

Нервное возбуждение

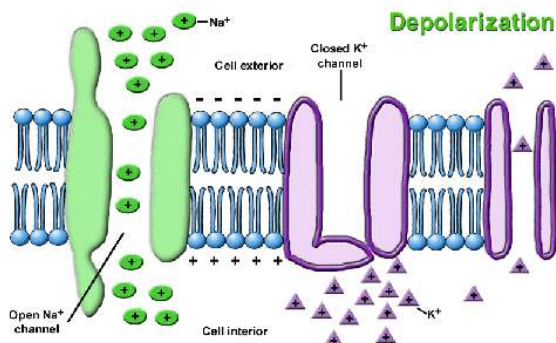
Условие

Задание 3. «Нервное возбуждение»

А. Ходжкин. и Э. Хаксли получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1963 г. «за открытия, касающиеся ионных механизмов, участвующих в возбуждении и торможении в периферическом и центральном участках мембраны нервной клетки».

Основой жизнедеятельности живых организмов, во многом, являются процессы, протекающие в мембранах клеток. В данной задаче вам необходимо рассмотреть некоторые подходы к описанию процесса возбуждения нервных клеток в рамках примитивной модели.

Основная идея теории возбуждения клетки заключается в описании процессов переноса ионов через мембрану. Проницаемость

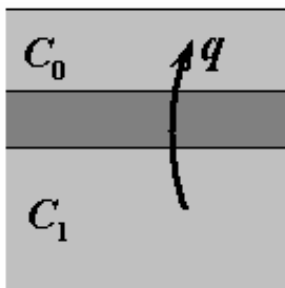


мембраны различна для различных ионов, кроме того в мембрану встроены большие белковые молекулы, играющие роль насосов, способных переносить ионы определенного типа с одной стороны мембраны на другую (затрачивая на это энергию). Благодаря наличию этих насосов – каналов, концентрации ионов различны с разных сторон от мембраны, и как следствие появляется разность электрических потенциалов между противоположными стенками мембраны.



Еще более упростим модель. Будем считать, что мембрана является плоскопараллельной пластинкой толщиной a . Снаружи клетки находится слой жидкости (воды) толщиной h_0 , а внутриклеточное пространство моделируется слоем жидкости толщиной h_1 . Диэлектрические проницаемости всех сред будем считать равными единице. Концентрации частиц вне клетки будем обозначать C_0 , а внутри - C_1 (при необходимости будем добавлять индексы, указывающие тип частиц).

1. Диффузия.



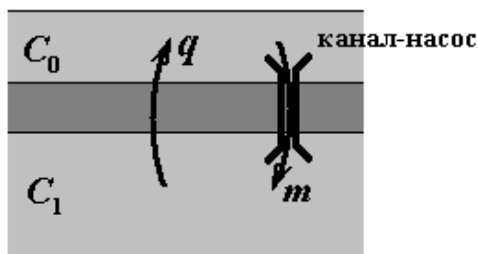
Рассмотрим движение незаряженных молекул через мембрану без «насосов» (считаем, что электрических зарядов в природе не существует). Плотность диффузионного потока частиц q (число частиц пересекающих единицу площади мембраны в единицу времени) пропорциональна разности концентраций этих частиц с противоположных сторон мембраны

$$q = g\Delta C \quad (1)$$

где g - коэффициент пропорциональности, который назовем проницаемостью мембраны для данных частиц.

Пусть в начальный момент времени концентрации рассматриваемых частиц с разных сторон мембраны различны. Оцените время, в течение которого концентрации частиц выравниваются.

2. Вынужденный перенос и диффузия.



Рассмотрим теперь мембраны в которую встроены каналы-насосы принудительно переносящие рассматриваемые молекулы внутрь клетки. Пусть эти каналы равномерно распределены по поверхности мембраны, причем на единицу площади приходится n каналов, каждый из которых переносит в единицу времени m молекул из внеклеточного пространства внутрь клетки.

Определите установившуюся разность концентраций $\Delta \bar{C} = C_0 - C_1$ между разными сторонами мембраны.

3. Электрическое поле.

Далее будем считать, что рассматриваемые частицы являются ионами калия K^+ . Пусть концентрация ионов вне клетки равна C_0 , а внутри нее C_1 . Найдите разность потенциалов³ между стенками мембраны $\Delta\varphi$, пренебрегая наличием ионов внутри мембраны.

4. Перенос ионов.

При наличии электрического поля помимо потока ионов через мембрану, обусловленного разностью концентрации, появляется поток ионов, обусловленный наличием электрического поля. В этом случае суммарная плотность потока ионов через мембрану определяется формулой

$$q = g\Delta C + bC_i\Delta\varphi, \quad (2)$$

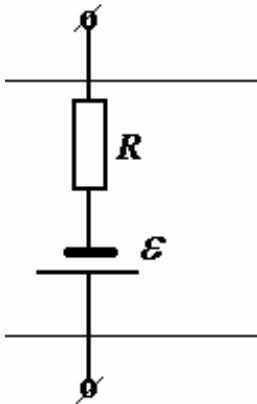
где $\Delta\varphi$ - разность потенциалом между стенками мембраны, C_i - концентрация ионов с той стороны мембраны, от которой начинается движение ионов через мембрану под действием

электрического поля (для положительных ионов со стороны большего потенциала).
Найдите установившуюся разность потенциалов между стенками мембраны.

3 3

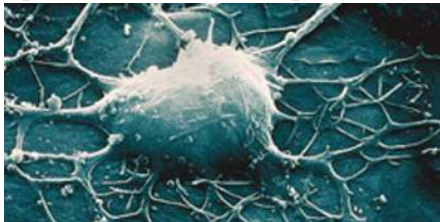
Используйте все характеристики мембраны, введенные в предыдущих пунктах. При равенстве концентраций с разных сторон от мембраны, эти концентрации равны C_e .

5. Эквивалентная схема. Процессы протекания тока через мембрану могут быть описаны с помощью эквивалентной электрической схемы. Свяжите параметры этой схемы ЭДС источника и сопротивление цепи с параметрами реальной мембраны и характеристиками ионных потоков.



6. Как показали *А. Ходжкин* и *Э. Хаксли* для объяснения возникновения нервных импульсов необходимо принимать во внимание, как минимум два типа ионов. Вторым основным типом ионов являются ионы натрия Na^+ . В мембране также присутствуют натриевые каналы – насосы, принудительно переносящие ионы натрия **из клетки наружу**. Будем считать, что для обоих типов ионов известны параметры эквивалентных схем R_K, ε_K и R_{Na}, ε_{Na} ($\varepsilon_{Na} > \varepsilon_K$). Пусть изначально все натриевые каналы закрыты, а затем в некоторый момент времени открываются на небольшой промежуток времени τ . Опишите, как будет изменяться разность потенциалов между стенками мембраны с течением времени. Постройте примерный график этой зависимости.

Если вы все решили правильно, то полученный график и будет моделировать временной ход нервного импульса!



³ В реальности внутри и вне клетки присутствуют ионы и других типов, которые также вносят свой вклад в создание поля. Однако их концентрации практически не изменяются поэтому основную роль играют потенциалы изменяющихся полей, создаваемых теми ионами, концентрации которых изменяются. Поэтому здесь и в дальнейшем принимаем во внимание только их и поля создаваемые ими.

⁴ Логичней, конечно задавать зависимость показателя преломления диэлектрика от интенсивности света в нем, но мы решили упростить вам жизнь.