

Transzportfolyamatok a biológiai rendszerekben

Transzportfolyamatok a sejt nyugalmi állapotában

A nyugalmi potenciál jelentősége

a sejt homeosztázisának (sejttérfogat, pH) fenntartása

ingerlékenység

érzékelés

jelátadás

A nyugalmi potenciál értelmezése:

-Transzport modell

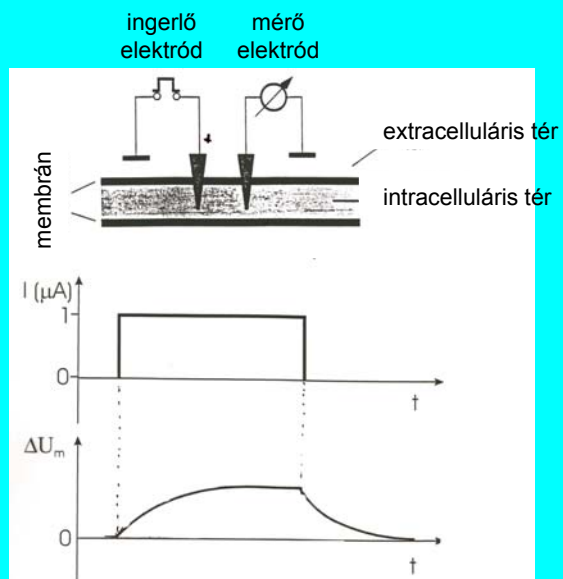
-Elektromos modell

A nyugalmi potenciál megváltozása

1. A membrán “passzív” elektromos tulajdonságai

Kísérlet

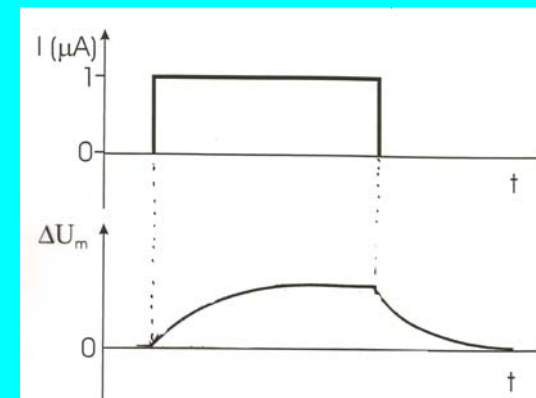
Áramirány :
pozitív töltések
áramlásának
iránya.



Miért éppen így?

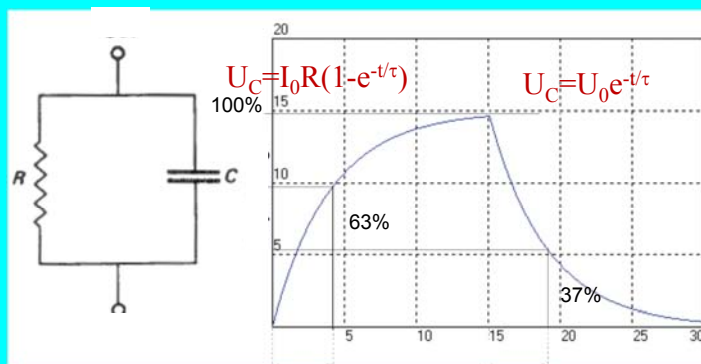
A membrán elektromos tulajdonságai miatt:

- ellenállás
- kapacitás

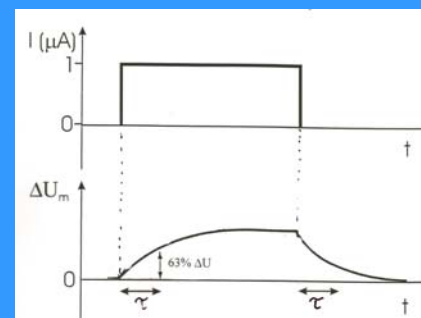


Hol is láttam már ehhez hasonlót?

Párhuzamos RC-kör töltése és kisütése



$$\tau = RC$$



a membrán
kapacitása

a membrán
keresztirányú
ellenállása

$$\tau = C_m R_m$$

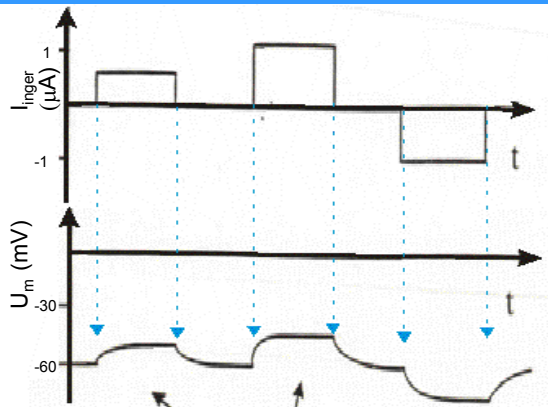
τ a membrán időállandója:

az az idő, ami alatt az impulzussal keltett feszültségváltozás

-eléri a telítési érték 63%-át vagy

-az ingerlés megszűnte után e-ed részére csökken

A nyugalmi potenciál helyi megváltozása

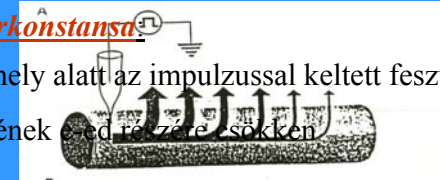


obligát
ugrásmentes
változtatható amplitúdójú
változtatható irányú
analóg
lokalizált

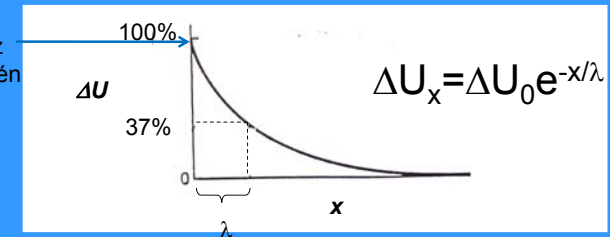
A nyugalmi potenciál helyi megváltozása az ingerlés helyétől távolodva

λ a membrán térkonstansa:

az a távolság, amely alatt az impulzussal keltett feszültségváltozás maximális értékének e-ed részére csökken



Változás az
ingerlés helyén



$$\lambda \sim \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$

A nyugalmi potenciál helyi megváltozása

- kísérletileg áramimpulzusokkal
- adekvát ingerekkel
- posztzinaptikus membránon neurotranszmitterekkel
 - serkentő - depolarizáló
 - gátló - hiperpolarizáló

A nyugalmi potenciál helyi megváltozásának jelentősége

ingerületvezetés

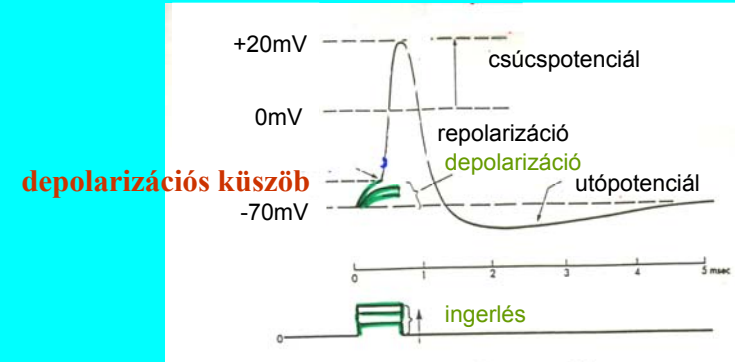
érzékelés - receptorműködés

jelátadás

A nyugalmi potenciál megváltozása

2. A membrán "aktív" elektromos tulajdonságai

Az akciós potenciál kialakulása

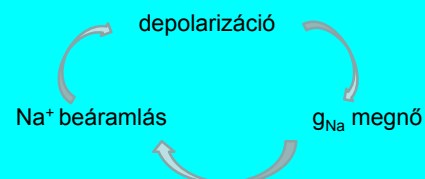


fakultatív
azonos amplitúdójú – minden vagy semmi
nem lokalizált

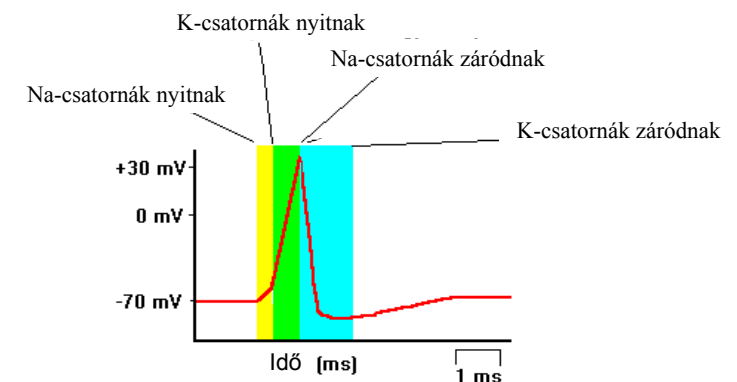
Hodgkin-Katz hipotézise az akciós potenciál kialakulásáról

feszültségfüggő ioncsatornák működése

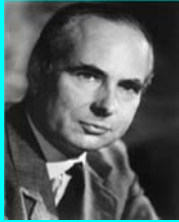
$$\varphi_e - \varphi_i = -\frac{RT}{F} \ln \frac{\sum p_k^+ c_{ke}^+ + \sum p_k^- c_{ki}^-}{\sum p_k^+ c_{ki}^+ + \sum p_k^- c_{ke}^-}$$



Hodgkin-Katz hipotézise az akciós potenciál kialakulásáról



Hogyan lehetne az egyedi ionáramokat mérni?



Andrew Fielding Huxley
(1917-)

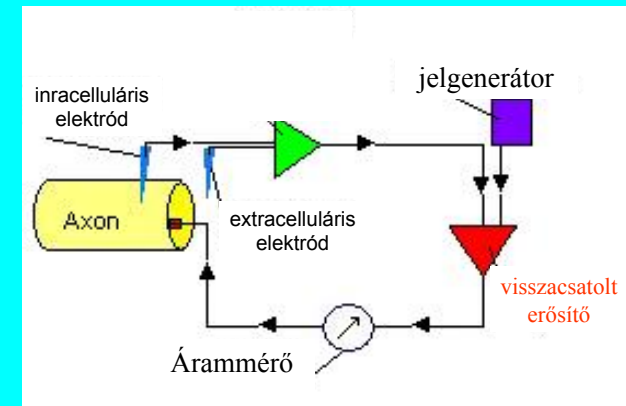


Alan Loyd Hodgkin
(1914-1998)

The Nobel Prize in Physiology or Medicine
1963

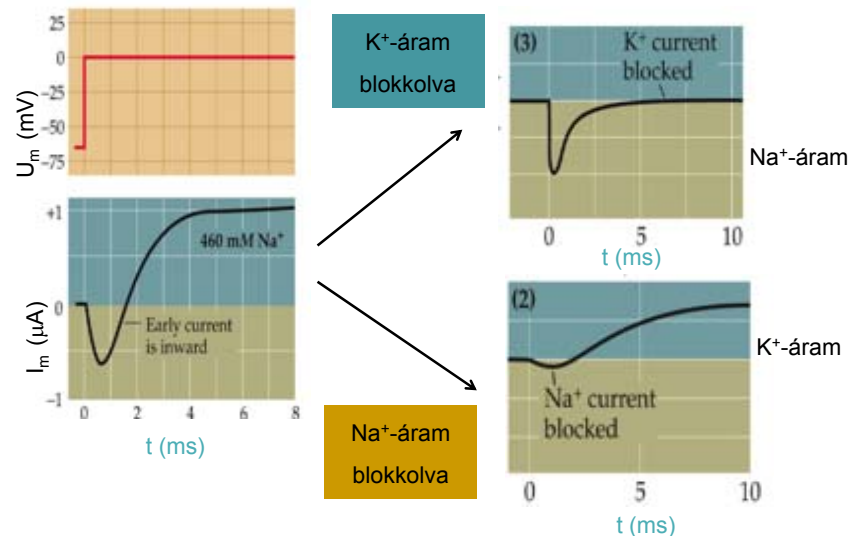
"for their discoveries concerning the ionic mechanisms involved in excitation and inhibition in the peripheral and central portions of the nerve cell membrane"

Voltage Clamp

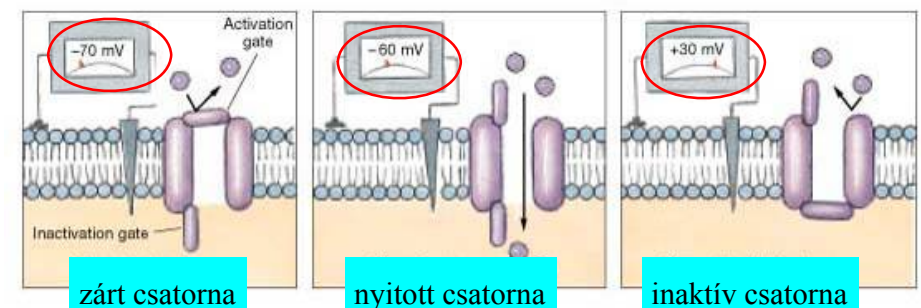


- membránpotenciált állandó értéken tartja
- az ionáramot – áramerősséget – méri

Na⁺ és K⁺ áram mérése

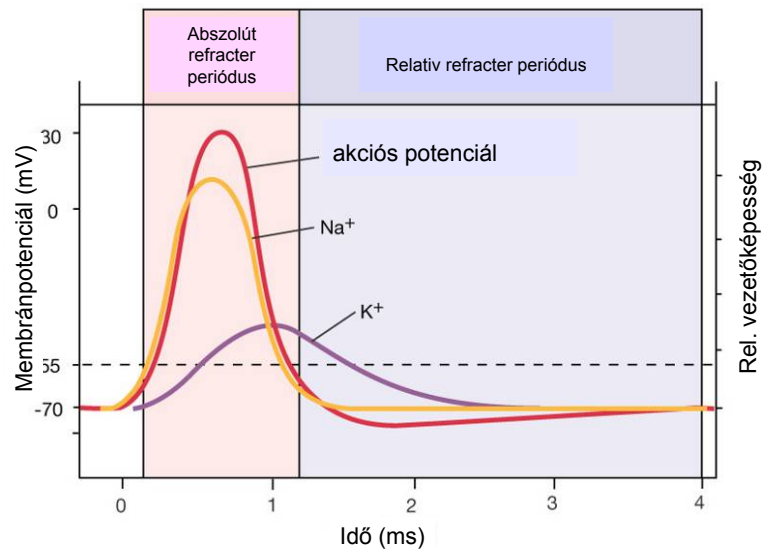


Feszültszabályozott Na⁺ -csatornák állapotai



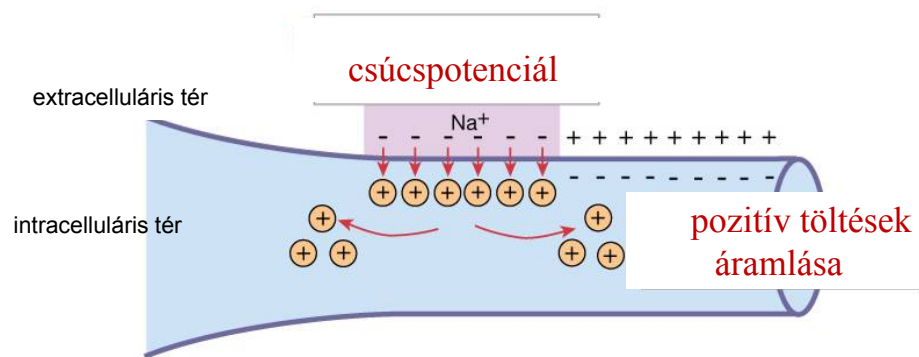
depolarizációs küszöb felett

Vezetőképeség az akciós potenciál alatt



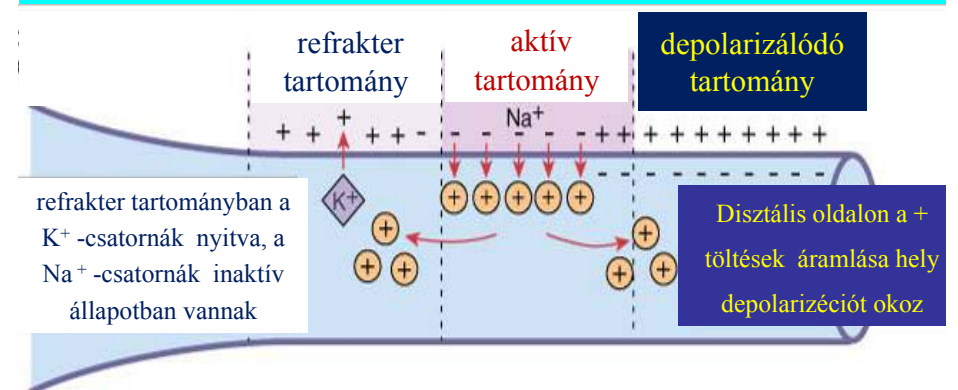
Az elektromos jellemzők hatása a jelvezetés
sebességére

Az akciós potenciál terjedése (1)



Alapja: helyi áramok kialakulása – helyi depolarizáció

Az akciós potenciál terjedése (2)



Terjedés sebessége – milyen gyorsan, milyen messze?

Sebessége: τ és λ , vagyis az elektromos jellemzők függvénye

- mennyi idő alatt éri el a depolarizációs küszöböt — τ

- milyen távolságon éri még el a depolarizációs küszöböt — λ

Az axon sugarának hatása a vezetés sebességére:

$$\lambda \sim \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$

$$\tau = C_m R_m$$

$$r \uparrow \Rightarrow \begin{matrix} R_i \downarrow (\sim 1/r^2) \\ R_m \downarrow (\sim 1/r) \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} \tau \downarrow \\ \lambda \uparrow \end{matrix}$$

tintahal óriás axon $r=250\mu\text{m}$

$v=25\text{m/s}$

emberi idegsejt $r=10\mu\text{m}$

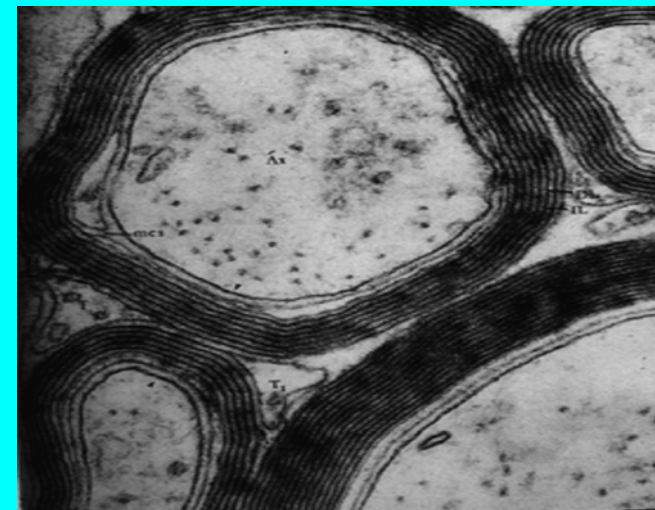
$v \approx 0.5\text{m/s}$?

Hogyan növelhetjük a vezetés sebességét?

1. Az axon sugarának növelésével – metabolikusan “drága”
– helyigényes
2. A membránkapacitás csökkentése, mert kevesebb töltés szükséges a membránpotenciál változtatásához



Megoldás: mielinhüvely !



Megoldás: myelinburok !

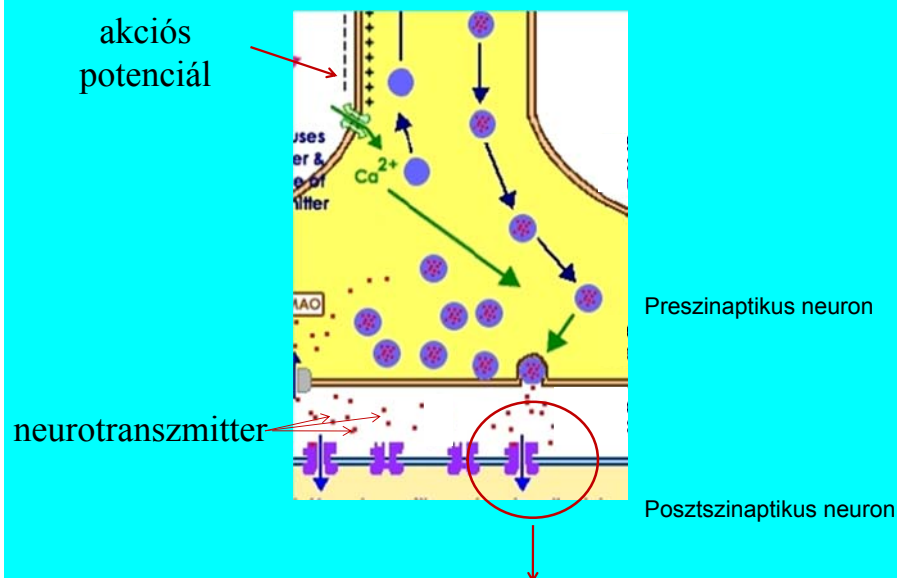
R_m – nagyon nagy \Rightarrow nagy térkonstans

C_m – nagyon kicsi \Rightarrow kis időállandó

emberi idegsejt $r = 10 \mu\text{m}$
 $v \sim 100 \text{ m/s}$?

Az elektromos jellemzők hatása a jelátadás
sikerességére

Jelátadás a szinapszisban

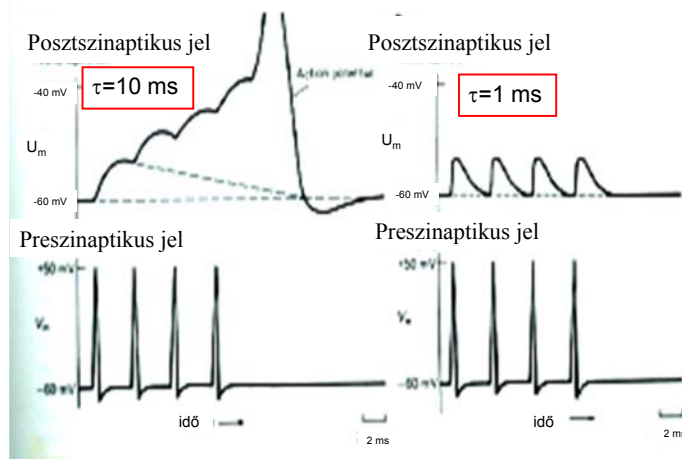


Az elektromos jellemzők hatása a jelátadás
sikerességére

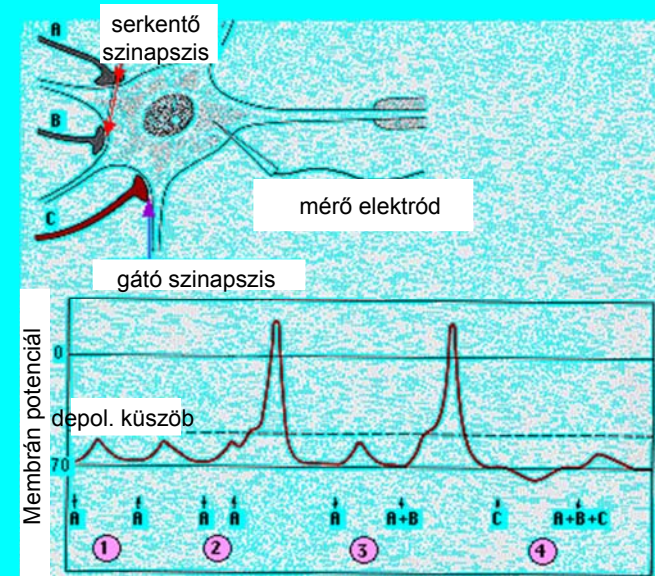
térbeli szummáció: egyidejűleg, több ponton érkező küszöb
alatti ingerek összegződése

időbeli szummáció: egyazon pontba érkező küszöb
alatti ingerek összegződése

időbeli szummáció: egyazon pontba érkező küszöb
alatti ingerek összegződése akciós potenciált válthat ki



Példa az időbeli és térbeli szummációra



Összefoglalás

Nyugalmi potenciál

leírása: egyensúlyi modell
transzport modell
elektromos modell

szerpe

A nyugalmi potenciál helyi megváltozása

jellemzői: időálló
térkonstans
szerepe: ingerületvezetés sebessége
jelátadás sikeressége

Akciós potenciál

szerpe: információ továbbítás
lefolyása