

Лекция №10.

Тема: Электрическая возбудимость клеток.

В плазматической мембране многих видов клеток имеются ионные каналы, которые управляют потенциалом. Эти каналы были названы потенциалозависимыми. Они обнаружены в плазматической мембране нервных и различных видов мышечных клеток. В ответ на деполяризацию мембранны (положительное смещение мембранныго потенциала) здесь происходит активация (переход из непроводящего в проводящее состояние) потенциалозависимых ионных каналов. Открывание каналов приводит к возникновению ионных токов и деполяризации ранее невозбужденных её участков. Таким образом, создается самоподдерживающийся распространяющийся сигнал – потенциал действия. Ионные механизмы возникновения потенциала действия в нервных волокнах были выяснены благодаря исследованиям американских и английских ученых К.Коула, Х.Кертиса, А.Ходжкина и других, проведенными на нервных гигантских волокнах (аксонах) кальмара. Диаметр этих волокон нередко достигает 500-800 мкм. Столь большие размеры позволили вводить в них внутриклеточные электроды и измерять потенциал покоя, потенциал действия, а также ионные токи, протекающие через плазматическую мембрану при изменениях мембранныго потенциала в условиях фиксации потенциалов. Большие размеры гигантских аксонов позволяют точно анализировать химический состав цитоплазмы.

Потенциал действия возникает при смещении мембранныго потенциала до критической величины, называемой **порогом**. Потенциал покоя гигантского нервного волокна кальмара приблизительно равен -60 мВ. Смещение мембранныго потенциала до -45 мВ приводит к возникновению потенциала действия.

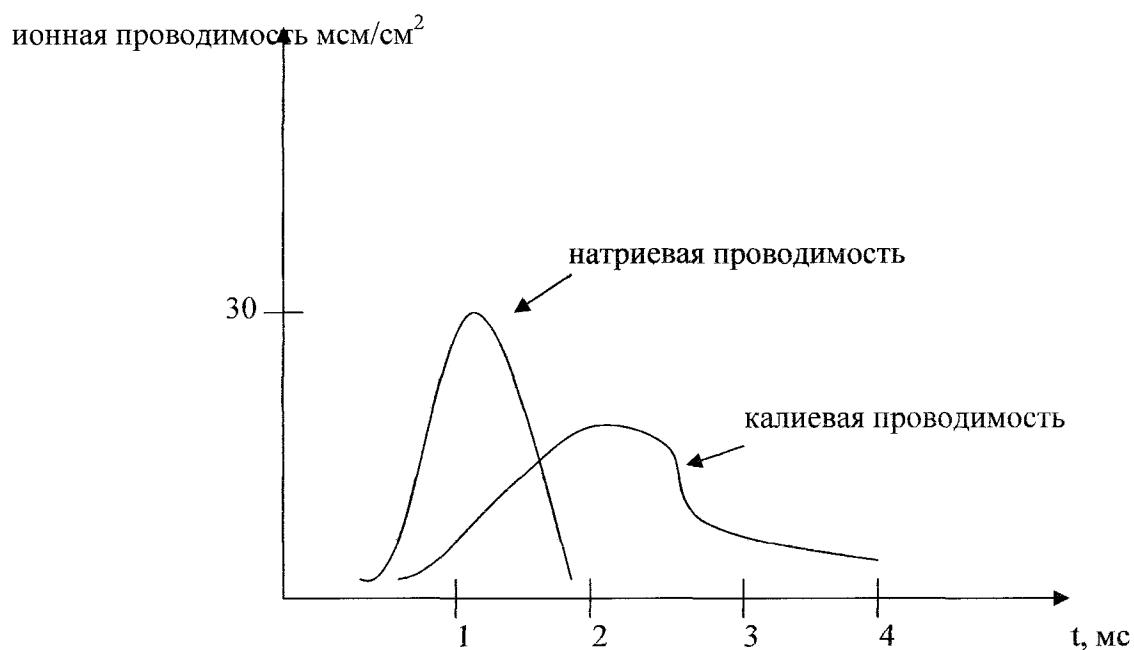
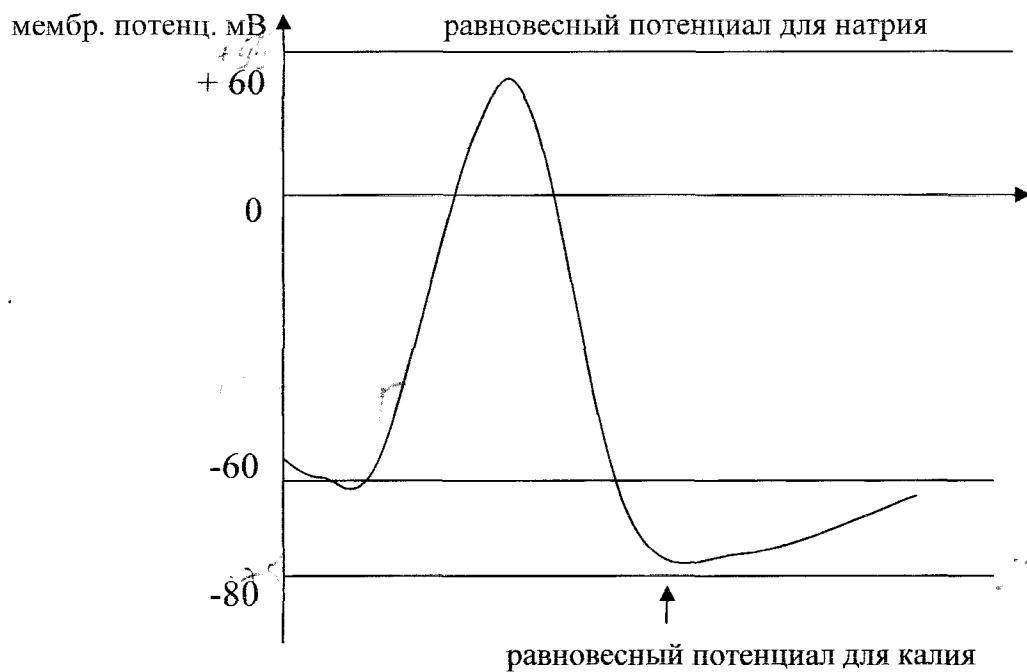
В 1939 году установлено, что во время возникновения потенциала действия в аксоне сопротивление мембранны уменьшается в 25 раз с 1000 до

40 Ом·см², тогда как электрическая ёмкость мембраны при этом не изменяется. Затем было установлено, что увеличение проводимости мембраны во время потенциала действия обусловлено повышением её проницаемости для Na^+ . Если в состоянии покоя мембрана преимущественно проницаема для K^+ и потенциал покоя -60 мВ близок к равновесному потенциалу для $\text{K}^+ = -75$ мВ, то во время возбуждения повышается проницаемость для ионов Na^+ и возникает натриевый ток, направленный в клетку. Деполяризация усиливает проницаемость, проницаемость усиливает деполяризацию. Происходит изменение знака мембранныго потенциала . По мере приближения мембранныго потенциала к уровню равновесного для ионов натрия $+55$ мВ происходит уменьшение входящего натриевого тока. Положительное смещение мембранныго потенциала не только открывает (активирует) натриевые каналы, но вызывает более медленный процесс, называемый **инактивацией** и проявляющийся в уменьшении количества функционирующих каналов. Во время потенциала действия происходит также относительно медленное повышение калиевой проводимости мембраны. Инактивация натриевой проводимости мембраны и повышение калиевой проводимости ограничивают продолжительность потенциала действия и приводят к реполяризации мембраны.

Потенциалы действия в аксоне кальмара сопровождаются следовой **гиперполяризацией**. Она обусловлена тем, что после потенциала действия проводимость мембраны для ионов калия более высокая, чем в состоянии покоя, в связи с чем мембранный потенциал приближается к калиевому равновесному потенциалу.

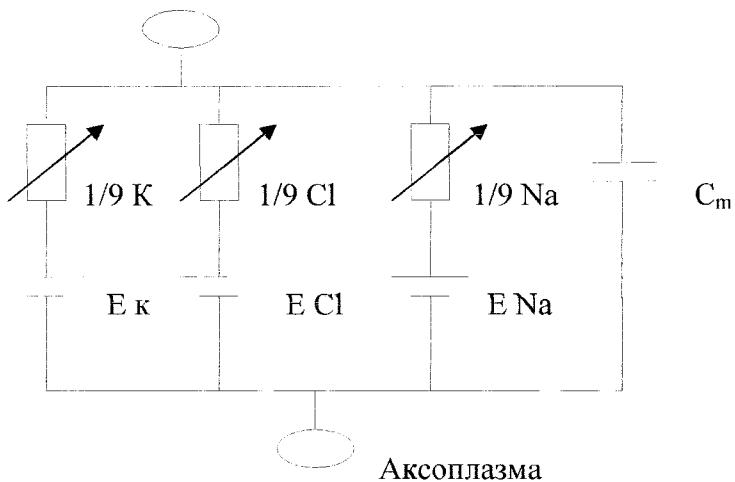
Важным следствием инактивации натриевых каналов является **рефрактерность**. Наблюдается абсолютный рефрактерный период, когда нервное волокно невозбудимо. За ним следует относительный рефрактерный период, во время которого порог возникновения потенциала действия значительно повышен.

Потенциал действия и изменение проводимости
для K^+ и Na^+



Модель структур клетки

Наружный раствор



Батареи E_K , E_{Cl} , E_{Na} моделируют генерацию импульса.

Каналы имеют белковую природу, но натрий а калий проходит по разным каналам. Это доказано методом ингибиторного анализа.

В нервных волокнах некоторых объектов (лягушка, морской желудь) при возбуждении возникает не только натрий-калиевый ток, но и кальциевый, который ингибируется ионами кобальта, мангана. Вместо натрия может идти Rb^+ , NH^+ .

Принято считать, что канал имеет как бы ворота, вход в которые закрыт в состоянии покоя. Предполагают, что ворота являются собой некие заряженные частицы. Начальное изменение мембранныго потенциала должно вызывать их перемещение, в результате чего канал открывается.

Распространение потенциала действия по нервному волокну описывается так называемым *телеграфным уравнением*:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{2\rho_a}{r} \left[\frac{C_m}{C_m \frac{\partial t}{\partial t} + \rho_m l} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{\rho_m l} \right]$$

общая плотность тока через мембрану

ρ_m - удельное сопротивление вещества мембраны;

ρ_a - удельное сопротивление аксоплазмы;

C_m - емкость единицы площади мембраны;

r - радиус нервного волокна;

l – толщина мембраны.

Из этого уравнения видно, что потенциал V в точке X зависит от времени t и координаты X .

Уравнение позволяет рассчитать, как изменяется потенциал по ходу нервного волокна в стационарном режиме ($t \rightarrow \infty$ и $dV/dt = 0$ в каждой точке X).

Решение уравнения при этих условиях дает выражение:

$$V(x) = V_0 e^{-x\lambda} \quad (V = V_0 \text{ при } x = 0).$$

$\lambda = \sqrt{rl\rho_m/2\rho_a}$ при $x = \lambda$, $V = V_0/e$, т.е. λ равно расстоянию, на котором потенциал V уменьшается в e раз.