

5. БІОЛОГІЧНІ МЕМБРАНИ

5.1. Основні закони та формули

- Рівняння Фіка

$$\Phi = -D \frac{dc}{dx}$$

$$\Phi = P(C_e - C_i)$$

- Коефіцієнт проникності мембрани

$$P = \frac{D}{L} K$$

- Коефіцієнт розподілу речовини

$$K = \frac{C_{me}}{C_e} = \frac{C_{in}}{C_i}$$

- Рівняння Нернста-Планка

$$\bar{\Phi} = -D \frac{dc}{dx} + bc \frac{d\phi}{dx}$$

- Співвідношення Ейнштейна для рухливості іонів

$$b = \frac{DFz}{RT}$$

- Електрохімічний потенціал

$$\bar{\mu} = \mu_0 + RT \ln c + zF\phi$$

- Рівняння Теорелла

$$\bar{\Phi} = -\frac{Dc}{RT} \frac{d\bar{\mu}}{dx}$$

- Рівноважний концентраційний потенціал Нернста

$$\phi_e - \phi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i}{c_e}$$

- Мембранний потенціал Нернста для іонів калію

$$\phi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e}$$

- Дифузійний мембранний потенціал

$$\phi_e - \phi_i = \frac{b_+ - b_- RT}{b_+ + b_- zF} \ln \frac{c_i}{c_e}$$

- Потенціал Доннана

$$\phi_e - \phi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[P^-]_i}{2c_e}$$

- Стационарний потенціал Гольдмана-Ходжкіна-Катца

$$\varphi_m - \varphi_l = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_l + P_K [K^+]_l + P_{Cl} [Cl^-]_l}{P_{Na} [Na^+]_e + P_K [K^+]_e + P_{Cl} [Cl^-]_e}$$

- Відношення коефіцієнтів проникності неорганічних іонів для аксону кальмара

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45 \text{ (в спокої);}$$

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45 \text{ (в процесі деполяризації).}$$

- Рівняння Ходжкіна-Хакслі для потенціалу дії

$$\frac{r}{2\rho_a} \frac{d^2\Delta\varphi}{dx^2} = C \frac{d\Delta\varphi}{dt} + g_K n^4 (\Delta\varphi - \Delta\varphi_K^{pivn}) + g_{Na} m^3 h (\Delta\varphi - \Delta\varphi_{Na}^{pivn}) +$$

$$g_{відт} (\Delta\varphi - \Delta\varphi_{відт}^{pivn}).$$

$$P = \frac{1}{4} r^2 h^2$$

5.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Знайти товщину ліпідної частини мембрани якщо відомо, що питома електроємність $\left(\frac{C}{S}\right)$ у мембрані дорівнює $0,5 \cdot 10^{-2}$ Ф/м². Діелектрична проникність бішару дорівнює 4.

Дано:

$$\frac{C}{S} = 0,5 \cdot 10^{-2} \frac{F}{m^2}$$

$$\epsilon = 4$$

$$d = ?$$

Відповідь:

2. Стационарна різниця потенціалів складає 58 мВ при температурі 20°C. Чому вона стане рівною, якщо температуру збільшити на 15 К?

Відповідь:

3. Відношення концентрацій іонів калію по різні боки мембрани дорівнює 10, причому мембрана вибірково проникна для калію. При цьому виникає різниця потенціалів 60 мВ. Чому дорівнюватиме різниця потенціалів, якщо замінити іони калію іонами кальцію в тих самих концентраціях і зробити мембрану вибірково проникною для кальцію?

$$\Delta \varphi = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

$$60 \text{ мВ} = \frac{RT}{zF} \ln 10$$

$$\Delta \varphi = \frac{RT}{zF} \ln 10$$

Відповідь: _____

4. Потенціал спокою нерву кінцівки краба дорівнює 89 мВ. Чому дорівнює концентрація іонів калію всередині нерву, якщо ззовні вона складає 12 ммоль/л? Температуру прийняти рівною 20°C. Вважати, що потенціал спокою визначається лише іонами калію.

Відповідь: _____

5. Знайдіть рівноважний концентраційний мембранний потенціал при фізіологічних температурах, якщо відношення концентрацій натрію ззовні і всередині клітини: а) 1:1; б) 10:1; в) 100:1.

Відповідь: _____

6. Концентрація іонів (ммоль/л) між двома сторонами мембрани в м'язі жаби має наступні значення: Na (120/9,2), K (2,5/140), Cl (120/3,4), де цифри відносяться до зовнішньої/внутрішньої сторін мембрани. Визначити різницю потенціалів на мембрані у випадку пасивного транспорту кожного типу іонів. Температура 27°C. Вважати, що проникності іонів у спокої відносяться як $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,5$.

Відповідь: _____

7. Концентрація калію, натрію і хлору для гігантського аксона кальмара зовні мембрани складає відповідно 10,4; 463; 592 ммоль/л, а всередині 340; 49; 114 ммоль/л. 50% іонів калію всередині було замінено натрієм. Розрахуйте величину мембранного потенціалу спокою при температурі 25°C.

Відповідь: _____

8. Отримати рівняння Теорелла з рівняння Шернста-Планка.

9. Узагальнити формулу для стаціонарного потенціалу при урахуванні активного транспорту іонів K^+ та Na^+ за рахунок роботи $Na^+ - K^+ -$ АТФази.

10. Навести основні положення (формули) теорії генерації і розповсюдження потенціалу дії, за яку Ходжкін і Хакслі отримали Нобелівську премію.

5.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

1. Основу структури біологічних мембран складають:

- а) шар білків;
- б) вуглеводи;
- в) бішар фосфоліпідів;
- г) амінокислоти;
- д) подвійна спіраль ДНК.

2. Дифузію незаряджених частинок через мембрану описує рівняння:

а) $\Phi = -D \frac{dc}{dx} - bc \frac{d\varphi}{dx}$;

б) $\Phi = -\frac{Dc}{RT} \frac{d\mu}{dx}$;

в) $P = \frac{D}{L} K$;

г) $\Phi = P(\bar{c}_e - c_i)$;

д) $\Phi = -cb \frac{d\varphi}{dx}$.

3. В'язкість ліпідного шару мембран при фізіологічній температурі приблизно дорівнює:

а) 10^{-3} Па·с;

б) $5 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

в) 10^{-2} Па·с;

г) $5 \cdot 10^{-1}$ Па·с;

д) 1 Па·с.

4. Латеральною дифузією молекул в мембранах називається...

- а) обертальний рух молекул;
- б) перенос молекул поперек мембрани – з одного моно шару в інший;
- в) перенесення молекул вздовж площини мембрани;
- г) активний транспорт молекул через мембрану;
- д) пасивний транспорт молекул через мембрану.

5. Рівняння Нернста-Планка показує, що...

- а) потенціал спокою виникає в результаті активного транспорту;
- б) головна роль у виникненні потенціалу спокою належить іонам калію;
- в) мембрани мають вибіркочу проникність;
- г) перенос іонів визначається нерівномірністю їх розподілу (градієнтом концентрації) і дією електричного поля (градієнтом потенціалу);
- д) коефіцієнт проникності речовин через мембрану визначається їх рухливістю.

6. Коефіцієнтом розподілу речовини називається...

- а) відношення концентрації катіонів всередині клітини і зовні;
- б) співвідношення концентрацій досліджуваної речовини в оточуючому клітину водному середовищі та в цитоплазмі;
- в) рівноважне співвідношення концентрацій досліджуваної речовини безпосередньо поблизу мембрани в об'ємі оточуючого клітину середовища;
- г) параметр, що характеризує швидкість проникнення речовин через мембрану;
- д) співвідношення концентрацій катіонів і аніонів всередині біологічної мембрани.

7. Активний транспорт іонів здійснюється за рахунок...

- а) енергії, яка виділяється при гідролізі АТФ;
- б) електродифузії іонів;
- в) латеральної дифузії молекул в мембрані;
- г) переносу іонів через мембрану за допомогою молекул-переносників;
- д) процесів дифузії через канали.

8. Вкажіть, при яких умовах пасивний транспорт катіонів через мембрану може відбуватися з розчину, де їх концентрація більше, в розчин з меншою концентрацією:

- а) при наявності в мембрані інтегральних білків;
- б) якщо мембрана має вибіркочу проникність для катіонів;
- в) якщо в'язкість мембрани низька;
- г) при наявності градієнта температури;
- д) під дією градієнтів електричного потенціалу та концентрації.

9. Вкажіть, за яких умов при розв'язку диференціального рівняння $\Phi = D \left(\frac{dc}{dx} + \frac{zFc}{RT} \frac{d\phi}{dx} \right)$ (рівняння Нернста-Планка) можна отримати рівняння $\phi_c - \phi_1 = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_1}{c_c}$ (рівняння Нернста)?

- а) якщо $D = 0$;
- б) якщо мембрана проникна лише для одного типу іонів і для цих іонів $\Phi = 0$;
- в) якщо мембрана однаково проникна для катіонів і аніонів;
- г) якщо градієнт концентрації і градієнт потенціалу дорівнюють нулю;
- д) якщо градієнт концентрації дорівнює нулю.

10. Вихідна частина потенціалу дії обумовлена, головним чином, високою вибірковою проникністю для іонів...

- а) Na і K;
- б) Cl;
- в) K;
- г) K і Cl;
- д) Na.

Таблиця відповідей на тестові завдання

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

5.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика	Формула
1) потік речовини	а) $\frac{dc}{dx}$
2) коефіцієнт проникності	б) $\frac{DK}{L}(c_1 - c_2)$
3) градієнт концентрації	в) $\frac{d\phi}{dx}$
	г) $\frac{DK}{L}$

1)	
2)	
3)	

2. Співвідношення між ... визначається за формулою:

1) напруженість поля та градієнтом потенціалу	а) $j = \gamma E$
2) потоком та густиною потоку речовини	б) $b = \frac{DFz}{RT}$
3) рухливість та напруженість електричного поля	в) $j = \frac{\phi}{s}$
4) густиною струму та напруженість електричного поля	г) $b = \frac{v}{s}$
	д) $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$

1)	
2)	
3)	
4)	

3.

Величина	Одиниці вимірювання
1) коефіцієнт проникності	а) м/с
2) коефіцієнт дифузії	б) м ² /В·с
3) рухливість	в) л/м·с
4) коефіцієнт розподілу речовини	г) м ² /с
	д) безрозмірна величина

1)	
2)	
3)	
4)	

4.

1) проста відбувається	дифузія	а) за участю інтегральних білків
2) полегшена відбувається	дифузія	б) через ліпідний шар
3) дифузія відбувається	іонів при активному транспорті	в) за рахунок хімічної енергії
		г) за допомогою переносника

1)	в
2)	б
3)	в

5.

1) пасивний відбувається	транспорт	а) за участю іонофорів
2) активний відбувається	транспорт	б) при наявності зовнішнього електричного поля
3) полегшена відбувається	дифузія	в) за участю калій-натрієвого насосу
		г) без витрат енергії

1)	а
2)	б
3)	в

6.

1) величина спокою підпорядковується	потенціалу іонів	а) рівнянню Ходжкіна-Хакслі
2) дифузія підпорядковується	іонів	б) рівнянню Нернста-Планка
3) дифузія незаряджених частинок підпорядковується		в) рівнянню Гольдмана-Ходжкіна-Катца
4) розповсюдження потенціалу дії підпорядковується		г) рівнянню Ейнштейна
		д) рівнянню Фіка

1)	а
2)	б
3)	в
4)	г

7. Коефіцієнт проникності мембрани для аксона кальмара ... дорівнює:

1) в спокої	а) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 20:0,45:1$
2) при деполяризації	б) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 0,04:1:0,45$
	в) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 0,04:0,45:1$

1)	
2)	

8. Рівняння Теоретла записується $\Phi = -\frac{Dc d\mu}{RT dx}$, де...

1) Φ	а) дорівнює 8,31 Дж/моль·К
2) D	б) концентрація
3) R	в) опір
4) $\frac{d\mu}{dx}$	г) потік речовини
5) c	д) градієнт електрохімічного потенціалу
	е) коефіцієнт дифузії

1)	
2)	
3)	
4)	
5)	

9. Динамічними властивостями мембрани є...

1) сегментальна рухливість	а) стрибкоподібний послідовний обмін місцями молекул фосфоліпідів в площині мембрани
2) обертальна рухливість	б) перехід фосфоліпідів на інший бік бішару
3) латеральна рухливість	в) рух гідрофобних хвостів фосфоліпідів
4) перехід фліп-флоп	г) хаотичний тепловий рух фосфоліпідів
	д) рух фосфоліпідів навколо власної осі

1)	
2)	
3)	
4)	

10. Потік іонів при виникненні потенціалу дії відбувається...

1) I фаза деполіризації	а) іони K виходять назовні
2) II фаза реполіризації	б) іони K входять в середину клітини
	в) іони Na входять в середину клітини

1)	
2)	