

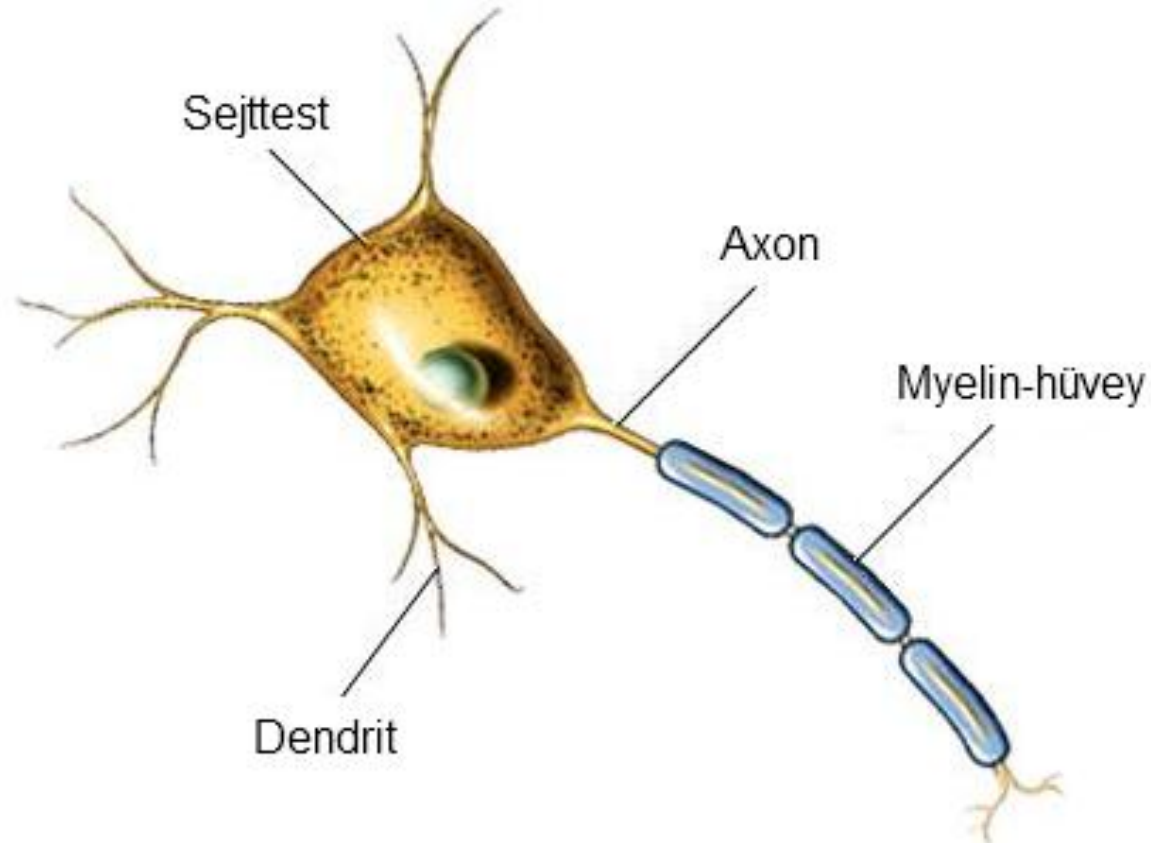
# Alapok – idegsejt, sejtmembrán, akciós potenciál



Image created by Dave Dwire. (C) Rainbow Studios '00. All Rights Reserved.

# Idegsejt (neuron)

- Az idegrendszer alapvető működési egységei
- Információ feldolgozása és továbbítása



# Történeti háttér

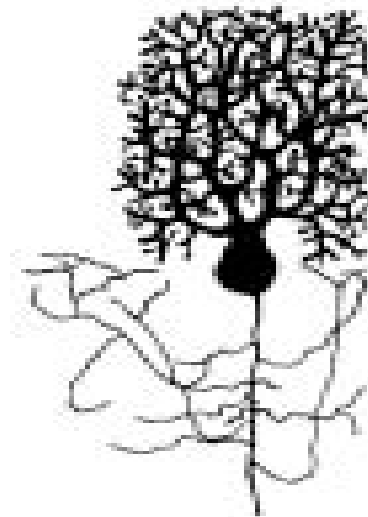
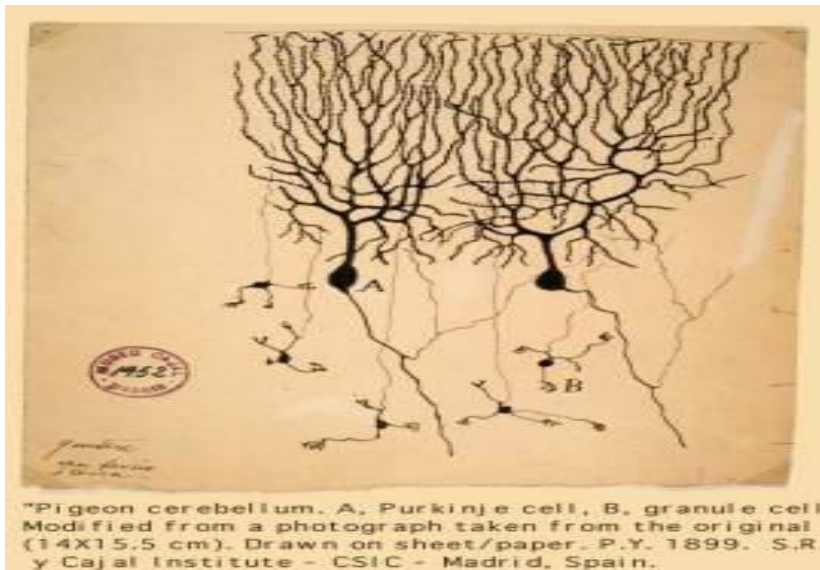
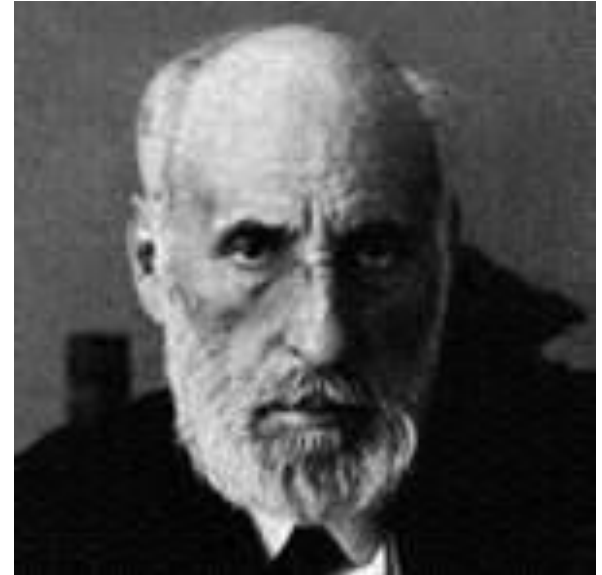
- *Theodor Schwann & Matthias Schleiden*(1838): a szervezet alapvető strukturális egységei a sejtek
- Ezzel szemben a retikuláris elmélet: az idegrendszer egyetlen, fizikailag összefüggő hálózat



*Theodor Schwann*  
(1810 – 1882)

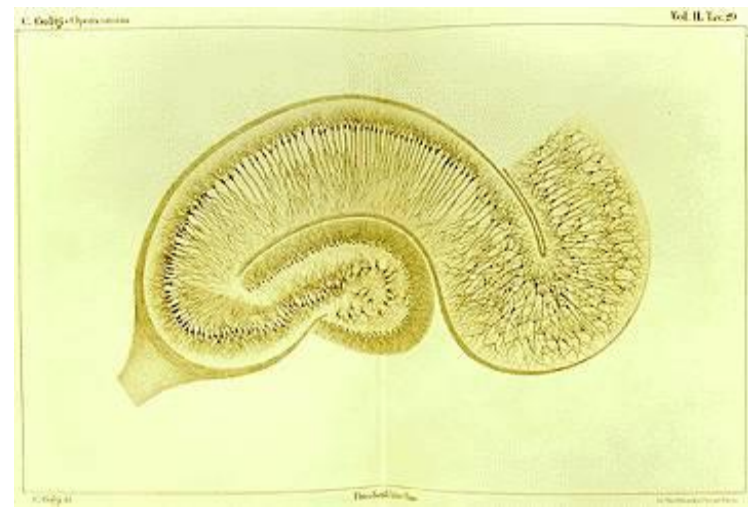
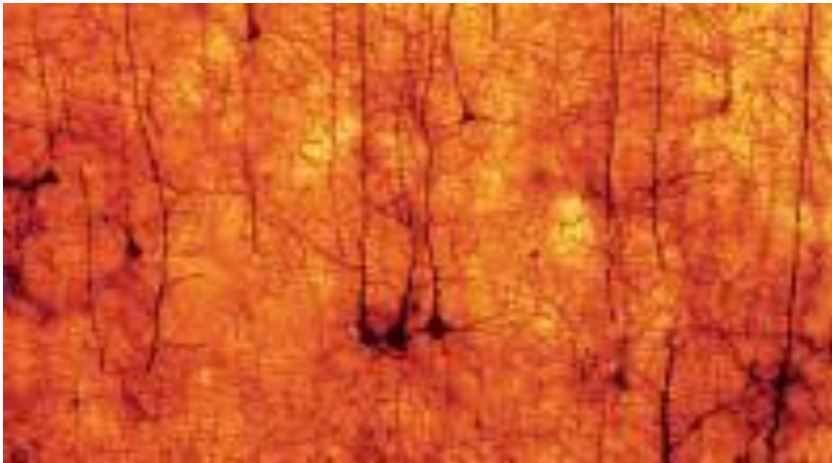
# Történeti háttér

- *Santiago Ramón y Cajal*:  
különálló sejtek, nincsen  
közöttük fizikai kapcsolat  
– „neuron doktrína”



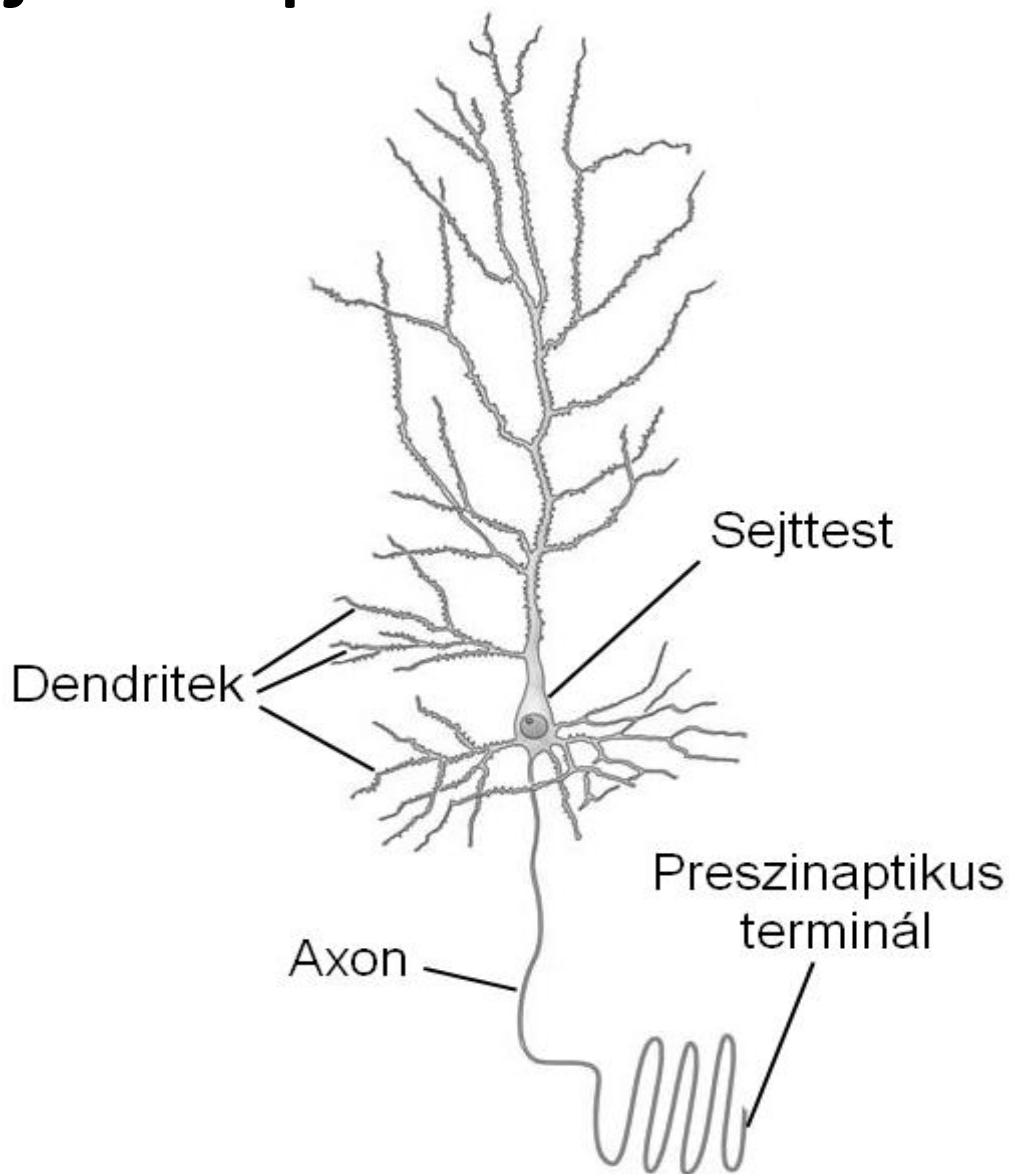
# Történeti háttér

- *Camillo Golgi* (1875):  
láthatóvá tette az  
idegsejtet – alapvető  
elemek, amiből a hálózat  
felépül



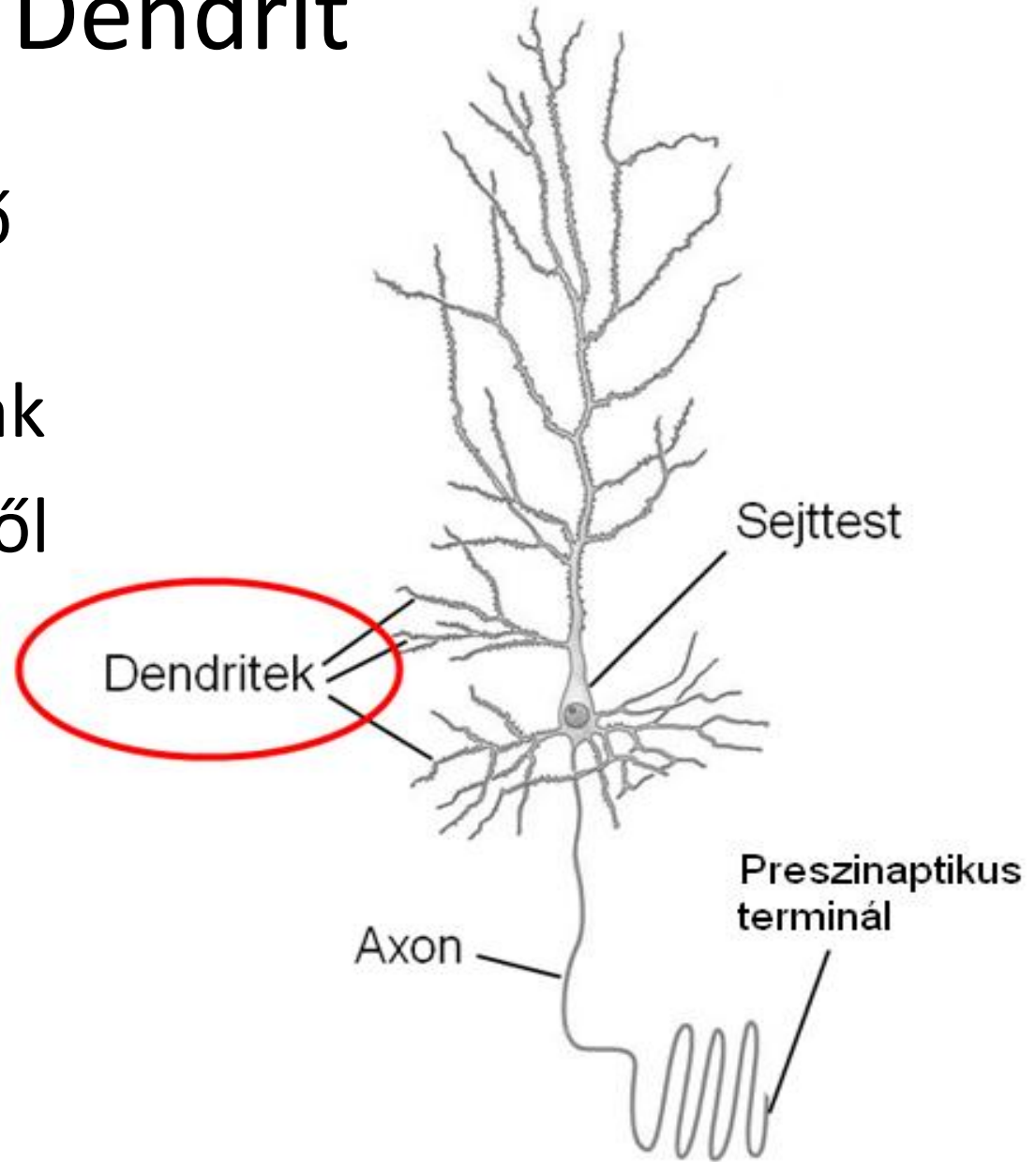
# Az idegsejt felépítése

- Az idegsejt fő részei
  - Sejttest
  - Dendrit
  - Axon
  - Preszinaptikus végződés (terminál)



# Dendrit

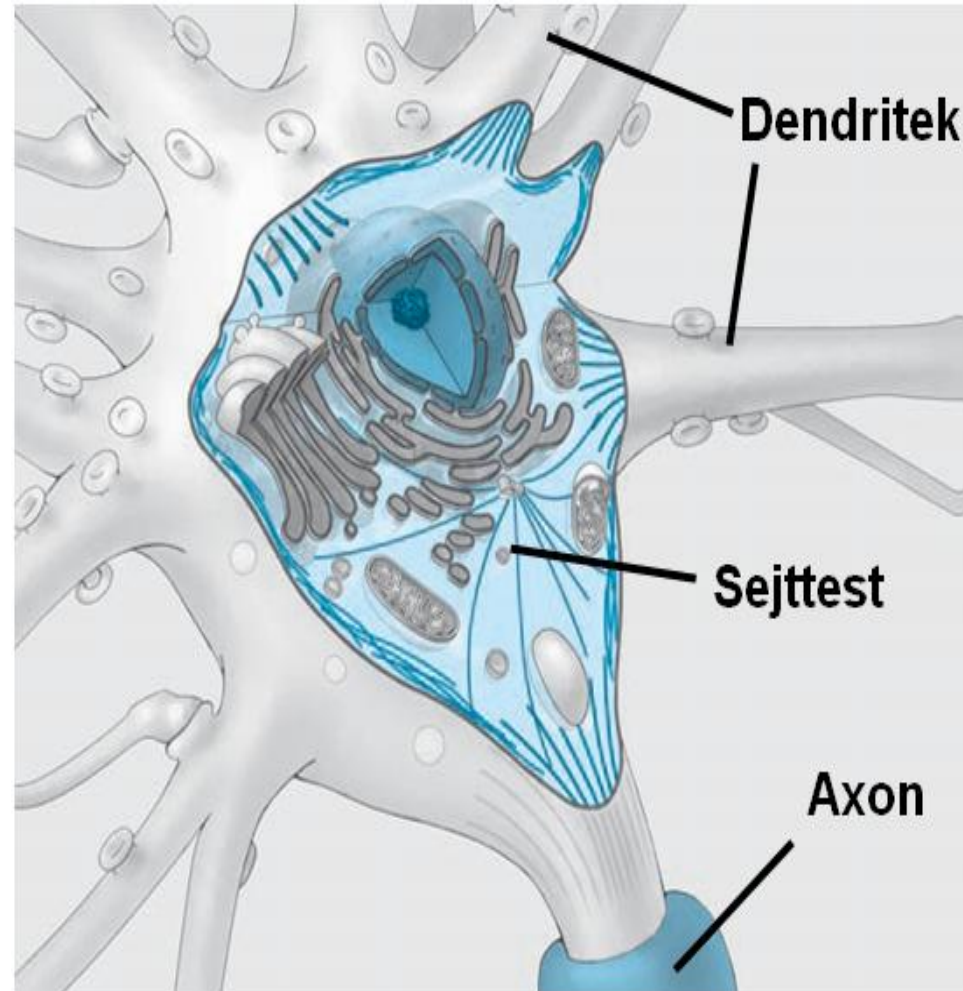
- Sejttestből eredő nyúlványok, faszzerűen elágaznak
- A többi idegsejttől érkező *jeleket fogadják*





# Sejttest

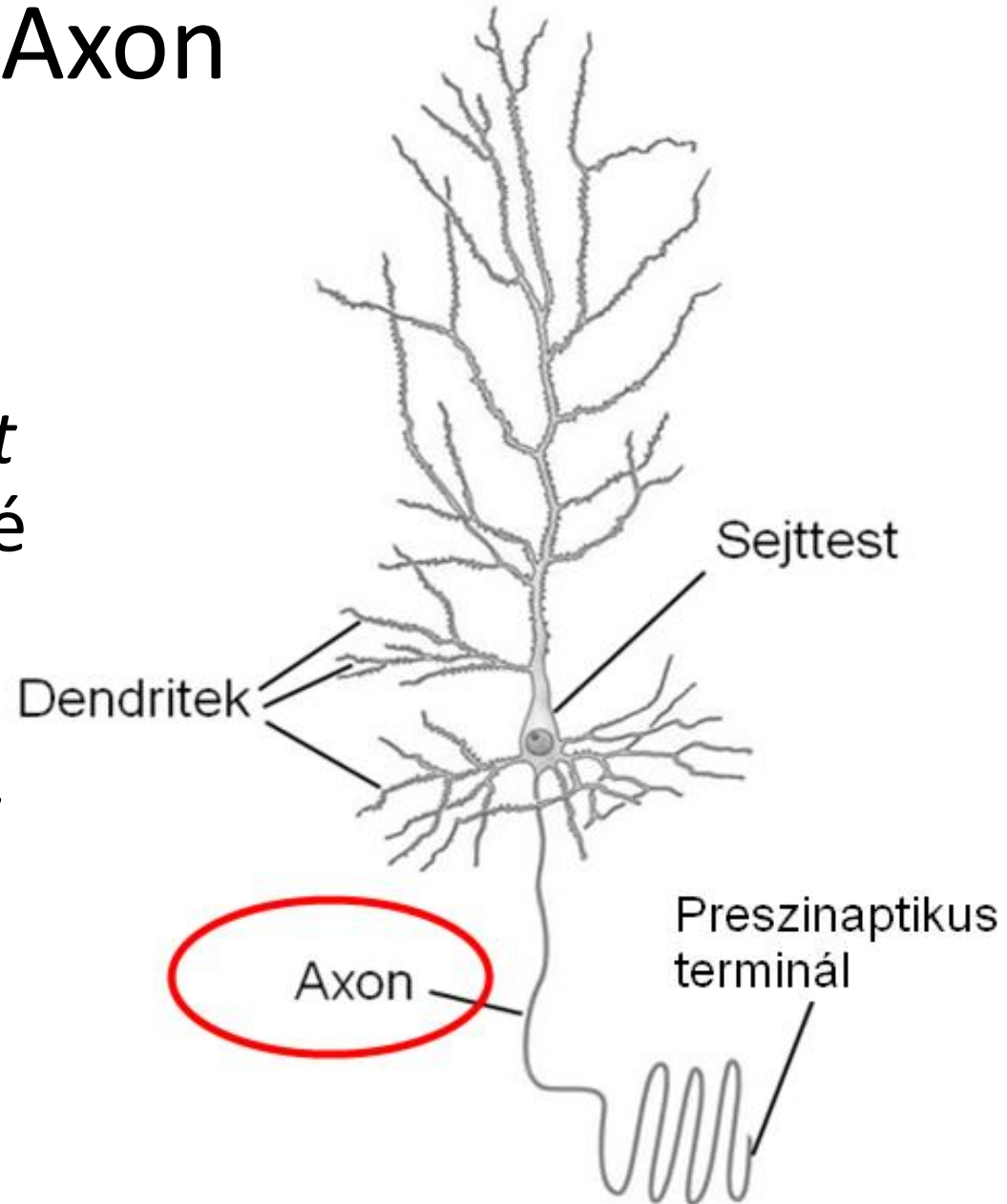
- A sejt alapvető működéséhez szükséges struktúrákat tartalmazza
  - Sejtmag
  - Endoplazmatikus retikulum
  - Mitokondrium
  - Golgi-készülék
- A sejttestből erednek az idegsejt nyúlványai
- Fontos szerep a *beérkező jelek összegzésében*





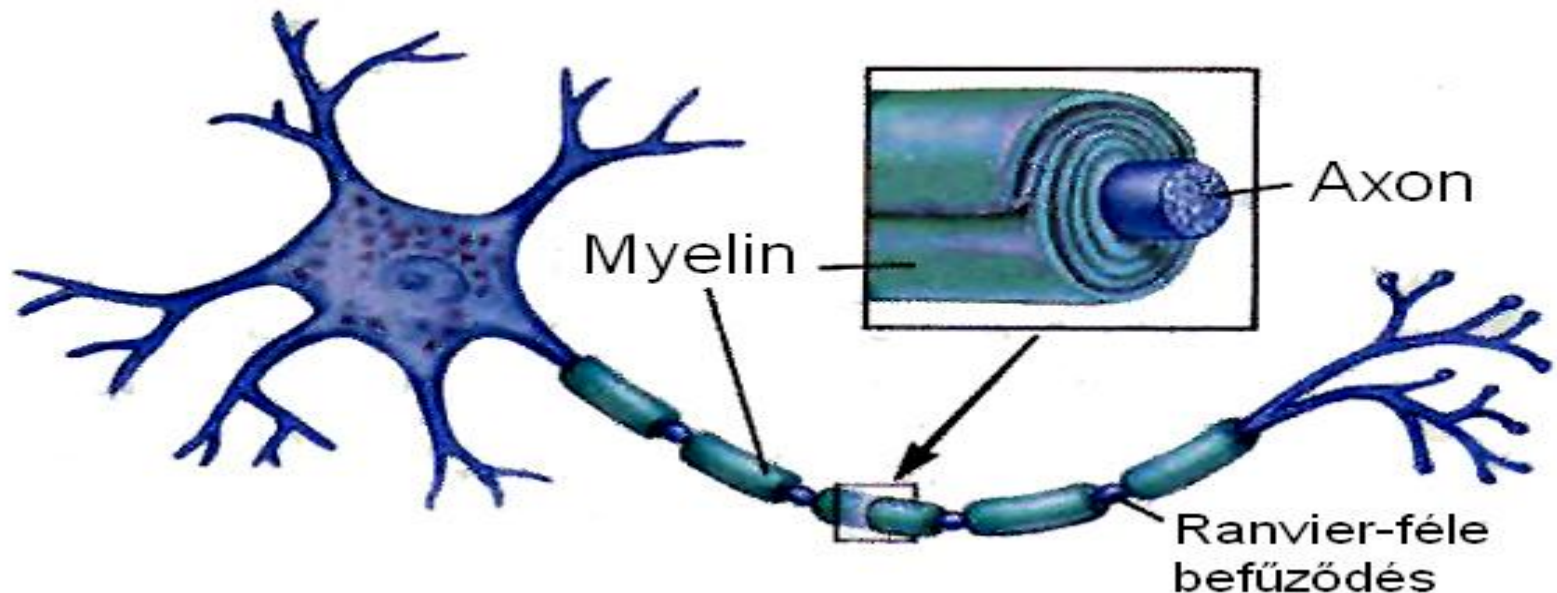
# Axon

- Hosszú, cső alakú nyúlvány
- *Továbbítja a jeleket* a többi idegsejt felé
- A jel tovaterjedő elektromos impulzus, az *akciós potenciál*, végighalad az axonon



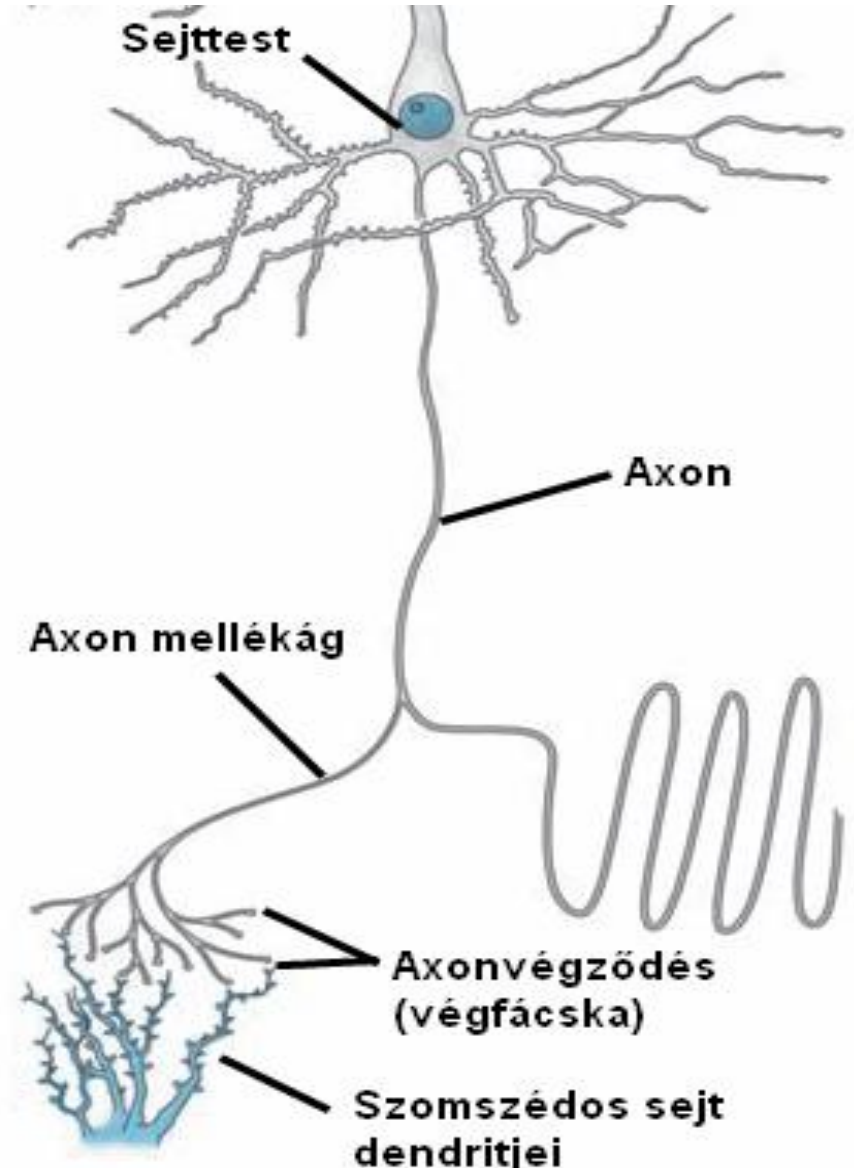
# Axon

- Az axon egyfajta „védőburkolattal” rendelkezik – *myelinhüvely*
- A burkolat nem folytonos, helyenként megszakad – *Ranvier-féle befűződések*



# Axon

- Egyes axonok elágaznak (mellékág)
- Az axon sokágú, ún. végfácskában végződik (preszinaptikus terminál) - közel a másik idegsejt dendritjeihez

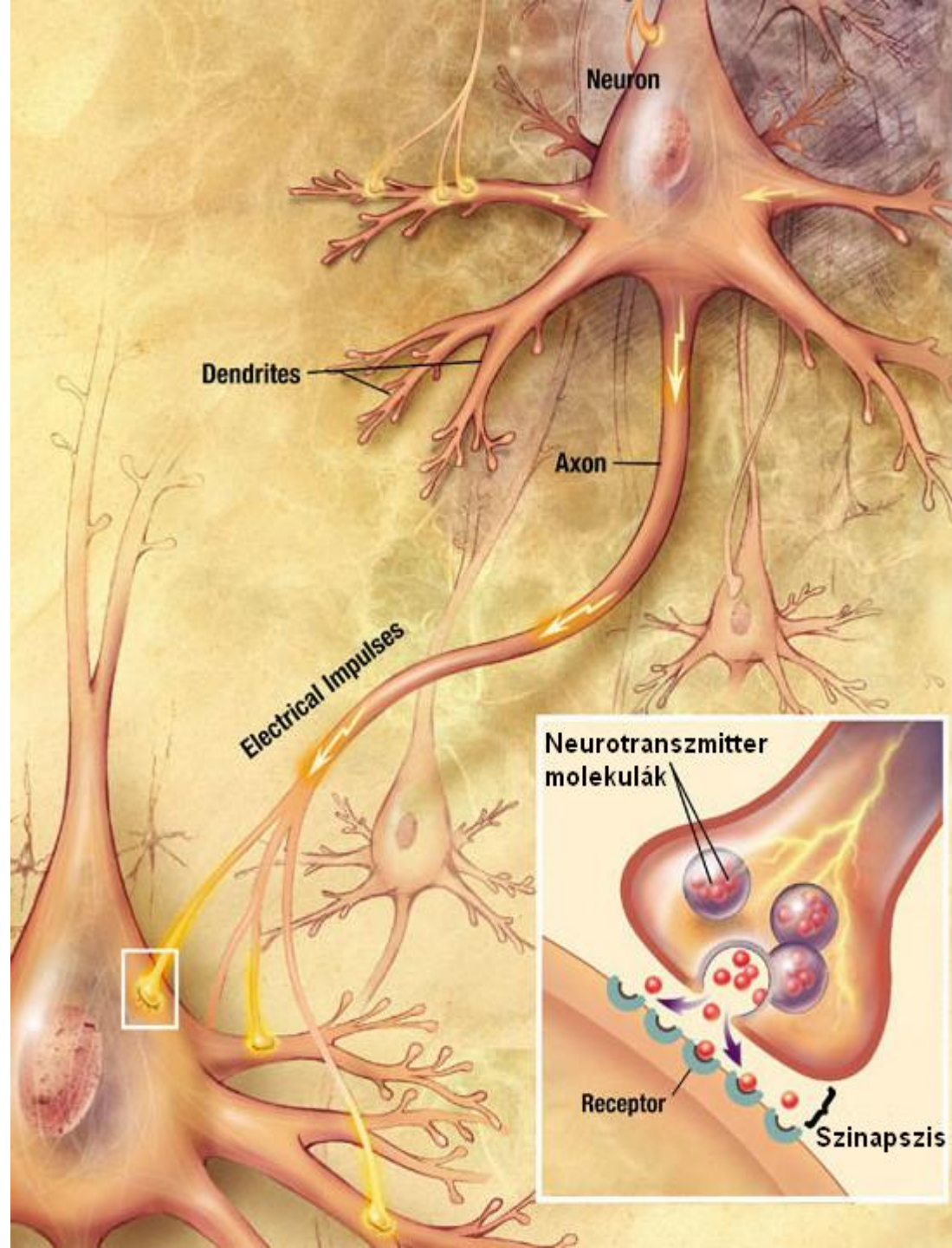


# Szinapszis

- Szinapszis: az idegsejtek közötti kommunikáció helye
- A kommunikáció lényege: az ingerület (akciós potenciál) továbbítódik az egyik idegsejt axonján, majd kémiai közvetítők révén áttevéődik a másik idegsejtre (dendritre, sejttestre)
- Az ingerület a *preszinaptikus* sejtről tevéődik át a *posztoszínaptikus* sejtire

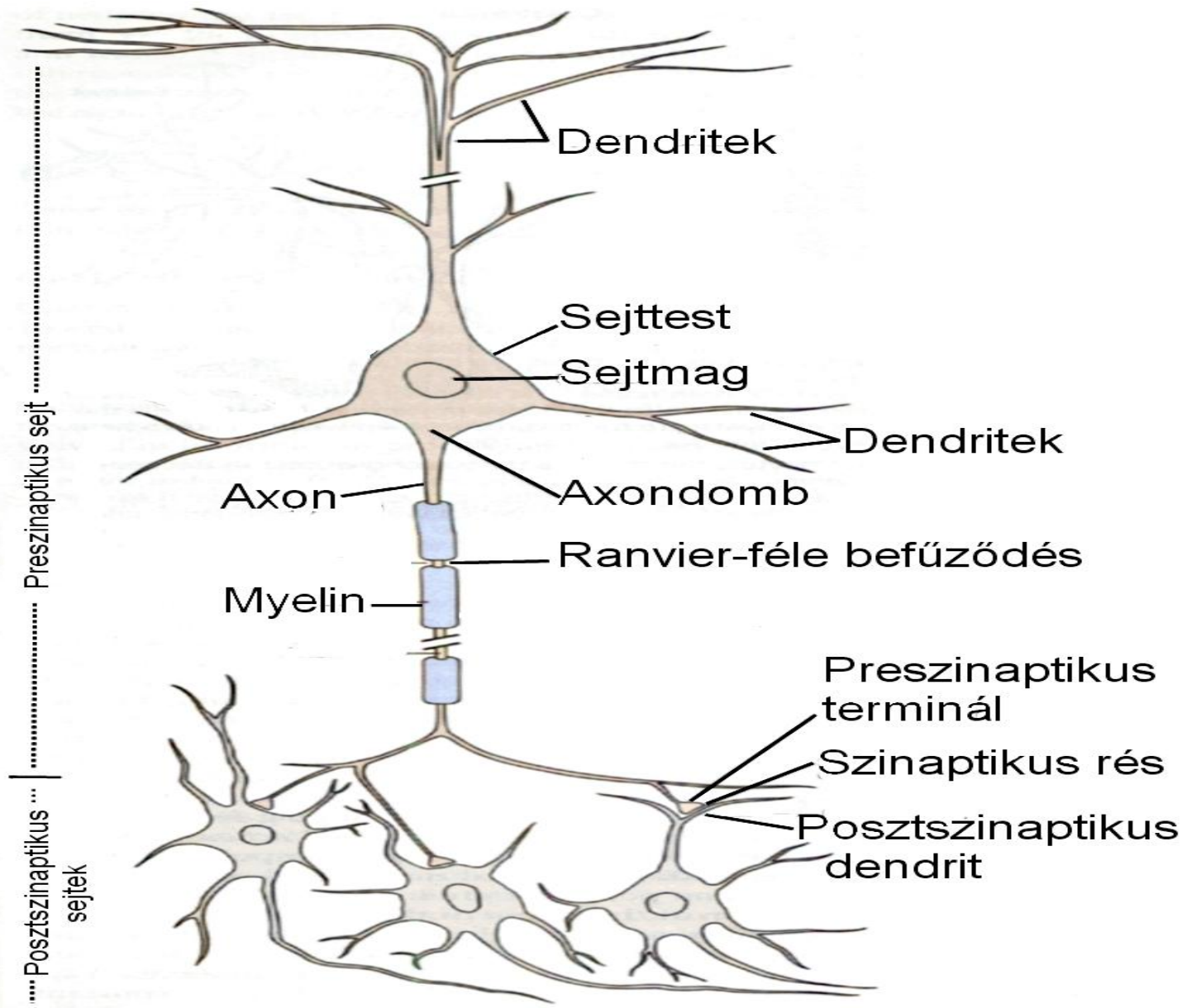
# Szinapszis

- Az akciós potenciál az axon-végződésből speciális kémiai anyagok (*neurotranszmitterek*) felszabadulását eredményezi
- Ezek a molekulák a másik sejt receptoraihoz kötődnek (*bővebben a következő órán*)

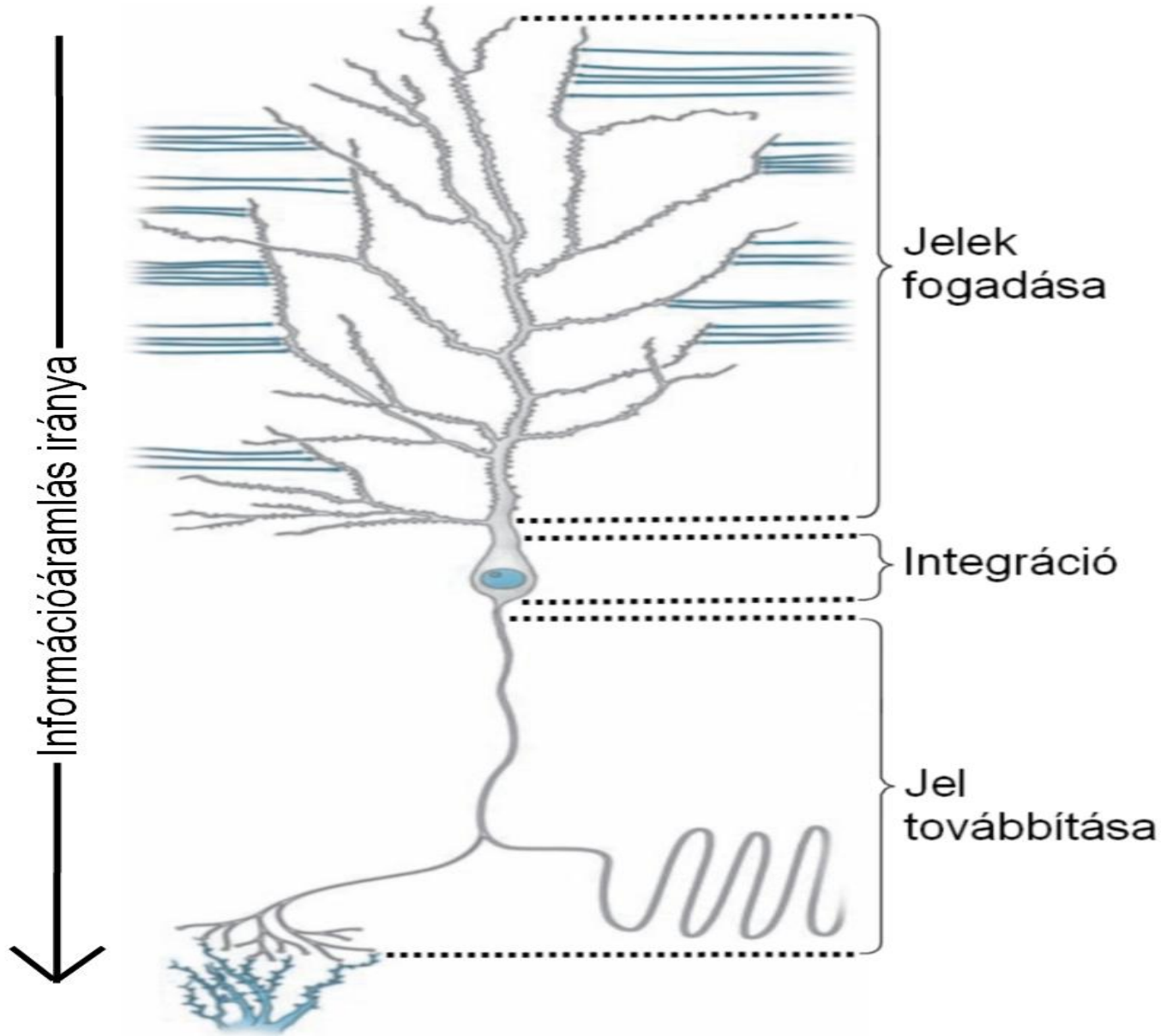




# Az idegsejt felépítése - összefoglalás



# Információtovábbítás az idegsejtben

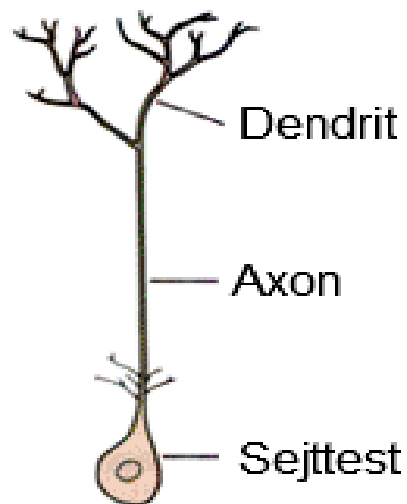




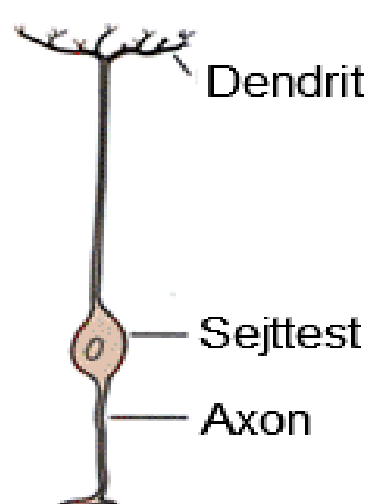
# Az idegsejtek anatómiai csoportosítása

- *Unipoláris*: egyetlen nyúlvány (axon) ami ágakra bomlik (dendritek); gerinctelenekben
- *Bipoláris*: két nyúlvány: az egyik információt továbbít a sejttestnek (dendrit), a másik az információt a többi sejtnak továbbítja (axon)
- *Multipoláris*: egy axon és számos, a sejttestből kiemelkedő dendrit; leggyakoribb az emlős idegrendszerben

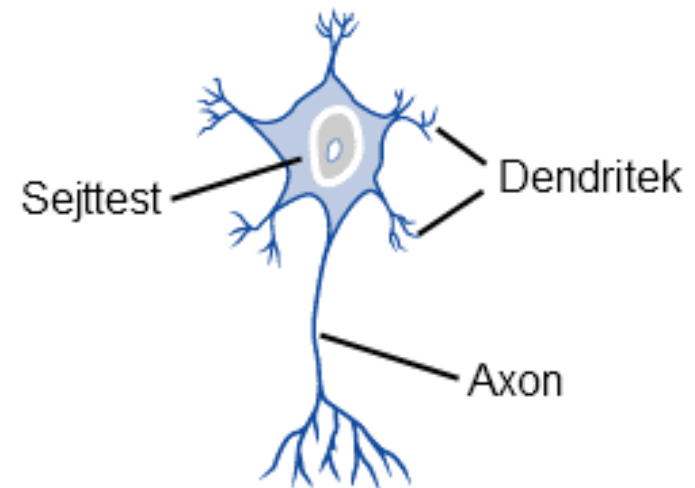
Unipoláris sejt



Bipoláris sejt



Multipoláris

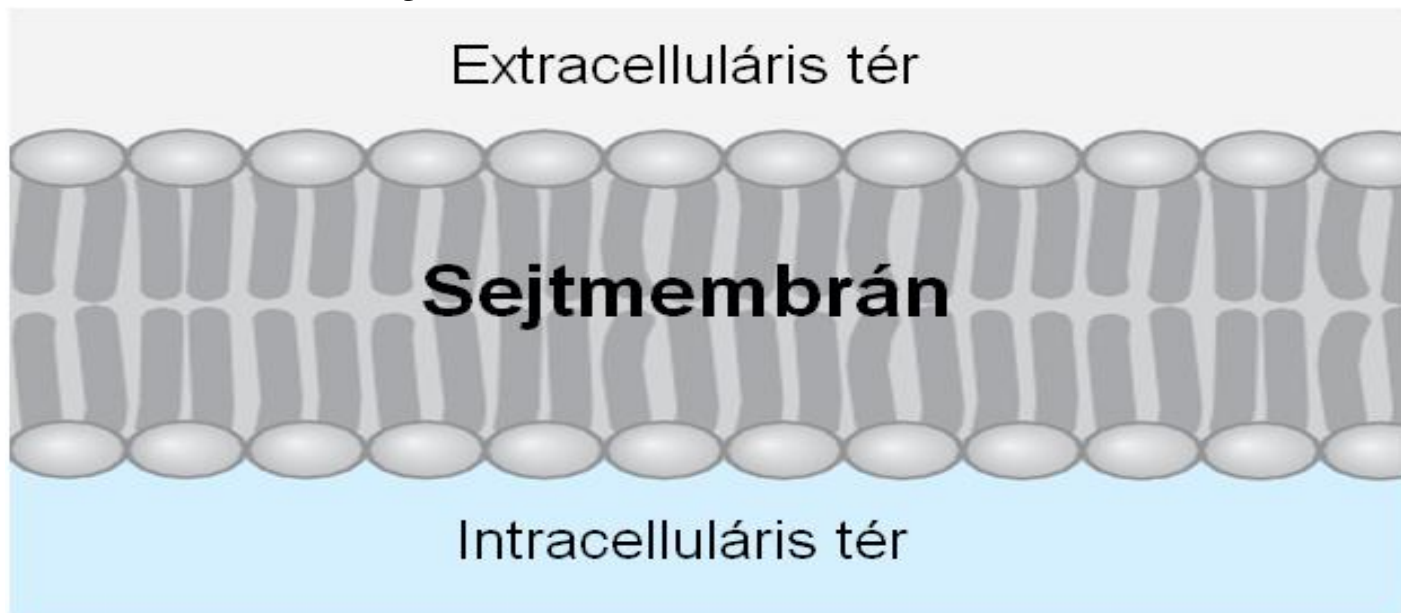


# Az idegsejtek funkcionális csoportosítása

- *Szenzoros neuronok*: információt szállítanak az érzékszervek, a test perifériája felől a központi idegrendszerbe
- *Motoros neuronok*: irányítják az izmok és a mirigyek működését
- *Interneuronok*: idegsejtek között teremtenek kapcsolatot

# Sejtmembrán

- Elválasztja egymástól a sejt külső (extracelluláris tér) és belső (intracelluláris tér) környezetét
- A sejten kívüli és sejten belüli folyadék pozitív és negatív töltésű ionokat tartalmaz – koncentrációjuk eltér a membrán két oldalán

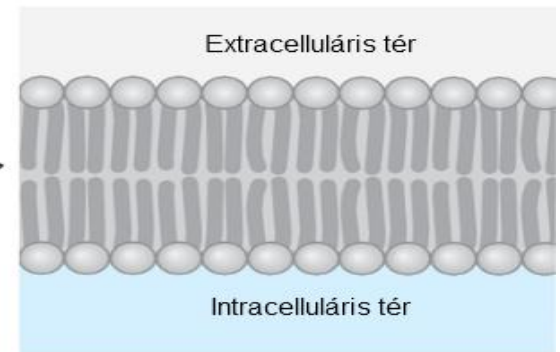
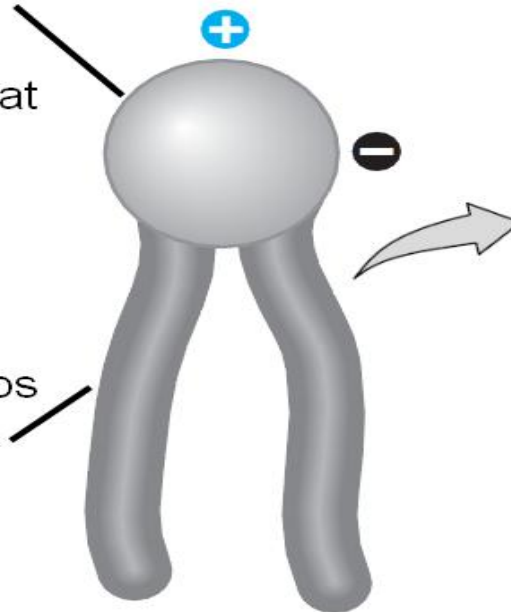


# A sejtmembrán felépítése

- Alkotóeleme egy speciális molekula: *foszfolipid*, fej és fark részről áll
- A foszfolipidek *kettős réteget* alkotnak – az elrendeződés következtében a sejtmembrán *nem átjárható* (impermeábilis) számos különféle anyag számára

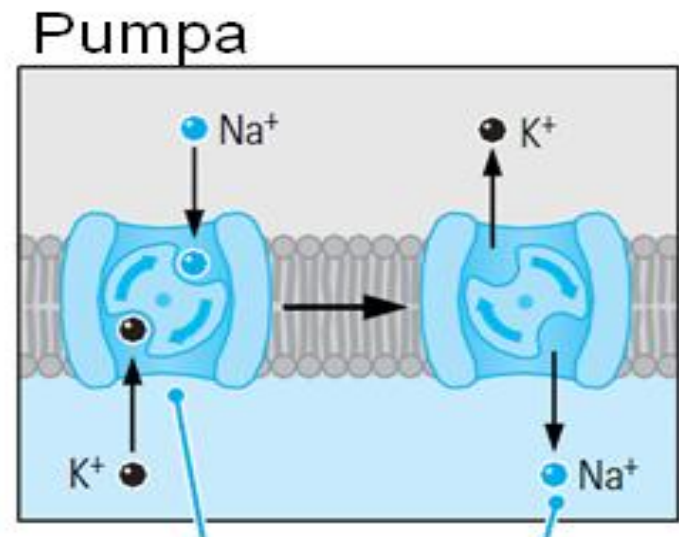
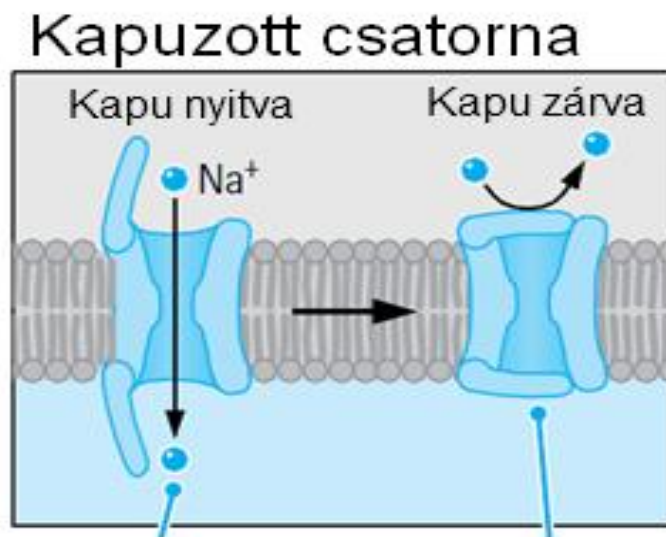
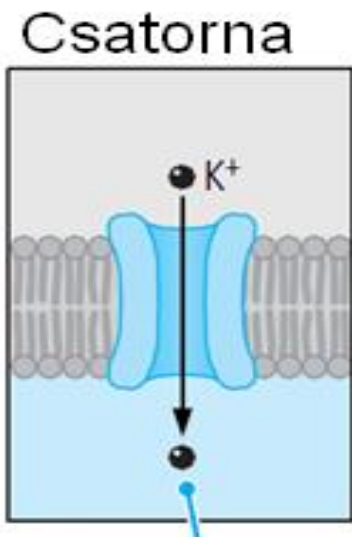
A poláros fej vonzza a vízmolekulákat (hidrofil)

Az apoláros fark hidrofób

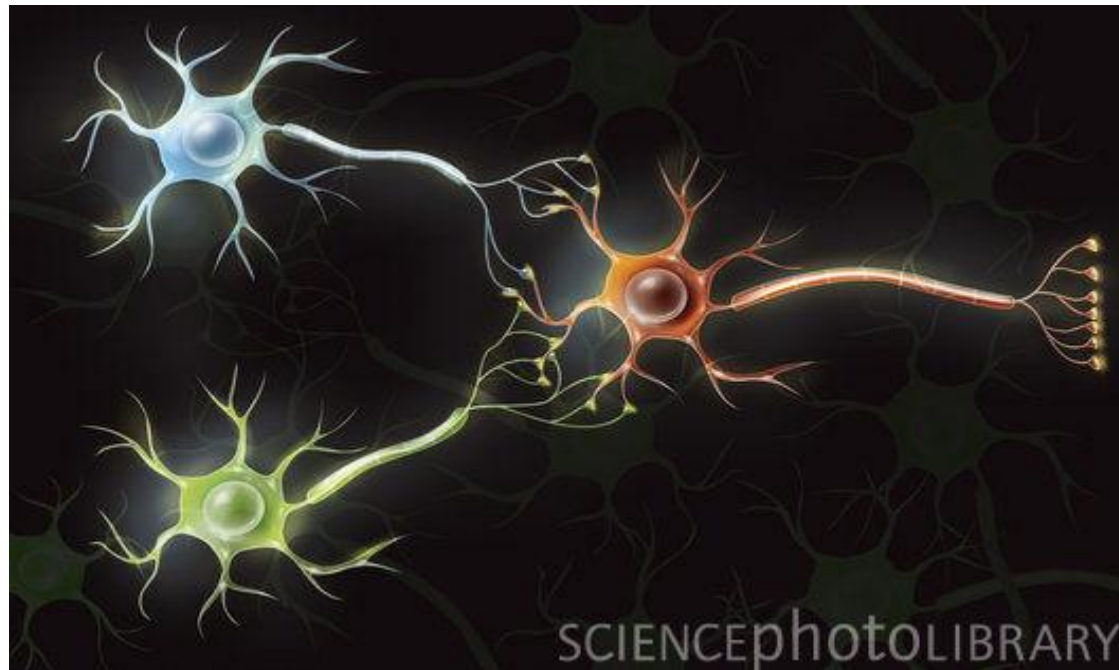


# Anyagtranszport a sejtmembránon keresztül

- Speciális struktúrák teszik lehetővé az anyag áramlását a sejtmembránon keresztül
  - *Csatornák*: átmérőjük függvényében engednek át bizonyos anyagokat
  - *Kapuk*: kémiai anyag vagy feszültségváltozás nyitja/zárja
  - *Pumpák*: aktívan juttatnak át anyagot egyik oldalról a másikra

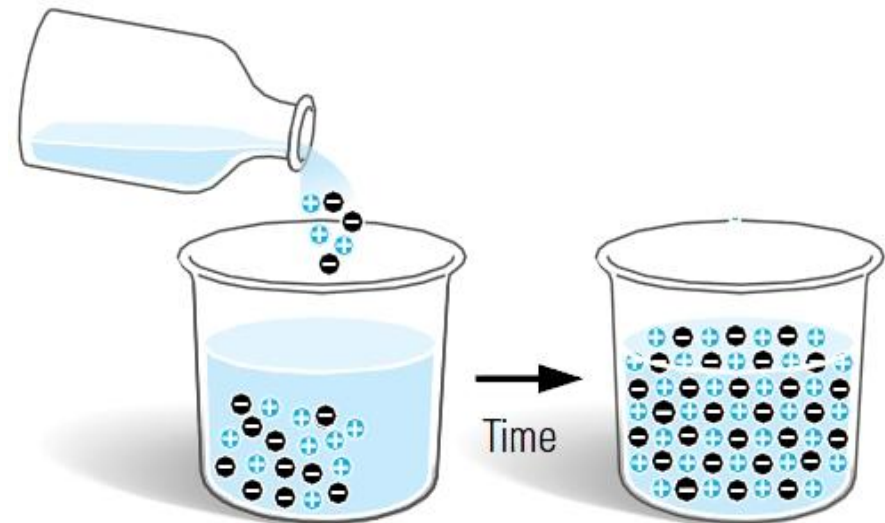
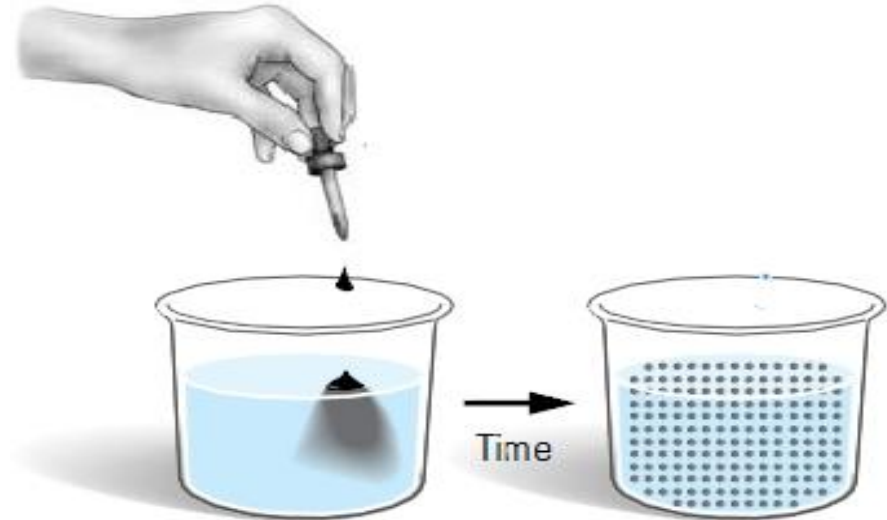


# Az idegsejt elektromos aktivitása



# Az ionok sejtmembránon keresztül történő mozgását 3 tényező határozza meg

- A sejtmembrán felépítése (*lásd feljebb*)
- *Koncentráció-gradiens*: az ionok a magasabb koncentráció helyéről az alacsonyabb felé „vándorolnak”
- *Feszültség-gradiens*: ionok elektromos gradiensük szerint vándorolnak addig, amíg a pozitív és negatív töltésű ionok eloszlása egyenlő nem lesz





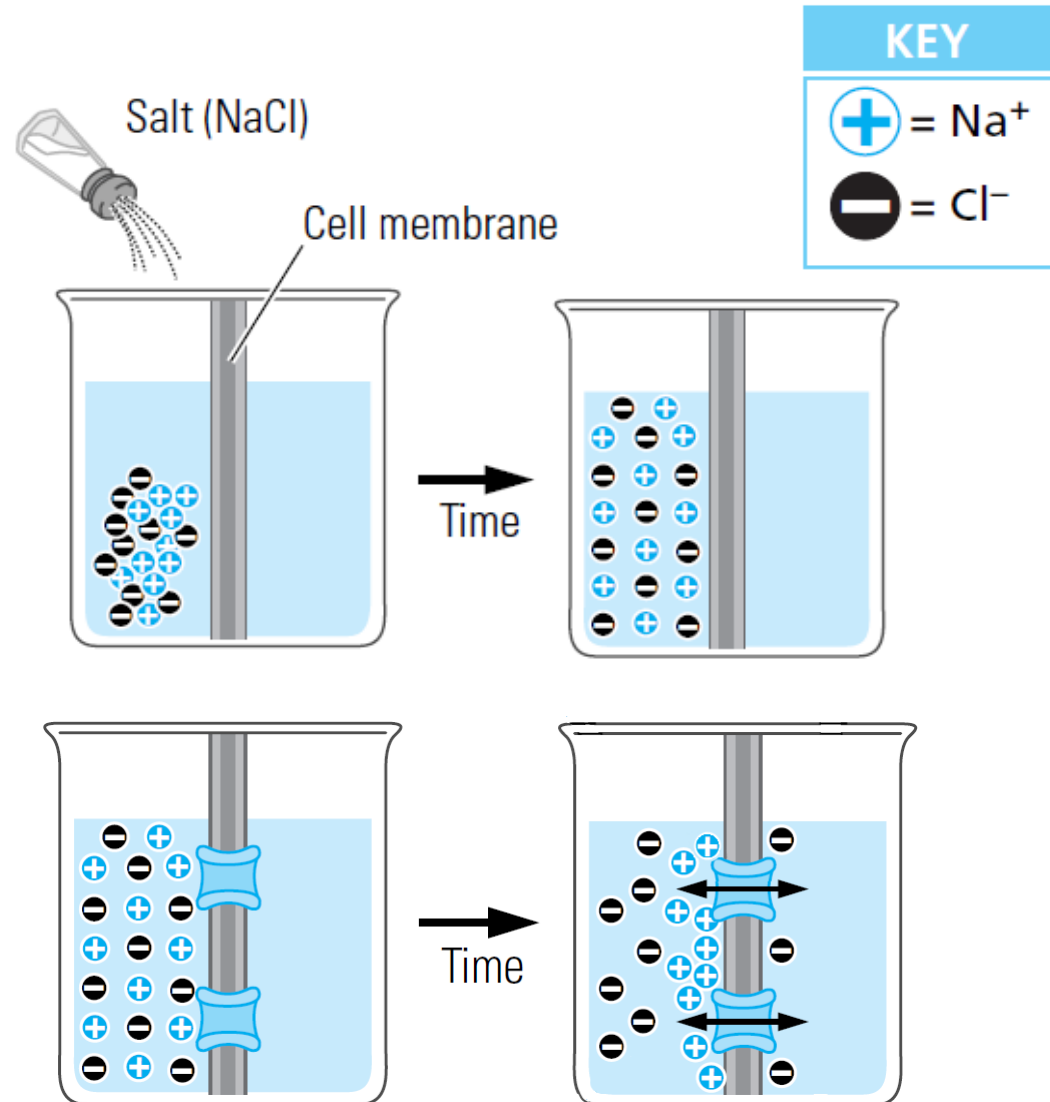
# Az ionok sejtmembránon keresztül történő mozgását 3 tényező határozza meg

Equilibrium:

*feszültség-*  
*gradiens*

=

*koncentráció-*  
*gradiens*



# Nyugalmi membránpotenciál

- Nyugalmi állapotban a pozitív és negatív töltésű ionok megoszlása különböző a sejtmembrán két oldalán: a *sejten belüli rész negatív töltésű* a sejt külső környezetéhez képest. Vagyis a sejtmembrán belső és külső felszíne között elektromos potenciálkülönbség áll fenn – **nyugalmi membránpotenciál (-70 mV)**.

# Nyugalmi membránpotenciál

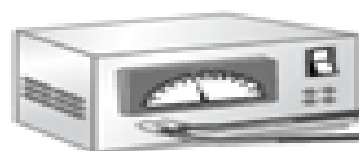
(C)

Az ionok egyenlőtlen eloszlása miatt a sejt belseje negatív töltésű

... a külseje pozitív töltésű



(D)

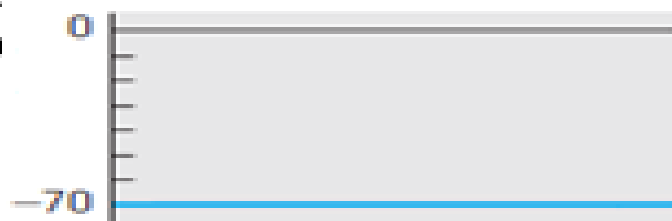


Axon

Elektróda az axon külső felszínén...

...és belső felszínén.  
A különbség 70 mV

Feszültség (mV)



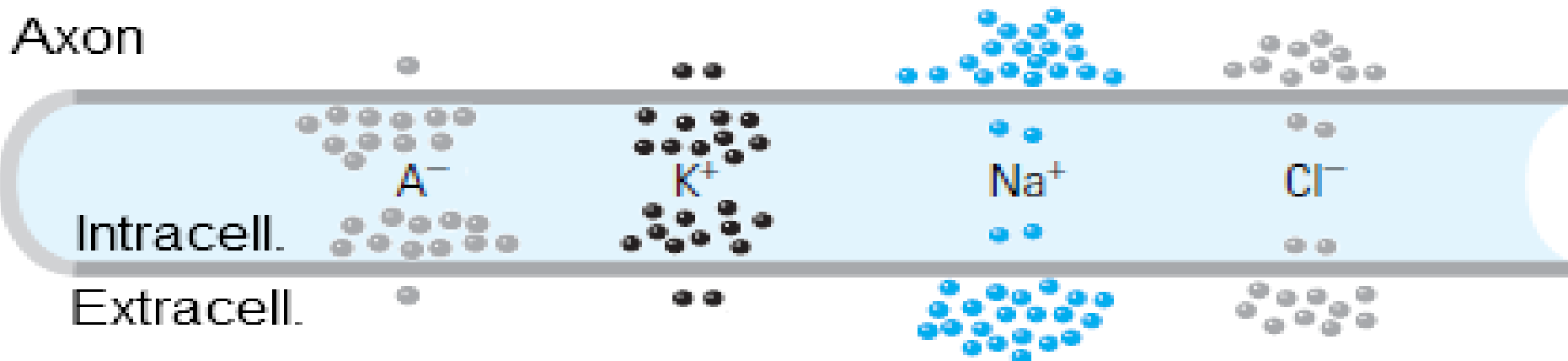
Idő (ms)

Konvenció szerint a külső oldalt 0 mV-nak véve...

A sejten belüli potenciál -70 mV a külső térhez képest (nyugalmi m.pot.)

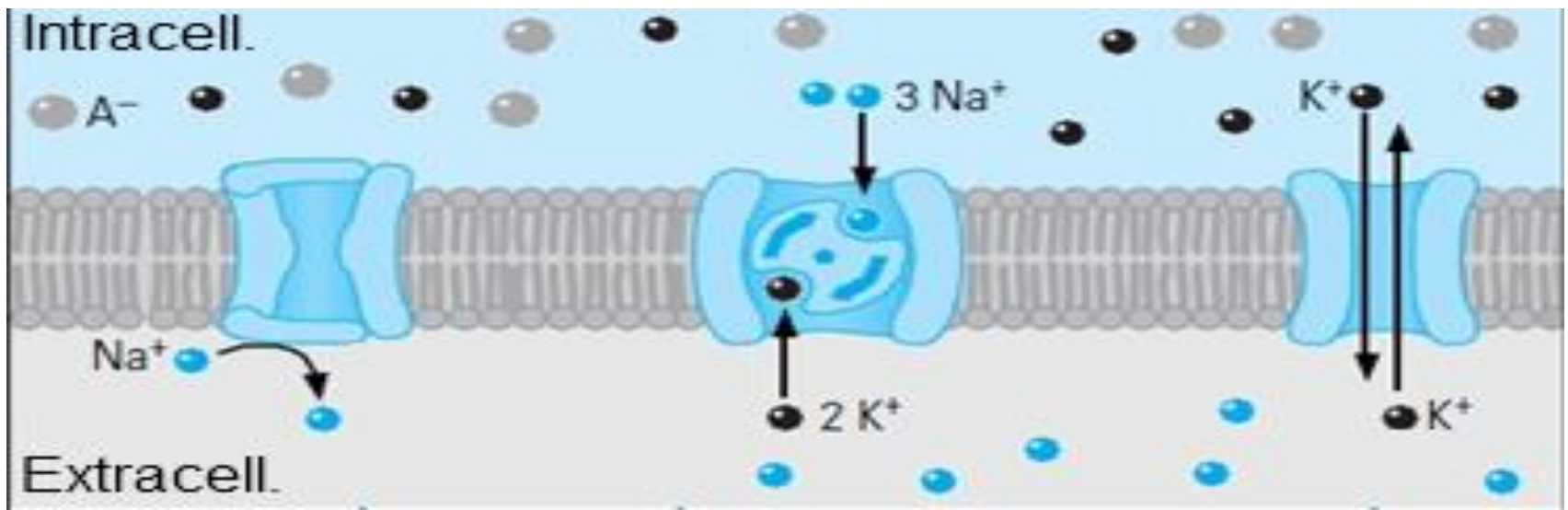
# A nyugalmi membránpotenciál kialakulása

- A protein anionoknak ( $A^-$ ) és a kálium ionoknak ( $K^+$ ) a *sejten belül*, a nátrium ( $Na^+$ ) és klorid ( $Cl^-$ ) ionoknak a *sejten kívül* nagyobb a koncentrációja
- Protein anionok: a sejten belül termelődnek, nem tudják elhagyni a sejt belsejét, a belső negatív töltéshez járulnak hozzá



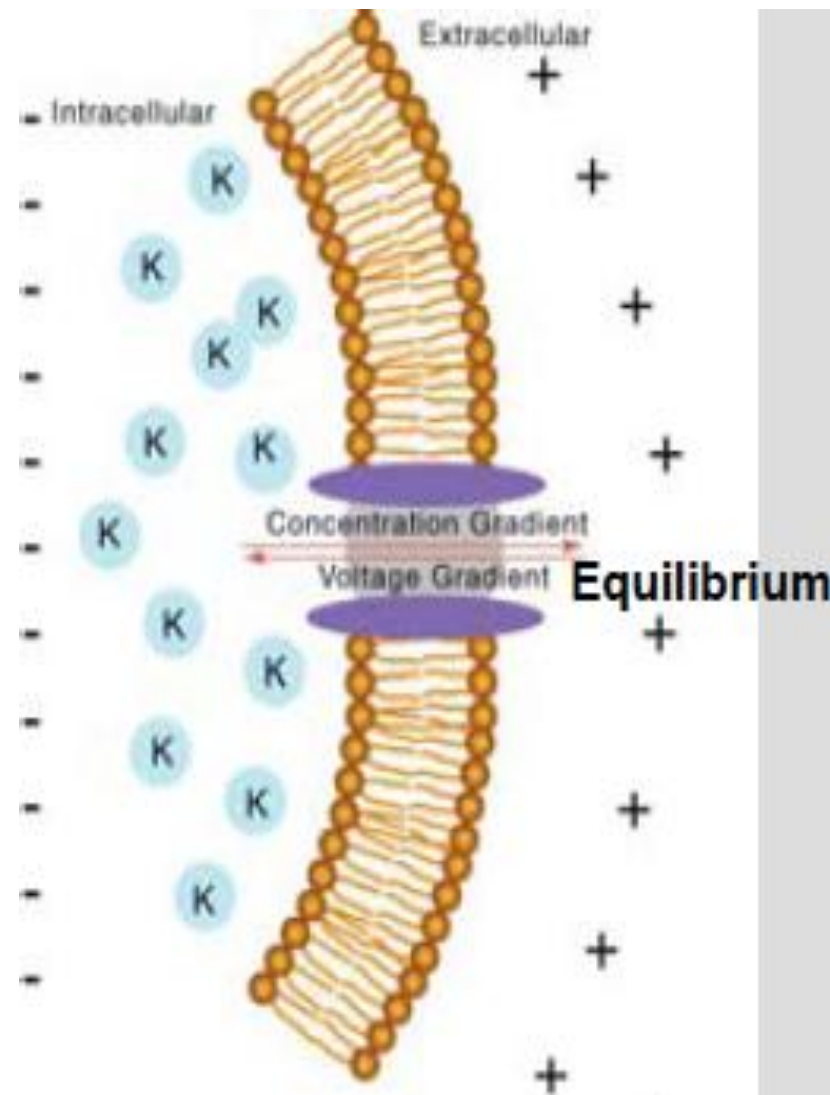
# A nyugalmi membránpotenciál kialakulása

- Nátrium ionok: nyugalmi helyzetben a nátriumcsatornák zártak, meggátolják a  $\text{Na}^+$  sejtbe való beáramlását. A sejtbe belépő nátrium ionokat eltávolítja a nátrium-kálium-pumpa (3 sejtben belüli  $\text{Na}^+$ -t kicserél 2 sejtben kívüli  $\text{K}^+$ -ra )



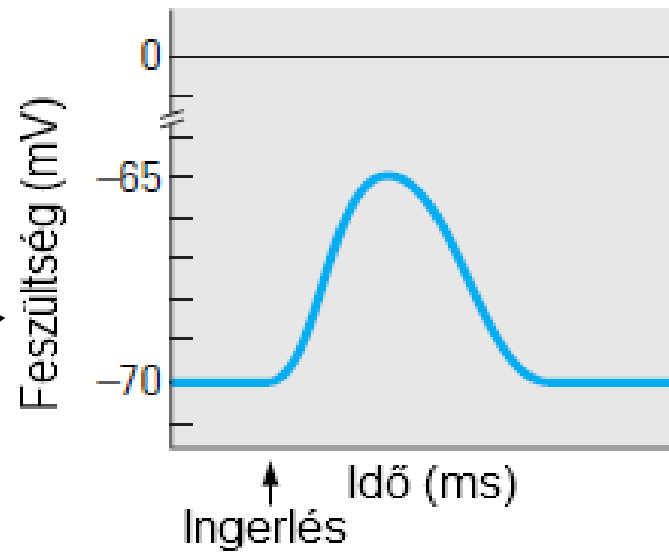
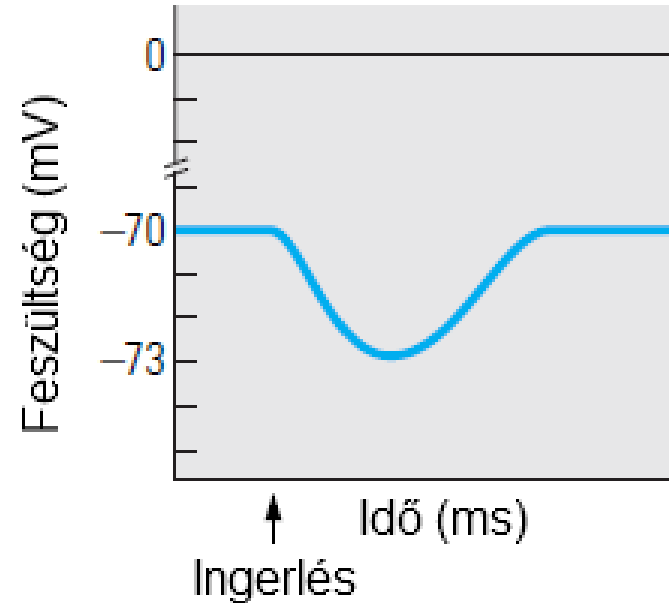
# A nyugalmi membránpotenciál kialakulása

- Kálium ionok: a  $K^+$  csatornák nyitva vannak, a kálium szabadon áramolhat rajtuk keresztül. A koncentrációgradiens kilépésre készíti, a feszültség-gradiens visszatartja a  $K^+$  ionokat. Egyensúlyi helyzetben e két ellentétes irányú erő egyenlő – valamennyi  $K^+$  a sejten kívül marad



# Helyi potenciálváltozások

- Ingerlés hatására a nyugalmi állapotra jellemző potenciálkülönbség megváltozhat
- *Hiperpolarizáció*: a sejt belseje negatívabb lesz (nő a potenciálkülönbség)
- *Depolarizáció*: sejt belseje pozitívabb lesz (csökken a potenciálkülönbség)

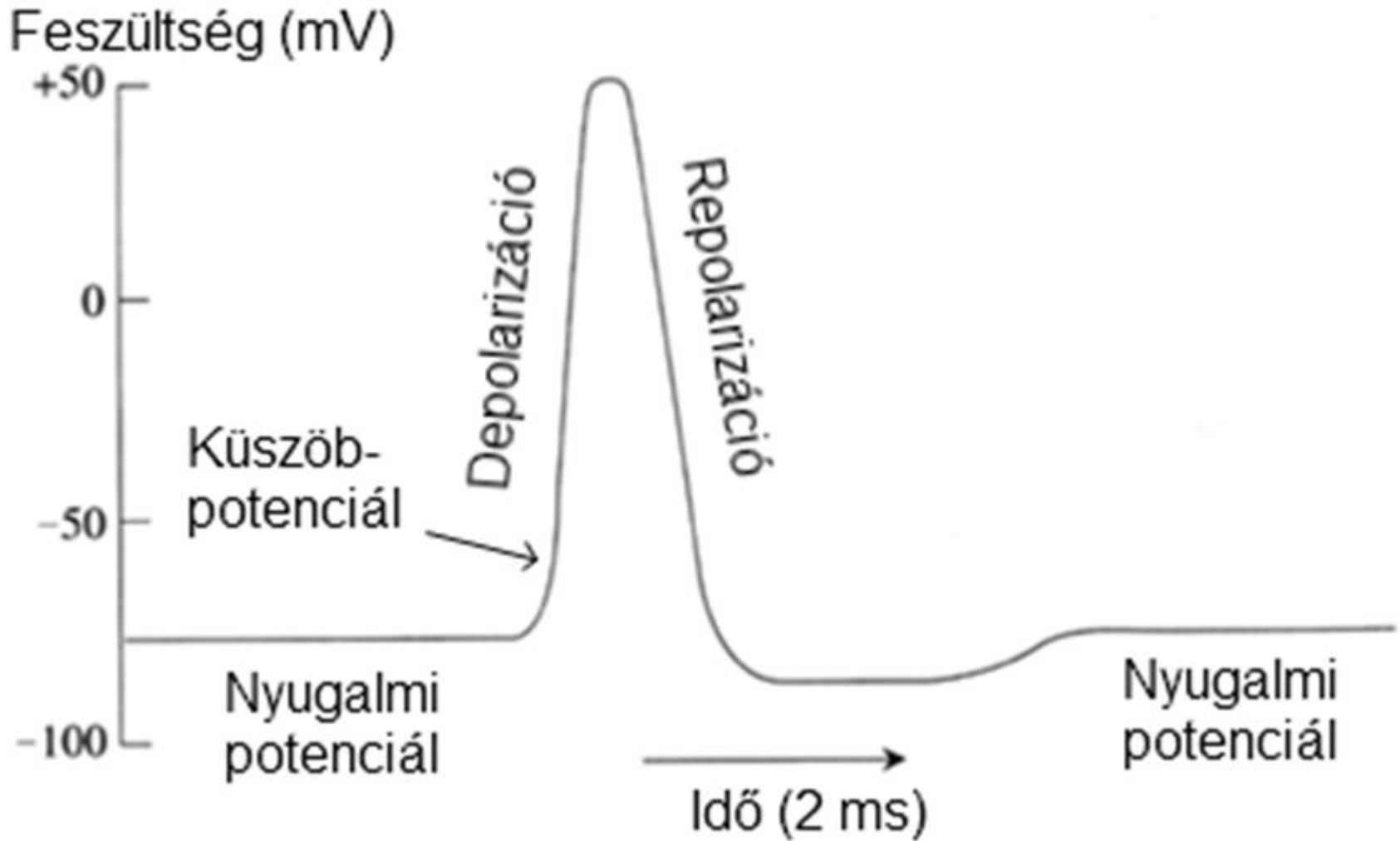




# Akciós potenciál

- Ha a depolarizáció mértéke elér egy küszöböt (-50 mV, *küszöbpotenciál*), akciós potenciál jön létre („tüzel a sejt”). A membránpotenciál átmenetileg megfordul: sejt belseje pozitívabb lesz a sejt külsejéhez képest, majd visszatér a nyugalmi állapotba.

# Akciós potenciál

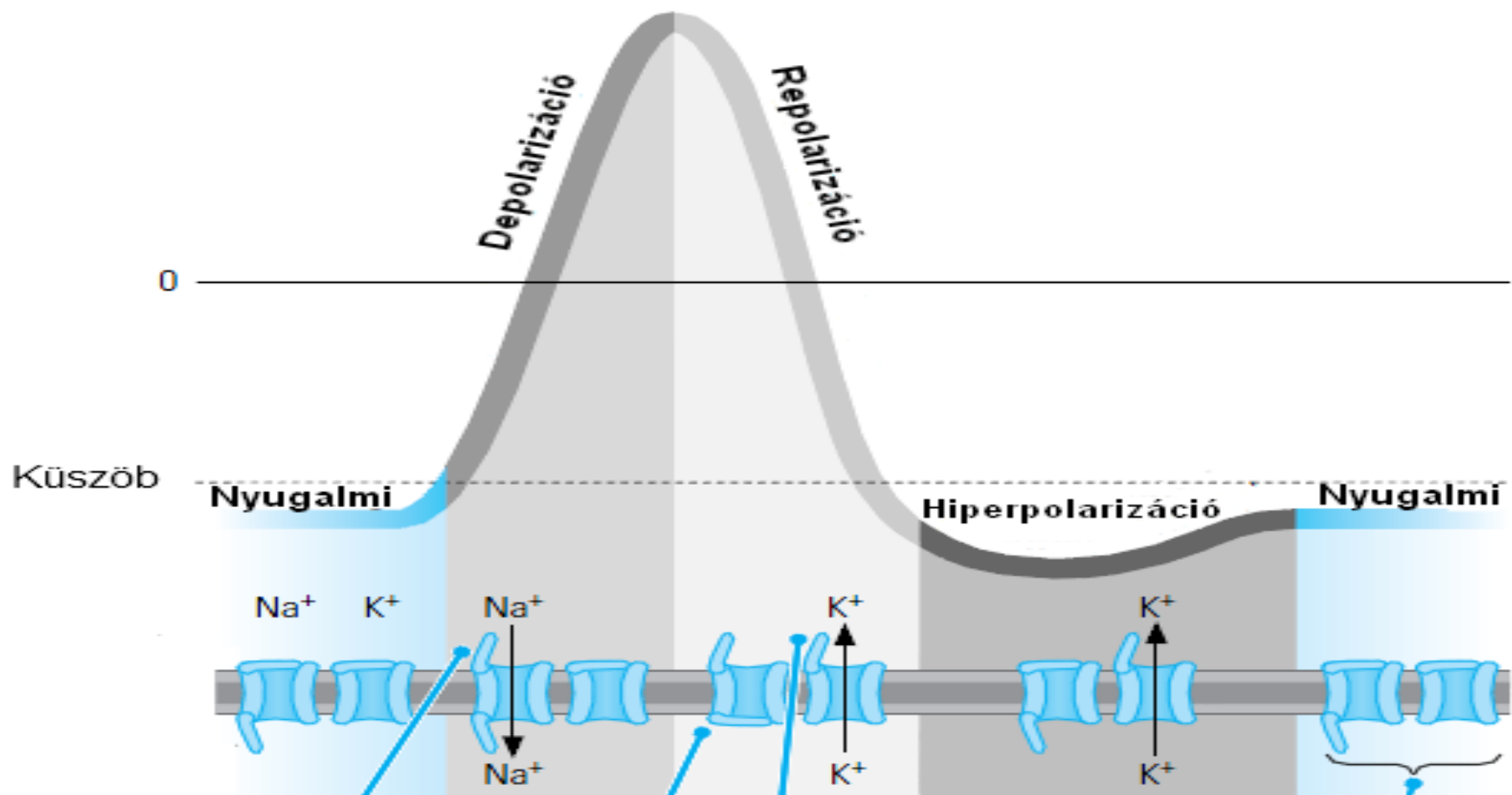


# Az akciós potenciál jellemzői

- A neuronális kommunikáció alapja
- Rövid ideig tartó (1 ms), átmeneti potenciálváltozás
- Propagatív
- Gyengítetlenül terjed
- Refrakter periódusa van
- Nem szummálható (minden vagy semmi elve)

# Ioncsatornák szerepe az AP kialakulásában

- Depolarizáció során a membránpotenciál eléri a küszöböt ->  $\text{Na}^+$  csatornák kinyílnak,  $\text{Na}^+$  áramlik a sejt belsejébe, ami további depolarizációt idéz elő
- Ezt követően a  $\text{Na}^+$  csatornák inaktiválódnak és kinyílnak az eddig zárt  $\text{K}^+$  csatornák ->  $\text{K}^+$  áramlik ki a sejtéből, ami repolarizációhoz, majd átmeneti hiperpolarizációhoz vezet. Végül visszaáll a nyugalmi potenciál



1

Nátrium-csatornák kinyílása depolarizációt eredményez...

2

...zárásukkal véget ér a depolarizáció

3

A kálium-csatornák kinyílása a repolarizációhoz járul hozzá

4

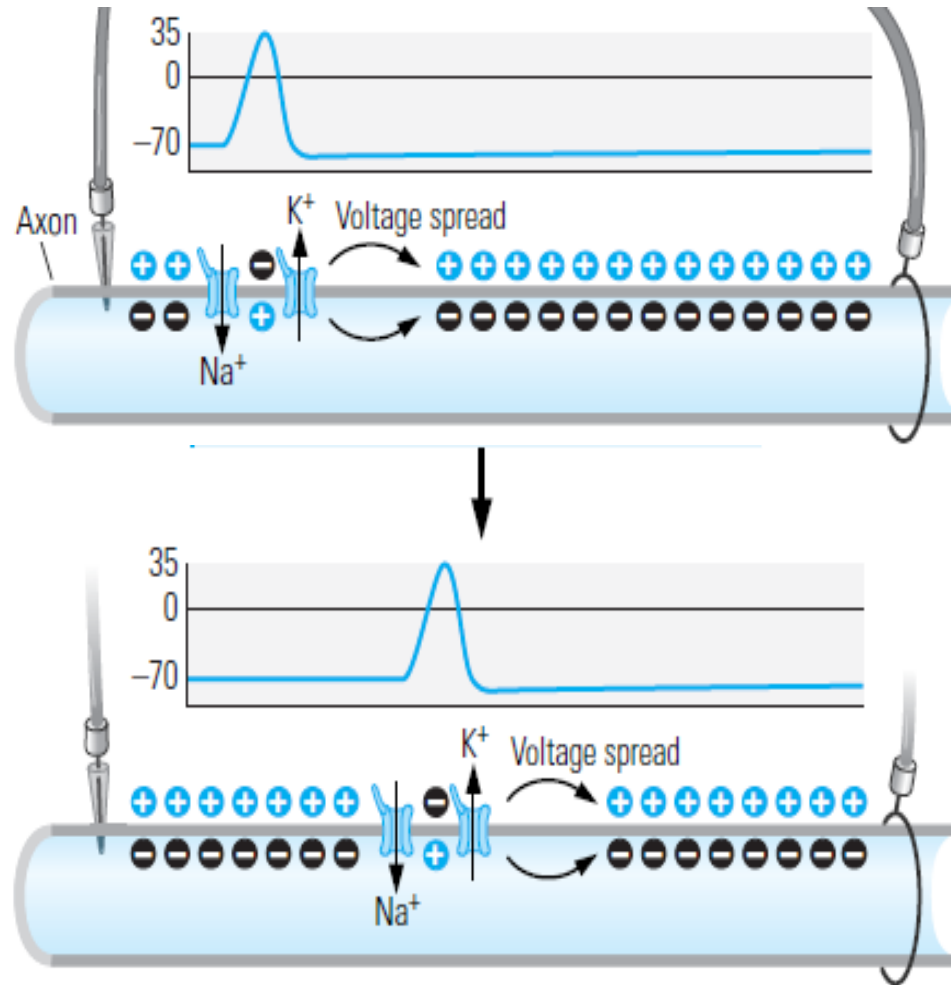
A csatornák kezdeti pozíciója visszaállítja a nyugalmi potenciált

# Refrakter periódus

- Ha a sejtet a depolarizáció vagy repolarizáció során ingereljük, nem kapunk új AP-t (abszolút refrakter), tehát ekkor az *új ingerre egyáltalán nem reagál a sejt*.
- A relatív refrakter periódus során (hiperpolarizáció alatt) a sejt ingerelhető, új AP váltható ki, de *csak akkor, ha az ingerlés intenzitása nagyobb, mint az eredeti AP-t kiváltó ingeré*

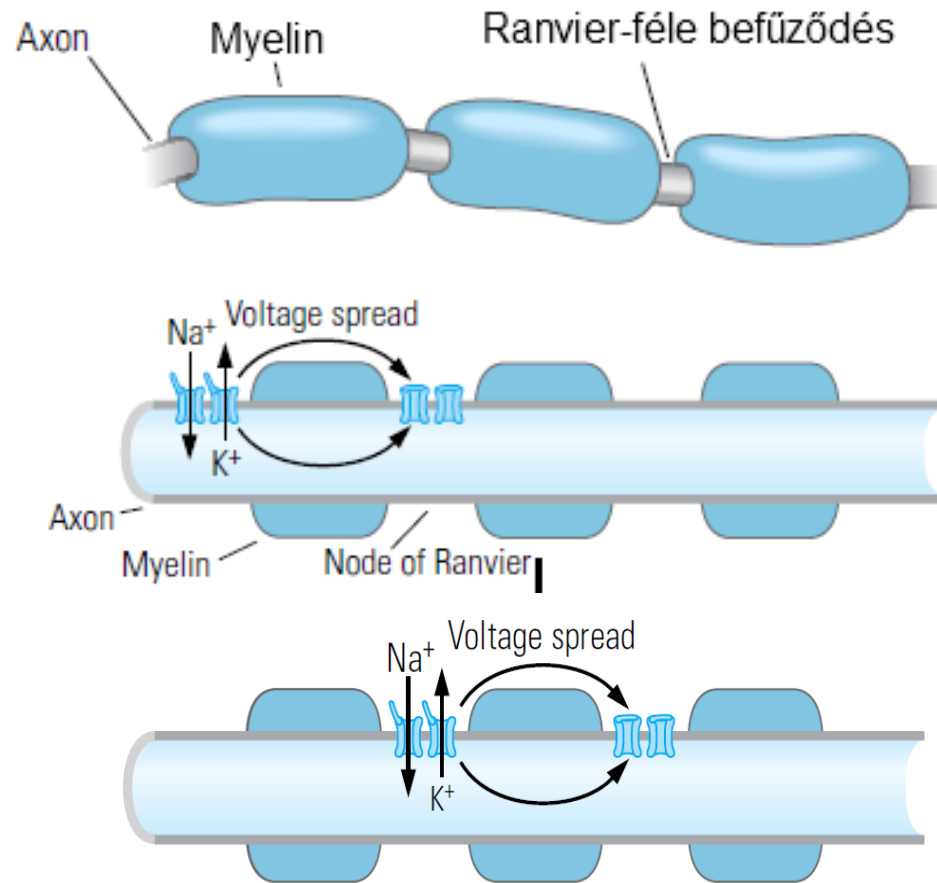
# Az akciós potenciál továbbterjedése

- Az akciós potenciál hullámként terjed végig az axonon, egészen az axonvégződésig – *idegi impulzus*
- A belső áram depolarizálja a szomszédos axonrégiókat, így aktiválja a szomszédos ioncsatornákat
- Vezetési sebességet meghatározza:
  - Méret
  - myelinizáció



# Myelin

- Az idegsejtek axonjai myelinhüvellyel borítottak
- Funkció:
  - Sejtek elszigetelése egymástól
  - Fokozza az ingerületterjedés hatékonyságát
  - Ranvier-féle befűződések: nincs myelin, sok ioncsatorna
  - Ugráló (szaltatorikus) ingerületvezetés: az AP befűződéstről befűződésre ugrál





# A következő neuronig – hogyan tovább?

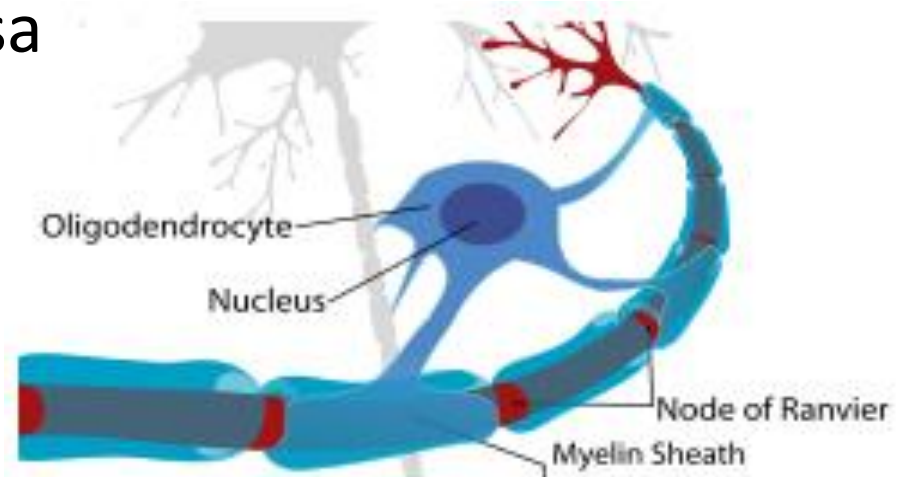
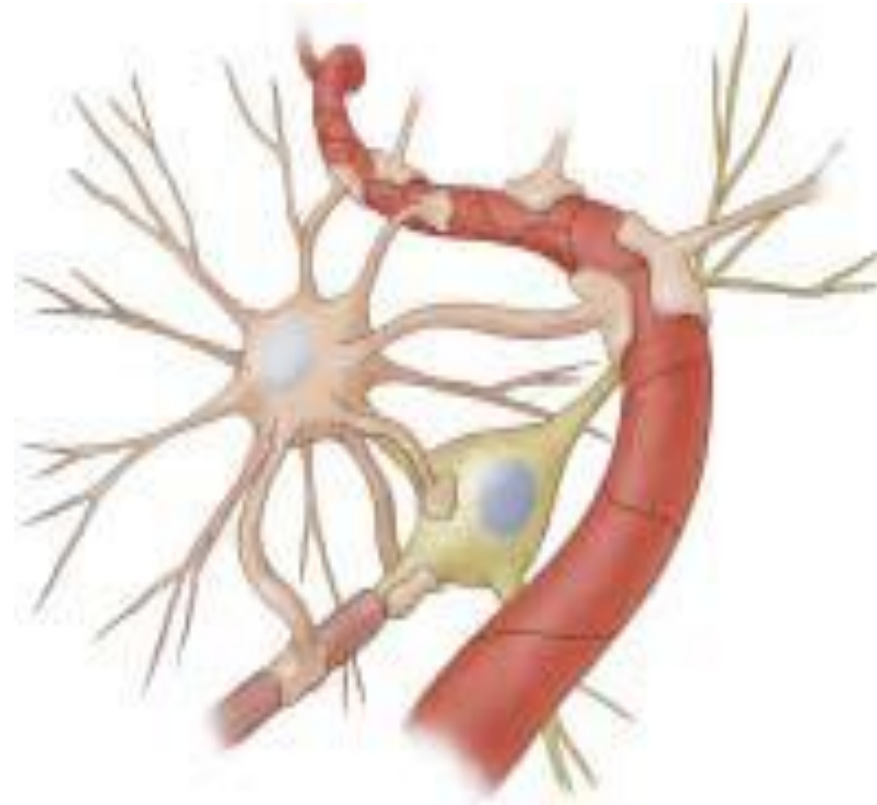
- Az AP eléri az axon-terminálist -> neurotranszmitterek szabadulnak fel, melyek a következő idegsejt receptoraihoz kötődve befolyásolják annak működését
- Bővebben: *következő óra*

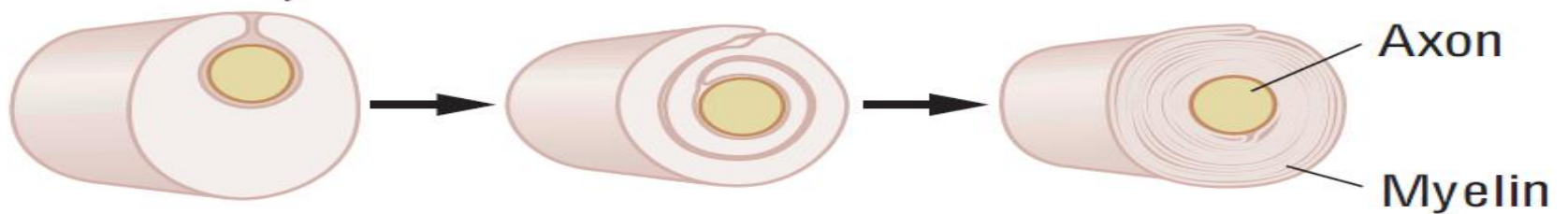
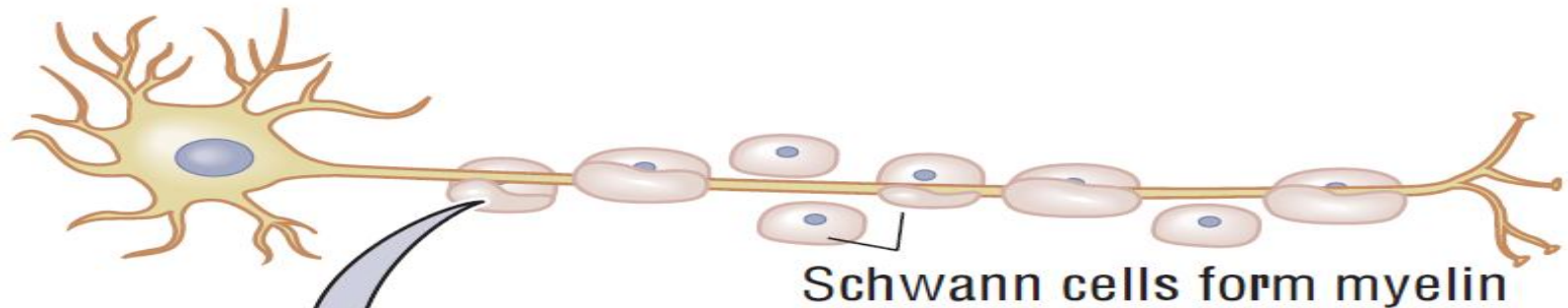
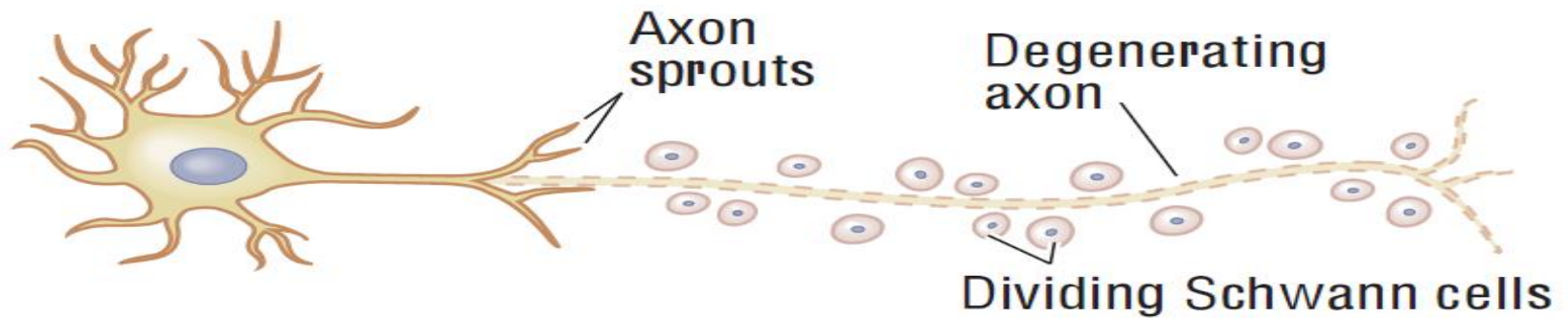
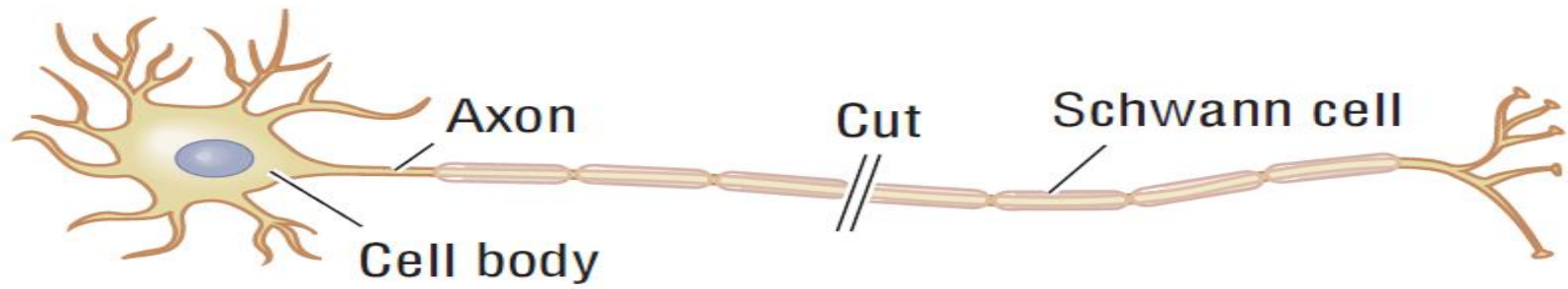
# Az idegi ingerületvezetés klinikai összefüggései – Sclerosis multiplex

- A myelin sérül az agyban és a gerincvelőben – demyelinizációs betegség
- A demyelinizált axonok AP vezetése lassú, vagy megszűnik
- Változatos neurológiai tünetek

# Gliasejtek

- Számuk a többszöröse a neuronokénak
- Funkciók
  - myelin képzése
  - Sejttörmelék eltávolítása
  - Ionháztartás szabályozása
  - Neurotranszmitterek felvétele
  - fejlődés





Köszönöm a figyelmet!