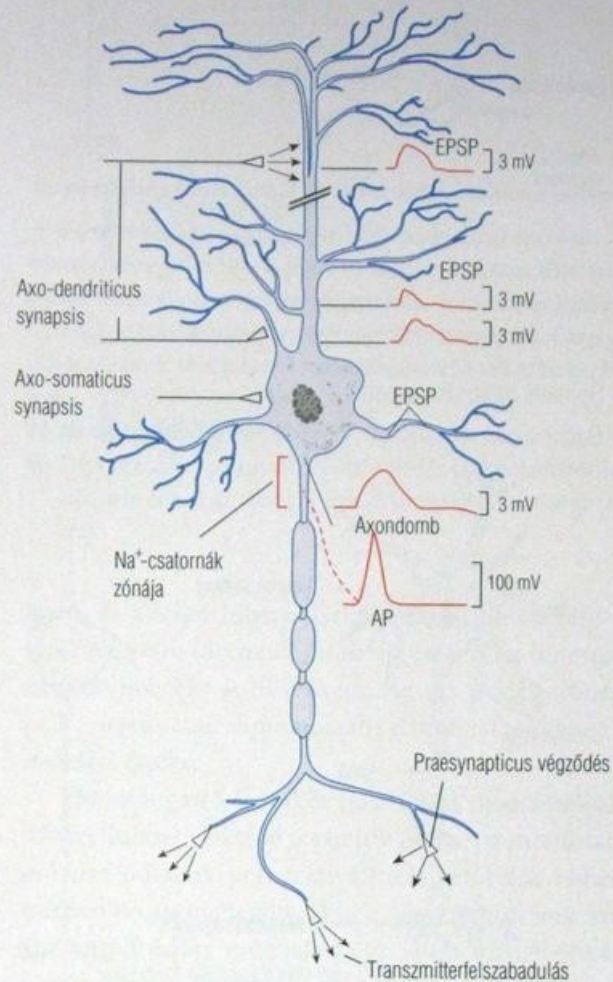


# Idegműködés Alapjai

Molnár Péter, Állattani Tanszék

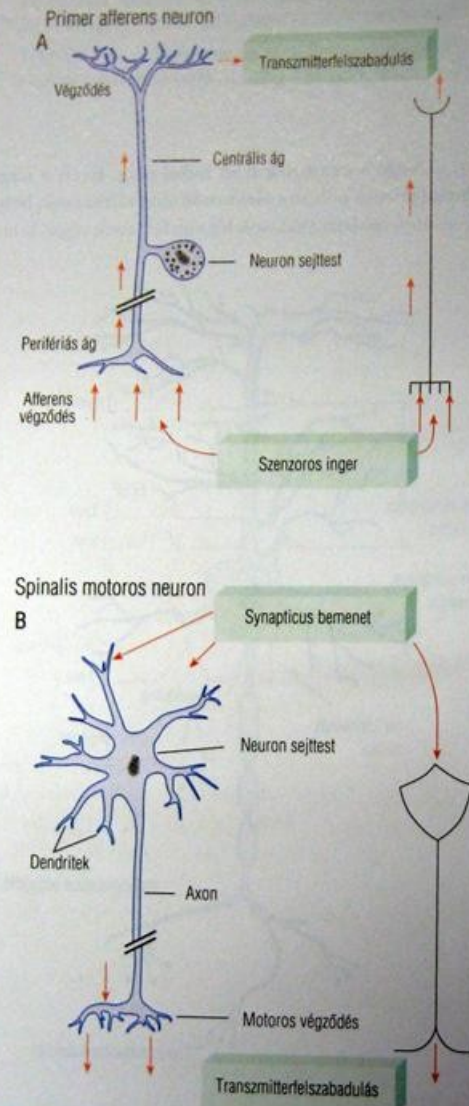
# A neuron



6-1. ábra

## A neuron funkcionális zónái

Az ábrán egy központi idegrendszeri neuron egyszerűsített vázlatát tüntettük fel. A neuron bal oldalán ingerlő synapticus bemenetek vannak, a jobb oldalon az intracellulárisan regisztrált postsynapticus potenciálok. A membránpotenciál változásai elektrotónusosan terjednek a dendritek mentén. A gyors, feszültségfüggő  $\text{Na}^+$ -csatornák az axondomb környékén jelennek meg: ez az a terület, ahol az EPSP-k összegeződése – amennyiben a depolarizáció eléri a küszöbértéket – akciós potenciált válthat ki (a bemutatott potenciálváltozások kalibrációja eltérő!)



6-2. ábra

## Az ingerületvezetés irányai az afferens és az efferens neuronokban

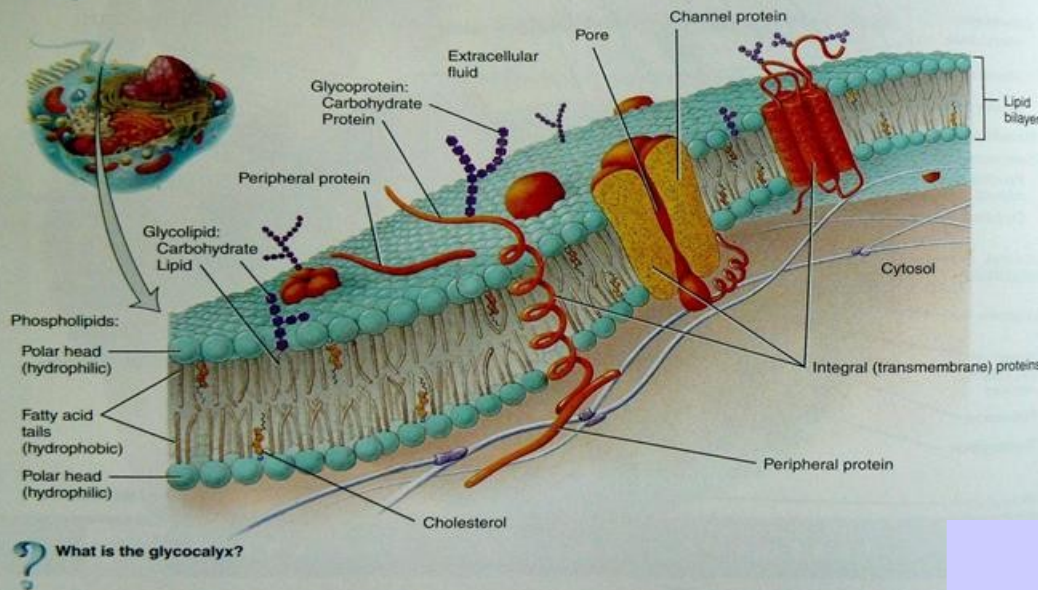
Az ábra mindkét paneljének bal oldalán az idegsejtek egyszerűsített vázlatát, a jobb oldalon pedig annak a könyvben alkalmazott szimbólumát szerepeltetjük.

- A) Primer szenzoros (afferens) neuron a gerincvelői intervertebrális ganglionban
- B) Gerincvelői motoros neuron

1. List the three main parts of a cell and explain their functions. molecules.

**Figure 3.2** The fluid mosaic arrangement of lipids and proteins in the plasma membrane.

Membranes are fluid structures because the lipids and many of the proteins are free to rotate and move sideways in their own half of the bilayer.



# Sejtmembrán Ionok - ionegyensúly

Koncentráció gradiens alapján:  
Aktív és Passzív transzport

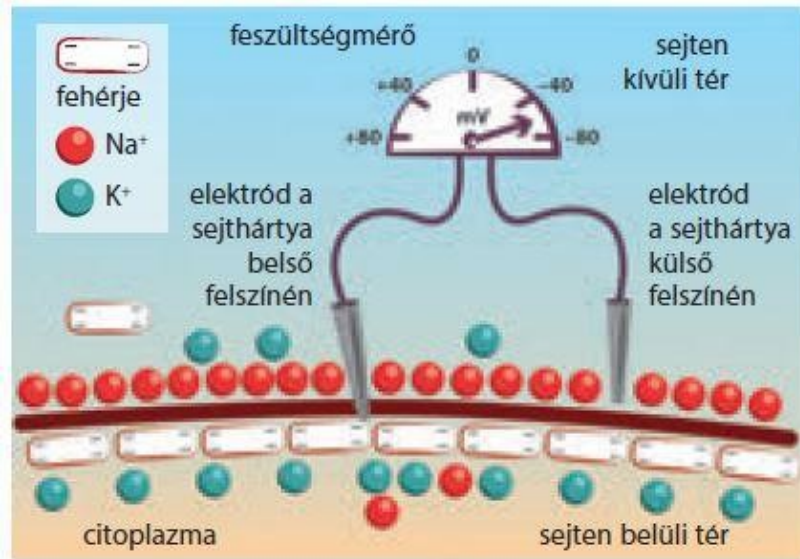
## A membránon való átjutás szabályozott

- Ion csatornák
- Transzporterek
- Receptorok
- Enzimek
- Sejt adhéziós molekulák
- Fehérjék - cukrok

- Diffúzió
- Facilitált Diffúzió
- Elsődleges Aktív Transzport
- Másodlagos Aktív Transzport (Co-transzport)

# Nyugalmi membrán potenciál

Oka: Eltérő ion koncentrációk a membrán két oldalán



sejtön kívüli /extracelluláris tér/ sejtön belüli /intracelluláris tér/  
sejtmembrán

szivárgó ioncsatornák /passzív transzport/

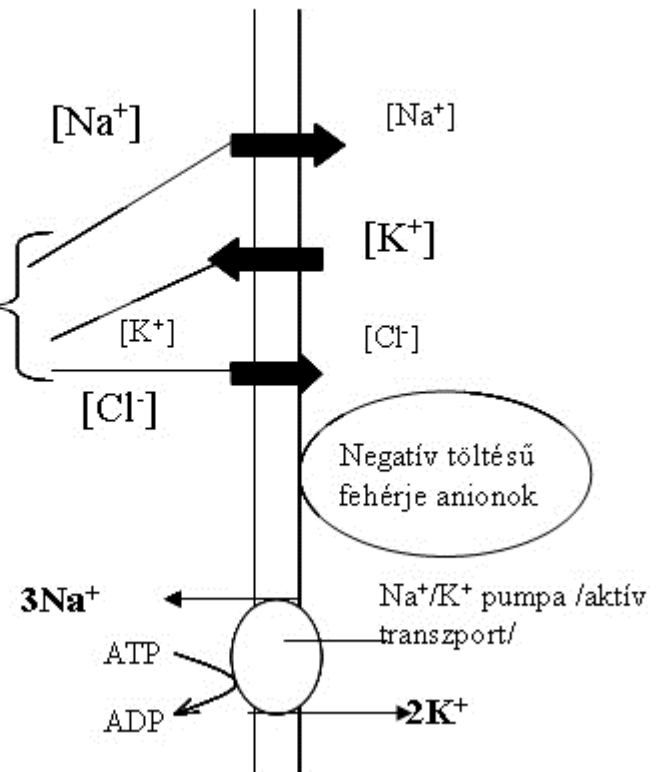
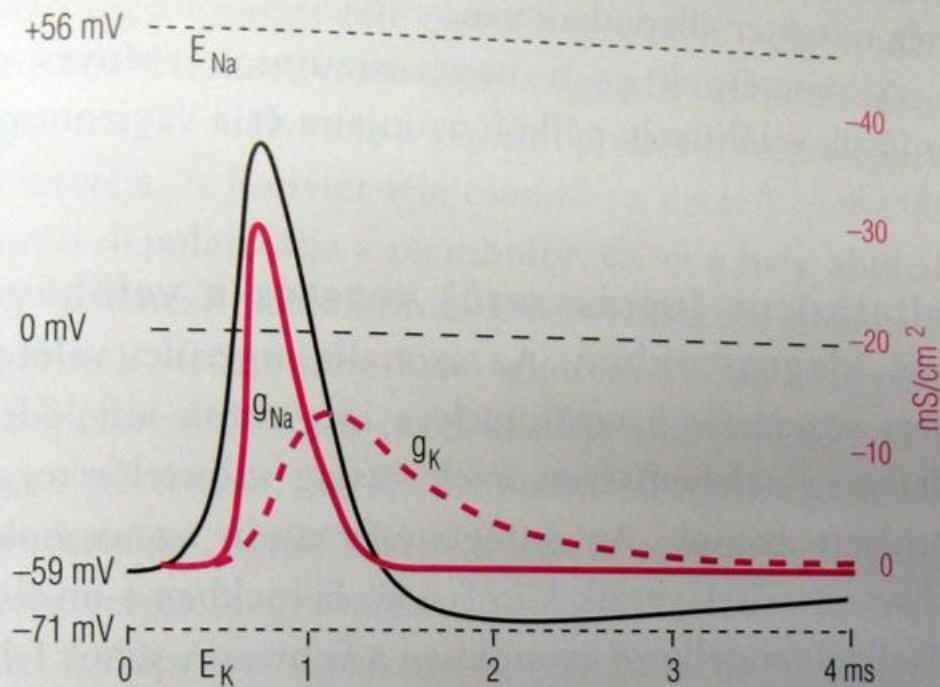


TABLE 2.1  
Extracellular and Intracellular Ion Concentrations

Ion	Concentration (mM)		
	Intracellular	Extracellular	
<b>Squid neuron</b>			
Potassium (K <sup>+</sup> )	400	20	
Sodium (Na <sup>+</sup> )	50	440	
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	40-150	560	
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0.0001	10	Reversal Potential:
<b>Mammalian neuron</b>			
Potassium (K <sup>+</sup> )	140	5	-80 mV
Sodium (Na <sup>+</sup> )	5-15	145	+60 mV
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	4-30	110	-60 mV
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0.0001	1-2	+60 mV
			Resting: -70 mV

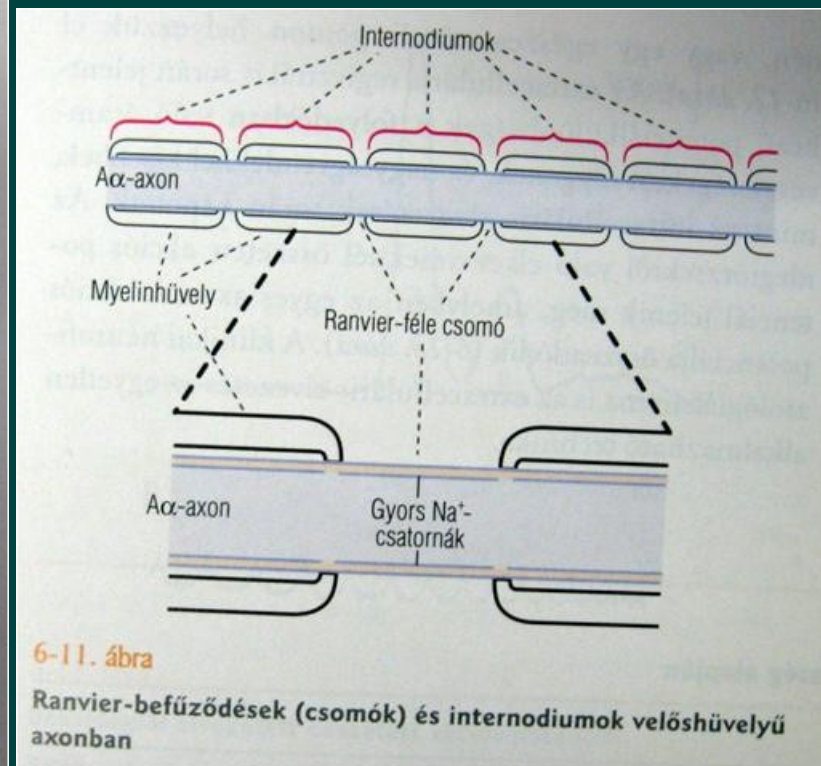


6-10. ábra

### Intracellulárisan regisztrált akciós potenciál és ionkonduktancia-változások az óriásaxonban

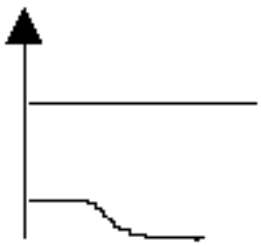
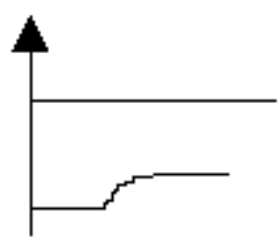
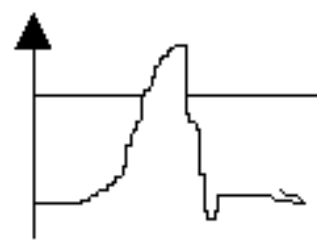
Hodgkin, A. L., Huxley, A. F. (1952): J. Physiol. 117. 500. nyomán  
 Az ábra egymásra helyezve mutatja be az óriásaxon intracellulárisan regisztrált membránpotenciál-változásait (fekete), továbbá az akciós potenciál alatt lezajló  $\text{Na}^+$ - és  $\text{K}^+$ -konduktancia-változásokat ( $g_{\text{Na}}$  és  $g_{\text{K}}$ ). A bal oldali ordináta a membránpotenciált ( $E_m$ ) mV-ban, a jobb oldali ordináta a konduktanciát  $\text{mS}/\text{cm}^2$ -ben jelzi  
 A pontozott vízszintes egyenesek közül a felső a  $\text{Na}^+$ -ok ( $E_{\text{Na}}$ ), az alsó a  $\text{K}^+$ -ok ( $E_{\text{K}}$ ) egyensúlyi potenciálja

## Akciós potenciál



6-11. ábra

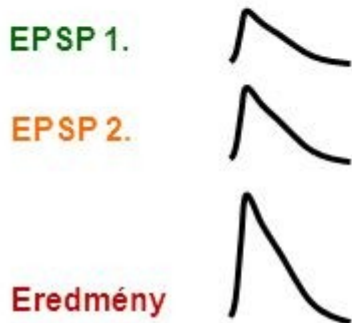
Ranvier-befűződések (csomók) és internodiumok velőshüvelyű axonban

	MEMBRÁNPOTENCIÁL-VÁLTOZÁSOK		
	HELYI POTENCIÁL		AKCIÓS POTENCIÁL
	Híperpolarizáció	Hípopolarizáció	
<i>A nyugalmi potenciál változása:</i>	A sejt negatív töltéstöbblete kissé fokozódik 	A sejt negatív töltéstöbblete kissé csökken 	A sejt negatív töltéstöbblete megszűnik 
<i>Oka:</i>	kloridion vagy káliumion csatornák megnyílása	a lassú Na <sup>+</sup> -csatornák megnyílása	a gyors Na <sup>+</sup> -csatornák megnyílása
<i>Jellemzői:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erősen csillapodva terjed</li> <li>- mértéke (kitérése) arányos az inger erősségével (analóg jel)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- csillapodás nélkül terjed</li> <li>- mértéke (a csúcspotenciál értéke) független az inger erősségétől (digitális jel)</li> </ul>
<i>Kialakulási helye:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gátló szinapszisok posztszinaptikus membránja</li> <li>- csapokban és pálcikákban fény hatására</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- serkentő szinapszisok posztszinaptikus membránja</li> <li>- a többi receptorsejtben ingerhatásra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- axonok, vázizomsejtek és szívizomsejtek membránja</li> </ul>

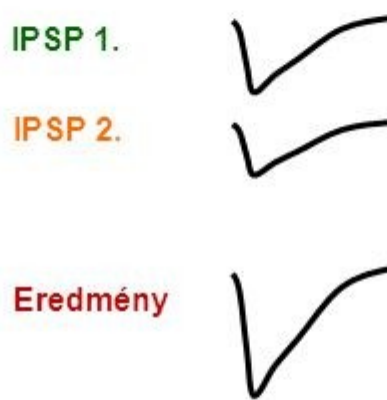
## 2.6. A lokális potenciálok összegződése (szummációja)

Az alábbi néhány példa érzékelteti a lokális potenciálok összegződéséből származó variációk végtelenségét.

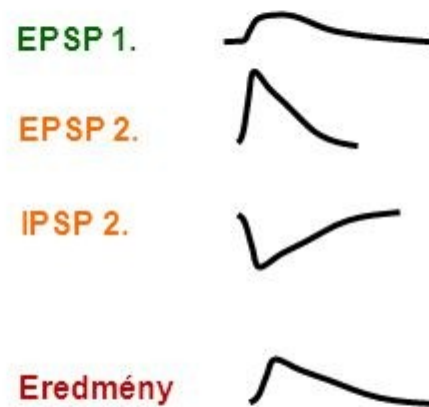
Két EPSP összegződése



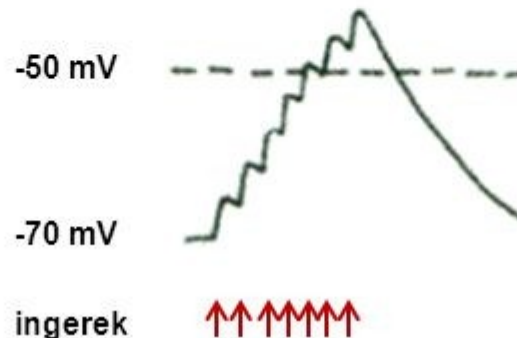
Két IPSP összegződése



Két EPSP és egy IPSP összegződése



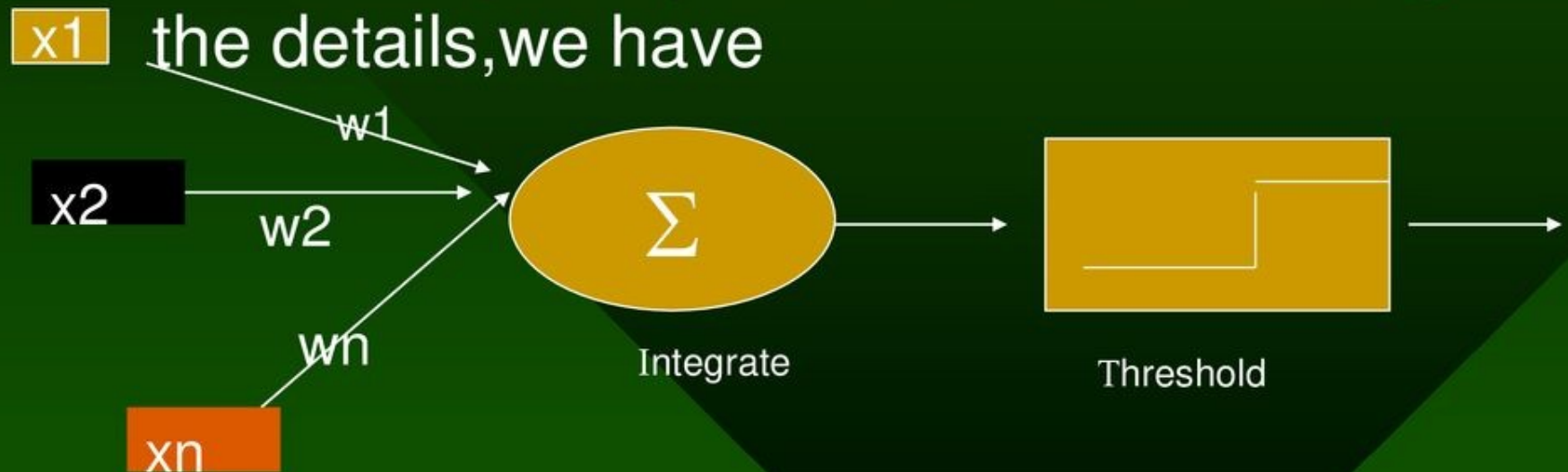
A sejtet az ingerek kisebb-nagyobb időeltolódással is érhetik. Ilyenkor a szummáció speciális formájával (időbeli szummáció) találkozhatunk:



# One Neuron

## McCullough-Pitts

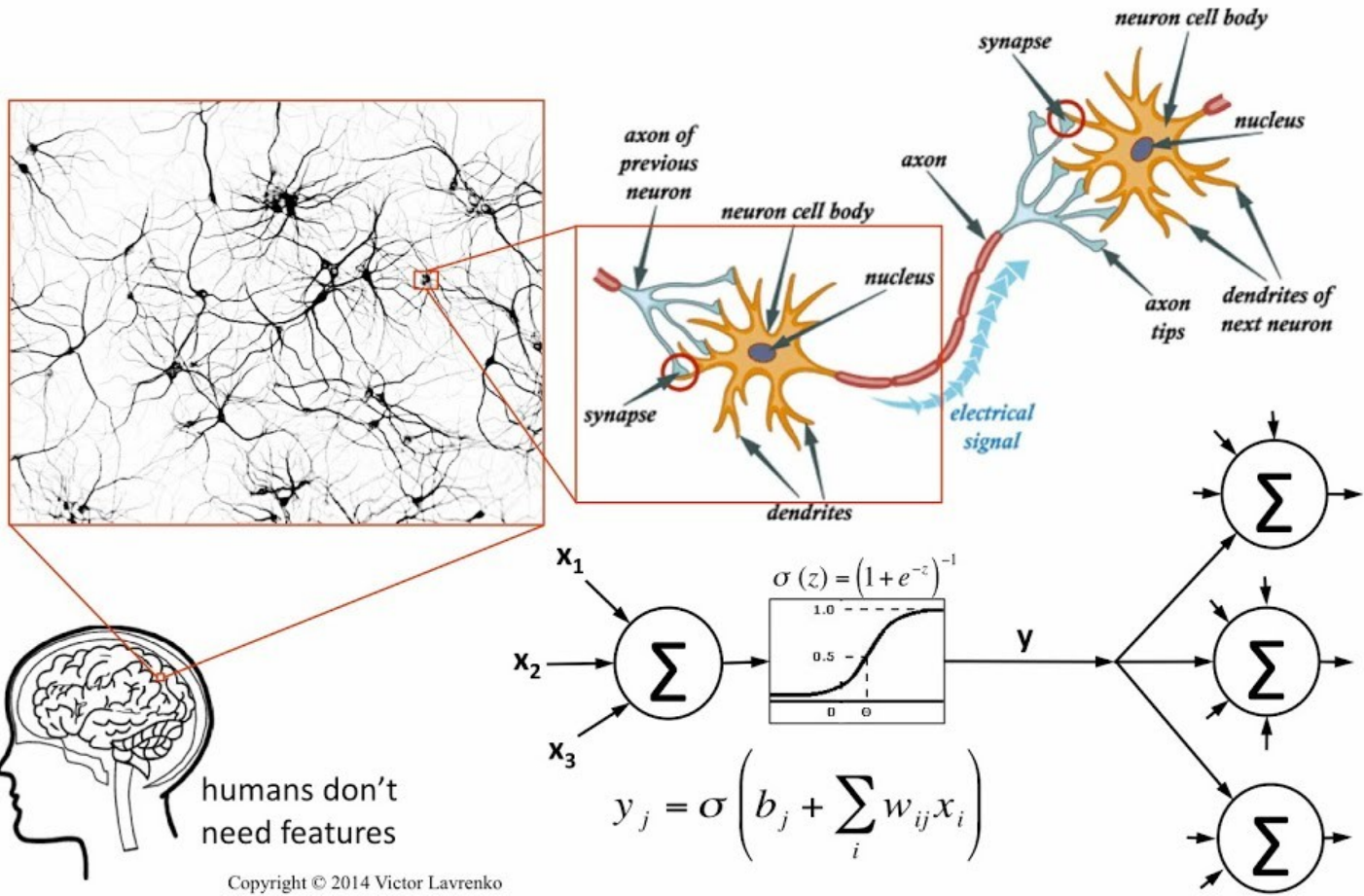
- This is very complicated. But abstracting the details, we have

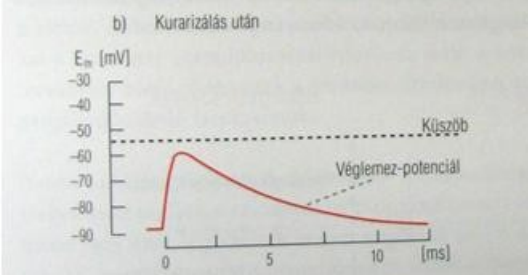
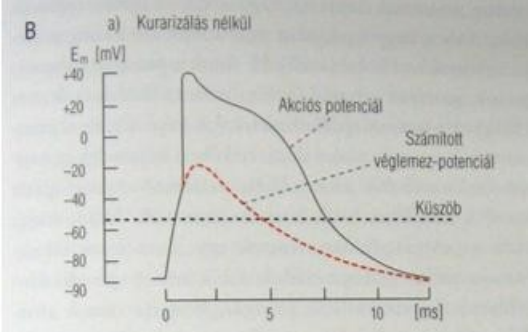
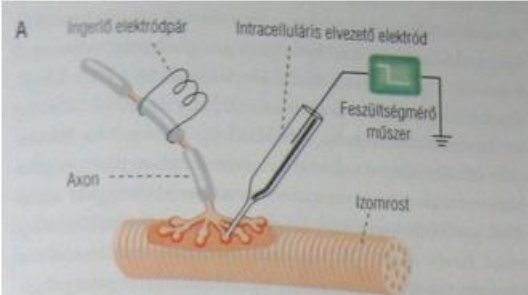


**Integrate-and-fire Neuron**



# Neurons and the brain



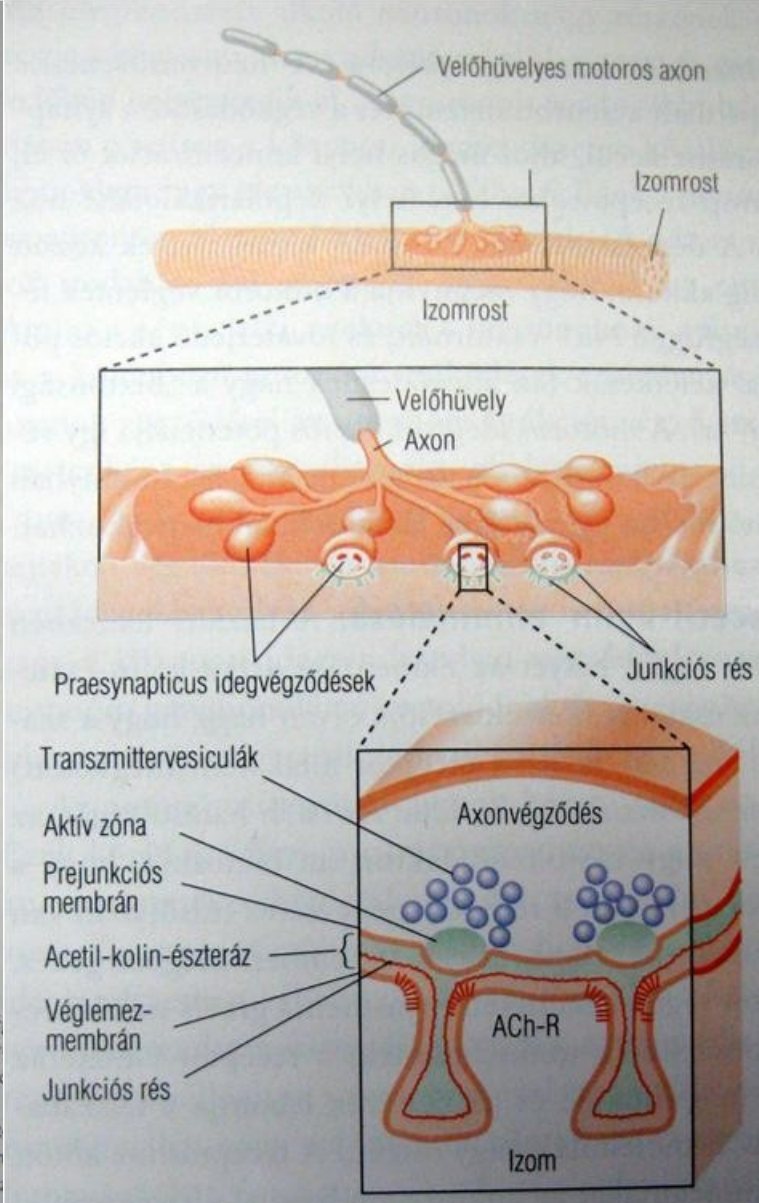


**6-17. ábra**  
Véglemez-potenciál és regisztrálása

A) A kísérleti elrendezés. Az intracelluláris elvezető elektród a véglemez alatt foglal helyet, és a membránpotenciál változásait regisztrálja. Az ingerlő elektród extracellulárisan, a motoros axonon van.

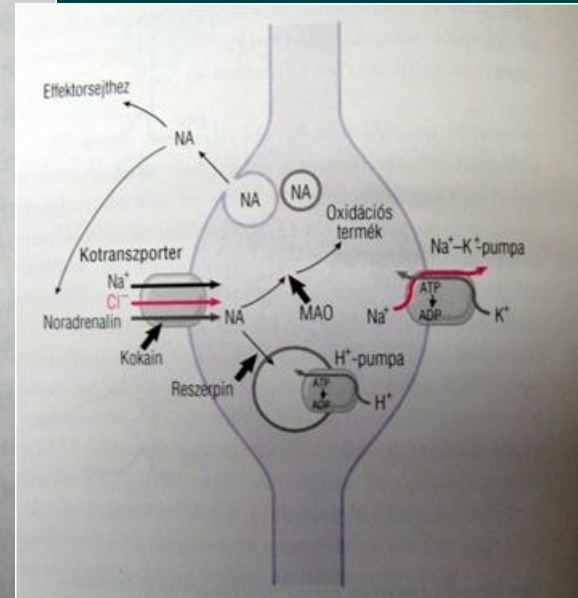
B) A felső regisztrátum (a görbe) a kurarizálás nélküli potenciálváltozásokat mutatja (fekete vonal). A véglemez-potenciál közvetlenül az izomrost akciós potenciáljában folytatódik. A szaggatott (szaggatott) vonal az extrapolálással számított véglemez-potenciál. A vízszintes vonal az izomrost ingerküszöbét a szaggatott vízszintes vonal jelzi. A véglemez-potenciál meghaladja a küszöbértéket.

Az alsó, (b) görbén részlegesen kurarizált preparátum membránpotenciál-változása látható. A véglemez-potenciál nem érte el az izom küszöbértékét, nem váltott ki akciós potenciált; a görbe a csökkent mértékű véglemez-potenciálnak felel meg.



**6-16. ábra**  
A békavázizom neuromuscularis synapsisa

Kuffler S. et al: „From Neuron to Brain”, 2. kiadás, Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 1984. alapján



**6-15. ábra**  
Noradrenalin visszavétele az idegvégződésbe

Az idegvégződés vázlatán nem tüntettük fel a noradrenalin (NA) szintézisében és lebontásában szereplő mitokondriumokat [az ábrán feltüntetett monoaminoxidáz (MAO) a mitokondriumokhoz kötött enzim]

## A „klasszikus” neurotranszmitterek ionotrop és metabotrop receptorai

Neurotranszmitter	Ionotrop receptorcsalád	Metabotrop receptorcsalád
ACh	n-ACh-R (izom típusú és neuronális típusú)	m-ACh-R (m <sub>1</sub> , m <sub>3</sub> és m <sub>5</sub> ) (m <sub>2</sub> és m <sub>4</sub> )
5-HT	5-HT <sub>3</sub>	Valamennyi egyéb 5-HT-R
Glicin	Glicinreceptor	–
GABA	GABA <sub>A</sub> R és GABA <sub>C</sub> R	GABA <sub>B</sub> R
Glutamát	NMDA-R Nem NMDA-R	Metabotrop glutamátreceptor
ATP	P <sub>2x</sub> R	P <sub>2y</sub> R
Dopamin	–	D <sub>1</sub> -receptorok
Noradrenalin	–	α <sub>1</sub> R α <sub>2</sub> R β-receptorok
Hisztamin	–	H <sub>1</sub> -R

6-2. táblázat

## Az emlősök neuronjaiban található főbb neuropeptidek

Proopio-melanokortin peptidek	Neurohypo-physealis peptidek	Tachikininek	Gastroenteralis peptidek	Y-neuro-peptidek	Egyebek
ACTH	Vázopresszin	P-anyag (SP)	Bombezín	NPY	CRh
α-MSH	Oxitocin	Neurokinin A	GRP	PP	Kalcitonin
γ-MSH		Neuropeptid K	Szekretin	PYY	CGRP
α-Endorfin			Glukagon		ANG II
β-Endorfin			VIP		TRH
γ-Endorfin			Ghrelin		Neurotenzin
Met-enkefalin			Szomatostatin		Galanin
Leu-enkefalin			Gasztrin		GnRH
Dinorfin A			CCK		Orexin
Dinorfin B					AgRP
Leumorfin					MCH

ACTH: adrenokortikotrop hormon (kortikotropin); AgRP: agouti related protein; ANG II: angiotenzin II; CART: kokain- és amfetaminregulált transzkript; CCK: kolekisztokinin; CGRP: kalcitonin génhez rendelt peptid; CRH: kortikotropint felszabdító hormon; GnRH: gonadotropint felszabdító hormon (= LHRH); GRP: gasztrint felszabdító peptid; MCH: melaninkoncentráló hormon; MSH: melanocytaikat stimuláló hormon; NPY: Y-neuropeptid; PP: pancreaticus polipeptid; PYY: YY-petid; TRH: tireotropint felszabdító hormon; VIP: vazóaktív intestinalis peptid

Egyes peptidek neve az elsőként felismert hatást tükrözi

# SZINAPTIKUS PLASZTICITÁS

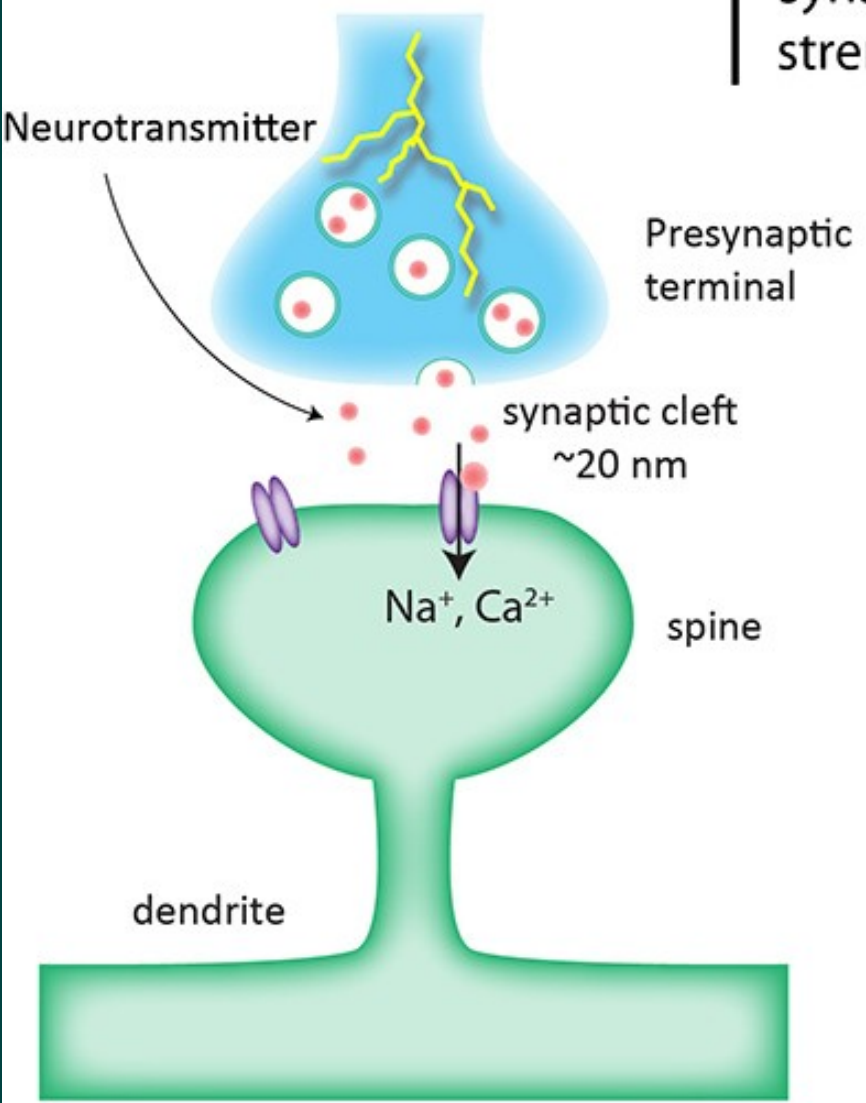
---

- ✘ a hippocampus serkentő szinapszisainak ismételt aktiválásával a szinapszisok erőssége nő, és a hatás órákig vagy akár napokig is tarthat.
- ✘ A jelenség a *long term potentiation*, vagyis hosszú távú potenciáció.
- ✘ Működése a hippocampusban szorosan összefügg a hosszú távú memóriával. Később kiderült, hogy a jelenség az agy más részein is megfigyelhető, például a kisagyban vagy a thalamusban.

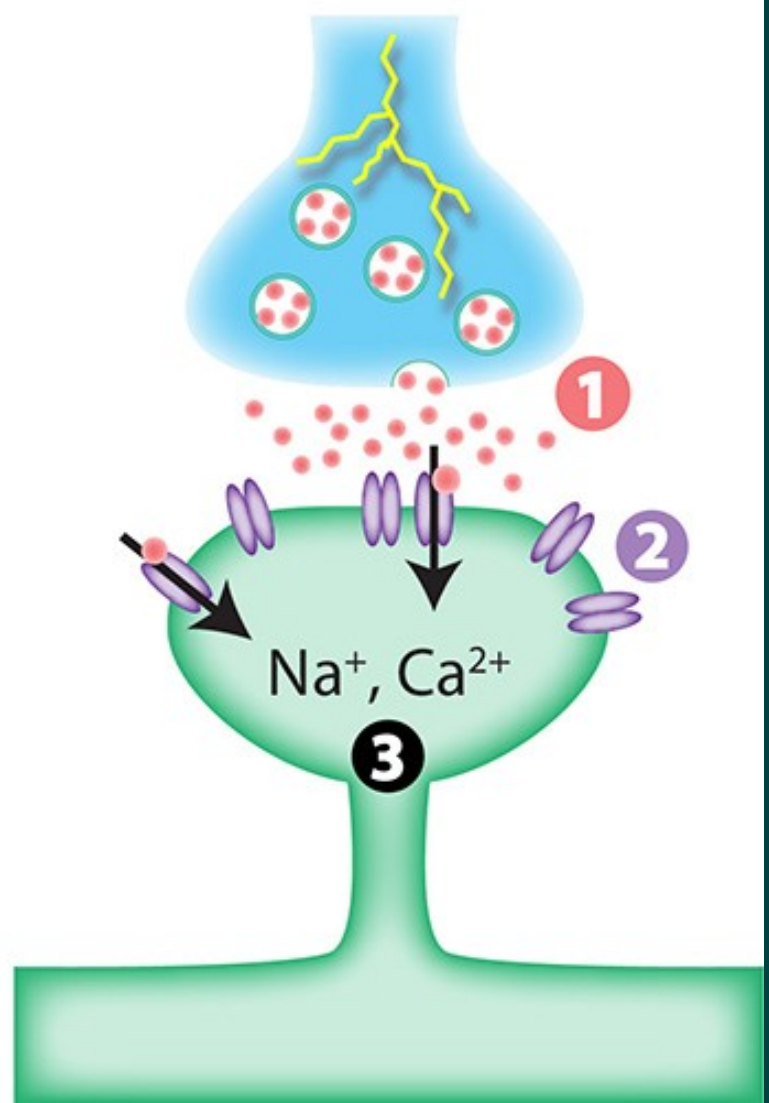
Normal



Potentiated



↑ synaptic strength



# Szinaptikus plaszticitás és tanulás

- Működés hosszú távú változásai
- Homoszínaptikus plasztikus változás:
  - Poszttetanikus potenciáció: tetanizáló ingersorozat után felgyülemlő  $\text{Ca}^{2+}$
  - Alacsony frekvenciájú depresszió: alacsony frekvenciájú ingersorozat miatti alacsony  $\text{Ca}^{2+}$  koncentráció (habituáció)
- Heteroszínaptikus plasztikus változás:
  - Szenzitizáció (érzékenyítés):
    - Preszínaptikus gátlás
    - Preszínaptikus facilitáció
- Korábbi tapasztalat következtében → tanulási folyamat



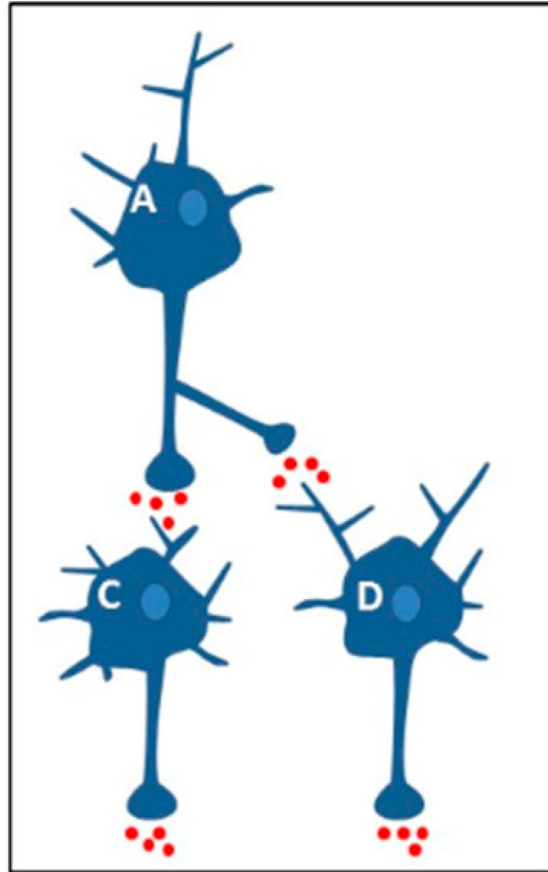
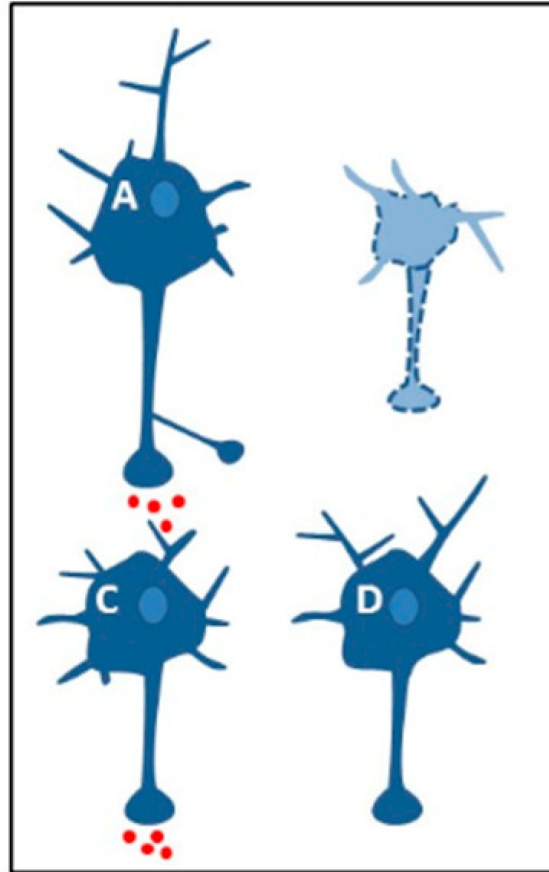
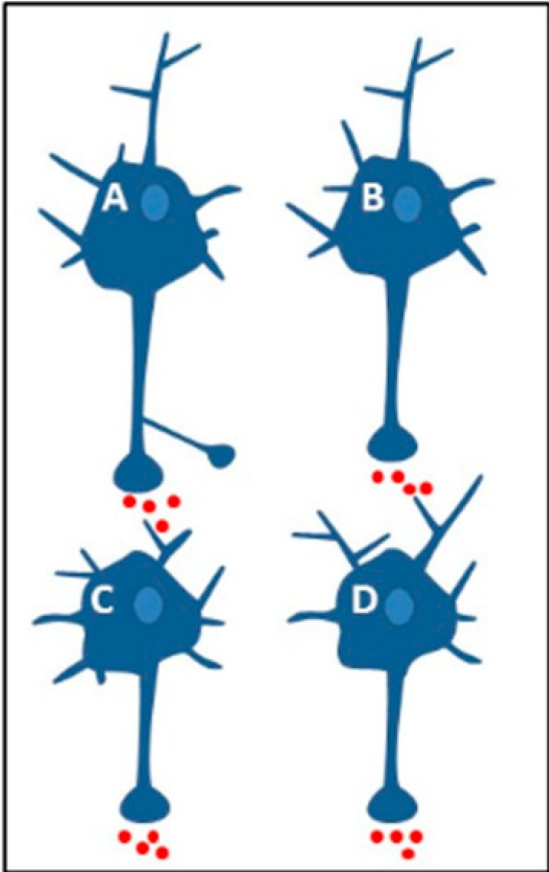
HEALTHY CONDITION



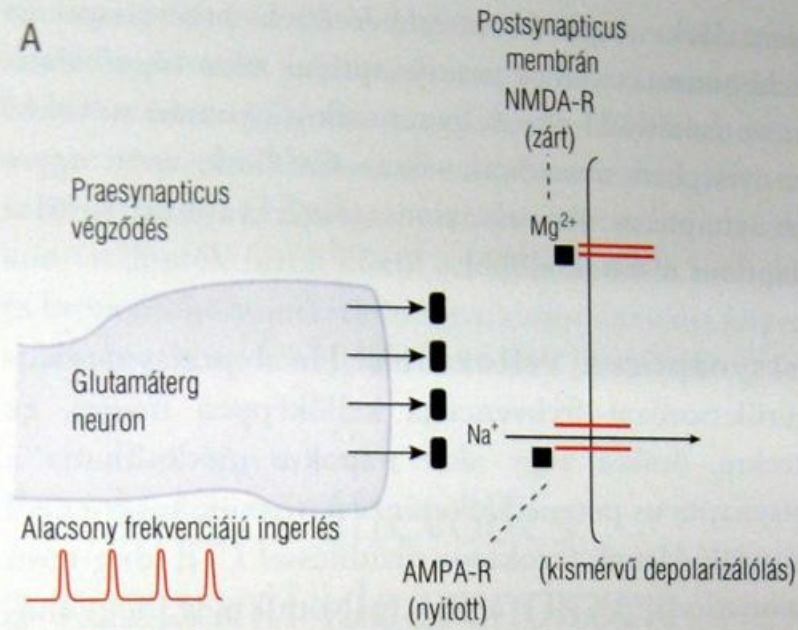
ACUTE DAMAGE



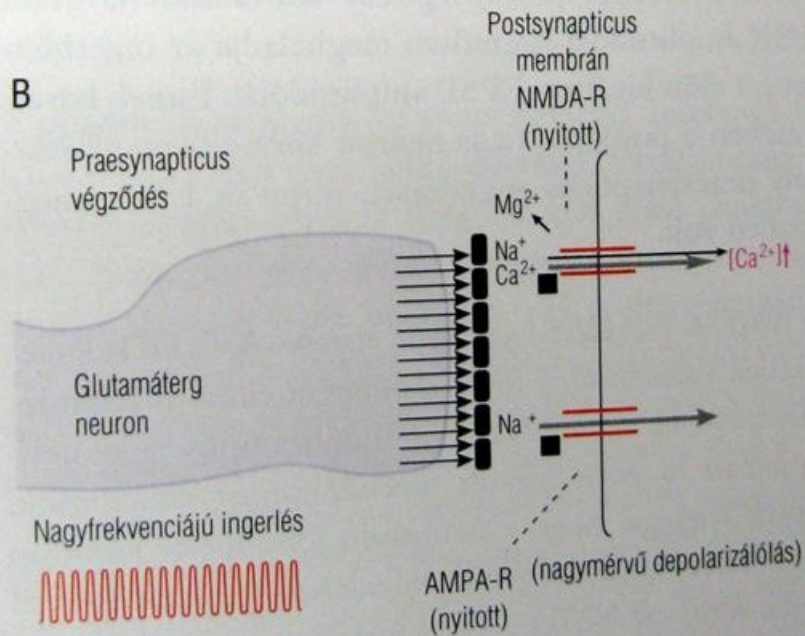
RECOVERY OF FUNCTION



A



B

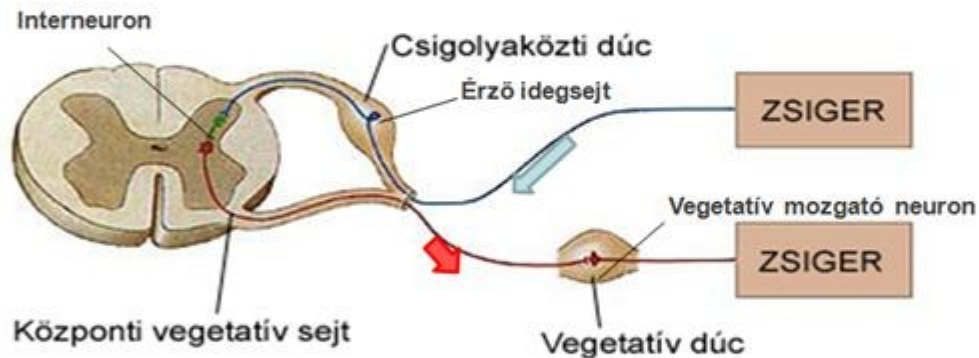




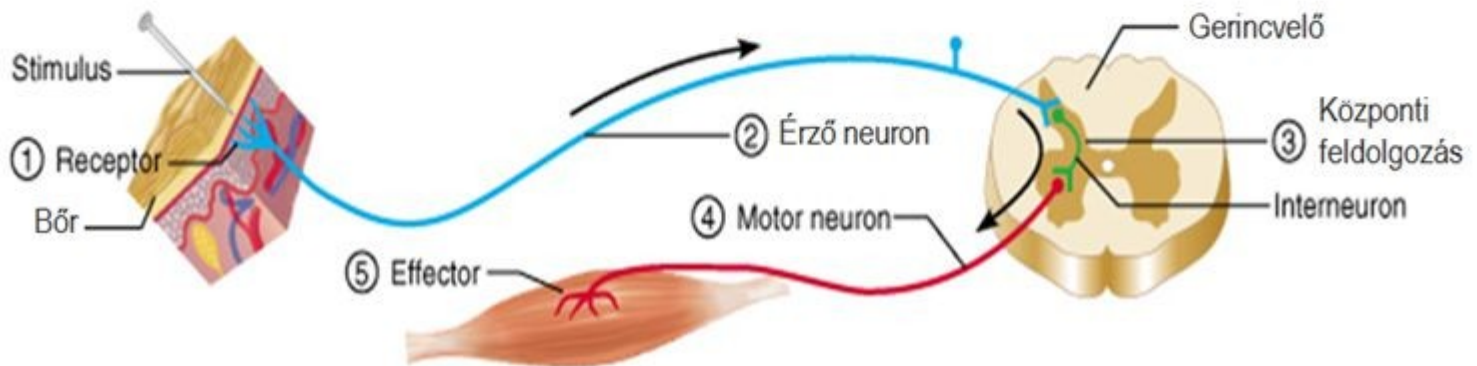
## 6.4. A vegetatív és a szomatikus reflexívek összehasonlítása (ismétlés)

Az idegrendszer vegetatív és szomatikus működésének alapja a reflexív, vagy gerincvelői reflex, amely mindkét esetben hasonló elemekből áll. Legnagyobb különbség közöttük, hogy habár mindkét esetben egy érző neuronon szállítja az információt a központi idegrendszerbe, **a vegetatív reflexívben két mozgató (vagy végrehajtó) idegsejt (a központi vegetatív sejt, valamint a vegetatív mozgató neuron); a szomatikus reflexben egy mozgató idegsejt vesz részt.**

### Vegetatív reflexív



### Szomatikus reflexív



**Az idegrostok osztályozása a rostátmérő és vezetési sebesség alapján****A) Az idegrostok Erlanger–Gasser szerinti osztályozása**

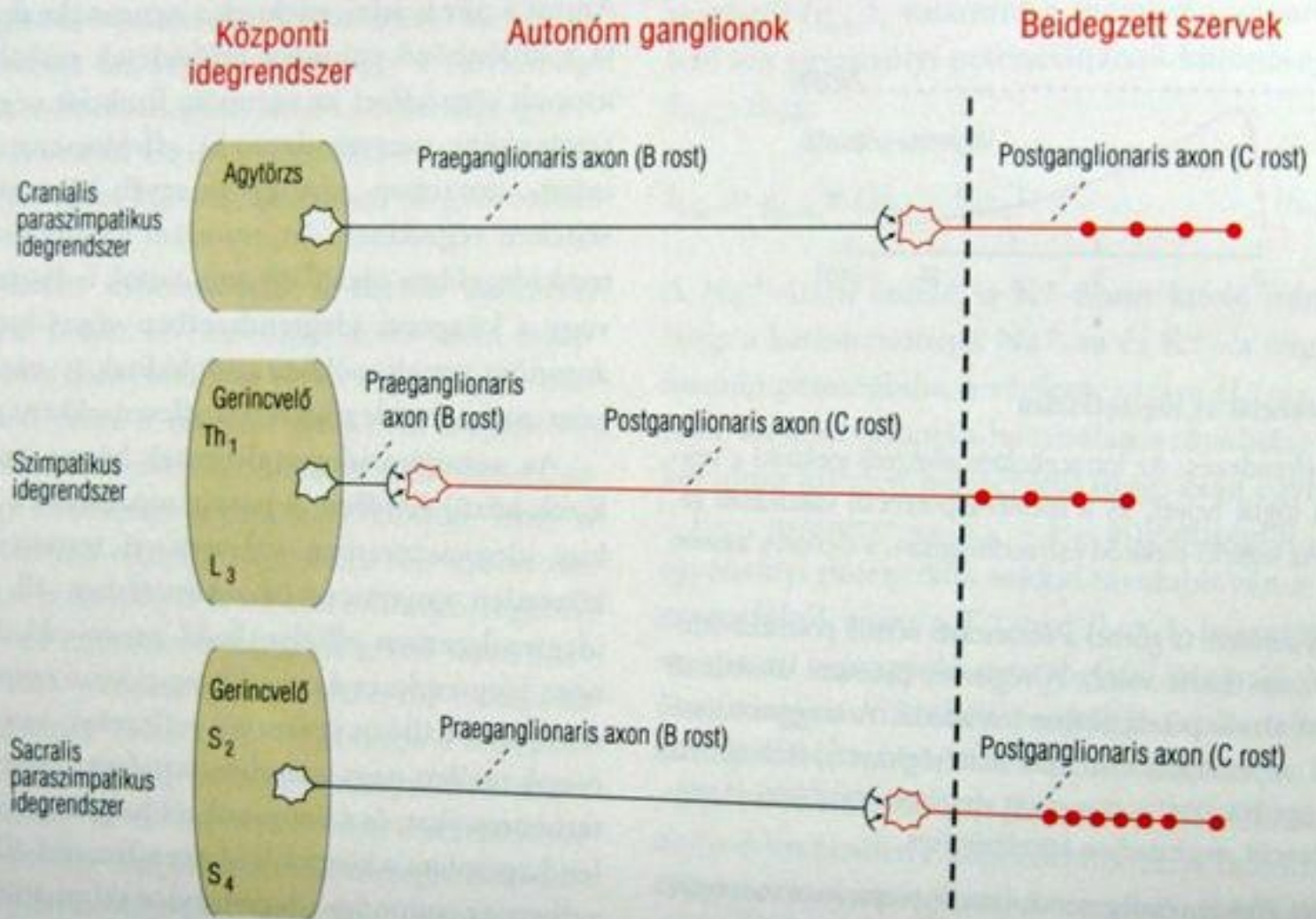
Típus	Átlagos átmérő (mm)	Vezetési sebesség (m/s)	Néhány funkció
<i>Velőhüvelyű rostok</i>			
A $\alpha$	15	70–120	Vázizom motoros rostok, izomorsók primer végződése, Golgi-ínorsók afferensei
A $\beta$	8	30–70	Izomorsók szekunder végződése, érintési és nyomási afferensek
A $\gamma$	5	15–30	Izomorsók efferensei („ $\gamma$ -efferensek”)
A $\delta$	<3	12–30	Nyomási és fájdalmi afferensek
B	3	3–15	Autonóm praeganglionaris rostok
<i>Velőtlen rostok</i>			
C	<1	0,5–2	Autonóm postganglionaris rostok, fájdalmi afferensek

**B) A szenzoros idegrostok Lloyd–Hunt szerinti osztályozása**

Típus	Átlagos átmérő (mm)	Vezetési sebesség (m/s)	Néhány funkció
I. (Ia és Ib)	13	70–120	Izomorsók primer végződése, Golgi-ínorsók afferensei
II.	9	25–70	Izomorsók szekunder végződése, érintési és nyomási afferensek
III.	3	10–25	Nyomási és fájdalmi afferensek
IV. (velőtlen rostok)	1	<1	Fájdalmi afferensek

A táblázat részben David D. Aidley: The Physiology of Excitable Cells, 4. kiadás, Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 1998. 53. oldal alapján készült

A vázizomzat beidegzését illetően l. a 42. fejezetet



6-18. ábra

A paraszimpatikus és a szimpatikus idegrendszeri átcsatolódás vázlatja

# Érzékelés

## Szenzoros működés

- receptorok-transzducer: primer szenzoros neuron azon része, amely az ingert felveszi → átalakítja az IR számára érthető elektromos jellé

## külvilág ingerei:

- telereceptorok (látás, hallás)
- exteroceptorok (bőr- és nyálkahártya mechano-, termo, kemo- és nociceptív receptorai)

## szervezet belsejének állapota:

- proprioceptorok
- interoceptorok

## inger minősége szerint:

- mechano-
- termo-
- kemo-
- nociceptorok

## Alapelvek

- vmennyi reális érzet feltétele: inger érje vmely receptort
- inger lehet: mechanikai, hő, fény, kémiai
- receptor : mechano-, termo-, foto-, kemoreceptor, polimodális rec.
- receptor → ingert analóg elektromos jellé (receptor, v. generátorpotenciál-elektrotónusos) alakítja
- - lokalizált, gradált, depol-hyperpol, TTX-rezisztens
- primer afferens neuron: perifériás érzőneuron differenciálódott végződése
- szekunder érzékejt, nem maga a neuron veszi fel az ingert
- tercier érzékejt: interneuron közbeiktatásával
- ✂ → érzőpályák: átcsatolódások során bizonyos ingerület feldolgozás (interneuronok) → túlnyomó részük a thalamusban átkapcsolódik → agykérgi primer kérgi szenzoros area ( szaglópálya nem)

percepció (érzékelés tudatosulása) feltétele: primer szenzoros area ép legyen (látó-, halló, szomatoszenzoros kéreg)

- központok is befolyásolják az információáramlást
- receptív mező: adott terület, amiről a neuron információt szerez
- az egyes primer afferens neuronok receptív mezői átfedik egymást
- másodrendű neuronon több elsőrendű konvergál, így ennek receptív mezője nagyobb, magában foglalja az összes rá konvergáló primer neuron receptív mezőjét, valamint a primer neuron centrális nyúlványa elágazik, és a szomszédos neuronokon végződő gátló interneuronra is átkapcsolódik → magasabb rendű neuronnak mind az aktiváló, mind a

## Inger és érzet

modalitás: inger által keltett érzet minősége, annak látási, hallási stb. jellege

- intenzitás
- lokalizáció
- időtartam
- ingerküszöb
- időbeli és térbeli feloldóképesség

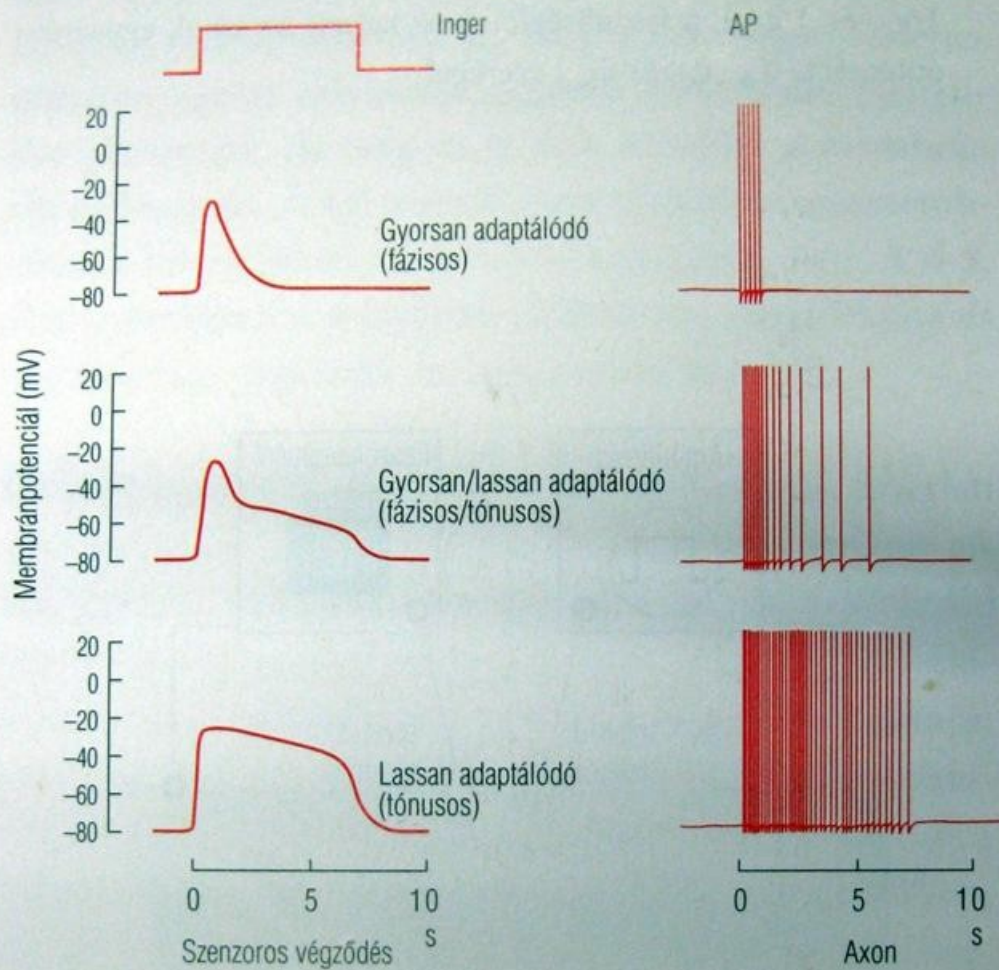
Rec. ingerküszöbe: az a minimális intenzitású inger, ami a rec. folytatását lépező axonon AP-t vált ki

Érzet ingerküszöbe: fokozatosan erősödő ingerek alkalmazása esetén, az a minimális ingerintenzitás, amely a próbálkozások 50%-ában érzetet vált ki

- azt, hogy egy receptort érő ingerület milyen modalitást vált ki a receptor és a hozzá kapcsolódó pálya dönti el
- a retina fotoreceptorait érő fény a látás, a cochlea szőrsejtjeit érő hangfrekvenciás rezgés a hallás adekvát ingere
- retina és a látópálya afiziológiás ingerekkel is aktiválható- erős mechanikai inger- csillagokat lát
- a rec. ingerületbe hozásához az adekvát inger sokkal kisebb energiája hatásos, mint a „nem-adekvát” inger esetében

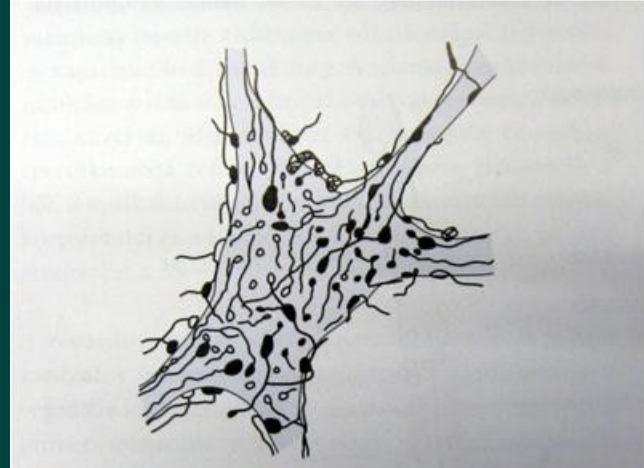
szenzoros egység: elsődleges érző neuron a perifériás nyúlványával, ill. centrális nyúlványával, ami a gv-be, v. a nyúltvelőbe projektál

- Weber-féle törvény (1834) just noticeable difference (j.n.d.)-éppen még megkülönböztethető ingerintenzitások
- ∇  $\Delta I/I = \text{konstans}$ , az intenzitást csak akkor tudjuk megkülönböztetni, ha kellően nagy a különbség
- ∇  $\Delta S = K \times S$
- S: (stimulus) az összehasonlításra használt ingerintenzitás (referenciainger)
- ∇  $\Delta S$ : ingerkülönbség, amit a vizsgált személy S-től éppen meg tud különböztetni
- K: adott rsz-re jellemző állandó
  
- Weber-Fechner –féle pszichofizikai alapttv.
- ∇  $\psi = K \times \log \Phi + C$  ;  $I = \log(S/S_0)$
- ↓                                  ↓
- érzet                                  inger intenzitása
- az érzet erőssége az ingerintenzitás logaritmusával arányos
  
- Stevens (1950)
- $I = K (S - S_0)^n$
- I: szubjektíven megbecsült ingerintenzitás, érzet erőssége
- S<sub>0</sub>: ingerküszöb
- S: küszöbfeletti megbecsülendő inger erőssége
- n: milyen szenzoros modalitásról van szó → összehasonlíthatóvá váltak, a különböző érzetekre vonatkozó információk
- ✂ → az összefüggés nem logaritmikus, hanem exponenciális
- nagyobb intenzitású inger hatására → nagyobb AP fr. (frekvenciakód)
- ✂ → több rec. kerül ingerületbe (populációkód)

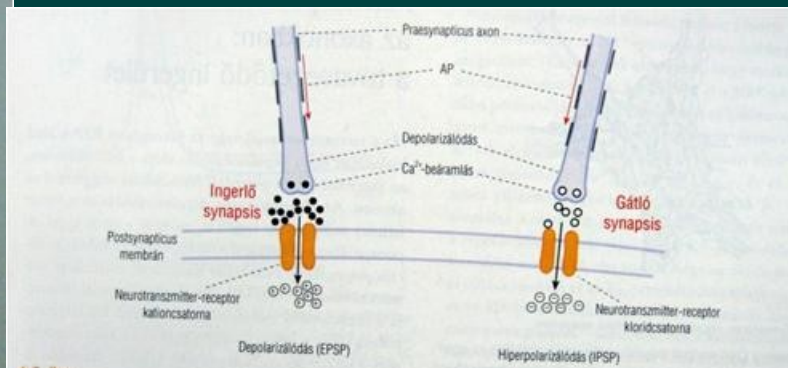


**6-6. ábra**  
 Szenzorpotenciál és akciós potenciál frekvencia a fázisos, fázisos/tónusos és a tónusos szenzoros receptorokban: adaptálás

Bal oldalon az intracellulárisan regisztrált szenzorpotenciál (receptorpotenciál), jobb oldalon az egyes axonokból elvezetett akciós potenciálok (AP) szerepelnek állandó intenzitású inger során

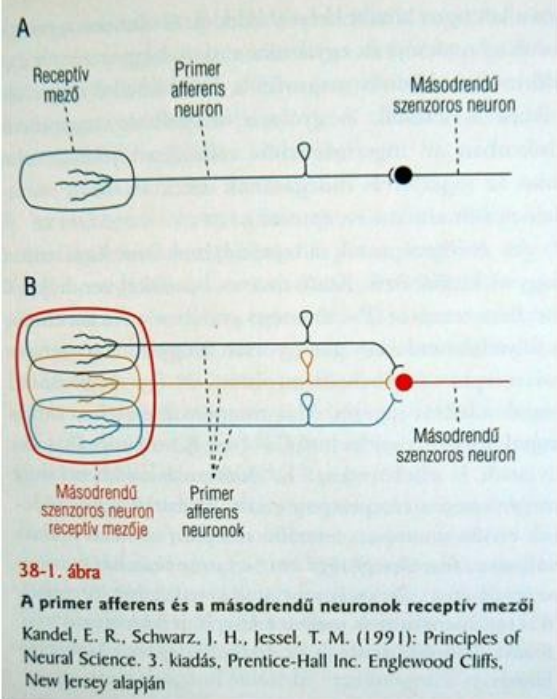


**6-8. ábra**  
 Praesynapticus végződések egyetlen neuronon  
 S. Ramon y Cajal rajzának másolata: mikroszkóp alatt látta az egyetlen neuron sejttestén (szóma) konvergáló számtalan idegvégződést (francia kifejezéssel „bouton”-t, ami átment a neurobiológiai szóhasználatba)

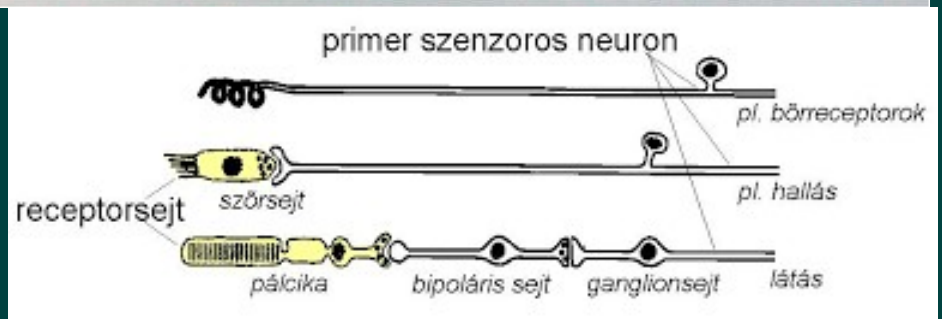
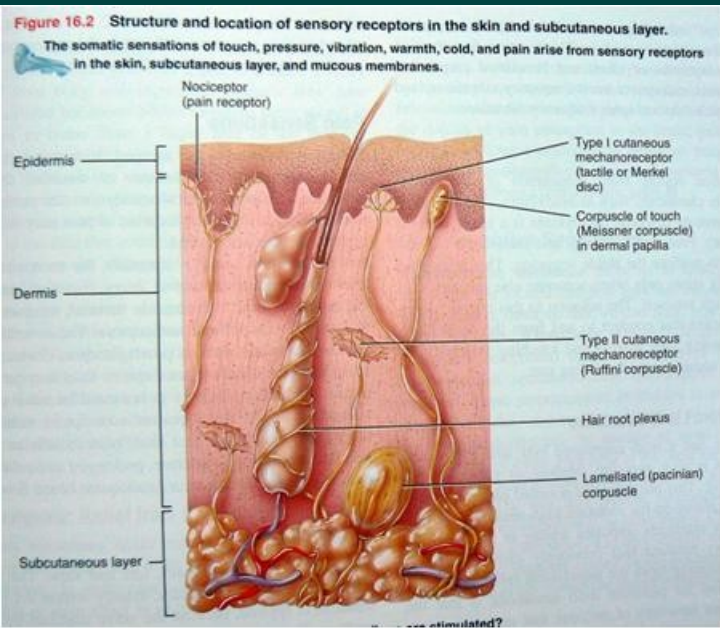
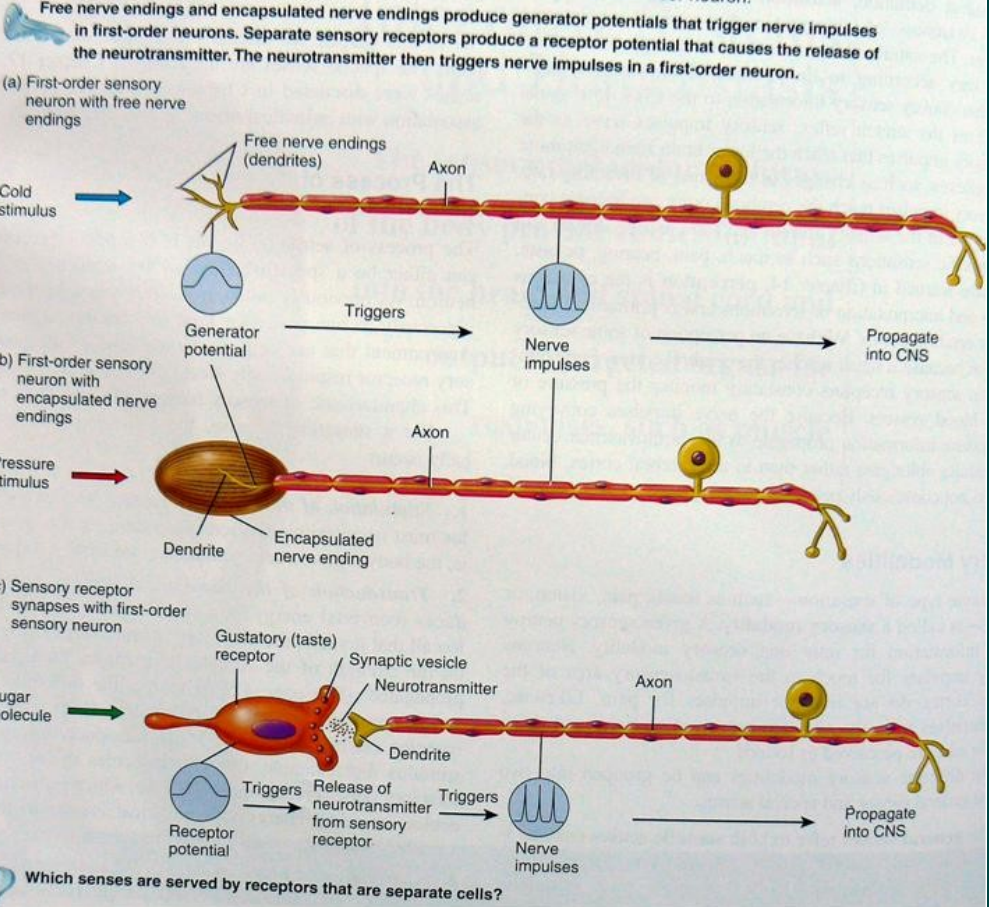


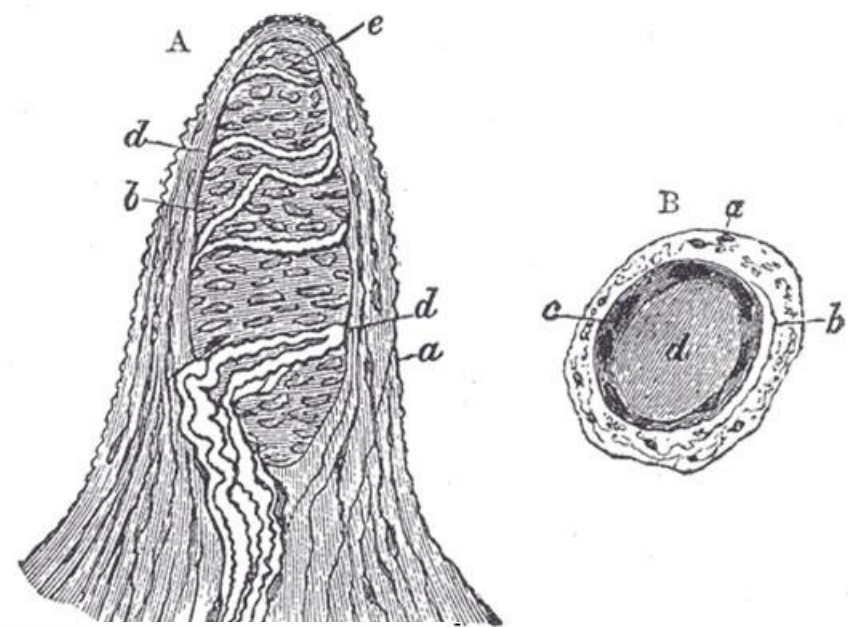
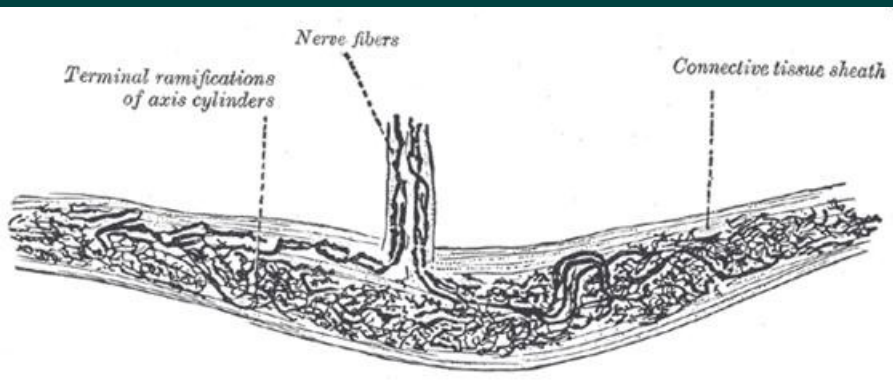
**6-7. ábra**  
 Ingerő és gátló synapsisok vázlatja  
 Az ábra bal oldalán ingerő (depolarizáló), a jobb oldalán gátló (hiperpolarizáló) synapsis látható. A telt körök ingerő transzmittert, az üres körök gátló transzmittert jelképeznek





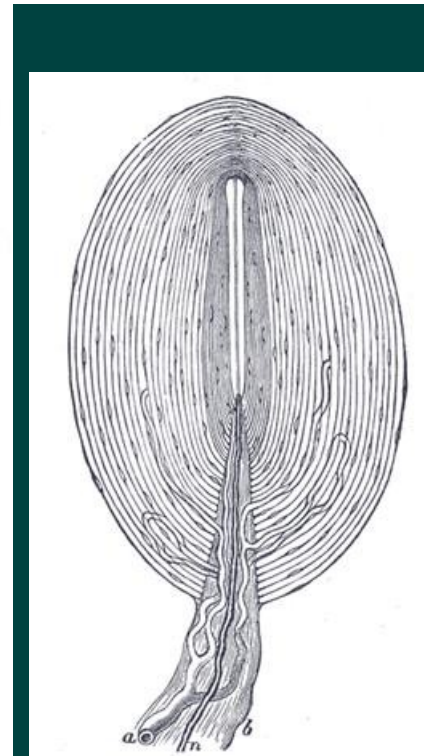
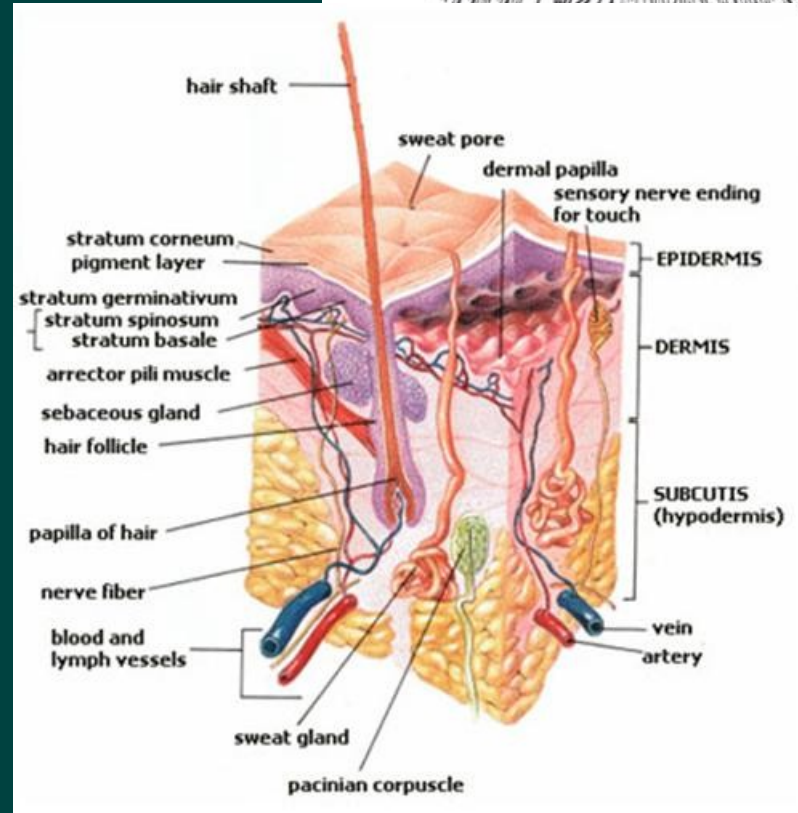
**Figure 16.1** Types of sensory receptors and their relationship to first-order sensory neurons. (a) Free nerve endings, in this case, a cold-sensitive receptor. These endings are bare dendrites of first-order neurons with no apparent structural specialization. (b) An encapsulated nerve ending, in this case a pressure-sensitive receptor. Encapsulated nerve endings are dendrites of first-order neurons. (c) A separate sensory receptor cell—here, a gustatory (taste) receptor—and its synapse with a first-order neuron.





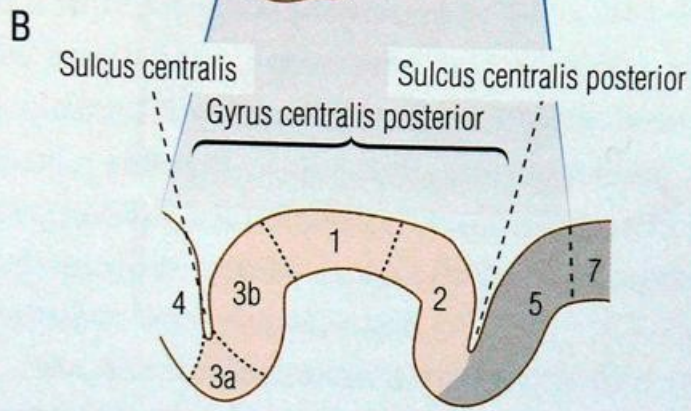
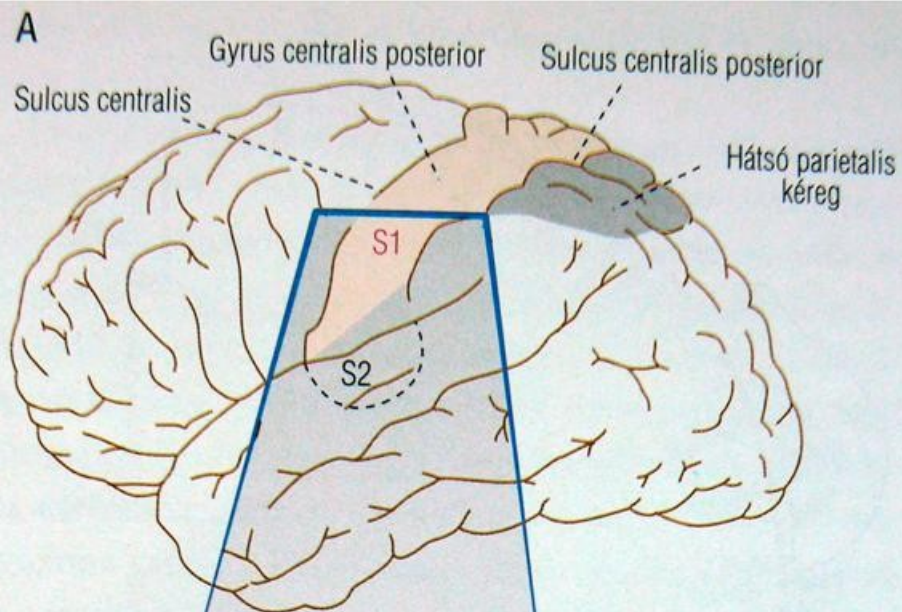
By morphology

- \* Ruffini's end organ detects sustained pressure.
- \* Meissner's corpuscle detects changes in texture (vibrations around 50 Hz); adapts rapidly.
- \* Pacinian corpuscle detects deep pressure and rapid vibrations (about 200-300 Hz).
- \* Merkel's disc detects sustained touch and pressure.
- \* Mechanorecepting Free nerve endings ((touch, pressure, stretch)
- \* Hair follicle receptors are located in hair follicles and sense the position of hairs.



**TABLE 16.2 Summary of Receptors for Somatic Sensations**

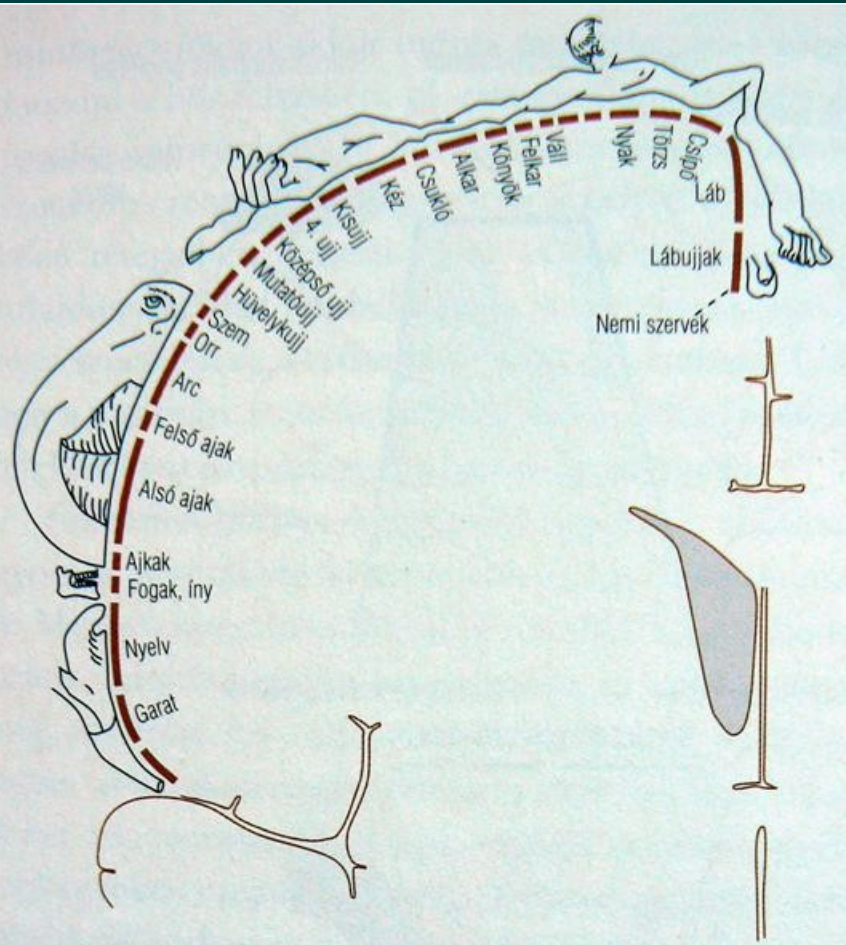
Receptor Type	Receptor Structure and Location	Sensations	Adaptation Rate
<b>Tactile Receptors</b>			
Corpuscles of touch (Meissner corpuscles)	Capsule surrounds mass of dendrites in dermal papillae of hairless skin.	Fine touch, pressure, and slow vibrations.	Rapid.
Hair root plexuses	Free nerve endings wrapped around hair follicles in skin.	Crude touch.	Rapid.
Type I cutaneous mechanoreceptors (tactile or Merkel discs)	Saucer-shaped free nerve endings make contact with Merkel cells in epidermis.	Fine touch and pressure.	Slow.
Type II cutaneous mechanoreceptors (Ruffini corpuscles)	Elongated capsule surrounds dendrites deep in dermis and in ligaments and tendons.	Stretching of skin.	Slow.
Lamellated (pacinian) corpuscles	Oval, layered capsule surrounds dendrites; present in dermis and subcutaneous layer, submucosal tissues, joints, periosteum, and some viscera.	Pressure, fast vibrations, and tickling.	Rapid.
Itch and tickle receptors	Free nerve endings and lamellated corpuscles in skin and mucous membranes.	Itching and tickling.	Both slow and rapid.
<b>Thermoreceptors</b>			
Warm receptors and cold receptors	Free nerve endings in skin and mucous membranes of mouth, vagina, and anus.	Warmth or cold.	Initially rapid, then slow.
<b>Pain Receptors</b>			
Nociceptors	Free nerve endings in every tissue of the body except the brain.	Pain.	Slow.
<b>Proprioceptors</b>			
Muscle spindles	Sensory nerve endings wrap around central area of encapsulated intrafusal muscle fibers within most skeletal muscles.	Muscle length.	Slow.
Tendon organs	Capsule encloses collagen fibers and sensory nerve endings at junction of tendon and muscle.	Muscle tension.	Slow.
Joint kinesthetic receptors	Lamellated corpuscles, Ruffini corpuscles, tendon organs, and free nerve endings.	Joint position and movement.	Rapid.



38-2. ábra

**A primer szomatoszenzoros kéreg elhelyezkedése**

Kandel, E. R., Schwarz, J. H., Jessel, T. M. (1991): Principles of Neural Science. 3. kiadás, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey alapján



38-3. ábra

**A szomatoszenzoros cortex szomatotóp elrendezése: a „szomatoszenzoros homunculus”**

W. Penfield és Th. Rasmussen (1950): The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization and Function. The Macmillan Co., New York alapján