

Потенциал действия

Темы:

1. Механизм потенциал действия.
2. Механизм распространения ПД вдоль нервного волокна.

Потенциал действия

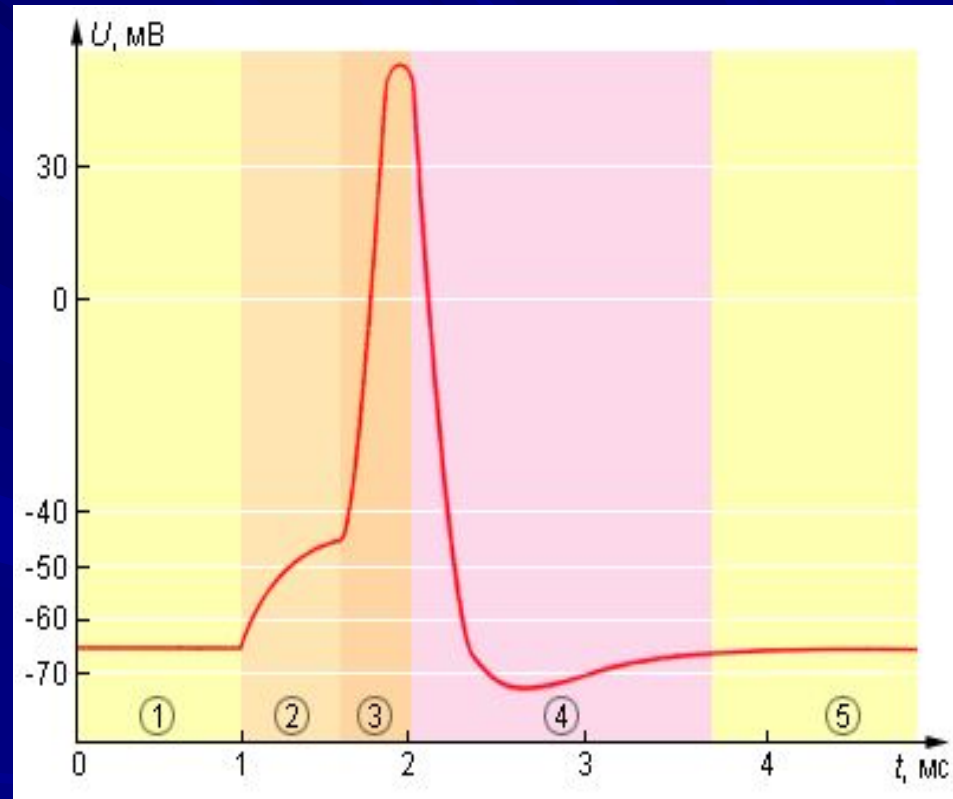
Свойства ПД

- ПД имеет несколько универсальных свойств, которые одинаковы у всех животных организмов, имеющих нервную систему.
- *Вопросы:*
 1. Как выглядит ПД?
 2. Как возникает ПД?
 3. Как часто нейрон может продуцировать ПД?

Потенциал действия

1. Графическое представление ПД

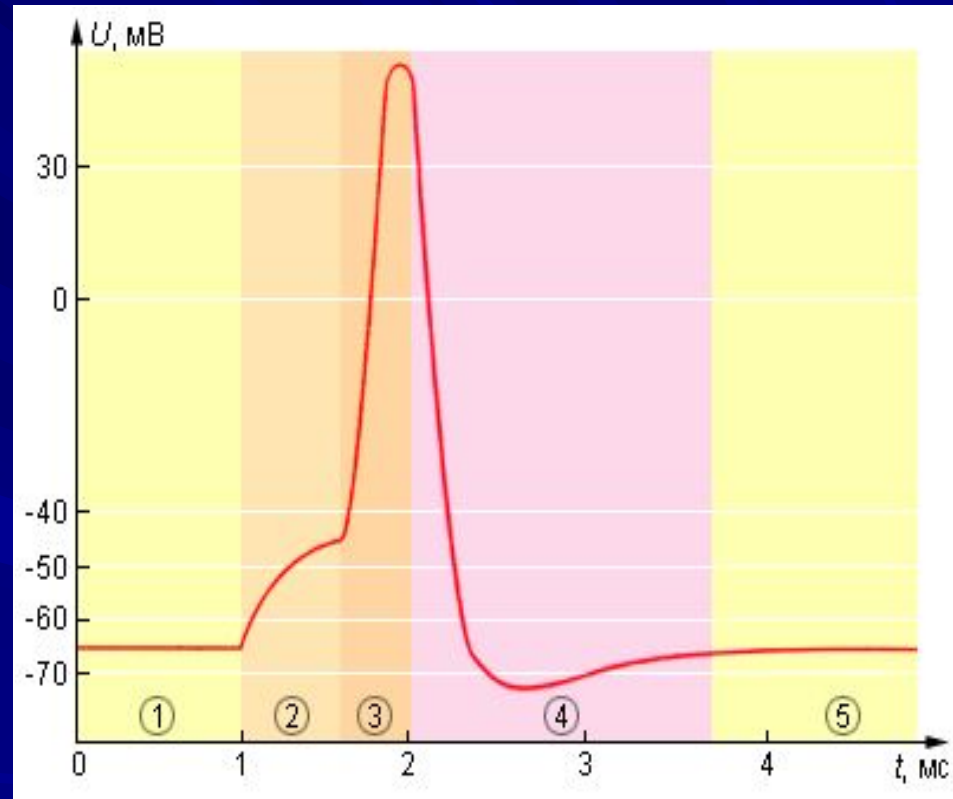
- Во время генерации ПД мембрана нейрона меняет свой знак – внешняя сторона на очень короткое время становится отрицательной, а внутренняя сторона – положительной.



Потенциал действия

ПД имеет несколько фаз:

1. **Восходящая фаза ПД** (быстрая **деполяризация** мембраны);
2. **Пик ПД** (смена знака заряда на мембране);
3. **Нисходящая фаза ПД** (быстрая **реполяризация** мембраны);
4. **Отрицательный следовой потенциал** (**гиперполяризация** мембраны).
5. Фаза медленного **восстановления мембранного потенциала** до уровня МПП.
 - Продолжительность ПД – приблизительно 2 мсек.



Потенциал действия

2. Механизм генерации ПД

1. Внешний раздражитель начинает действовать на мембрану, в которой находятся закрытые Na^+ ионные каналы;
2. Na^+ ионные каналы под воздействием внешнего раздражителя начинают открываться;
3. Ионы Na^+ начинают проникать через открывшиеся каналы внутрь клетки по градиенту концентрации (так как ионов Na^+ больше во внеклеточной среде).
4. Вход ионов Na^+ приводит к частичной **деполяризации** мембраны (мембранный потенциал становится более позитивным).
5. Если деполяризация мембраны достигает критического уровня (**критический уровень деполяризации мембраны**), то на мембране возникает ПД.

Потенциал действия

Критический (пороговый) уровень деполяризации мембраны (КУД) – это значение мембранного потенциала нейрона, при котором на мембране нейрона возникает ПД.

- ПД возникает в результате деполяризации мембраны до критического (порогового) уровня.
- Если мембранный потенциал не достигает до **КУД**, то на мембране не возникает ПД.
- Генерация ПД подчиняется закону «**Все или ничего**».

Потенциал действия

- Причины деполяризации мембраны могут быть различные:
 1. действие внешнего физического стимула на нейрон,
 2. действие **медиатора** на мембрану нейрона,
 3. воздействие электрического тока.

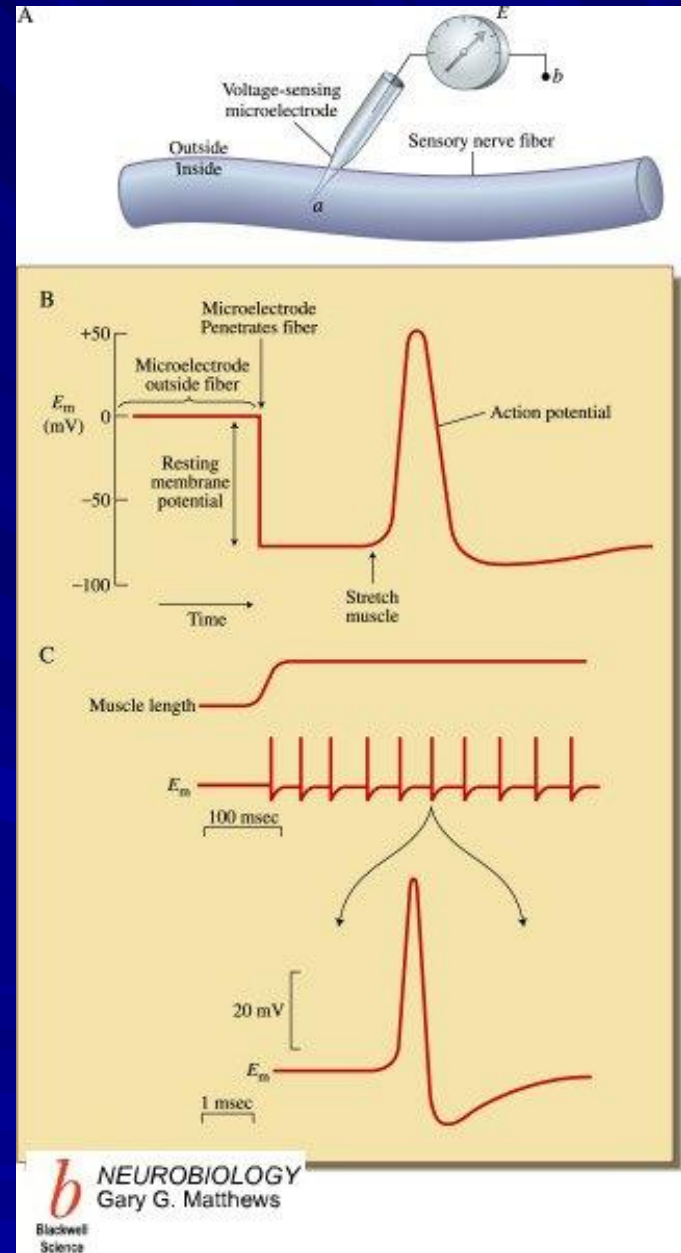
Потенциал действия

3. Генерация множественного ПД

- Если на мембрану действует продолжительный электрический ток, то нейрон последовательно продуцирует не один, а множество ПД.
- Частота ПД зависит от силы внешнего воздействия:

чем больше сила электрического тока, тем выше частота импульсации нейрона.

- Таким образом, частотой импульсации нейрон может кодировать силу внешнего раздражителя.



Потенциал действия

Ограничение частоты генерации ПД

- Максимальная частота импульсации нейрона не может превышать 1000 Гц (1000 импульсов в секунду).
- Это объясняется тем, что мембрана нейрона после генерации одного ПД на короткое время (примерно на 1 мсек) вообще не способна генерировать ПД.
- **Абсолютный рефрактерный период** – это период времени после возникновения ПД, в который мембрана нейрона не способна генерировать ПД.

Потенциал действия

- После окончания абсолютного рефрактерного периода наступает **относительный рефрактерный период** (примерно несколько мсек), в который мембрана клетки с большим трудом генерирует следующий ПД.
- Во время **относительного рефрактерного периода** сила внешнего воздействия должна быть больше, чем обычно, чтобы вызвать на мембране нейрона очередной ПД.

Потенциал действия

Ионный механизм потенциала действия в идеальном нейроне (продолжение)

- ПД – это быстрое смена электрического заряда на мембране.
- Ионный механизм ПД:
 - 1) деполяризация мембраны вызывается мощным током ионов Na^+ внутрь клетки,
 - 2) реполяризация вызывается утечкой ионов K^+ из клетки.

Потенциал действия

Гипотетический пример

Рассмотрим три условия

1 Условие:

1. Мембрана нейрона имеет три структуры: **Na-K насос**, **Na⁺ каналы** и **K⁺ каналы**.
2. **Na-K насос** вызывает и поддерживает разницу концентраций ионов **Na⁺** и **K⁺** во внутриклеточной и внеклеточной среде.
3. **Na⁺ каналы** и **K⁺ каналы** закрыты.

Результат: на мембране отсутствует разница потенциалов (мембранный потенциал).

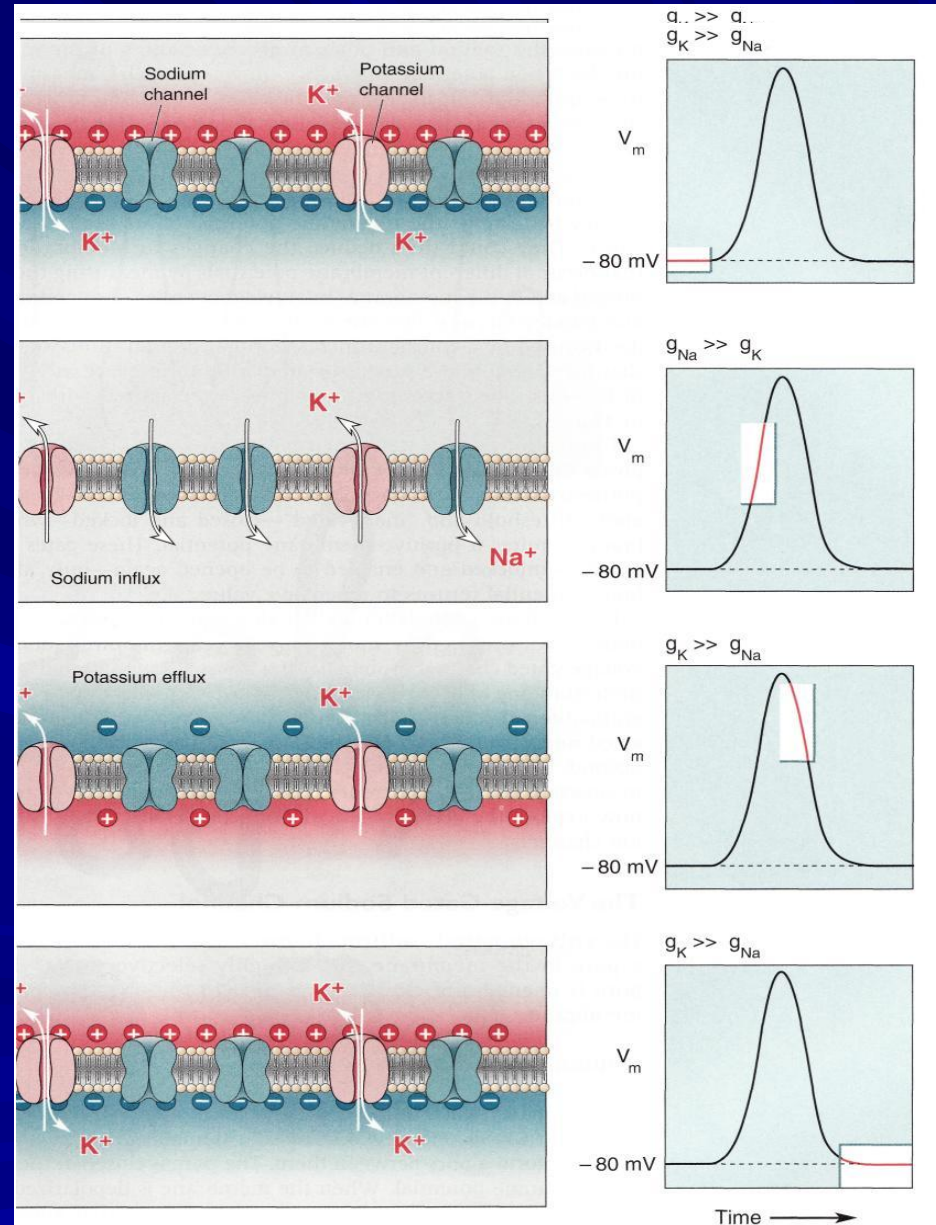
Потенциал действия

Гипотетический пример

2 Условие

K⁺ каналы открыты.

Результат: ионы K⁺ начинают выходить из клетки и это вызывает появление мембранного потенциала (который будет равен -80 mV).



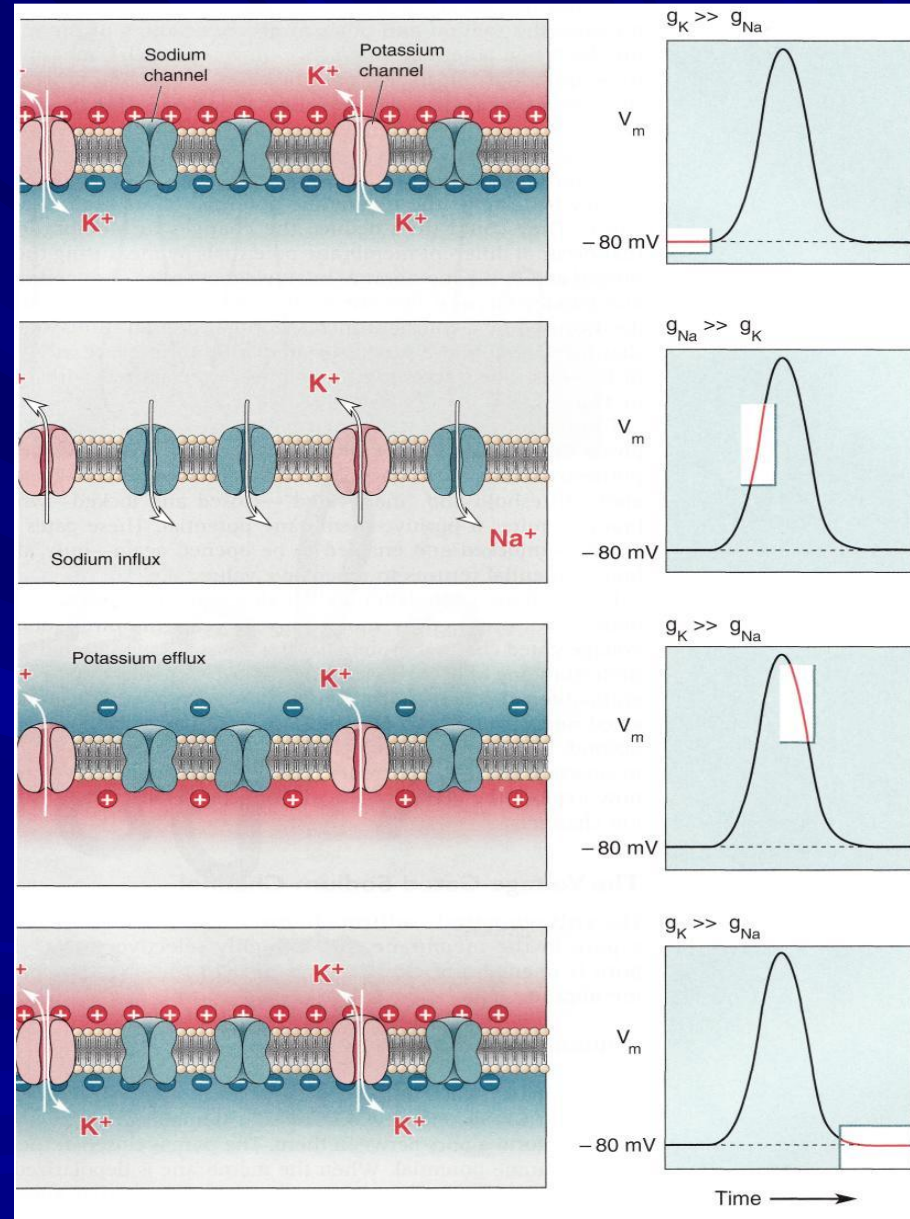
Потенциал действия

3 Условие:

1. **Na⁺ каналы** начинают открываться.
2. При этом открытых **Na⁺ каналов** много больше, чем открытых **K⁺ каналов**

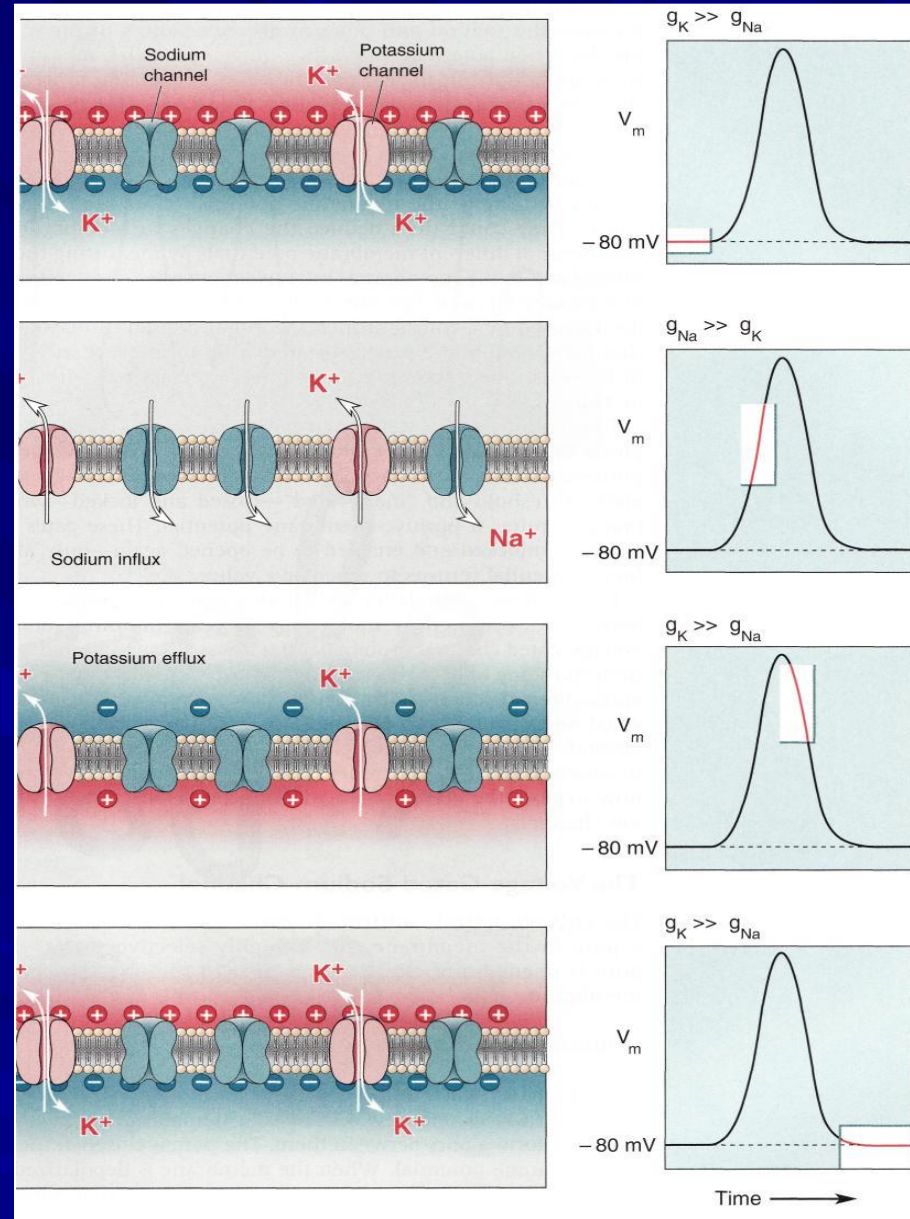
Результат: ионы Na⁺ начинают быстро проникать внутрь клетки, так как на них одновременно действуют **две силы**, направленную в одну сторону:

1. **сила концентрационного градиента**
2. **электрическая сила** (положительные ионы Na⁺ притягиваются к отрицательному внутреннему слою мембраны).



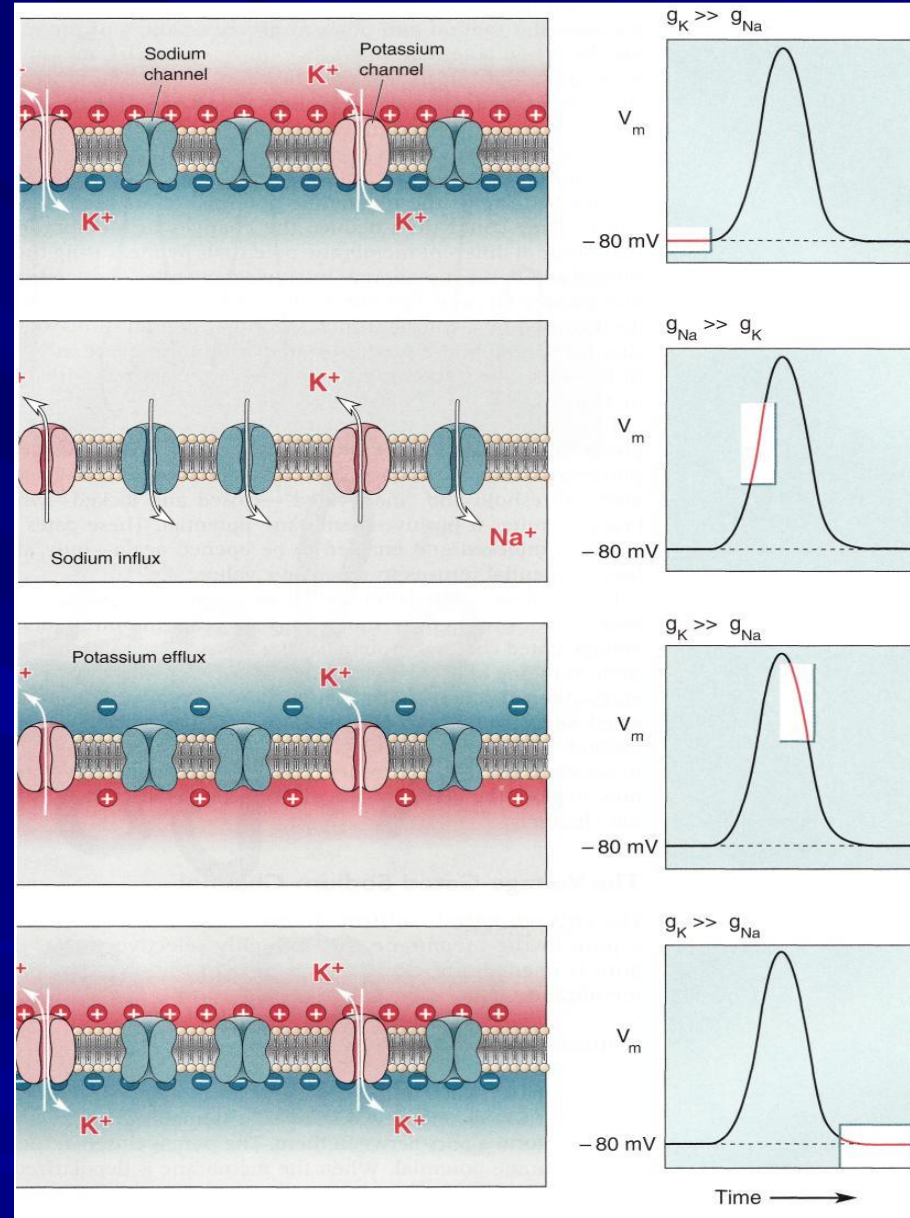
Потенциал действия

- Ток ионов Na^+ продолжается до тех пор, пока на мембране не возникнет **натриевый равновесный потенциал** (62 mV).
- Таким образом, открытие **Na^+ каналов** приводит к эффекту смены знака на мембране (от -80 mV до 62 mV).



Потенциал действия

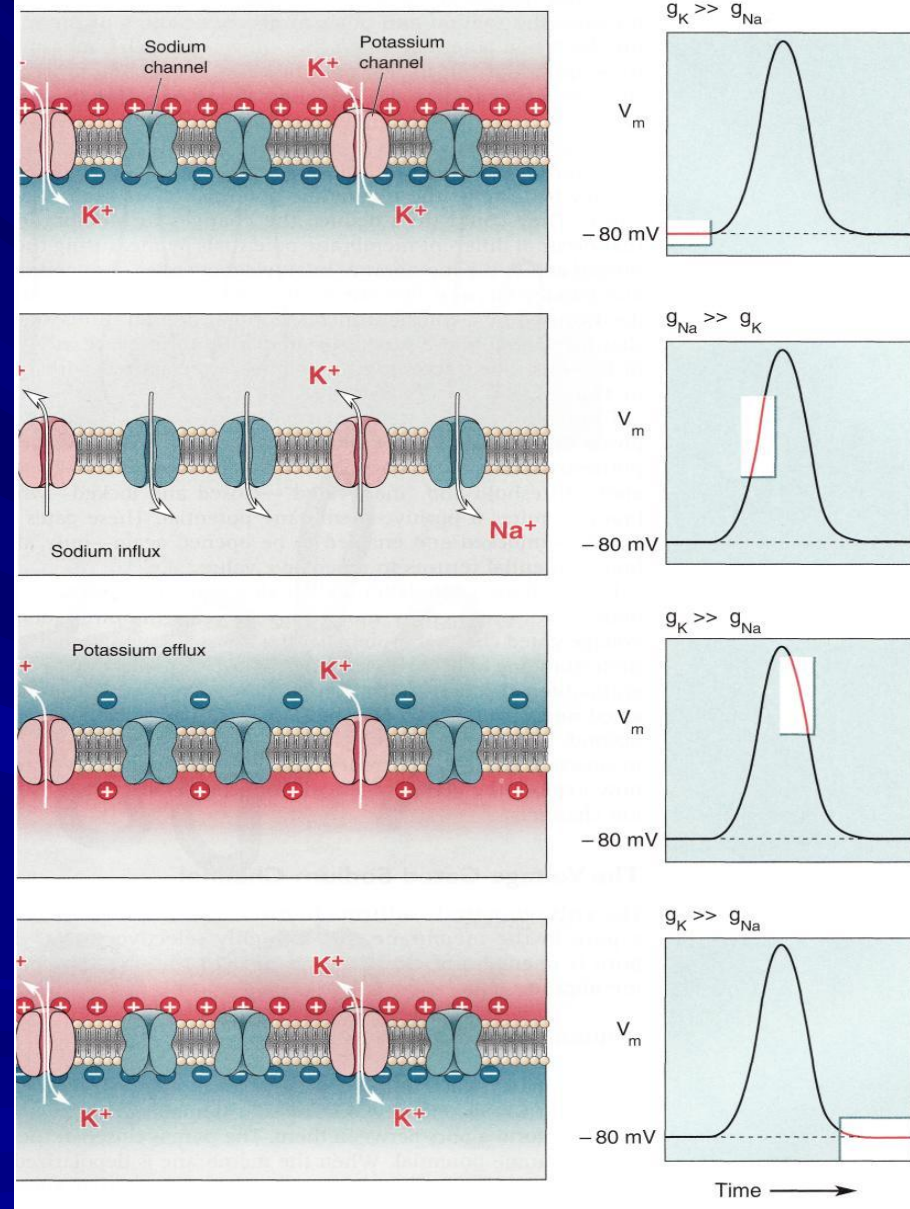
- **Вывод:** только лишь изменение уровня проницаемости мембраны для ионов Na^+ и K^+ привело к быстрому изменению разности потенциалов на мембране (смену знака заряда).
- Таким образом, **восходящая фаза ПД** может быть объяснена быстрым током ионов Na^+ через открытые **Na^+ ионные каналы**.



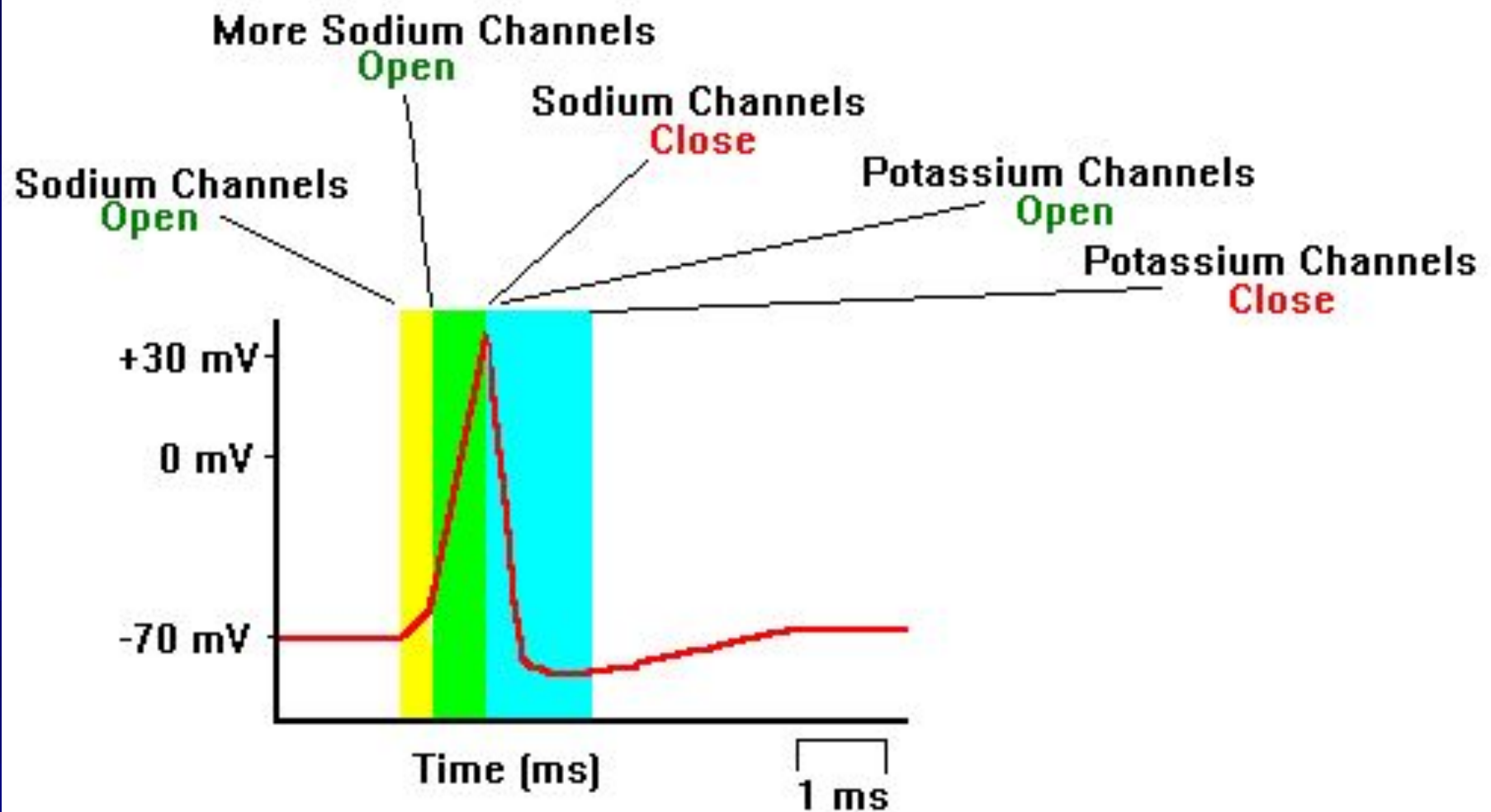
Потенциал действия

Как возникает нисходящая фаза ПД?

- **Na⁺ ионные каналы** внезапно закрываются, а **K⁺ каналы** остаются открытыми.
- В этой ситуации проницаемость мембраны для ионов K⁺ начинает превосходить проницаемость для ионов Na⁺, что приводит к току ионов K⁺ из клетки во внешнюю среду до тех пор, пока не наступит **калиевый равновесный потенциал (-80 mV)**.
- **Вывод:** ПД в идеальном нейроне может быть связан с движением ионов через открывающиеся ионные каналы.



Потенциал действия



- ..\..\Киселев\6.
преподавание\иллюстрации\1. Нервно-
мышечная физиология\3. ПД\потенциал
действия\volt5anim.gif

Потенциал действия

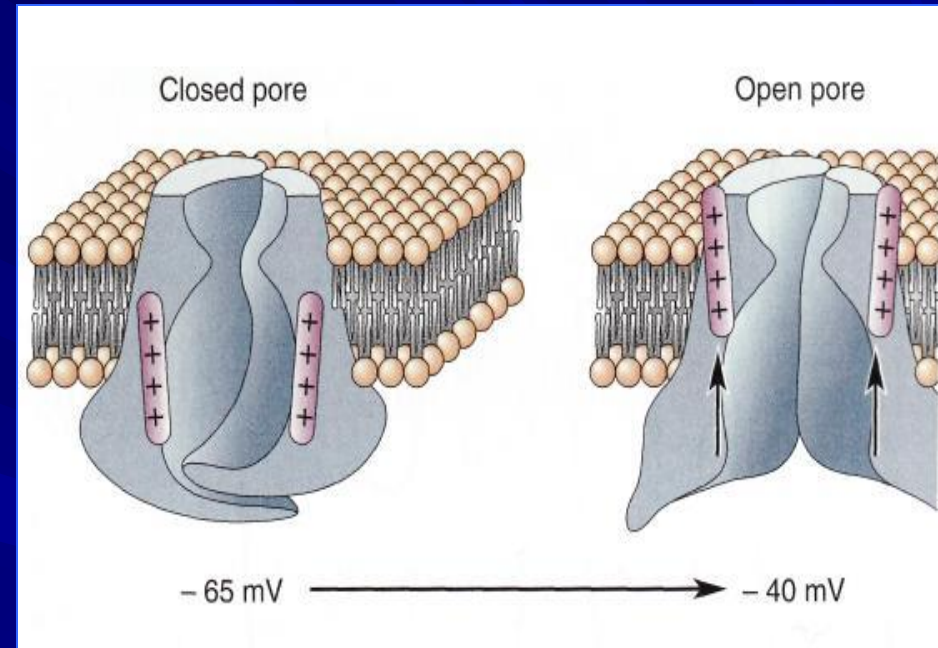
Ионный механизм ПД в реальном нейроне

- В реальном нейроне в мембрану встроены **специфические ионные каналы**, которые могут быть либо в открытом, либо в закрытом состоянии (то есть они имеют **воротные механизмы**).
- Важным свойством этих каналов является то, что их состояние зависит от уровня мембранного потенциала. Поэтому их называют **потенциалзависимыми ионными каналами**.
- Основной вклад в генерацию ПД вносят **натриевые и калиевые потенциалзависимые каналы**.

Потенциал действия

Характеристика Na^+ потенциалзависимого канала

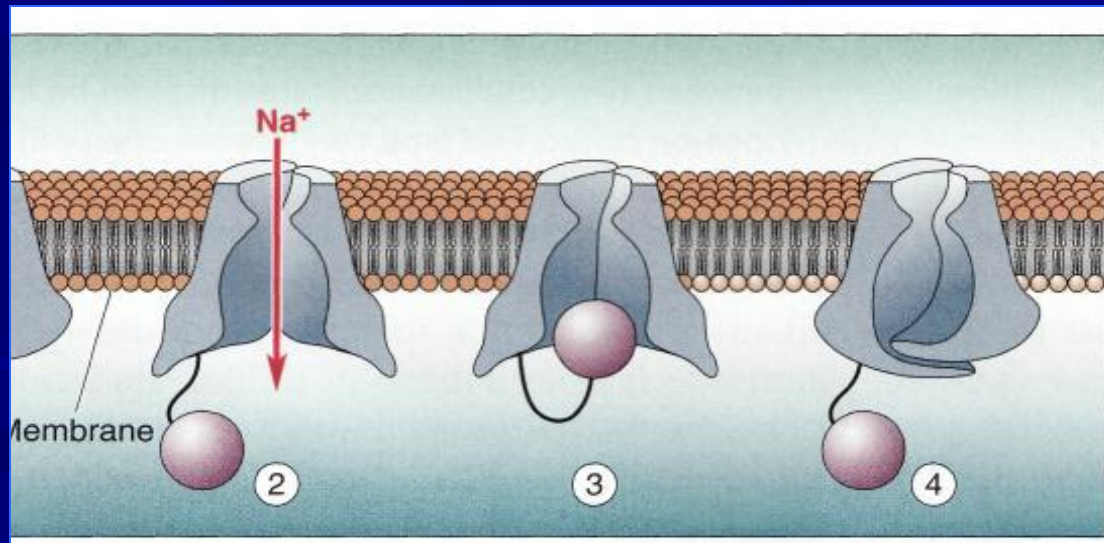
- 1) Na^+ канал состоит из белков.
- 2) При отрицательном МП эти каналы находятся в закрытом состоянии.
- 3) Когда МП достигает **критического уровня деполяризации**, конфигурация канала изменяется, образуя пору, через которую могут проходить ионы Na^+ .



Потенциал действия

Характеристика Na^+ потенциалзависимого канала

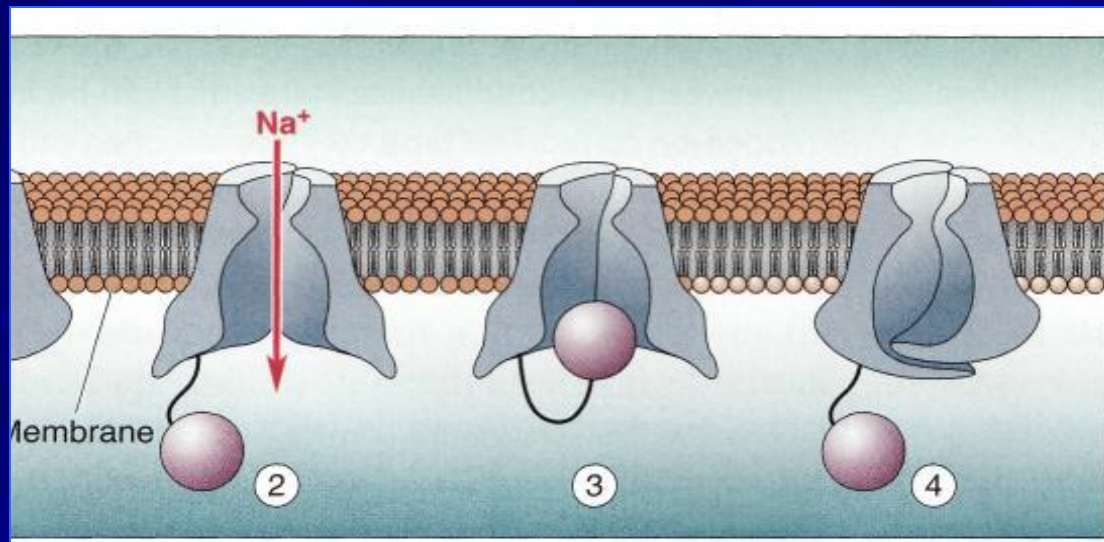
- 4) Примерно через 1 мсек после открытия Na^+ каналы закрываются (инактивируются).
- 5) Они не могут снова открыться до тех пор, пока мембранный потенциал не вернется к отрицательному значению.



Потенциал действия

Характеристика Na^+ потенциалзависимого канала

- Таким образом, Na^+ каналы могут находиться в трех состояниях:
 1. Зарытое состояние.
 2. Открытое состояние.
 3. Состояние инактивации.



Потенциал действия

Ионный механизм ПД в реальном нейроне

- Быстрое открытие **Na^+ каналов** в ответ на деполяризацию мембраны объясняет, почему МП в период **восходящей фазы ПД** возрастает так быстро.
- Очень короткое время открытости **Na^+ каналов** (1 мсек) объясняет, почему ПД протекает так быстро.
- Инактивация Na^+ каналов объясняет наличие **фазы абсолютной рефрактерности** (полной невозбудимости мембраны).

Потенциал действия

Нарушения в работе Na^+ каналов

1. Мутации генов

- Мутация одного из генов, кодирующего **Na^+ канал**, приводит к появлению врожденного заболевания у младенцев – *генерализированной эпилепсии с лихорадочными припадками*.
- Данная мутация приводит к замедлению фазы инактивации Na^+ каналов, что приводит к увеличению времени протекания ПД.
- Это заболевание встречается у детей от 3 месяцев до 5 лет.
- Эпилептический припадок возникает на повышение температуры тела, например, во время ОРЗ.

Потенциал действия

Нарушения в работе Na^+ каналов

2. Воздействие ядов на Na^+ каналы

- Существуют вещества, которые могут нарушать работу Na^+ каналов.
 - **Тетродотоксин и сакситоксин** блокируют Na^+ каналы, что приводит к отсутствию Na^+ тока.
1. **Тетродотоксин** - это яд, содержащийся в яичниках и других органах рыбы Фугу.
 2. **Сакситоксин** – яд, который синтезируется морским планктоном и накапливается в **питающихся** планктоном моллюсках.

Потенциал действия

Нарушения в работе Na^+ каналов

2. Воздействие ядов на Na^+ каналы

- **Батрахотоксин** (а также токсины, образующиеся в лилиях и лютиках) препятствует **закрытию** Na^+ каналов.
- Каналы остаются открытыми больше времени, чем обычно. Это приводит к нарушению передачи возбуждения по нейрону.

Батрахотоксин – яд, содержащийся в коже колумбийских лягушек

Потенциал действия

Калиевые потенциалзависимые каналы

- K^+ потенциалзависимые каналы обеспечивают нисходящую фазу ПД.
- Свойства K^+ каналов:
 1. открываются в ответ на деполяризацию мембраны.
 2. открываются с задержкой (примерно на 1 мсек) по отношению к открытию Na^+ каналов.
- **В реальном нейроне нисходящая фаза ПД возникает в результате инактивации Na^+ каналов и открытия K^+ потенциалзависимых каналов.**

Потенциал действия

Калиевые потенциалзависимые каналы

- Фаза гиперполяризации (*отрицательный следовой потенциал*) возникает в результате того, что в этот период проницаемость мембраны нейрона для ионов K^+ (за счет открытых **K^+ потенциалзависимых каналов**) во много раз превышает проницаемость мембраны нейрона для ионов Na^+ , что приводит к избыточному **K^+ току**.
- После того как **K^+ потенциалзависимые каналы** закрываются, ток **ионов K^+** становится таким же как и в состоянии покоя.

Потенциал действия

- Вывод: Na^+ и K^+ потенциалзависимые каналы, а также ток ионов Na^+ и K^+ через эти каналы могут объяснить механизм генерации и протекания ПД, а также его свойства.