

БИОПОТЕНЦИАЛЫ

Лекция

ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ

1. РОЛЬ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЕЙСТВИЯ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
1. ОБ АКСОНАХ.
1. КАБЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ.
1. НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ.
5. НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ.

1. РОЛЬ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЕЙСТВИЯ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- **РАЗДРАЖИМОСТЬ –**

**СПОСОБНОСТЬ ЖИВЫХ
КЛЕТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ
РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ**

**(определенных факторов
внешней или внутренней
среды)**

**ПЕРЕХОДИТЬ ИЗ
СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ
В СОСТОЯНИЕ АКТИВНОСТИ.**

**ПРИ ЭТОМ ВСЕГДА
МЕНЯЕТСЯ**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ МЕМБРАНЫ.**

- **ВОЗБУДИМОСТЬ –**

**СПОСОБНОСТЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ВОЗБУДИМЫХ КЛЕТОК**

**В ОТВЕТ НА ДЕЙСТВИЕ
РАЗДРАЖИТЕЛЯ**

**ГЕНЕРИРОВАТЬ
ОСОБУЮ ФОРМУ
КОЛЕБАНИЯ
МЕМБРАННОГО
ПОТЕНЦИАЛА –
ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ.**

Реакции возбудимых клеток

В принципе возможны различные ответы возбудимых клеток на действие раздражителей:

- **ЛОКАЛЬНЫЙ ОТВЕТ**
- ПД
- и некоторые другие виды потенциалов

ЛОКАЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

ПОДПОРОГОВЫЙ
раздражитель
(50-75% от порогового)



ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ МЕНЬШЕ
КРИТИЧЕСКОЙ



НЕБОЛЬШОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ
НАТРИЕВОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ,
МЕХАНИЗМ П.О.С.
НЕ ВКЛЮЧАЕТСЯ. –

ПРОЦЕСС БЫСТРО
ЗАТУХАЕТ.

Изменения возбудимости

В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ПД ВОЗБУДИМОСТЬ МЕНЯЕТСЯ.

- **СНИЖЕНИЕ ВОЗБУДИМОСТИ** называется **ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РЕФРАКТЕРНОСТЬЮ**,
- **ПОЛНАЯ УТРАТА ВОЗБУДИМОСТИ** – **АБСОЛЮТНОЙ РЕФРАКТЕРНОСТЬЮ**.

Возбудимость повышается по мере приближения МП к уровню критической деполяризации и снижается по мере удаления от этого значения.



Последовательные изменения возбудимости при развитии ПД:

Последовательные изменения возбудимости

**В НАЧАЛЕ
ФАЗЫ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ –
УВЕЛИЧЕНИЕ;**

**ПО МЕРЕ УДАЛЕНИЯ ОТ
КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ –
СНИЖЕНИЕ,**

**И НА ВЫСОТЕ ФАЗЫ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ –
АБСОЛЮТНАЯ
РЕФРАКТЕРНОСТЬ.**

**ПО МЕРЕ РЕПОЛЯРИЗАЦИИ
АБСОЛЮТНАЯ
РЕФРАКТЕРНОСТЬ
СМЕНЯЕТСЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ.**

**БЛИЖЕ К КОНЦУ ФАЗЫ
РЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ВОЗБУДИМОСТЬ СНОВА
УВЕЛИЧЕНА
(СОСТОЯНИЕ
«СУПЕРНОРМАЛЬНОСТИ»)**

**ВО ВРЕМЯ ФАЗЫ
ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИИ –
СНИЖЕНА.**

Возбуждение

- **ВОЗБУЖДЕНИЕ – ОТВЕТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КЛЕТОК НА ДЕЙСТВИЕ ПОРОГОВЫХ И НАДПОРОГОВЫХ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ.**

ЭТО СЛОЖНЫЙ КОМПЛЕКС ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ, В ОСНОВЕ КОТОРОГО ЛЕЖИТ ПД.

РЕЗУЛЬТАТ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЗАВИСИТ ОТ ТОГО, В КАКОЙ ТКАНИ ОНО РАЗВИВАЛОСЬ (ГДЕ ВОЗНИК ПД).

К СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ВОЗБУДИМЫМ ТКАНЯМ ОТНОСЯТСЯ:

- **НЕРВНАЯ**
- **МЫШЕЧНАЯ**
- **ЖЕЛЕЗИСТАЯ**

Нервный импульс

ПД
ОБЕСПЕЧИВАЮТ
ПРОВЕДЕНИЕ
ВОЗБУЖДЕНИЯ
ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ
И ИНИЦИИРУЮТ
ПРОЦЕССЫ
СОКРАЩЕНИЯ
МЫШЕЧНЫХ
И
СЕКРЕЦИИ
ЖЕЛЕЗИСТЫХ
КЛЕТОК.

ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ,
ВОЗНИКШИЙ В
НЕРВНОМ ВОЛОКНЕ,-
НЕРВНЫЙ ИМПУЛЬС.

2. ОБ АКСОНАХ

АКСОНЫ

(НЕРВНЫЕ ВОЛОКНА) –
ДЛИННЫЕ ОТРОСТКИ
НЕРВНЫХ КЛЕТОК
(НЕЙРОНОВ).

- **АФФЕРЕНТНЫЕ ПУТИ** –
ОТ ОРГАНОВ ЧУВСТВ К ЦНС,
- **ЭФФЕРЕНТНЫЕ ПУТИ** –
ОТ ЦНС К МЫШЦАМ.

- **ПРОТЯЖЕННОСТЬ** –
МЕТРЫ.
- **ДИАМЕТР В СРЕДНЕМ**
1-100 МКМ,
У ГИГАНТСКОГО АКСОНА
КАЛЬМАРА – в среднем 600
МКМ, ДО ММ.

Виды аксонов

АКСОНЫ

**МИЕЛИНИЗИРОВАННЫЕ
(МИЕЛИНОВЫЕ,
МЯКОТНЫЕ)**

**ЕСТЬ
МИЕЛИНОВАЯ ОБОЛОЧКА**

**НЕМИЕЛИНИЗИРОВАННЫЕ
Е
(АМИЕЛИНОВЫЕ,
БЕЗМЯКОТНЫЕ)**

**НЕТ
МИЕЛИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ**

МИЕЛИНОВАЯ ОБОЛОЧКА –

**окружающая аксон
дополнительная
многослойная
(до 250 слоев)
мембрана.**

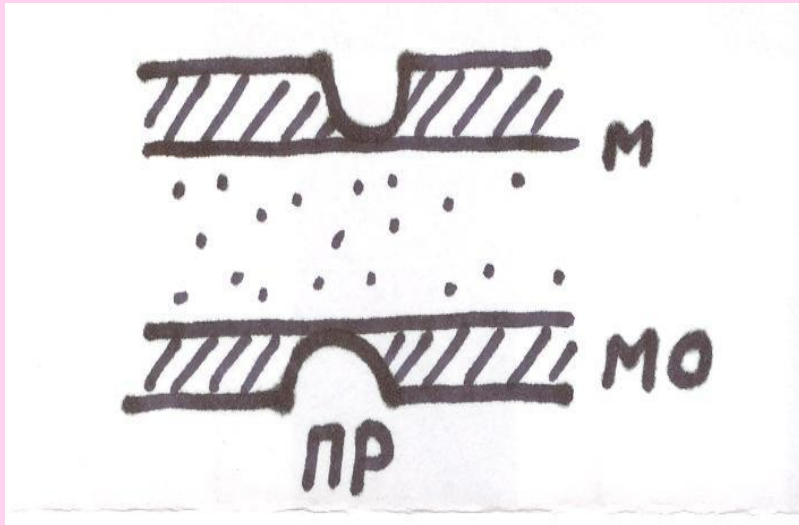
ОБРАЗОВАНИЕ:

**внедрение в шванновскую
клетку**

**(леммоцит,
олигодендроцит)**

**и многократное наматывание
мембраны этой клетки на
аксон.**

Миелиновая оболочка



- МИЕЛИН – ОЧЕНЬ ХОРОШИЙ ИЗОЛЯТОР.
- ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 1-2 ММ - ПЕРЕХВАТЫ РАНВЬЕ, по 1 мкм.
- ТОЛЬКО В ОБЛАСТИ ПЕРЕХВАТОВ ВОЗБУДИМАЯ МЕМБРАНА КОНТАКТИРУЕТ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ.

3. КАБЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ

АКСОН ↔ КАБЕЛЬ:

- ПОЛАЯ ТРУБКА,
- ВНУТРЕННЕЕ СОДЕРЖИМОЕ – АКСОПЛАЗМА – ПРОВОДНИК (КАК И МЕЖКЛЕТОЧНАЯ ЖИДКОСТЬ),
- СТЕНКА – МЕМБРАНА – ИЗОЛЯТОР.

МЕХАНИЗМ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

(РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕРВНОГО ИМПУЛЬСА)

ВКЛЮЧАЕТ ДВЕ СТУПЕНИ.

Две ступени механизма проведения

ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ (I) –

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ
*ЛОКАЛЬНЫХ ТОКОВ***

**И РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ВОЛНЫ ДЕПОЛЯРИ-
ЗАЦИИ ВДОЛЬ
ВОЛОКНА.**

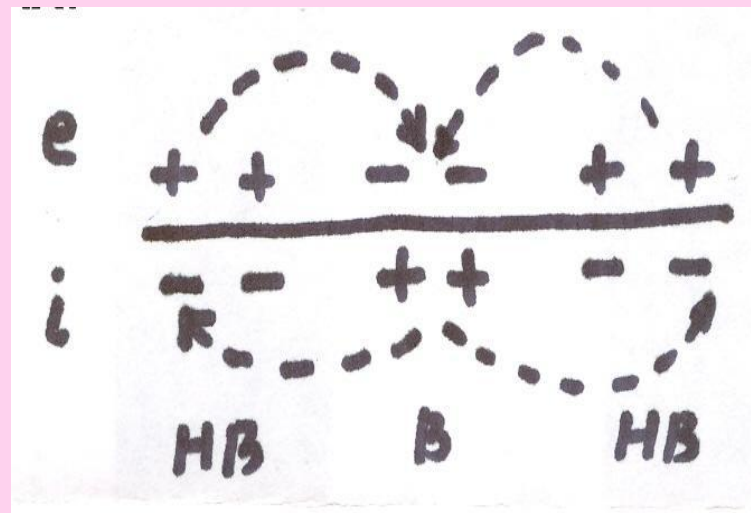
ВТОРАЯ СТУПЕНЬ (II) –

**ФОРМИРОВАНИЕ
ПОТЕНЦИАЛОВ
ДЕЙСТВИЯ
НА НОВЫХ
УЧАСТКАХ ВОЛОКНА.**

Первая ступень

ЛОКАЛЬНЫЕ ТОКИ
циркулируют между
возбужденным и
невозбужденным
участками нервного
волокна

ввиду разной
полярности мембраны
на этих участках:
внутри клетки – от
возбужденного участка
к невозбужденному,
снаружи - наоборот.



Первая и вторая ступени проведения

ЛОКАЛЬНЫЙ ТОК



**СДВИГ МП
СОСЕДНЕГО
УЧАСТКА**



...

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ВОЛНЫ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ПО ВОЛОКНУ,
КАК ТОКА ПО КАБЕЛЮ.**

II

**КРИТИЧЕСКАЯ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ
ОЧЕРЕДНОГО УЧАСТКА**



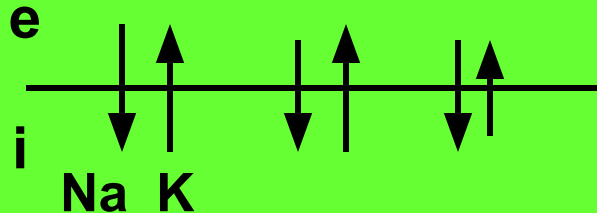
**ОТКРЫТИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ
НАТРИЕВЫХ,
ПОТОМ КАЛИЕВЫХ
КАНАЛОВ,-**

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПД

Энергетическое обеспечение проведения

В РАЗНЫХ УЧАСТКАХ
ВОЛОКНА
ПД ФОРМИРУЮТСЯ
НЕЗАВИСИМЫМИ
ИОННЫМИ ПОТОКАМИ
ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ

(ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫМИ
К НАПРАВЛЕНИЮ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ).



Величина потоков
определяется
не силой локальных токов
вдоль мембраны,
а концентрационными
градиентами ионов.

Эти градиенты
создаются насосами.

Работа насосов
обеспечивается
энергией гидролиза
АТФ.

Свойство нервного импульса



На каждом участке -
энергетическая подпитка
процесса

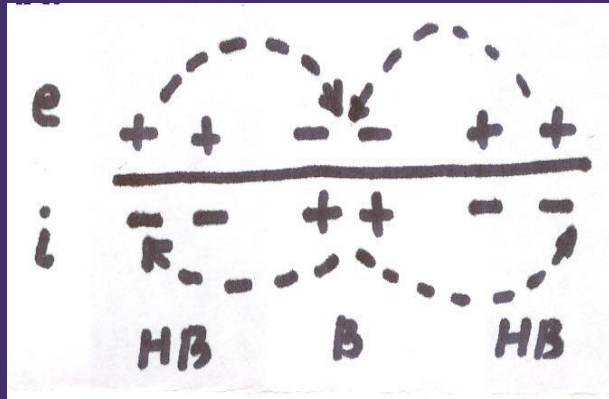


**НЕРВНЫЙ ИМПУЛЬС
РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ
ВДОЛЬ ВОЛОКНА
БЕЗ ЗАТУХАНИЯ
(С НЕИЗМЕННОЙ
АМПЛИТУДОЙ)**

**Роль локальных токов -
ИНИЦИАЦИЯ** процесса
путем деполяризации
мембраны все новых
участков
до критического уровня.

4. НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

В принципе локальные токи могли бы течь в двух направлениях:



Однако реально проведение **ОДНОСТОРОННЕЕ.**

Причины:

- 1) Наличие в нервной системе **СИНАПСОВ С ОДНОСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ.**
- 2) Свойство **РЕФРАКТЕРНОСТИ** нервных волокон (импульс не может повернуть обратно).

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕМ ВЫШЕ,
ЧЕМ БОЛЬШЕ КАБЕЛЬНЫЕ
СВОЙСТВА ВОЛОКНА,

т.е.,

проводящие свойства
аксоплазмы и
изоляционные свойства
мембраны.

ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ –
КОНСТАНТА ДЛИНЫ
НЕРВНОГО ВОЛОКНА:

$$\lambda = \sqrt{\frac{D b_m \rho_m}{4 \rho_a}}$$

Константа длины

Здесь

D – диаметр всего
волокна,

b_m – толщина его
мембраны,

ρ_m – удельное
сопротив-
ление мембраны,

ρ_a - удельное
сопротив-
ление аксоплазмы.

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

λ :

это

**РАССТОЯНИЕ,
НА КОТОРОМ
ПОДПороГОВЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ
УМЕНЬШИЛСЯ БЫ
В «e» РАЗ.**

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

ИОННЫЙ СОСТАВ
АКСОПЛАЗМЫ
ОДИНАКОВ \Rightarrow

ρ_a ОДИНАКОВО.

Т.е., константа длины
может меняться за
счет параметров

D ,

b_m и ρ_m .

БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ:
УВЕЛИЧЕНИЕ
ДИАМЕТРА
ВОЛОКНА

ПОЗВОНОЧНЫЕ:
УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ
И
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВ-
ЛЕНИЯ МЕМБРАНЫ
ПУТЕМ ПРИОБРЕТЕНИЯ
МИЕЛИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ

5. НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

Миелиновая оболочка не только увеличила толщину и удельное сопротивление мембраны, но и качественно изменила (в рамках кабельной теории) способ проведения.

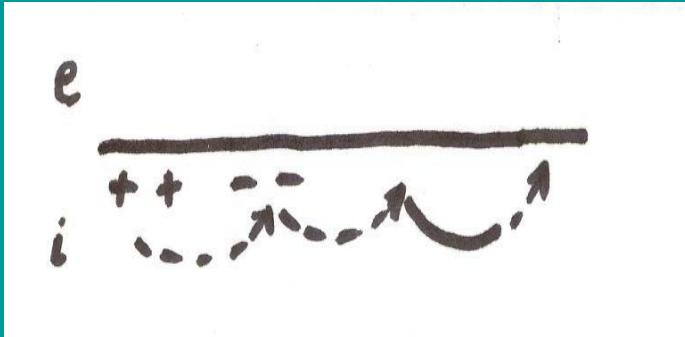
ПРОВЕДЕНИЕ

**НЕПРЕРЫВНОЕ
(АМИЕЛИНОВЫЕ
ВОЛОКНА)**

**САЛЬТАТОРНОЕ
(МИЕЛИНОВЫЕ
ВОЛОКНА)**

НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРОВЕДЕНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО, ОДИН ЗА ДРУГИМ ВСЕ УЧАСТКИ АМИЕЛИНОВОГО ВОЛОКНА ПЕРЕХОДЯТ В СОСТОЯНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ.



САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ – «СКАЧКООБРАЗНОЕ».

- **ВОЗБУДИМАЯ МЕМБРАНА МЯКОТНОГО АКСОНА ОБНАЖЕНА ТОЛЬКО В ПЕРЕХВАТАХ РАНВЬЕ.**
- **ТОЛЬКО ТАМ ОТКРЫВАЮТСЯ НАТРИЕВЫЕ И КАЛИЕВЫЕ КАНАЛЫ,**
- **ТОЛЬКО В НИХ ПРОИСХОДИТ ГЕНЕРАЦИЯ ПД.**

САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ
ОДНОГО ПЕРЕХВАТА
ЛОКАЛЬНЫЕ ТОКИ
ОБРАЗУЮТСЯ МЕЖДУ
НИМ И СОСЕДНИМ,

И ИМПУЛЬС
«ПЕРЕСКАКИВАЕТ» С
ОДНОГО ПЕРЕХВАТА
НА ДРУГОЙ.

ПО МИЕЛИНИЗИРОВАННОМУ
ВОЛОКНУ ИМПУЛЬС РАСПРО-
СТРАНЯЕТСЯ НА ПОРЯДОК
БЫСТРЕЕ \Rightarrow У ПОЗВОНОЧ-
НЫХ ЭВОЛЮЦИОННОЕ
ПРЕИМУЩЕСТВО!

