

Биофизика клеточных мембран (8 баллов)

Если концентрация какого-либо иона внутри клетки отлична от концентрации этого иона снаружи и клеточная мембрана для него проницаема, то возникает поток заряженных частиц через мембрану. При этом нарушается электрическая нейтральность клетки и между внутренней и наружной поверхностями мембраны образуется разность потенциалов, препятствующая дальнейшему перемещению ионов. В конечном итоге поток ионов останавливается и наступает термодинамическое равновесие

1. Рассчитайте по формуле Нернста разность потенциалов на мембране некоторой клетки при температуре 36°C, если она определяется переносом ионов калия. (2 балла)

Концентрация калия внутри клетки равна $C_{\text{внут}} = 92$ ммоль/л, а снаружи – $C_{\text{внеш}} = 5$ ммоль/л.

2. Рассчитайте, какая доля ионов калия (%) должна перейти из клетки в межклеточную среду, чтобы создать такую разность потенциалов. (5 баллов)

Радиус клетки считать равным 5 мкм, толщину мембраны – 4 нм, диэлектрическая проницаемость липидов мембраны $\epsilon = 2,3$.

3. Рассчитайте напряженность электрического поля, под действием которого находится мембрана клетки. (1 балл)

Ответ.

1. По формуле Нернста потенциал между внутренней и внешней сторонами клеточной мембраны равен:

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{zF} \ln C_{\text{внут}} - \left(-\frac{RT}{zF} \ln C_{\text{внеш}} \right) = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{\text{внут}}}{C_{\text{внеш}}} = -\frac{8,314 \cdot (273 + 36)}{1 \cdot 96485} \ln \frac{92}{5} = -0,0775 \text{ В.}$$

2. 1) Рассчитаем емкость липидной мембраны

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot 4\pi r^2}{d} = \frac{2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 10^{-9}} = 1,60 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

2) Тогда величина заряда каждого знака на поверхности мембраны, если рассматривать ее как плоский конденсатор, равна $q = C\Delta\varphi = 0,0775 \cdot 1,60 \cdot 10^{-12} = 1,24 \cdot 10^{-13}$ Кл.

$$3) \text{ Что отвечает } \frac{q}{F} = \frac{1,24 \cdot 10^{-13}}{96485} = 1,29 \cdot 10^{-18} \text{ моль ионов.}$$

4) Тогда изменение концентрации составляет

$$\Delta C_{K^+} = \frac{q/F}{V} = \frac{q/F}{(4/3)\pi r^3} = \frac{1,29 \cdot 10^{-18}}{(4/3) \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^3} = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ моль/м}^3 = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ ммоль/л.}$$

5) Тогда доля ионов калия, перешедшая во внешнюю среду

$$\omega = \frac{2,46 \cdot 10^{-3}}{92} \cdot 100\% = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ \% .}$$

3. Напряженность электрического поля, под действием которого находится мембрана клетки, определяется разностью потенциалов между сторонами мембраны и толщиной данной мембраны:

$$|\vec{E}| = \frac{|q|}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{C|\Delta\varphi|}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S|\Delta\varphi|}{\varepsilon\varepsilon_0 Sd} = \frac{|\Delta\varphi|}{d} = \frac{0,0775}{4 \cdot 10^{-9}} = 1,94 \cdot 10^7 \text{ В/м (то есть 19,4 мегавольт на метр)}.$$