

## Ejercicios complementarios: CÉLULAS EXCITABLES

- 1) ¿Qué debe asumirse respecto a las corrientes iónicas que atraviesan una membrana para deducir la Ecuación de Goldman, Hodgkin y Katz (GHK) para el potencial de membrana (versión eléctrica)? Haga la deducción asumiendo que los iones involucrados son  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .
- 2) Se aplica un pulso despolarizante en una célula y el potencial de membrana aumenta un 50% respecto de su valor de reposo. Si el potencial de reposo es de  $V_r = -40\text{mV}$ , ¿qué valor habrá alcanzado el potencial de membrana luego de transcurrido un tiempo  $t = 2\tau$  de retirado el estímulo?
- 3) Una célula excitable experimenta un estímulo subumbral que modifica levemente su potencial de membrana. ¿Cuánto tiempo después de iniciado el estímulo (en relación con la constante de tiempo) el cambio en el potencial de membrana alcanza el 95% de su valor final?

Suponga que el estímulo de corriente es rectangular y dura lo necesario para que el ejercicio sea razonable.

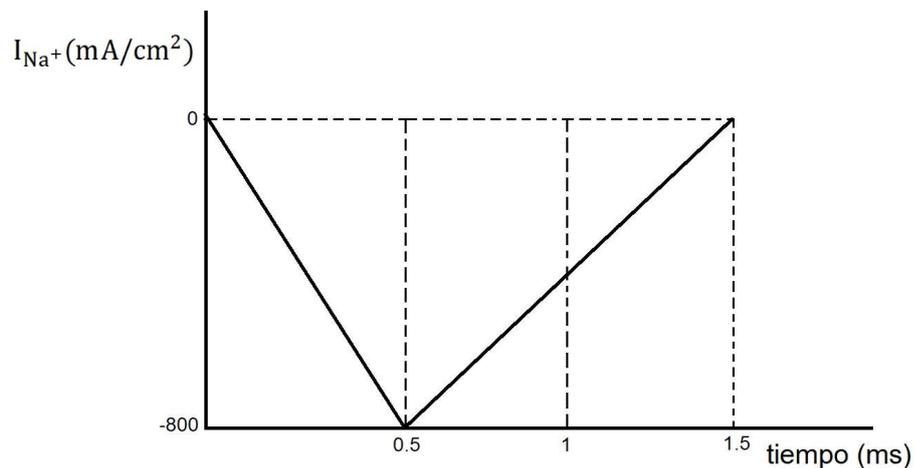
**Nota:**  $\ln(0,05) \approx -3$

- 4) Una membrana excitable experimenta un estímulo supraumbral de forma que se desencadena un potencial de acción sin propagación. En el momento en el que se alcanza el máximo potencial de membrana, las conductancias de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  valen:  $G_{\text{Na}^+} = 500 \text{ mS/cm}^2$  y  $G_{\text{K}^+} = 10 \text{ mS/cm}^2$ . Teniendo en cuenta que los potenciales de equilibrio de ambos iones son  $E_{\text{Na}^+} = 60 \text{ mV}$  y  $E_{\text{K}^+} = -90 \text{ mV}$ , determine la densidad de corriente debida al sodio y la densidad de corriente debida al potasio.
- 5) En una célula esférica de  $5 \mu\text{m}$  de radio cuyo potencial de reposo  $V_{rest} = -90\text{mV}$ , se genera un estímulo despolarizante que lleva el potencial de membrana a  $-60\text{mV}$ . Calcular:
  - a. el cambio en la cantidad de carga por unidad de superficie de membrana
  - b. el cambio en la cantidad total de carga de la membrana.

Datos:  $C_m = 1 \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2}$ ; superficie de la esfera =  $4\pi r^2$

6) Una porción de un axón gigante de calamar cursa un potencial de acción en condiciones de no propagación (esto implica que la corriente iónica y la capacitiva son iguales y opuestas).

- a. ¿Cuál es la carga neta transportada por los iones involucrados desde el inicio hasta el final del potencial de acción (es decir, cuando el potencial de membrana vuelve al valor de reposo).
- b. Suponiendo que los únicos iones involucrados son el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$  calcule, utilizando la siguiente gráfica aproximada, la carga total por unidad de superficie transportada por cada ión durante la duración del potencial de acción (recuerde respetar alguna convención de signo, por ejemplo que el flujo de cationes es positivo cuando es saliente).



7) Usando el análogo eléctrico del modelo de Hodgkin y Huxley (con conductancias variables) para el potencial de acción sin propagación en el espacio:

- a. Muestre que si en un momento se comprueba que la corriente de sodio supera en valor absoluto a la de potasio (es decir, si  $|I_{\text{Na}^+}| > |I_{\text{K}^+}|$ ), entonces **ya se superó el umbral del potencial de acción**. Para esto suponga que antes del umbral la membrana se comporta igual que para la respuesta electrofisiológica, y que la corriente de *leakage* es despreciable.
- b. Al llegar al potencial umbral, ¿Cómo son las corrientes de sodio y potasio?
- c. A partir de este resultado obtenga una fórmula para el potencial umbral y determine si podríamos alcanzarlo en el caso de que las conductancias fueran fijas (modelo de análogo eléctrico simple) suponiendo que los

potenciales de equilibrio no llegan a cambiar en el intervalo de tiempo estudiado.

8) Se sabe que durante el potencial de acción, el valor del potencial de membrana crece desde un valor de reposo de  $-60\text{mV}$  hasta un máximo de  $+50\text{mV}$  y luego decrece hasta un alcanzar un valor mínimo de  $-71\text{mV}$ .

a. Usando el análogo eléctrico observe que en estos puntos vale

$$V_m = \frac{G_K E_K + G_{Na} E_{Na}}{G_K + G_{Na}}$$

b. Demuestre que si  $G_K = \lambda G_{Na}$ , entonces en estos puntos vale

$$V_m = \frac{E_{Na} + \lambda E_K}{1 + \lambda}$$

o, equivalentemente, demuestre que

$$\lambda = \frac{E_{Na} - V_m}{V_m - E_K}$$

c. Suponiendo que los valores de  $E_K$  y  $E_{Na}$  no varían sustancialmente durante el potencial de acción, que  $E_K = -72\text{mV}$ , y que en reposo la conductancia de potasio suele ser 10 veces mayor que la de sodio, calcule la relación de la conductancia de potasio con respecto a la de sodio en los casos extremos mencionados.