

EXERCÍCIOS

1) Uma célula possui as seguintes concentrações iônicas: Na^+ extracelular: 150 mM, Na^+ intracelular: 15 mM, K^+ extracelular: 5 mM, K^+ intracelular: 100 mM.

Calcule o potencial de equilíbrio de cada um desses dois íons. Sabendo que a condutância do potássio é 20 vezes maior que a do sódio, calcular o potencial de membrana resultante. Qual dos dois íons contribuiu mais para o potencial final. Porque?

2) Duas células e possuem o mesmo nível de condutância para cloreto e potássio. A célula A possui as seguintes concentrações intracelulares: K^+ : 100 mM, Cl^- : 10 mM. A célula B possui as seguintes concentrações intracelulares: , K^+ : 10 mM, Cl^- : 100 mM. As duas células são colocadas em uma solução extracelular com as seguintes concentrações: Na^+ : 150 mM, K^+ : 5 mM, Cl^- : 155 mM. Qual célula terá o maior fluxo iônico e porque? Quais íons irão se mover? Em qual direção? Qual será o potencial de membrana nos dois casos?

3) Uma célula é parcialmente permeável a potássio e cloreto. Os potenciais de equilíbrio de potássio e cloreto são respectivamente -90 e -60 mV e o potencial de repouso da membrana é -70 mV. Essa célula é mais permeável ao potássio ou ao cloreto? Em que proporção? Um experimentador aplica uma droga no líquido extracelular onde a célula está mergulhada. Essa droga interage com os canais para potássio. Por efeito da droga, o potencial de membrana cai para -85 mV. Como e de quanto ela mudou a condutância para potássio?

4) Uma célula possui as seguintes concentrações iônicas: Na^+ extracelular: 150 mM, Na^+ intracelular: 15 mM, K^+ extracelular: 5 mM, K^+ intracelular: 100 mM, Cl^- extracelular: 100 mM, Cl^- intracelular: 10 mM. Sabendo que a condutância do potássio é 4 vezes maior que a do cloreto, e sabendo que a condutância do cloreto é 5 vezes maior que a do sódio, calcular o potencial de membrana resultante.

5) Uma célula artificial possui as seguintes concentrações iônicas intracelulares: Na^+ : 150 mM, Cl^- : 100 mM, Aníons orgânicos: 50 mM. A membrana artificial da célula foi gerada colocando exclusivamente canais para cloreto. Suponhamos que a célula está mergulhada em uma solução com as seguintes concentrações iônicas: Na^+ : 5 mM, K^+ : 35 mM, Cl^- : 40 mM. Depois que a célula for colocada nessa solução, quais entre os quatro íons mencionados acima irão se deslocar através da membrana? Em qual direção? Isso vai gerar um potencial de membrana? Se isso for o caso, qual será seu valor?

6) Duas células possuem potencial de membrana diferentes. A célula A tem potencial igual a -80 mV, enquanto a célula B tem potencial igual a -60 mV. Suponhamos que a condutância para sódio e cloreto sejam muito baixas e desprezáveis. Suponhamos que as concentrações intra e extracelulares sejam diferentes, sendo o potássio mais concentrado internamente, enquanto o cloreto e o sódio externamente. No entanto, os gradientes de concentração dos três íons são os mesmos, se as duas células forem comparadas. Qual das duas células possui maior condutância ao potássio? A célula mais permeável, quantas vezes é mais permeável comparada com a outra?

7) Dois compartimentos (intracelular e extracelular), separados por uma membrana, possuem as mesmas concentrações iônicas: K^+ =100 mM, Cl^- =100 mM. Suponhamos que a membrana é permeável exclusivamente ao potássio. Qual é o potencial de membrana estabelecido? Suponhamos que uma certa quantidade de KCl é adicionada no compartimento extracelular, e por isso, suas concentrações se tornam K^+ =150 mM, Cl^- =150 mM. Qual será o novo potencial estabelecido?

8) Uma célula nervosa tem potencial de membrana de -73 mV.

As concentrações iônicas do ambiente intracelular e extracelular são as seguintes:

Concentrações (mM)

Ions	Intracelular	Extracelular
K ⁺	120	4,4
Na ⁺	18	145
Cl ⁻	10	102

- a- Como muda o potencial de membrana se a concentração extracelular de potássio aumentar para 10 mM?
- b- Como muda o potencial de membrana se a concentração extracelular de sódio aumentar para 200 mM?
- c- Como muda o potencial de membrana se a concentração extracelular de cloreto aumentar para 150 mM?
- 9)** Uma célula só é permeável ao Cloreto. Sabendo que a concentração deste íon no meio intracelular é de 14,5 mM, qual é a concentração extracelular se o potencial de membrana é -70 mV?
- 10)** Uma célula só é permeável aos íons K⁺ e Cl⁻. O potencial de membrana é igual ao potencial de equilíbrio do potássio que é igual ao potencial de equilíbrio do cloreto ($V_m = E_K = E_{Cl} = -83,5 \text{ mV}$). Sabendo que as concentrações destes íons no meio extracelular são, respectivamente, 5 e 125 mM, quais serão as concentrações intracelulares? Nessas condições, será maior o fluxo de potássio o de cloreto?
- 11)** Uma membrana sintética permeável aos íons K⁺ e Cl⁻, separa dois compartimentos de igual volume. Os dois compartimentos são preenchidos com as soluções seguintes : 1) KA e KCl 10 mM e 10 mM; 2) KA e KCl 5 mM e 15 mM (A é um ânion de natureza proteica não-difusível através da membrana). Observa-se o aparecimento de um potencial membrana? Em caso afirmativo, qual será o valor ?

RESPOSTAS

1)

$$E_{\text{Na}} = 0,02673 \ln \frac{150}{15} = 0,0615 \text{ V} = 62 \text{ mV}$$

$$E_{\text{K}} = 0,02673 \ln \frac{5}{100} = -0,080 \text{ V} = -80 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{-80 + 62 \times 0,05}{1 + 0,05} = -73,4$$

2)

Célula A

$$E_{\text{K}} = 0,02673 \ln \frac{5}{100} = -0,061 \text{ V} = -61 \text{ mV}$$

$$E_{\text{Cl}} = -0,02673 \ln \frac{155}{10} = -0,073 \text{ V} = -73 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{-61 - 73}{2} = -67$$

Célula B

$$E_{\text{K}} = 0,02673 \ln \frac{5}{10} = -0,018 \text{ V} = -18 \text{ mV}$$

$$E_{\text{Cl}} = -0,02673 \ln \frac{155}{100} = -0,011 \text{ V} = -11 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{-18 - 11}{2} = -14,5$$

Nos dois casos, são o cloreto e potássio que se movem. Como eles possuem a mesma condutância, podemos calcular o potencial de membrana realizando uma média simples dos potenciais de equilíbrio. O potássio se move para fora da célula, enquanto o cloreto se move para dentro.

Na célula A o fluxo iônico é muito maior, pois tanto no caso do potássio quanto no caso do cloreto, a diferença de concentração entre fluido intra e extracelular é maior, em comparação com a célula B.

3)

As condutâncias de potássio e cloreto (g_K e g_{Cl}) não são conhecidas. Como nosso objetivo é saber em que proporção as duas condutâncias diferem, podemos expressar elas dessa forma:

$$g_K = X g_{Cl}$$

Onde X é o termo de proporção. K^+ é X vezes mais permeável do Cl^-

Sabemos que o potencial de membrana de repouso é calculado como:

$$V_m = \frac{E_K g_K + E_{Cl} g_{Cl}}{g_K + g_{Cl}}$$

Onde E_K e E_{Cl} são os potenciais de equilíbrio de potássio e cloreto.

Podemos expressar g_K em função de g_{Cl}

$$V_m = \frac{E_K X g_{Cl} + E_{Cl} g_{Cl}}{X g_{Cl} + g_{Cl}} \quad V_m = \frac{g_{Cl} (E_K X + E_{Cl})}{g_{Cl} (X + 1)} \quad V_m = \frac{\cancel{g_{Cl}} (E_K X + E_{Cl})}{\cancel{g_{Cl}} (X + 1)}$$

$$V_m = \frac{E_K X + E_{Cl}}{(X + 1)} \quad (X + 1) V_m = E_K X + E_{Cl} \quad X V_m + V_m = E_K X + E_{Cl}$$

$$X V_m - E_K X = E_{Cl} - V_m \quad X (V_m - E_K) = E_{Cl} - V_m$$

$$X = \frac{E_{Cl} - V_m}{V_m - E_K}$$

Colocando na formula os valores de E_K , E_{Cl} e V_m :

$$X = \frac{-60 + 70}{-70 + 90} = \frac{10}{20} = 0,5$$

O K^+ é **0,5** vezes mais permeável que o Cl^- . Isso significa que o Cl^- é **2** vezes mais permeável do K^+

Ao fim de obter o efeito da droga sobre a condutância para o potássio, repetimos o mesmo raciocínio considerando porém $V_m = -85$ mV, e considerando que, depois da ação da droga, o potássio terá uma nova condutância ($g_K = X_1 g_{Cl}$)

Colocando os valores na fórmula:

$$X_1 = \frac{-60 + 85}{-85 + 90} = \frac{25}{5} = 5$$

O K^+ é **5** vezes mais permeável do que o Cl^-

Por efeito da droga, a condutância do potássio passou de ser 0,5 (em relação à condutância do cloreto) para 5, portanto ela aumentou 10 vezes.

4)

Calculamos os potenciais de equilíbrio dos íons usando a equação de Nernst:

$$E_{Na} = 0,02673 \ln \frac{150}{15} = -0,062 \text{ V} = 62 \text{ mV}$$

$$E_K = 0,02673 \ln \frac{5}{100} = -0,080 \text{ V} = -80 \text{ mV}$$

$$E_{Cl} = -0,02673 \ln \frac{100}{10} = -0,061 \text{ V} = -61 \text{ mV}$$

Calculamos o potencial de membrana de repouso realizando uma média ponderada que leva em contas as diferenças de condutância:

$$V_m = \frac{-80 + 62 \times 0,05 - 61 \times 0,25}{1 + 0,05 + 0,25} = -70$$

5)

$$V_m = E_{Cl} = -0,02673 \ln \frac{40}{100} = 0,024 \text{ V} = 24 \text{ mV}$$

O único íon que pode se deslocar é o cloreto. Como há diferenças de concentrações entre fluido intra e extracelular, será gerado um potencial de membrana igual ao potencial de equilíbrio. Sendo o cloreto mais concentrado no espaço intracelular, ele tende a sair da célula até alcançar o potencial de equilíbrio de 24 mV.

6)

As duas células são só permeáveis ao potássio, portanto o potencial de membrana de cada célula só pode ser igual ao de equilíbrio do potássio relativo à mesma célula. Se a condutância para o potássio das duas células fosse igual, as células deveriam ter o mesmo potencial de membrana, igual ao potencial de equilíbrio do potássio. Nesse caso, porém, a célula A possui necessariamente condutância maior e o potencial de membrana já tornou-se igual ao potencial de equilíbrio do potássio, em quanto a célula B possui condutância menor e o potencial de membrana está em transição para se tornar igual ao potencial de equilíbrio do potássio.

7)

Por convenção calculamos a diferença de potencial entre intracelular e extracelular: $V_m = V_{int} - V_{ext}$

$$E_k = 0,02673 \ln \frac{K^+_{ext}}{K^+_{int}}$$

$$E_k = 0,02673 \ln \frac{100}{100} = 0 \text{ mV} \quad \text{Nenhum potencial é estabelecido}$$

$$\text{Na nova situação: } E_k = 0,02673 \ln \frac{150}{100} = -0,0108 \text{ V} = -10,7 \text{ mV}$$

8)

Resposta a
$$E_k = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_{Ext}}{[K^+]_{Int}}$$

$$E_k = 0,02567 \ln \frac{10}{120} = -0,0028 \text{ V} = -64 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

$$V_m = \frac{-64 + 0,04 \times 53 + 0,45 \times -60}{1,49} = -59 \text{ mV}$$

Resposta b
$$E_{Na} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Na^+]_{Ext}}{[Na^+]_{Int}}$$

$$E_{Na} = 0,02567 \ln \frac{200}{18} = 0,062 \text{ V} = 62 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

$$V_m = \frac{-85 + 0,04 \times 62 + 0,45 \times -60}{1,49} = -73 \text{ mV}$$

8)

Resposta c

$$E_{Cl} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Cl^-]_{Ext}}{[Cl^-]_{Int}}$$

$$E_{Cl} = -0,02567 \ln \frac{150}{10} = 0,072 \text{ V} = -72 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

$$V_m = \frac{-85 + 0,04 \times 53 + 0,45 \times 72}{1,49} = -50,5 \text{ mV}$$

9)
$$E_{Cl} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Cl^-]_{Ext}}{[Cl^-]_{Int}}$$

R = constante dos gases = 8.3143 J/mol K
 F = constant de Faraday = 96485 C/mol
 T = Temperatura = 298 K
 z = Valencia do ion = -1

$$-0,07 = -0,02567 \ln \frac{[Cl^-]_{Ext}}{14,5} \quad 2,7269 = \ln \frac{[Cl^-]_{Ext}}{14,5}$$

$$\frac{[Cl^-]_{Ext}}{14,5} = 2,71^{\frac{-0,07}{-0,02567}} \quad [Cl^-]_{Ext} = 14,5 * 2,71^{2,73}$$

$$[Cl^-]_{Ext} = 14,5 * 15,205 = 220,47$$

$$[Cl^-]_{Ext} = 220,47 \text{ mM}$$

10)
$$E_k = 0,02567 \ln \frac{5}{[K^+]_{Int}} = -0,0835 \quad -\ln \frac{5}{[K^+]_{Int}} = 3,25$$

$$[K^+]_{Int} = 5 e^{3,25} \quad [K^+]_{Int} = 129,2 \text{ mM}$$

$$E_{Cl} = -0,02567 \ln \frac{125}{[Cl^-]_{Int}} = -0,0835 \quad \ln \frac{125}{[Cl^-]_{Int}} = 3,25$$

$$\frac{125}{[Cl^-]_{Int}} = e^{3,25} \quad [Cl^-]_{Int} = 4,83 \text{ mM}$$

Como os dois íons estão no potencial de repouso o fluxo é nulo para os dois.

11)

Por convenção, medimos a diferença de potencial do compartimento 2 em relação ao compartimento 1, sendo o potencial de membrana

$$V_m = V_2 - V_1$$

$$E_K = 0,02567 \ln \frac{5}{10} = -0,0177 \text{ V} = 17,7 \text{ mV}$$

$$E_{Cl} = -0,02567 \ln \frac{15}{10} = -0,0102 \text{ V} = 10,2 \text{ mV}$$

$$V_m = \frac{g_K E_K + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Cl}} \quad V_m = \frac{17,47 + 0,45 \cdot 10,2}{1 + 0,45}$$

$$V_m = 15,21 \text{ mV}$$