

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.

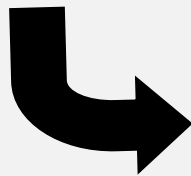
Dr. Liliom Károly

karoly.liliom.mta@gmail.com

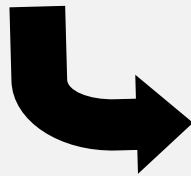
2025. 11. 04.

Az érzékelési folyamat

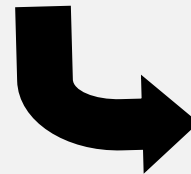
külső, belső
környezet
ingerei



inger-
specifikus
transzducer

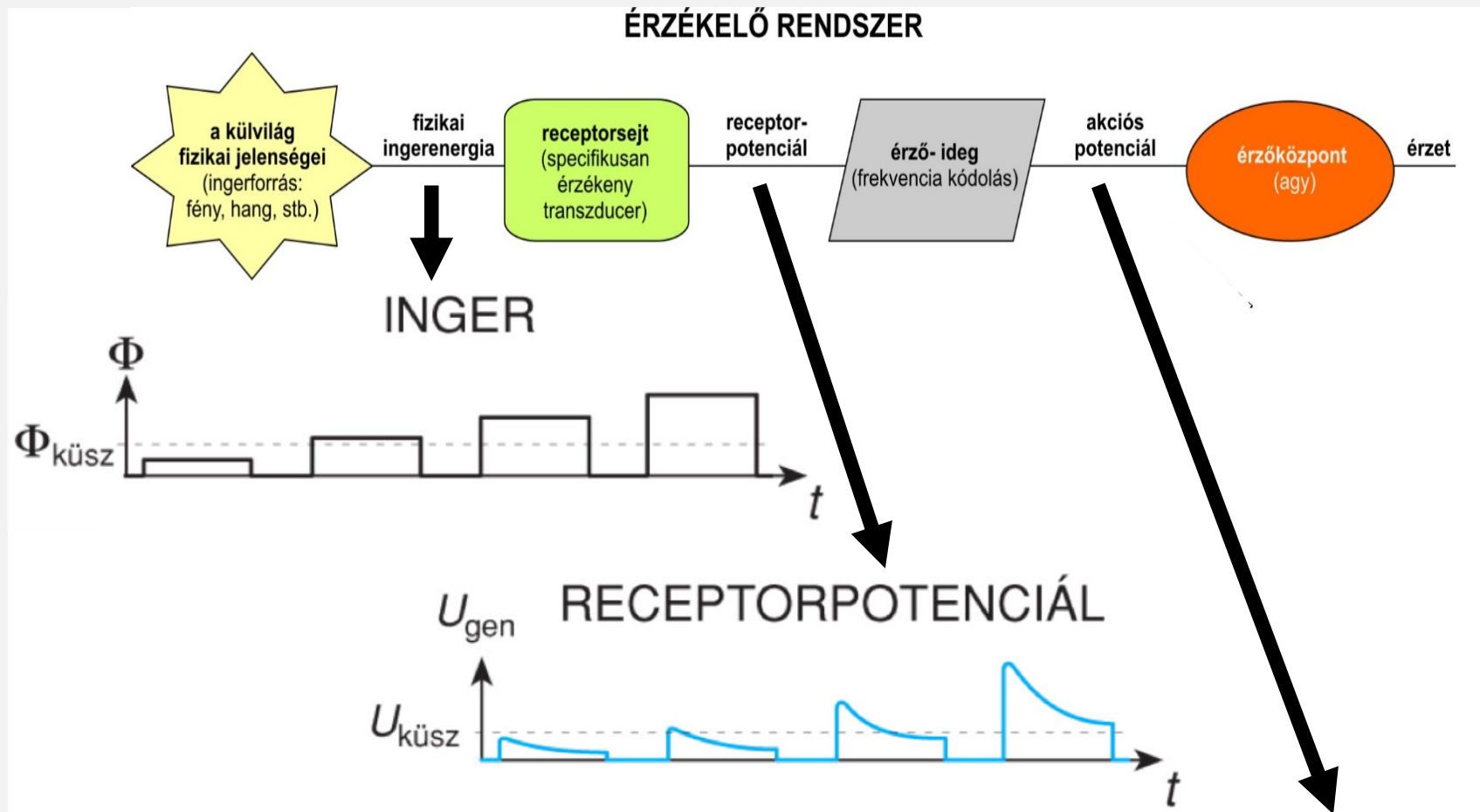


neuron



központi
idegrendszer

Az érzékelőrendszer általános felépítése

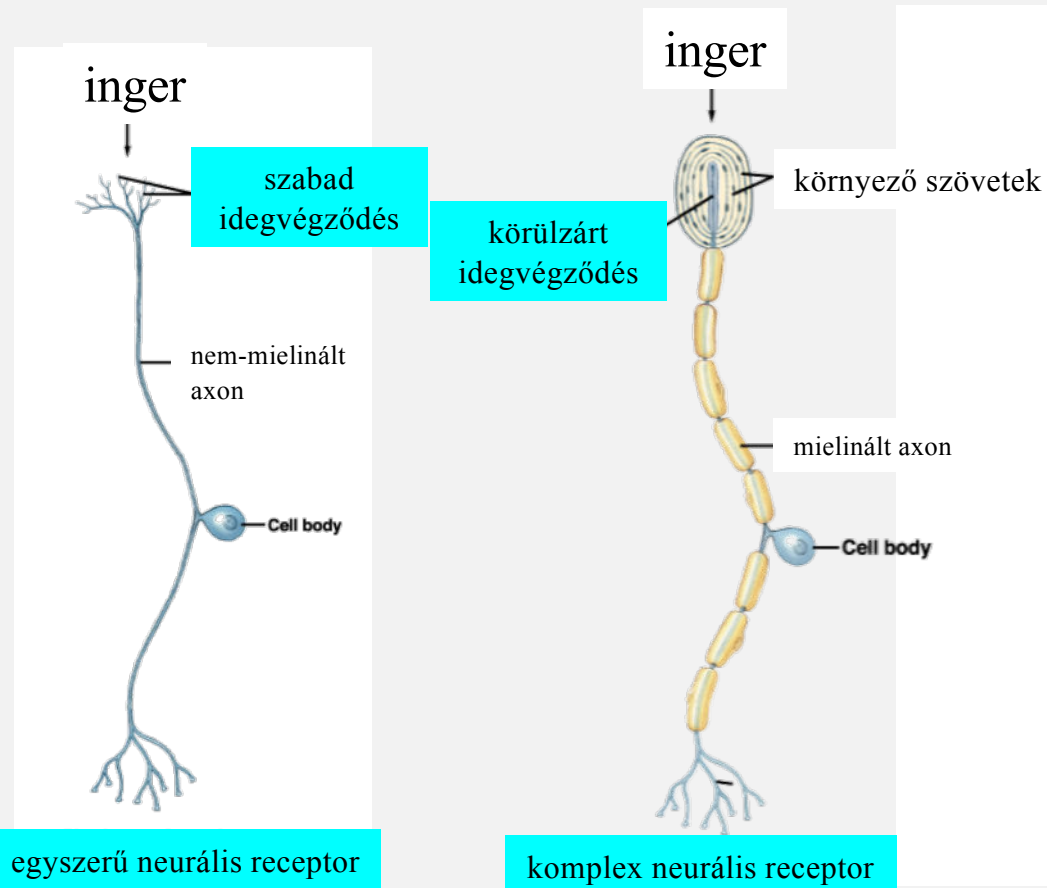


Az inger jellemzői:
milyen, hol, mennyi, meddig?



Receptorsejtek felépítése

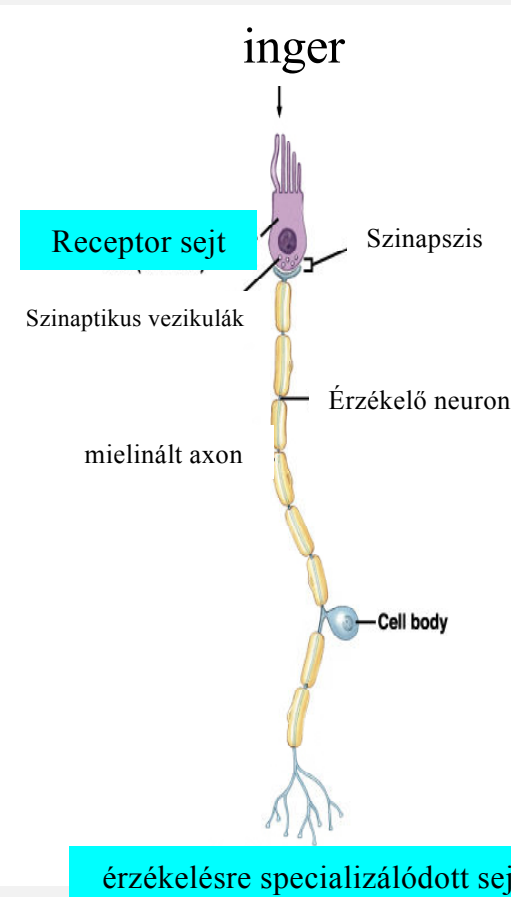
Primer receptor



pl. bőrrceptorok

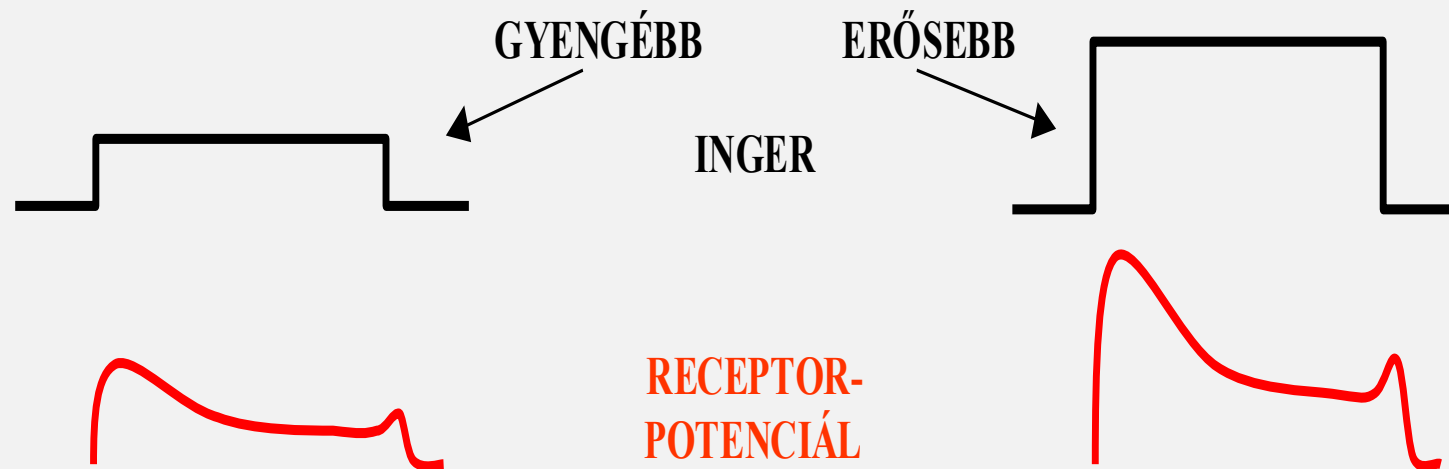
pl. izomorsó

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?

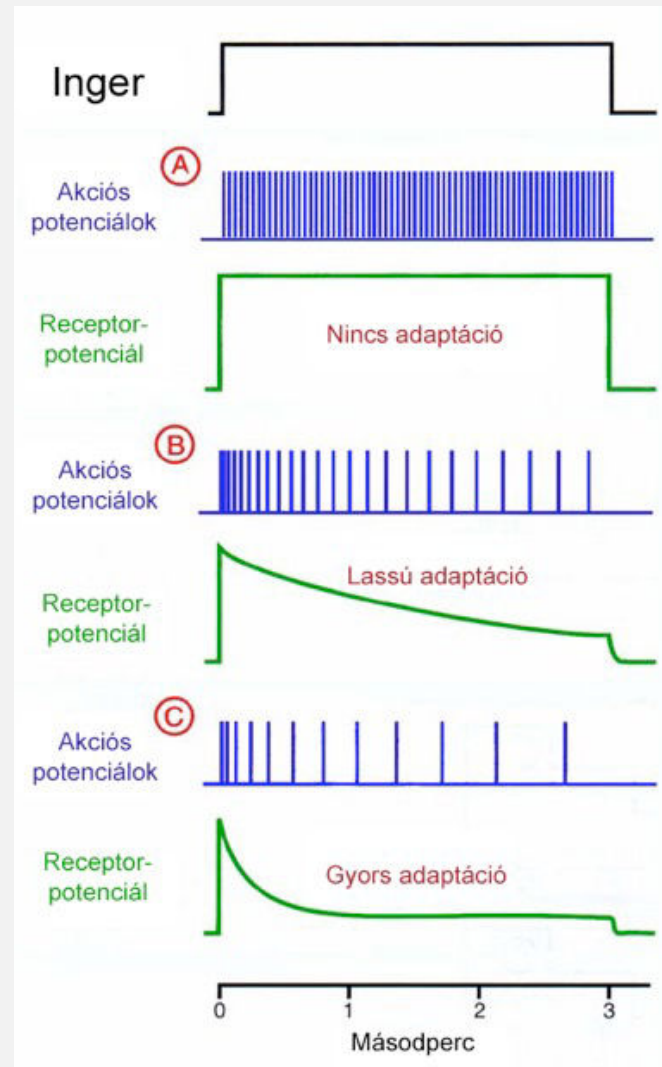
A receptorpotenciál amplitúdója

MEDDIG?

A receptorpotenciál időtartama

Adaptáció:

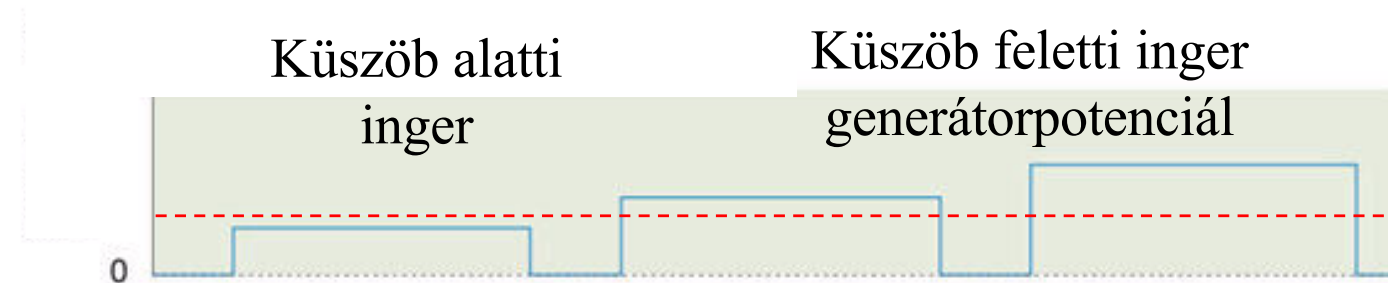
a receptorpotenciál amplitúdójának csökkenése



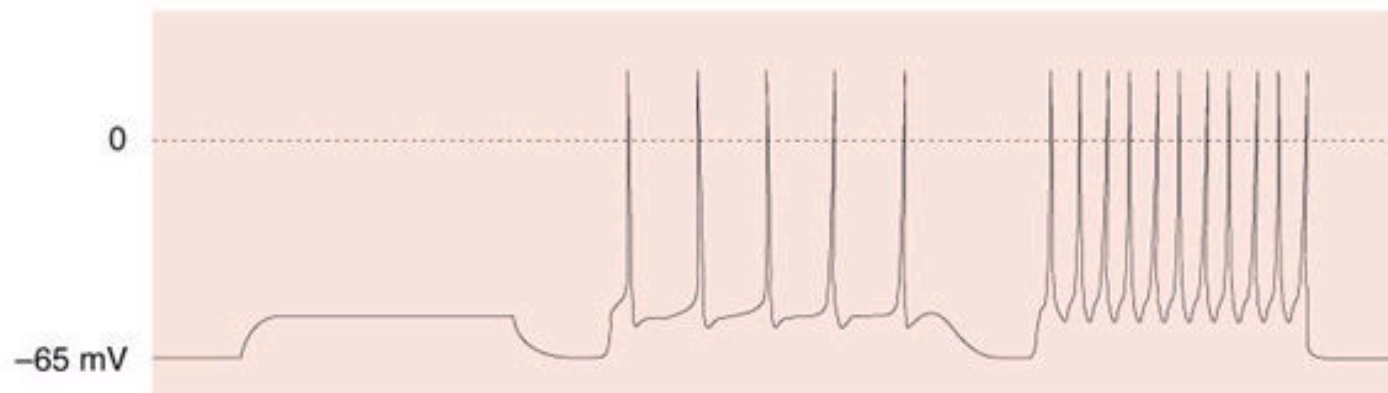
Gyorsan adaptálódó receptorok: tapintás, szaglás, hőérzet
Lassan / nem adaptálódó receptorok: pl. fájdalomérzékelők

A receptorpotenciál hatása az ingerelhető membránra

Receptor-
potenciál



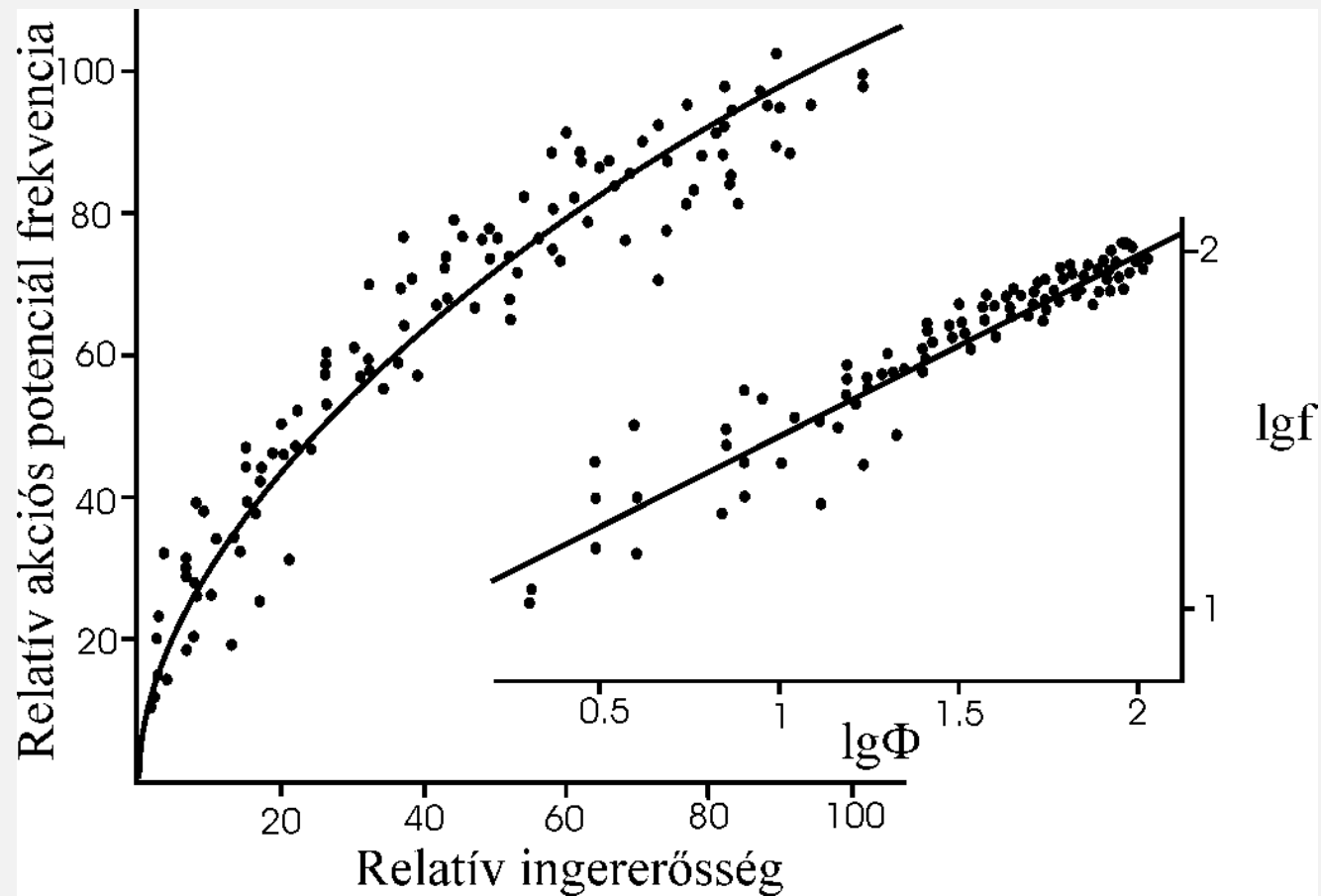
Axon
membrán-
potenciálja



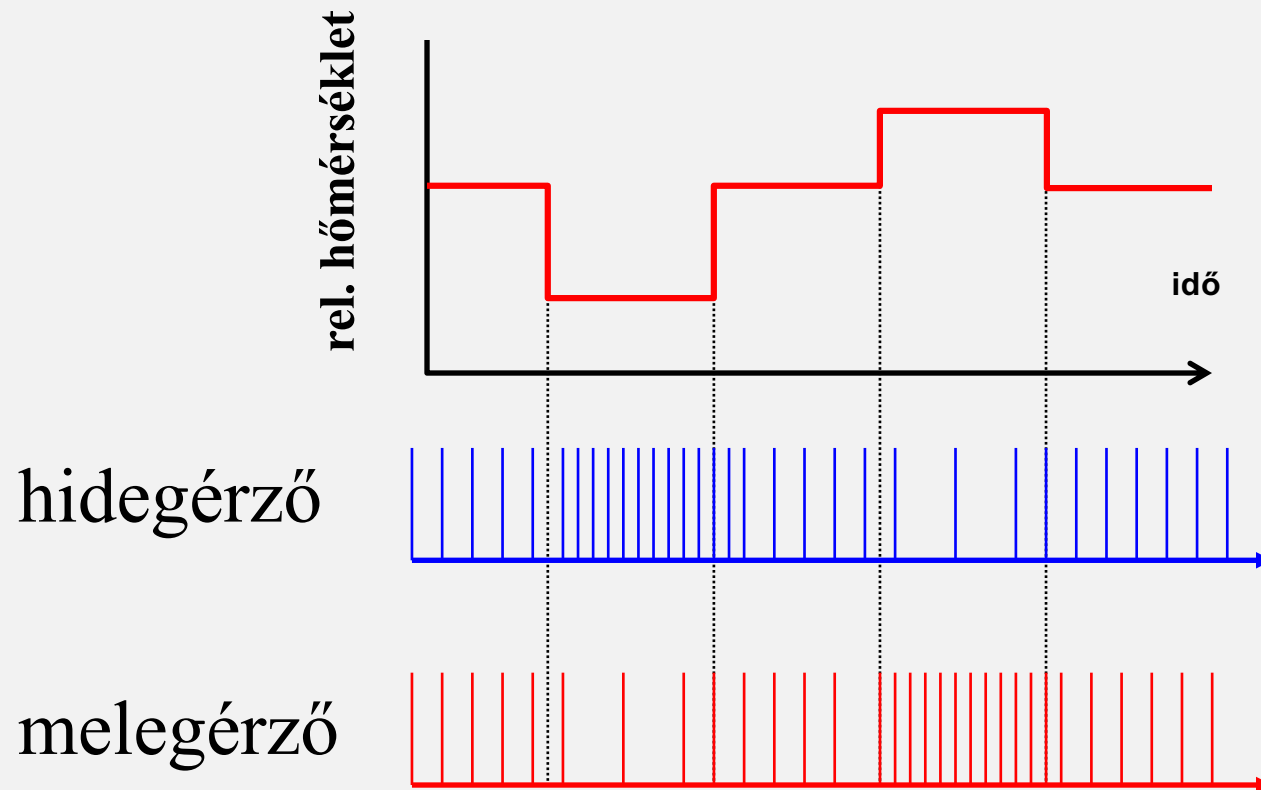
depolarizáció
(gátló szinapszisoknál
hiperpolarizáció)

akciós potenciál
*Állandó amplitúdójú,
frekvenciamodulált jel*

Az AP-frekvencia és az ingererősség kapcsolata



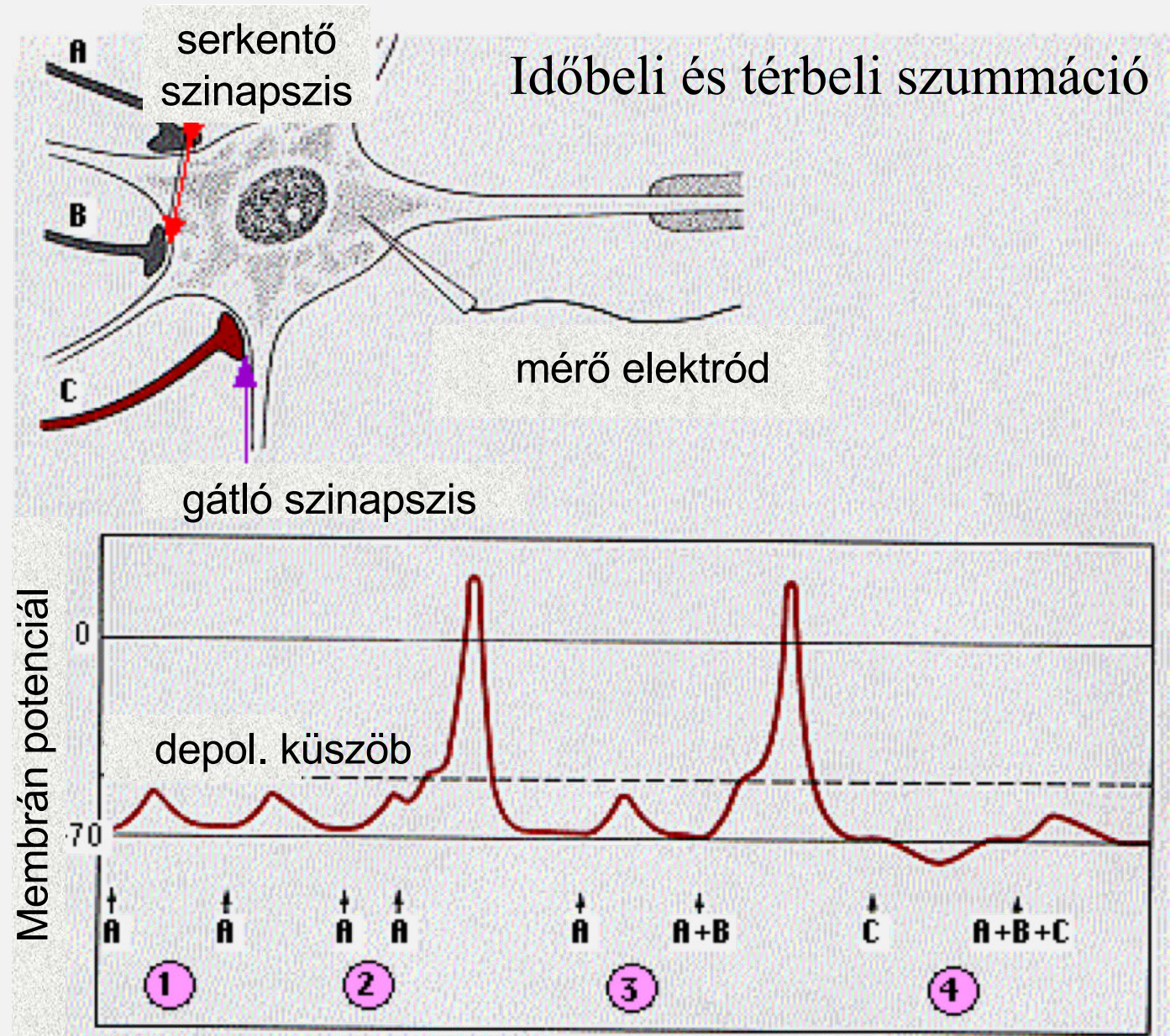
Folytonos működésű receptorok



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

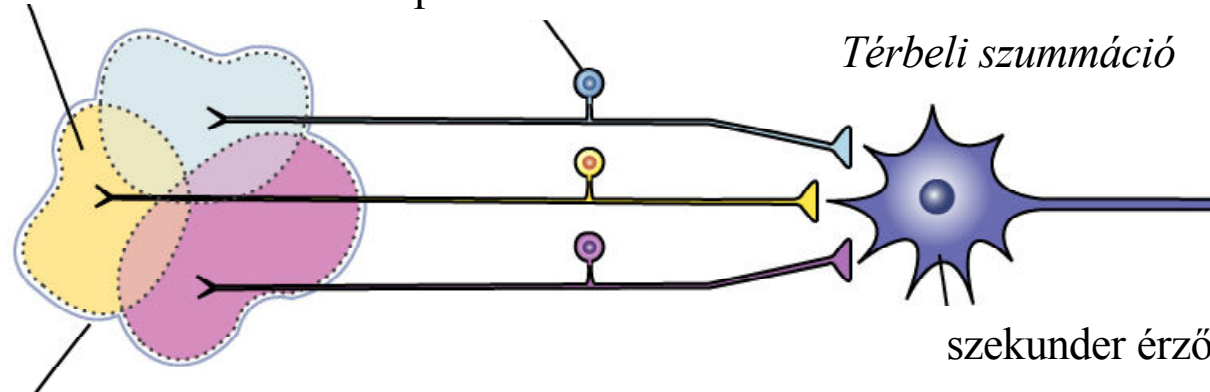


Az információ módosulása a feldolgozás során (1)

receptív mező neuron1

primer érző neuron

Térbeli szummáció

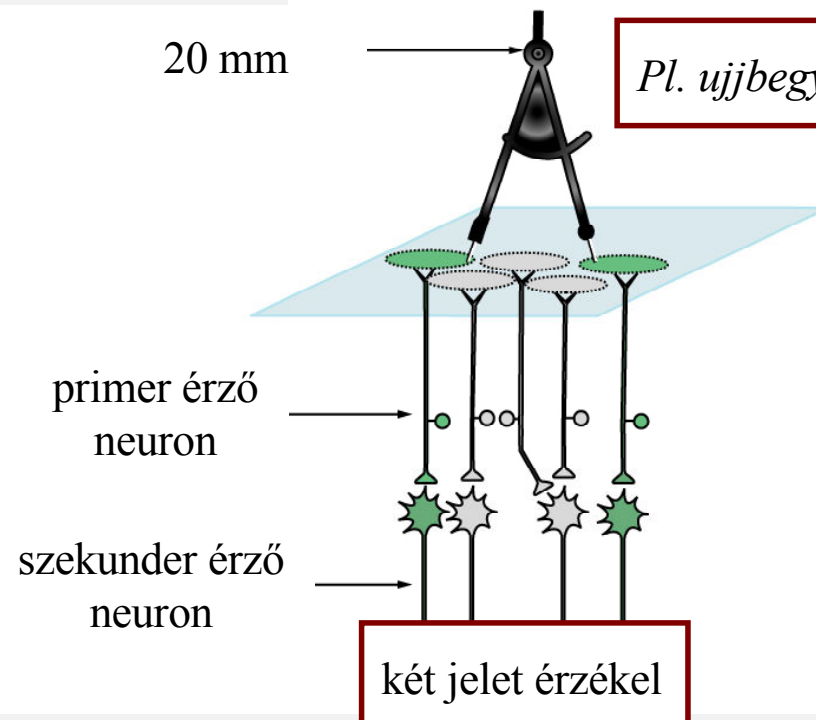


szekunder érző neuron

receptív mező neuron2

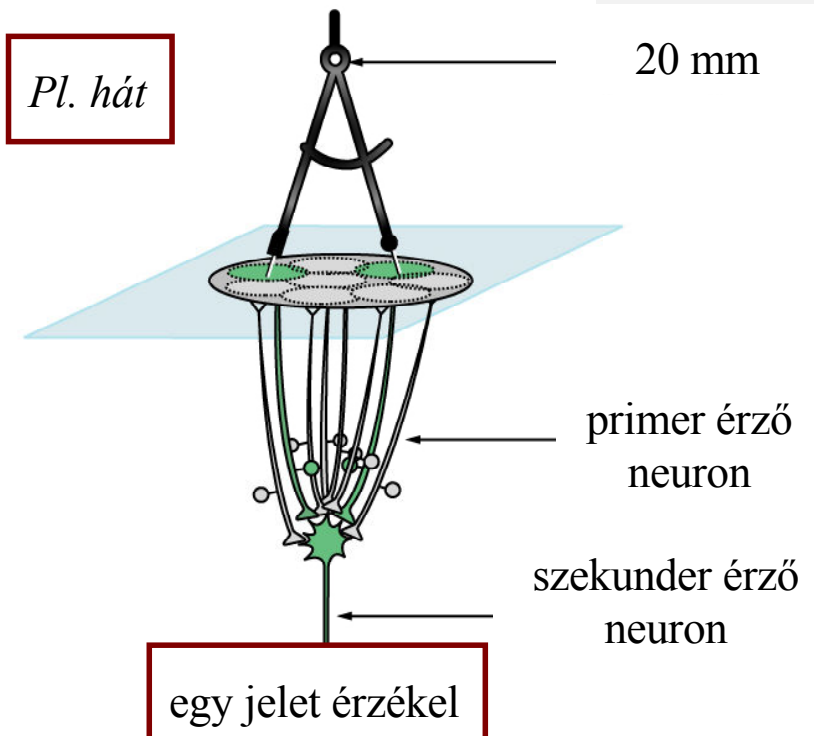
20 mm

Pl. ujjbegy

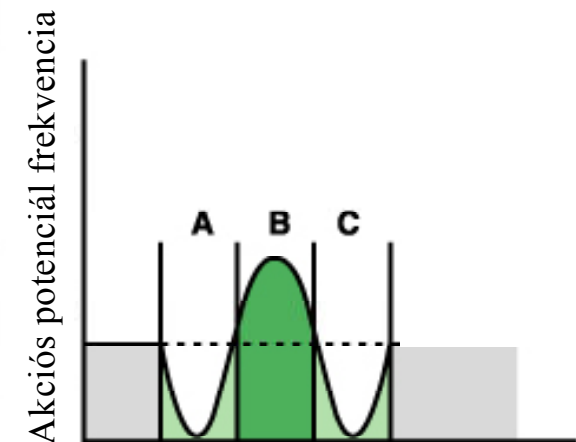
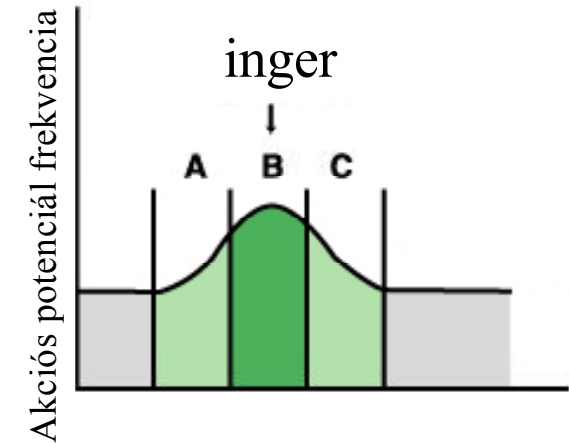
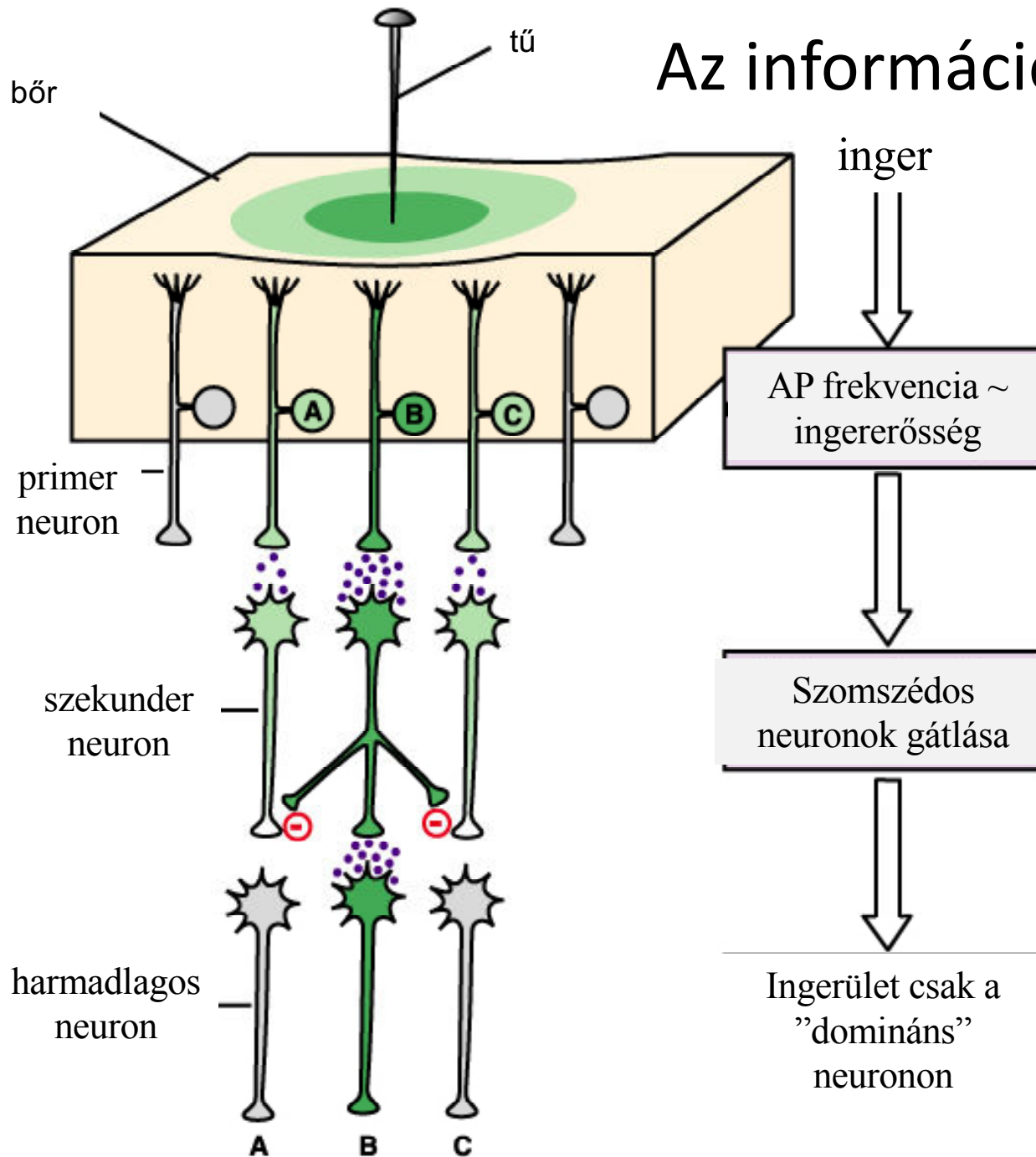


Pl. hát

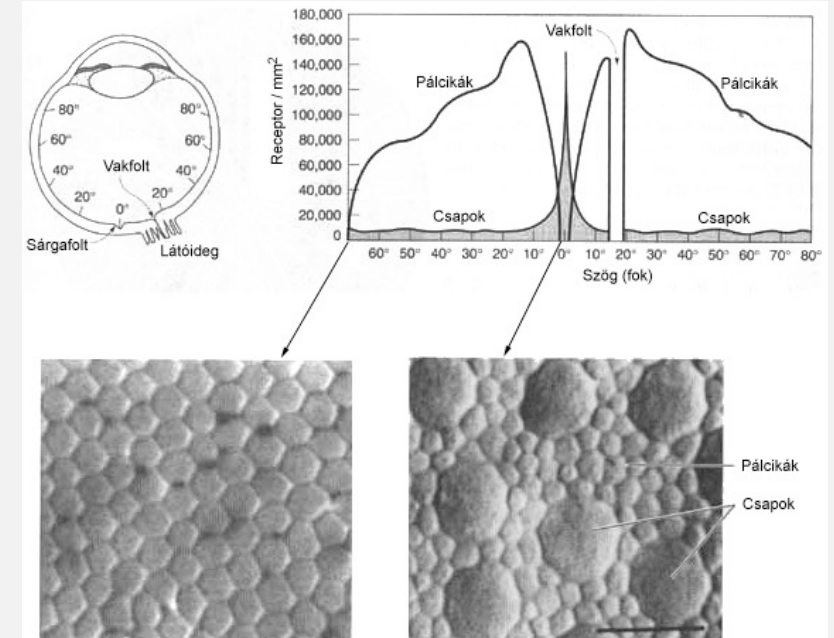
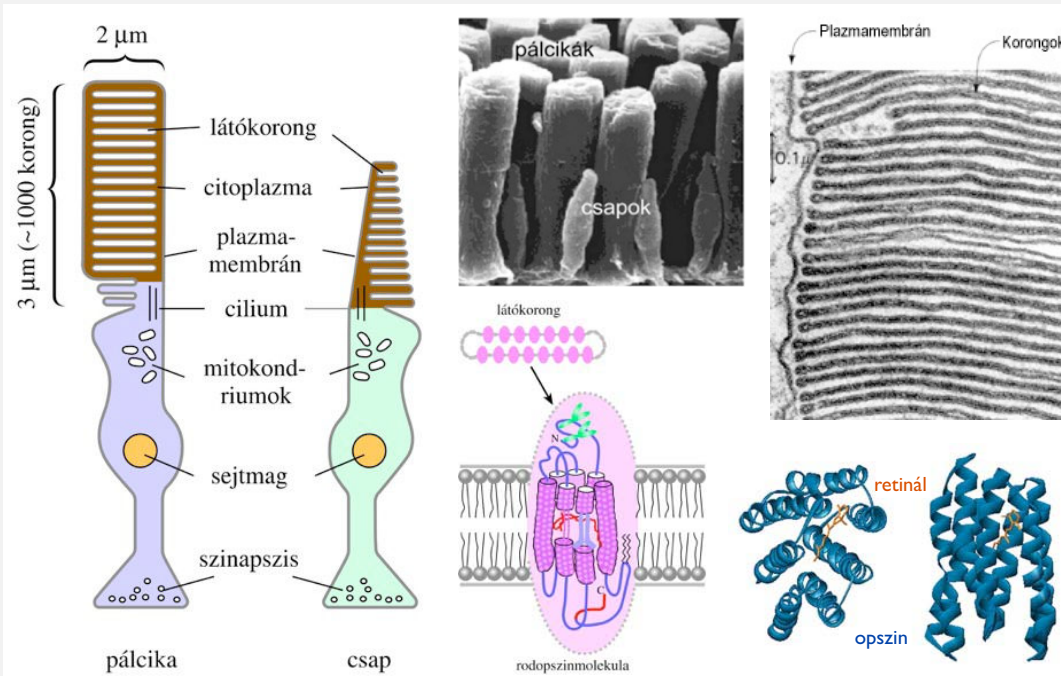
20 mm



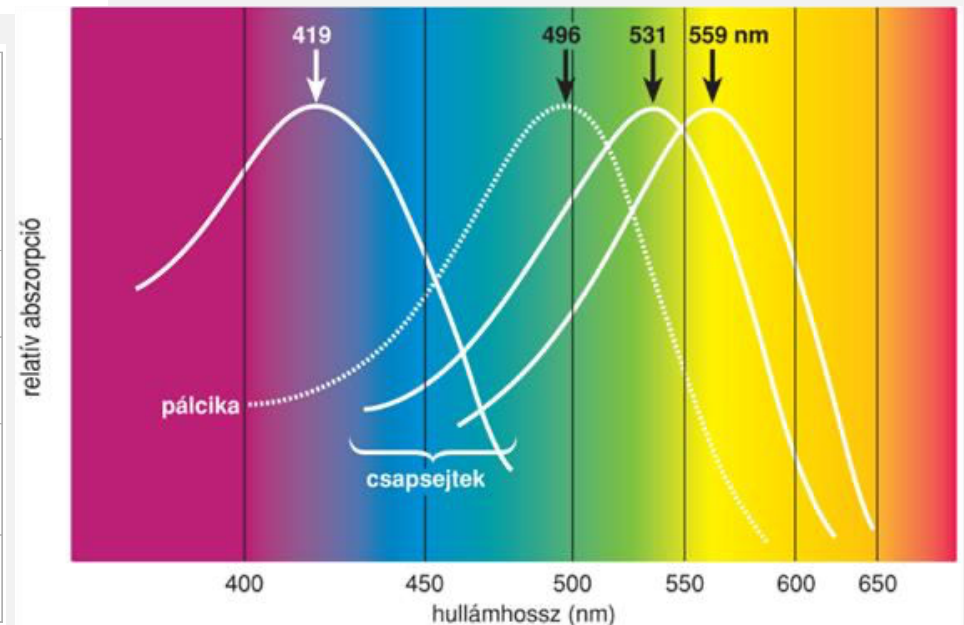
Az információ módosulása (2)



A fényreceptorok szerkezete

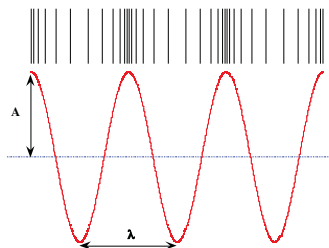


Pálcika	Csap
Kis fényintenzitást képes érzékelni (optimális esetben akár 1 fotont!)	Kevésbé érzékeny, de nagy intenzitástartományban érzékel
Közepes fényerősségnél válasza telítődik	Nincs telítődés
Főleg a retina periferiáján található	Foveában, főleg fovea centralis
Egy ganglionnak több pálcika adja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



Inger: hang

Longitudinális mechanikai hullám (nyomáshullám)



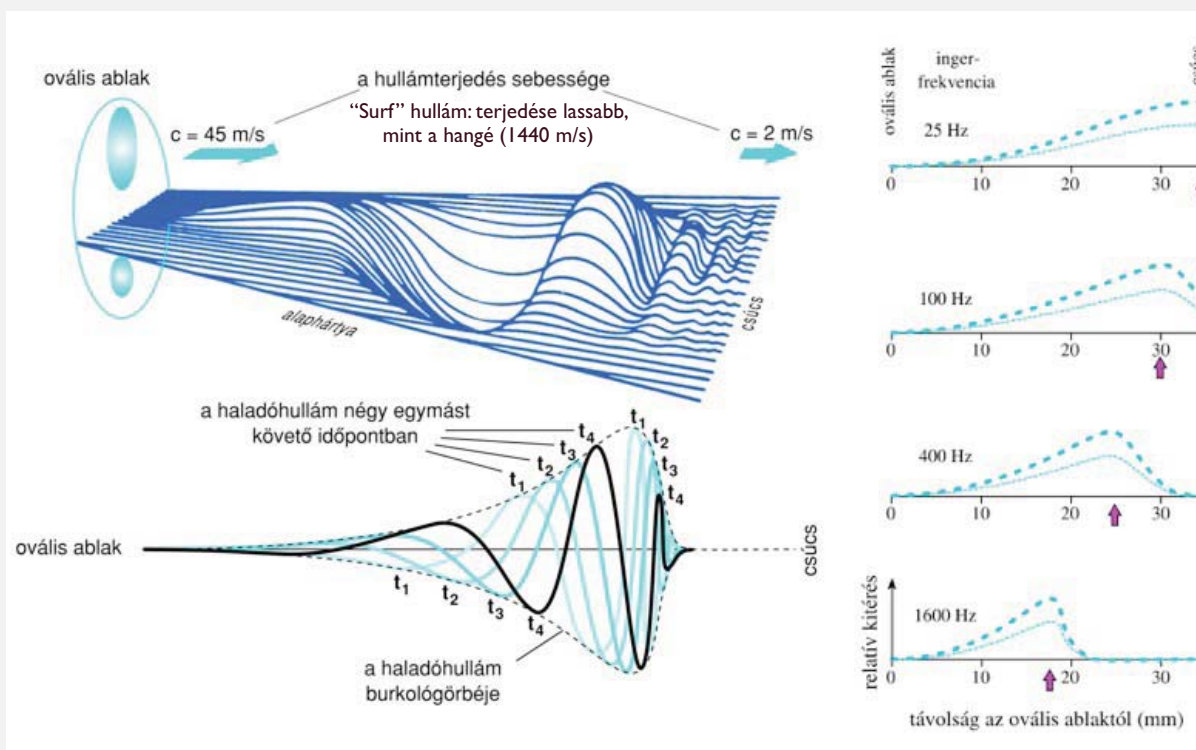
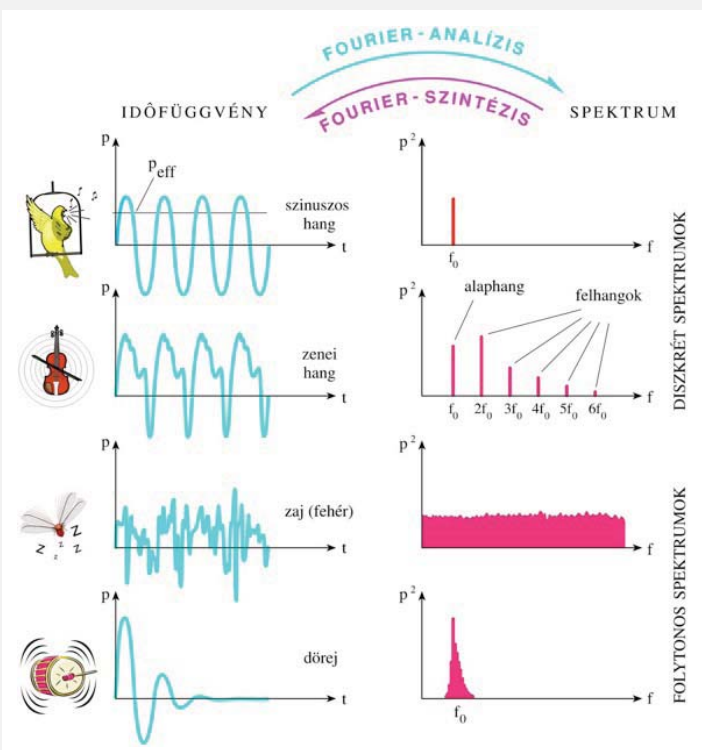
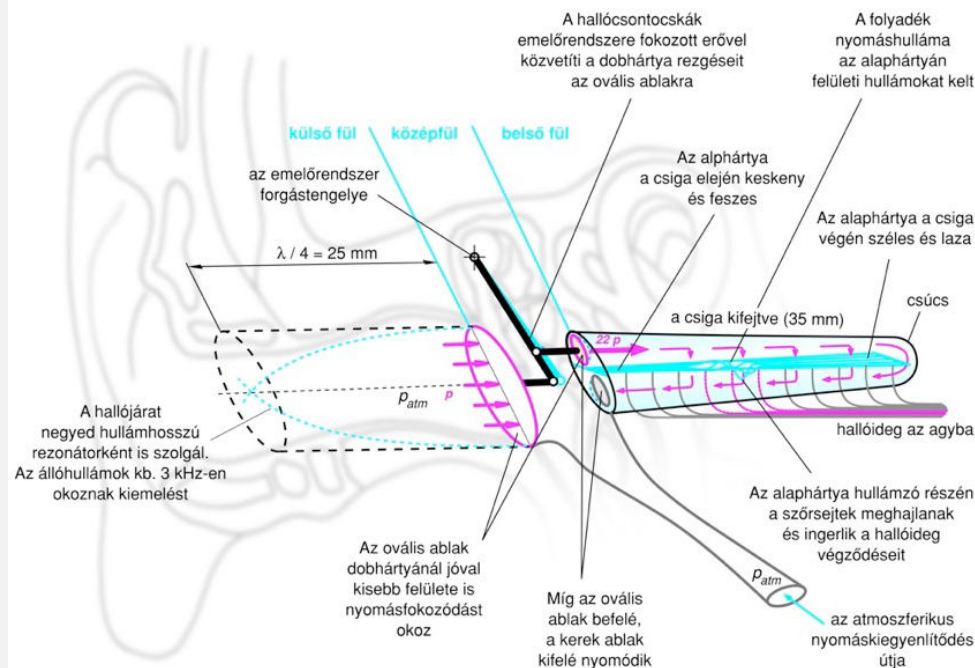
Longitudinális hullám



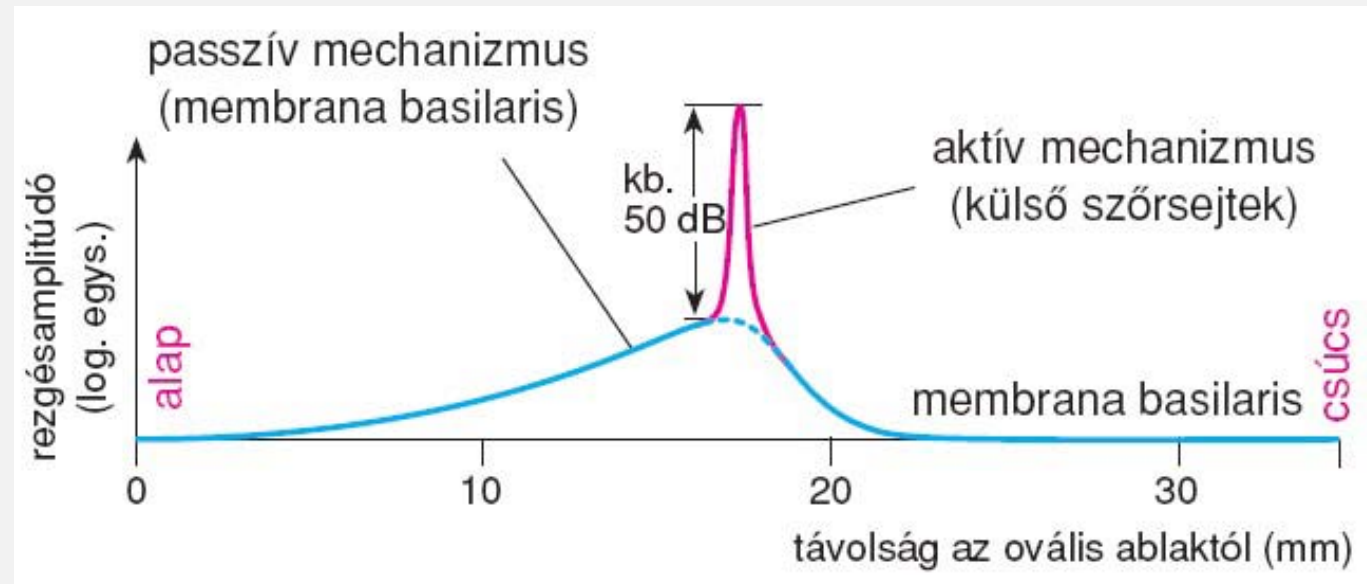
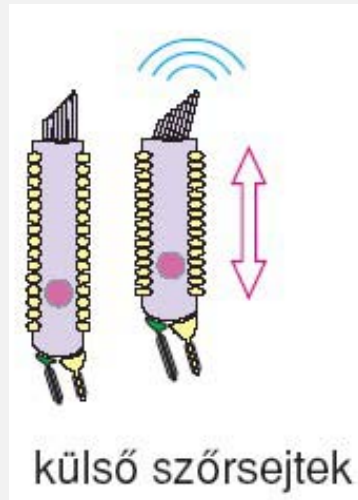
Tranzverzális hullám

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

y =aktuális nyomás; t =idő
 f =frekvencia (Hz); A =amplitúdó
 φ =fáziseltolódás



Külső szőrsejtek – aktív erősítés



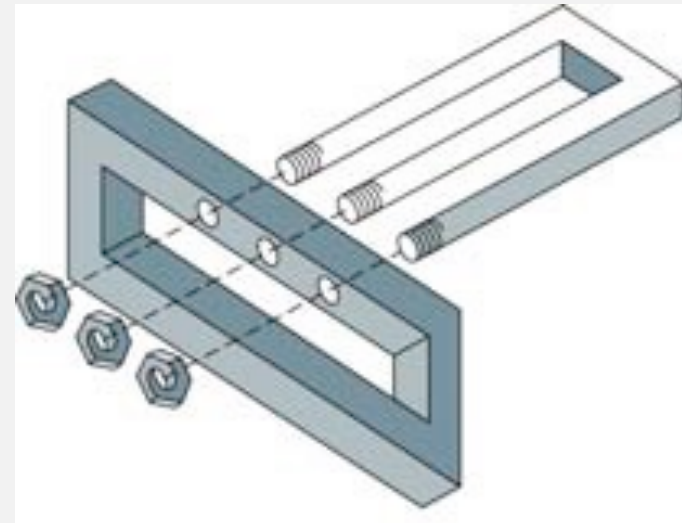
Regeneratív erősítő – pozitív visszacsatolás,
de csak a disszipálódott energiát pótolja
(különben fülcsengés jönne létre)

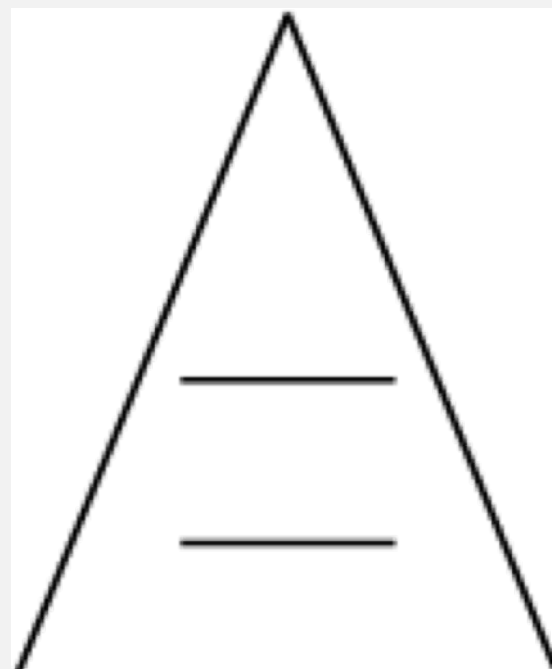
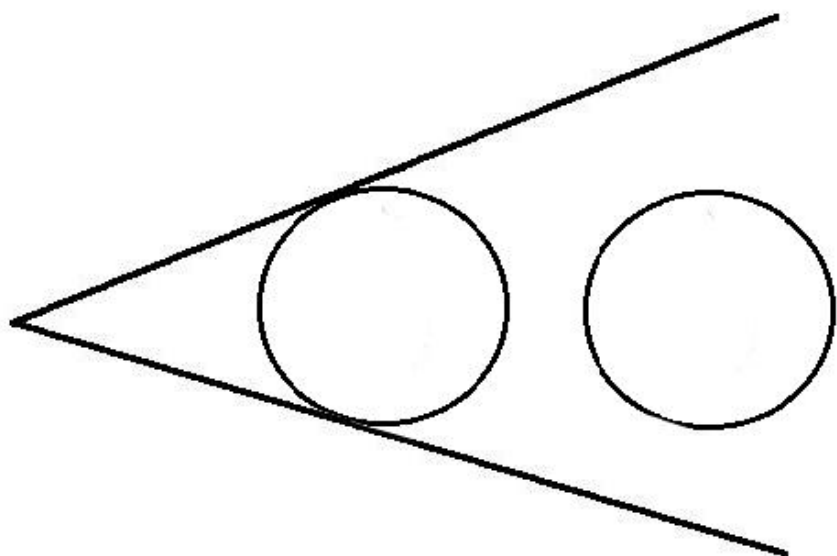
<https://www.youtube.com/watch?v=pij8a8aNpWQ>

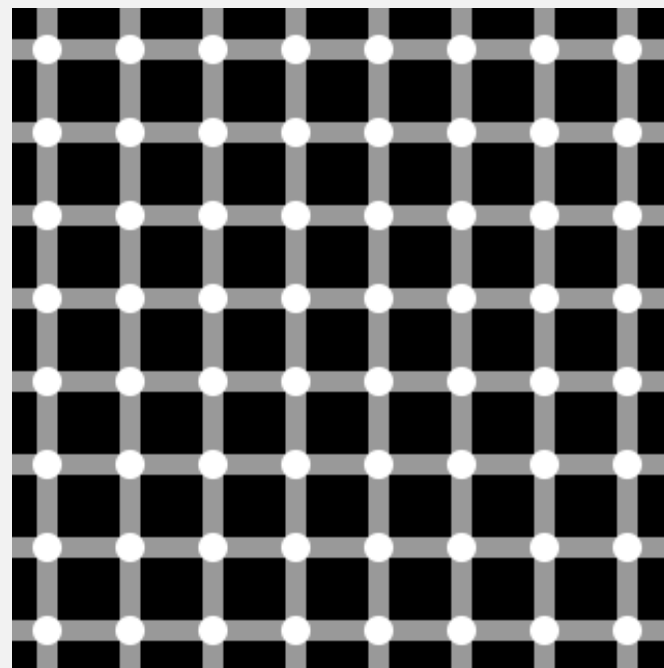
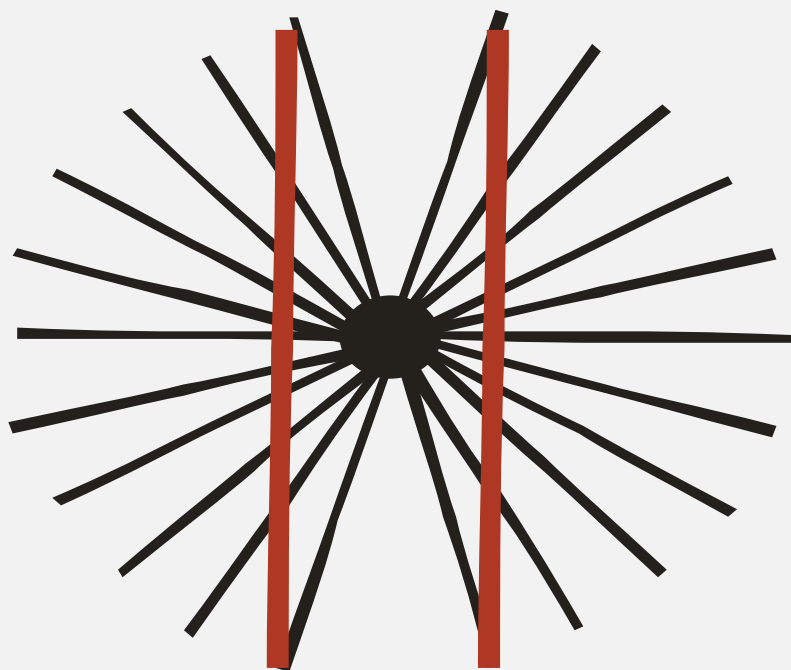
Percepció (észlelés) -

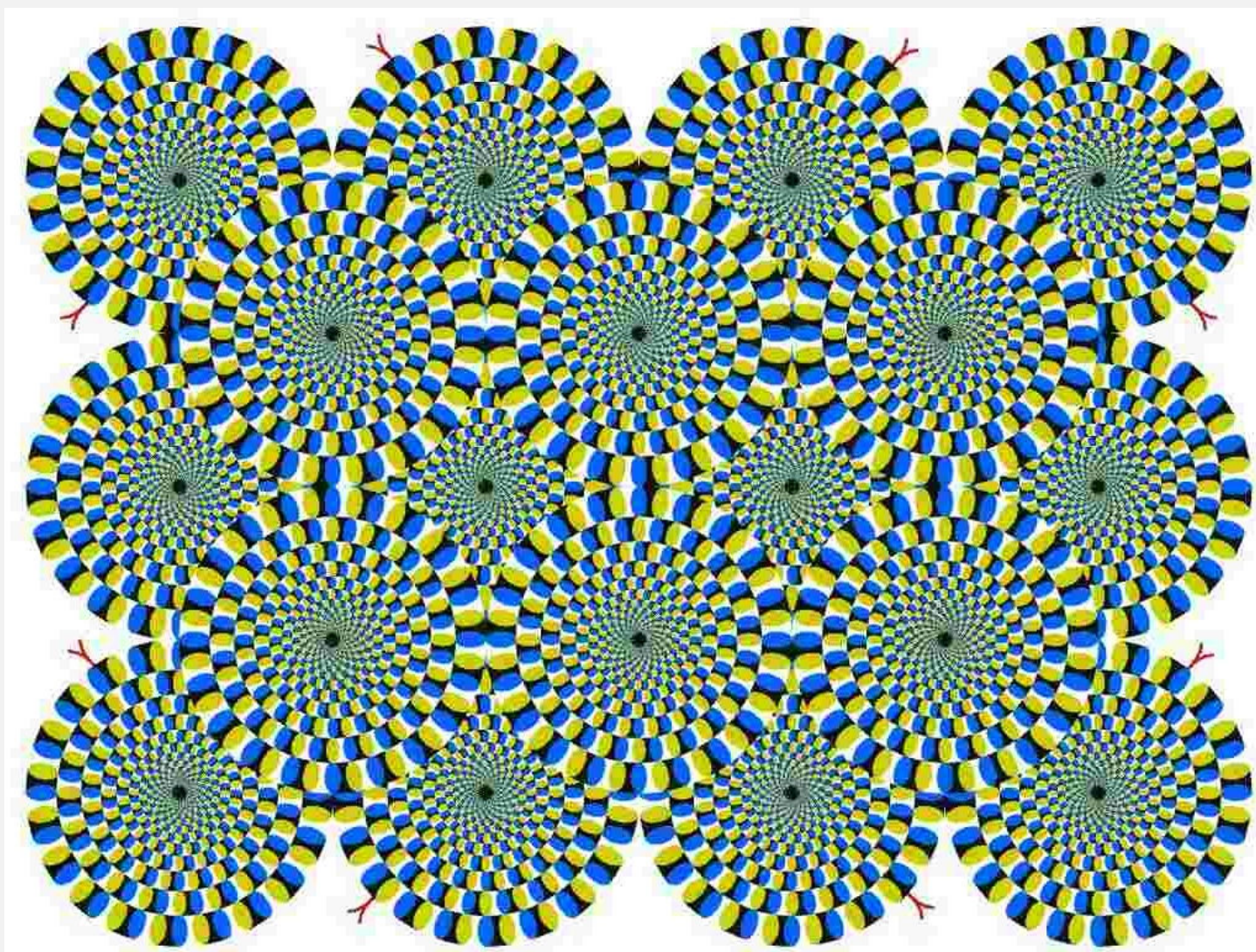
- a bejérkező ingerek (információ) elemzését
- a beérkező információ rendszerezését
- a rendszerbe foglalt információ megértését

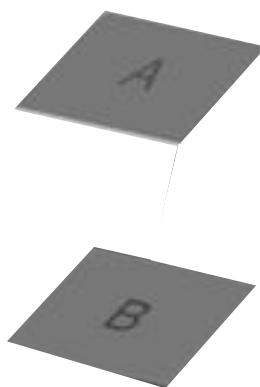
A percepció “téves” is lehet –
az illúziók félreértelmezett vizuális ingerek











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)



$$\text{LÉK} = I - I_0$$

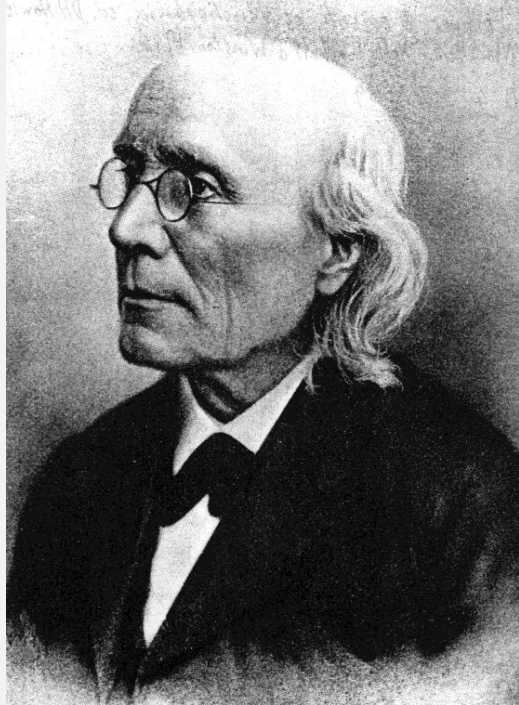
A LÉK nem állandó érték, függ I_0 értékétől

Ernst Weber - I_0 és a LÉK (ΔI) 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)

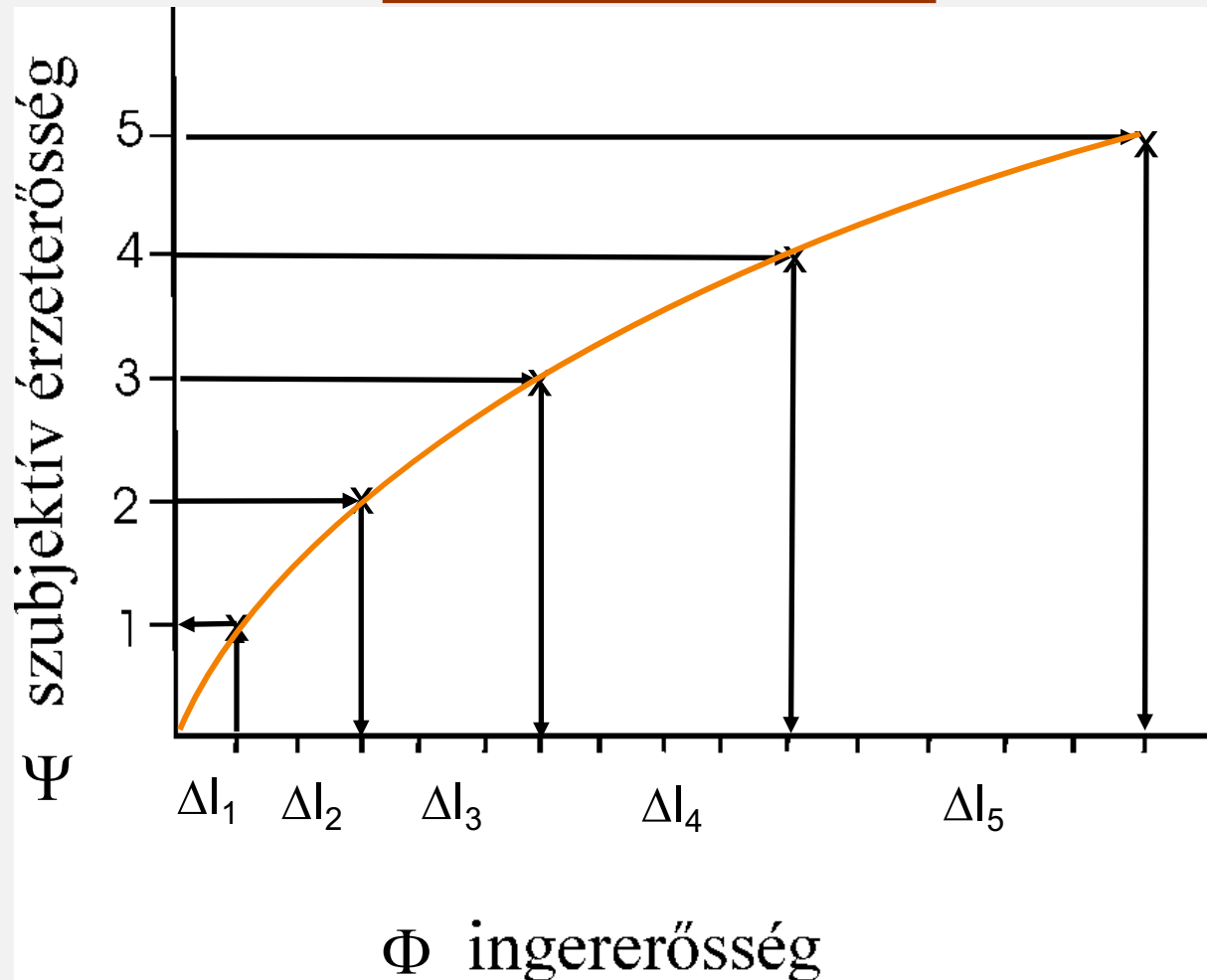
$$\Delta I = I - I_0$$

ΔI az ingererősség függvénye

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

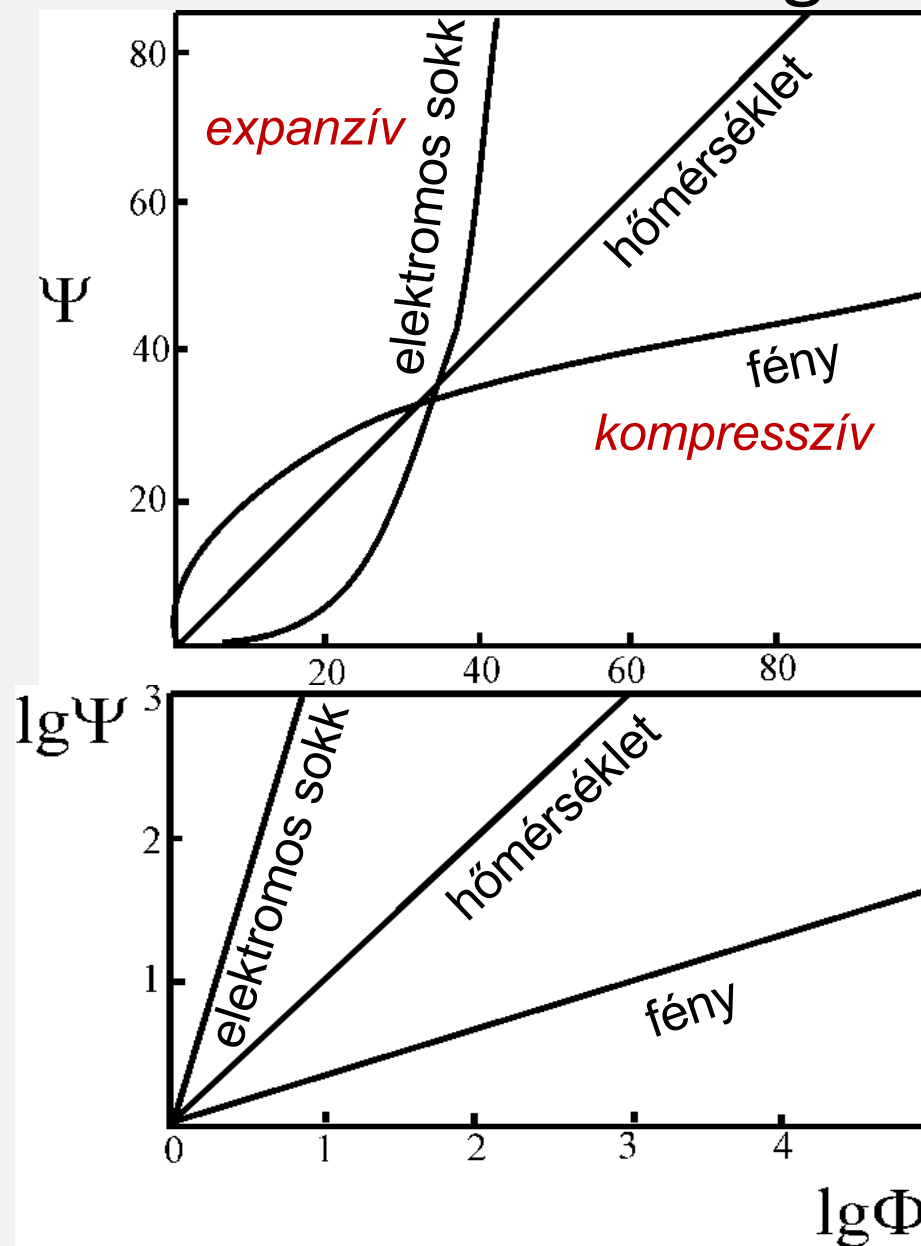
Feltételezte, hogy az ingererősség minden relatív változása azonos mértékben változtatja az érzeterősséget.

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



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

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, hosszúságbecslé s	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

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

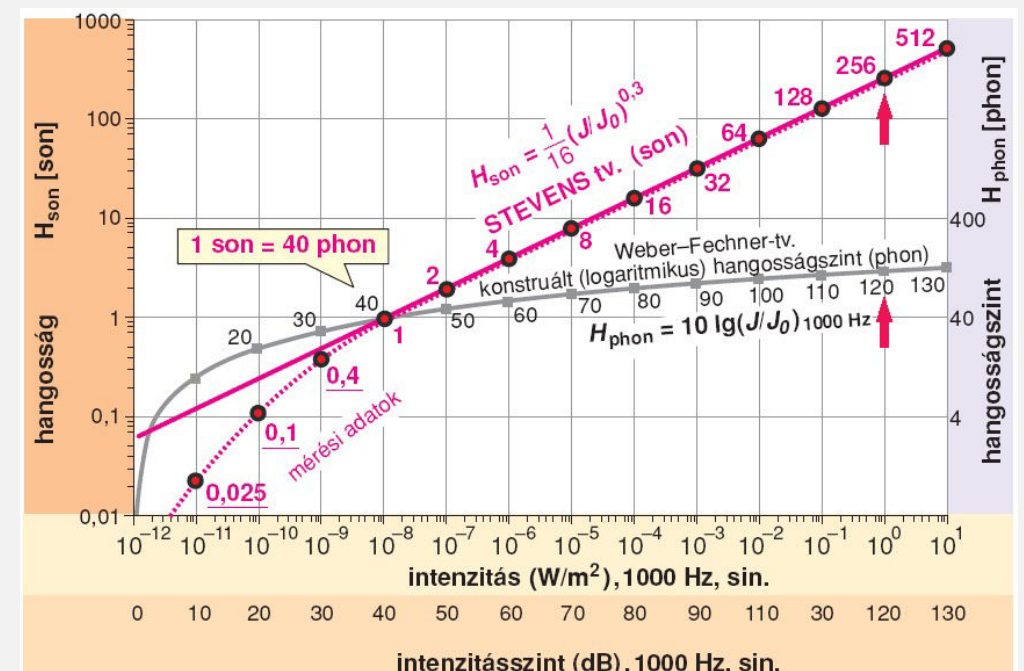
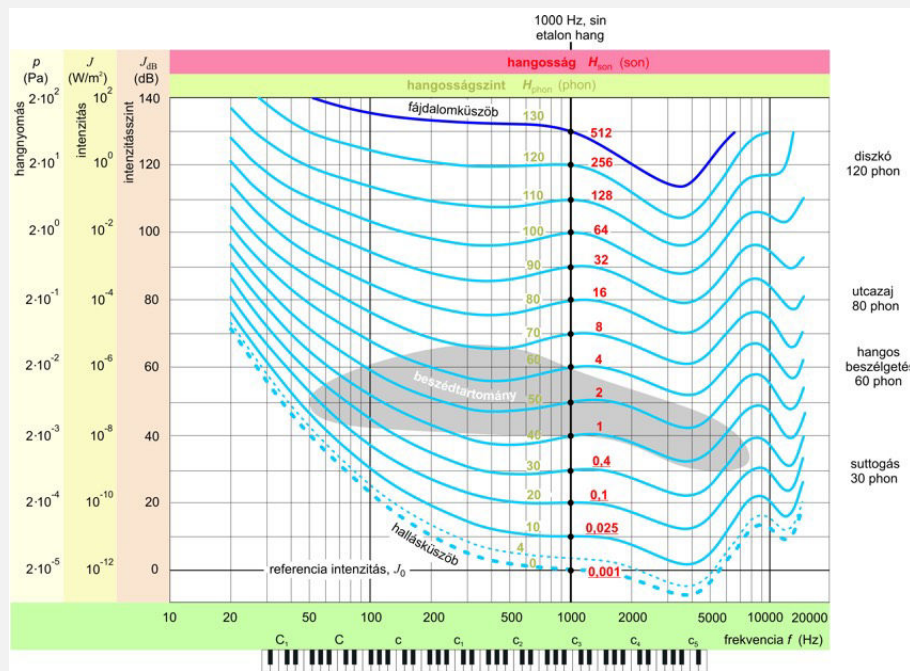
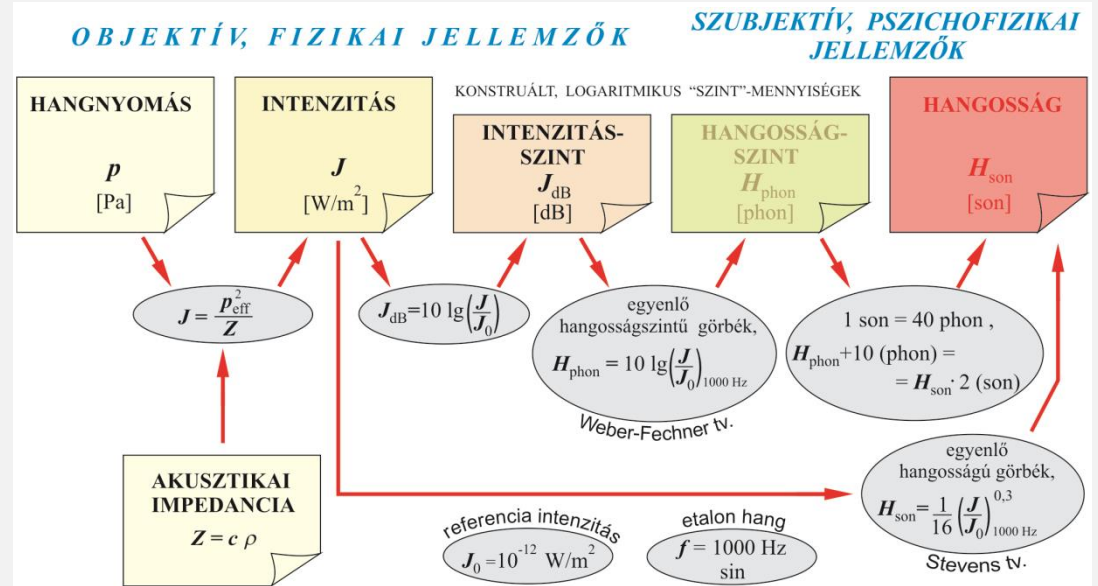
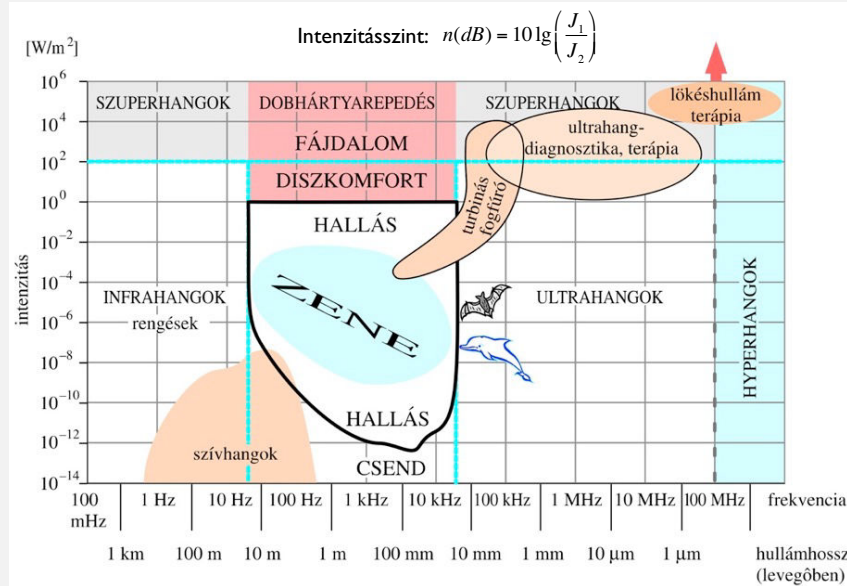
Differencia-vizsgálatok esetén jobb megközelítés

Stevens

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

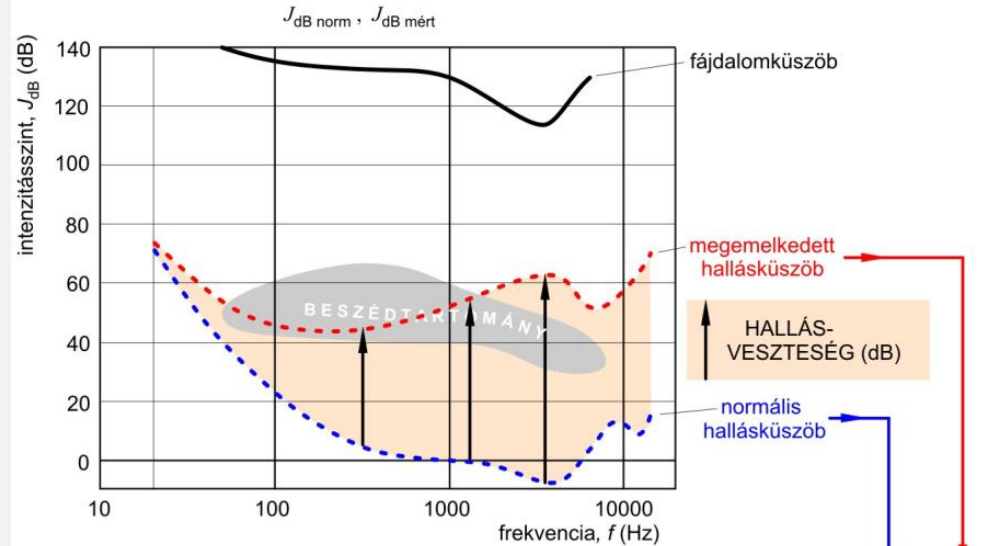
Érzeterősség becslése esetén jobb megközelítés

Hangosságérzékelés, hallásküszöb

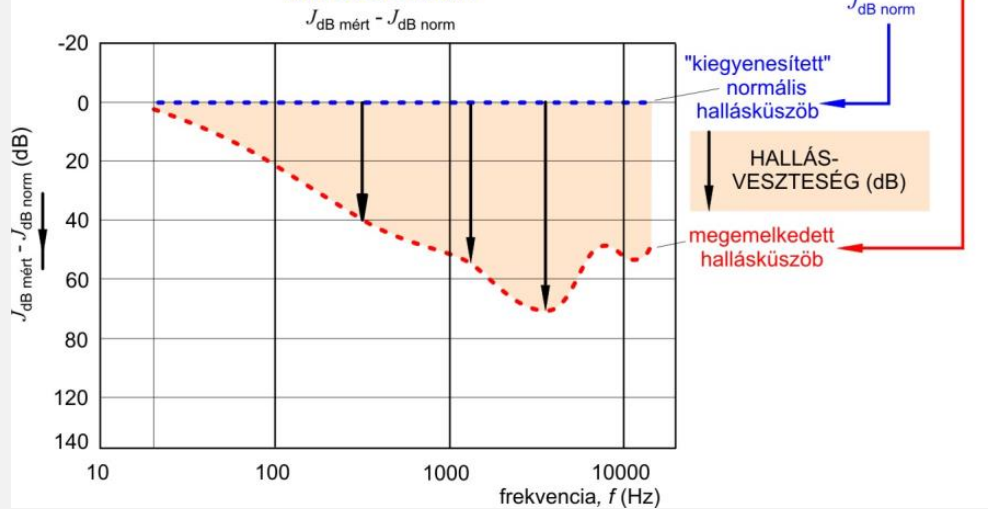


Audiogram, hallásvesztés

EGYENLŐ HANGOSSÁGÚ GÖRBÉK



AUDIOGRAM



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

