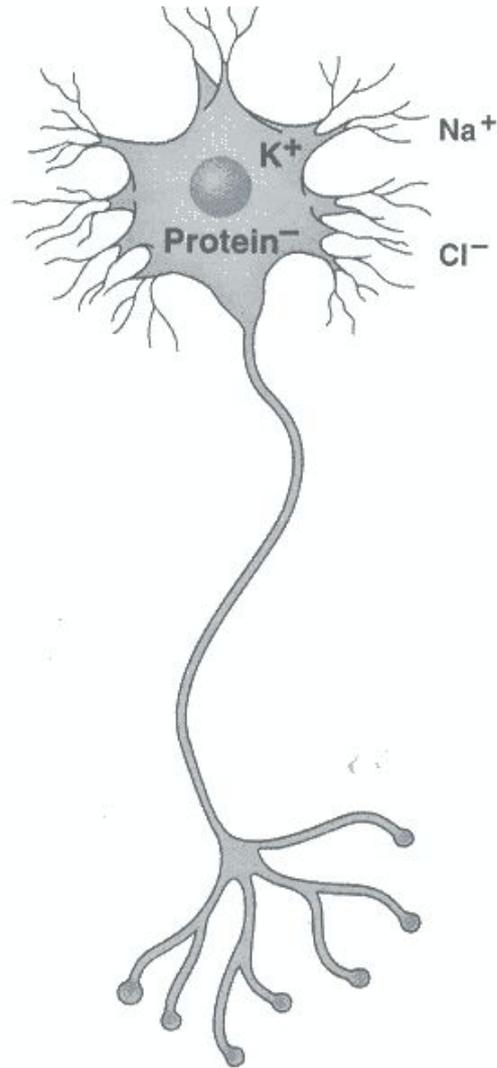


Биопотенциалы

Нейрофизиология

Лекция 2

Ионов калия больше в клетке, ионов натрия - снаружи



Разновидности клеточных белков

- **Структурные белки** – армируют мембрану
- **Белки-ферменты** – определяют скорость протекания химических реакций в клетке
- **Белки-рецепторы** – специфическим образом узнают и присоединяют к своей молекуле молекулы-регуляторы
- **Белки-каналы** – пассивный транспорт ионов через мембрану (по градиенту концентрации)
- **Белки-насосы** – активный транспорт ионов через мембрану (против градиента концентрации с затратой энергии АТФ)

Возбудимые ткани:

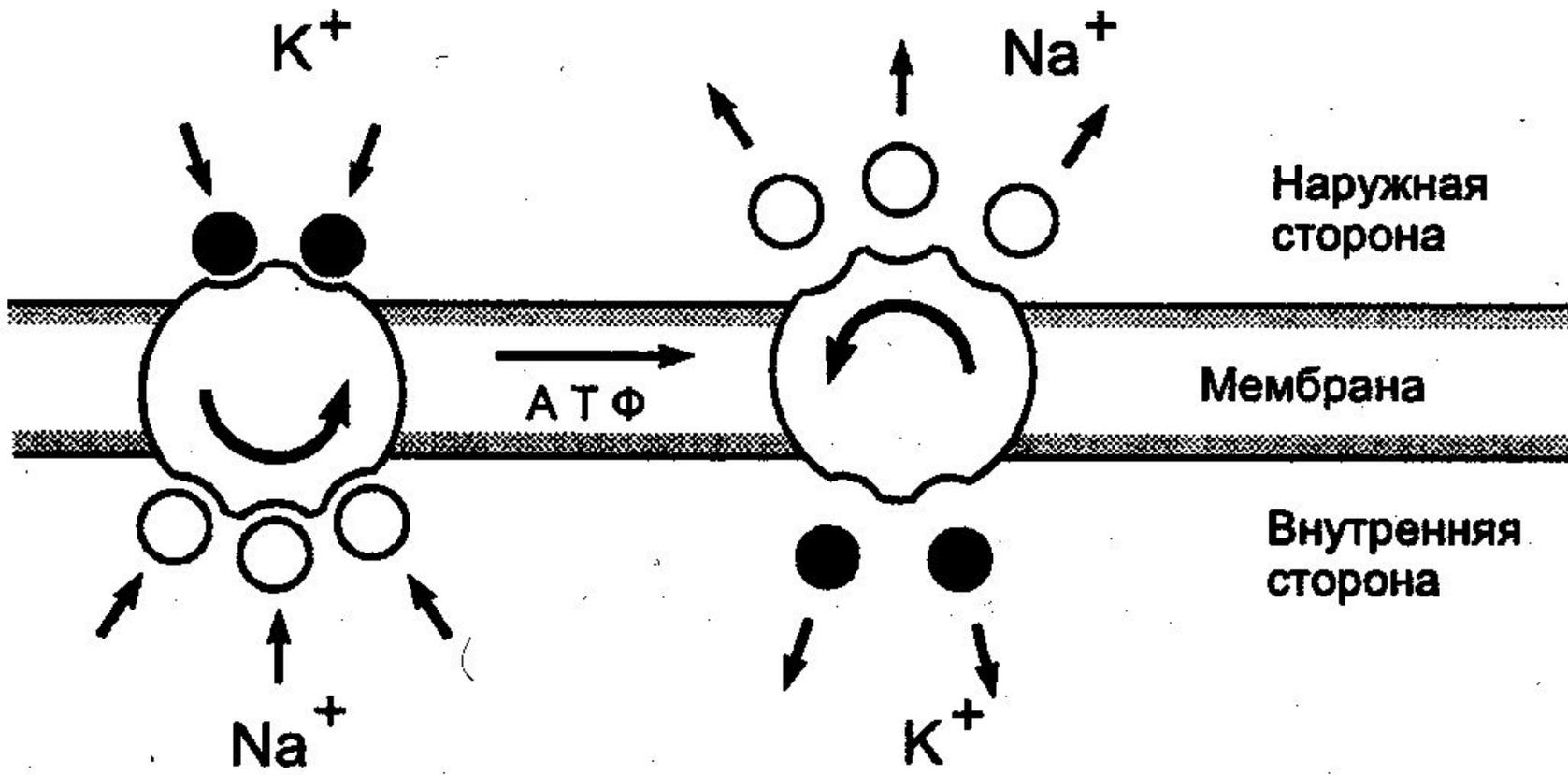
- 1. Нервная (специфические клетки – нейроны)**
- 2. Мышечная (миоциты)**
- 3. Железистая (секреторные клетки)**

*Природа (происхождение)
мембранного потенциала, МП
(или потенциал покоя, ПП)*

Структуры, поддерживающие гомеостаз нейрона:

- **Мембрана** – отделяет внутриклеточную среду от внеклеточной и разделяет клетку на функциональные отделы
- **Белки-каналы** – пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации
- **Белки-насосы** – активный транспорт ионов против градиента концентрации с затратой энергии АТФ

Схема работы натрий-калиевого насоса



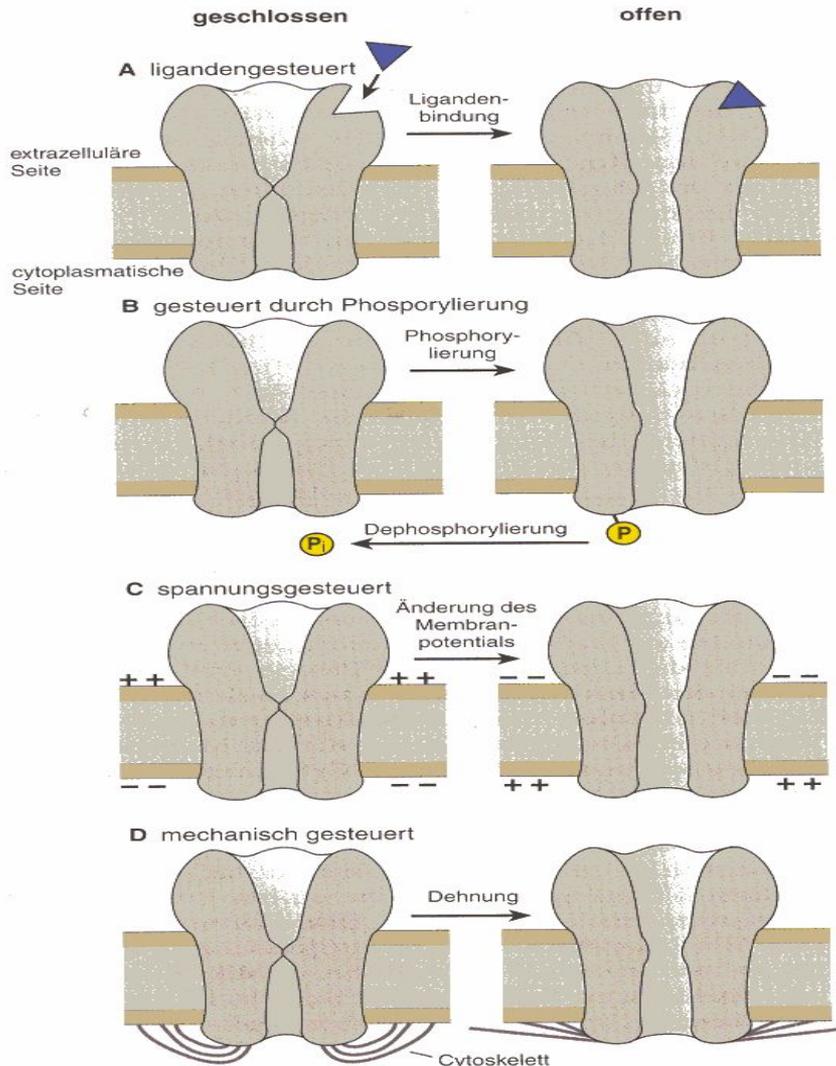
Результаты работы калий-натриевого насоса

- В каждом цикле работы насос удаляет из клетки один положительный заряд, т.е. является **электрогенным**.
- За 1 с насос выносит из клетки 200 ионов натрия и переносит в клетку 130 ионов калия; на 1 мкм^2 - 100-200 насосов.
- Вторично-активный (попутный) транспорт глюкозы и аминокислот (**симпорт и антипорт**).

Ионные каналы

- 1. Пассивные (для калия)
- 2. Управляемые:
 - **потенциалзависимые;**
 - **хемозависимые;**
 - **механические**

Разные способы активации (открытия) ионных каналов



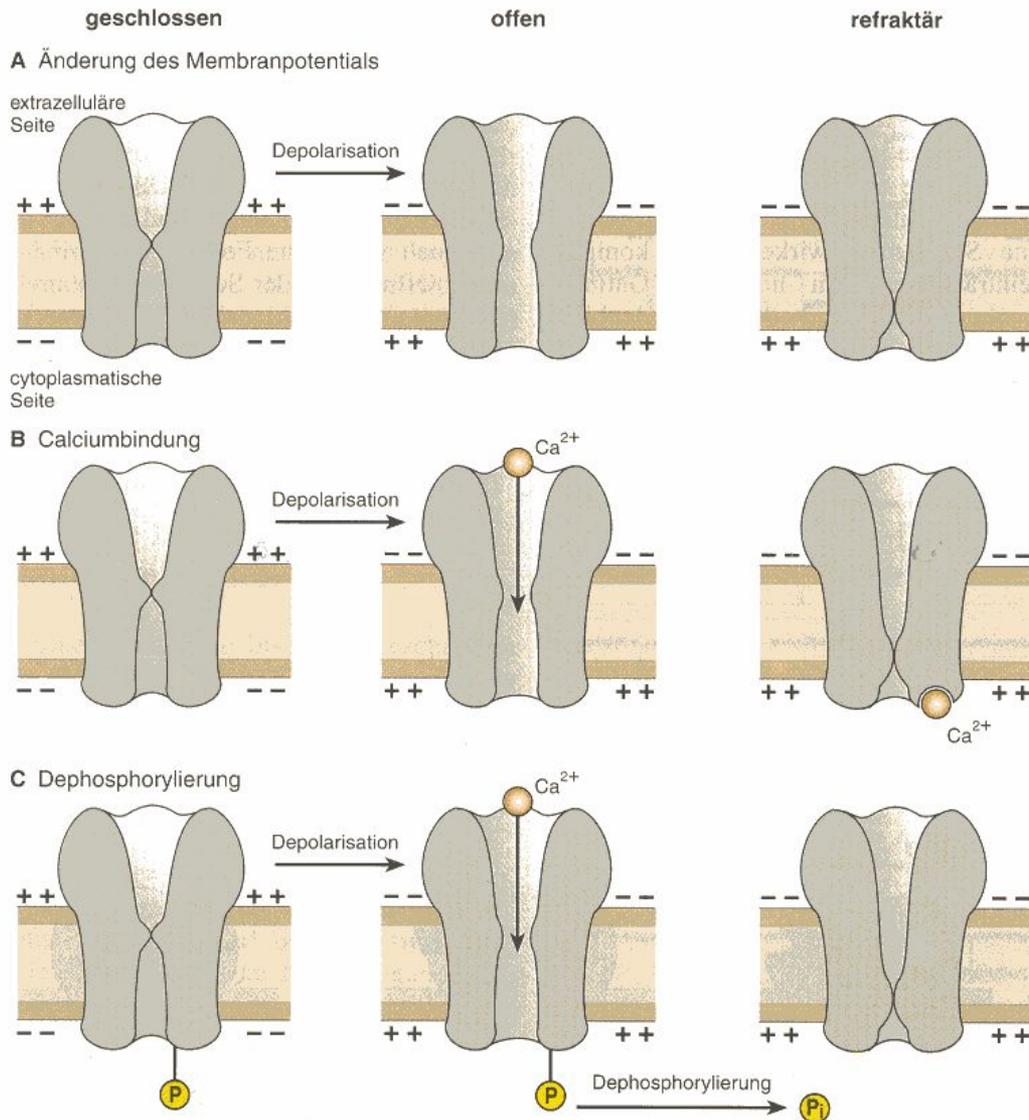
**Хемозависимый канал
(медиатор или посредник)**

**Хемозависимый канал
(фосфорилирование –
образование вторичного
посредника - цАМФ)**

**Потенциалзависимый
канал**

**Механически
управляемый канал**

Разные механизмы инактивации (закрытия) ионных каналов



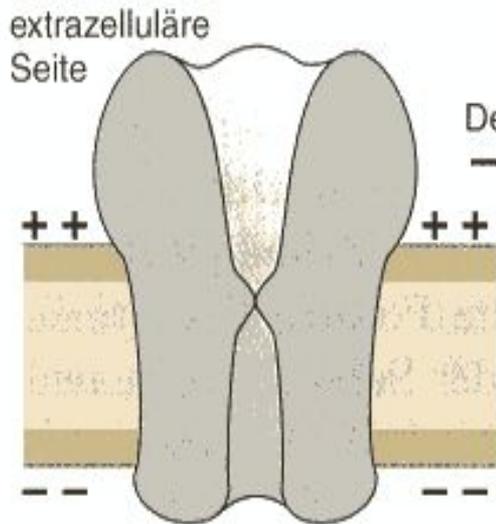
**Смена
мембранного
потенциала**

**Присоединение
иона Ca⁺⁺**

**Дефосфорилиро-
вание (отсоединение
цАМФ)**

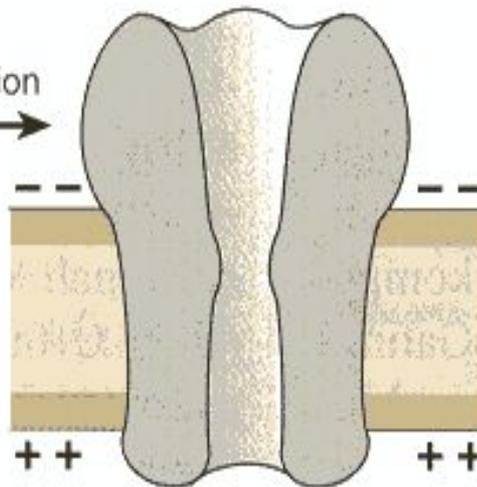
Закрытое, открытое и рефрактерное состояние канала

Канал
закрыт

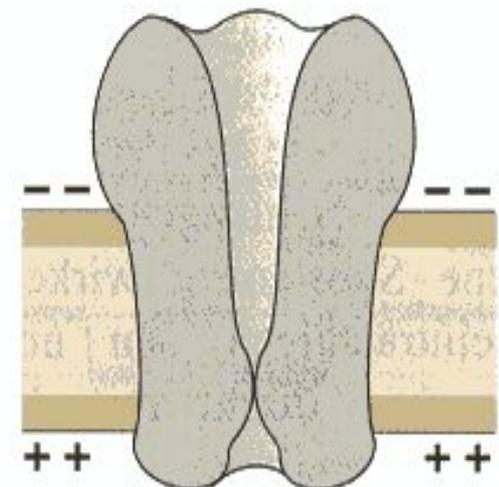


Depolarisation

Канал
открыт



Состояние
рефрактерности
канала



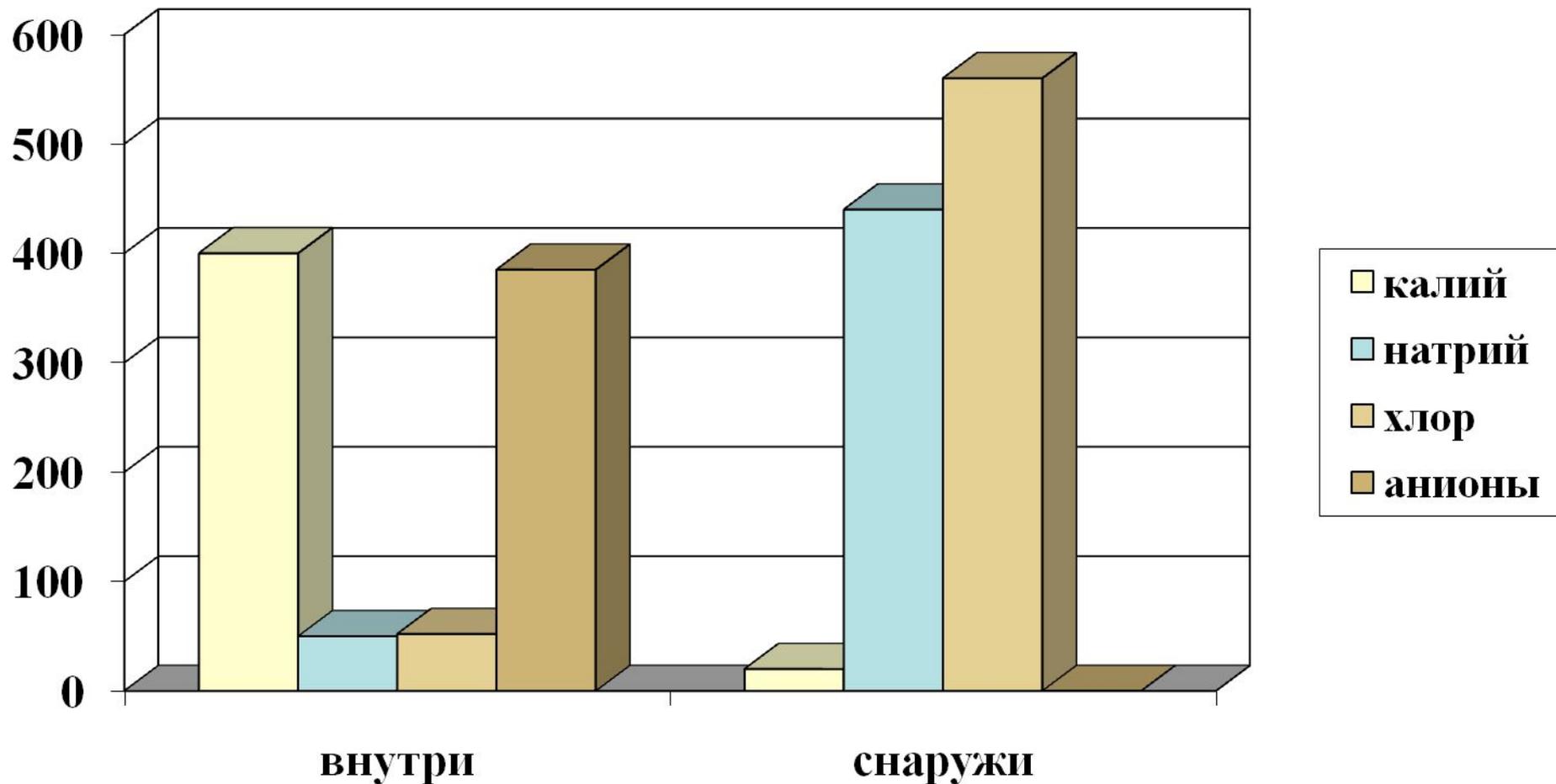
cytoplasmatische
Seite

Рефрактерность

- **Возникающее во время возбуждения и следующее за ним кратковременное состояние временной невозбудимости мембраны и инактивации натриевых каналов.**
- **В связи с этим возникновение нового потенциала невозможно или затруднено.**

*Мембранный потенциал (МП)
(или потенциал покоя, ПП)*

Распределение важнейших ионов внутри клетки и снаружи



Концентрационный градиент

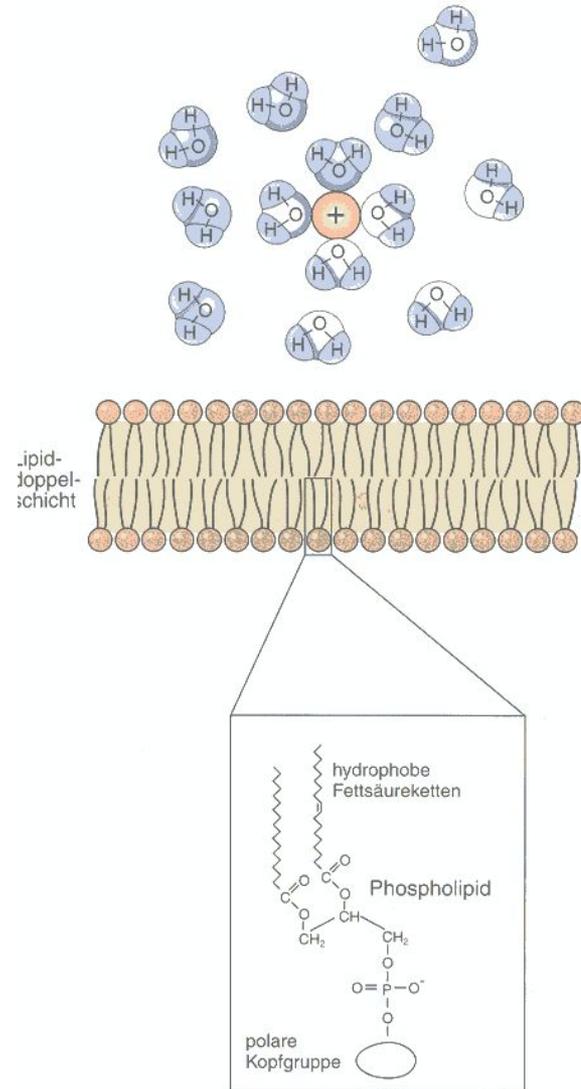
- **Различная концентрация ионов является движущей силой для их диффузии в область меньшей концентрации.**
- **Катионы калия диффундируют из клетки во внеклеточную жидкость (постоянно).**
- **Катионы натрия и хлора диффундируют из внеклеточной жидкости в клетку (в основном, при открытии каналов в момент возбуждения нейрона).**

Избирательная проницаемость клеточной мембраны

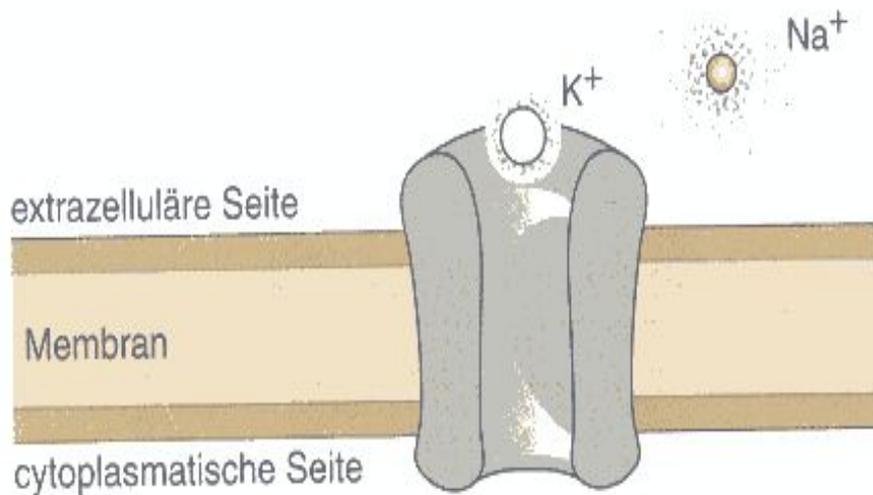
- В состоянии физиологического покоя клетки через её мембрану могут **легко** диффундировать **ионы калия**.
- В то же время для ионов **натрия и хлора** клеточная мембрана **непроницаема**.
- Различия объясняются строением **ионспецифических каналов** мембраны.

Для прохождения ионов через мембрану нужны каналы

- Ионы имеют электрический заряд, притягивающий молекулы воды, которые ведут себя как диполи. Водная оболочка мешает пройти ионам через билипидный слой мембраны.

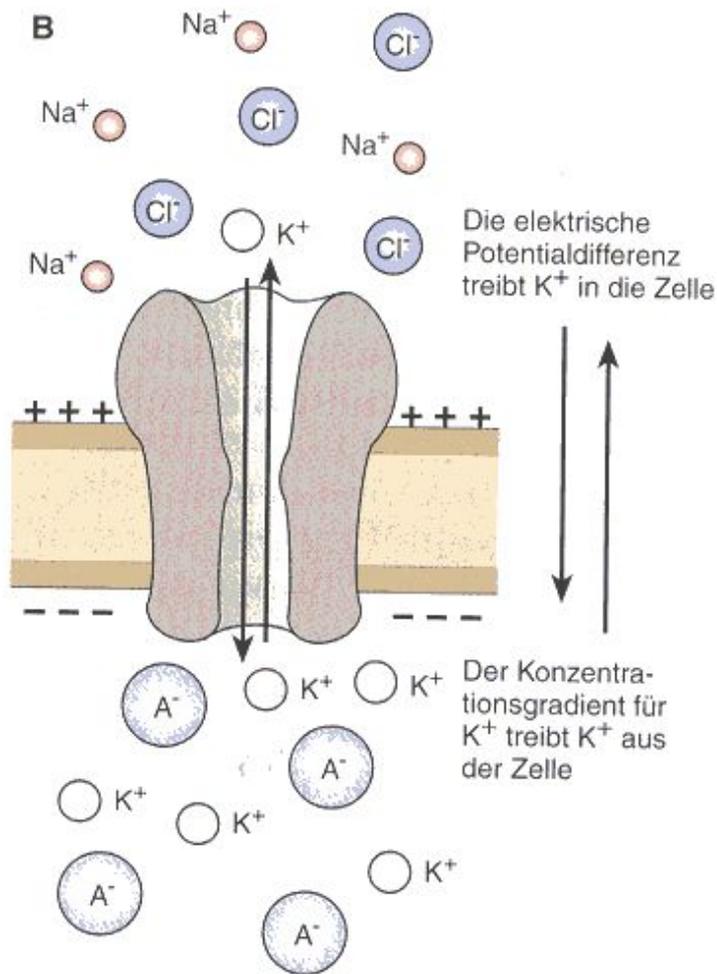


Ионы калия проходят через открытые пассивные каналы



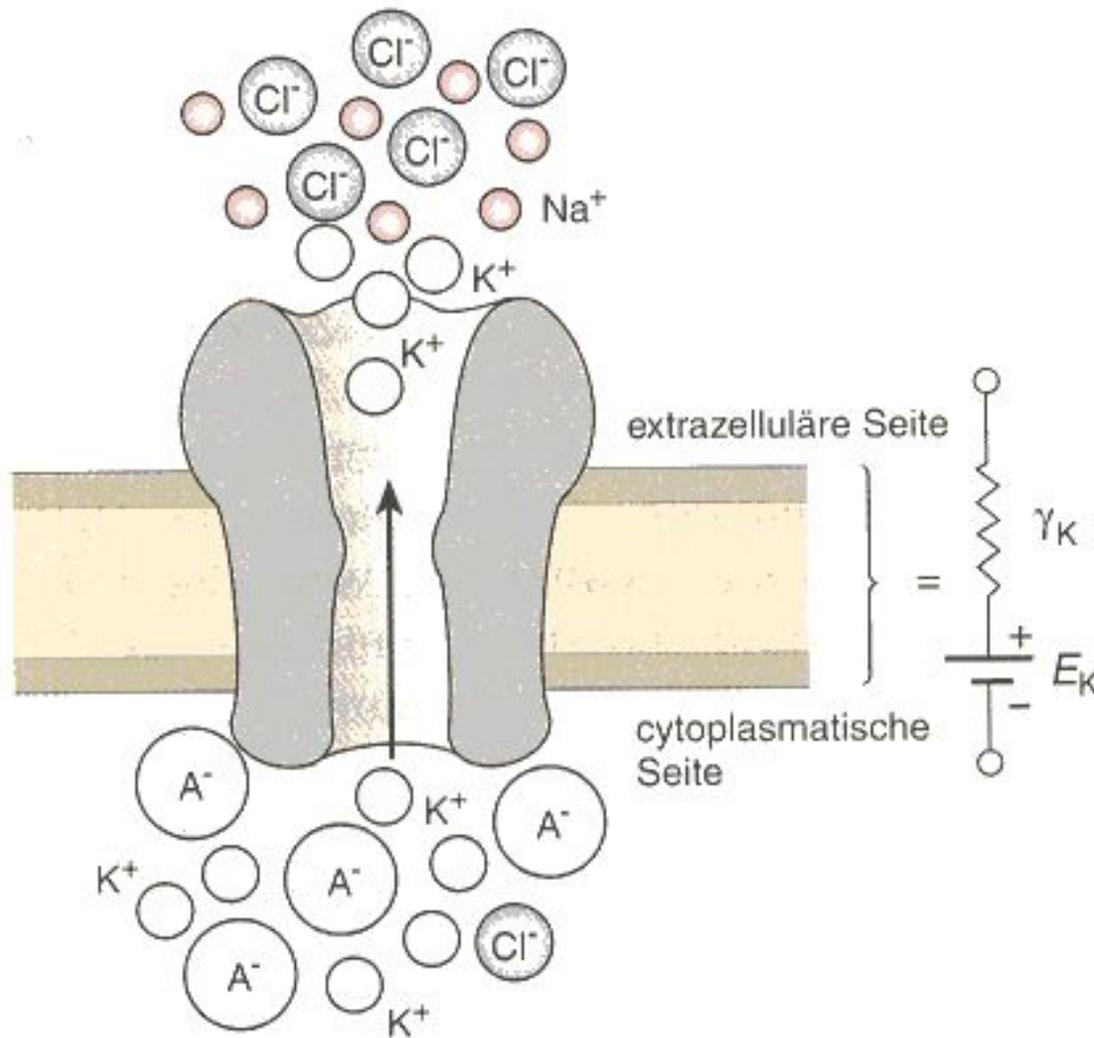
- В состоянии покоя мембраны всегда открыты каналы, через которые могут пройти **только ионы калия.** У ионов натрия гидратная оболочка толще, и они не могут пройти через эти каналы.

Клеточная мембрана поляризована



- **Снаружи**
распределяются
положительные
заряды выходящих
катионов калия, а
изнутри -
отрицательные
заряды органических
анионов.

Электрическое поле между внутренней и наружной поверхностями мембраны



Равновесный потенциал

Направление тока ионов определяют два обстоятельства:

- Концентрационный градиент
- и
- Электрическое поле

- Уравнение Нернста:

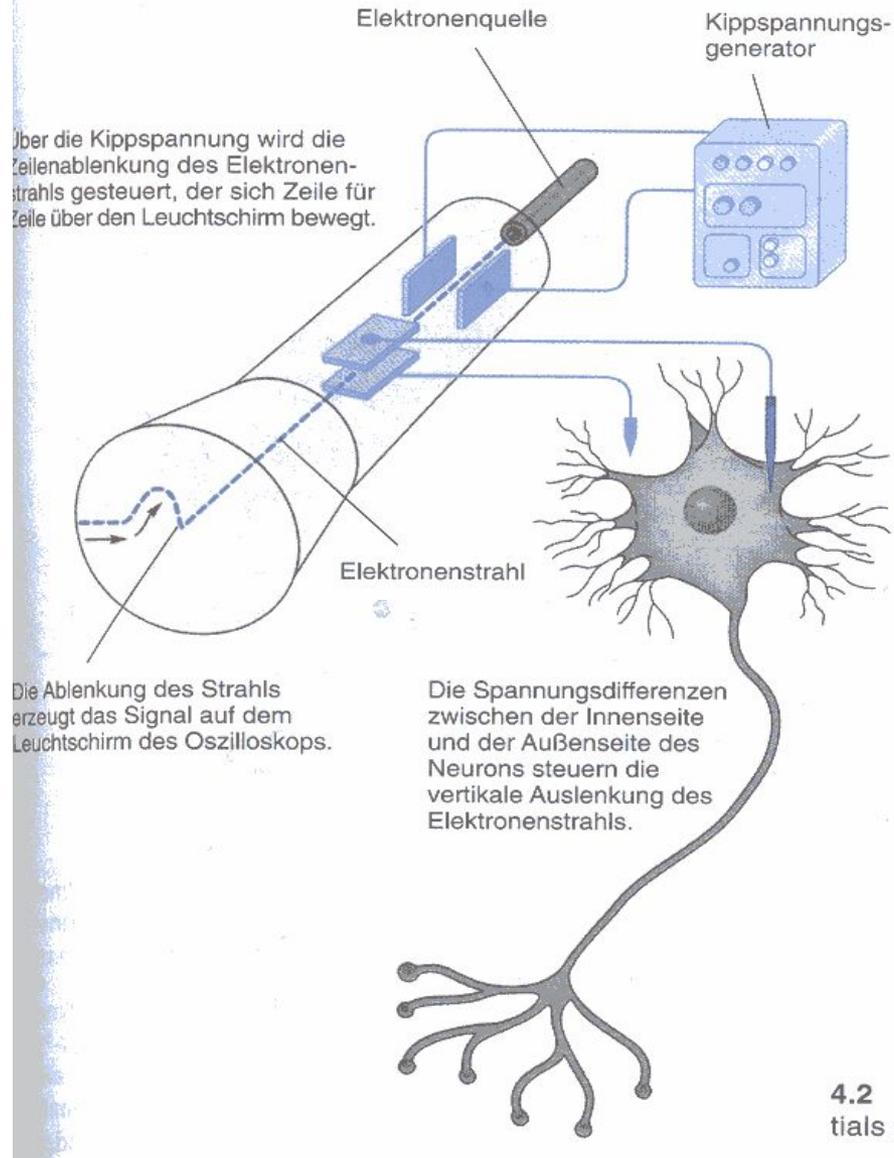
$$E_{\text{калия}} = \frac{R \times T}{z \times F} \ln \frac{[K]_a}{[K]_i},$$

Способы регистрации биопотенциалов:

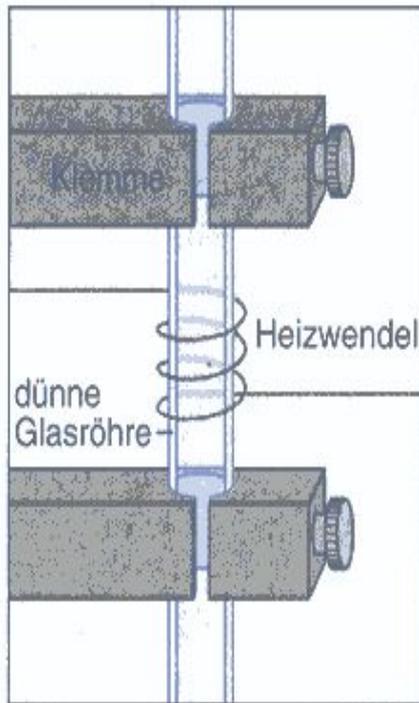
- Внутриклеточная
 - Внеклеточная с наложением активного электрода на поверхность нейрона
 - Внеклеточная с транскраниальным отведением (ЭЭГ)

*Внутриклеточная
регистрация
мембранного
потенциала*

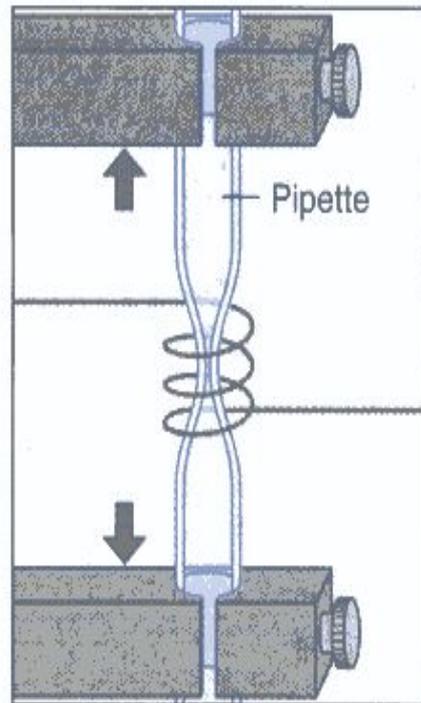
Мембранный потенциал покоя



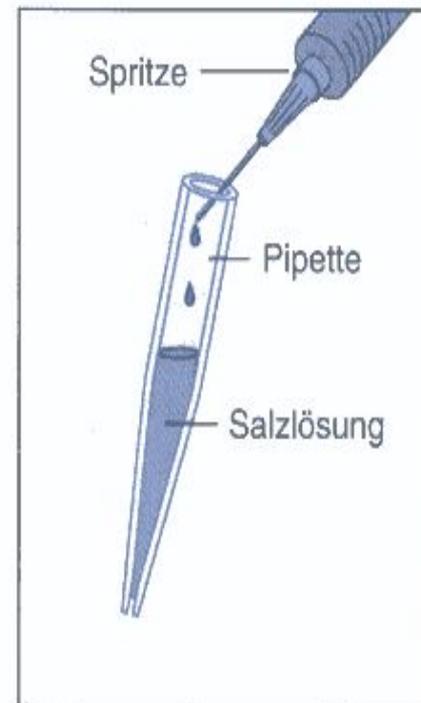
Микроэлектроды



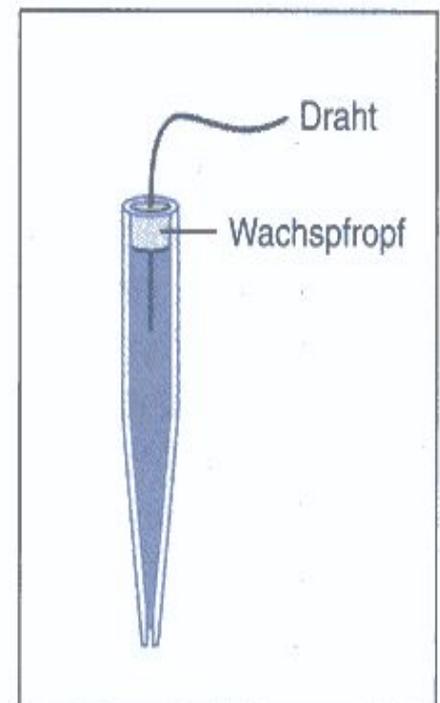
a) Erhitzen der dünnen Glasröhre



b) Ziehen der Elektrode



c) Füllen mit Salzlösung

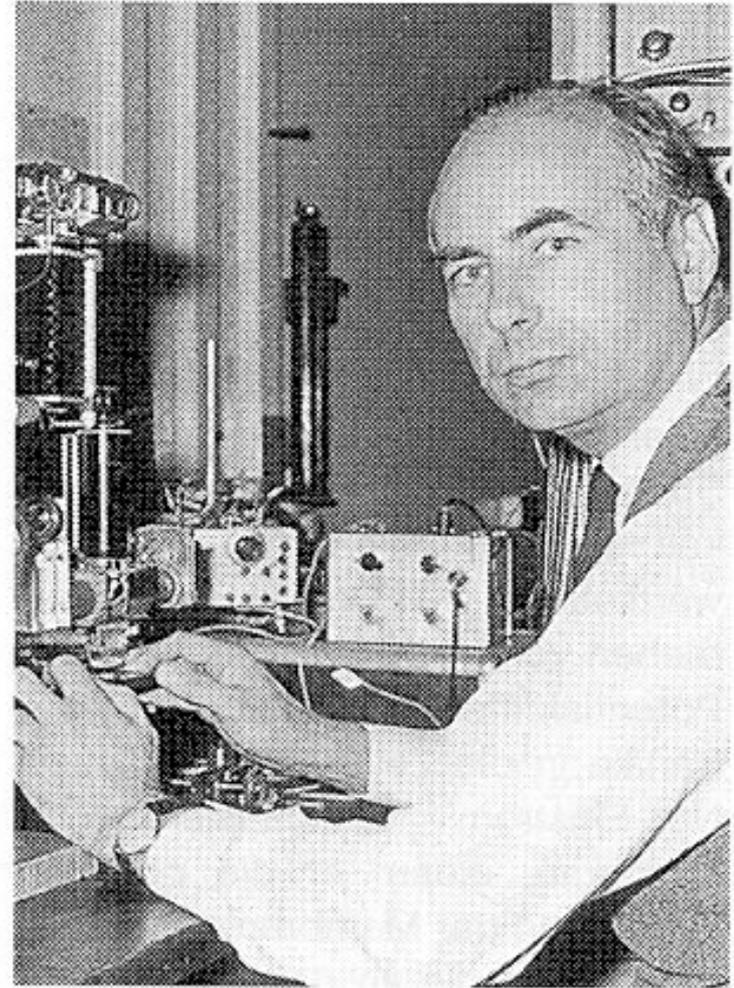


d) Einführen des Drahtes und Versiegelung der Öffnung

Alan Hodgkin & Andrew Huxley - создатели ионной теории БП

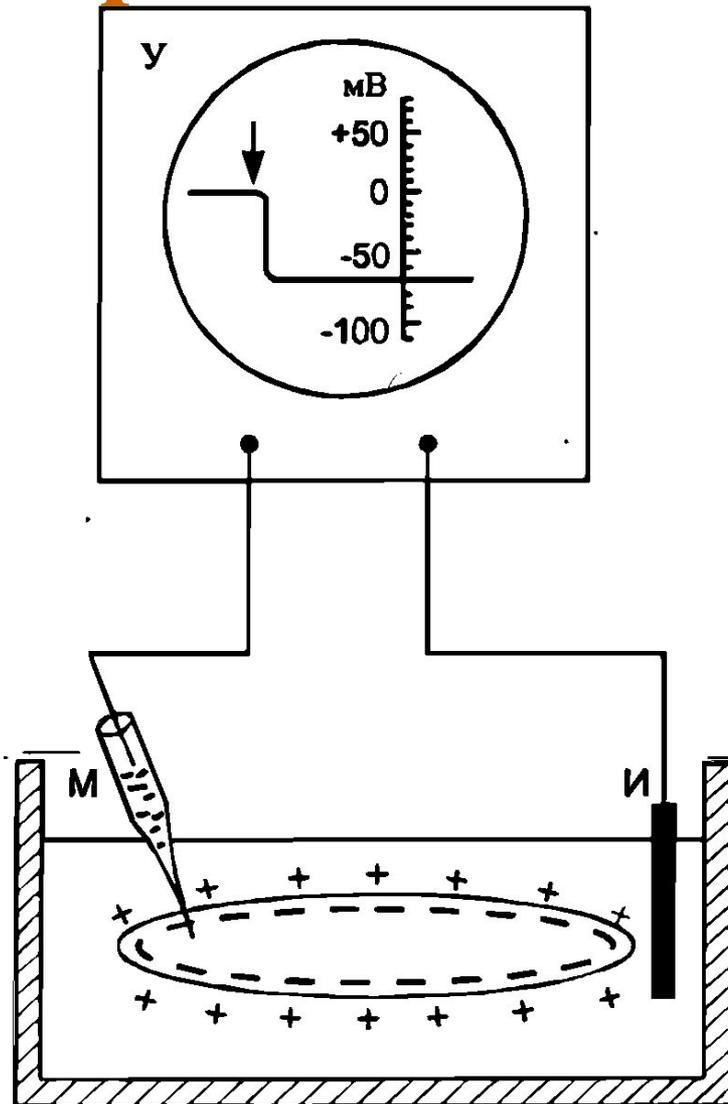


A.L. Hodgkin



A.F. Huxley

Схема внутриклеточной регистрации потенциала покоя



Потенциал действия (ПД)
или
Нервный импульс

Проницаемость мембраны в покое и при возбуждении

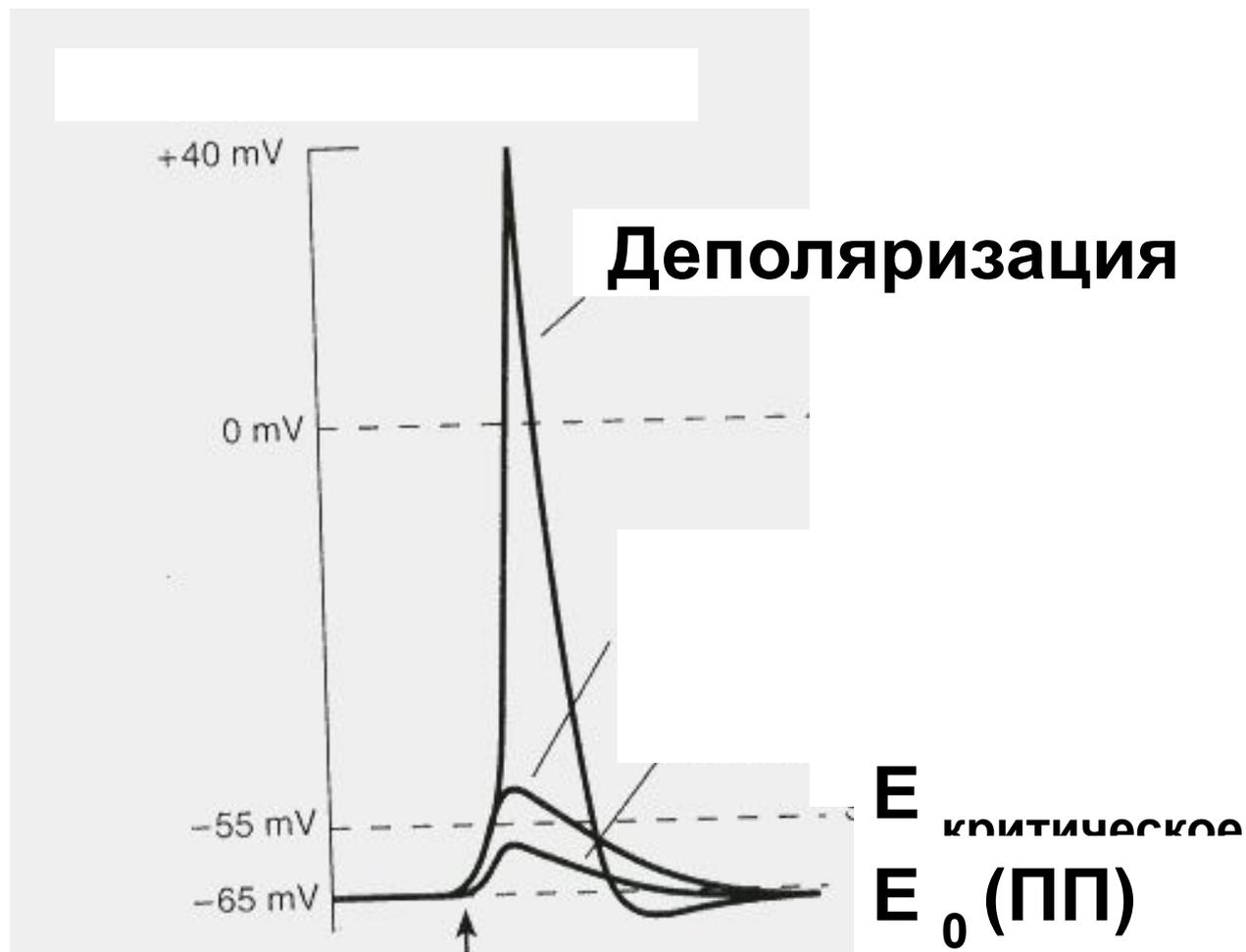
В покое:

- Калий - 1
- Натрий - 0,04
- Хлор - 0,45

При возбуждении:

- Калий - 1
- Натрий - 20
- Хлор - 0,45

Схема внутриклеточной регистрации потенциала действия



Саморегенерирующая деполяризация – механизм быстрой деполяризации мембраны при формировании ПД

Деполяризация



Ток натрия в клетку

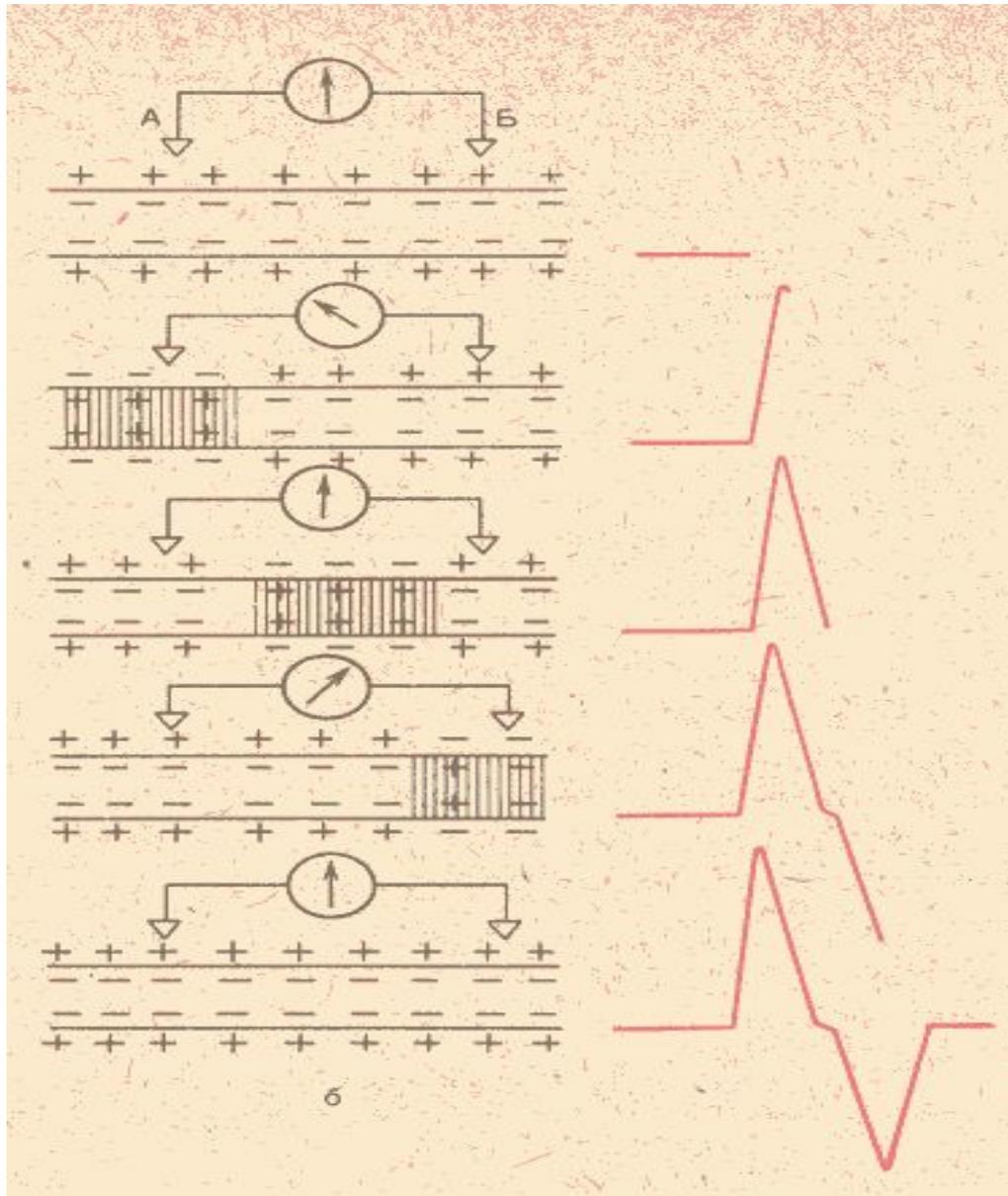


Открытие натриевых каналов

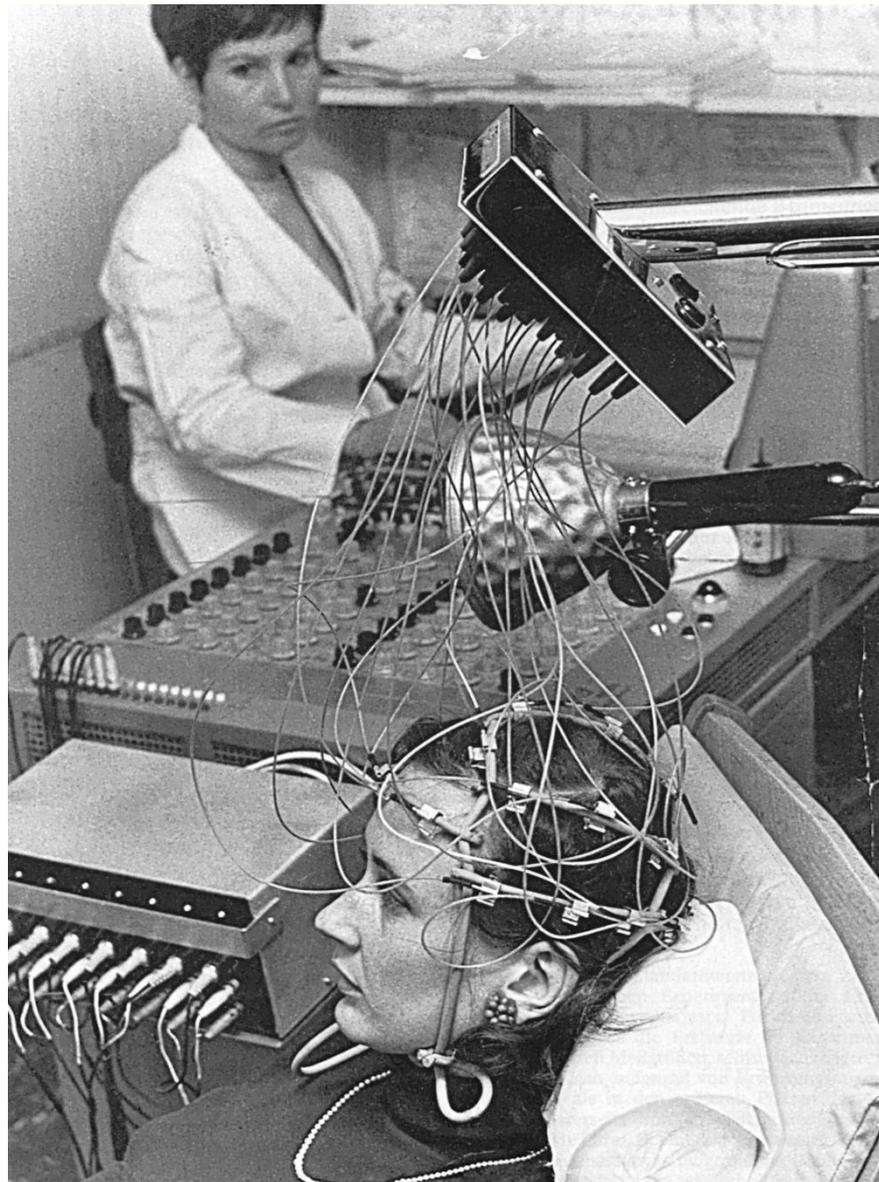
- Чем больше натрия входит в клетку и чем больше сдвиг мембранного потенциала, тем больше открывается каналов для натрия.

*Внеклеточная
регистрация
потенциала действия
(ПД)*

Внеклеточная регистрация ПД

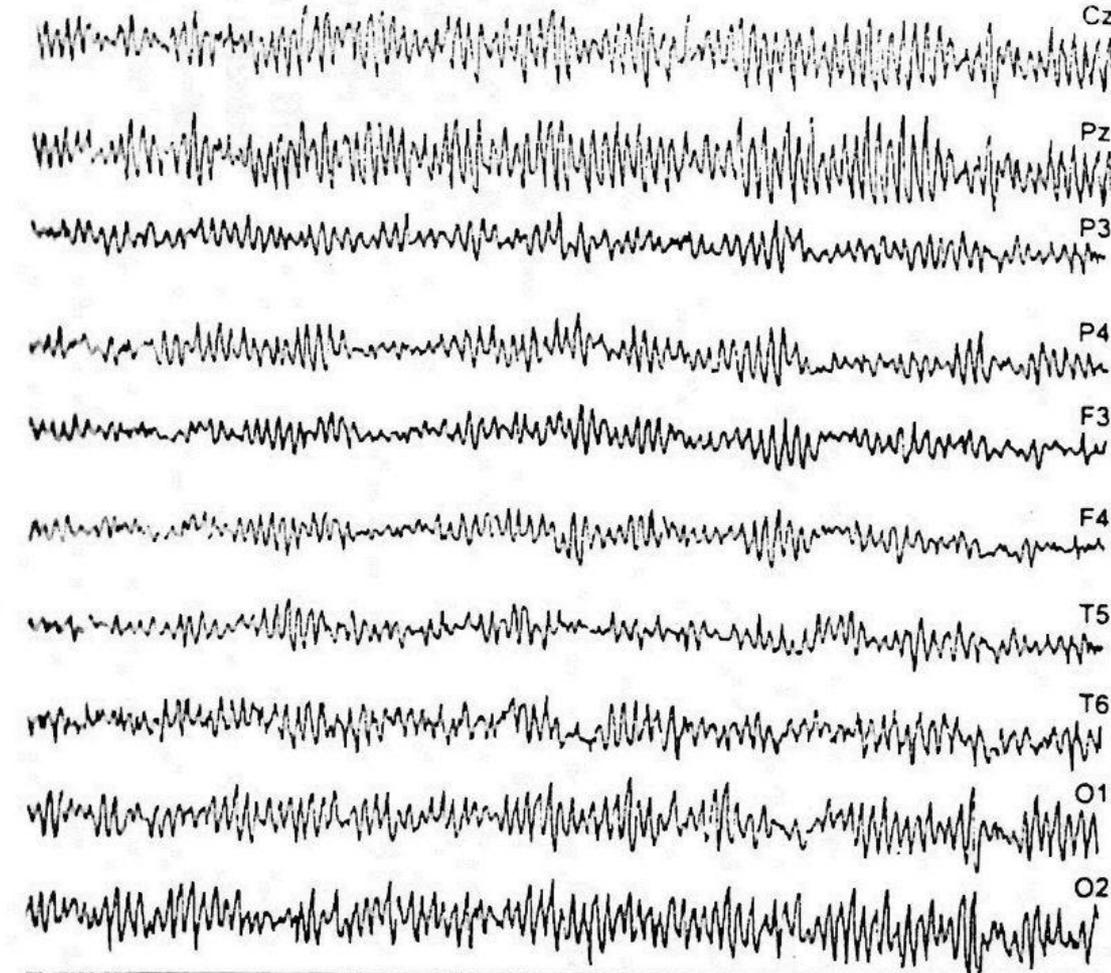


Электрoэнцефaлогрaфия (ЭЭГ)



Анализ ЭЭГ

Карта содержит 16 электродов из системы 10-20

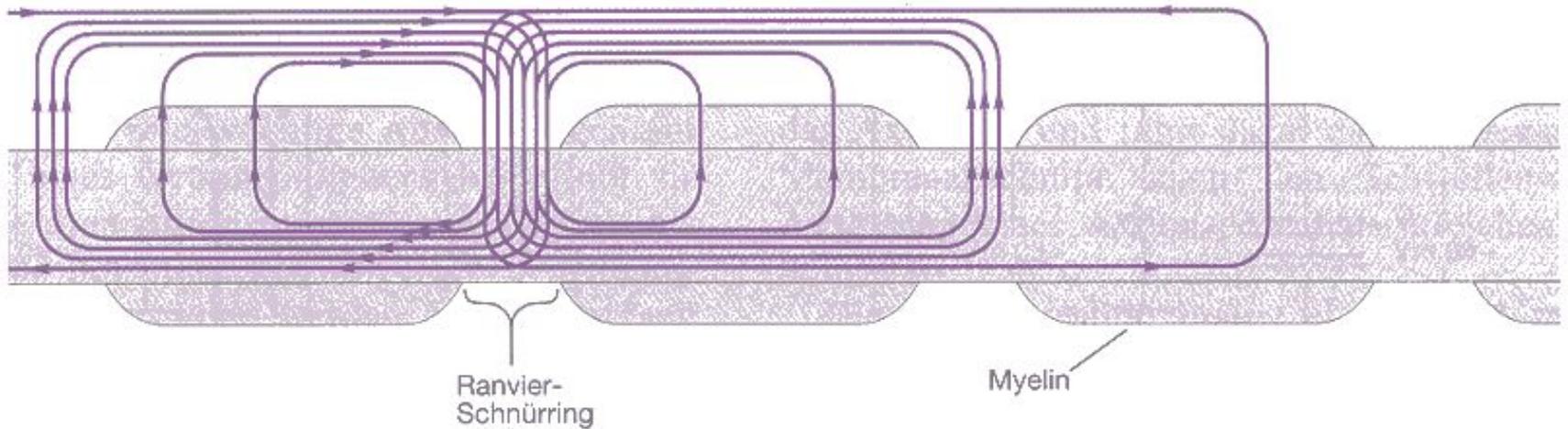


МБН
ЭЭГ
V= -5,79 мкВ T= 16,47 сек 16,47 от ▼ нет маркера marker 1
Ч. эпох: 20 Эпоха № 20 Рэм. эпохи 2,5 сек
Чувс. 30 мкВ Част. 100,0 Гц Зап. 56,57 сек Файл BUS-0 Вывод BUS-0

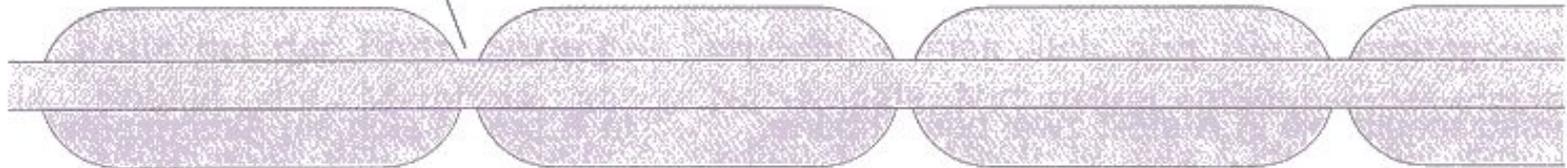
▲ ▼ Выбр | ◀ ▶ Курс | + - Масш | □ Эпоха | S Перкл | F2 Сжат | -ЕэпохВыб | -Иредт | Vтип | F10Меню | EscВыхд

ПД возникают в перехватах Ранвье

A



B

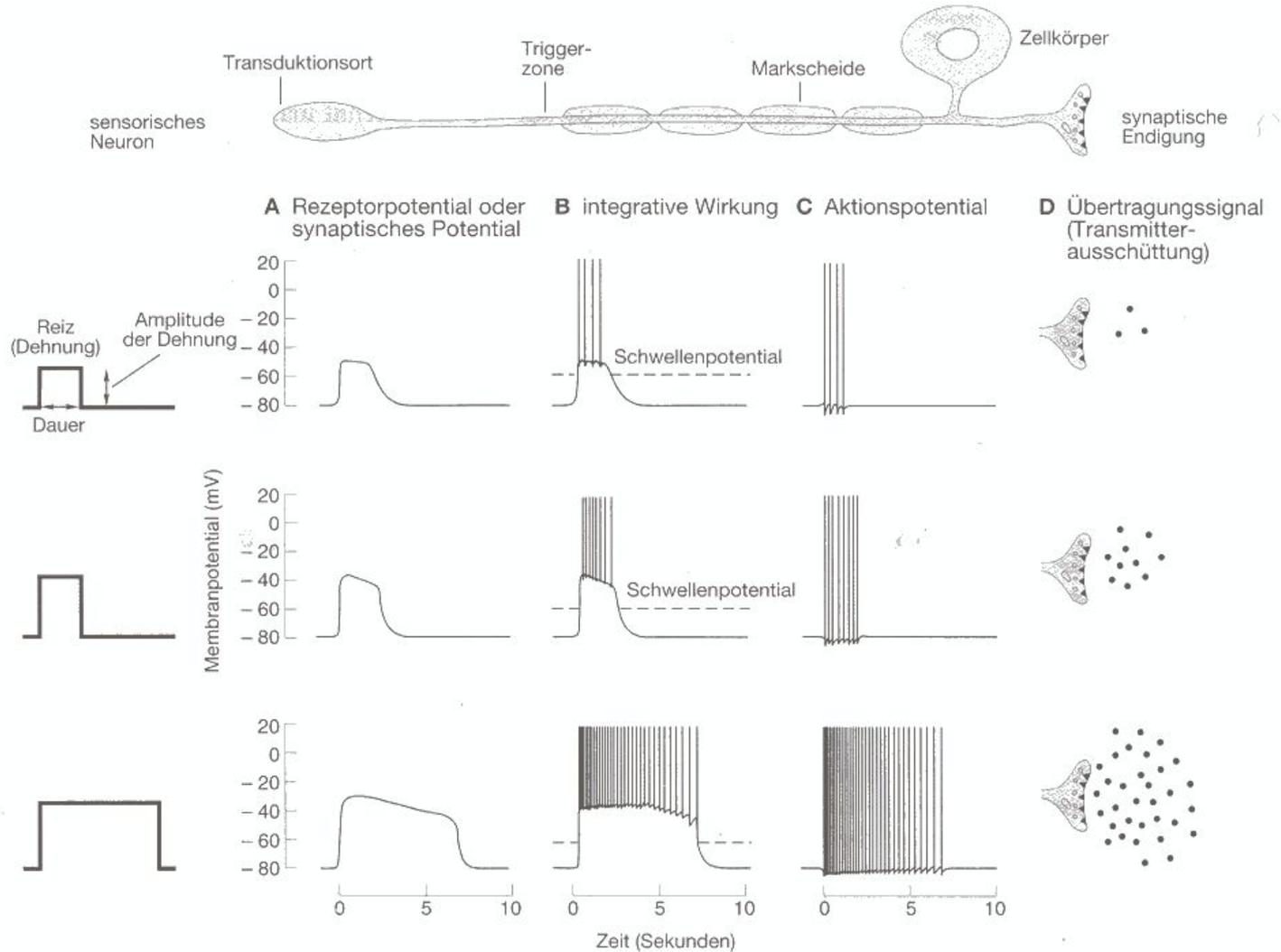


*Биопотенциалы – универсальный
механизм кодирования и
переработки информации в ЦНС*

Различают четыре вида электрических сигналов

- 1. Входные сигналы: рецепторный потенциал и постсинаптический потенциал (в локальной рецептивной зоне).**
- 2. Объединённый сигнал или потенциал действия (в интегративной зоне – аксональном холмике).**
- 3. Проводящийся сигнал (в аксоне).**
- 4. Выходной сигнал (в окончании нейрона вызывает экзоцитоз).**

Каждый электрический сигнал соответствует определённой функциональной области нейрона



Сравнительная характеристика входных сигналов и ПД

Входные сигналы:

- Локальные
- Градуальные

- Амплитуда 0,1-10 мВ
- Пассивные
- Деполяризация или гиперполяризация

ПД:

- Проводящийся
- «Всё или ничего»
(отсюда генерация одинаковых ПД в каждом сегменте аксона)
- Амплитуда 70-110 мВ
- Активный
- Только деполяризация
(вхождение ионов натрия)

*Способы кодирования
информации в ЦНС
отдельными нейронами*

ПД идентичны, поэтому информация кодируется нейронами не видом передаваемых ПД, а:

- **Частотой ПД (импульсов)**
- **Количеством импульсов**
- **«Рисунком» импульсов**