

A nyugalmi potenciál megváltozása

2. A membrán “aktív” elektromos tulajdonságai

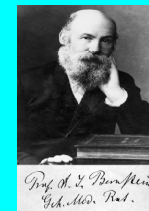


“Akcións potenciál történelem”

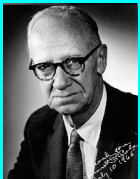
1780: **Luigi Galvani** – elektromos vezetés és izomösszehúzódás kapcsolata



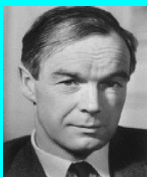
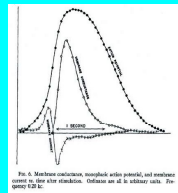
1843: **Emil Dubois-Reymond** – nyugalmi potenciál, ami megváltozik izomösszehúzódáskor



1868: Dubois-Reymond tanítványa **Julius Bernstein** – egyenlőtlen ioneloszlás leírása; ionáram ingerléskor; terjedő elektromos potenciálváltozás: *akcións potenciál*



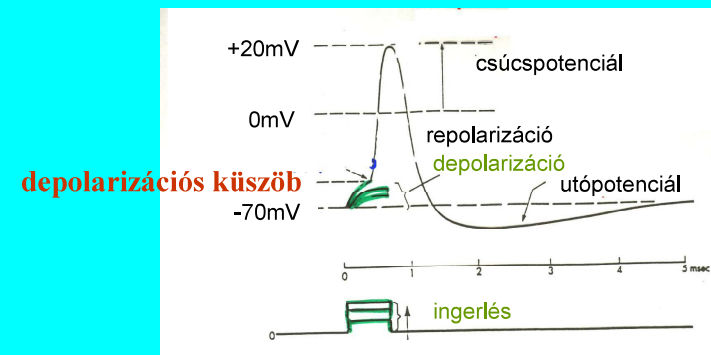
1938: **K.C. Cole** – méréssel igazolta, hogy a membrán vezetőképessége megnő az akcións potenciál alatt



1948: **Alan Hodgkin és Bernard Katz** – kimutatta, hogy az akcións potenciál amplitúdója függ az extracelluláris Na^+ koncentrációtól



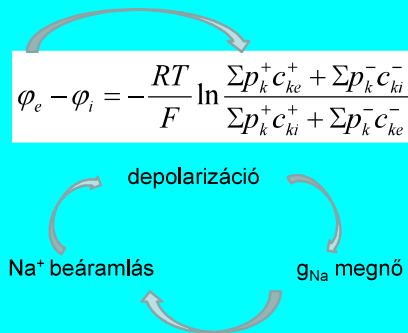
Az akcións potenciál kialakulása



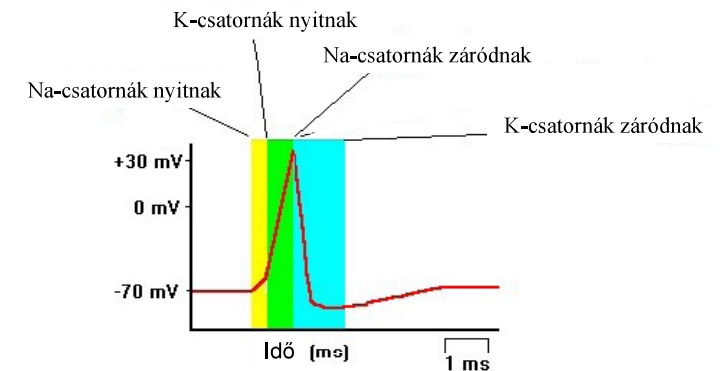
fakultatív
azonos amplitúdójú – minden vagy semmi
nem lokalizált

Hodgkin-Katz hipotézise az akciós potenciál kialakulásáról

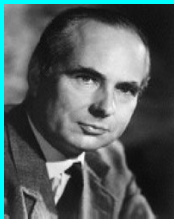
feszültségfüggő ioncsatornák működése



Hodgkin-Katz hipotézise az akciós potenciál kialakulásáról



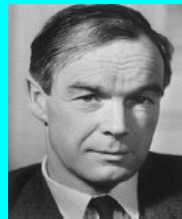
Hogyan lehetne az egyedi ionáramokat mérni?



Andrew Fielding Huxley
(1917-2012)

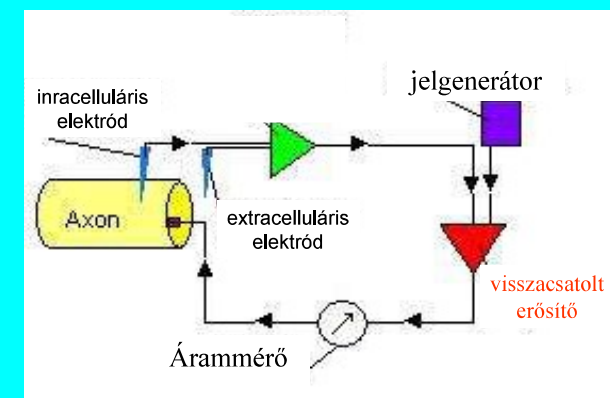
The Nobel Prize in Physiology or Medicine
1963

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



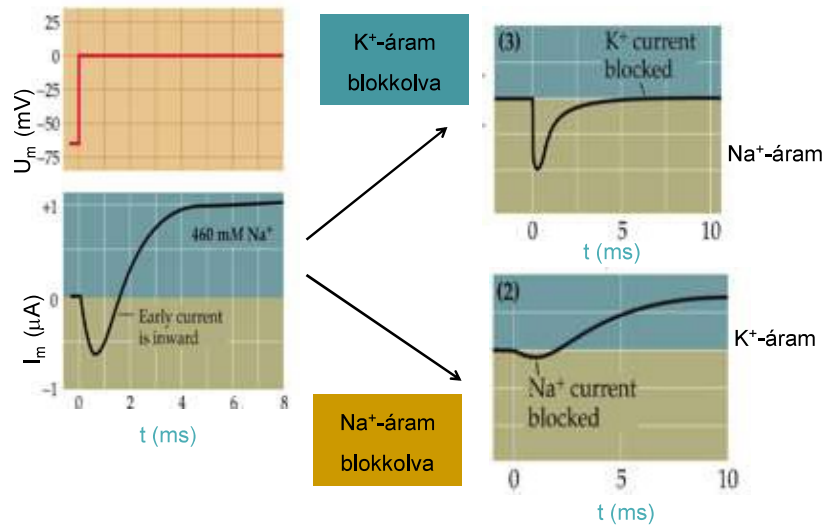
Alan Loyd Hodgkin
(1914-1998)

Voltage Clamp

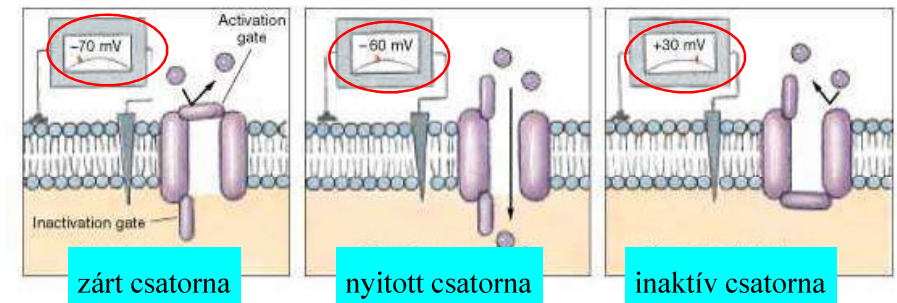


- membránpotenciált állandó értéken tartja
- az ionáramot – áramerősséget – méri

Na⁺ és K⁺ áram mérése

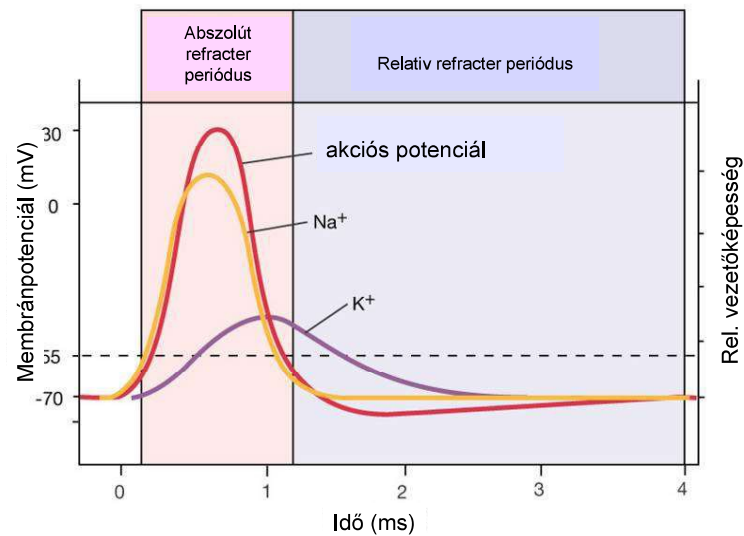


Feszültségszabályozott Na⁺ -csatornák állapotai



depolarizációs küszöb felett

Vezetőképesség az akciós potenciál alatt

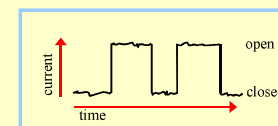
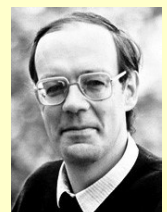


Patch-Clamp technika

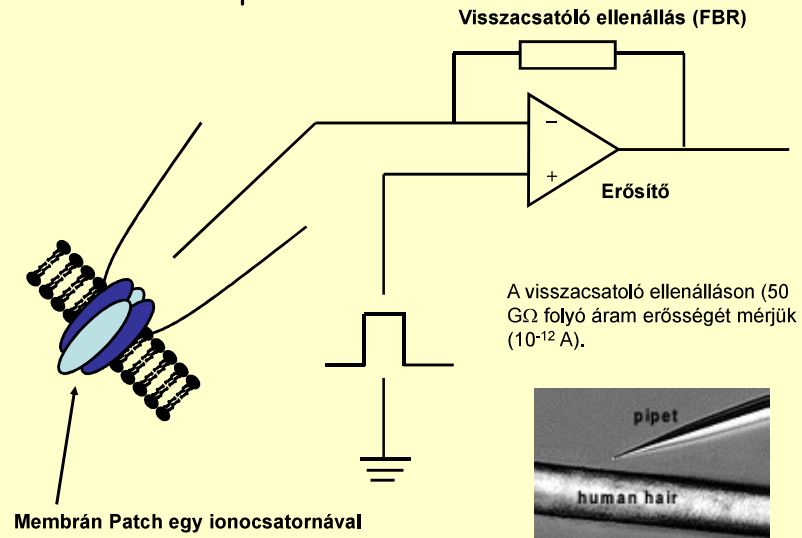
Egyetlen csatornán át folyó áramot (10^{-12} A) méri.

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1991 was awarded jointly to Erwin Neher (1944-) and Bert Sakmann (1942-)

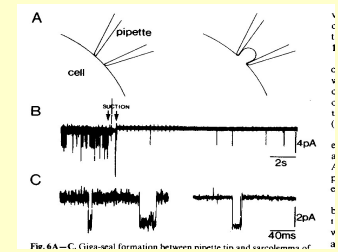
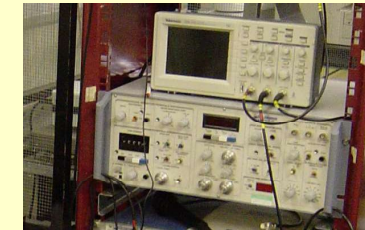
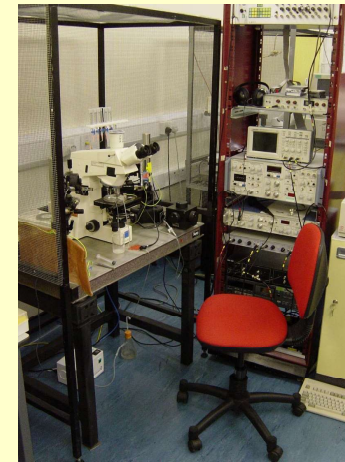
"for their discoveries concerning the function of single ion channels in cells"



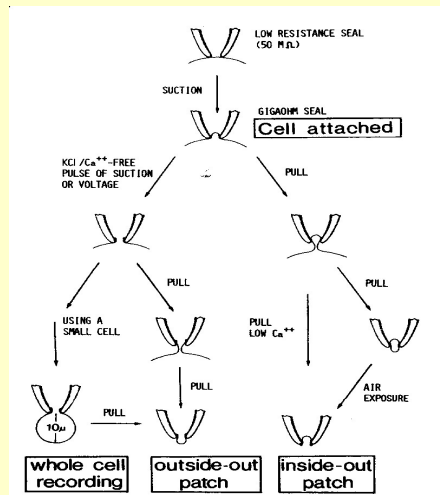
Patch-Clamp áramkör



Patch-Clamp berendezés

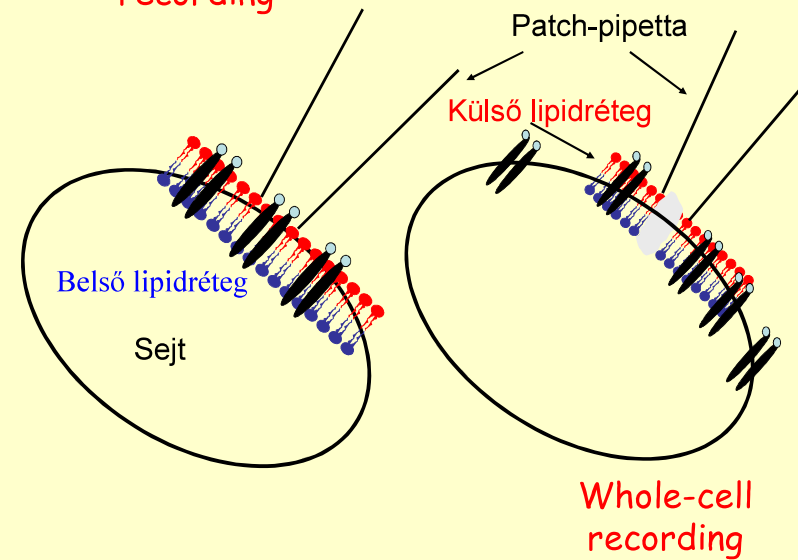


Patch-Clamp konfigurációk

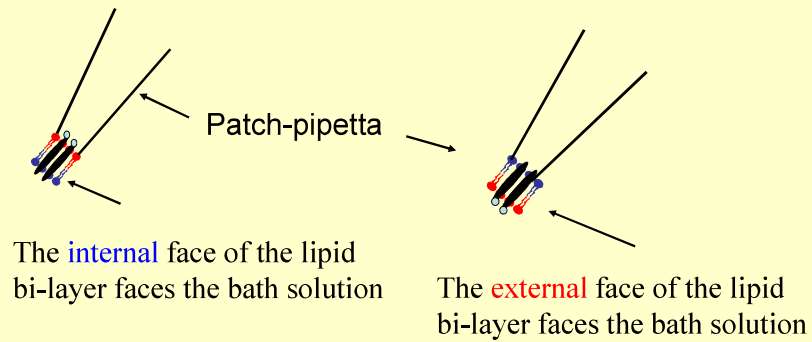


From Hamill *et al* 1981

Cell-attached recording

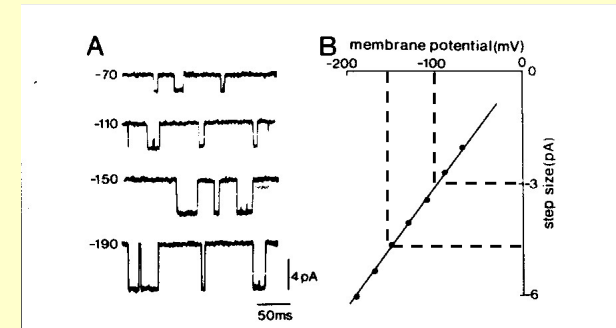


Inside-out recording



Outside-out recording

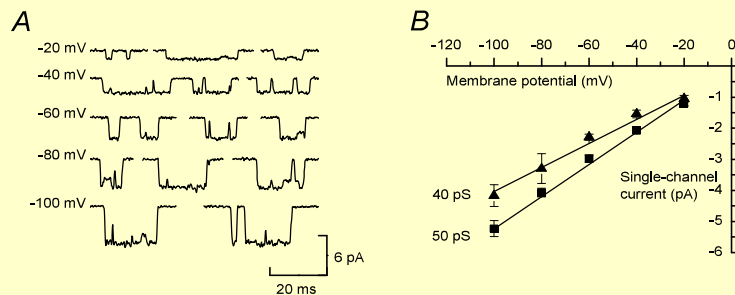
Single-channel I/V függvény a csatorna vezetőképességének meghatározására



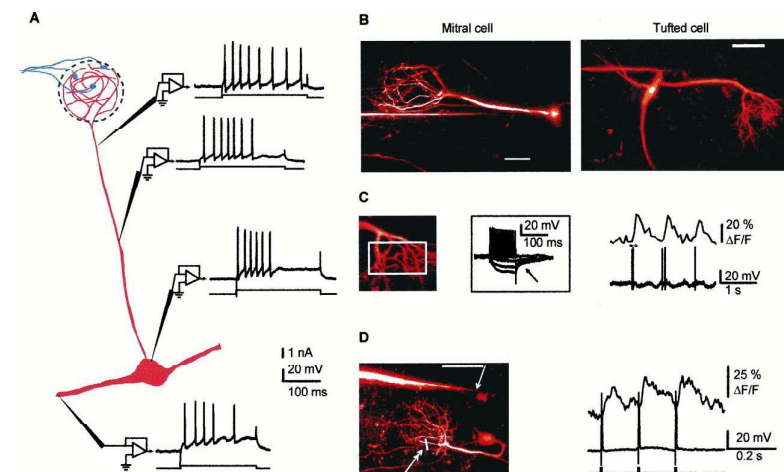
$$\begin{aligned}
 g_{\text{csatorna}} &= \Delta I \div \Delta V \\
 &= 1.6 \times 10^{-12} \text{ A} \div 50 \times 10^{-3} \text{ V} \\
 &= 32 \times 10^{-12} \text{ S} \\
 &= 32 \text{ pS}
 \end{aligned}$$

From Hamill *et al* 1981

Egyes csatornáknak több állapota lehet



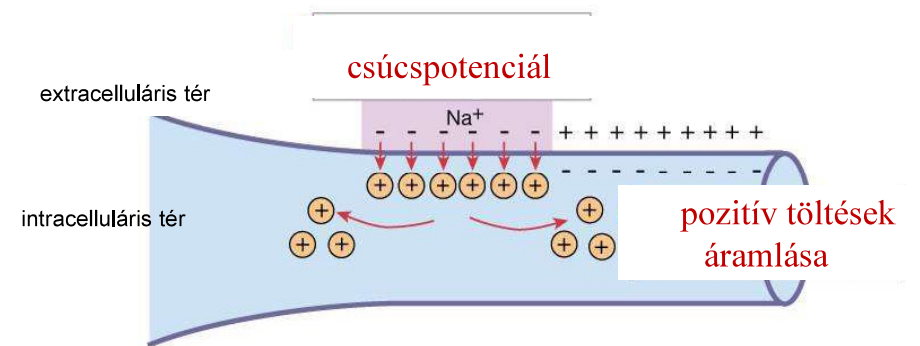
Sodium action potentials synchronize [Ca²⁺] transients in all dendritic compartments of mitral cells in the olfactory bulb of anesthetized rats.



Charpak S *et al*. PNAS 2001;98:1230-1234

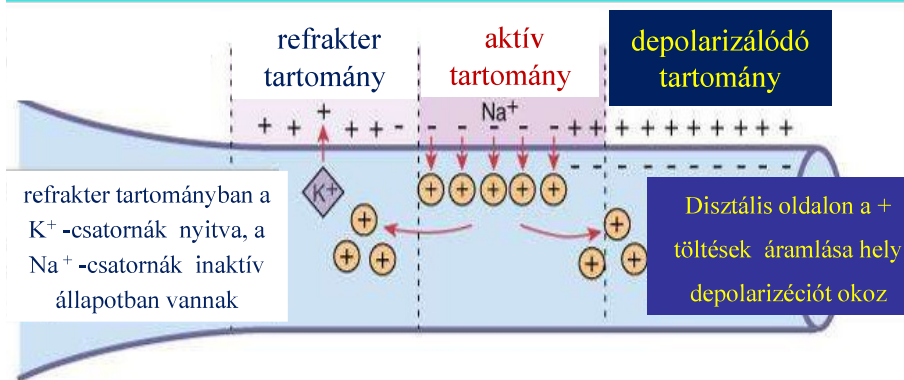
Az elektromos jellemzők hatása a jelvezetés sebességére

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 $r=250\mu\text{m}$
 $v=25\text{m/s}$

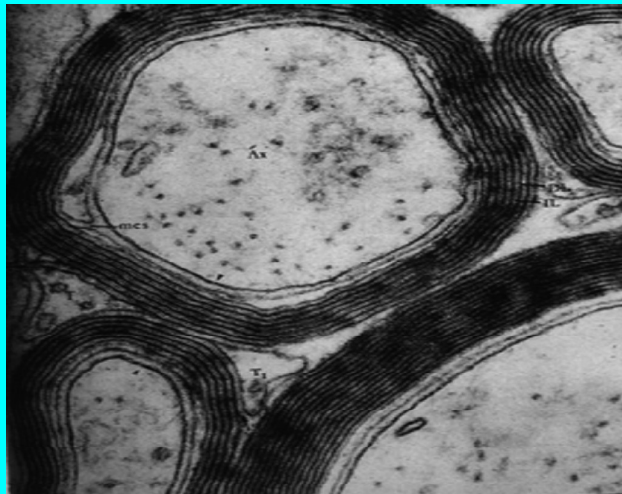
emberi idegsejt $r=10\mu\text{m}$
 $v \approx 0.5\text{m/s}$?

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 !



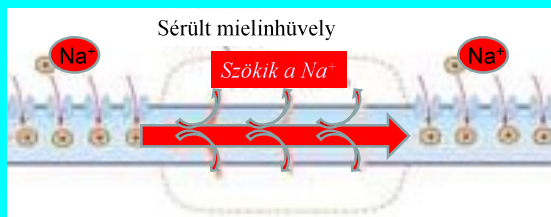
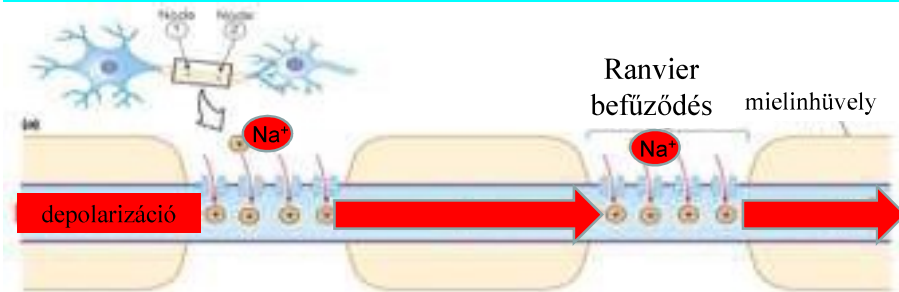
Megoldás: mielinhüvely !

R_m – nagyon nagy \Rightarrow nagy térkonstans

C_m – nagyon kicsi \Rightarrow kis időállandó

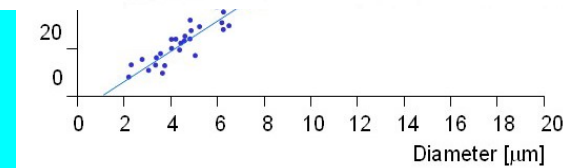
emberi idegsejt $r=10\mu\text{m}$
 $v \sim 100\text{m/s}$?

Saltatorikus vezetés - gyors, energiatakarékos



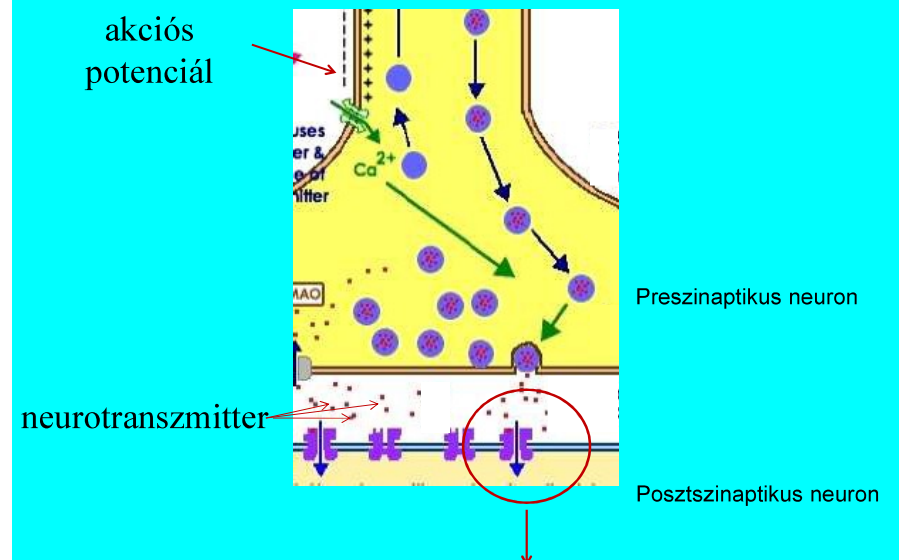
Az átmérő és a mielinhüvely hatása a vezetés sebességére

axon típusa	axon átmérője (μm)	vezetés sebessége (m/s)
mielinált		
A α	18.5	42
A β	14.0	25
A γ	11.0	17
B	Approximately 3.0	4.2
nem mielinált		
C	2.5	0.4-0.5



Az elektromos jellemzők hatása a jelátadás sikerességére

Jelátadás a szinapszisban

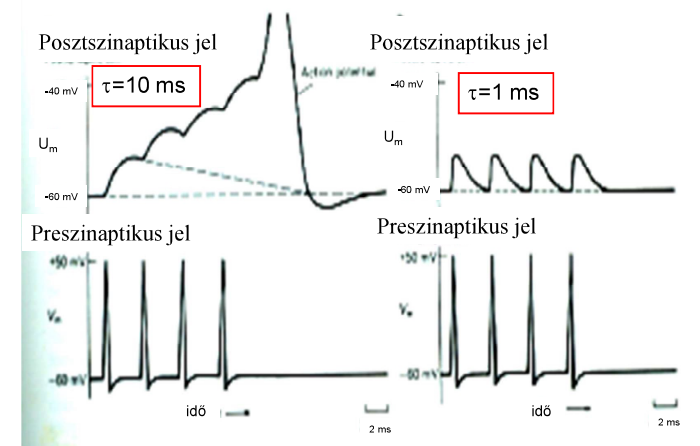


Az elektromos jellemzők hatása a jelátadás sikerességére

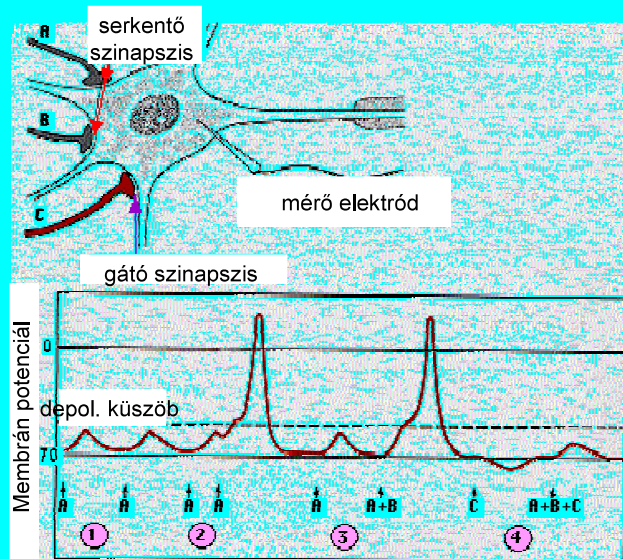
térbeli szummáció: egyidejűleg, több ponton érkező küszöb alatti ingerek összegződése

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

szerepe

A nyugalmi potenciál helyi megváltozása

jellemzői: időállandó
térkonstans
szerepe: ingerületvezetés sebessége
jelátadás sikeressége

Akciós potenciál

szerepe: információ továbbítás
lefolyása