений/с

До 20 раздражений/с

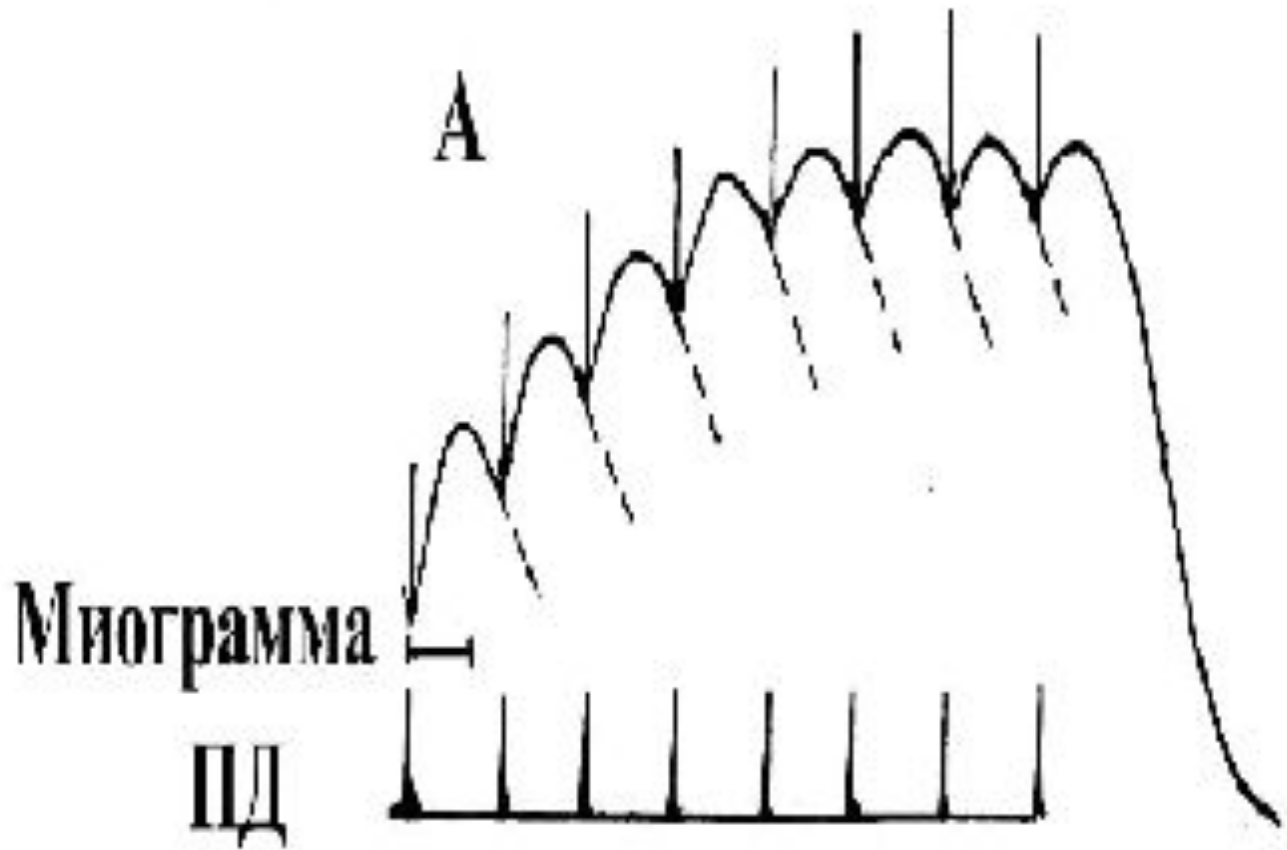
Одиночное  
сокращение





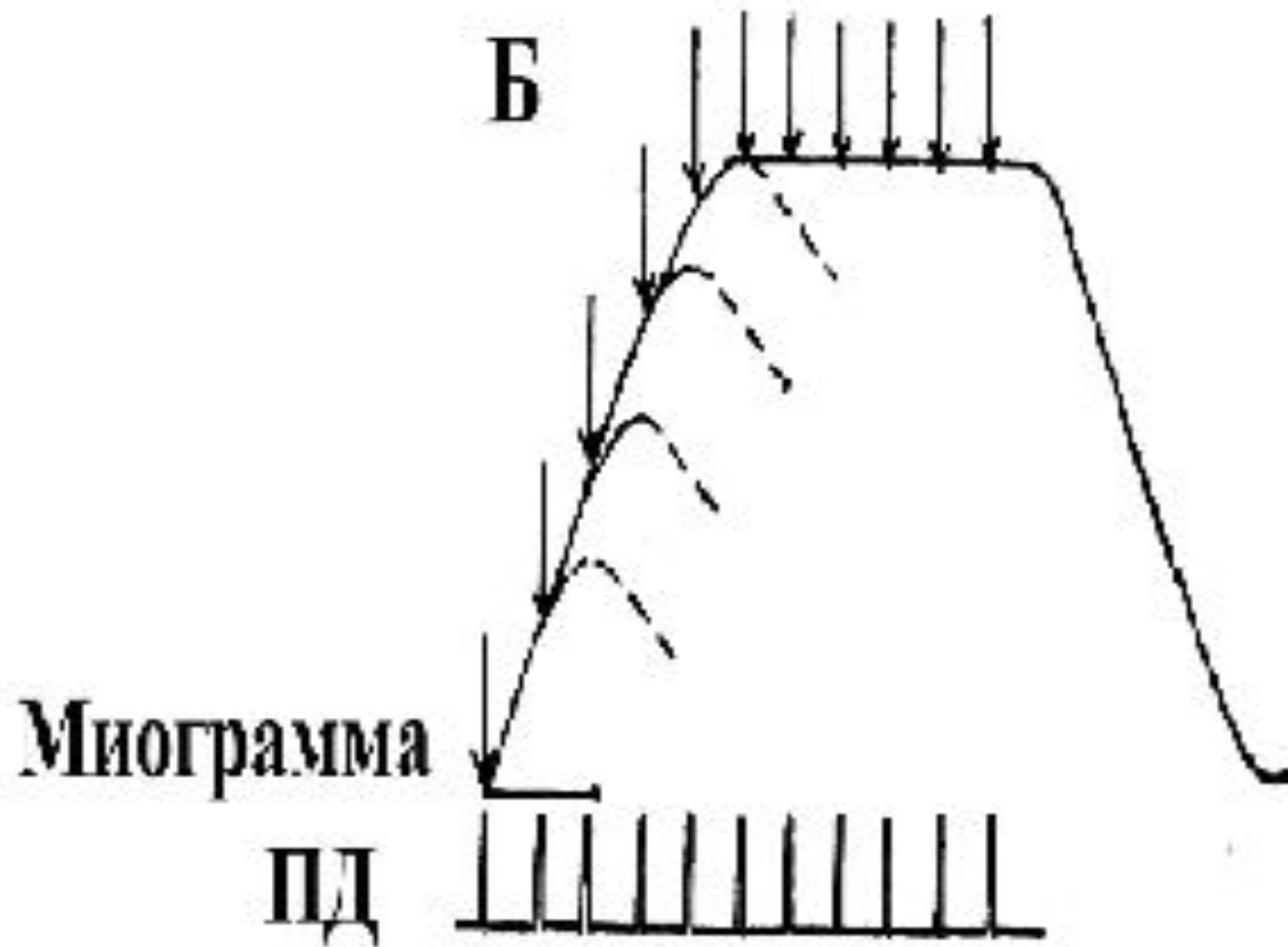
# Зубчатый тетанус

- **Возникает в условиях когда каждый последующий импульс попадает в период расслабления одиночного мышечного сокращения**



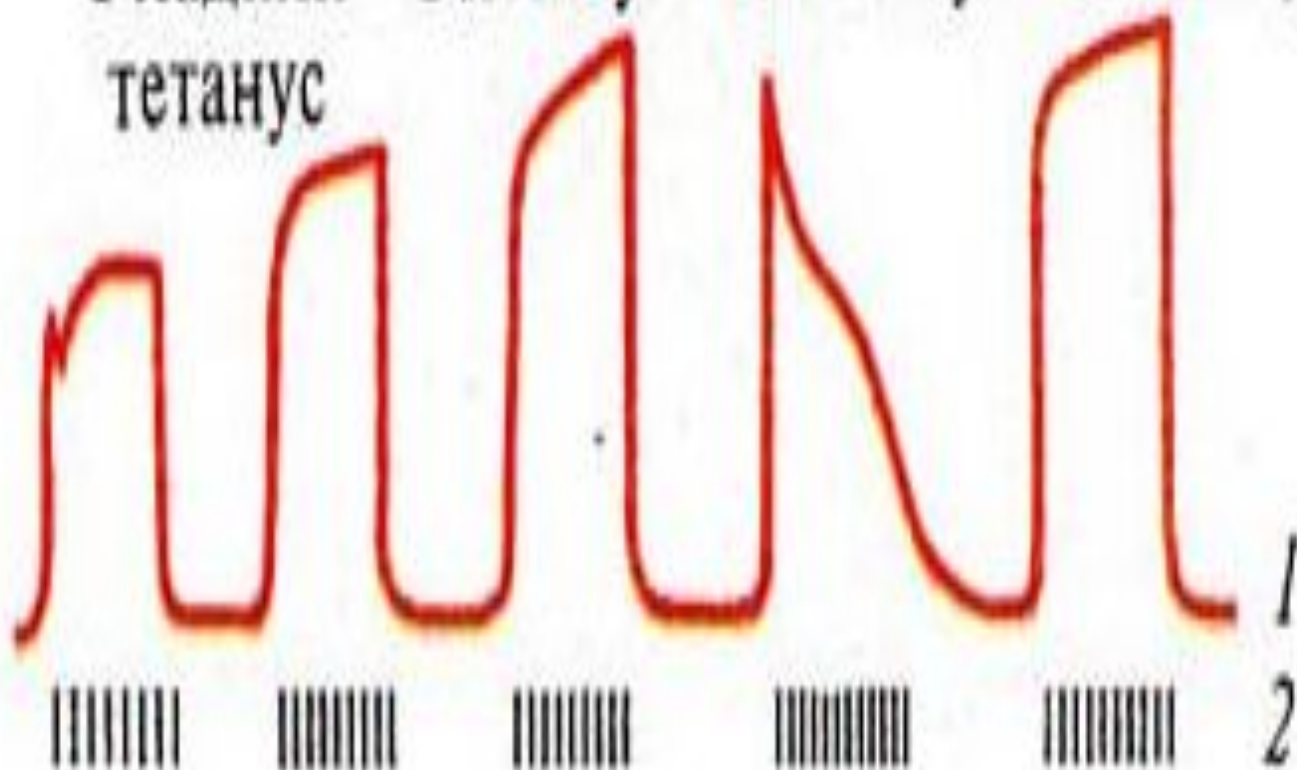
# Гладкий тетанус

- **Возникает в условиях когда каждый последующий импульс попадает в период укорочения одиночного мышечного сокращения.**





Гладкий тетанус    Оптимум    Пессимум    Оптимум





# Механизм мышечного сокращения (теория скольжения) :

- Переход возбуждения с нерва на мышцу (через нервно-мышечный синапс). Распространение ПД вдоль мембраны мышечного волокна (сарколемме) и в глубь мышечного волокна по Т- трубочкам (поперечным трубочкам – углублениям сарколеммы в саркоплазму)
- Высвобождение ионов  $Ca^{++}$  из боковых цистерн саркоплазматического ретикулума (депо кальция) и диффузия его к миофибриллам.
- Взаимодействие  $Ca^{++}$  с белком – тропонином, находящимся на актиновых нитях.
- Освобождение центров связывания на актине и контакт поперечных мостиков миозина с этими участками актина.
- Высвобождение энергии АТФ и скольжение актиновых нитей вдоль миозиновых нитей. Это приводит к укорочению миофибриллы.
- Далее активируется кальциевый насос, который обеспечивает активный транспорт  $Ca$  из саркоплазмы в саркоплазматический ретикулум. Снижается концентрация  $Ca$  в саркоплазме, в результате происходит расслабление миофибриллы.



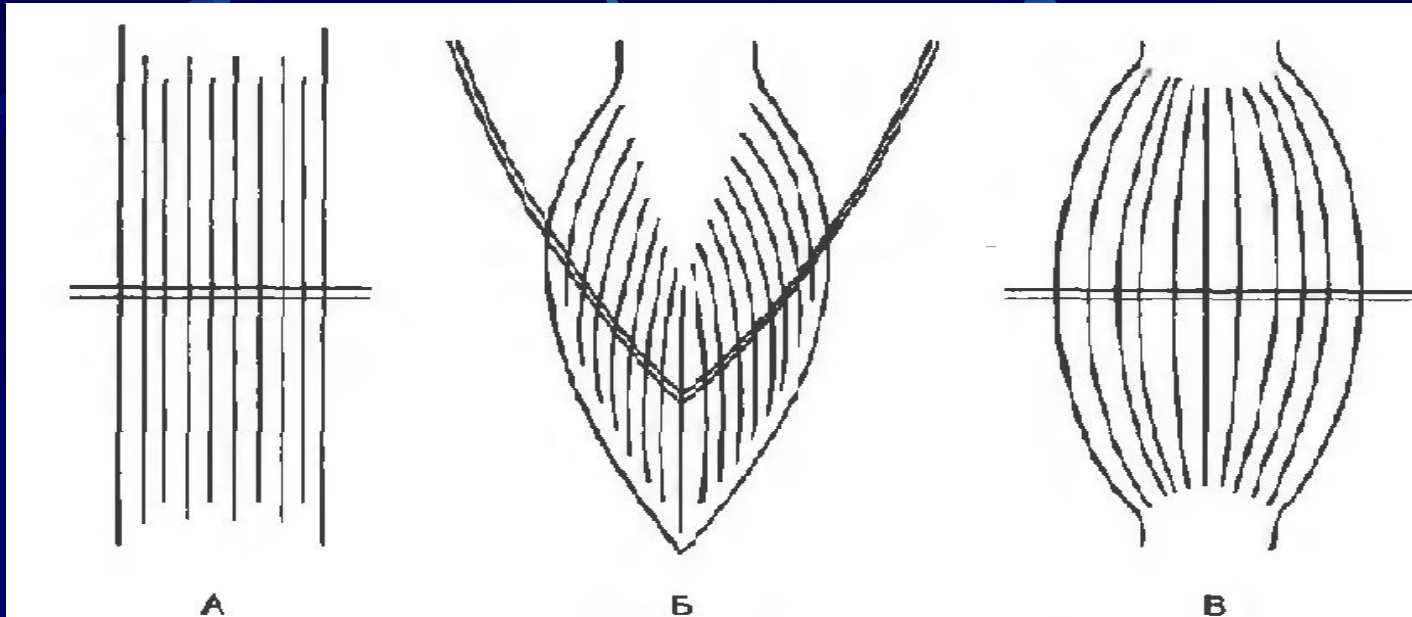
48



# Сила мышц

- Максимальный груз, который мышца подняла, или максимальное напряжение, которое она развивает при своем сокращении называют силой мышцы. Измеряется она в килограммах.
- Сила мышцы зависит от толщины мышцы и её физиологического поперечного сечения (это сумма поперечных сечений всех мышечных волокон, составляющих эту мышцу).
- В мышцах с продольно расположенными мышечными волокнами физиологическое поперечное сечение совпадает с геометрическим.
- У мышц с косым расположением волокон (мышцы перистого типа) физиологическое поперечное сечение значительно превосходит геометрическое сечение. Они относятся к силовым мышцам.

- **Виды мышц**



- А - параллельная
- Б - перистая
- В - веретенообразная

## Работа мышцы

- Поднимая груз, мышца выполняет механическую работу, которая измеряется **произведением массы груза на высоту его подъема** и выражается в килограммометрах.

$$A = F \times S, \text{ где}$$

**F – масса груза, S – высота его подъема**

**Если  $F=0$ , то и работа  $A=0$**

**Если  $S=0$ , то и работа  $A=0$**

- **Максимальная работа мышцей совершается при средних нагрузках** (закон «средних нагрузок»).

# Утомление

- Утомлением называют временное снижение работоспособности мышц в результате длительных, чрезмерных нагрузок, которое исчезает после отдыха.
- Утомление - это сложный физиологический процесс, связанный, прежде всего, с утомлением нервных центров. Согласно **теории «засорения»** (Е.Пфлюгер) определенную роль в развитии утомления играет накопление в работающей мышце продуктов обмена (молочная кислота и др.). Согласно **теории «истощения»** (К.Шифф) утомление вызвано постепенным истощением в работающих мышцах энергетических запасов (АТФ, гликоген).
- Обе эти теории сформулированы на основании данных, полученных в экспериментах на изолированной скелетной мышце и объясняют утомление односторонне и упрощенно.

# Теория активного отдыха

- До настоящего времени единой теории, объясняющей причины и сущность утомления нет. В естественных условиях утомление двигательного аппарата организма является **многофакторным процессом**.
- И.М.Сеченов (1903), исследуя на сконструированном им эргографе для двух рук работоспособность мышц при поднятии груза, установил, что работоспособность утомленной правой руки восстанавливается полнее и быстрее после **активного отдыха**, т.е. отдыха сопровождаемого работой левой руки.
- Таким образом, активный отдых является более эффективным средством борьбы с утомлением мышц, чем простой покой.
- Причину восстановления работоспособности мышц в условиях активного отдыха Сеченов связывал с действием на ЦНС **афферентных импульсов** от мышечных, сухожильных рецепторов работающих мышц.



























