

TEMA 09 – Propiedades de la membrana en reposo

POTENCIAL DE MEMBRANA

- Con los electrodos fuera de la célula no hay diferencia de voltaje.
- Introduciendo un electrodo en el interior del citoplasma revela (en esta célula) un potencial de membrana de -67mV. El citoplasma es negativo en relación al medio extracelular.

POTENCIAL DE MEMBRANA Y EXCITABILIDAD CELULAR

- La mayoría de las células del cuerpo humano mantienen una **diferencia de potencial** eléctrico (voltaje) a través de la membrana, negativo en el citoplasma y positivo en el espacio extracelular.
- Algunos tipos celulares son **excitables**, responden a estímulos físicos o químicos, generando impulsos eléctricos que se transmiten a lo largo de sus membranas.

Ej: receptores sensoriales, neuronas, células musculares...

GRADIENTES QUÍMICOS

Diferencias en **composición química** entre **líquidos extracelular e intracelular**.

Líquido extracelular		Líquido intracelular
Na ⁺	142	10
K ⁺	4	140
Ca ²⁺	2,4	0,0001
Mg ²⁺	1,2	58
Cl ⁻	103	4
HCO ₃ ⁻	28	10
Fosfato	4	75
		mEq/L

BASES IÓNICAS DEL POTENCIAL DE MEMBRANA

- La bicapa lipídica es impermeable al paso de iones desde el interior de la célula al exterior y viceversa.
- Los iones pueden atravesar la membrana a través de canales iónicos.

CAMBIOS EN EL POTENCIAL TRANSMEMBRANA

- El potencial transmembrana aumenta o disminuye:
 - En respuesta a cambios temporales en la permeabilidad de la membrana.
 - Resulta de la apertura o cierre de canales específicos en la membrana.

CANALES DE SODIO Y POTASIO

- La permeabilidad de la membrana al Na⁺ y al K⁺ determina el potencial transmembrana.
- Los canales de sodio y potasio son tanto **pasivos** como **activos**.

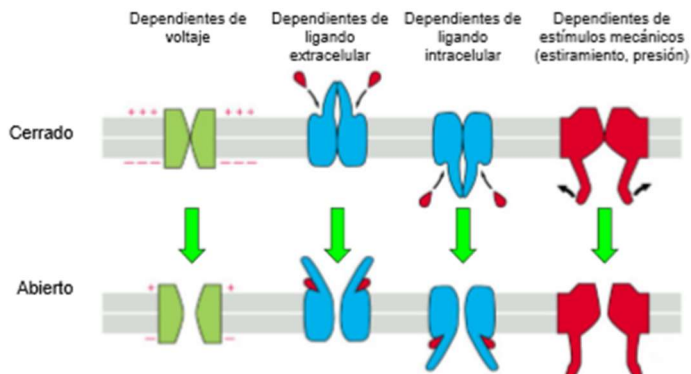
CANALES PASIVOS

- También denominados **canales de "fuga"**.
- La permeabilidad cambia con las condiciones.
- Son responsables de que la permeabilidad (P) al P_K >> P_{Na} y P_{Cl}

CANALES PASIVOS O FUGA

- Alternan al azar entre las posiciones abierta y cerrada.
- Participan en el mantenimiento del potencial de membrana:
 - Muchos más canales pasivos para el K⁺ que para el Na⁺
 - Permeabilidad de la membrana mayor para el K⁺ que para el Na⁺

CANALES IÓNICOS ACTIVOS



POTENCIAL DE DIFUSIÓN

El potencial de difusión de un ión es la diferencia de potencial que genera en la membrana al difundir a favor de un gradiente de concentración.

Gradiente eléctrico

POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPOSO

La cantidad de K⁺ que se mueve es importante:

- Si el K⁺ difunde hacia fuera de la célula **¿Por qué no cambia su concentración?**
 - Porque se mueve tan poco que no se puede detectar químicamente.
 - En esta región de la célula, el movimiento de cantidad muy pequeña de iones provoca un gran cambio en el voltaje. Hasta obtener -94 mV la concentración de K⁺ disminuiría a 139'9999mM. Esta variación 0'00001 mM es químicamente indetectable y no afecta significativamente el potencial de Nerst calculado.

GRADIENTES ELECTROQUÍMICOS

- En el potencial de reposo normal, el gradiente eléctrico se opone al gradiente químico del potasio (K⁺). El gradiente electroquímico neto empuja a los iones hacia fuera de la célula.
- Si la membrana celular fuera permeable SÓLO a los iones potasio, la salida de K⁺ continuaría hasta que se alcanzara el potencial de equilibrio.
- En el potencial de reposo normal, el gradiente eléctrico y el gradiente químico del sodio (Na⁺) cooperan para introducir sodio dentro de la célula.
- Si la membrana celular fuera permeable SÓLO a los iones sodio, la entrada de Na⁺ continuaría hasta alcanzar el potencial de equilibrio. Los gradientes químico y eléctrico serán de iguales pero de dirección opuesta y no habrá movimiento neto de Na⁺ a través de la membrana.

POTENCIAL DE EQUILIBRIO

- 1) La concentración de K⁺ intracelular es 35 veces mayor que la extracelular.
- 2) La membrana es permeable es permeable al K⁺, pero no a los fosfatos (del ATP) ni a las proteínas intracelulares (Prot⁻).
- 3) La fuga de K⁺ deja un exceso de cargas negativas en la cara interna de la membrana.
- 4) La difusión de K⁺ cesa cuando se alcanza un potencial de -94mV. La carga positiva externa frena la salida de K⁺.

* El potencial de membrana se opone a la tendencia de la difusión a seguir la diferencia de concentración.

* En el equilibrio electroquímico, las fuerzas impulsoras química y eléctrica que actúan sobre un ión son iguales y opuestas y no hay difusión.

ECUACIÓN DE NERST

Potencial de membrana que equilibraría exactamente el gradiente de difusión e impediría el movimiento neto de un ión en particular.

$$E_x = \frac{61}{z} \log \frac{[X_e]}{[X_i]}$$

E_x = Potencial de equilibrio en milivoltios (mV) para el ión X
 X_e = concentración del ión en el exterior de la célula
 X_i = concentración del ión en el interior de la célula
 z = Valencia del ión (+1 para el Na⁺ o K⁺)

$$E_K = \frac{61}{1} \log \frac{[5 \text{ mM}]_e}{[150 \text{ mM}]_i} = -94 \text{ mV}$$

$$E_{Na} = \frac{61}{1} \log \frac{[145 \text{ mM}]_e}{[12 \text{ mM}]_i} = +66 \text{ mV}$$

$$E_{Cl} = \frac{61}{-1} \log \frac{[103 \text{ mM}]_e}{[4 \text{ mM}]_i} = -86 \text{ mV}$$

ECUACIÓN DE GOLDMAN

- Cuando una membrana es permeable a varios iones diferentes, se puede calcular el **potencial de difusión conjunto** teniendo en cuenta varios factores:

- **Concentraciones** de cada ión dentro y fuera de la membrana.
- **Permeabilidad** de la membrana a cada ión.
- **Polaridad** (signo) de la carga eléctrica de cada ión.

$$E_m = \frac{(gK^+)}{(gT)} E_{K^+} + \frac{(gNa^+)}{(gT)} E_{Na^+} + \frac{(gCl^-)}{(gT)} E_{Cl^-}$$

E_m = Potencial de membrana en reposo (mV)

gK , etc = Conductancia al K^+ , etc.

gT = Conductancia total

E_K = Potencial de equilibrio para el K^+ (mV)

BOMBA $Na^+ - K^+$

- Transporta 3 Na^+ hacia el LEC

- Transporta 2 K^+ hacia el LIC

- Es ATPasa

- Es electrogénica: electronegatividad LIC.

POTENCIAL DE REPOSO EN LA FIBRA NERVIOSA

Las fibras nerviosas en reposo (cuando no transmiten señales) tienen un potencial de membrana de -90 mV (medido con microelectrodos), el cual se genera mediante los siguientes mecanismos de transporte:

a) Bomba de $Na^+ - K^+$. Consume energía (ATP) y en cada ciclo introduce 2 K^+ y extrae 3 Na^+ .

1. Genera acumulación de carga positiva exterior (bomba electrogénica).
2. Genera gradientes químicos de Na^+ y K^+ .

b) Canales de difusión de Na^+ y K^+ . Los gradientes químicos provocan el escape a través de canales selectivos. La permeabilidad de salida del K^+ es 100 veces mayor que la entrada del Na^+ .

* Estos mecanismos de transporte contribuyen de modo cuantitativamente diferente a generar el potencial de reposo:

1. Difusión de K^+ . Calculamos el potencial de **Nerst** para este ión:

$$E_K = \frac{61}{1} \log \frac{[4 \text{ mM}]_e}{[140 \text{ mM}]_i} = -94 \text{ mV}$$

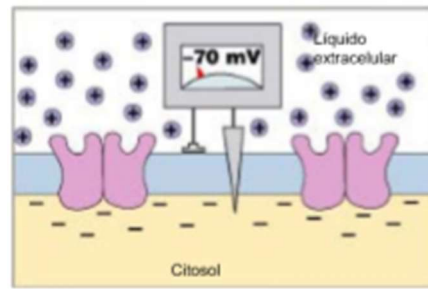
El potencial resultante es bastante próximo al potencial de reposo (-90mV).

2. Interacción entre las difusiones de Na^+ y K^+ . Aplicamos la **ecuación de Goldman** para calcular el potencial resultante de estas dos difusiones. La contribución de la difusión de Na^+ al potencial de reposo es escasa debido a la poca permeabilidad para este ión:

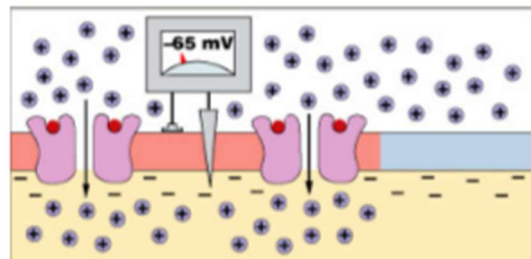
$$E_m = \frac{(gK^+)}{(gT)} E_{K^+} + \frac{(gNa^+)}{(gT)} E_{Na^+} = -86 \text{ mV}$$

3. Bomba electrogénica de $Na^+ - K^+$. La salida neta de cargas positivas provocada por esta bomba genera un potencial de -4 mV, que sumados a el potencial neto de difusión (-86 mV), llevan el potencial de reposo a -90mV.

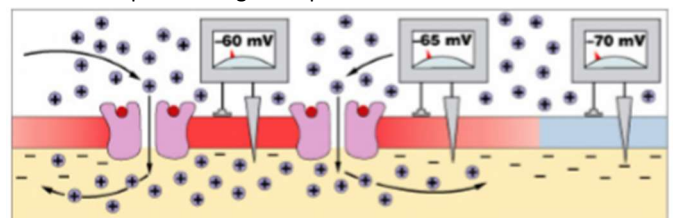
POTENCIALES GRADUADOS



Potencial de membrana en reposo con canales de sodio activados por ligando cerrados.



Membrana expuesta al ligando que abre los canales de sodio.



Entrada de los iones sodio al interior de la célula produciendo corrientes locales que despolarizan porciones adyacentes de la membrana celular.

DESPOLARIZACIÓN, REPOLARIZACIÓN E HIPERPOLARIZACIÓN

