



# Лекция № 3



**Мембранный потенциал, потенциал действия, ионные механизмы возникновения**

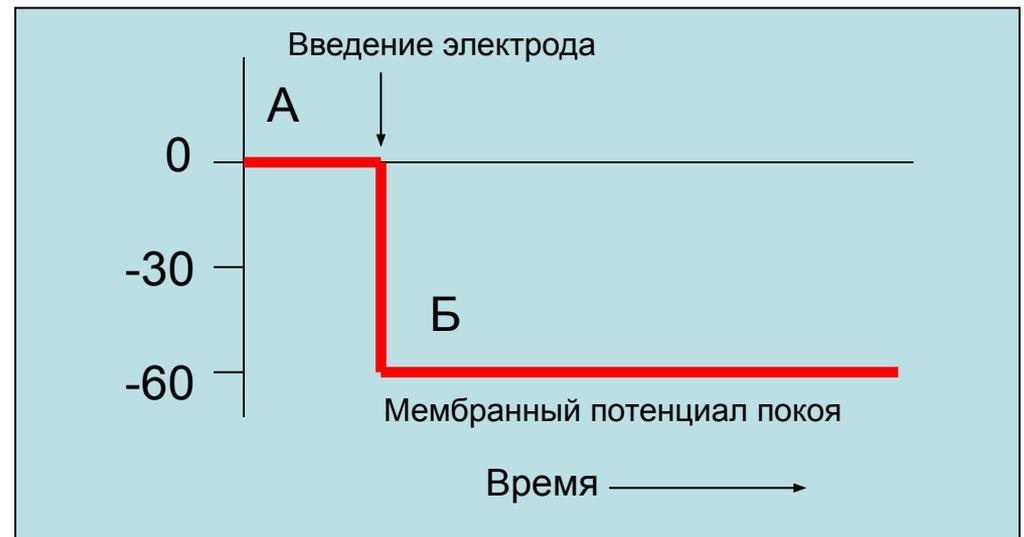
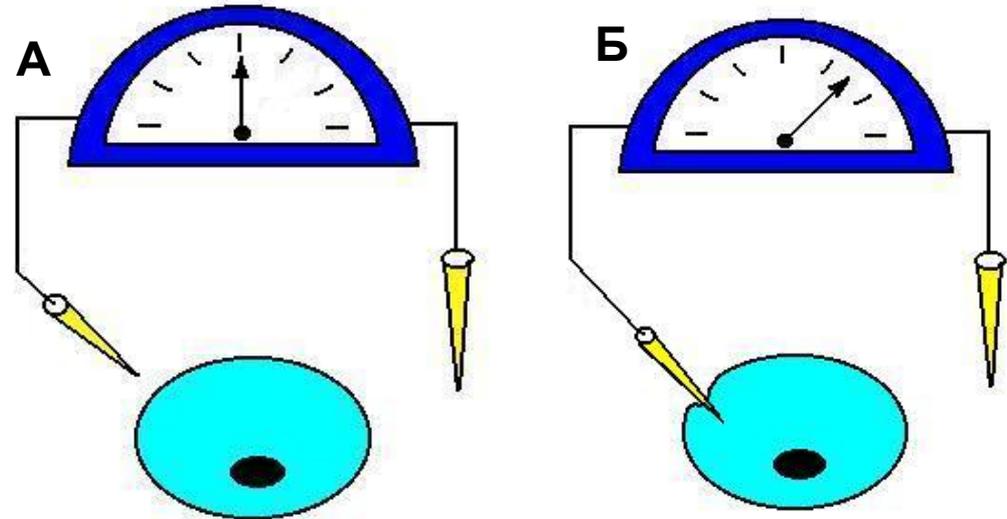
# Мембранный потенциал покоя

Разность электрических потенциалов на мембране клетки, возникающая в покое

# Регистрация мембранного потенциала покоя

Внутриклеточная микроэлектродная регистрация

- Величина МПП в возбудимых клетках – от -60 до -90мВ



# Факторы, обеспечивающие возникновение МП

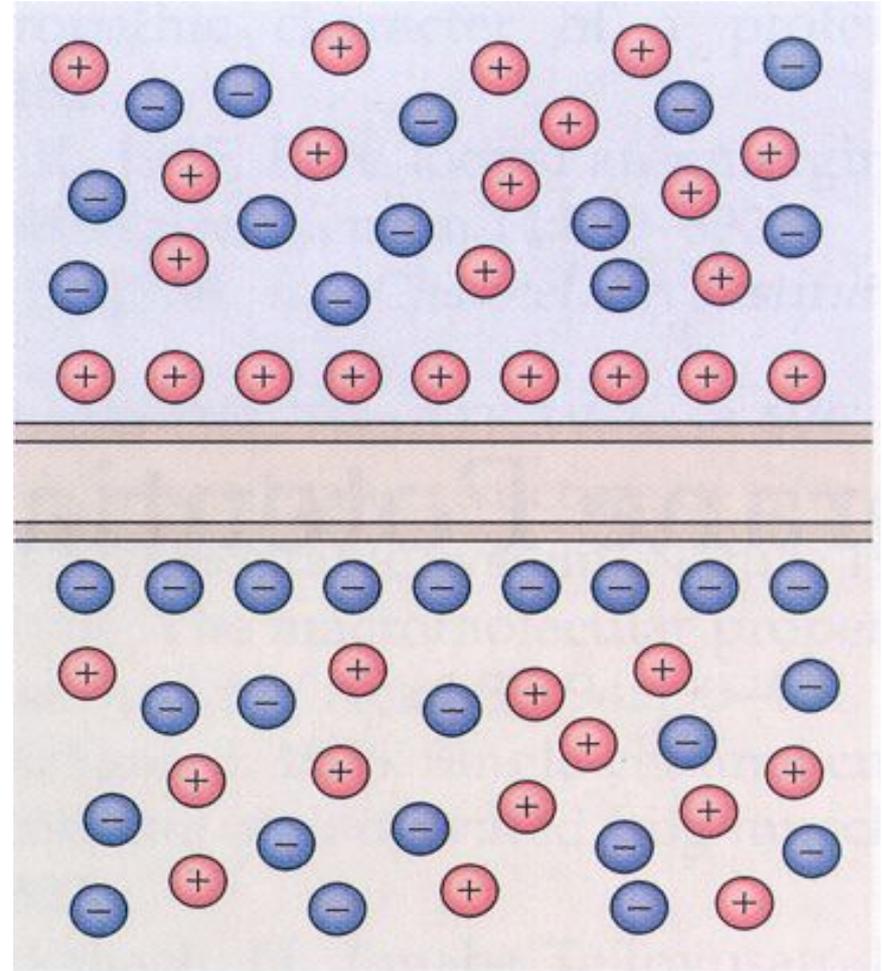
- 1. Неодинаковая концентрация потенциалобразующих ионов внутри и вне клетки
- 2. Неодинаковая проницаемость клеточной мембраны для различных ионов
- 3. Электрогенный вклад  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  насоса

# Мембранный потенциал покоя является результатом разделения зарядов относительно клеточной мембраны

- В покое снаружи мембраны преобладают положительные заряды, а внутри – отрицательные. Такое разделение зарядов сохраняется благодаря тому, что билипидный слой мембраны препятствует диффузии ионов. Разделение зарядов приводит к возникновению разности электрических потенциалов или напряжению на мембране. **Мембранный потенциал покоя** (МПП) можно определить как
- $V_m = V_{in} - V_{out}$ ,
- где  $V_{in}$  - потенциал внутри клетки,  $V_{out}$  - - снаружи. Поскольку потенциал снаружи клетки можно принять за ноль, то МПП равен  $V_{in}$ .

**Юлиус Бернштейн (1839-1917)**

**Мембранно-ионная теория МПП**

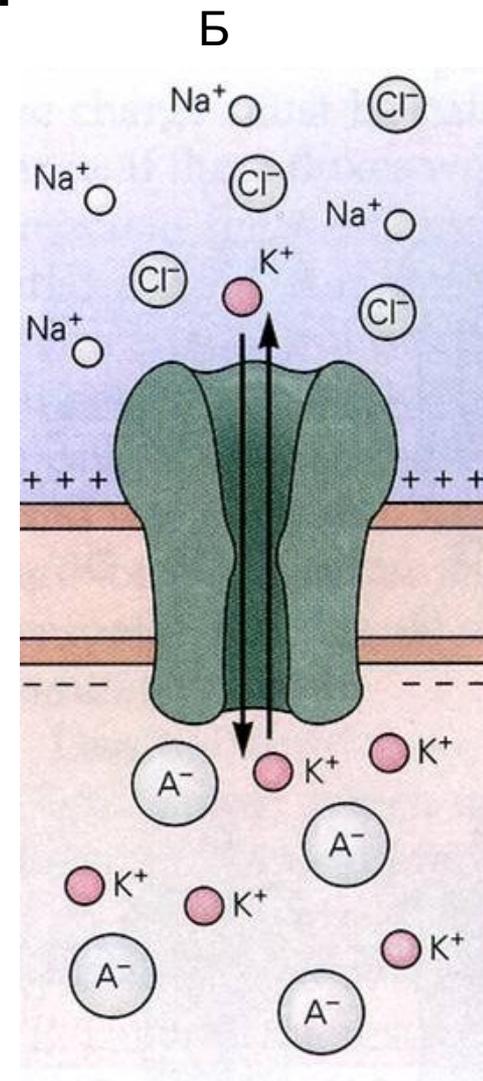
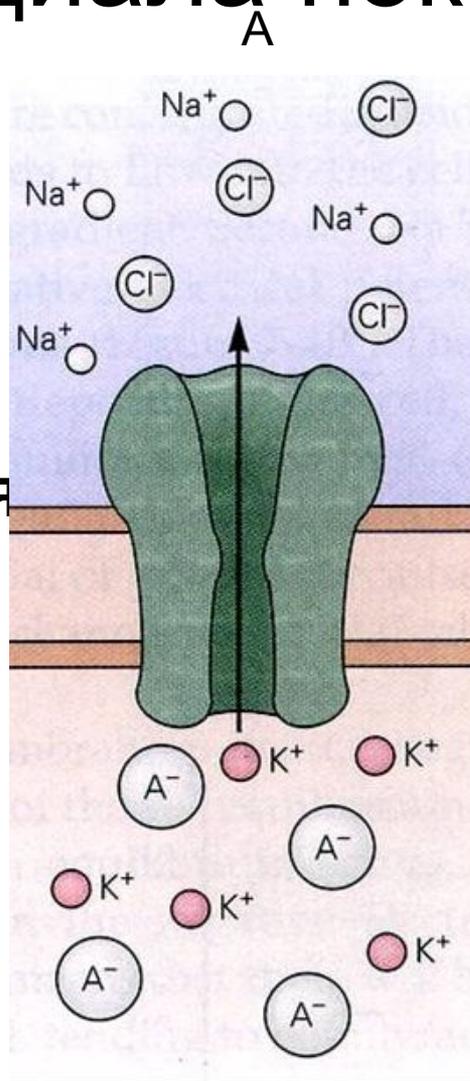


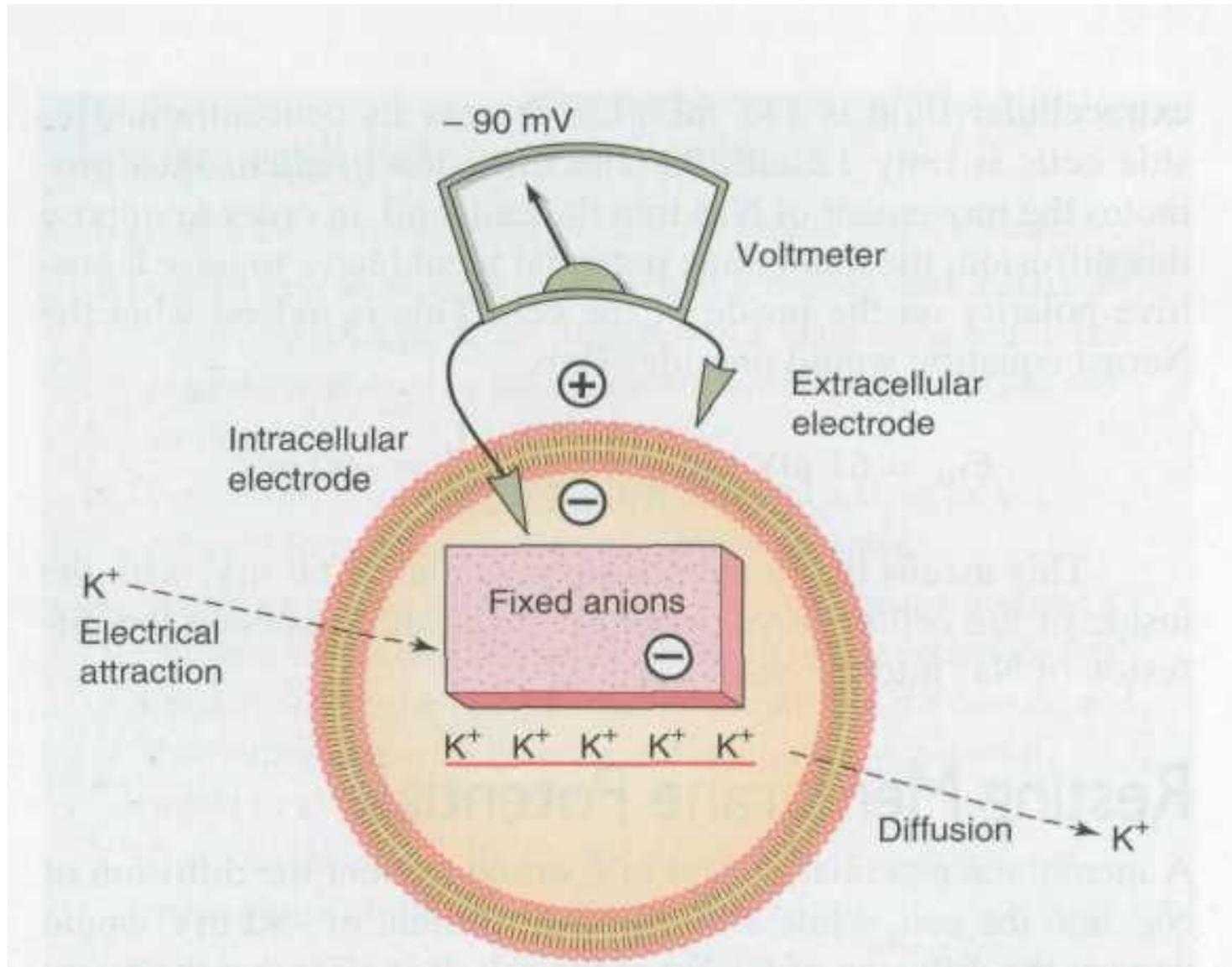
**Разделение зарядов относительно клеточной мембраны при формировании мембранного потенциала покоя связано с движением ионов по концентрационному градиенту через каналы, открытые в покое.**

**Генерация мембранного потенциала покоя - пассивный процесс, который не требует затраты энергии. Однако энергия необходима для установления первоначального концентрационного градиента, а также для его поддержания в процессе активности клетки.**

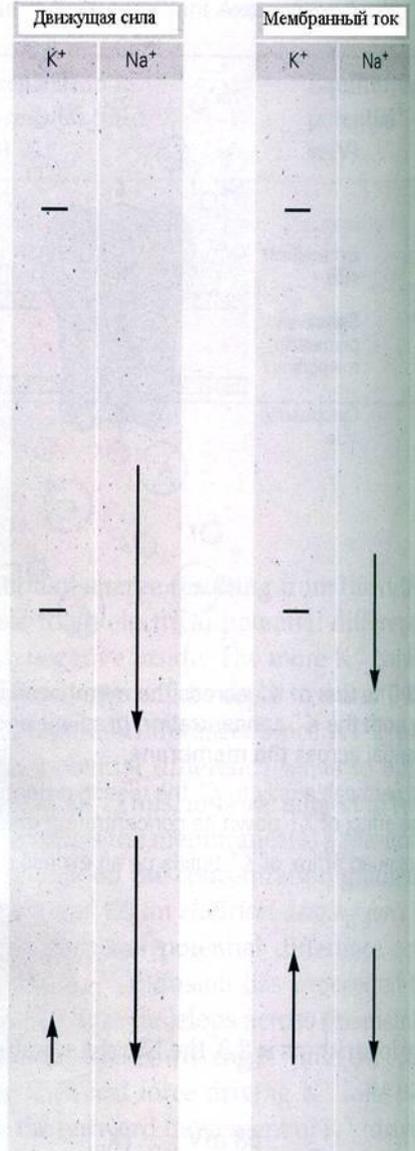
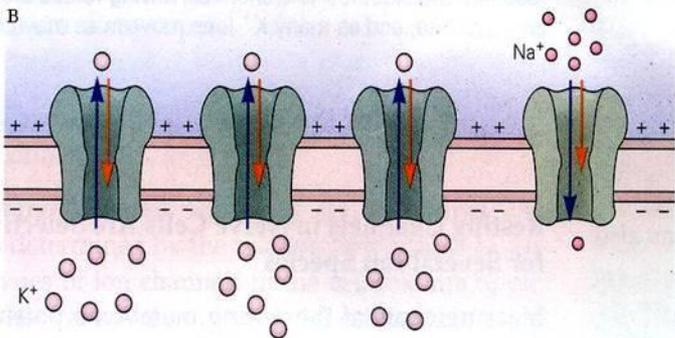
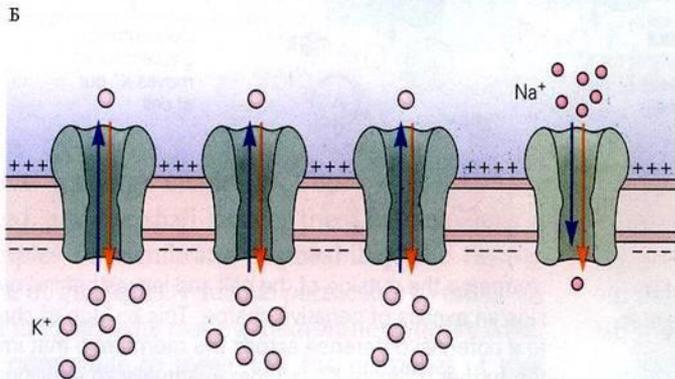
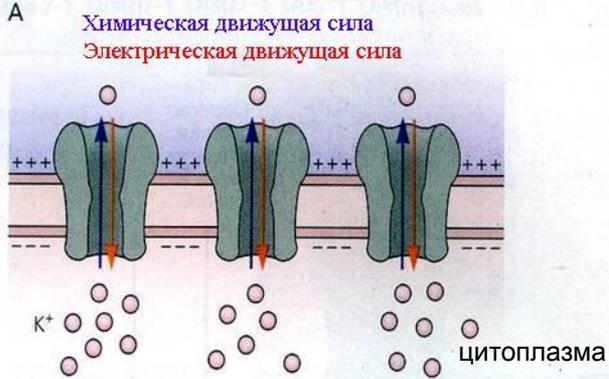
# Формирование мембранного потенциала покоя

- В покое мембрана имеет наиболее значительную проницаемость для **ионов калия**





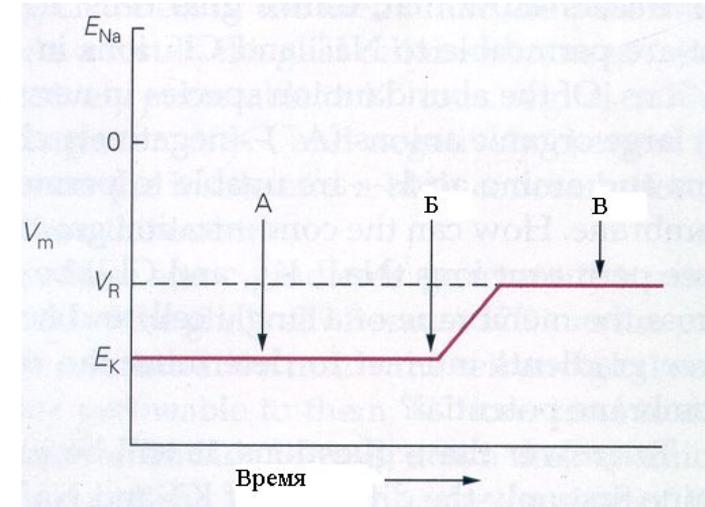
# Мембранный потенциал покоя в нервных клетках

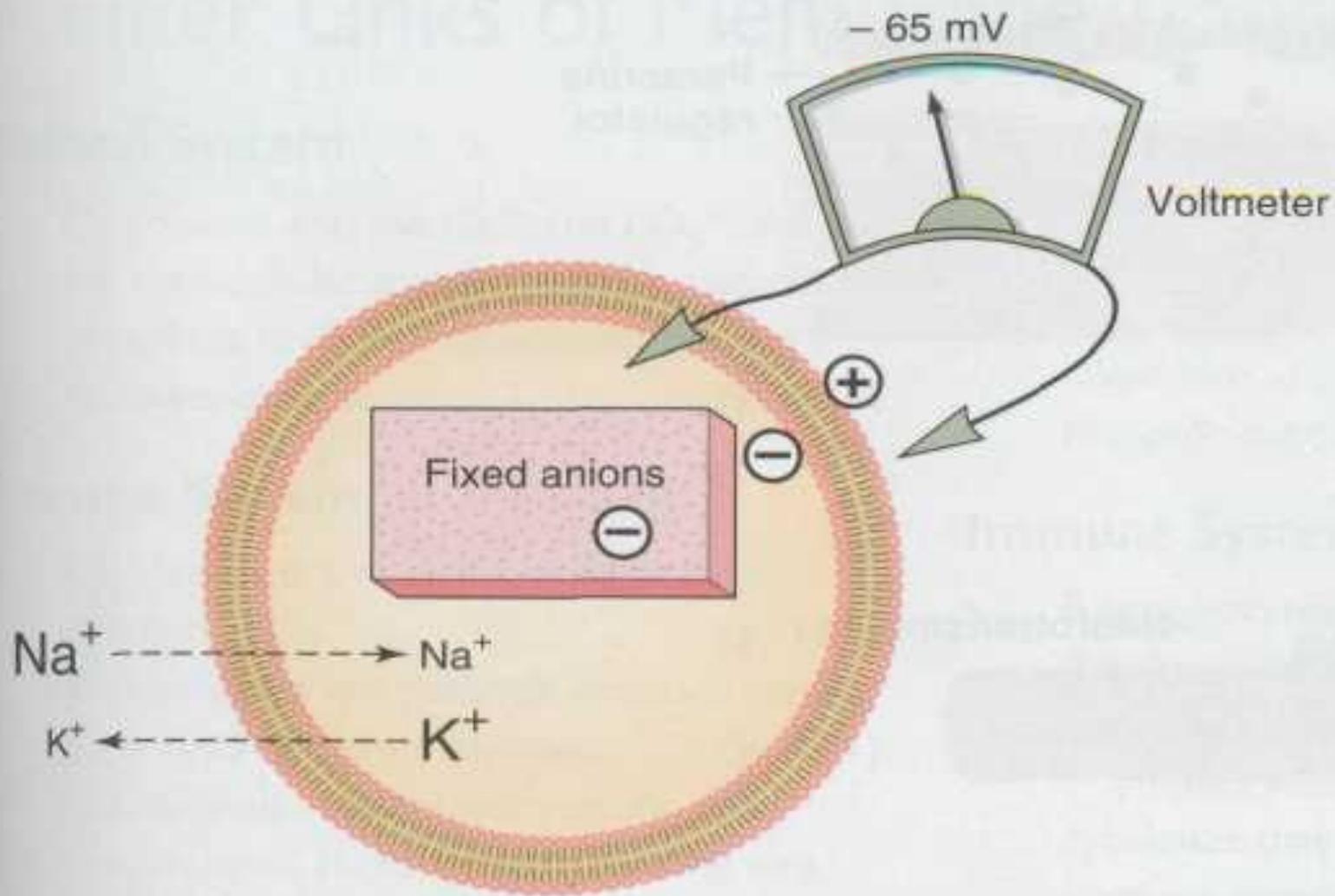


**Каналы покоя мембраны нервных клеток проницаемы для ионов Na и K**

В этом случае МПП не равен  $E_K$  и не равен  $E_{Na}$ . Величина МПП будет зависеть от соотношения калиевой и натриевой проницаемости

Поскольку натриевая проницаемость составляет 1/25 от калиевой, то МПП будет на 5-10мВ меньше  $E_K$ .





# Расчет мембранного потенциала с учетом калиевой, натриевой и хлорной проводимостей

Уравнение Гольдмана – Ходжкина - Катца

$$I_K = g_K(V - E_K)$$

$$I_{Na} = g_{Na}(V - E_{Na})$$

$$I_{Cl} = g_{Cl}(V - E_{Cl})$$

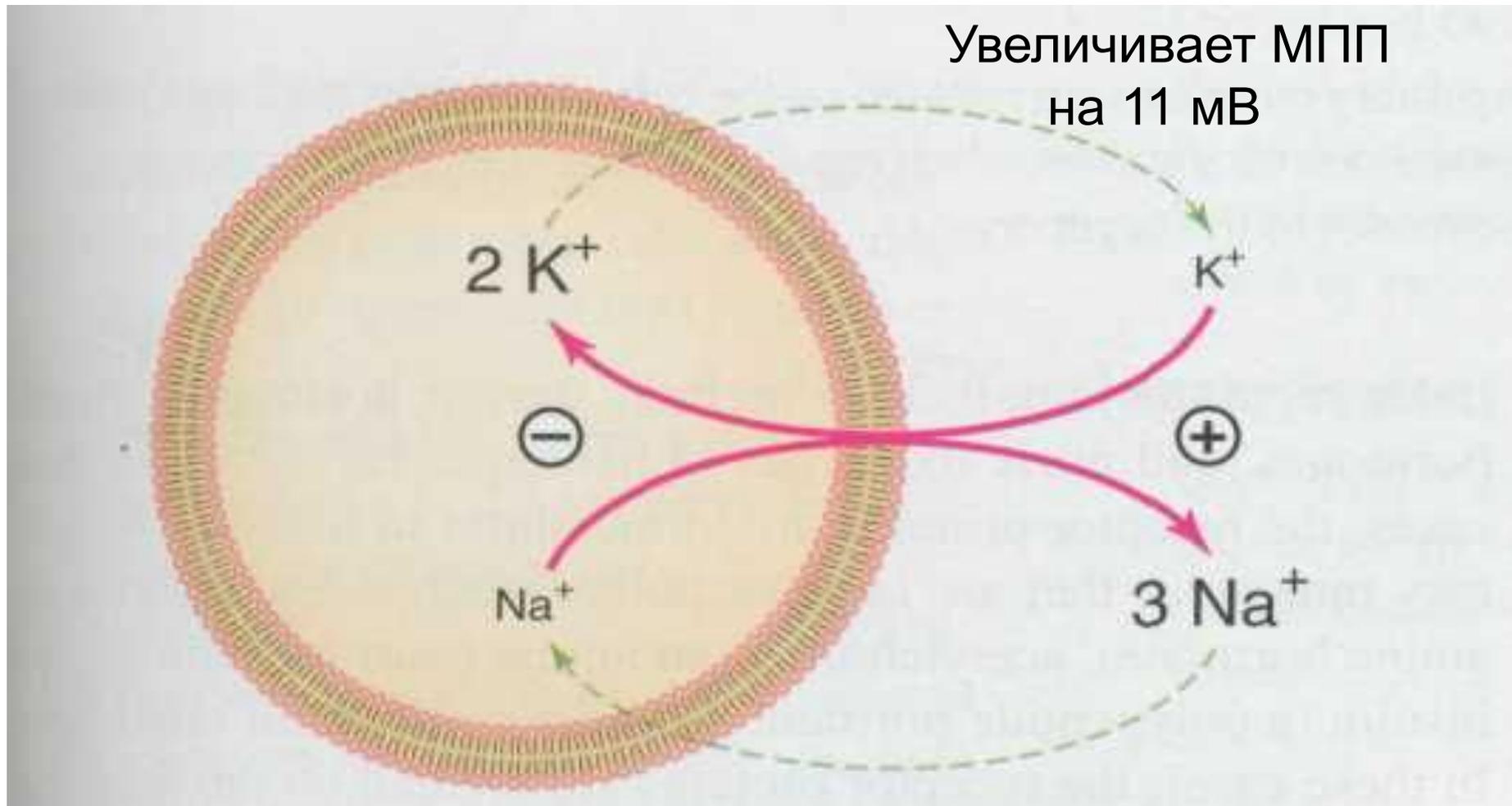
$$V = (g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}) / (g_K + g_{Na} + g_{Cl})$$

**V** – мембранный потенциал

**g** – проводимость мембраны для иона (сумма проводимостей всех открытых каналов)

**E** – равновесный потенциал для иона

# Вклад натрий-калиевого насоса в формирование мембранного потенциала



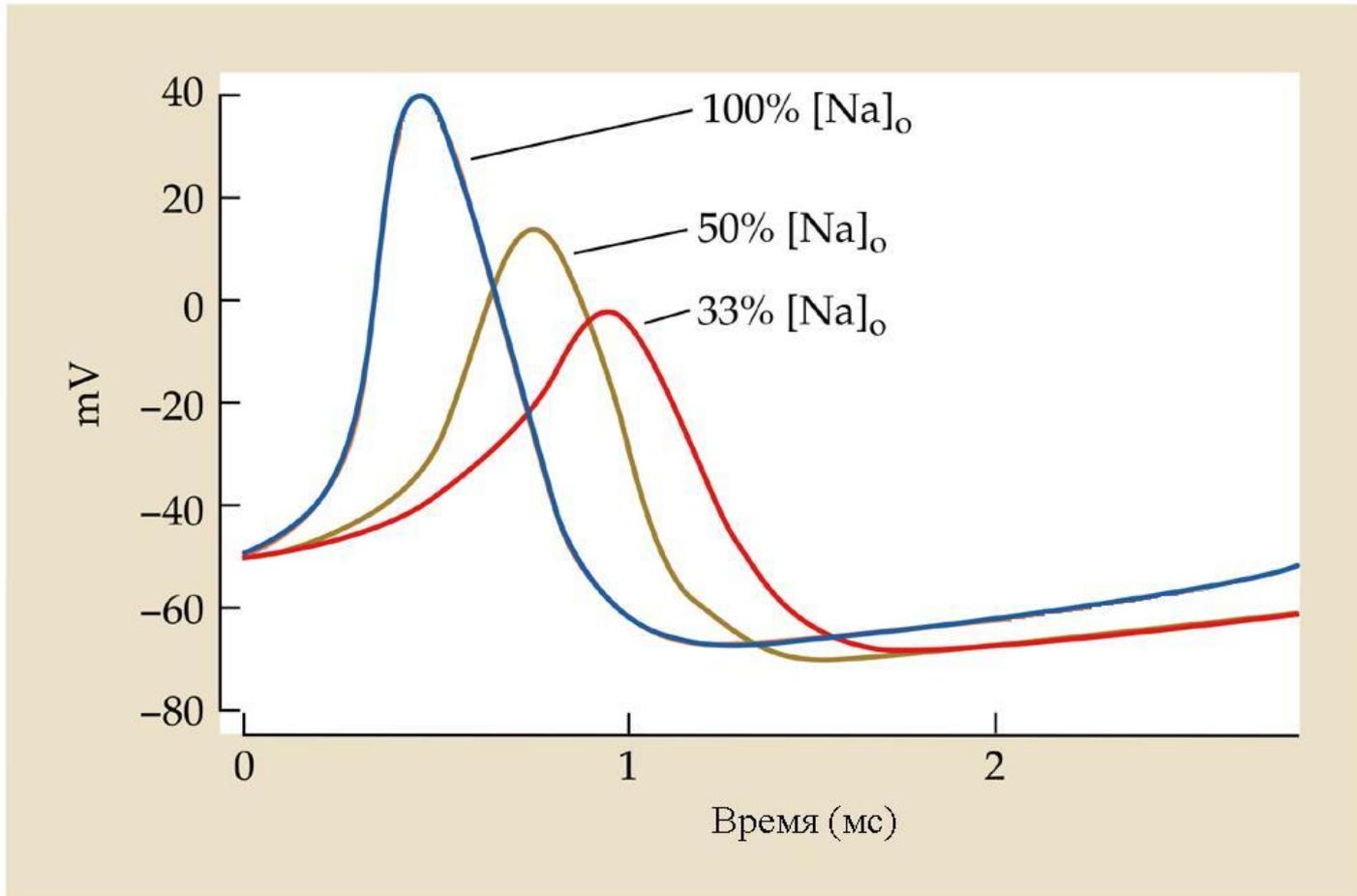
# ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ

**Быстрое колебание мембранного потенциала клетки, в ответ на раздражение, сопровождающееся изменением знака заряда на мембране, возникающее в результате открытия потенциал-управляемых ионных каналов и появления трансмембранных ИОННЫХ ТОКОВ**

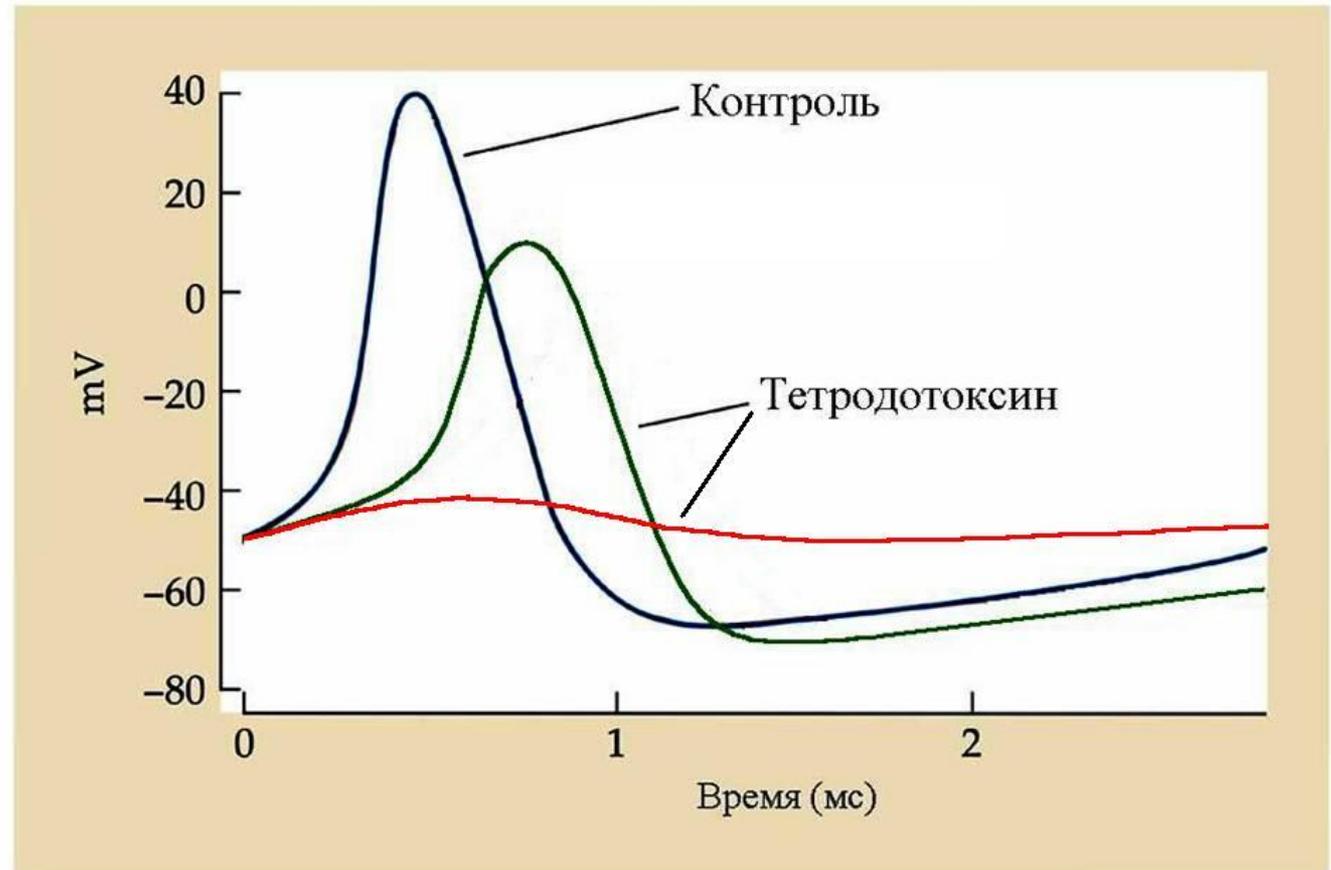
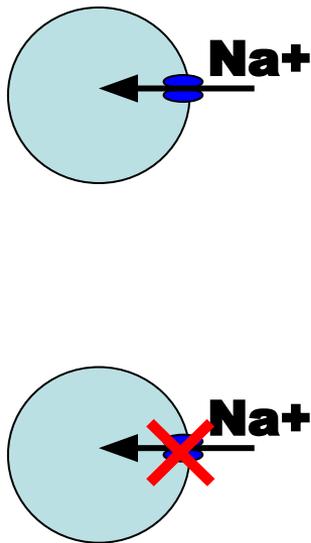
# Потенциал действия



# Потенциал действия зависит от внеклеточного Na

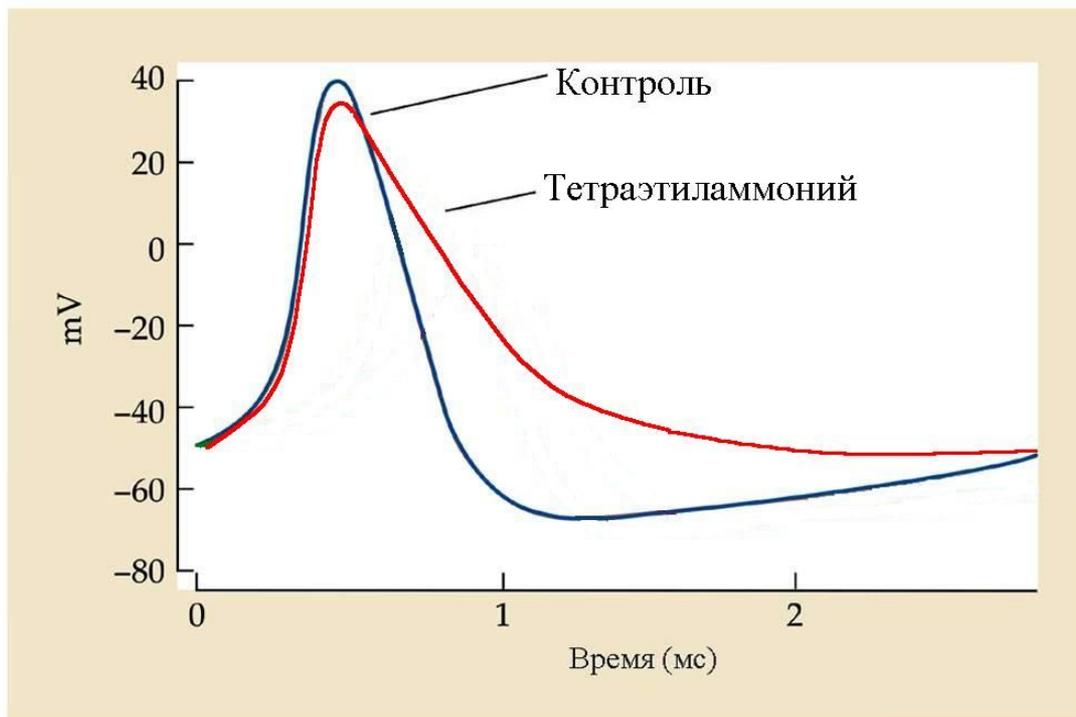
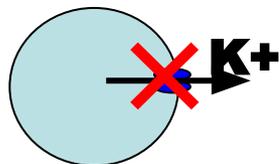
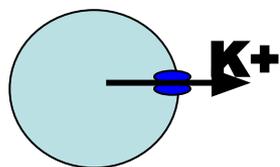


# Блокирование потенциал-управляемых натриевых каналов нарушает генерацию потенциала действия



Тетродотоксин – специфический блокатор натриевых каналов

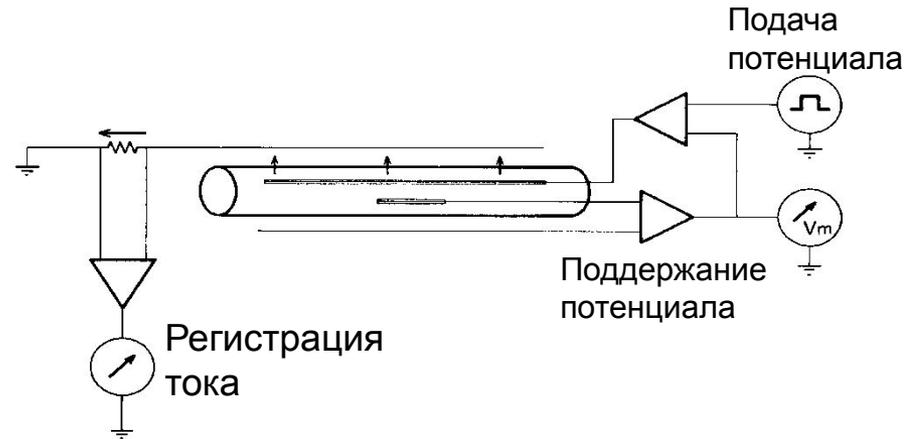
# Блокирование потенциал-управляемых калиевых каналов резко затягивает потенциал действия



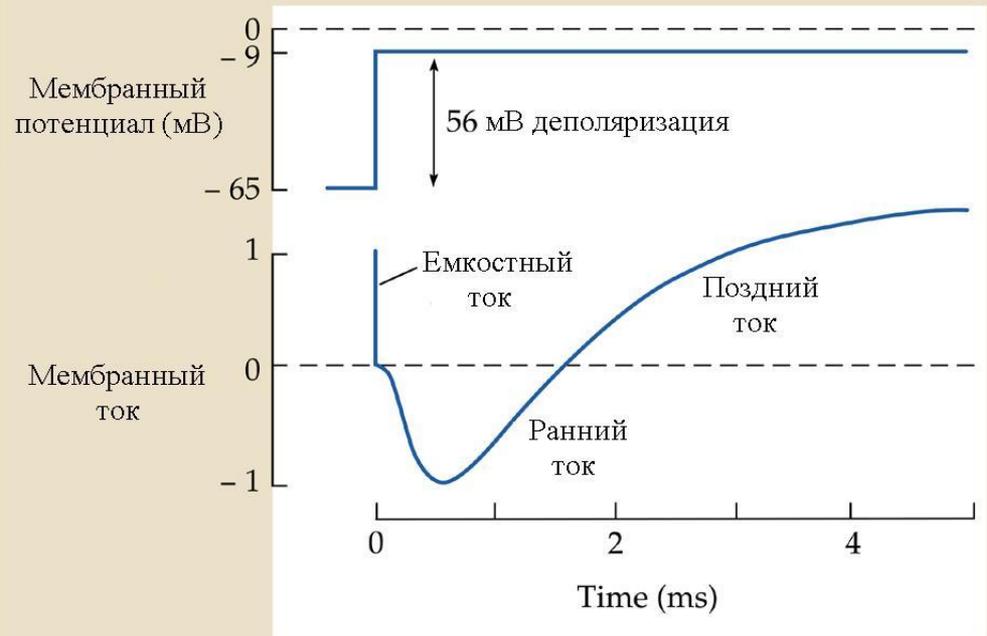
Тетраэтиламмоний – специфический блокатор калиевых каналов

# Метод фиксации потенциала

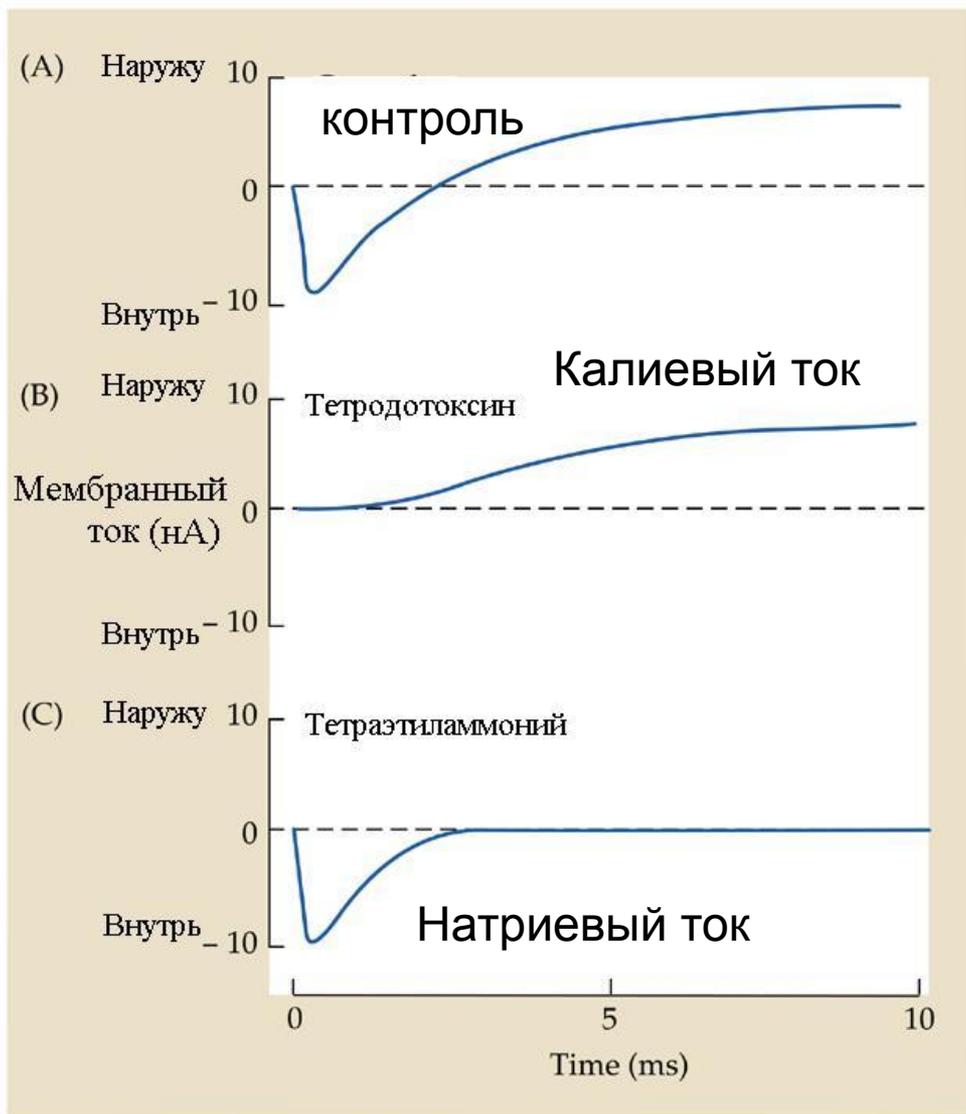
Основан на измерении трансмембранного тока при фиксированном на нужном уровне потенциале (Коул, Ходжкин и Хаксли)



Гигантский аксон кальмара (диаметр волокна около 1 мм)



# Фармакологическое разделение ИОННЫХ ТОКОВ



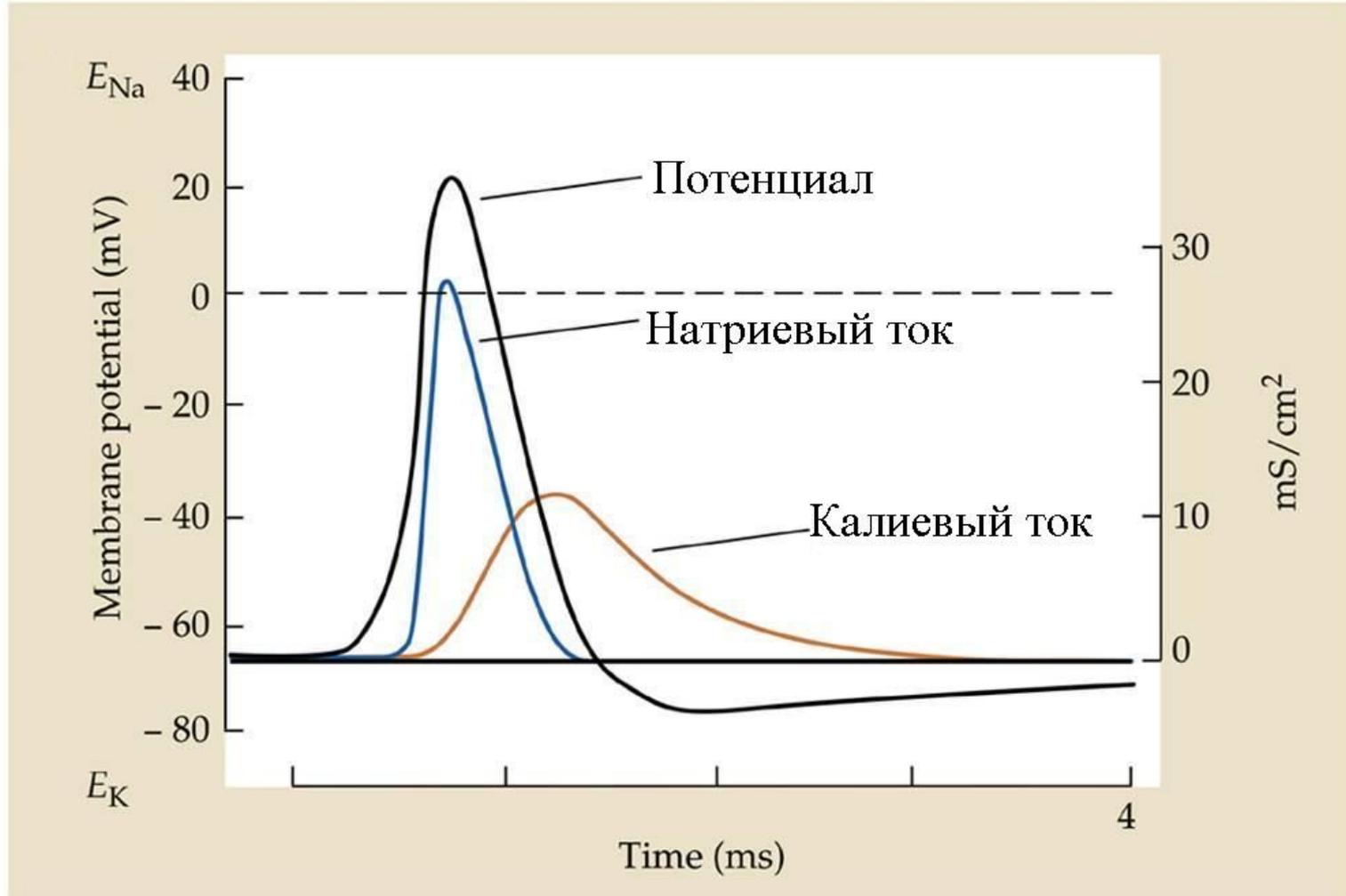
## Выводы

**Входящий ток переносится ионами натрия, а выходящий – ионами калия.**

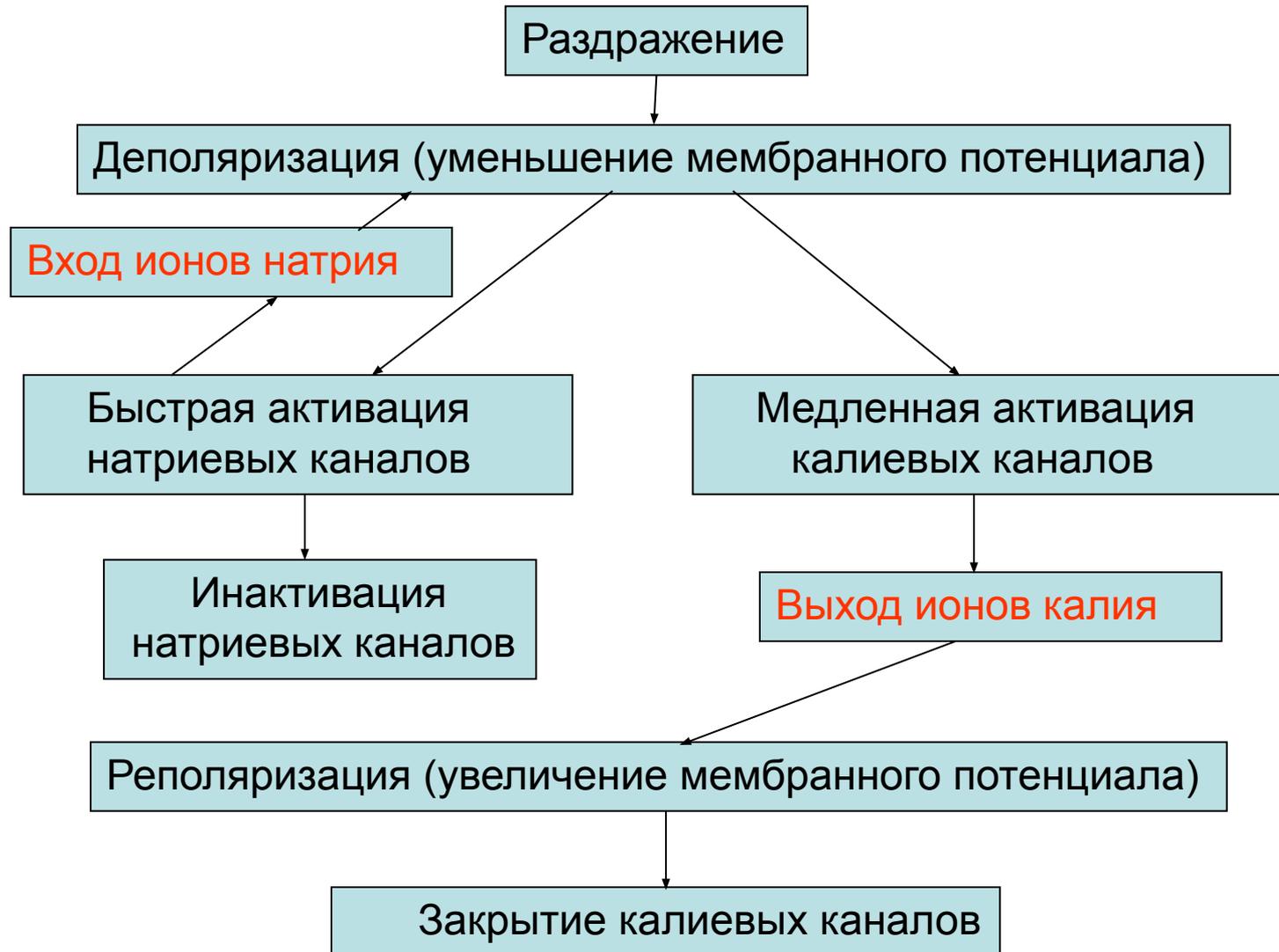
**Натриевый ток развивается быстро, а калиевый – медленно.**

**Натриевый ток быстро уменьшается (инактивация), а калиевый - нет**

# Временной ход ионных токов во время потенциала действия

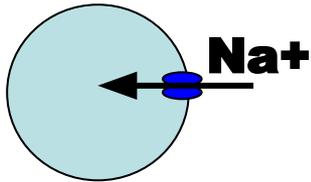


# Связь работы ионных каналов с фазами потенциала действия

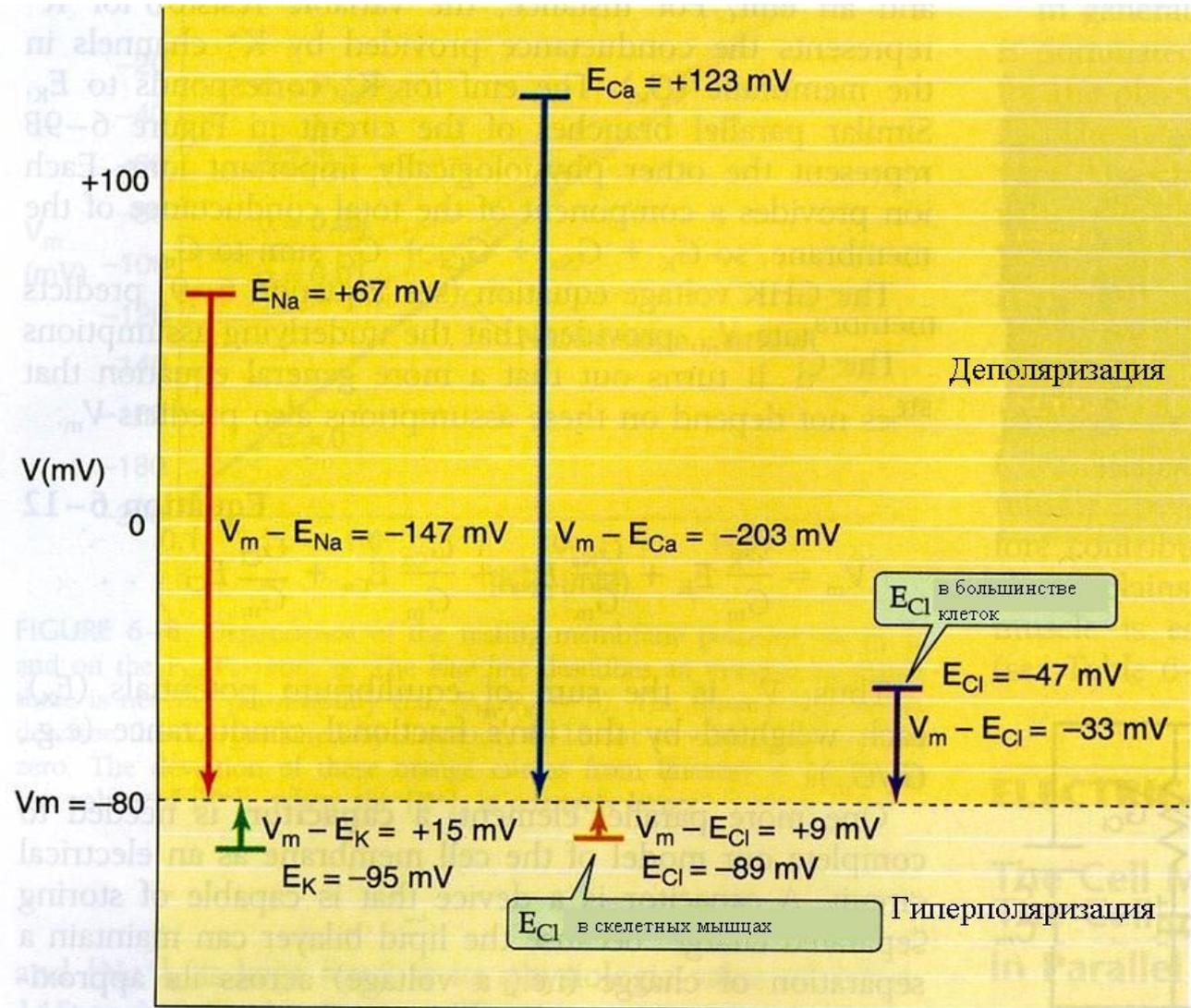
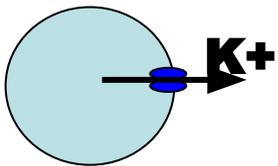


# Почему возникает овершут (смена знака потенциала на мембране) во время потенциала действия?

Na-каналы



K-каналы



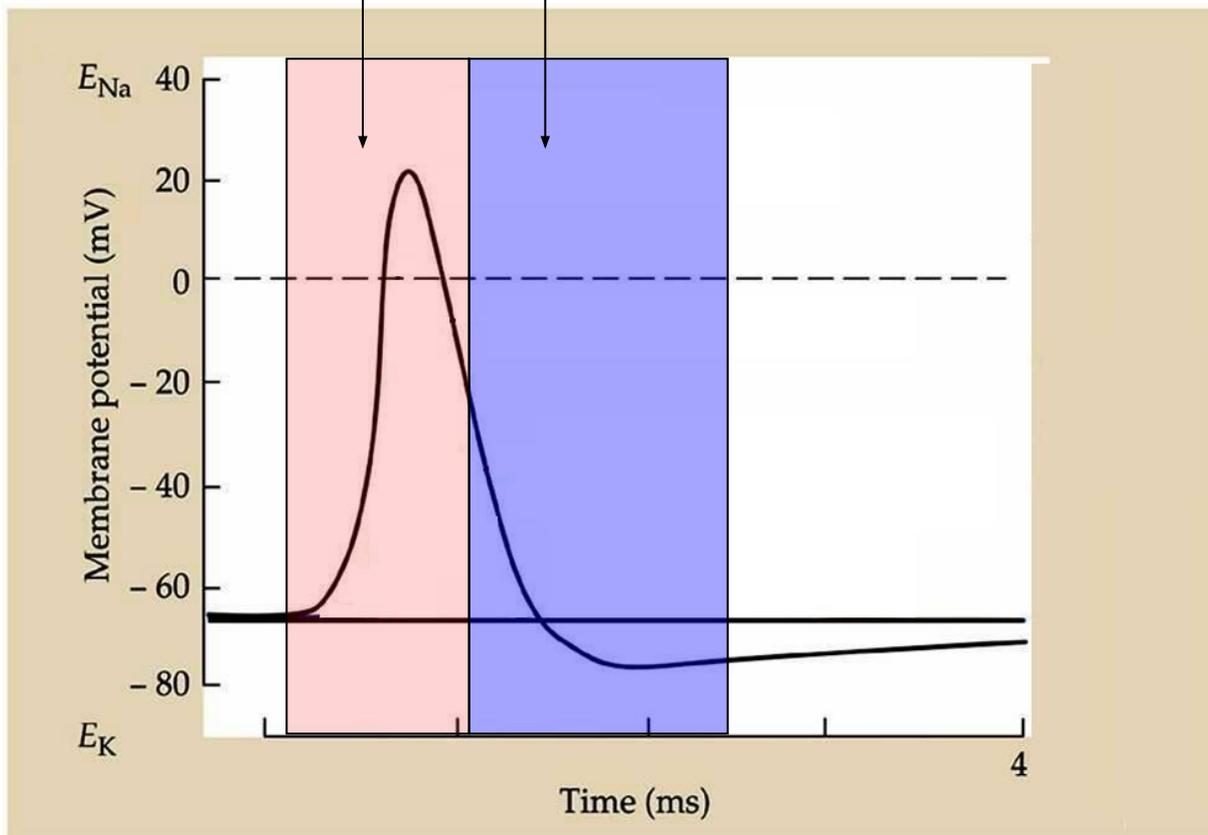
# Свойства потенциала действия

- Вызывается сверхпороговым раздражением
- Амплитуда не зависит от силы раздражения
- Распространяется по всей мембране не затухая
- Связан с увеличением ионной проницаемости мембраны (открытием ионных каналов)
- Не суммируется

# Рефрактерность -

снижение способности клетки ответить на раздражение в результате временной инактивации натриевых каналов

Абсолютная рефрактерность      Относительная рефрактерность



**Абсолютная рефрактерность**

Генерация ПД невозможна

Вызвана инактивацией большинства Na каналов

**Относительная рефрактерность**

Генерация ПД возможна при увеличении интенсивности раздражителя

Связана с тем, что некоторая часть Na каналов все еще инактивированы

# Свойства потенциала действия (ПД)

- Вызывается сверхпороговым раздражением
- Амплитуда не зависит от силы раздражения
- Распространяется по всей мембране не затухая
- Связан с увеличением ионной проницаемости мембраны (открытием ионных каналов)
- Не суммируется