

# DFT Biofizika

## 7. Érzékelés

Receptorsejtek, receptorpotenciál, akciós potenciál, frekvencia kódolás. Kompresszív és expanszív érzékelés, pszichofizikai törvények. Látás és hallás biofizikája. Audiometria. Hangosság és súlyérezékelés mérése.

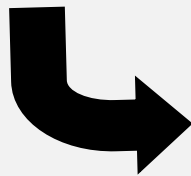
Dr. Liliom Károly

karoly.liliom.mta@gmail.com

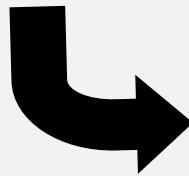
2023. 11. 14.

# Az érzékelési folyamat

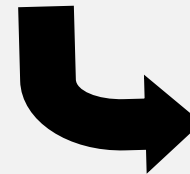
külső, belső  
környezet  
ingerei



inger-  
specifikus  
transzducer

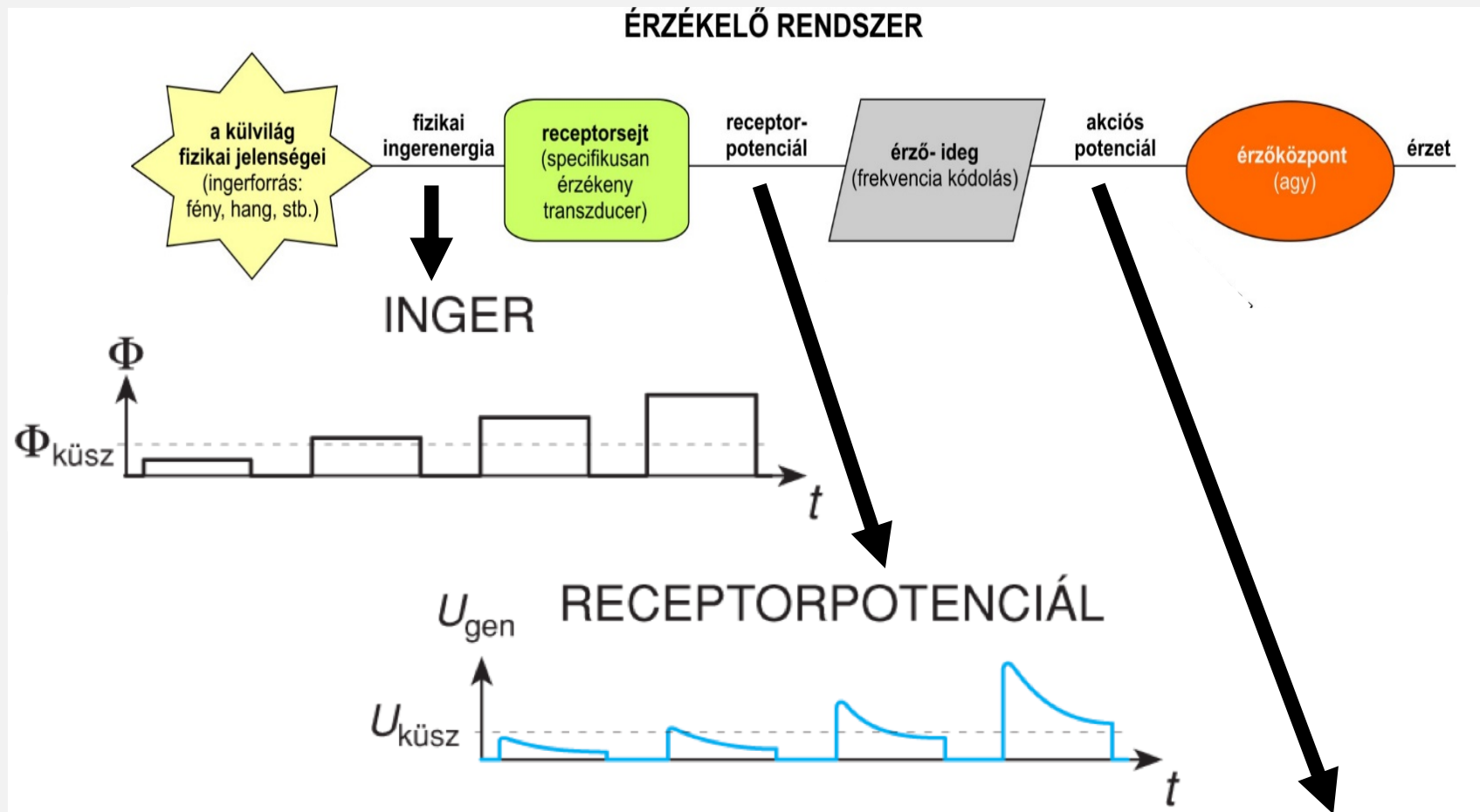


neuron



központi  
idegrendszer

# Az érzékelőrendszer általános felépítése

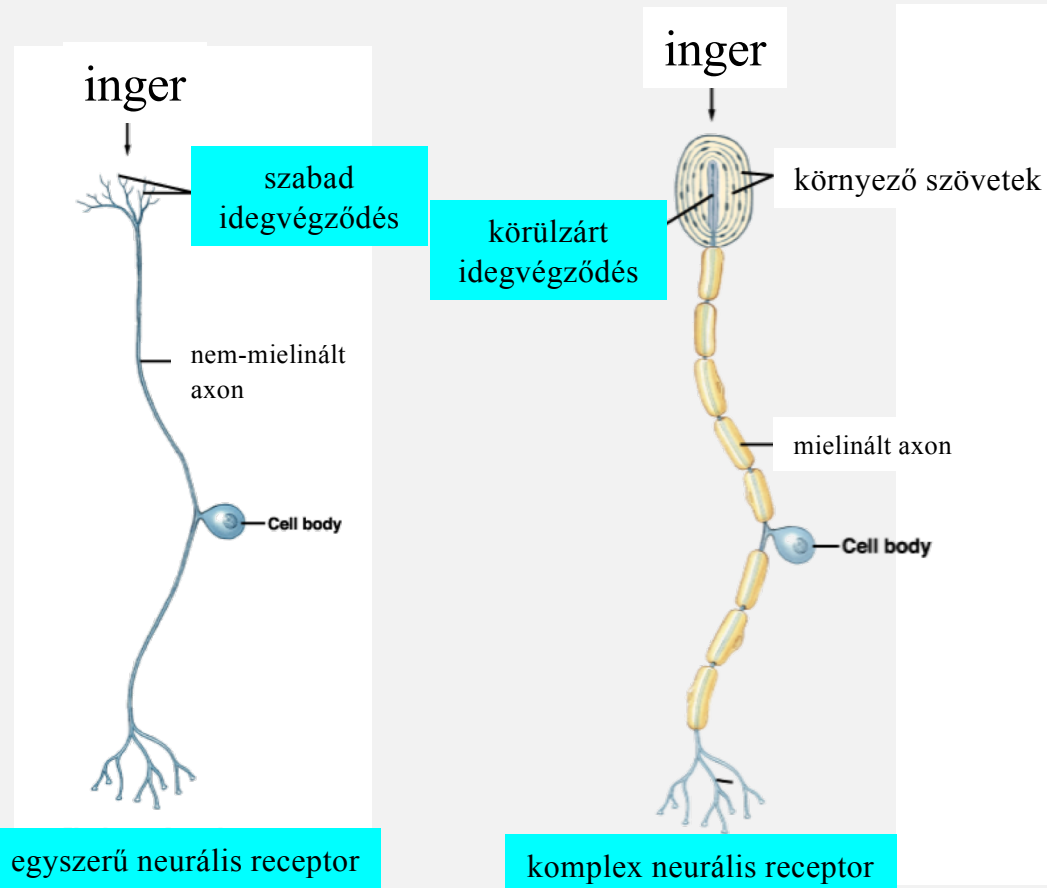


Az inger jellemzői:  
milyen, hol, mennyi, meddig?



# Receptorsejtek felépítése

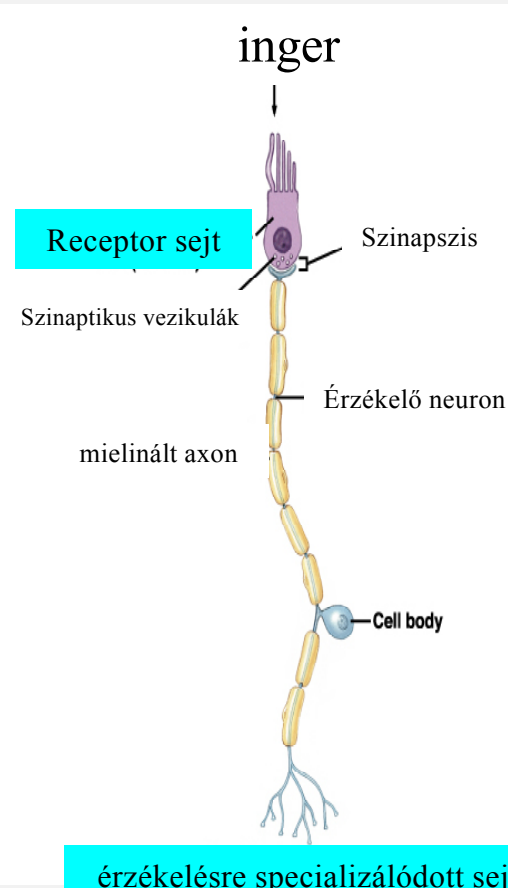
## Primer receptor



pl. bőrrceptorok

pl. izomorsó

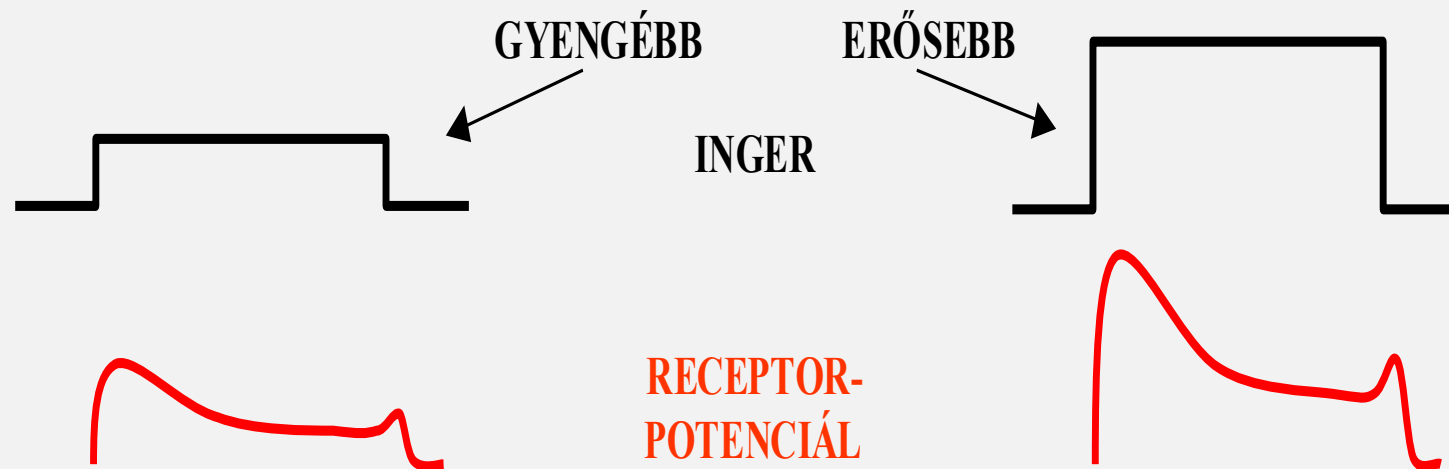
## Szekunder receptor



pl. hallás, látás



# Receptorpotenciál – a receptorsejt membránpotenciáljának megváltozása



- amplitúdója arányos az inger amplitúdójával
- időtartama azonos az inger időtartamával
- helyi potenciálváltozás

# Jelátalakítás = TRANSZDUKCIÓ

a receptorsejt egy transzducer:

a nem-elektromos jelet átalakítja elektromos jellé

**INGER**

**KÓD**

**MILYEN?**

**A receptor típusa**

**HOL?**

**A receptorsejtek lokalizációja**

**MENNYI?**

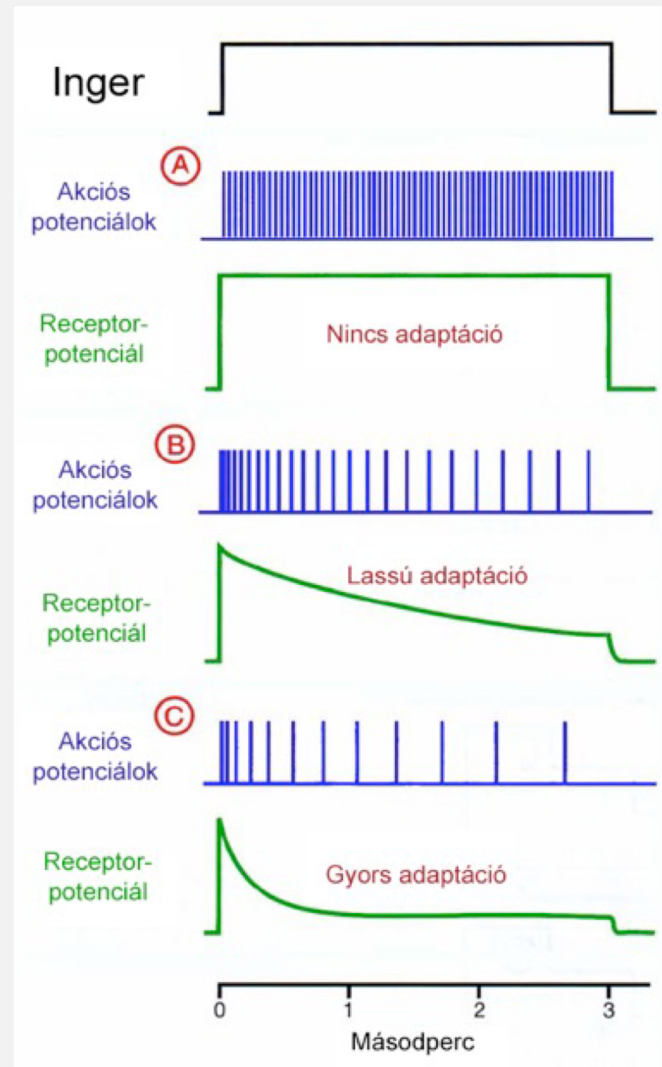
**A receptorpotenciál amplitúdója**

**MEDDIG?**

**A receptorpotenciál időtartama**

# Adaptáció:

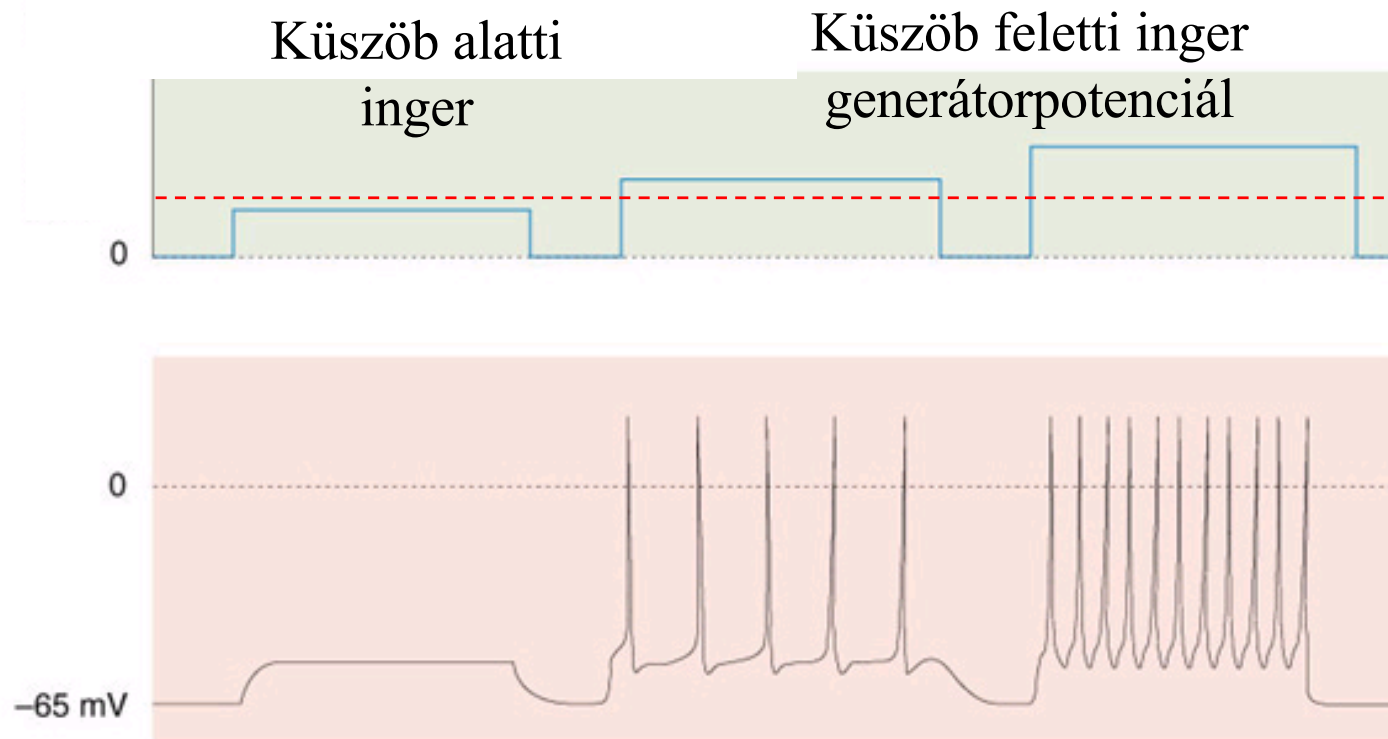
a receptorpotenciál amplitúdójának csökkenése



Gyorsan adaptálódó receptorok: tapintás, szaglás, hőérzet  
Lassan / nem adaptálódó receptorok: pl. fájdalomérzékelők

# A receptorpotenciál hatása az ingerelhető membránra

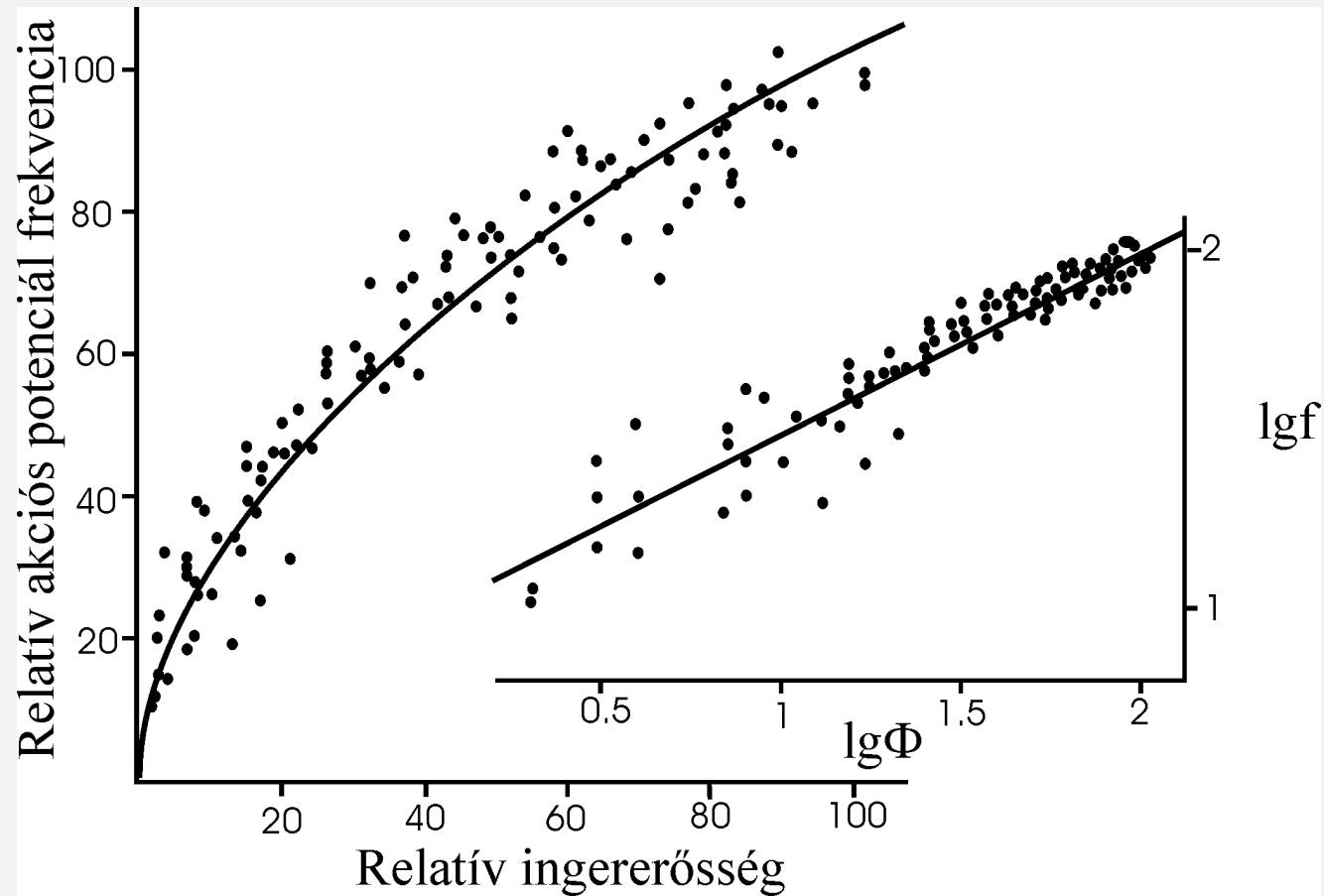
Receptor-  
potenciál



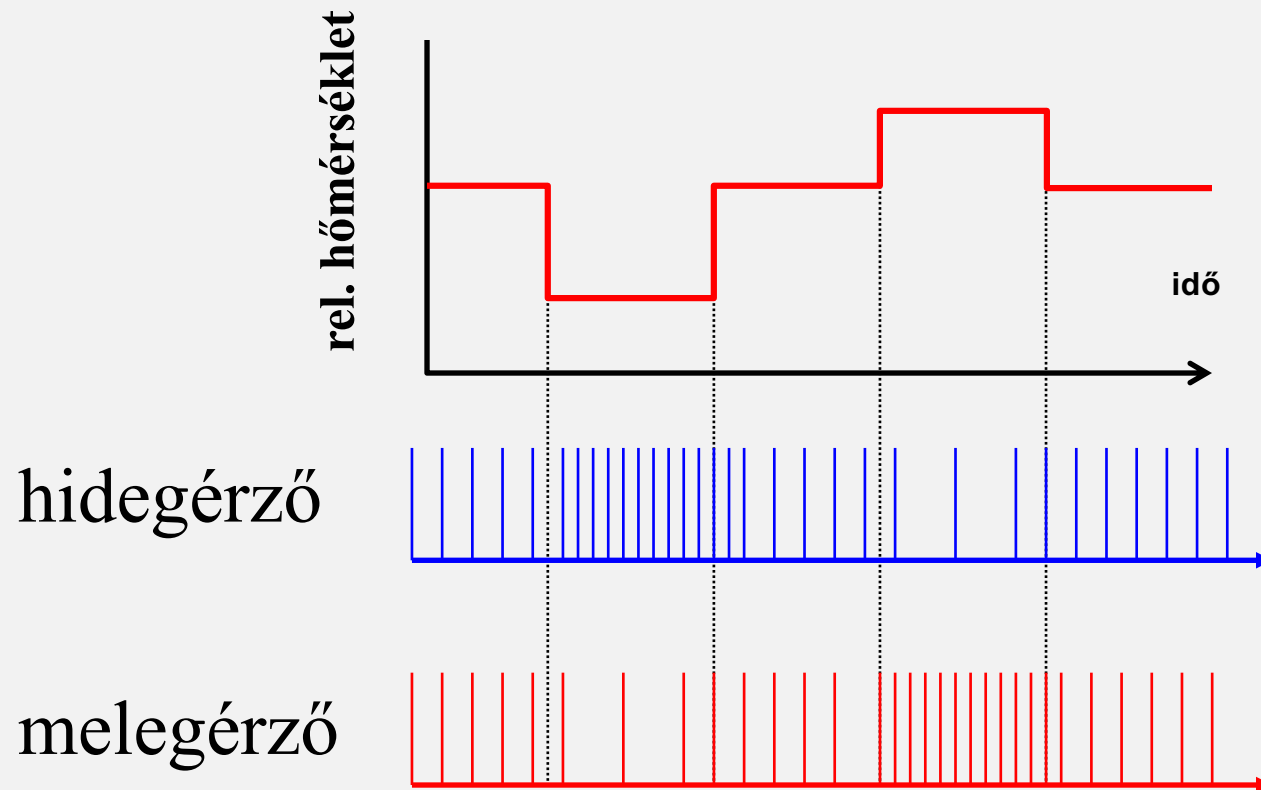
depolarizáció  
(gátló szinapszisoknál  
hiperpolarizáció)

akciós potenciál  
*Állandó amplitúdójú,  
frekvenciamodulált jel*

# Az AP-frekvencia és az ingererősség kapcsolata



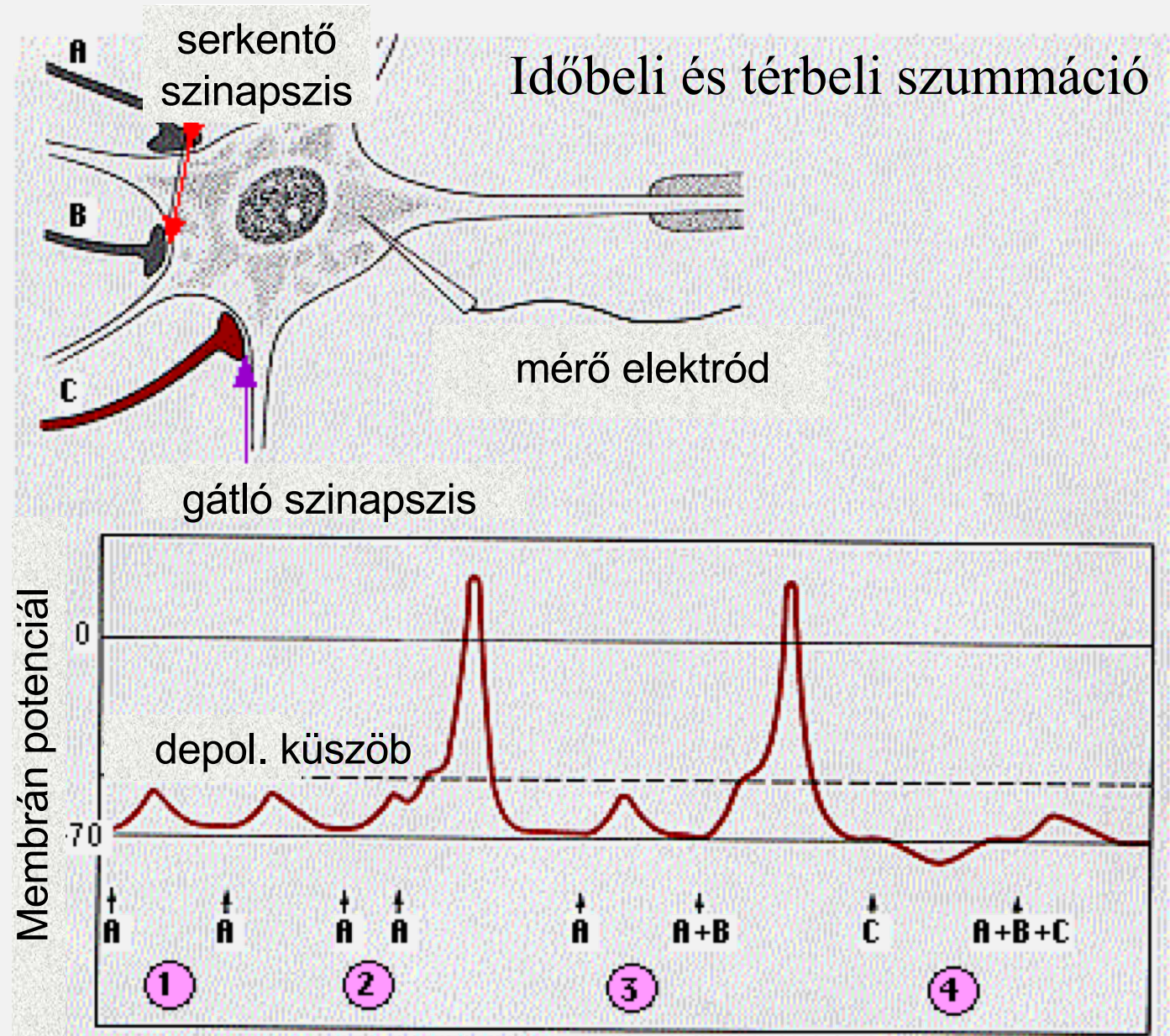
# Folytonos működésű receptorok



Változatlan körülmények között állandó frekvenciájú akcióspotenciálsorozatot generálnak. Az adekvát paraméter változása frekvencia-csökkenést vagy -növekedést idéz elő.

# A központi idegrendszerben módosulhatnak a jelek:

serkentés  
facilitálás  
gátlás  
konvergencia  
divergencia





# Az információ módosulása a feldolgozás során (1)

receptív mező neuron1

primer érző neuron

*Térbeli szummáció*

szekunder érző neuron

receptív mező neuron2

20 mm

*Pl. ujjbegy*

primer érző  
neuron

szekunder érző  
neuron

két jelet érzékel

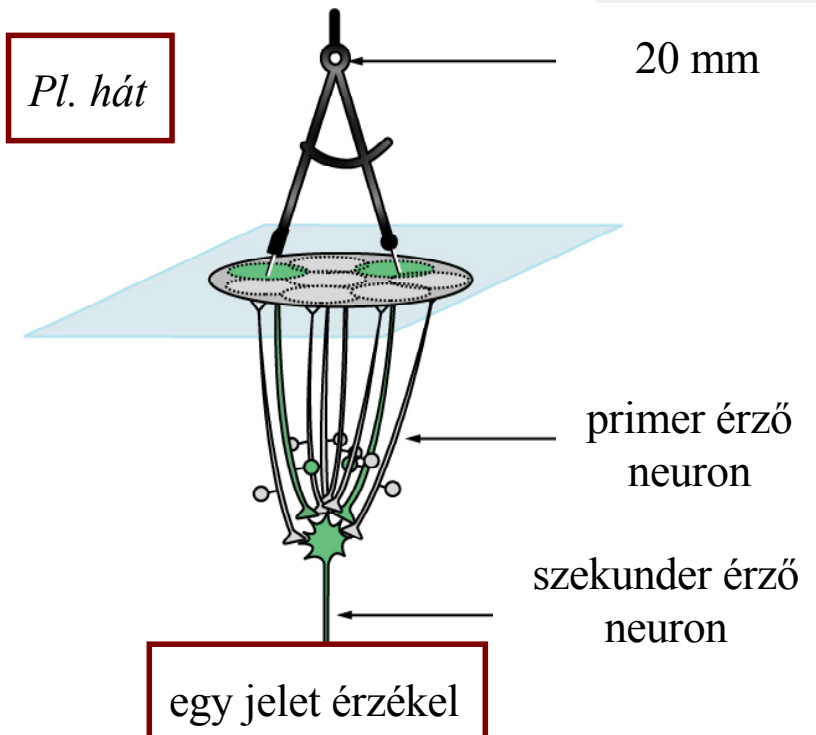
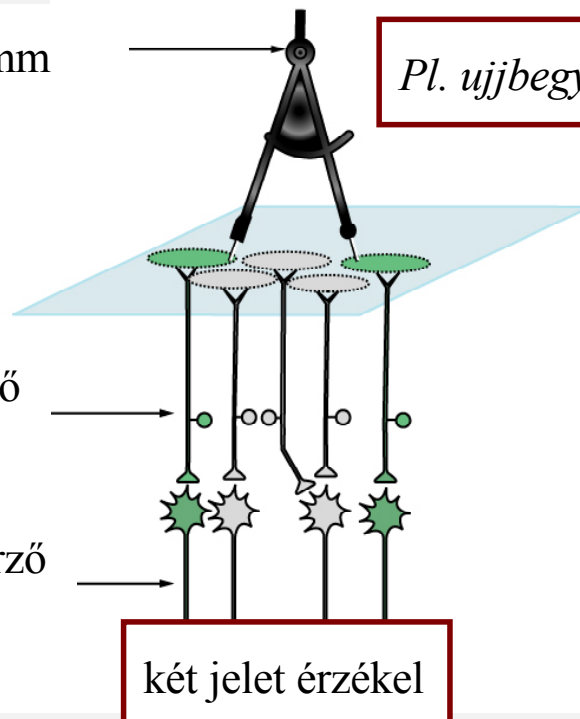
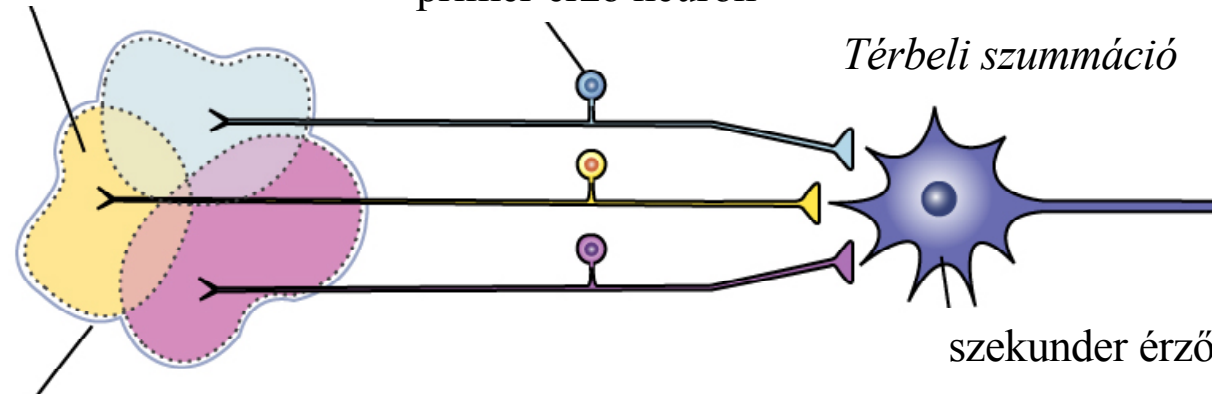
*Pl. hát*

20 mm

primer érző  
neuron

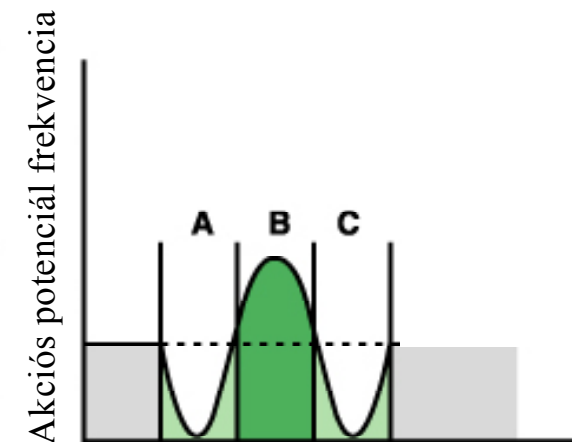
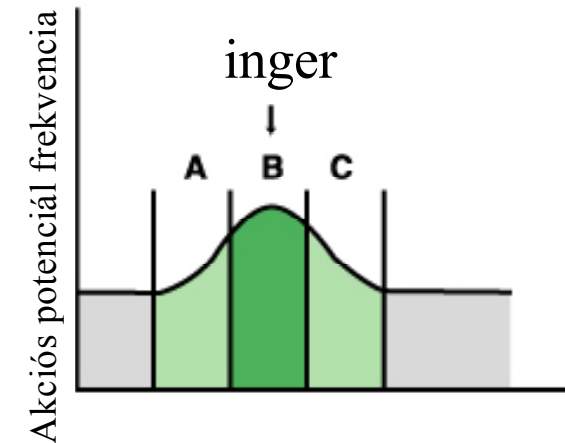
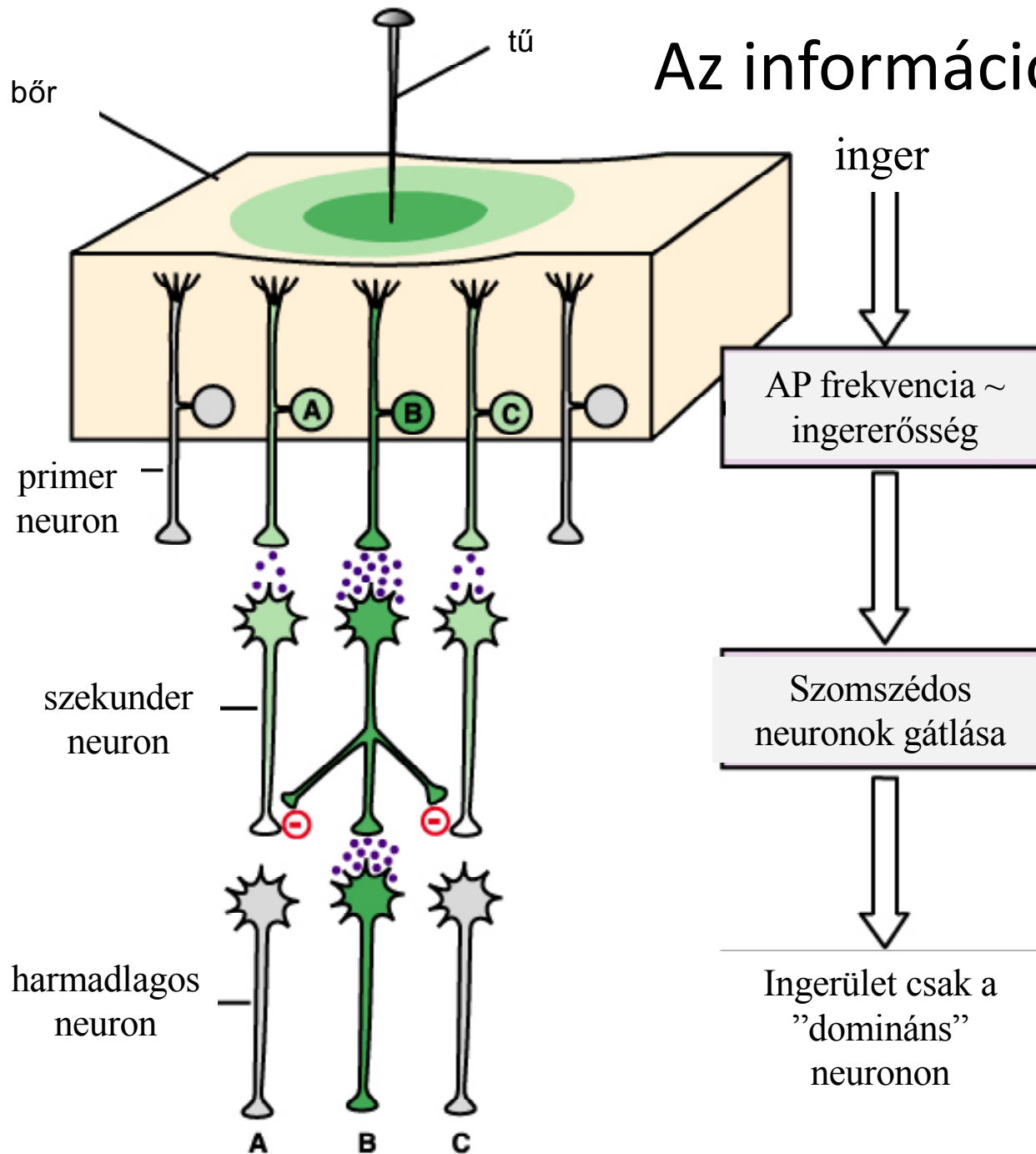
szekunder érző  
neuron

egy jelet érzékel

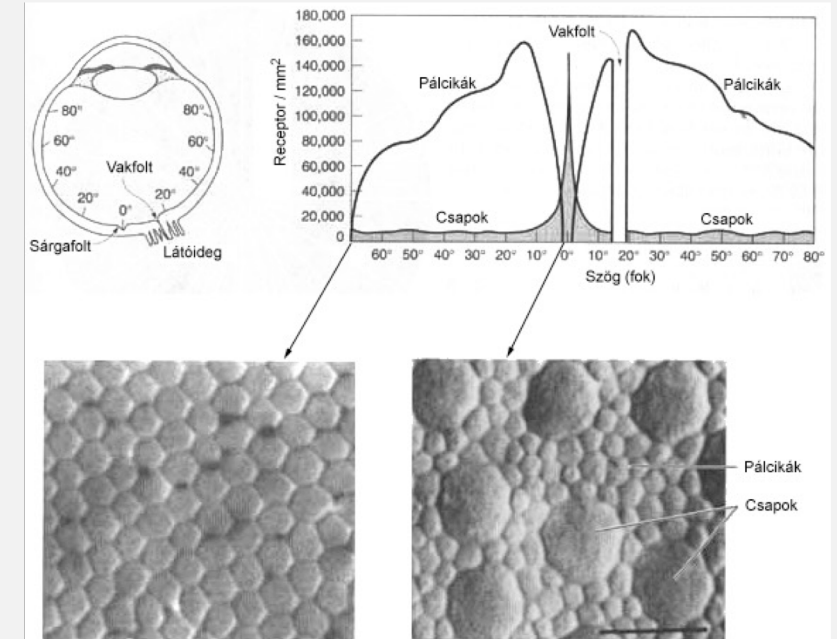
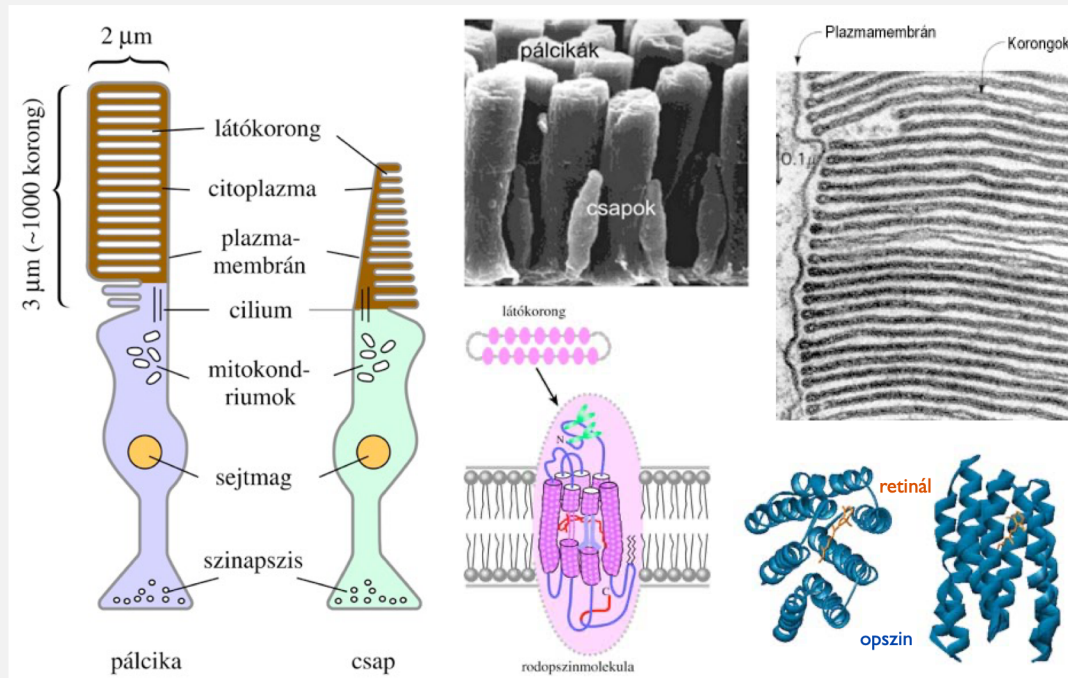




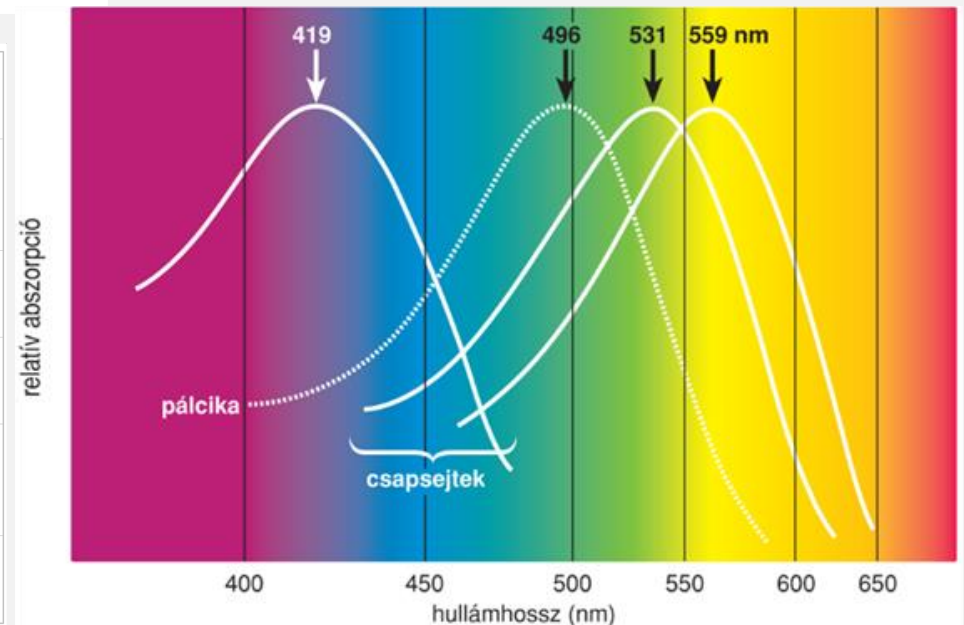
## Az információ módosulása (2)



# A fényreceptorok szerkezete

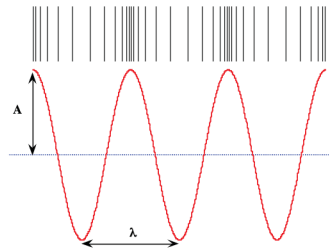


Pálcika	Csap
Kis fényintenzitást képes érzékelni (optimális esetben akár 1 fotont!)	Kevésbé érzékeny, de nagy intenzitástartományban érzékel
Közepes fényerősségnél válasza telítődik	Nincs telítődés
Főleg a retina periferiáján található	Foveában, főleg fovea centralis
Egy ganglionnak több pálcika adja át az ingerületet (nagyobb érzékenység, kisebb térbeli felbontás)	Kevésbé konvergáló idegi kapcsolatok (jobb térbeli felbontás)
Nem érzékel színeket	Színérzékeny



# Inger: hang

Longitudinális  
mechanikai hullám  
(nyomáshullám)



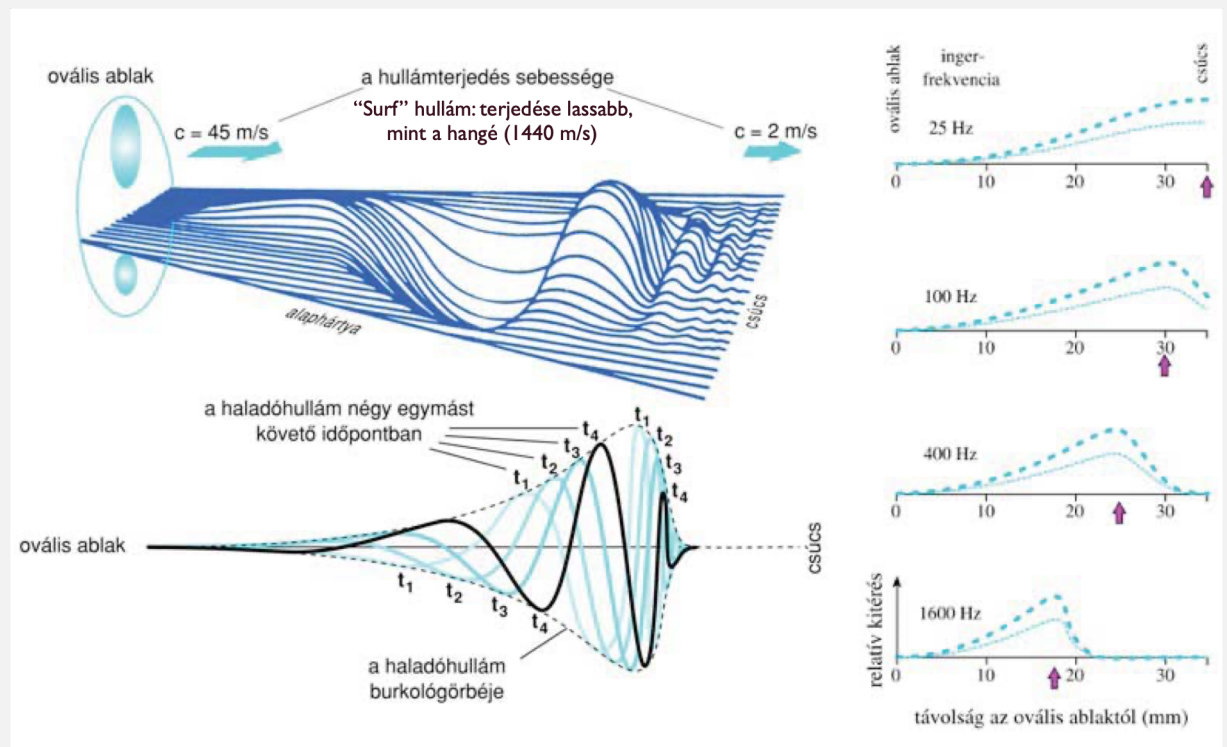
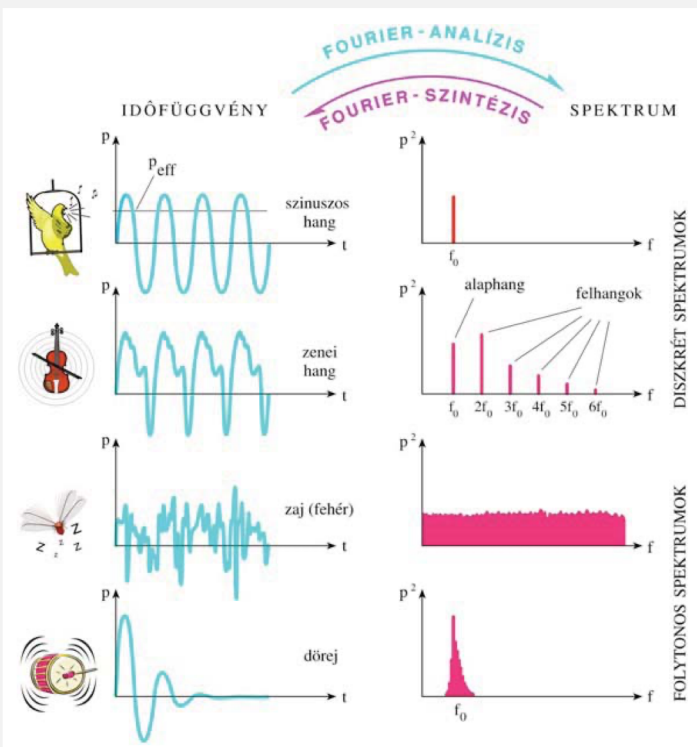
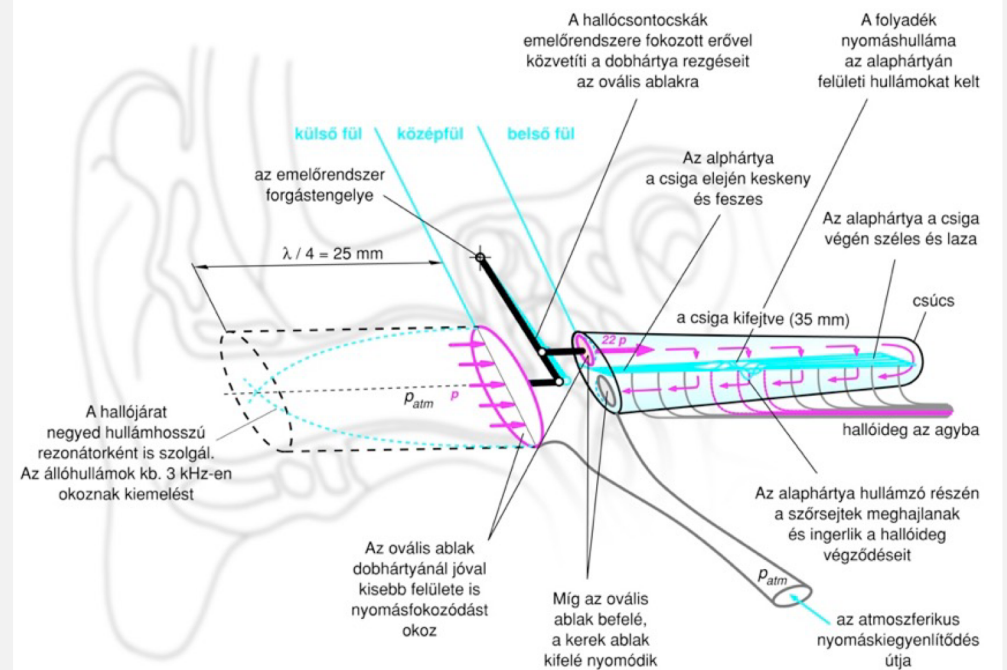
Longitudinális hullám



Tranzverzális hullám

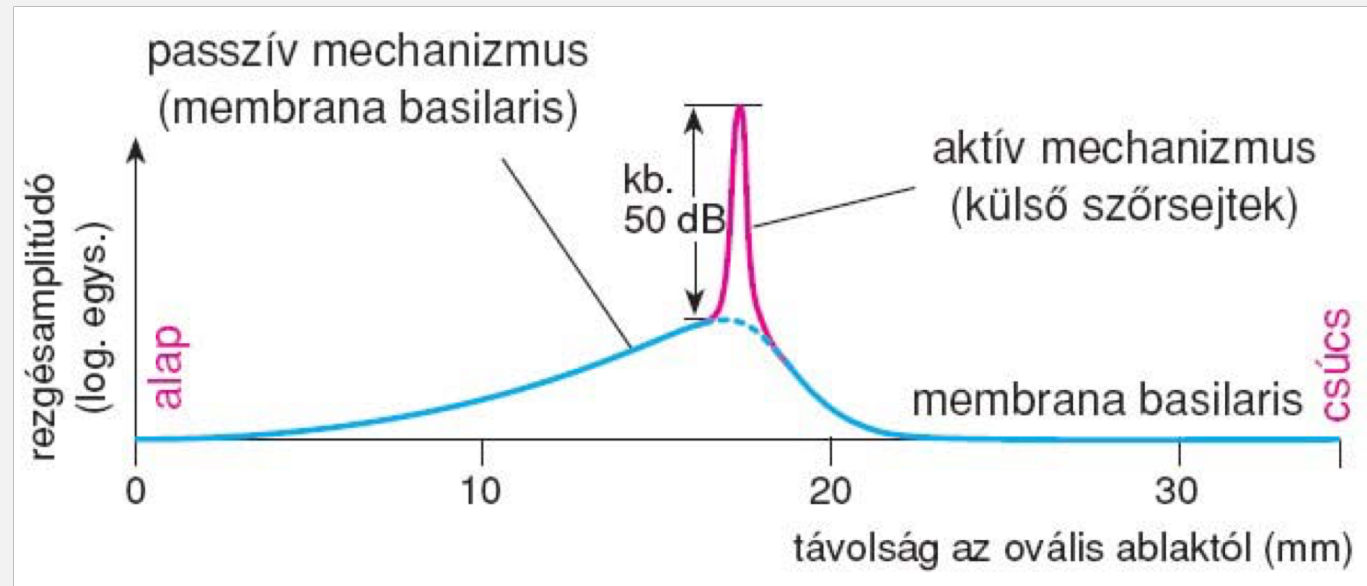
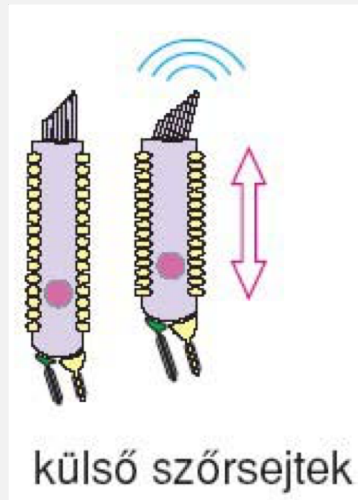
Harmonikus rezgés:  $y(t) = A \sin(ft + \varphi)$

$y$ =aktuális nyomás;  $t$ =idő  
 $f$ =frekvencia (Hz);  $A$ =amplitúdó  
 $\varphi$ =fáziseltolódás





# Külső szőrsejtek – aktív erősítés



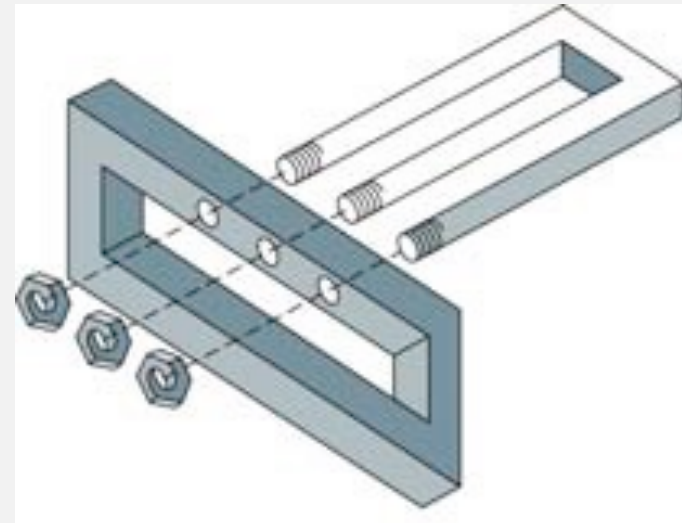
Regeneratív erősítő – pozitív visszacsatolás,  
de csak a disszipálódott energiát pótolja  
(különben fülcsengés jönne létre)

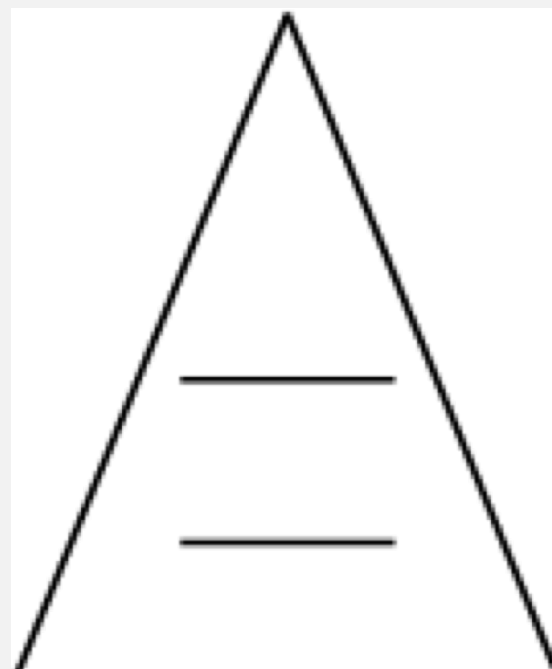
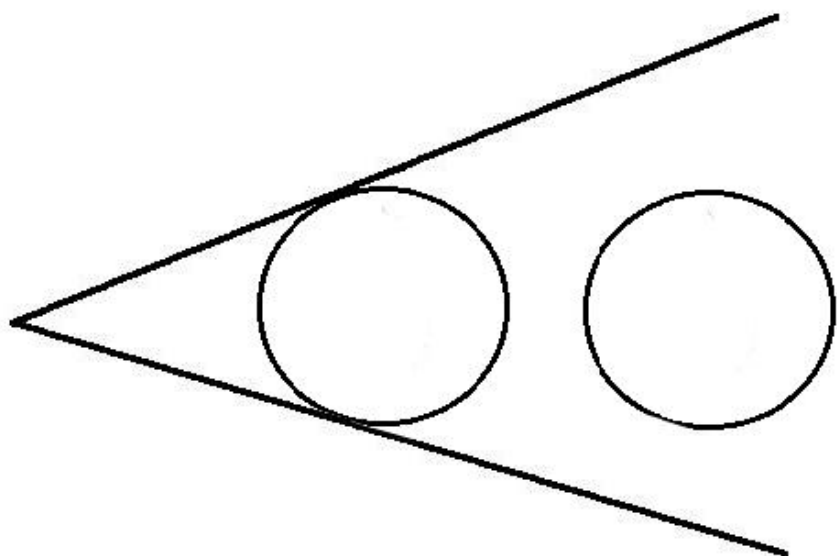
<https://www.youtube.com/watch?v=pij8a8aNpWQ>

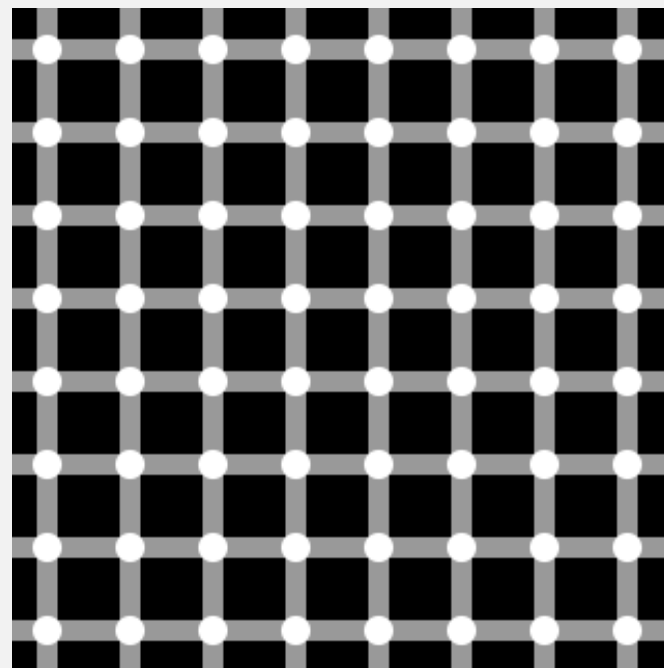
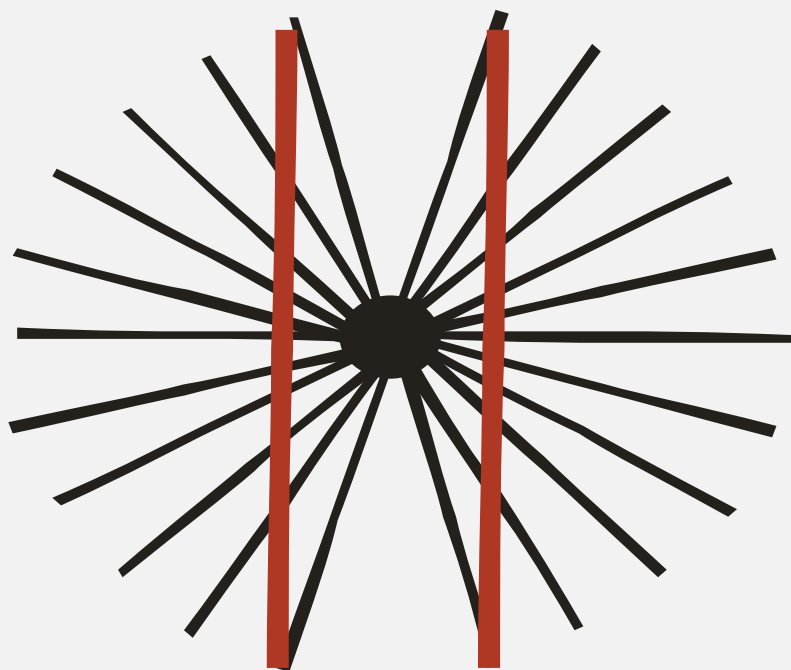
## Percepció (észlelés) -

- a bejérkező ingerek (információ) elemzését
- a beérkező információ rendszerezését
- a rendszerbe foglalt információ megértését

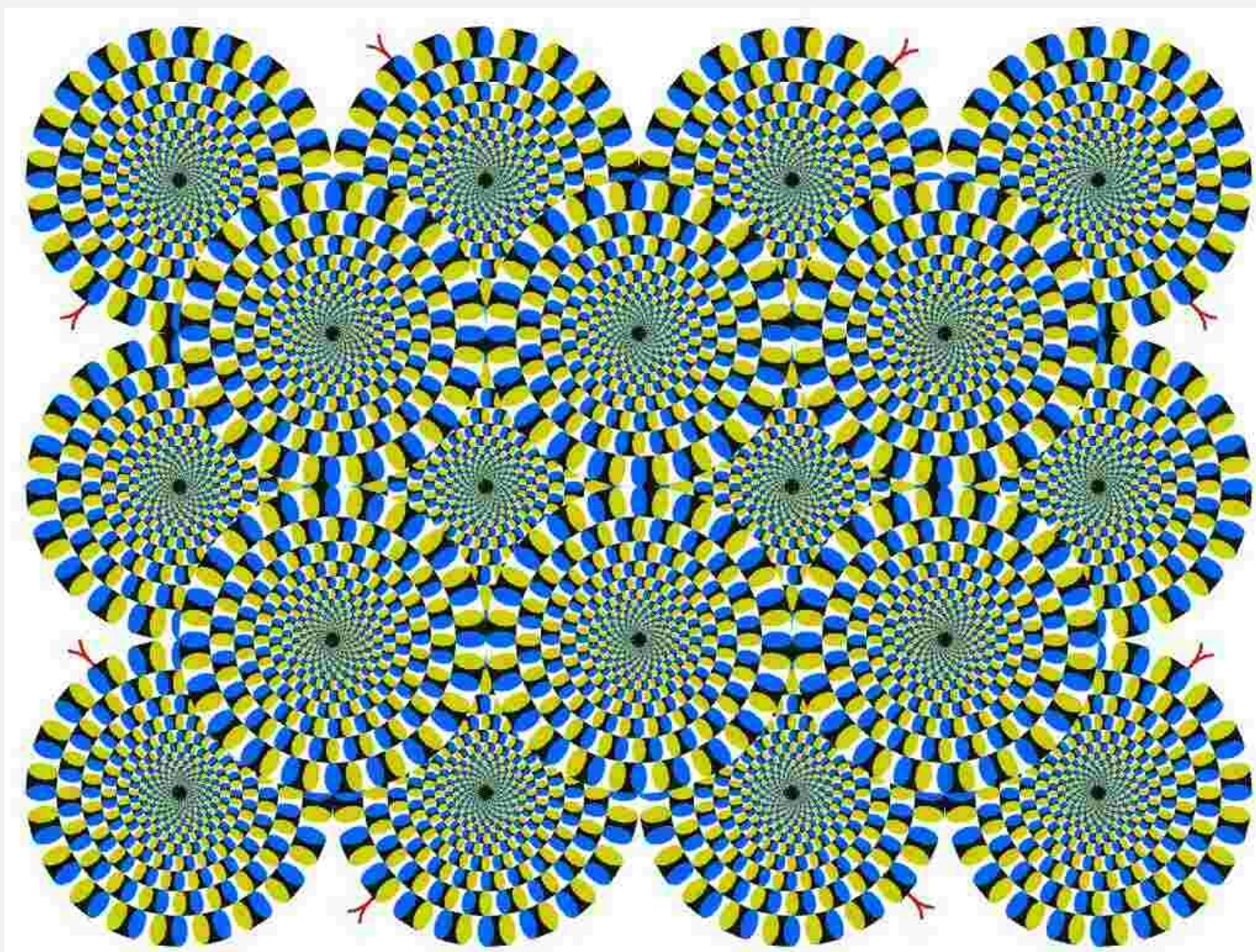
A percepció “téves” is lehet –  
az illúziók félreértelmezett vizuális ingerek



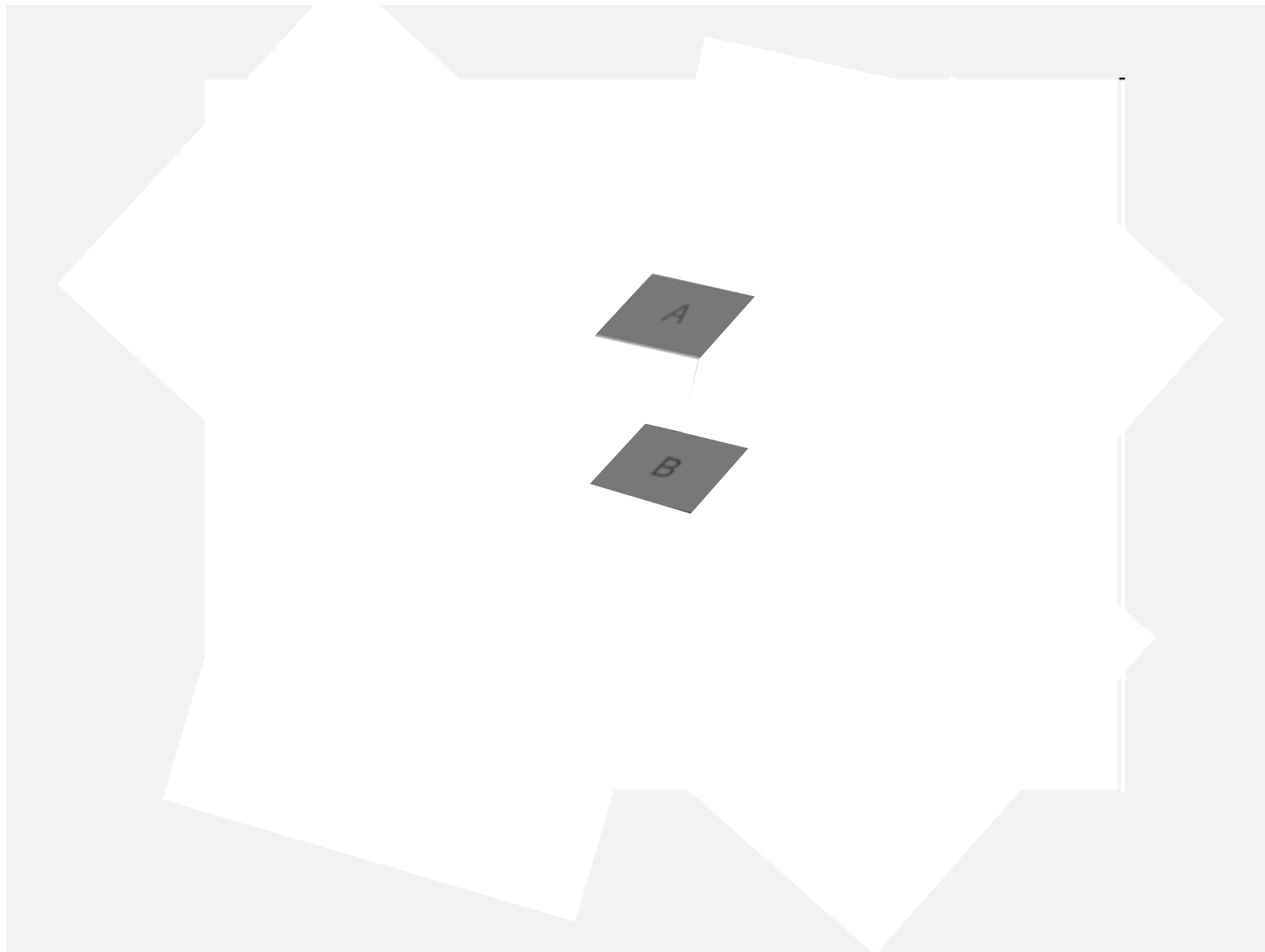












# Pszichofizika

- kapcsolat az inger mennyiségi jellemzői és a szubjektív tapasztalás között
- az érzeterősség mennyiségi jellemzése, mérése

# Az érzékelési küszöb vizsgálata

Abszolút küszöb:      *az inger felismeréséhez szükséges legkisebb ingererősség*

Döntés módszere – igen - nem válasz

Beállítás módszere (lásd gyakorlat)

Különbségi küszöb:      *két inger megkülönböztetéséhez szükséges legkisebb különbség nagysága*

Kényszerített döntés módszere – választani muszáj

legkisebb érzékelhető különbség =  $I - I_0$



Ernst Weber (1795-1878)

különbözőnek  
felismert intenzitás

alapintenzitás

$$LÉK = I - I_0$$

"just-noticeable difference" (JND)



$$\text{LÉK} = I - I_0$$

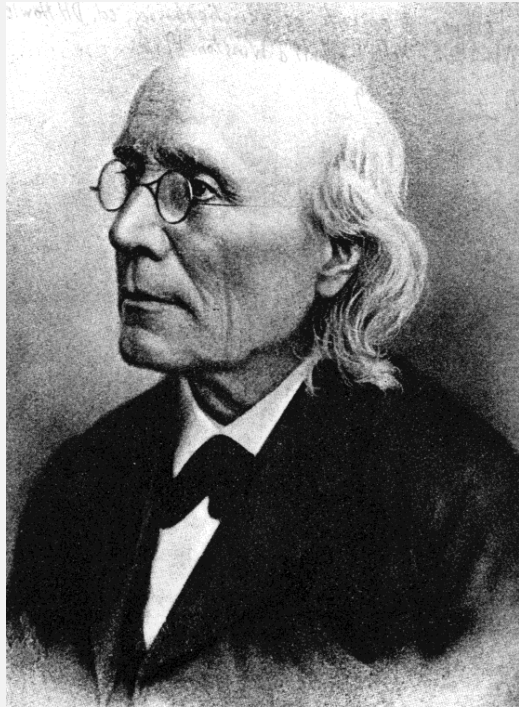
A LÉK nem állandó érték, függ  $I_0$  értékétől

Ernst Weber -  $I_0$  és a LÉK ( $\Delta I$ ) viszonya

$$\frac{\Delta I}{I_0} = k$$

$k$ : Weber-tört – meghatározása mérések alapján

<i>inger</i>	<i>Weber-tört</i>
Fényesség	0,079
Hangosság	0,048
Tapintás	0,022
Nyomás	0,02
Ízlelés (sós)	0,083
Elektromos sokk	0,013



Gustav Theodor Fechner  
(1801-1887)

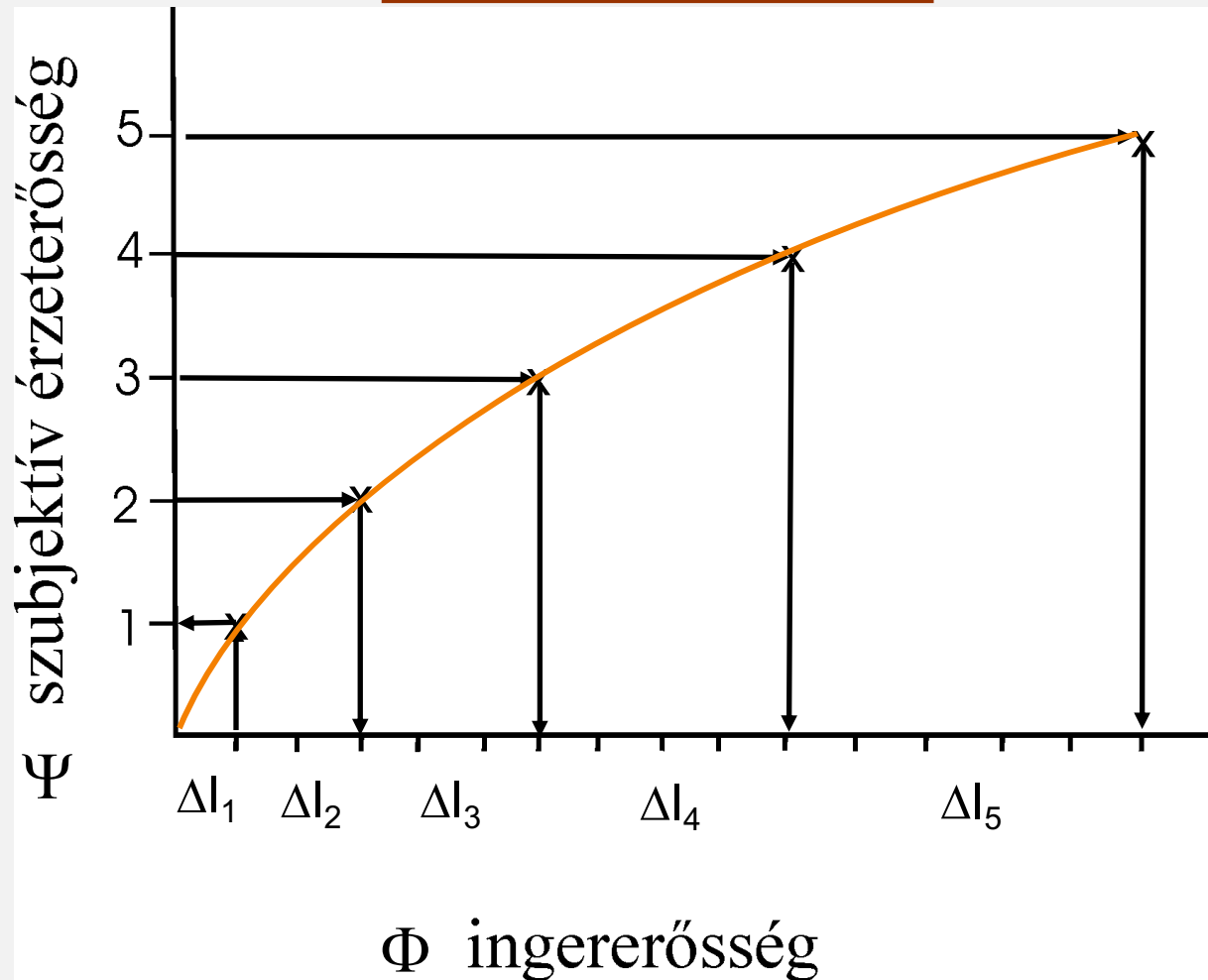
$$\Delta I = I - I_0$$

$\Delta I$  az ingererősség függvénye

$$\frac{\Delta I}{I_0} = k$$

Feltételezte, hogy az ingererősség minden relatív változása azonos mértékben változtatja az érzeterősséget.

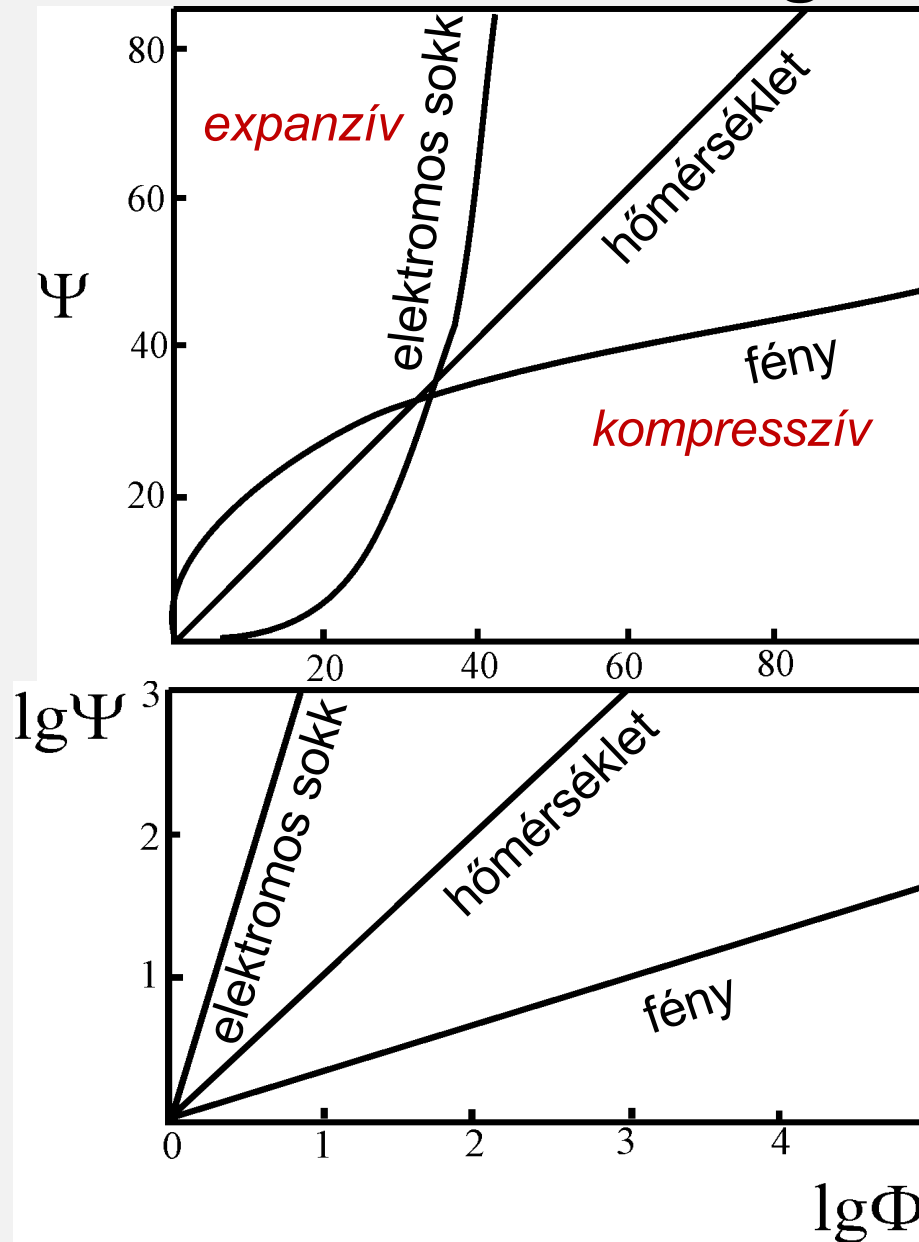
$$\Phi = \Delta I / I \sim \Delta \Psi$$



$$\Psi \sim \lg \Phi$$



# Stevens - kapcsolat az ingererősség és az érzeterősség között mérések alapján



Stanley Smith Stevens  
(1906-1973)

$$\Psi \sim \Phi^n$$

$$\Psi \sim \Phi^n$$

<i>inger</i>	<i>hatványfüggvény kitevője</i>
rövid fényimpulzusok fényessége	0,5
szag (heptán)	0,6
Hangosság (1000 Hz)	0,3
környezeti hőmérséklet	1,00
ízlelés	1,30

# A különböző modalitásoknak megfelelő hatványkitevő (n) értékek

MODALITÁS	„n”	MODALITÁS	„n”
HALLÁS, hangosság (1000 Hz )	0,3	HŐÉRZÉKELES, környezeti hőmérséklet	1,0
LÁTÁS, fényesség (5°-os fényfolt, sötét szokott szem)	0,33	LÁTÁS, hosszúságbecslés	1,0
LÁTÁS (villanás fényessége)	0,5	NYOMÁS (nyomásérzet a tenyéren)	1,1
SZAGLÁS (kávéillat)	0,55	ÍZLELÉS (só)	1,3
Vibráció (ujj, 250 Hz)	0,6	NYOMÁS (súlyérzékelés)	1,45
NYOMÁS Vibráció (ujj, 60 Hz)	0,95	NYOMÁS Erő (kézi erőmérő)	1,7
SZAGLÁS (heptán)	0,6	ELEKTROMOS ÁRAMÜTÉS (bőr)	3,5
ÍZLELÉS (szacharin)	0,8	ELEKTROMOS ÁRAMÜTÉS (fog)	7.0

## Kétféle megközelítés:

*Weber – Fechner*

$$\Psi \sim \lg \Phi$$

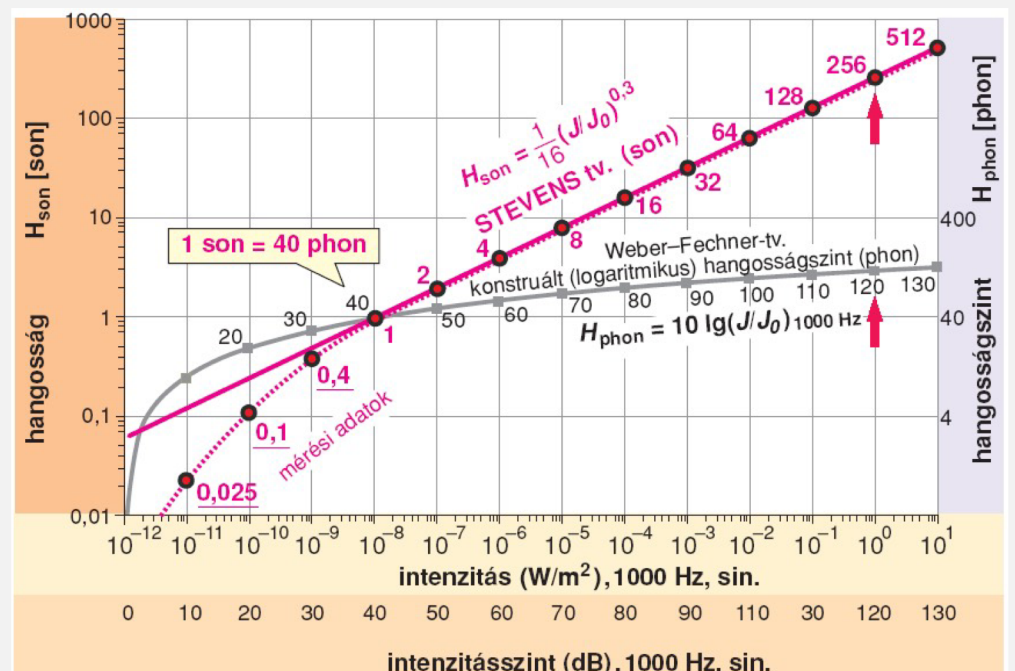
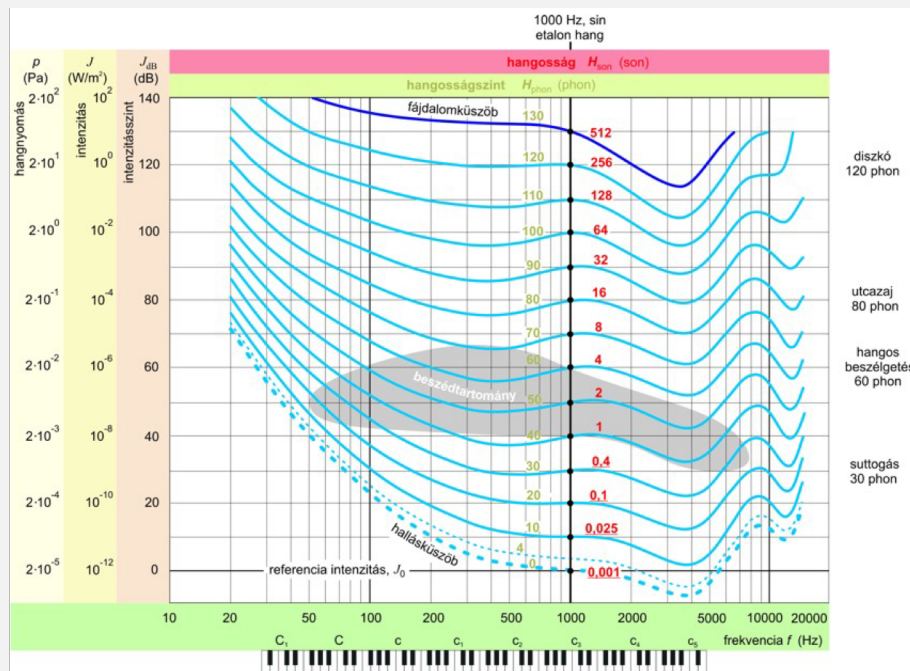
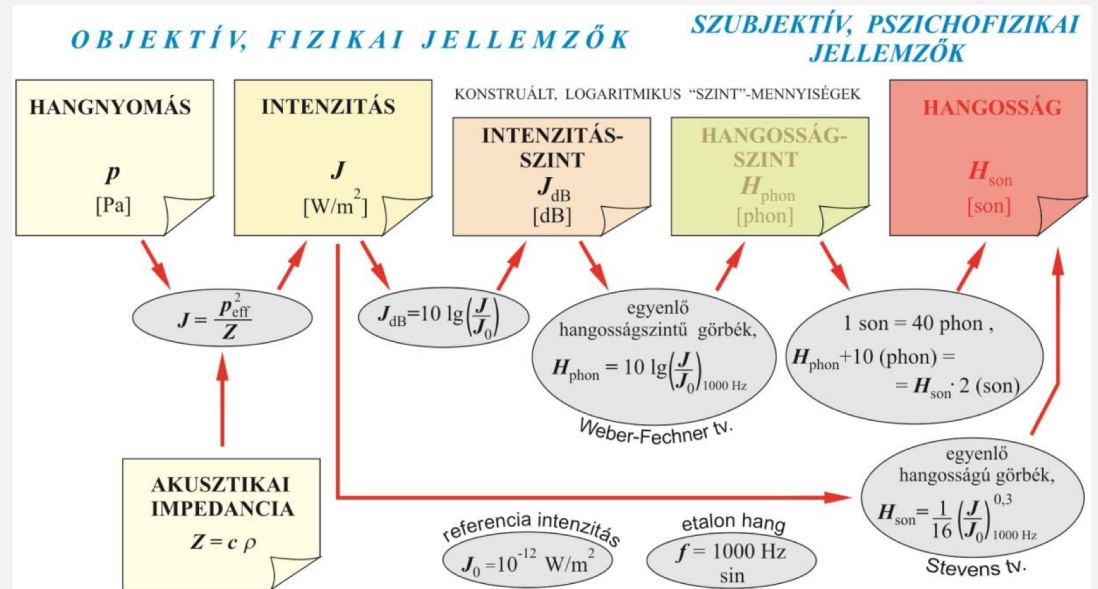
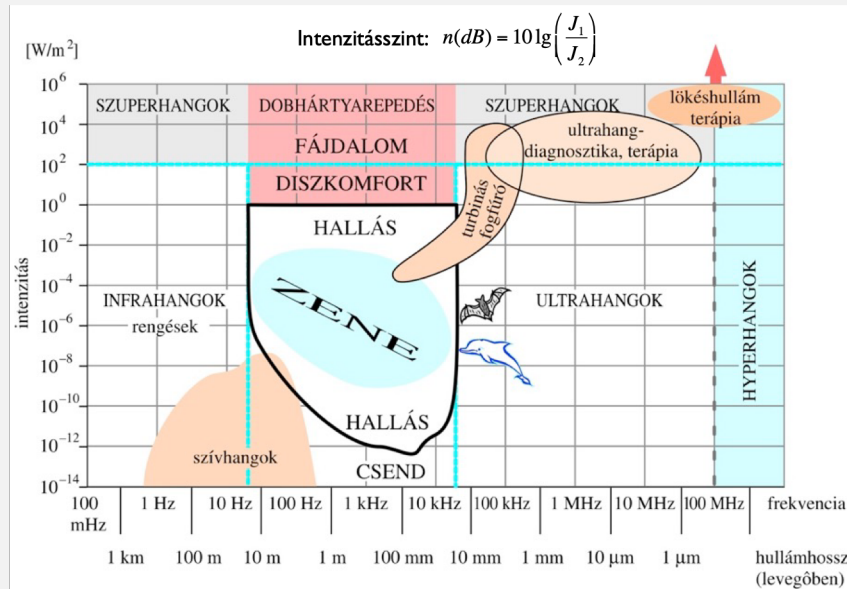
Differencia-vizsgálatok esetén jobb megközelítés

*Stevens*

$$\Psi \sim \Phi^n$$

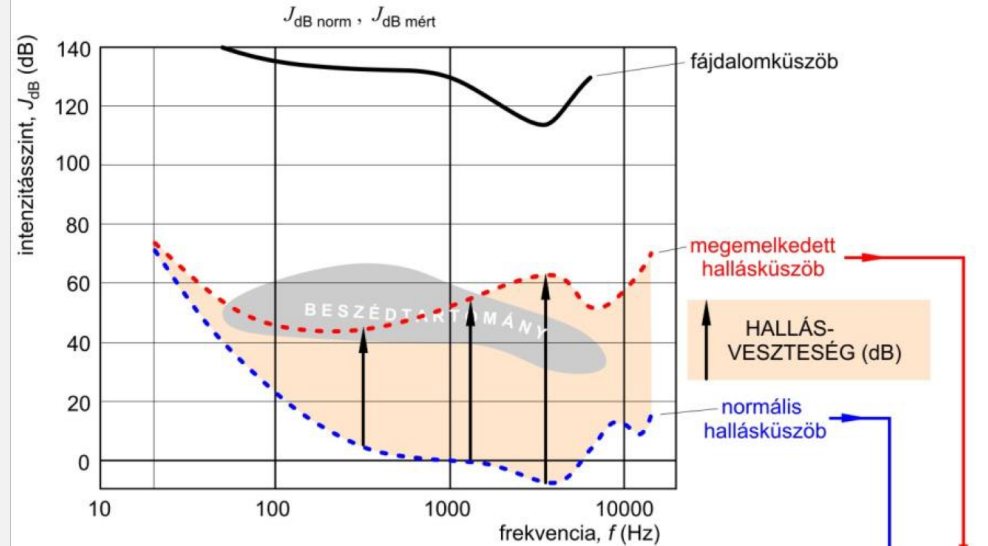
Érzeterősség becslése esetén jobb megközelítés

# Hangosságérzékelés, hallásküszöb

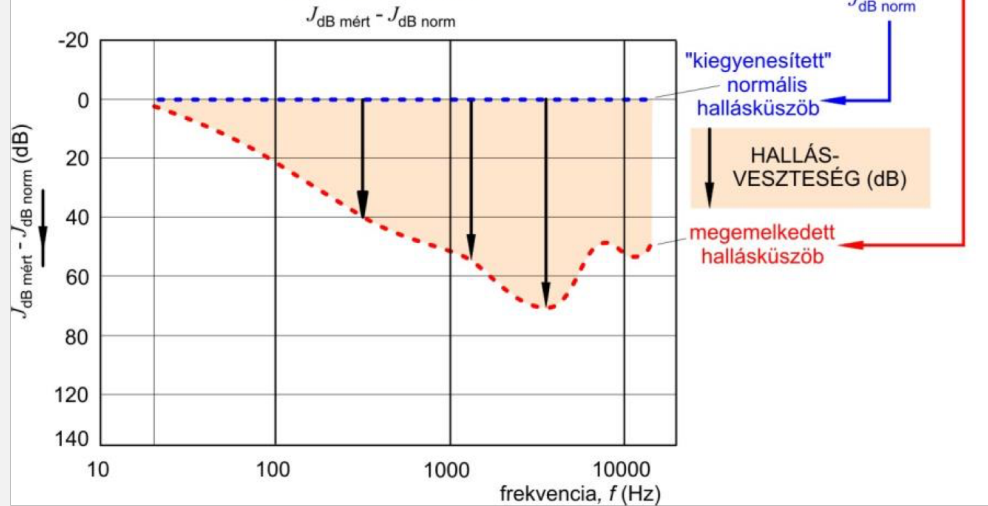


# Audiogram, hallásvesztés

## EGYENLŐ HANGOSSÁGÚ GÖRBÉK



## AUDIOGRAM



## NORMÁLIS HALLÁSKÜSZÖBGÖRBE (a mérésben használt zárt fejhallgatóra $J_{dB\ norm}$ )

