

### Misura della differenza di potenziale tra i due lati della membrana

WWW.SUNHOPE.IT 1

### Composizione del mezzo intracellulare ed extracellulare (mM)

| Ione               | LIC | LEC |
|--------------------|-----|-----|
| K <sup>+</sup>     | 125 | 5   |
| Na <sup>+</sup>    | 12  | 120 |
| Cl <sup>-</sup>    | 5   | 125 |
| A <sup>-1.25</sup> | 108 | 0   |

WWW.SUNHOPE.IT 2

### Origine del potenziale di membrana

- 1) Il **potenziale di membrana** corrisponde al **potenziale di equilibrio** di una specie ionica diffusibile ed è calcolabile mediante l'**equazione di Nerst**.
- 2) Il **potenziale di membrana** corrisponde ad un **potenziale di diffusione** generato da una condizione di non equilibrio ed è calcolabile mediante l'**equazione di Goldman** o mediante l'**equazione delle conduttanze**.

WWW.SUNHOPE.IT 3

### Equilibrio diffusivo

$\Delta G = 0$

Soluti non ionici  $\Delta G = RT \ln [c_2/c_1] = 0$   
 $c_1 = c_2$

WWW.SUNHOPE.IT 4

### Soluti ionici

Forza elettrica

ione diffusibile

ione non diffusibile

Equilibrio diffusivo  
Lavoro elettrico = Lavoro chimico  
 $zF\Delta V = RT \ln [c_2/c_1]$

Forza chimica

WWW.SUNHOPE.IT 5

|  |   |
|--|---|
| Soluti non ionici                                | Soluti ionici   |
| ↓  | ↓   |
| Equilibrio diffusivo<br>$\Delta G = 0$           | Equilibrio diffusivo<br>Lavoro elettrico = Lavoro chimico |
| ↓  | ↓   |
| $\Delta G = RT \ln [c_2/c_1] = 0$<br>$c_1 = c_2$ | Equilibrio diffusivo<br>$zF\Delta V = RT \ln [c_2/c_1]$   |

WWW.SUNHOPE.IT 6

### Equazione di Nerst

Inside of cell develops negative membrane potential

**Equilibrio diffusivo**  
 $zF\Delta V = RT\ln[c_2/c_1]$

Un potenziale d'equilibrio si manifesta quando una membrana separa soluzioni a differente concentrazione di una specie ionica diffusibile in presenza di almeno una specie ionica non diffusibile.

$$F_c = RT \ln \frac{[K^+]_{outside}}{[K^+]_{inside}} \quad F_e = E_z F$$

7

### Equazione di Nerst

| Concentrations of ions (mM) |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| K <sup>+</sup> 125          | K <sup>+</sup> 5    |
| Na <sup>+</sup> 12          | Na <sup>+</sup> 120 |
| Cl <sup>-</sup> 5           | Cl <sup>-</sup> 125 |
| Ca <sup>2+</sup> 0.0002     | Ca <sup>2+</sup> 2  |
| "Inside"                    | "Outside"           |

$$E_i = 58 \text{ mV} \log[c_2/c_1]$$

$$E_K = 58 \text{ mV} \log[5/125] = -81 \text{ mV}$$

$$E_{Na} = 58 \text{ mV} \log[120/12] = +60 \text{ mV}$$

$$E_{Cl} = -58 \text{ mV} \log[125/5] = -81 \text{ mV}$$

$$E_{Ca} = 29 \text{ mV} \log[2/0.0002] = +116 \text{ mV}$$

WWW.SUNHOPE.IT 8

### Condensatore piano

La **Capacità** di un condensatore piano a facce parallele è direttamente proporzionale all'area delle armature ed è inversamente proporzionale alla distanza tra le armature. La costante di proporzionalità,  $\epsilon$ , dipende dalle proprietà del materiale che riempie lo spazio tra le armature ed è chiamata **costante dielettrica** del materiale.

Area delle armature: A

Distanza tra le armature: d

Costante dielettrica del materiale compreso tra le armature:  $\epsilon$

Capacità di un condensatore piano a facce parallele:

$$C = \epsilon A/d = Q/\Delta V$$

WWW.SUNHOPE.IT 9

**Potenziale di equilibrio di uno ione = differenza di potenziale elettrico necessaria a mantenere in equilibrio concentrazioni differenti della specie ionica considerata.**

↓

**Equazione di Nerst permette di calcolare il potenziale d'equilibrio di uno ione a partire dalle concentrazioni.**

$$\text{Equazione di Nerst} \quad \Delta V = (RT/zF)\ln[c_2/c_1]$$

↓

**L'equazione di Nerst si applica singolarmente a ciascuna specie ionica**

10

1

$$\Delta G = RT\ln[c_2/c_1]$$

$$[c_2/c_1] = 1/1000$$

2

$$\Delta V = Q/C$$

$$\Delta V = -120\text{mV}$$

WWW.SUNHOPE.IT 11

$\Delta V = E_K$

$\epsilon = \text{gradiente concentrazione}$

WWW.SUNHOPE.IT 12

## Equilibrio di Donnan

$$E_m = E_K = E_{Cl}$$

$$[K^+]_1 [Cl^-]_1 = [K^+]_2 [Cl^-]_2$$

All'equilibrio il prodotto delle concentrazioni delle specie ioniche diffusibili presenti nei due compartimenti è uguale.

WWW.SUNHOPE.IT 13

|                 | Intra (mM) | Extra (mM) |
|-----------------|------------|------------|
| K <sup>+</sup>  | 150        | 150        |
| Na <sup>+</sup> | 10         | 100        |
| Cl <sup>-</sup> | 50         | 250        |
| A <sup>-</sup>  | 110        | 0          |

x = 50 mM

|                    | Intra | Extra |
|--------------------|-------|-------|
| [K <sup>+</sup> ]  | 200   | 100   |
| [Cl <sup>-</sup> ] | 100   | 200   |

1

2

3

$$(150 + x)(50 + x) = (150 - x)(250 - x)$$

WWW.SUNHOPE.IT 14

1

2

3

Carica stazionaria: i flussi di carica sono uguali ed opposti.  $J_K = -J_{Na}$

WWW.SUNHOPE.IT 15

LEC

LIC

WWW.SUNHOPE.IT 16

### Conductance equation

Carica stazionaria: i flussi di carica sono uguali ed opposti.  $J_K = -J_{Na}$

$$i_K = -i_{Na}$$

$$i_K = g_K(E_m - E_K) \quad i_{Na} = g_{Na}(E_m - E_{Na})$$

$$g_K(E_m - E_K) = -g_{Na}(E_m - E_{Na})$$

$$E_m = \frac{g_K \cdot E_K + g_{Na} \cdot E_{Na}}{g_K + g_{Na}}$$

$$E_m = \frac{E_K + \frac{g_{Na}}{g_K} \cdot E_{Na}}{1 + \frac{g_{Na}}{g_K}}$$

WWW.SUNHOPE.IT 17

$$E_m = \frac{E_K + (g_{Na}/g_K) E_{Na}}{1 + (g_{Na}/g_K)}$$

|                  |  |               |
|------------------|--|---------------|
| $E_K = -83mV$    |  | $E_m = -64mV$ |
| $E_{Na} = +60mV$ |  |               |

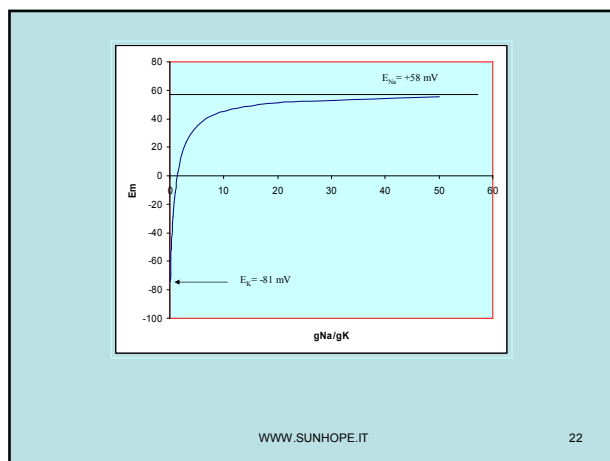
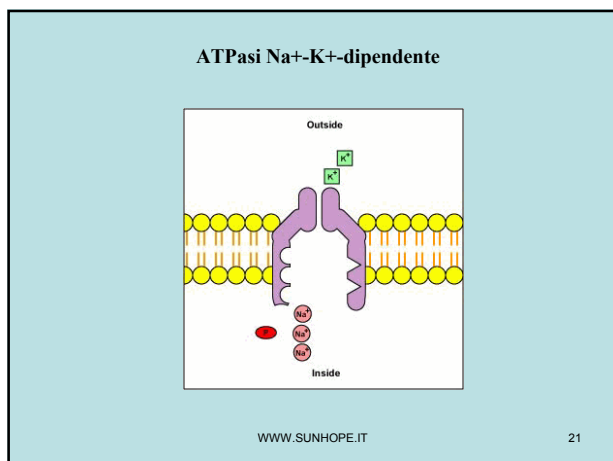
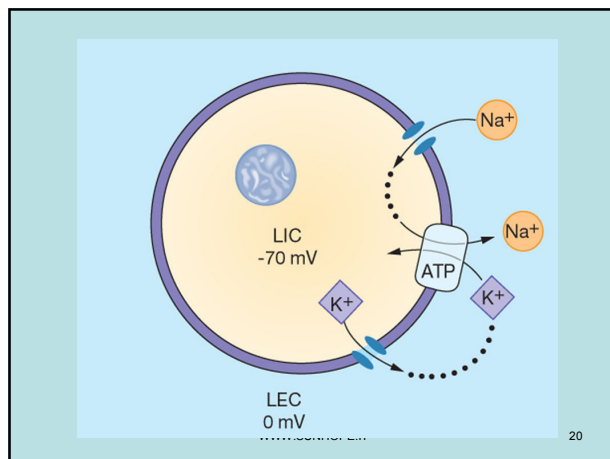
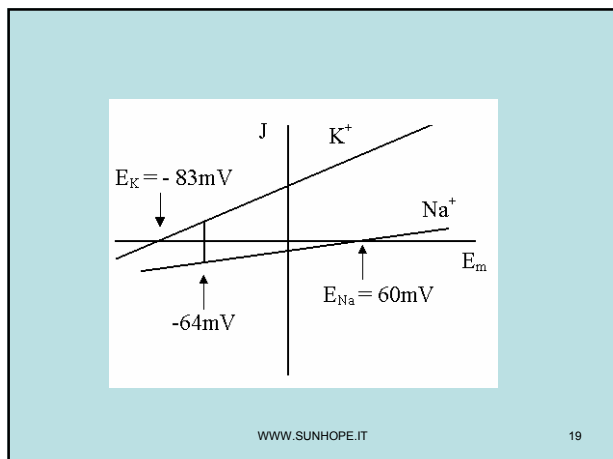
$(g_K/g_{Na}) = 0.15$

$E_K < E_m$   
 $E_{Na} > E_m$

$\longrightarrow$

$J_{K,1 \rightarrow 2} \neq J_{K,2 \rightarrow 1}$   
 $J_{Na,1 \rightarrow 2} \neq J_{Na,2 \rightarrow 1}$

WWW.SUNHOPE.IT 18



**Conductance equation**

$$E_m = \frac{g_k \cdot E_k + g_{Na} \cdot E_{Na} + g_{Cl} \cdot E_{Cl}}{g_k + g_{Na} + g_{Cl}}$$

$$E_m = \frac{E_k + \frac{g_{Na}}{g_k} \cdot E_{Na} + \frac{g_{Cl}}{g_k} \cdot E_{Cl}}{1 + \frac{g_{Na}}{g_k} + \frac{g_{Cl}}{g_k}}$$

WWW.SUNHOPE.IT 23

**Conductance equation**

$$i_K + i_{Na} + i_{Cl} = 0$$

con  $i_{Cl} = g_{Cl}(E_m - E_{Cl})$

se  $E_{Cl}$  è molto prossimo a  $E_m$ ,  
 $i_{Cl}$  è molto prossimo a 0

↓

$$i_{Cl} = 0$$

WWW.SUNHOPE.IT 24

Hodgkin-Katz-Goldman Equation

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{p_k [K^+]_o + p_{Na} [Na^+]_o + p_{Cl} [Cl^-]_i}{p_k [K^+]_i + p_{Na} [Na^+]_i + p_{Cl} [Cl^-]_o} \right)$$

$$E_m = 58mV \log_{10} \left( \frac{p_k [K^+]_o + p_{Na} [Na^+]_o + p_{Cl} [Cl^-]_i}{p_k [K^+]_i + p_{Na} [Na^+]_i + p_{Cl} [Cl^-]_o} \right)$$

Hodgkin-Katz-Goldman Equation

$$E_m = 58mV \log_{10} \left( \frac{[K^+]_o + b [Na^+]_o}{[K^+]_i + b [Na^+]_i} \right)$$

where  $b = \frac{p_{Na}}{p_k}$

Hodgkin-Katz-Goldman Equation

$$E_m = 58mV \log_{10} \left( \frac{r [K^+]_o + b [Na^+]_o}{r [K^+]_i + b [Na^+]_i} \right)$$

where  $r = Na^+ / K^+$  transport ratio

Na/K-Pumpe

