

**Волгоградский государственный  
медицинский университет  
Кафедра нормальной физиологии**

**Законы раздражения  
возбудимых тканей.  
Законы проведения  
возбуждения по нервам**

**Осадшая Л. Б., Кудрин Р. А.**

# План

- Закон силы
- Закон времени
- Закон «силы-времени»
- Закон «всё или ничего»
- Закон градиента
- Полярный закон раздражения
- Закон физиологического электротона
- Строение, свойства и виды нервных волокон
- Механизмы проведения возбуждения по нервным волокнам
- Законы проведения возбуждения по нервам

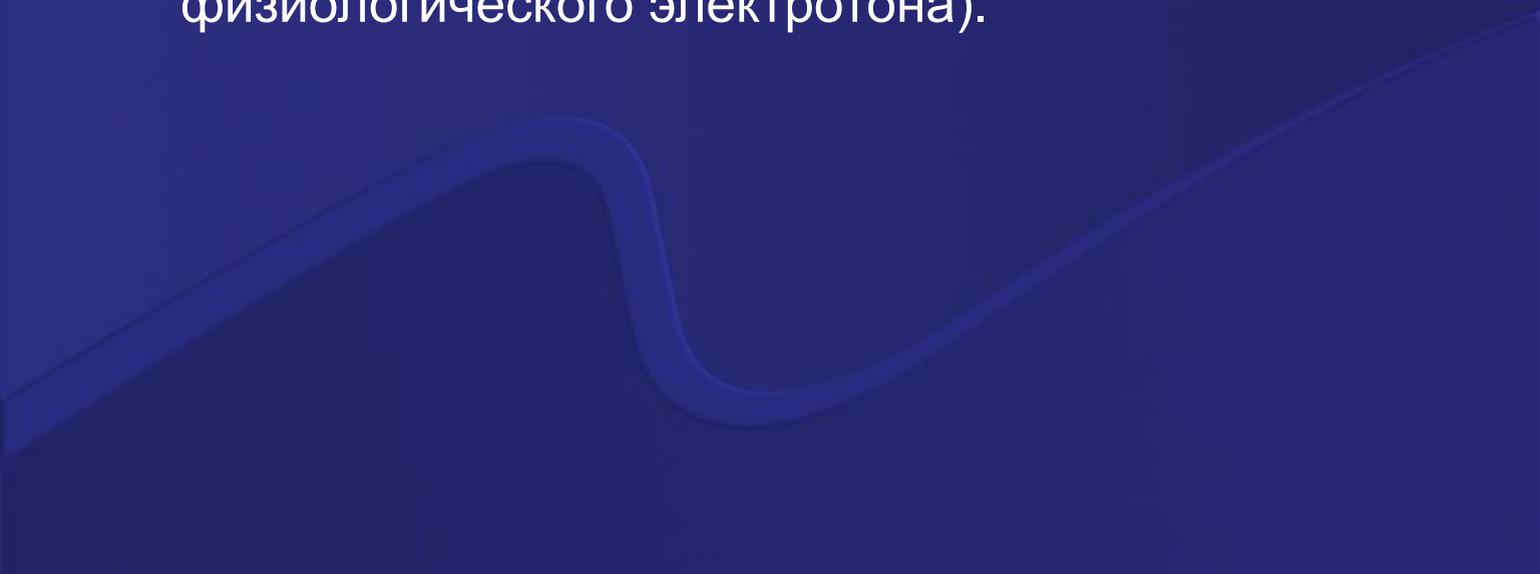
# Законы раздражения возбудимых тканей

Процесс формирования возбуждения не зависит от природы раздражителя, а определяется его количественными характеристиками (силой и длительностью воздействия, скоростью нарастания силы раздражителя).

Электрический ток является адекватным раздражителем для возбудимых тканей, так как именно местные токи между возбуждёнными (деполяризованными) и покоящимися участками клеточной мембраны вызывают генерацию потенциала действия, когда возбуждение носит распространяющийся характер.

# Законы раздражения возбудимых тканей

*Электрические процессы в возбудимых тканях определяют основные законы раздражения (закон силы, закон времени, закон "силы-времени", закон градиента, закон "всё или ничего", полярный закон раздражения, закон физиологического электротона).*



# 1. Закон силы

**Чтобы возникло возбуждение, раздражитель должен быть достаточно сильным – пороговым или надпороговым.**

Учитывая, что порог раздражения является мерой возбудимости, которая определяется порогом деполяризации (разница между потенциалом покоя и критическим уровнем деполяризации), то этот закон также должен рассматривать зависимость амплитуды ответа возбудимой ткани от силы раздражителя (раздражитель по силе ниже, равный или выше пороговой величины).

## 2. Закон времени

**Чтобы возникло возбуждение, раздражитель должен действовать на ткань достаточно длительное время.**

Ответная реакция ткани зависит от длительности раздражения, но осуществляется в определённых пределах и носит прямо пропорциональный характер. Существует зависимость между силой раздражения и временем его действия. Эта зависимость выражается в виде кривой силы и времени.

### 3. Закон «силы-времени»

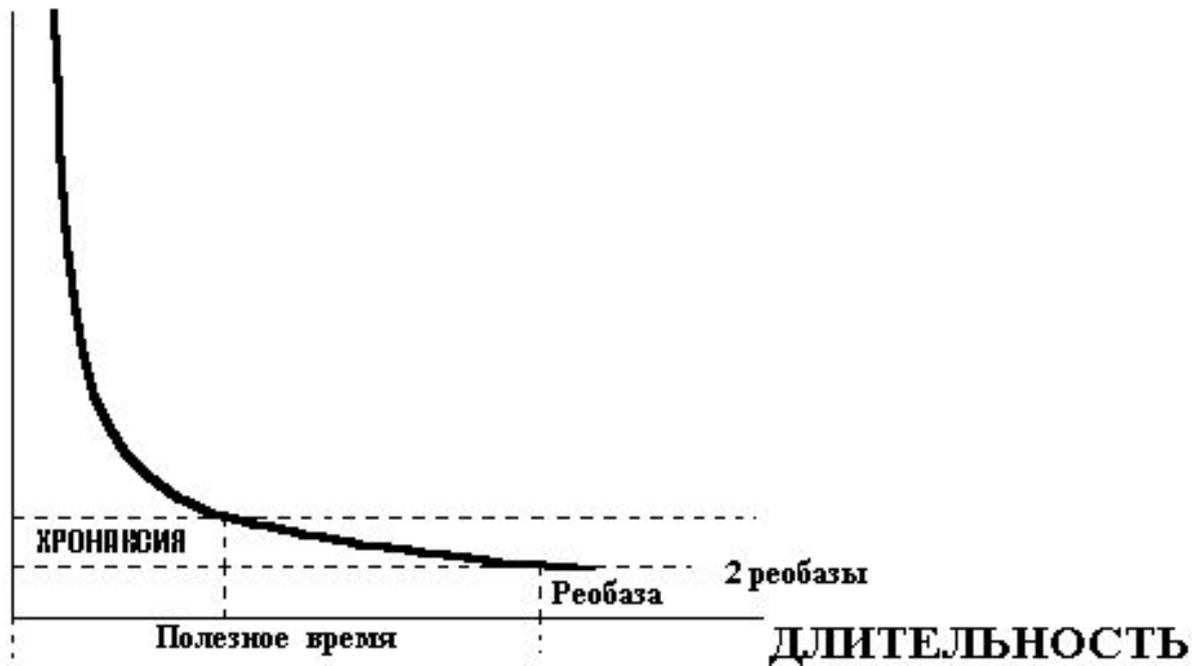
Закон отражает зависимость пороговой силы раздражителя от времени его действия для возникновения возбуждения и гласит:

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.

### 3. Закон «силы-времени»

СИЛА



### 3. Закон «силы-времени»

**Реобаза** – это *минимальная сила* электрического тока, вызывающая генерацию потенциала действия.

**Полезное время** – это *минимальное время*, в течение которого на ткань должен действовать раздражитель, равный по силе *реобазе*, чтобы возникло распространяющееся возбуждение.

**Хронаксия** – это *минимальное время*, в течение которого на ткань должен действовать раздражитель, равный *по силе 2 реобазам*, чтобы возникло распространяющееся возбуждение (при поражении нерва хронаксия увеличивается).

## 4. Закон «всё или ничего»

Для *одиночных образований* (нейрон, аксон, нервное волокно) закон силы носит название закона «всё или ничего».

Подпороговые раздражители не вызывают распространяющееся возбуждение ("ничего"). При пороговых и надпороговых воздействиях возникает максимальная ответная реакция ("всё"), то есть возбуждение возникает с максимальной амплитудой потенциала действия.

## 4. Закон «всё или ничего»

По этому закону также сокращаются сердечная мышца и одиночное мышечное волокно.

Закон не является абсолютным, а носит **относительный характер**:

- 1) при действии раздражителей подпороговой силы видимая реакция отсутствует, но возникает местная реакция (локальный ответ);
- 2) при действии пороговых раздражителей растянутая мышечная ткань даёт большую амплитуду сокращения, чем не растянутая.

## 4. Закон «всё или ничего»

При регистрации суммарной активности *целостного образования* (скелетная мышца, состоящая из отдельных мышечных волокон, нервный ствол, состоящий из множества нервных волокон) проявляется другая зависимость — **лестничная зависимость**

**Чем больше сила раздражителя, тем больше величина ответной реакции**

Например

При увеличении силы раздражителя от минимальных (пороговых) до субмаксимальных и максимальных значений амплитуда мышечного сокращения возрастает до определённой величины.

Дальнейшее увеличение силы раздражителя не

## 5. Закон градиента

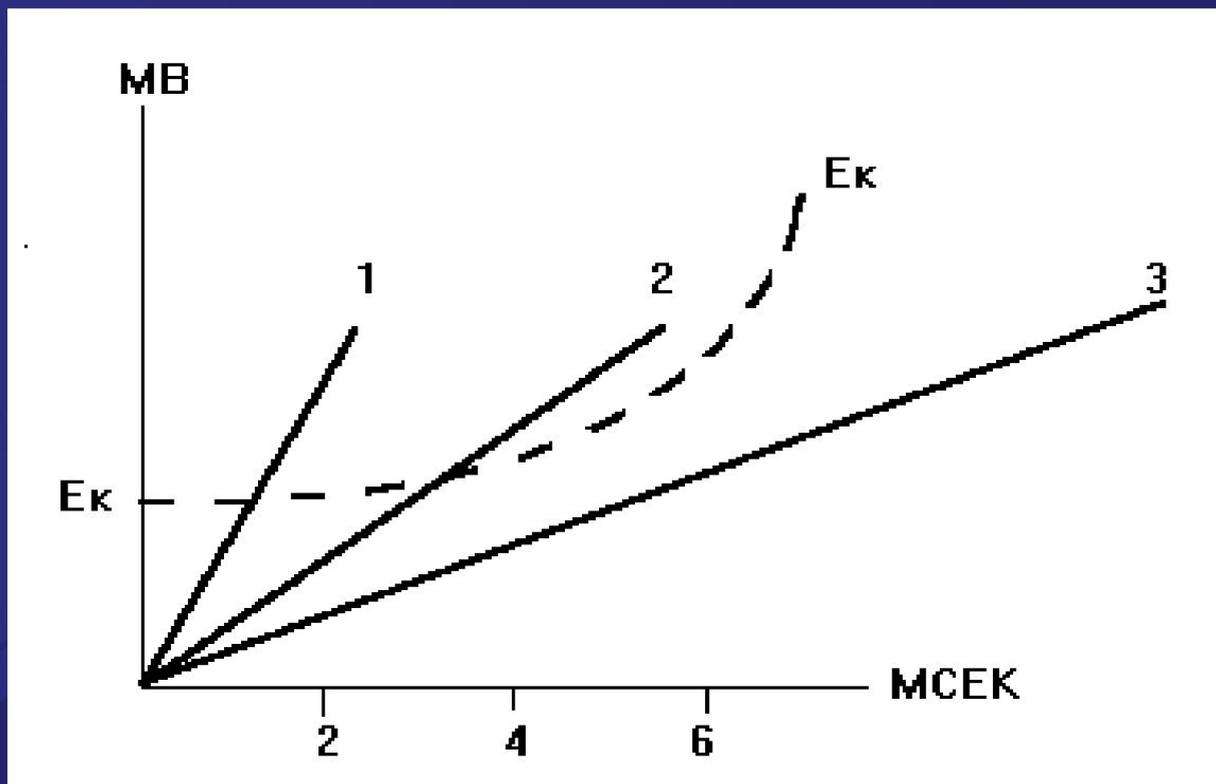
Закон отражает зависимость возникновения возбуждения от скорости или крутизны нарастания силы раздражителя и гласит:

Пороговая сила тока увеличивается при уменьшении крутизны его нарастания до определённой величины. При некоторой минимальной крутизне ответы на раздражение исчезают.

*Большая крутизна у импульсных токов прямоугольной формы.*

*Малая крутизна у пилообразных токов (с разным наклоном пилы).*

## 5. Закон градиента



## 5. Закон градиента

Если *сила* раздражителя нарастает *медленно* (длительное действие подпорогового раздражителя), то формируются процессы, *препятствующие* возникновению ПД.

При этом происходит *инактивация Na-каналов*.

В результате, *нарастание критического уровня деполяризации опережает* развитие *местных деполяризующих* процессов в мембране.

*Возбудимость снижается*, и *порог раздражения увеличивается*.

Развивается *аккомодация*.

## 5. Закон градиента

**Аккомодация** – это приспособление ткани к воздействию медленно нарастающего по силе раздражителя, проявляющееся снижением возбудимости.

**Мера аккомодации** – минимальный градиент или критический наклон.

**Минимальный градиент** – это наименьшая крутизна нарастания тока, при которой раздражающий стимул сохраняет способность генерировать потенциалы действия.

## 5. Закон градиента

Этот показатель также используют для характеристики возбудимости.

Например, двигательные нервные волокна имеют большую возбудимость, чем скелетная мускулатура.

Поэтому способность к аккомодации, а, следовательно, и минимальный градиент у нервных волокон выше.

Более низкой аккомодацией обладают сенсорные нервные волокна, сердечная мышца, гладкие мышцы, а также образования, обладающие автоматической активностью.

*Закон аккомодации* лежит в основе применения лекарственных препаратов и назначения

## 6. Полярный закон раздражения (закон Пфлюгера)

Доказать правильность закона можно при помощи опыта, в котором меняется расположение катода и анода на повреждённом и неповреждённом участках нерва, иннервирующего мышцу.

*Прохождение постоянного электрического тока через мембрану вызывает изменение мембранного потенциала покоя.*

Так, **при замыкании цепи возле катода** скапливается его "-" заряд, который уменьшает "+" заряд наружной поверхности мембраны.

*Разность потенциалов (между наружной и внутренней поверхностями мембраны) уменьшается, и мембранный потенциал изменяется в сторону критического уровня деполяризации, то есть формируется*

## 6. Полярный закон раздражения (закон Пфлюгера)

Достижение критического уровня деполяризации уровня приводит к возникновению *пикового потенциала* (потенциала действия).

**При замыкании цепи возле анода** скапливается его "+" заряд.

Он увеличивает "+" заряд мембраны и величину мембранного потенциала.

Мембранный потенциал удаляется от критического уровня, превышает значение потенциала покоя и формирует **гиперполяризацию** (возбудимость уменьшается).

## 6. Полярный закон раздражения (закон Пфлюгера)

При *размыкании* цепи, прекращение поступления дополнительного "+" заряда от *анода* приводит к *уменьшению* (восстановлению) заряда наружной поверхности мембраны.

Мембранный потенциал, *уменьшаясь*, приближается к *критическому* уровню. Формируется *деполяризация* (возбудимость *увеличивается*).

После достижения критического значения развивается пиковый потенциал.

(Поскольку размыкание происходит после замыкания, а, следовательно, на фоне гиперполяризации и пониженной возбудимости, то для возникновения ПД необходим

## 6. Полярный закон раздражения (закон Пфлюгера)

При *размыкании* возле *катода* прекращается накопление его "-" заряда.

Заряд наружной поверхности мембраны *увеличивается* (восстанавливается), мембранный потенциал, *увеличиваясь*, удаляется от критического уровня и *возбуждение не возникает*.

## 7. Закон физиологического электротона

Действие постоянного электрического тока на ткань сопровождается изменением её 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.

## 7. Закон физиологического электротона

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 она остается ниже, чем в состоянии покоя.

## 7. Закон физиологического электротона

Периэлектротон – обратное изменение возбудимости вне электротонических областей.

В зоне прекращения действия катода возбудимость снижается.

В зоне прекращения влияний анода она, наоборот, увеличивается.

## 7. Закон физиологического электротона

При **длительном прохождении постоянного тока** через ткань происходит извращение изменённой возбудимости.

При длительном замыкании под **катодом** происходит:

- *инактивация*  $Na$  проницаемости;
- повышение критического уровня деполяризации;
- увеличение порога деполяризации;
- **снижение** вначале повышенной **возбудимости**;

Это явление получило название **катодическая депрессия**.

## 7. Закон физиологического электротона

При длительном замыкании под **анодом** происходит:

- *снижение  $K$  проницаемости;*
- *снижение критического уровня деполяризации;*
- *порог деполяризации уменьшается;*
- ***повышается*** вначале сниженная ***возбудимость.***

Это явление получило название **анодическая экзальтация.**

Этот закон необходимо учитывать в медицинской практике.

## 7. Закон физиологического электротона

С одной стороны, он может быть использован, если требуется заблокировать проведение возбуждения по нервной или мышечной ткани (катодическая депрессия) или повысить возбудимость (анодическая экзальтация).

С другой стороны, необходимо помнить о возможности привыкания к длительному действию раздражителей, в частности, фармацевтических препаратов, влияющих на возбудимость мембраны

## 8. Строение, свойства и виды нервных волокон

Нервные волокна являются отростками нервных клеток.

Они выполняют специализированную функцию: проведение нервных импульсов.

По морфологическому признаку нервные волокна делят на:

- 1) **миелиновые** (мякотные) – покрытые миелиновой оболочкой;
- 2) **безмиелиновые** (безмякотные) – не покрыты миелиновой оболочкой.

Нервные волокна формируют **нерв** или **нервный ствол**.

## 8. Строение, свойства и виды нервных волокон

**Нерв** состоит из большого числа нервных волокон, заключённых в общую соединительно-тканную оболочку.

В состав нерва входят миелиновые и безмиелиновые волокна.

По направленности проведения возбуждения нервные волокна делят:

- 1) **афферентные** – проводят возбуждение от рецепторов в ЦНС;
- 2) **эфферентные** – проводят возбуждение от ЦНС к исполнительным органам.

## 8. Строение, свойства и виды нервных волокон

*Нервные волокна обладают физиологическими свойствами: возбудимостью, проводимостью, лабильностью.*

**Проведение возбуждения** вдоль нервных (и мышечных) волокон осуществляется при помощи местных электрических токов, возникающих между возбуждённым (деполяризованным) и покоящимся участкам волокна.

Местные токи (от "+" к "-") вызывают деполяризацию невозбуждённого участка, где при достижении критического уровня формируется ПД, которые деполяризует соседний невозбуждённый участок и т. д.

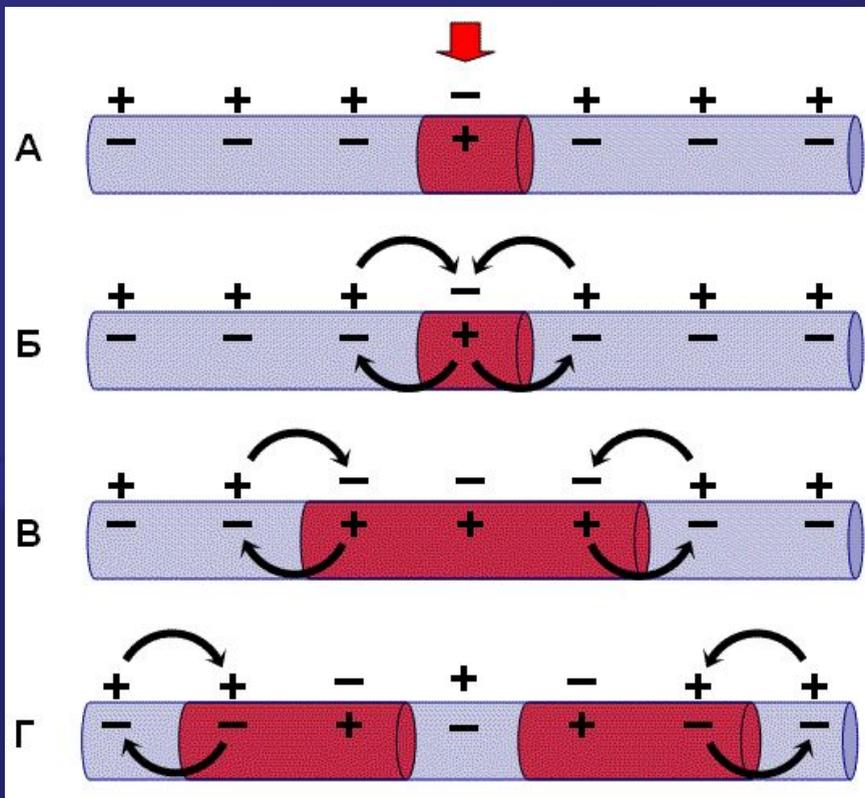
## 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

По *безмиелиновому* нервному волокну возбуждение распространяется *непрерывно*, со скоростью *0,5-3 м/с*, без её снижения (бездекрементно) и без снижения *амплитуды* потенциала действия.



# 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

Непрерывный механизм



## 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

*У миелиновых нервных волокон, которые обладают высоким электрическим сопротивлением, а также включают участки волокна, лишённые оболочки (перехваты Ранвье), создаются условия для нового типа проведения возбуждения. Местные токи возникают между соседними перехватами Ранвье, так как мембрана возбуждённого перехвата становится заряженной "-" относительно соседнего (невозбуждённого) перехвата.*

## 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

Эти местные токи деполяризуют мембрану невозбуждённого перехвата до критического уровня, и в нём возникает потенциал действия.

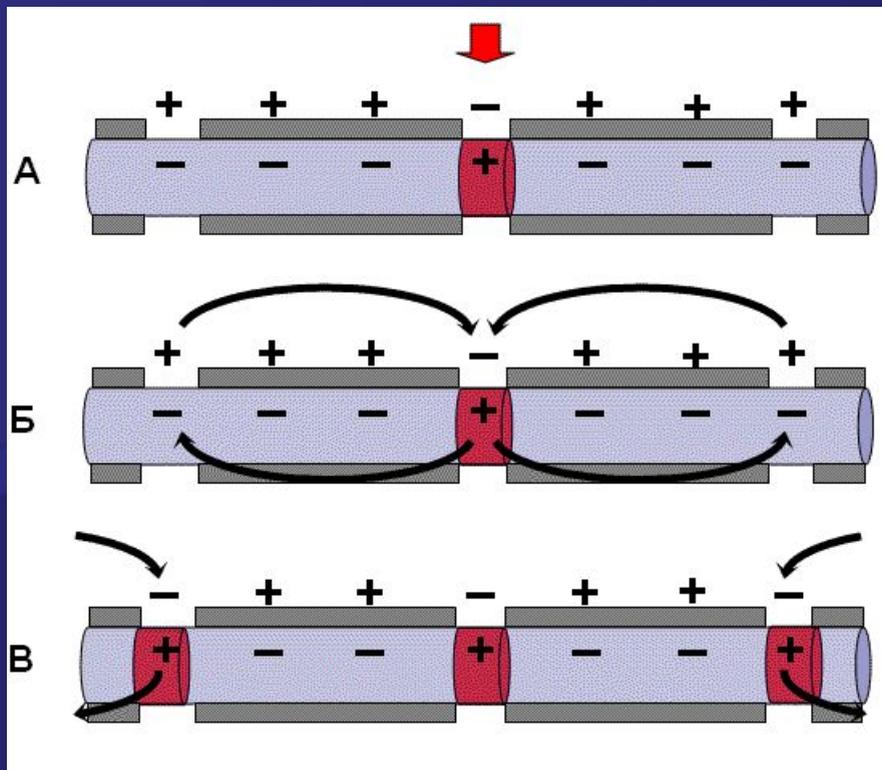
Таким образом, возбуждение как бы "перескакивает" через участки нервного волокна, покрытого миелином, от одного участка к другому.

Такой вид распространения возбуждения называется **скачкообразным** или **сальтаторным**.

Скорость такого способа проведения возбуждения **значительно выше (70-120 м/с)**.

# 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

Скачкообразный (сальтаторный) механизм

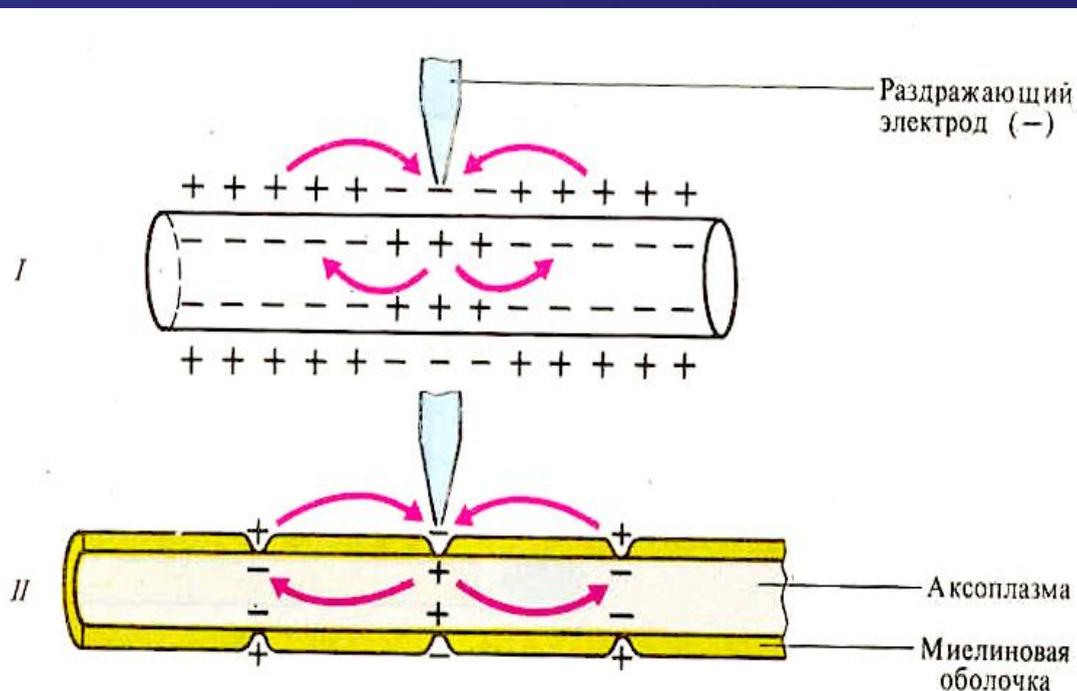


## 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам

Этот способ *более экономный* относительно непрерывного проведения возбуждения, поскольку в состоянии активности вовлекается не вся мембрана, а только участки области перехватов.

"Перепрыгивание" потенциала действия возможно потому, что амплитуда ПД в 5-6 раз превышает пороговую величину, необходимую для возбуждения соседнего перехвата.

# 9. Механизм проведения возбуждения по нервным волокнам



Проведение возбуждения в нервных волокнах (по Дж. Бендоллу, 1970):  
*I* — немиелинизированное волокно, *II* — миелинизированное волокно (сальтаторное проведение)

# 10. Законы проведения возбуждения по нервам

Закон анатомической и физиологической целостности нервного волокна

Проведение возбуждения по нервному волокну возможно лишь в том случае, если сохранена его анатомическая и физиологическая целостность

Нарушение *физиологической целостности* возможно в результате воздействия множества факторов (наркотические вещества, охлаждение, перевязка и др.).

# 10. Законы проведения возбуждения по нервам

Закон изолированного проведения возбуждения

В составе нерва возбуждение по нервному волокну распространяется, изолировано, то есть не переходя с одного волокна на другое.

Это обусловлено тем, что *сопротивление межклеточной жидкости* значительно ниже *сопротивления мембраны* волокна.

Поэтому *основная часть тока* между возбуждёнными и невозбуждёнными участками проходит по *межклеточным щелям* не действуя на рядом расположенные нервные волокна.

## 10. Законы проведения возбуждения по нервам

Закон изолированного проведения возбуждения имеет большое значение, поскольку *нерв* содержит большое количество *нервных волокон* (чувствительных, двигательных, вегетативных), которые *иннервируют различные* по структуре и функциям *эффекторы* (клетки, ткани, органы)

# 10. Законы проведения возбуждения по нервам

Закон двухстороннего проведения возбуждения

Возбуждение по нервному волокну распространяется в обе стороны от места его возникновения, то есть как центробежно, так и центростремительно.

Нервные волокна обладают *лабильностью* (пропускной способностью)

# 10. Законы проведения возбуждения по нервам

**Лабильность** – это способность воспроизводить определённое количество потенциалов действия в единицу времени в соответствии с ритмом действующего раздражителя.

**Мерой лабильности** является максимальное количество ПД, которое способна воспроизвести структура без искажения ритма.

## 10. Законы проведения возбуждения по нервам

*Лабильность определяется длительностью пика потенциала действия, в частности, продолжительностью фазы абсолютной рефрактерности.*

Поскольку абсолютная рефрактерность у *нервного волокна самая короткая*, то нервное волокно способно воспроизвести от 500 до 1000 импульсов в секунду.

Лабильность скелетной мышцы 200-300 имп./с

**Спасибо за внимание!**

