

Доц. А.Х. Измайлова

Тема

лекции:

«Законь
раздражения
возбудимых
тканей.

Физиология
мионеврального
синапса.

Парабиоз
и его фазы».

Законы раздражения

Есть ряд общих законов, которым подчиняются все возбудимые ткани.

К ним относят:

- ✓ Закон силовых отношений (закон «силы»);
- ✓ Закон «всё или ничего»;
- ✓ Закон «силы - длительности»;
- ✓ Закон «градиента раздражения»;
- ✓ Закон «полярного действия постоянного тока».

Закон «силы»

Или закон «силовых отношений»

Выражает прямую зависимость величины ответной реакции от силы раздражения, т.е., с повышением силы раздражителя увеличивается и величина ответной реакции. Например, раздражая икроножную мышцу препарата лягушки нарастающей силой эл. тока можно наблюдать закономерное увеличение амплитуды мышечного сокращения. Но не бесконечно, а в промежутке от пороговой силы раздражения до максимальной.

Максимальной силой раздражения называют наименьшую силу раздражителя, которая вызывает максимальную ответную реакцию. Иначе говоря, «закон силы» распространяется в промежутке от пороговой до максимальной силы раздражения.

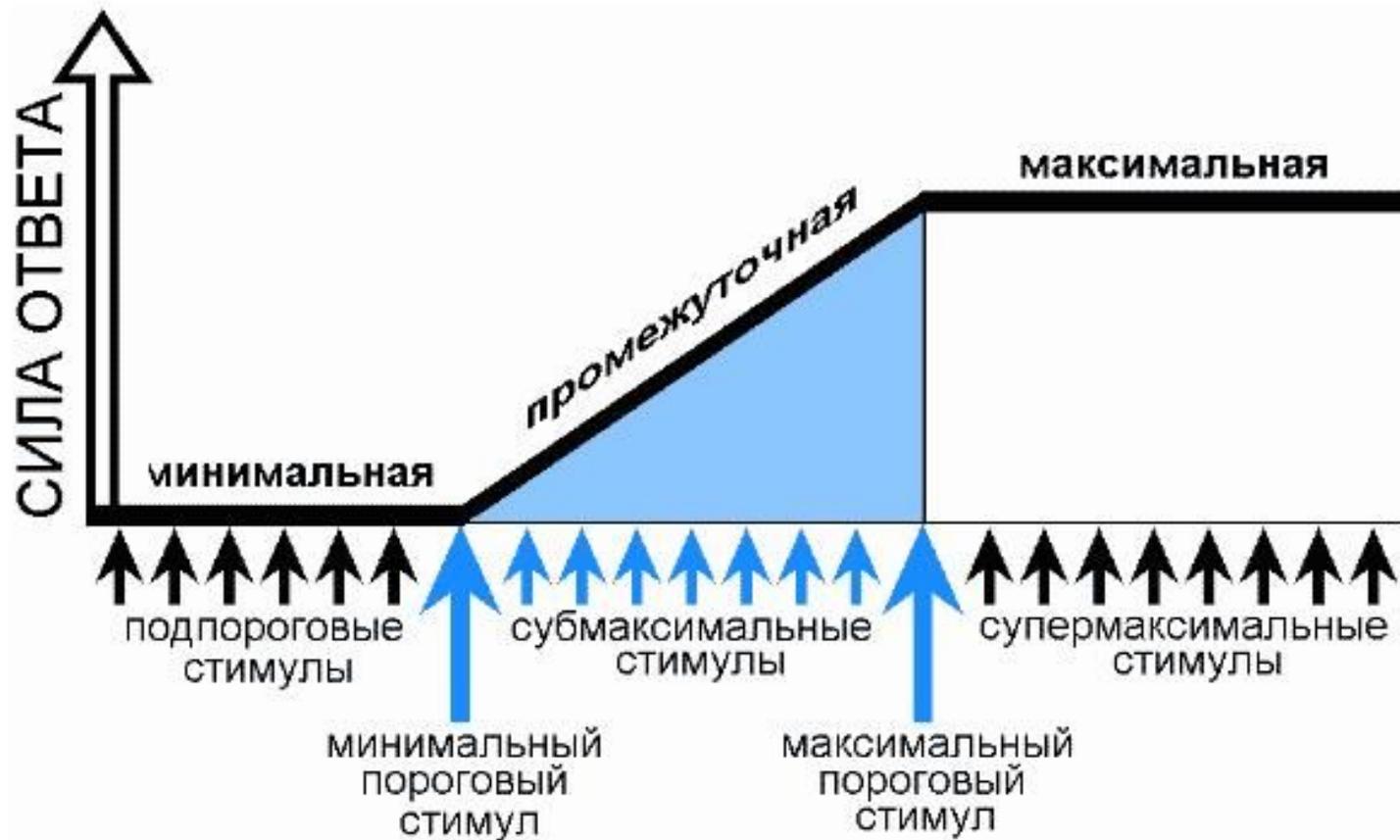
Раздражители, сила которых больше пороговой, но меньше максимальной называются **субмаксимальными**.

Закон «силы»

Природа закона силовых отношений

- Мышца состоит из отдельных мышечных волокон, причем каждое волокно имеет различную возбудимость.
- При действии раздражителя пороговой силы возбуждаются более возбудимые мышечные волокна (пороговое сокращение). По мере увеличения силы тока в процесс возбуждения вовлекаются менее возбудимые мышечные волокна (резерв или субмаксимальные сокращения).
- В момент сокращения всех волокон регистрируется максимальное сокращение (предел).

Закон силы (область выполнения)



Закон «всё или ничего»

Закон «Всё или ничего»

был открыт в 1867 году Г. Боудичем при изучении свойств сердечной мышцы, а затем подтвержден и на других возбудимых тканях.

Согласно этому закону ответная реакция ткани не зависит от силы раздражения, либо её нет («ничего»), если сила раздражителя не достигла порогового значения, либо ответная реакция максимальная («всё») уже при пороговой силе раздражения. При дальнейшем увеличении силы раздражения увеличения ответной реакции не происходит, т.к. уже пороговая сила раздражителя вызвала максимальный ответ.

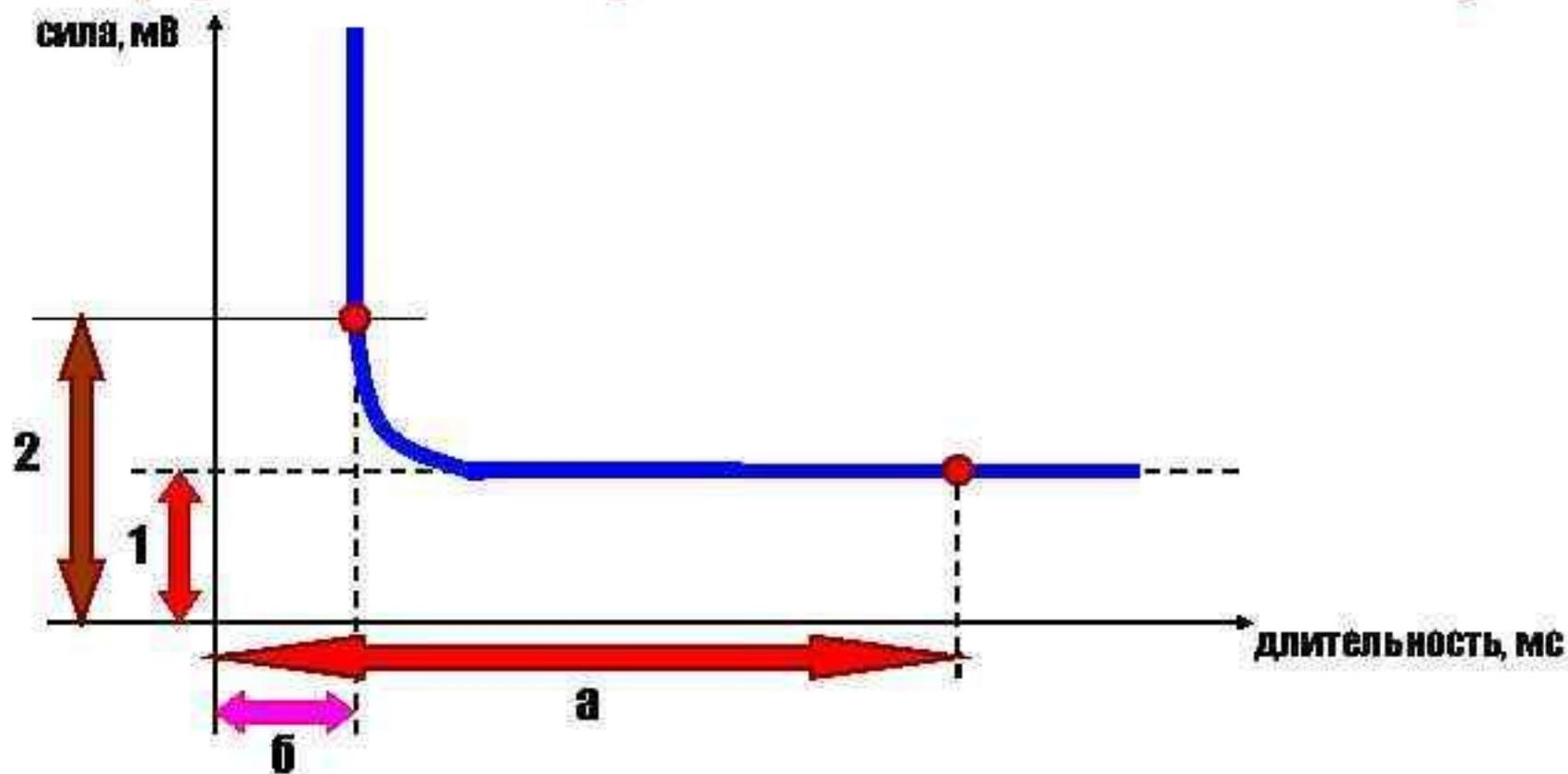
По этому закону функционируют структурные единицы - мышечное волокно, нервное волокно.

Закон «силы-длительности»

- Возникновение распространяющегося возбуждения зависит не только от силы раздражителя, но и от **времени**, в течение которого он действует.
- Чем больше по силе раздражитель, тем меньшее время он должен действовать для возникновения возбуждения.
- Зависимость носит обратный характер и имеет вид **гиперболы**.
- Из этого следует, что на кривой "силы-времени" имеются области, которые не подчиняются этому закону:
 - ✓ если сила раздражителя будет меньше некоторой (пороговой) величины, то возбуждение не возникнет даже при длительном его воздействии;
 - ✓ наоборот, если время воздействия будет очень коротким, то возбуждение тоже не возникнет даже при воздействии очень большого по силе (высокочастотного) эл. тока;
 - ✓ в физиотерапии токи высокой частоты используются для получения теплового эффекта.

ЗАКОН «СИЛА-ДЛИТЕЛЬНОСТЬ»

(кривая Гоорвега-Вейса-Лапики)

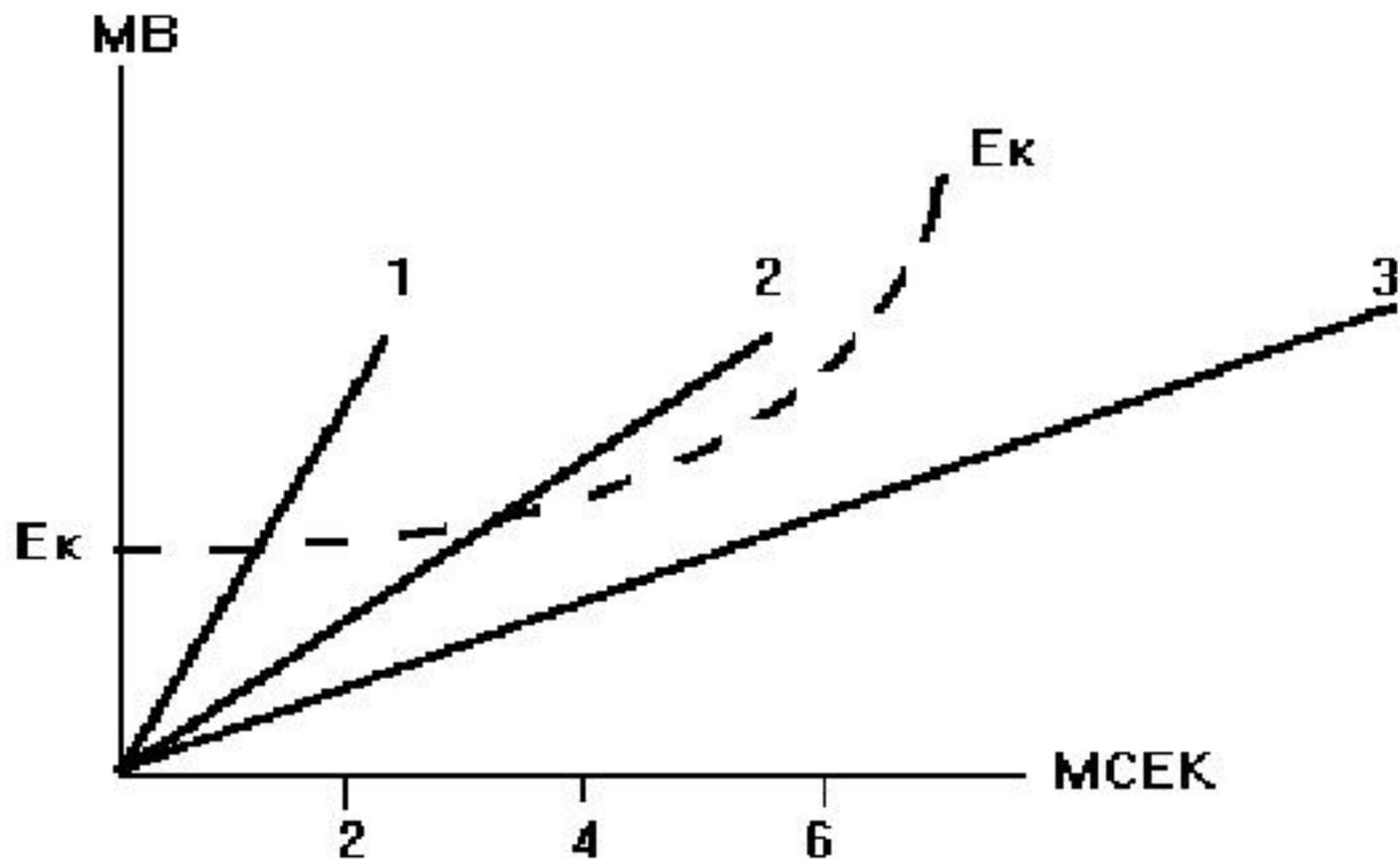


1 — реобазы (минимальная сила раздражителя, способная вызвать ПД); 2 — удвоенная реобазы; 3 — кривая «силы-времени»; а — полезное время (минимальное время, в течение которого ток, равный одной реобазе, вызывает генерацию ПД); б — хронаксия (минимальное время, в течение которого ток, равный двум реобазам, вызывает ПД).

Закон градиента раздражения

- Закон отражает зависимость возникновения возбуждения от скорости или **крутизны нарастания силы раздражителя**.
- Пороговая сила тока увеличивается при уменьшении крутизны его нарастания до определенной величины. При некоторой минимальной крутизне ответы на раздражение исчезают. Если сила раздражителя нарастает медленно, то формируются процессы, препятствующие возникновению ПД.
- При этом происходит инактивация Na-каналов.
- В результате нарастает уровень критической деполяризации (КУД), возбудимость снижается и порог раздражения увеличивается, развивается аккомодация.
- **Аккомодация** - это приспособление ткани к воздействию медленно нарастающего раздражителя, проявляющееся снижением возбудимости.

ЗАКОН ГРАДИЕНТА РАЗДРАЖЕНИЯ (АККОМОДАЦИЯ)



Закон «полярного действия постоянного тока»

«Полярный закон» для постоянного тока был сформулирован нем. физиологом Пфлюгером в 1859 году. Принято различать 3 основных его положения:

постоянный ток проявляет свое раздражающее действие только в момент замыкания и размыкания цепи;

при замыкании цепи постоянного тока возбуждение возникает под **катодом** (отрицательный электрод); при размыкании под **анодом** (положительный электрод);

возбуждение, возникающее под катодом, по величине больше, чем под анодом.

Полярное действие постоянного тока

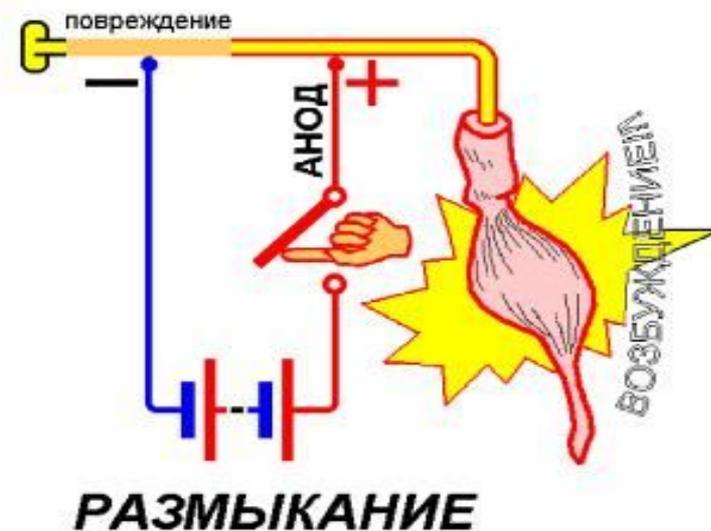
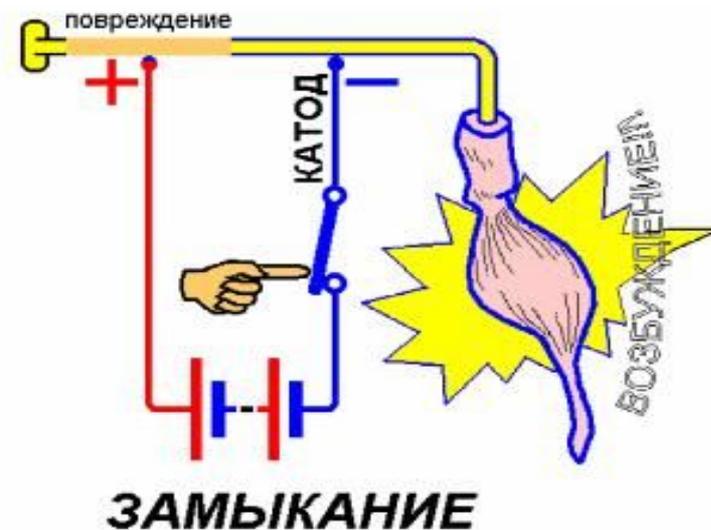


Схема опыта
Э.Пфлюгера

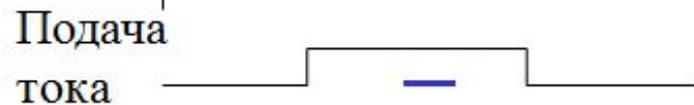
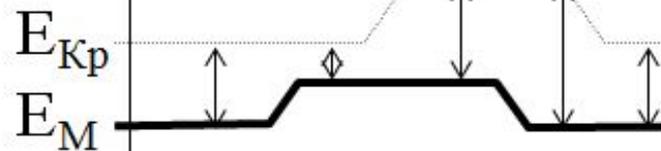
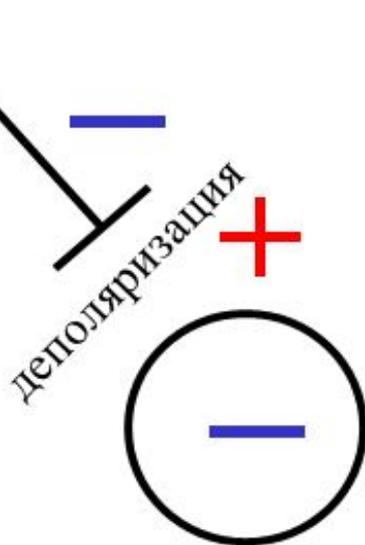
Как объяснить полярное действие постоянного тока на возбудимые ткани?

Это объясняется разным действием на мембранный потенциал отрицательного (катод) и положительного (анод) электродов.

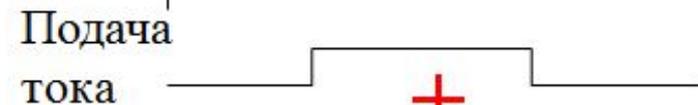
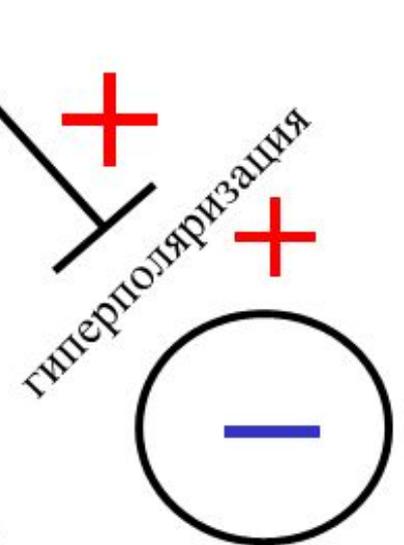
- При замыкании цепи под катодом скапливаются "-" заряды, которые уменьшают "+" заряд наружной поверхности мембраны.
- Разность потенциалов (между наружной и внутренней поверхностями мембраны) при этом уменьшается, происходит **деполяризация** мембран (возбудимость повышается).
- Когда деполяризация достигает критического уровня возникает импульсный потенциал (ПД).
- Под анодом происходят противоположные процессы. Положительный анод увеличивает положительные заряды на наружной поверхности мембран, вызывая увеличение разности потенциалов - **гиперполяризацию**.
- Это сопровождается снижением возбудимости ткани под анодом. Поэтому при замыкании цепи постоянного тока возбуждение под анодом не возникает, какой бы силы он не был.

Изменение мембранного потенциала под К(-) и А(+)

Катод



Анод



↕ - пороги возбуждения
(величины, обратные
возбудимости)

Закон физиологического электротона

- Действие постоянного электрического тока на ткань сопровождается изменением ее возбудимости
- Различают 3 вида физиологического электротона (или изменения возбудимости):
 - **Катэлектротон** - изменение возбудимости под катодом. В момент замыкания под катодом формируется деполяризация и возбудимость повышается. По мере удаления от катода количество его "-" зарядов, а следовательно и выраженность деполяризации уменьшается. В результате возбудимость уменьшается, но она остается выше, чем в состоянии покоя.
 - **Анэлектротон** - изменение возбудимости под анодом. В момент замыкания под анодом формируется гиперполяризация и возбудимость снижается. По мере удаления от анода количество его "+" зарядов, а следовательно, и гиперполяризация уменьшается. В результате возбудимость увеличивается, но остается ниже, чем в состоянии покоя.
 - **Периэлектротон** - обратное (противоположное) изменение возбудимости вне электротонических областей:
 - ✓ в зоне прекращения действия катода возбудимость снижается;
 - ✓ в зоне прекращения влияния анода возбудимость, наоборот, увеличивается.

Поправки к «полярному закону»

Существенные поправки к полярному закону внес наш отечественный ученый Б.В. Вериго, который показал, что:

при длительном действии постоянного тока на возбудимые ткани первоначальное повышение возбудимости под катодом сменяется его снижением - **катодической депрессией**;

под анодом, напротив, первоначальное снижение возбудимости сменяется его повышением - **анодная экзальтация**.

Суть **катодической депрессии** заключается в том, что при длительном действии постоянного тока под катодом происходит инактивация натриевых каналов, что ведет к повышению КУД (критического уровня деполяризации).

Под анодом, наоборот, наблюдается ослабление натриевой инактивации, что приводит к снижению КУД до уровня МПП (мембранного потенциала покоя) и в момент замыкания под анодом возникает возбуждение (**анодная экзальтация**).

При длительном действии постоянного тока

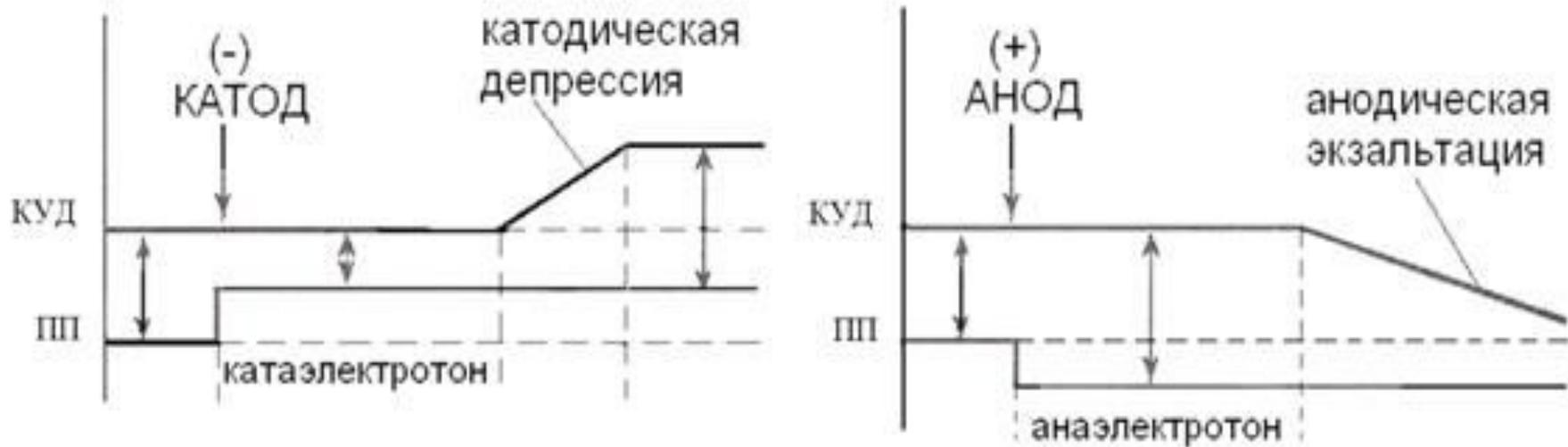


Схема опыта Э.Ф.В. Пфлюгера - Б.Ф.Вериго с аппликацией тока

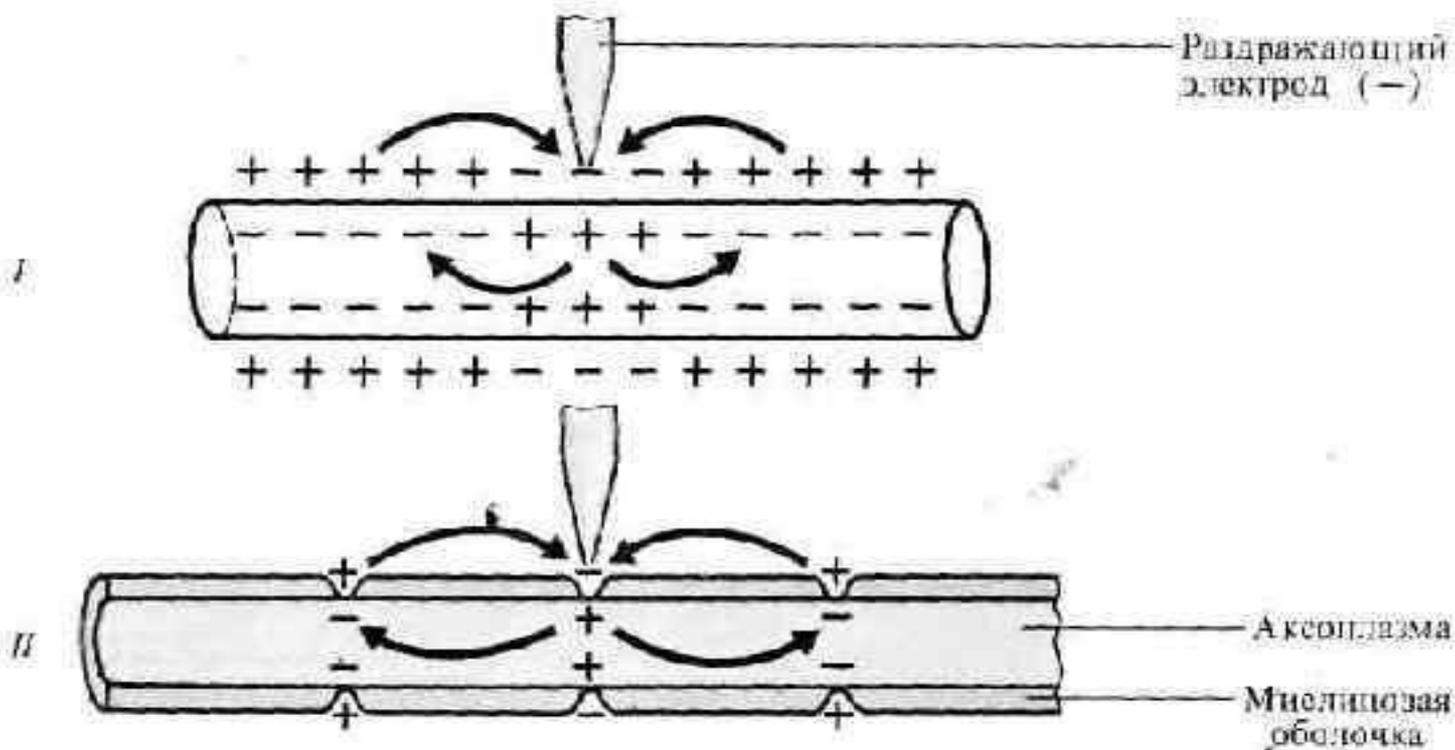


Физиология нервного ствола

- **Нервные волокна (н/в)** выполняют специализированную функцию - **проведение нервного импульса**. По морфологическим особенностям н/в делят на миелиновые (покрытые миелиновой оболочкой) и безмиелиновые. Нерв состоит из большого числа нервных волокон (миелиновых, безмиелиновых), заключенных в общую оболочку.
- При распространении возбуждения по безмиелиновому н/в - возникают местные круговые токи между возбужденным участком мембраны волокна, заряженным отрицательно и невозбужденным - заряженным положительно. Этот процесс происходит в каждой точке мембраны на всем протяжении. Такое проведение возбуждения называется **непрерывным**.
- В миелиновых н/в есть участки, покрытые миелином, которые обладают большим сопротивлением и не проводят токи и короткие участки, не покрытые миелином (перехваты Ранвье). Именно в перехватах Ранвье происходят процессы деполяризации мембраны и возникает ПД. При этом возбуждение как бы перепрыгивает от одного перехвата к другому - так называемый **сальтаторный** или **скачкообразный** механизм передачи нервных импульсов. С этим связана не только высокая скорость проведения возбуждения по миелиновым н/в, но и меньшая затрата энергии АТФ.

1 - безмиелиновое н/в 2 - миелиновое н/в

Непрерывное (1) и сальтоторное (2) проведение возбуждения



Законы проведения возбуждения в н/в

1. Закон двустороннего проведения.

От места раздражения н/в - возбуждение распространяется в обоих направлениях, как в восходящем, так и нисходящем. Это можно доказать, если на нервное волокно наложить регистрирующие электроды на некотором расстоянии друг от друга, а между ними нанести раздражение. Возбуждение зафиксируют электроды по обе стороны от места раздражения.

2. Закон анатомической и физиологической целостности.

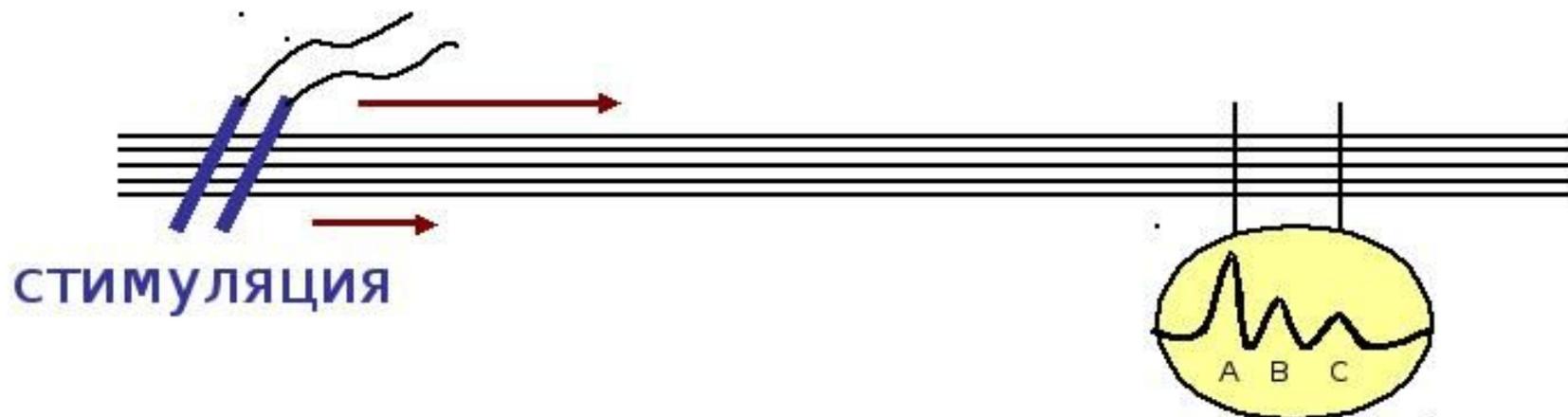
Возбуждение может распространяться по н/в только в случае его структурной (анатомической) и функциональной (физиологической) целостности. Различные факторы, действующие на нервное волокно, (наркотические вещества, охлаждение и т. д.) приводят к нарушению физиологической целостности. При этом прекращается передача возбуждения через этот участок н/в. Данный закон используется в мед. практике при местной анестезии. Обезболивающие средства (новокаин и др.) блокируют на некоторое время натриевые каналы болевых афферентных проводников, нарушая их способность проводить нервные импульсы от рецепторов в ЦНС.

3. Закон изолированного проведения возбуждения по н/в.

Каждое нервное волокно, составляющее нерв, проводит возбуждение по своей мембране, изолированно, оно не переходит с одного н/в на соседнее. Это обеспечивает доставку нервных импульсов «по точному адресу», например, от ЦНС, по эфферентным н/в, к определенным эффекторным клеткам, а значит, высокую координированность и точность рефлекторного ответа.

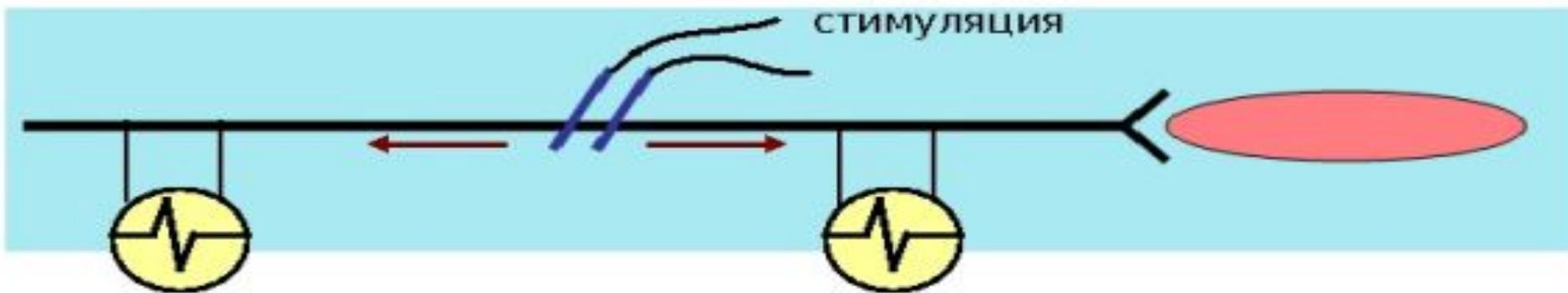
ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ

3. ЗАКОН ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВЕДЕНИЯ:



в пучке нервных волокон импульсы не передаются от одного волокна к другому.

ЗАКОН ДВУХСТОРОННЕГО ПРОВЕДЕНИЯ

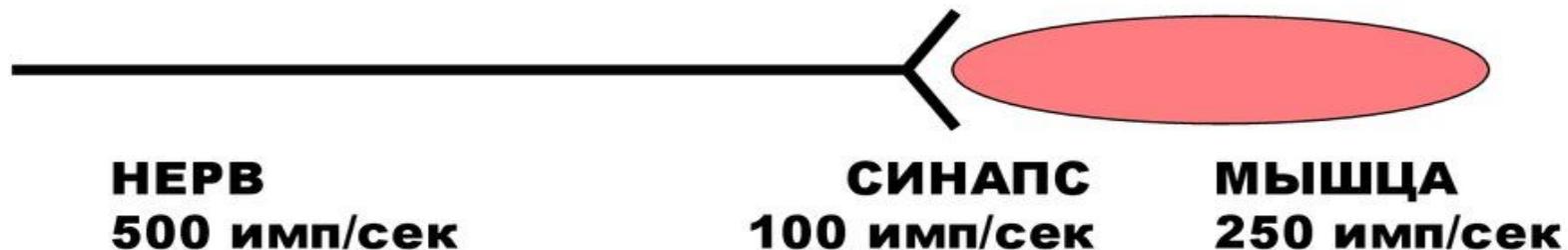


по нервным волокнам импульсы
проводятся в обе стороны

ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ

4. НЕРВНЫЕ ВОЛОКНА ОТЛИЧАЮТСЯ ВЫСОКОЙ ЛАБИЛЬНОСТЬЮ.

(Лабильность – это способность клетки генерировать максимальное число ПД за 1 секунду)



ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ

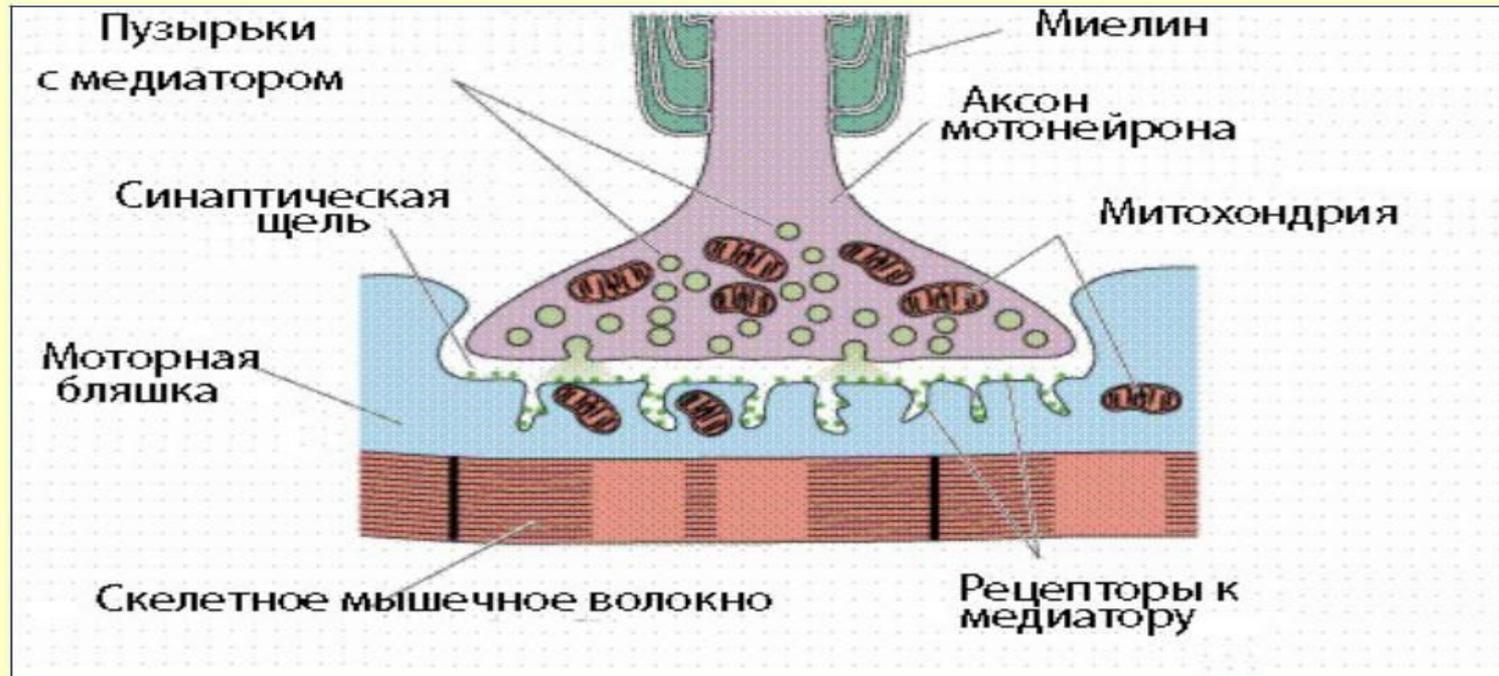
5. НЕРВНЫЕ ВОЛОКНА ПРАКТИЧЕСКИ НЕ УТОМЛЯЮТСЯ



ОПЫТ ВВЕДЕНСКОГО:

Непрерывная стимуляция нерва продолжалась 8-12 часов. Каждый раз, когда блокаду проведения снимали, импульсы проходили к мышце и мышца сокращалась.

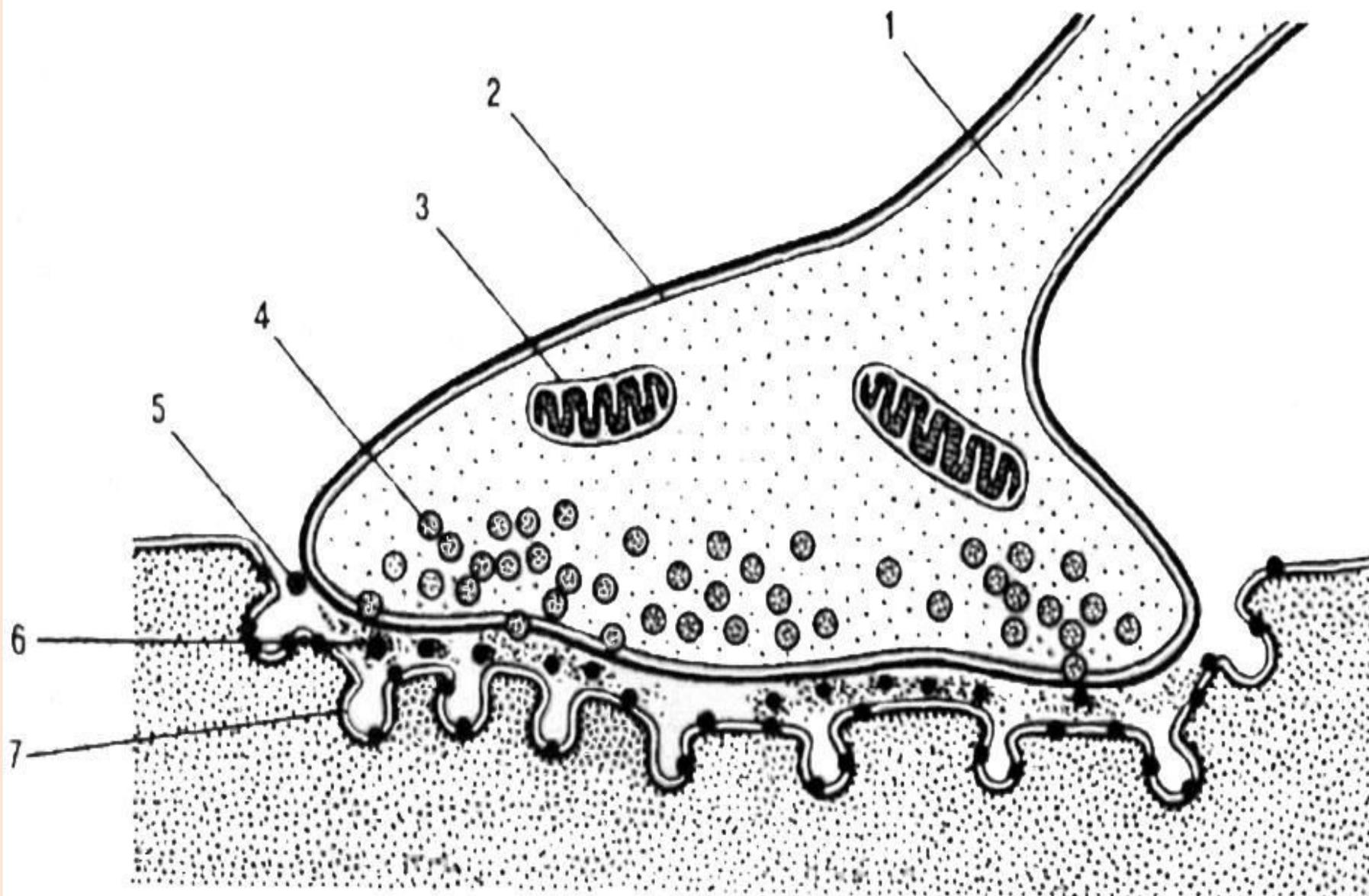
Физиология нервно-мышечной передачи



Структура нервно-мышечного синапса

- **Синапс** - это структурно-функциональное образование, обеспечивающее переход возбуждения или торможения с окончания нервного волокна на иннервируемую клетку.
- **Структура мионеврального синапса:**
 - **пресинаптическая мембрана** (электрогенная мембрана в окончании аксона, образует контакт на мышечной клетке);
 - **постсинаптическая мембрана** (электрогенная мембрана мышечного волокна, на которой образован синапс);
 - **синаптическая щель** (пространство между пресинаптической и постсинаптической мембранами, заполнена жидкостью, которая по составу напоминает плазму крови).

4 - синаптические пузырьки 5 - синаптическая щель 7 - постсинаптическая мембрана



Механизм нервно-мышечной передачи

- В пресинаптической терминали находится большое количество пузырьков или везикул, заполненных медиатором — химическим веществом посредником, осуществляющим передачу возбуждения.
- В нервно-мышечном синапсе медиатор — ацетилхолин (АХ).

Этапы проведения возбуждения:

1. Деполяризация пресинаптической мембраны;
2. Открытие кальциевых каналов и вход Ca по градиенту внутрь нервного окончания;
3. Пузырьки с медиатором сливаются с мембраной, способствуя экзоцитозу АХ в синаптическую щель; излитию содержимого пузырька в щель способствует белок синаптопорин, формирующий канал, по которому идет выброс медиатора.
4. Выброс АХ квантовый (квант - количество молекул АХ, содержащийся в 1-ой везикуле).

Механизм нервно-мышечной передачи

5. Путем диффузии АХ достигает постсинаптической мембраны, на которой находятся специфические для АХ рецепторы - холинорецепторы (ХР).

6. При связывании АХ с ХР происходит открытие хемочувствительных Na-каналов.

7. Диффузия Na через постсинаптическую мембрану вызывает её деполяризацию - возникает потенциал концевой пластинки (ПКП).

8. ПКП суммируются и достигают КУД на соседнем (электрогенном) участке мышечного волокна, что приводит к возникновению ПД и его распространению по мышечному волокну.

Особенности проведения в нервно-мышечном синапсе

- **Одностороннее** проведение возбуждения — только в направлении от пресинаптического окончания к постсинаптической мембране.
- **Синаптическая задержка** — замедление в проведении импульса от нейрона к мышце составляет 0,5-1 мс. Это время затрачивается на секрецию медиатора, его диффузию к постсинаптической мембране, взаимодействие с рецептором, формирование ПКП, их суммацию.
- **Низкая лабильность** - она составляет около 100 имп/с.
- **Чувствительность** к действию лекарственных веществ, ядов, биологически активных веществ (БАВ).
- **Высокая утомляемость** - связана, прежде всего, с истощением запасов АХ в нервном окончании и снижением чувствительности постсинаптической мембраны к постоянно действующему медиатору.

Парабиоз и его стадии

- Экспериментальные факты, составляющие основу учения о парабиозе, Н.В. Введенский (1901) изложил в своем классическом труде «Возбуждение, торможение и наркоз».
- Парабиоз (para - около, bios - жизнь)- состояние между жизнью и смертью.
- При изучении парабиоза, так же как и при исследовании лабильности, опыты проводились на нервно-мышечном препарате.
- Н. Е. Введенский обнаружил, что если участок нерва подвергнуть альтерации (т. е. воздействию повреждающего агента) посредством, например, отравления, то лабильность такого участка резко снижается.
- Изучая явление парабиоза на нервах, мышцах, железах, спинном мозге, ученый пришел к выводу о том, что парабиоз - это общая, универсальная реакция возбудимых тканей на сильное или длительное воздействие.

Парабиоз и его стадии

Развитие парабиоза протекает в три стадии:

- а) провизорную (уравнительную);
- б) парадоксальную;
- в) тормозную.

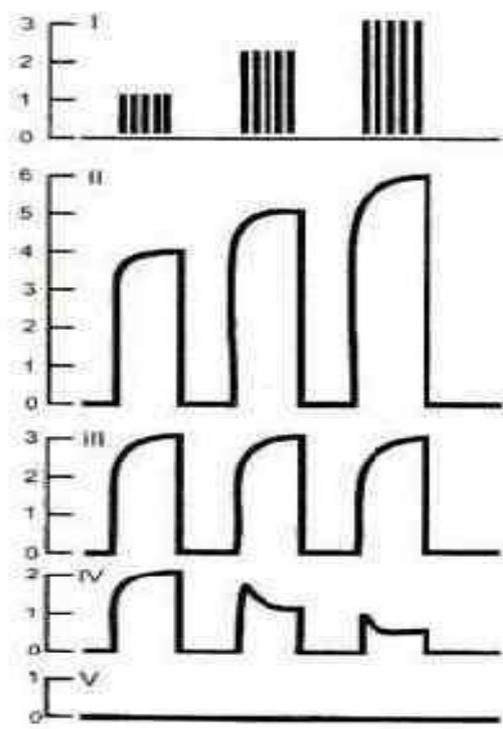
Уравнительная - так ее называют, потому что в этот период парабиоза мышца отвечает одинаковыми по амплитуде сокращениями на сильные и слабые раздражения, наносимые на участок нерва, расположенный выше места альтаерации (повреждения);

Парадоксальная - особенностью этой стадии является парадоксальная реакция поврежденного участка нерва: слабый (низкочастотный) эл. ток вызывает сокращение мышцы, а сильный (высокочастотный) либо вообще не проводит (мышца не сокращается), либо вызывает меньшую реакцию, чем слабый раздражитель.

Тормозная - мышца не отвечает ни на сильный, ни на слабый раздражитель.

- **Парабиоз** - явление обратимое. При устранении причины, вызвавшей парабиоз, физиологические свойства нервного волокна восстанавливаются.
- При этом наблюдается обратное развитие фаз парабиоза - тормозная, парадоксальная, уравнивательная.

Парабиоз Введенского



Парабиоз – устойчивая деполяризация мембраны под действием повреждающих факторов.

Фазы парабиоза:

- Уравнивательная
- Парадоксальная
- тормозная

Рис. 1.6. Фазы парабиоза:

I — серии раздражений разной силы (слабые, средние, сильные);
II-V — ответные реакции на раздражения (*II* — до парабиоза, *III* — уравнивательная фаза, *IV* — парадоксальная фаза, *V* — тормозная фаза)

«Radices litterarum amarae sunt, fructus dulces» -
корни учения горьки, плоды - сладки...



Солнечного настроения и успехов в учебе,
мои юные коллеги!

КАКОЕ У ТЕБЯ НАСТРОЕНИЕ ПОСЛЕ УРОКА?

