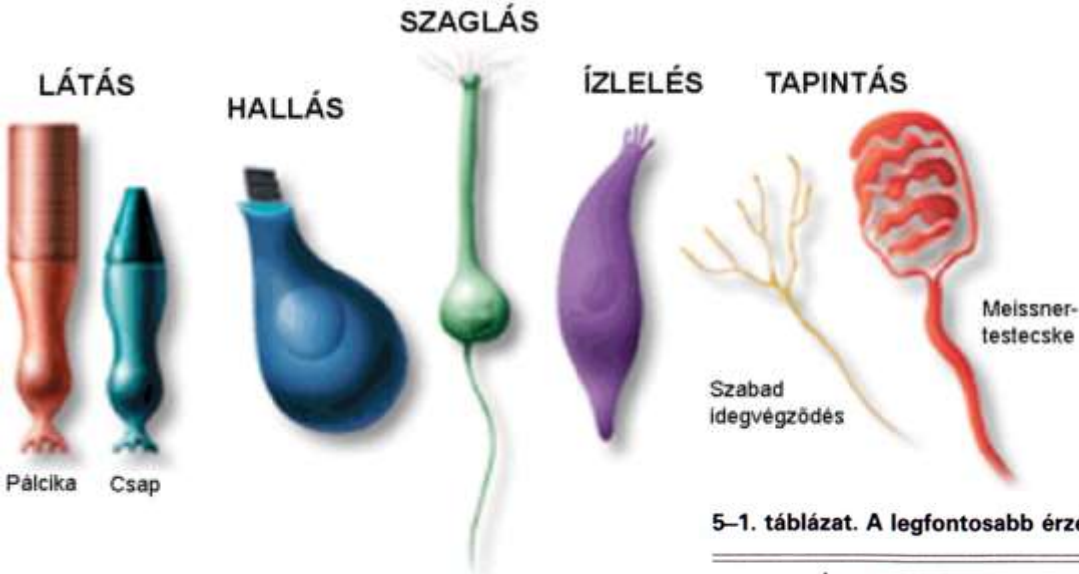


Érzékelés

Látás

Hallás



Az érzékelősejtek mindegyikében a membránok fontosak

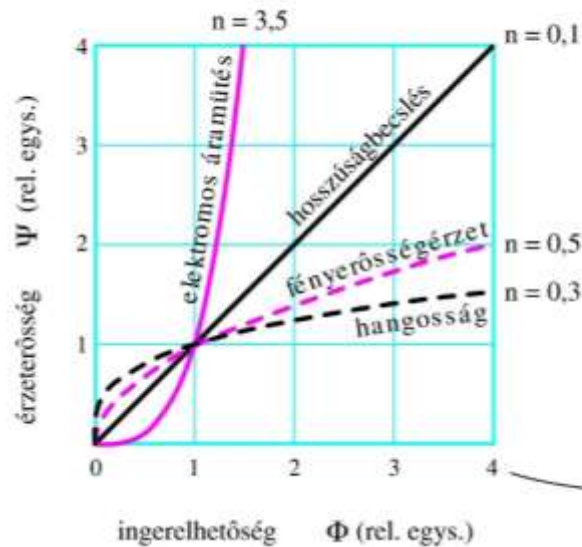
5–1. táblázat. A legfontosabb érzésmodalitások (az első 11 helyen a tudatosuló érzékelések)

Érzésmodalitás	Receptor	Érzékelőszerv
Látás	Csapok és pálcikák	Szem
Hallás	Szörsejtek	Fül (Corti-szerv)
Szaglás	Olphactorius neuron	Szagló nyálkahártya
Ízlelés	Ízlelőreceptor-sejtek	Ízlelőbimbó
Szöggyorsulás	Szörsejtek	Fül (félkörös ívjáratok)
Lineáris gyorsulás	Szörsejtek	Fül (utrículus és sacculus)
Tapintás-nyomás	Idegvégződések	Többféle*
Meleg	Idegvégződések	Többféle*
Fájdalom	Idegvégződések	Többféle*
Hideg	Csupasz idegvégződések	...
Ízületi helyzet és mozgás	Idegvégződések	Többféle*
Izomhossz	Idegvégződések	Izomorsó
Izomfeszülés	Idegvégződések	Golgi-féle inszerv
Artériás vérnyomás	Idegvégződések	A sinus caroticus és az aortaív nyújtási receptorai
Centrális vénás nyomás	Idegvégződések	A nagyvénák és a pitvarok falának nyújtási receptorai
A tüdő feszülése	Idegvégződések	A tüdőszövet nyújtási receptorai
A vér hőmérséklete	Hypothalamusneuronok	...
Artériás P _O ₂	Idegvégződések	Glomus caroticum és aorticum
Liquor-pH	A nyúltvelő ventrális felszínének receptorai	...
A plazma ozmotikus nyomása	Az OVLT és valószínűleg más circumventricularis szervek az elülső hypothalamusban	...
Arteriovenosus glukózkülönség	Hypothalamus (glukosztát) sejtjei	...

$$\Psi = k \cdot \lg\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)$$

$$\Psi = l \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^n$$

$\Psi = k \Phi^n$ lin-lin ábrázolás



MODALITÁS „n”

HALLÁS, hangosság
(1000 Hz) 0,3

LÁTÁS, fényesség (5°-os
fényfolt, sötétbe
szokott szem) 0,33

LÁTÁS (villanás
fényessége) 0,5

SZAGLÁS (kávéillat) 0,55

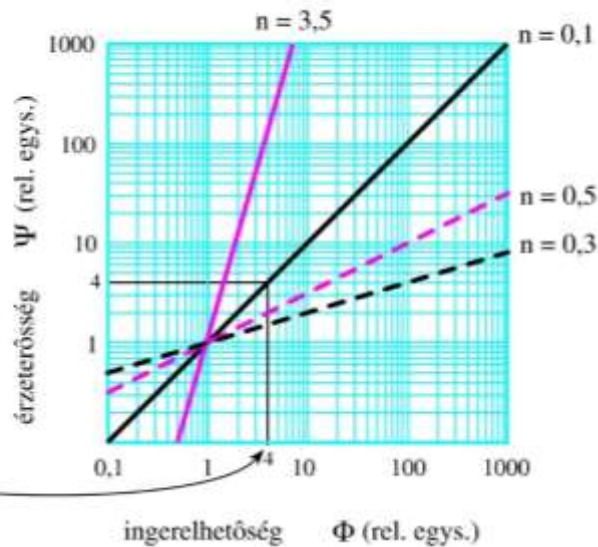
Vibráció (ujj, 250 Hz) 0,6

NYOMÁS Vibráció (ujj,
60 Hz) 0,95

SZAGLÁS (heptán) 0,6

ÍZLELÉS (szacharin) 0,8

$\Psi = k \Phi^n$ log-log ábrázolás



MODALITÁS „n”

HŐÉRZÉKELEÉS,
környezeti hőmérséklet 1,0

LÁTÁS,
hosszúságbecslés 1,0

NYOMÁS (nyomásérzet
a tenyéren) 1,1

ÍZLELÉS (só) 1,3

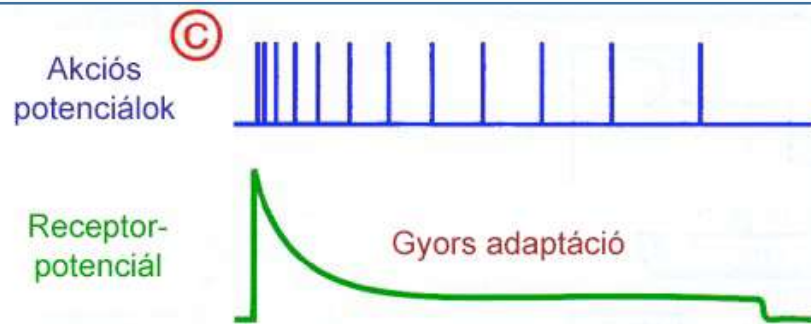
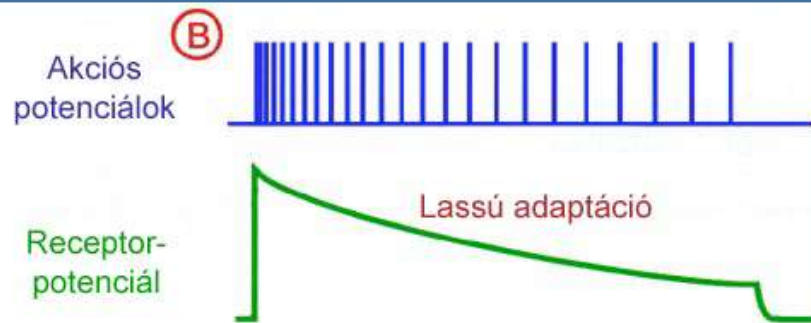
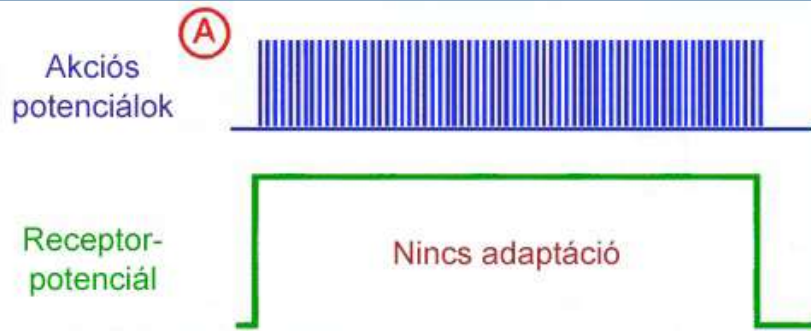
NYOMÁS
(súlyérzékelés) 1,45

NYOMÁS Erő (kézi
erőmérő) 1,7

ELEKTROMOS
ÁRAMÜTÉS (bőr) 3,5

ELEKTROMOS
ÁRAMÜTÉS (fog) 7,0

Inger



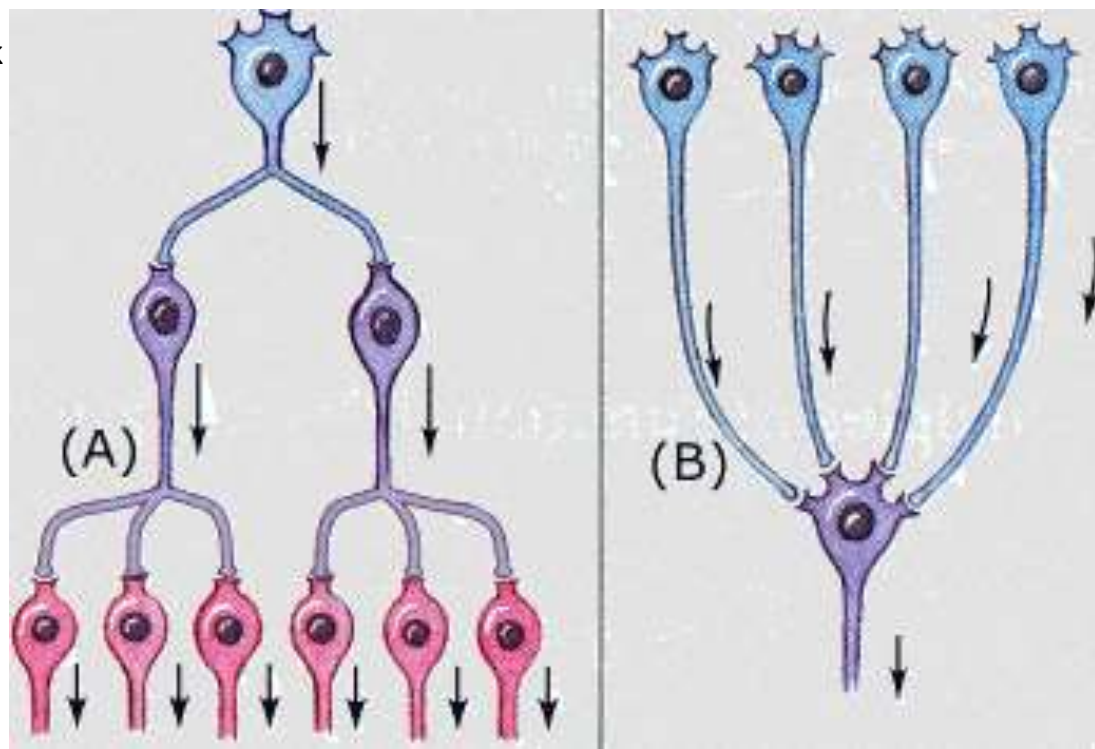
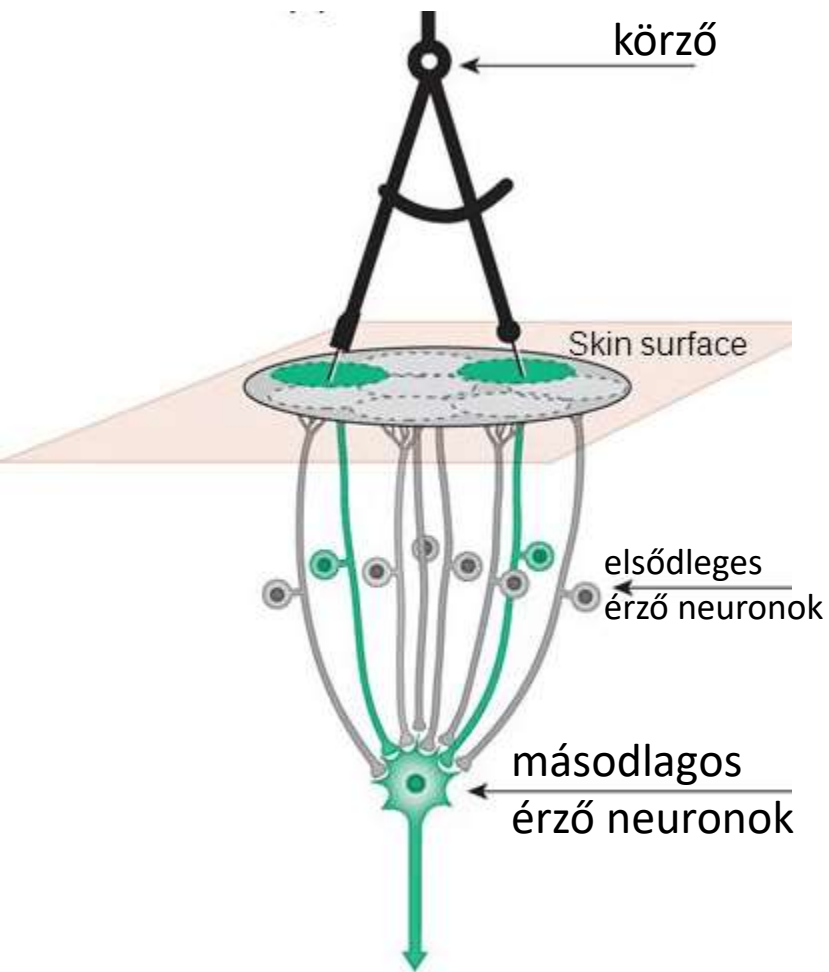
0 1 2 3

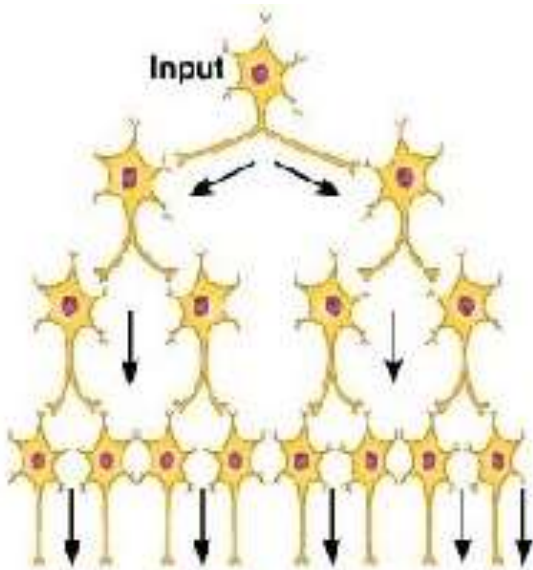
Másodperc

Lassú (tónusos) vagy nem is teljes:
hideg, fájdalom
Minden ami veszélyes lehet!

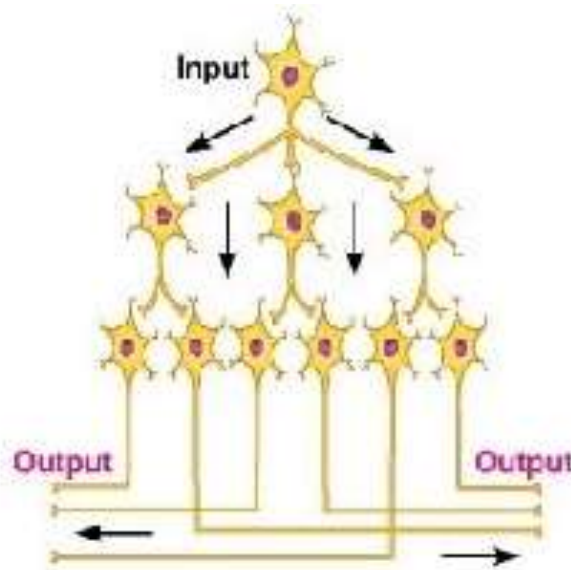
Gyorsan (fázisos) receptorok:
tapintás, szaglás, hőérzet

Konvergenca - divergencia

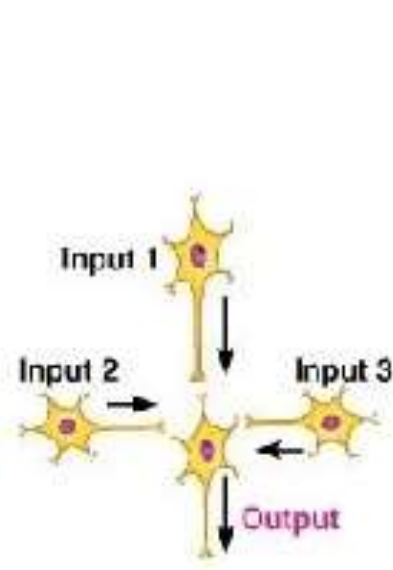




(a) Divergence in same pathway



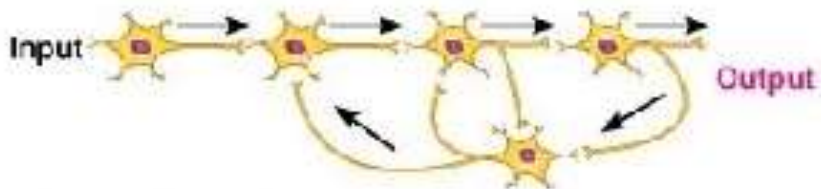
(b) Divergence to multiple pathways



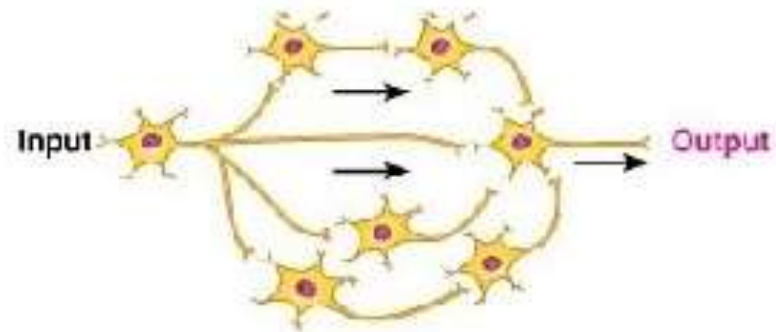
(c) Convergence, multiple sources



(d) Convergence, single source

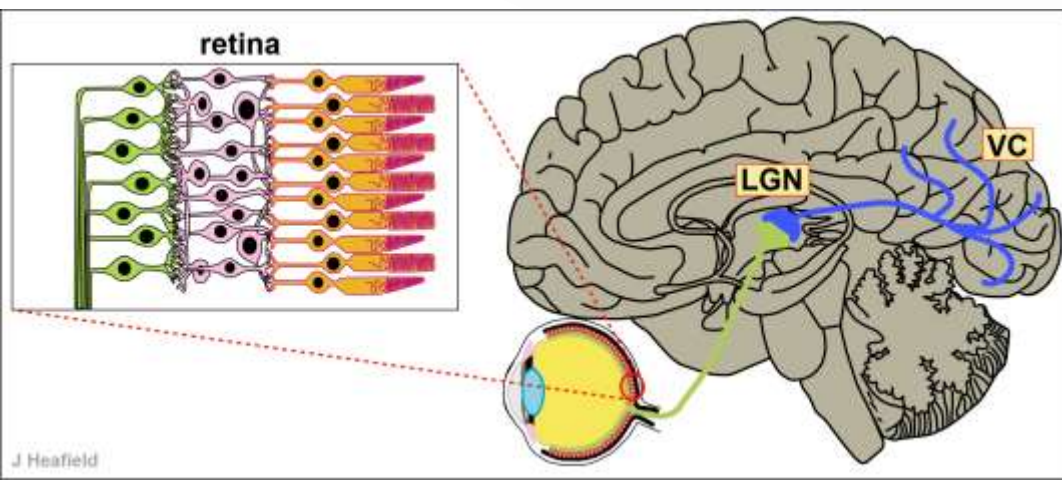
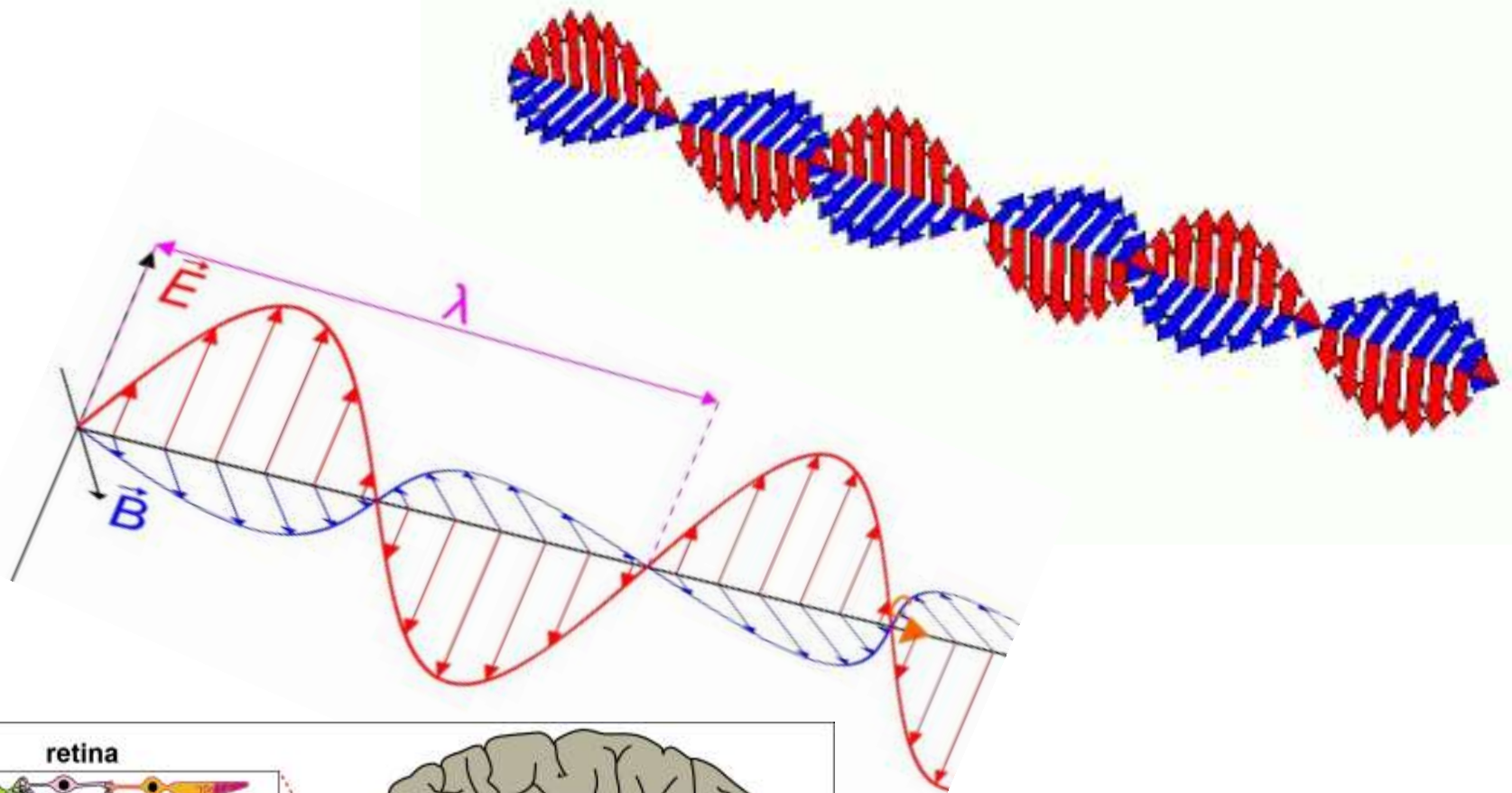


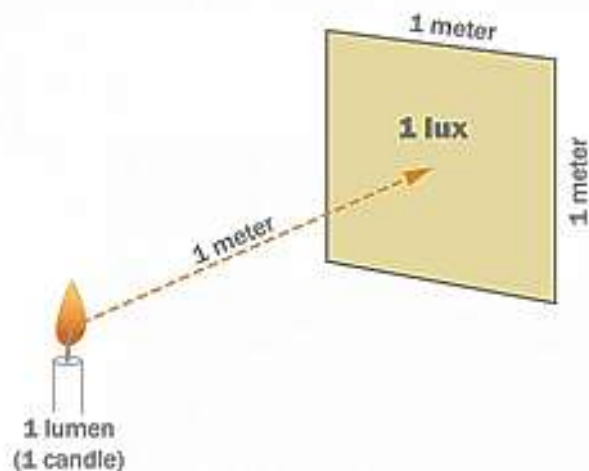
(e) Reverberating circuit



(f) Parallel after-discharge circuit

A látás biofizikája





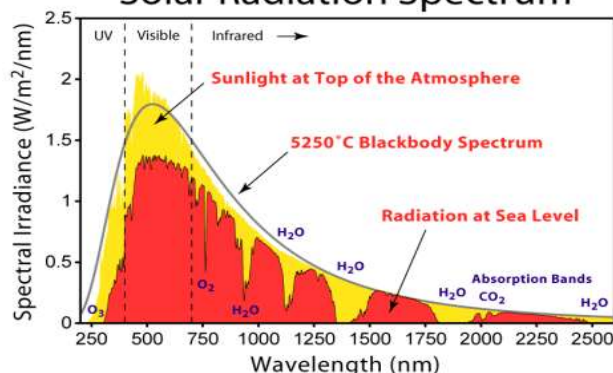
$$\phi = \int_{400nm}^{800nm} \frac{dJ(\lambda)}{d\lambda} \phi(\lambda) d\lambda$$

Láthatósági függvény

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ cd} \cdot \text{sr}}{1 \text{ m}^2}$$

Referencia: 1 új gyertya (candela) = 1/683 W/sr 555nm-en.
(2046K-es 1cm² platina hőm sugárzó)

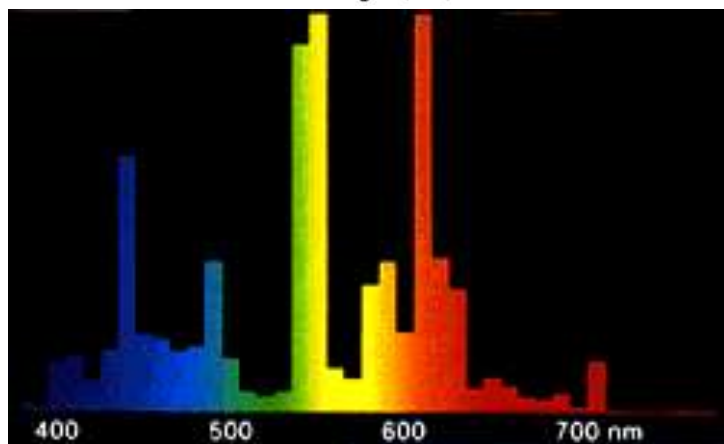
Solar Radiation Spectrum



	SI		CIE	
F	Sugárzó fluxus <i>Radiant flux</i>	W	Megvilágítási fluxus (fényáram) <i>Luminous flux</i>	lm
I	Fényero <i>Radiant intensity</i>	W/sr	Fényero <i>Luminous intensity</i>	cd
E	Irradiancia <i>Irradiance</i>	W/m ²	Megvilágítás erősség <i>Illuminance</i>	lux
L	Radiancia <i>Radiance</i>	W/(m ² ·sr)	Felületi fényesség (fényssűrűség) <i>Luminance</i>	nit

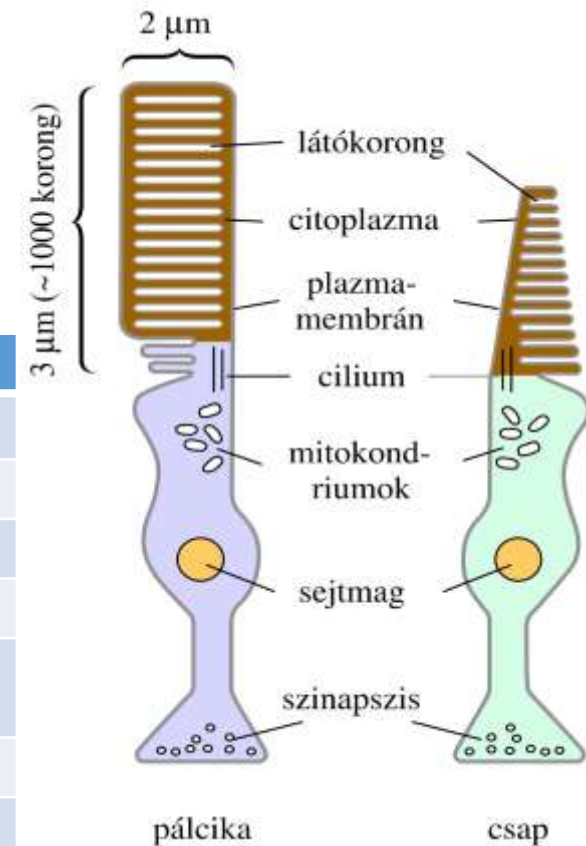
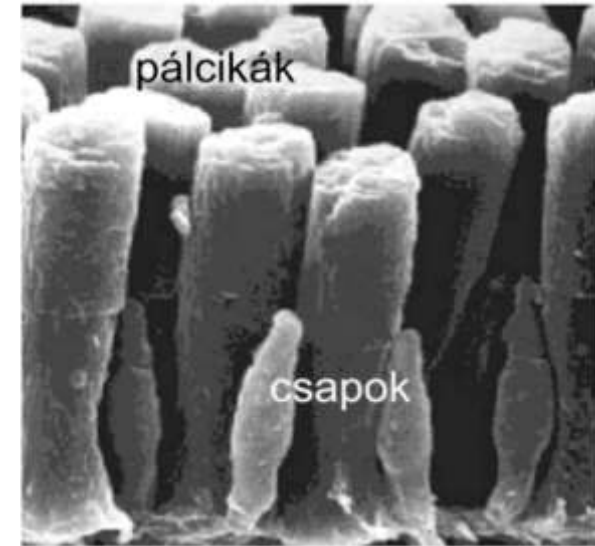
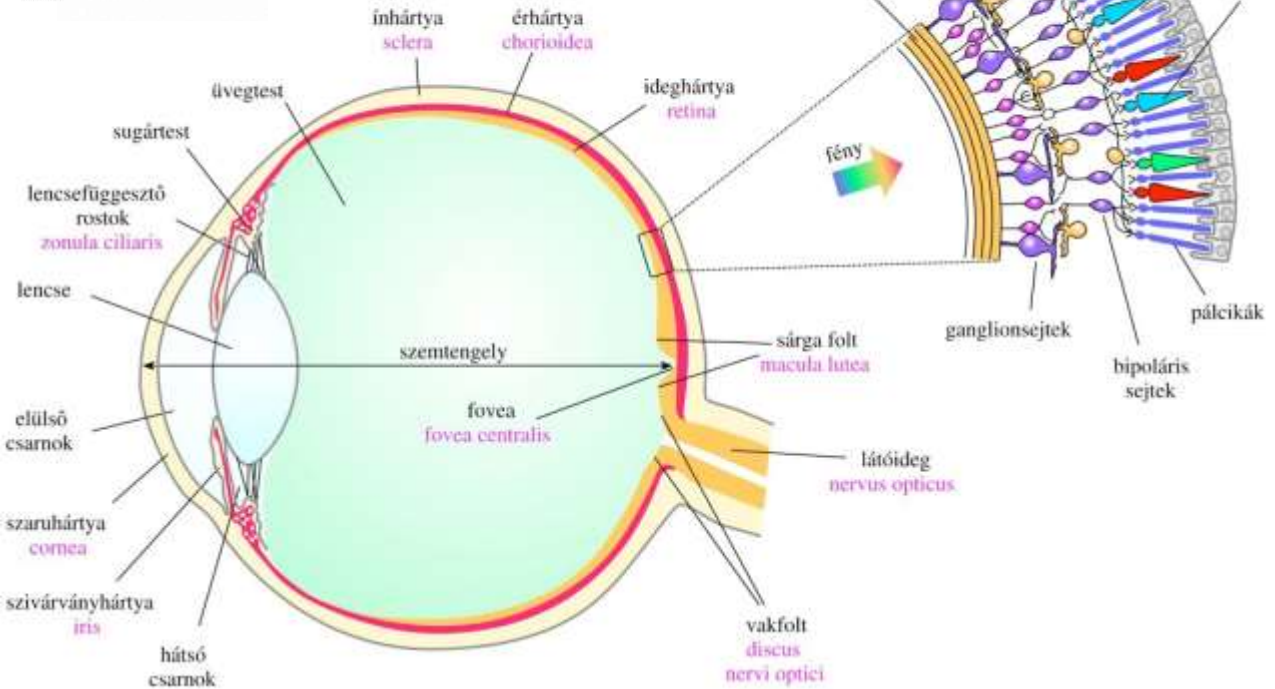
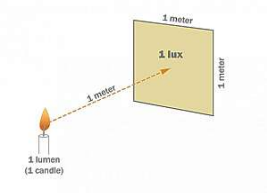
Megnevezés	értéke [cd]
viaszgyertya	1
petróleumlámpa	35
100 W-os kriptonizzó	120
vetítőlámpa	1.500
Nagy fényerejű lámpa	9.000

Quantity		Unit	
Name	Symbol ^(nb 8)	Name	Symbol
Luminous energy	Q_v [nb 8]	lumen second	lm·s
Luminous flux, luminous power	Φ_v [nb 8]	lumen (= candela steradians) (= cd·sr)	lm (= cd·sr)
Luminous intensity	I_v	candela (= lumen per steradian) (= lm/sr)	cd (= lm/sr)
Luminance	L_v	candela per square metre	cd/m ²
Illuminance	E_v	lux (= lumen per square metre)	lx (= lm/m ²)
Luminous exitance, luminous emittance	M_v	lux	lx
Luminous exposure	H_v	lux second	lx·s
Luminous energy density	ω_v	lumen second per cubic metre	lm·s·m ⁻³
Luminous efficacy	η [nb 8]	lumen per watt	lm/W
Luminous efficiency, luminous coefficient	V		

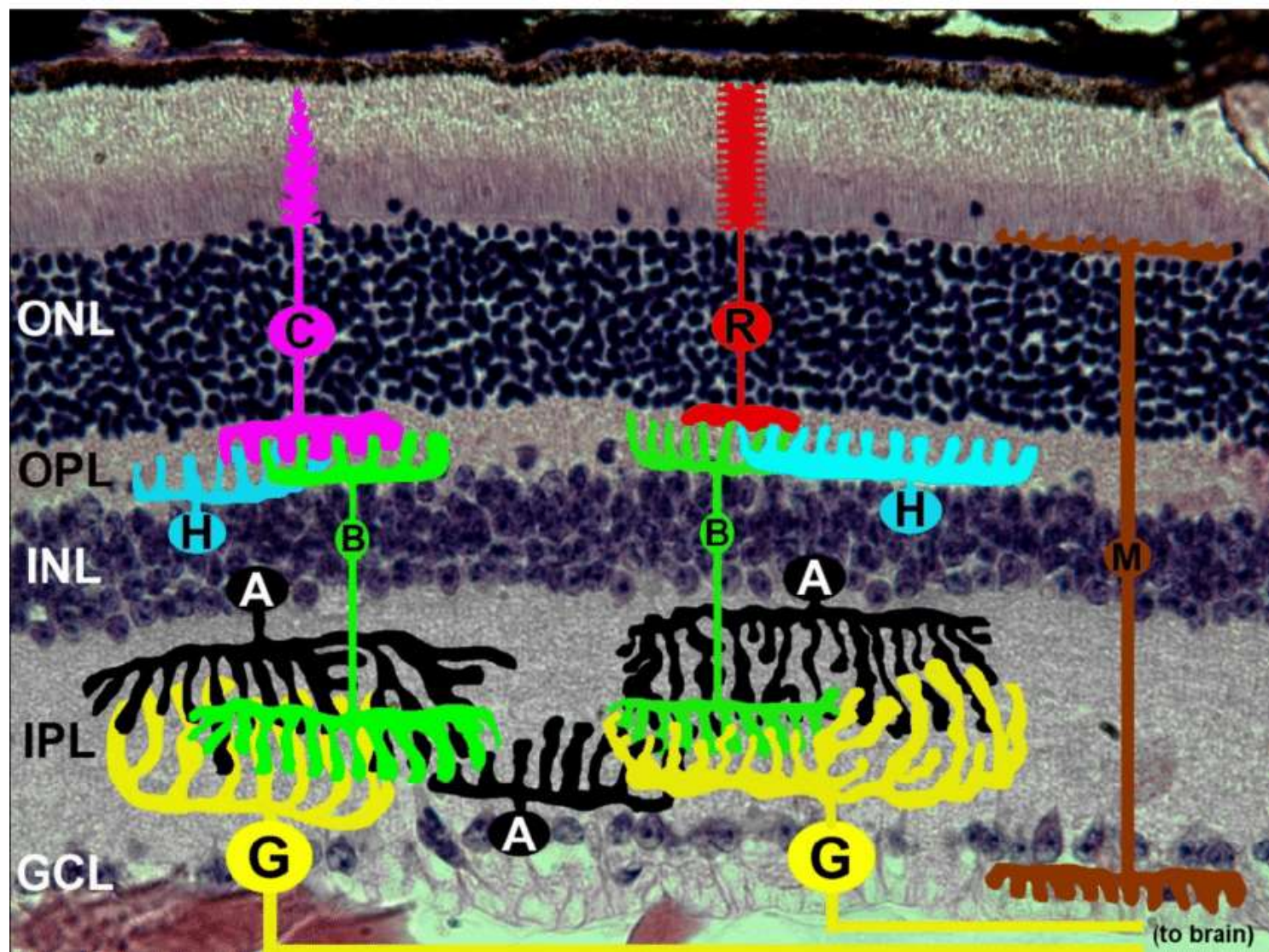


Fénycső emissziós spektruma

Óriási átfogás: $10^{-9} \dots 10^5$ lux

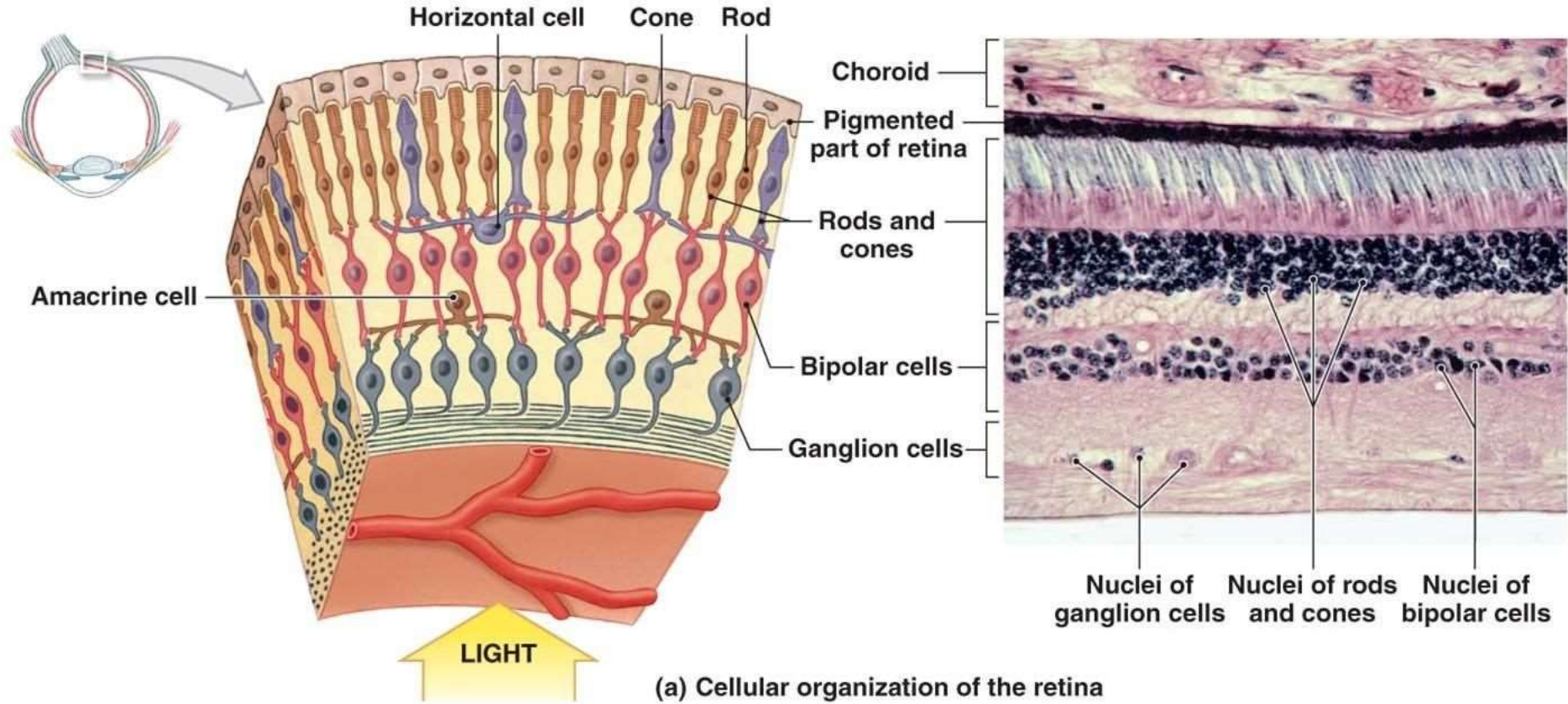


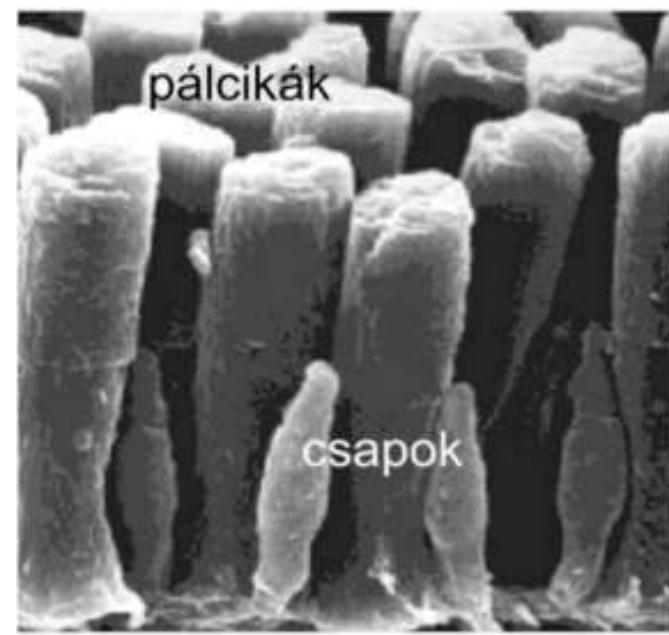
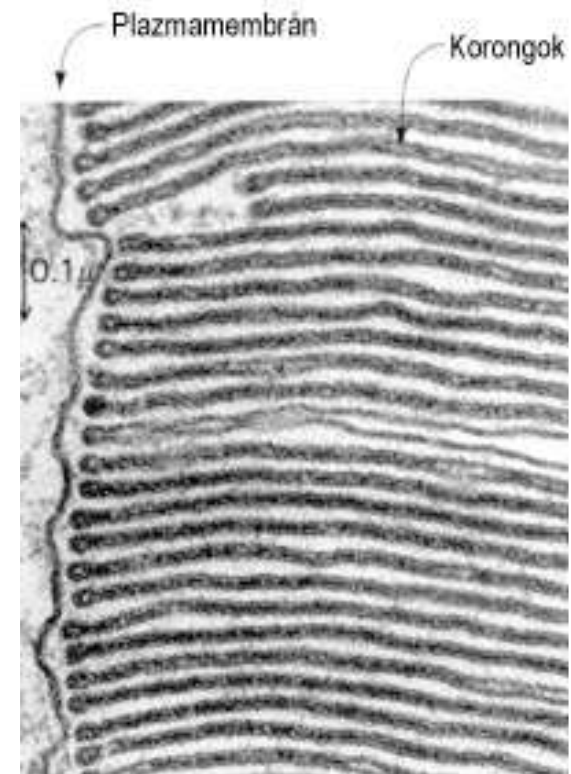
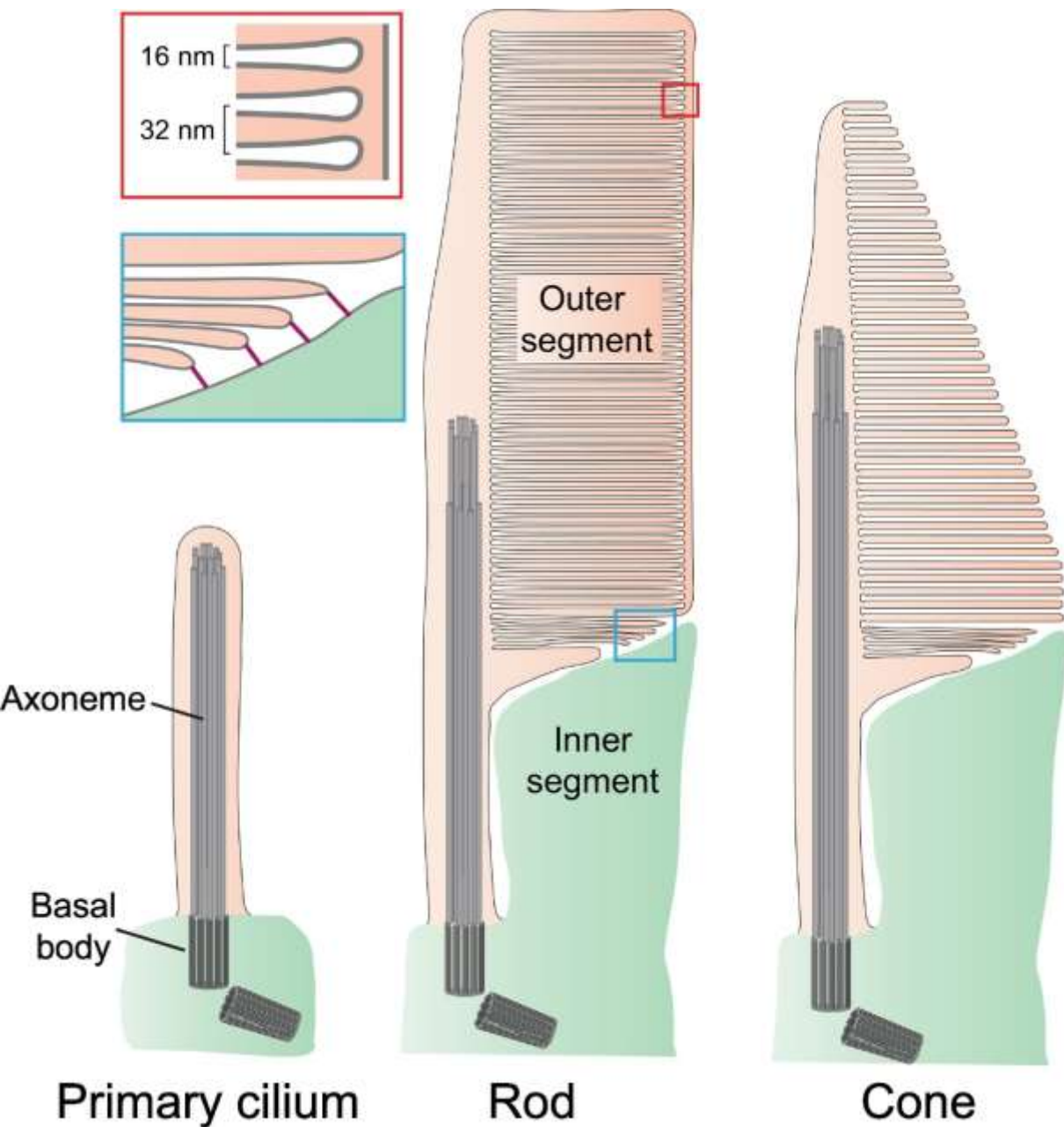
Pálcikák	Csapok
Akár 1 foton szenzitivitás	Kisebb érzékenység, nagy intenzitást is érzékel
Telítésbe megy közepes intenzitásnál	Nincs / nagyon magas telítési intenzitás
Leginkább a periférián található	Fovea centralis-ban nagy sűrűségben
Nagyobb fokú konvergencia	Alacsony konvergencia
Alacsonyabb felbontás	Maximális felbontás (~1-3 μm -es limitáló képméret)
Csak egyfajta van -> nincs színérzékelés	3-féle van -> színkódolás
Nagyobb képfrekvencia-érzékenység	~20 Hz maximális képfrekvencia

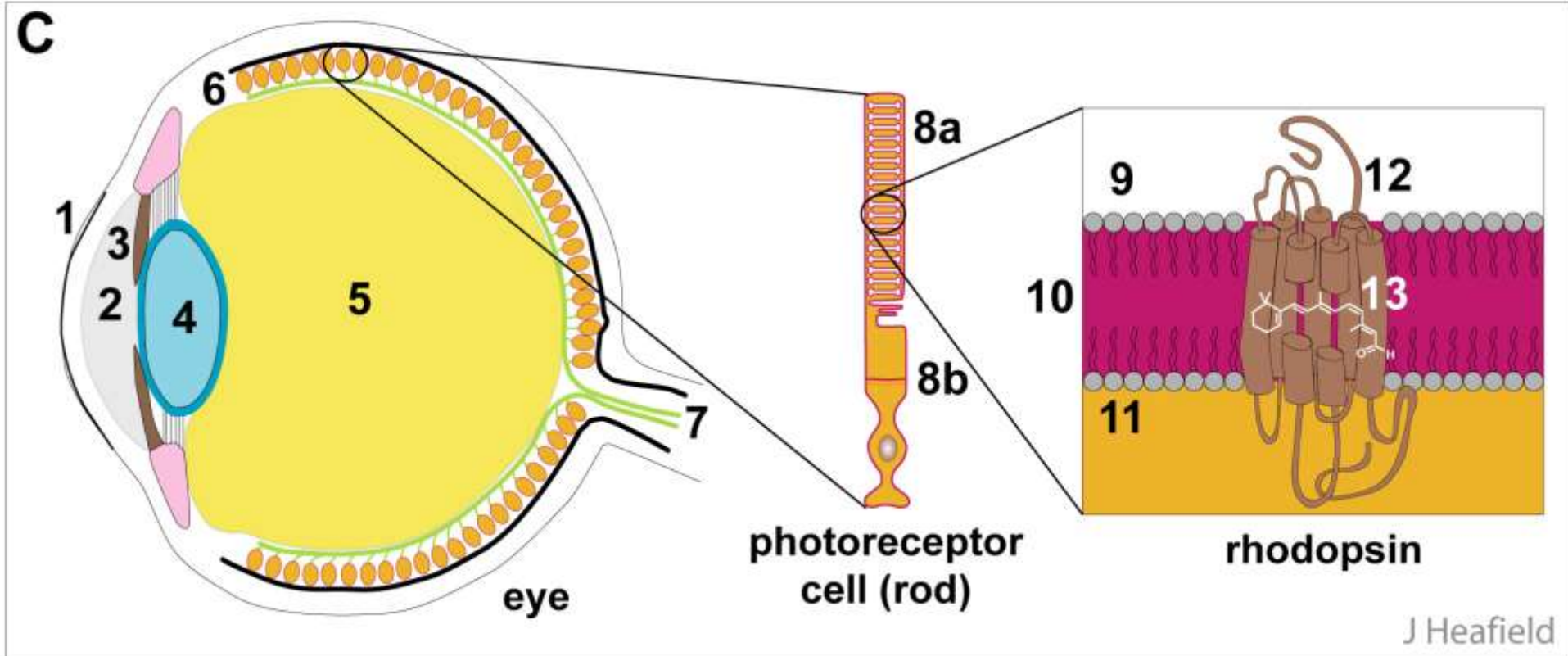
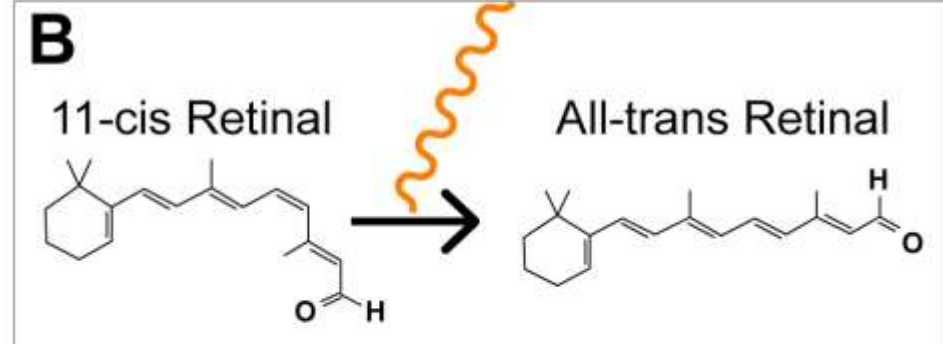
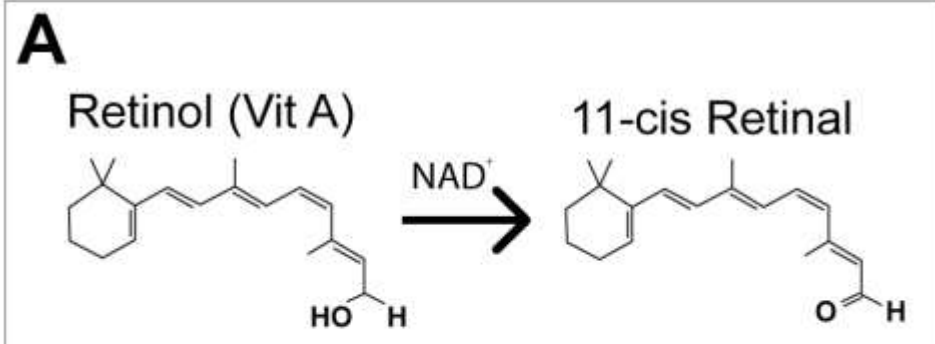


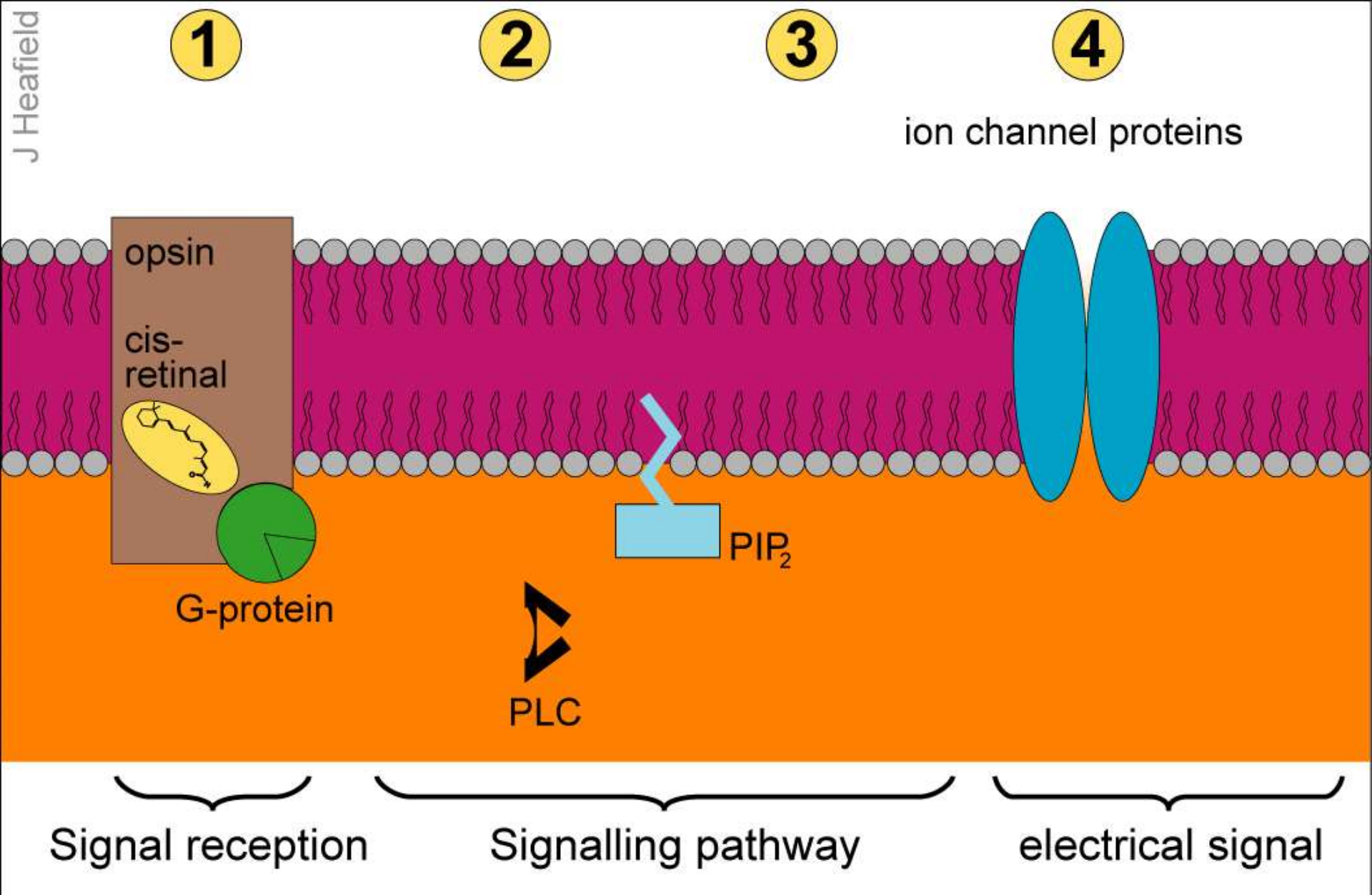
Cantrup, Rob & Kaushik, Gaurav & Schuurmans, Carol. (2012). Control of Retinal Development by Tumor Suppressor Genes. 10.5772/28870.

Structure and connectivity of the mature retina. Animated neurons are drawn on top of a photomicrograph of a hematoxylin & eosin stained adult retina. Rod and cone photoreceptors are located in the ONL, horizontal, amacrine and bipolar cell interneurons and Müller glia are located in the INL, and RGCs and displaced amacrine cells are in the GCL. Light enters the eye and is first processed by the outer segments of rod and cone photoreceptors in the ONL. This information is then passed to the OPL, where connections between photoreceptors and bipolar cells are made, and signals are modulated by horizontal cells. Finally, bipolar cell axons pass visual information to RGC dendrites in the IPL—signaling that is refined by amacrine cells. Information is finally transmitted by RGC axons to the brain for further processing. (A, amacrine cell; B, bipolar cell; C, cone photoreceptor; G, retinal ganglion cell; GCL, ganglion cell layer; H, horizontal cell; INL, inner nuclear layer; IPL, inner plexiform layer; M, Müller glia; ONL, outer nuclear layer; OPL, outer plexiform layer; R, rod photoreceptor).



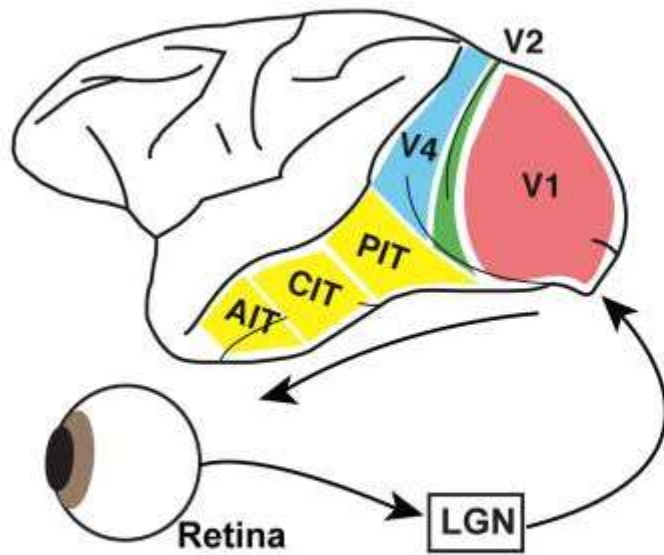




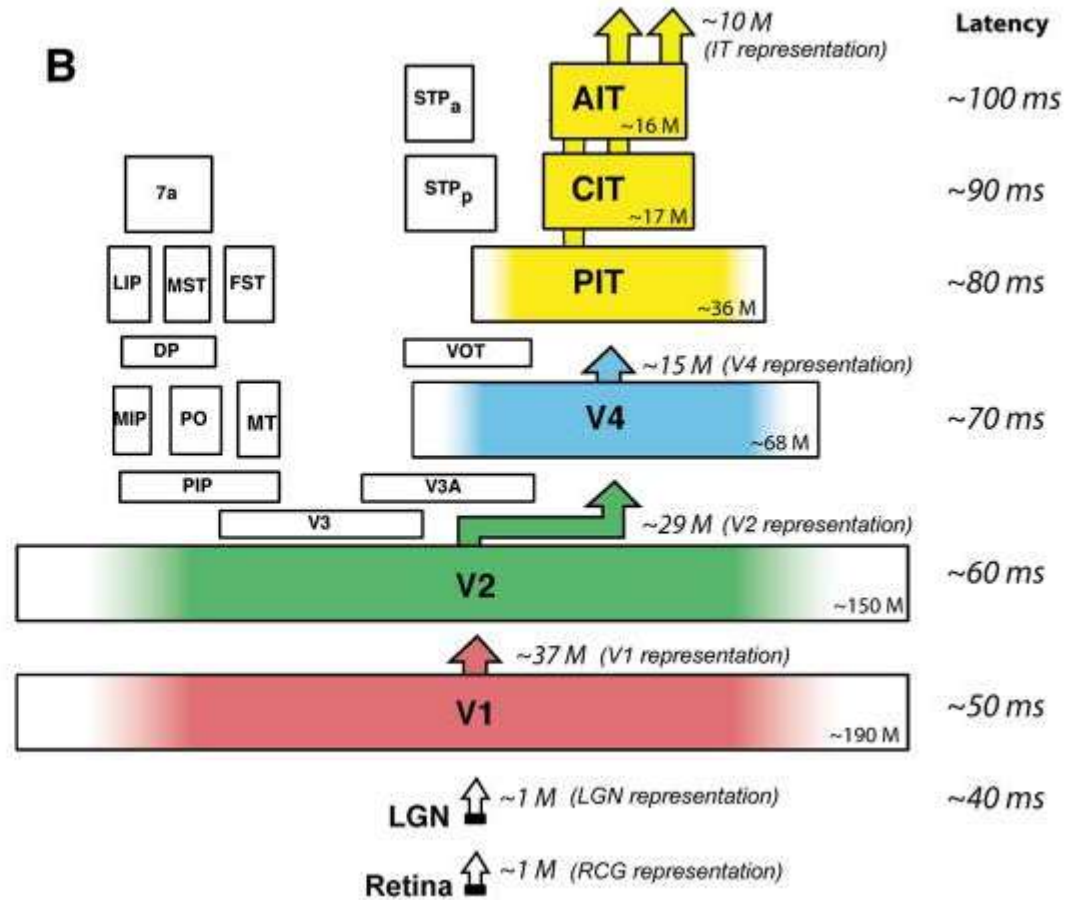


Rhodopszin->Transducin ($T\alpha\beta\gamma$)->foszfodiészteráz->cGMP->Na⁺ csatorna ZÁR->hiperpolarizáció

A



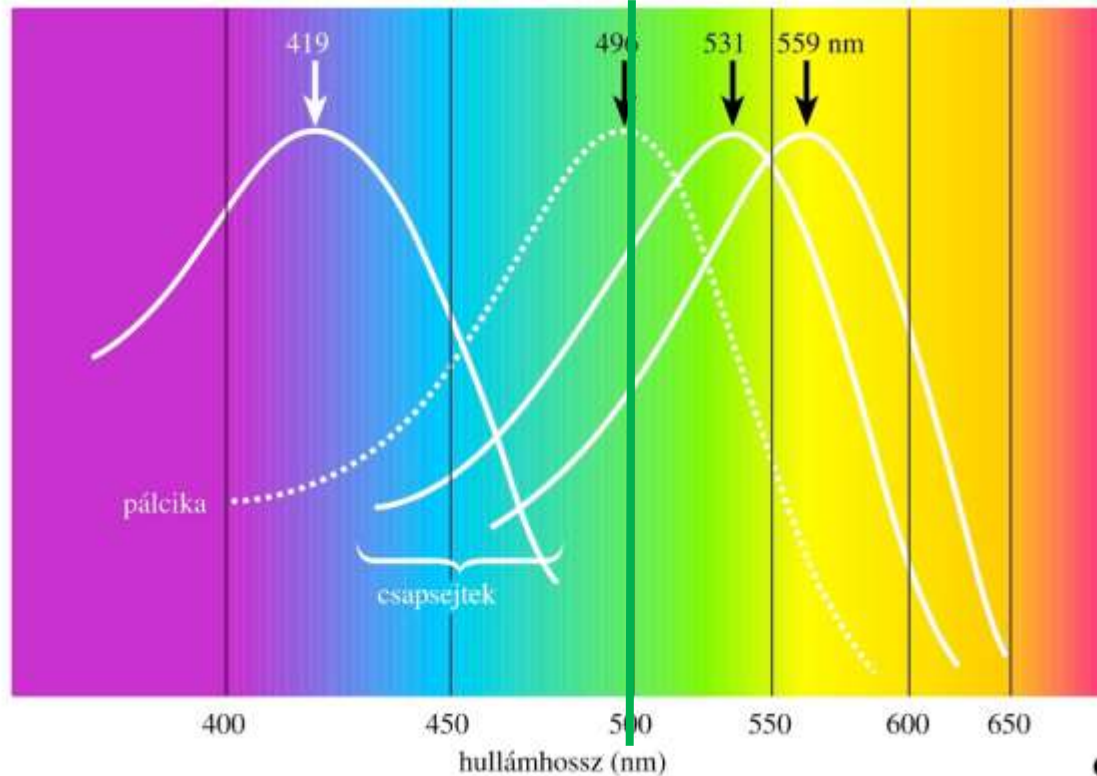
B



[Neuron. 2012 Feb 9; 73\(3\): 415–434.](#)

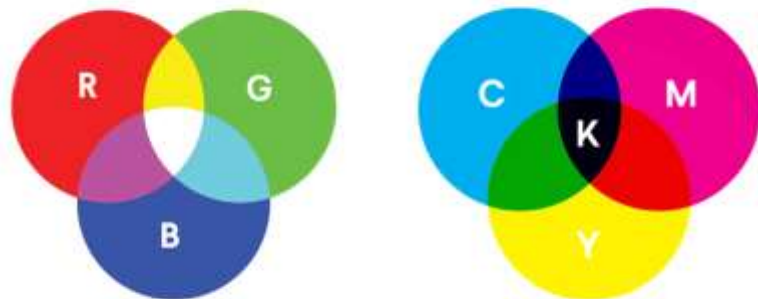
[10.1016/j.neuron.2012.01.010](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.01.010)

relatív abszorpció

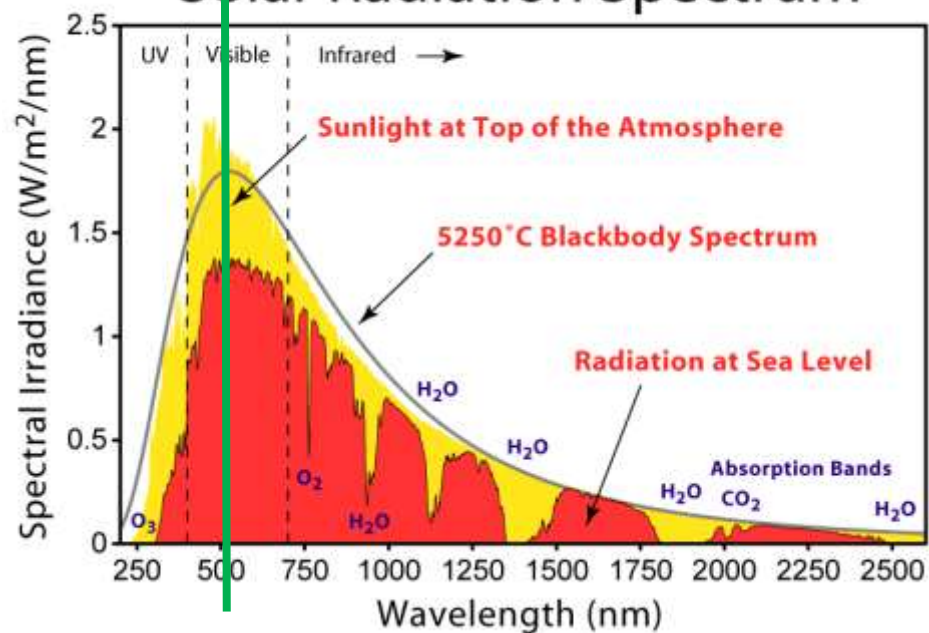


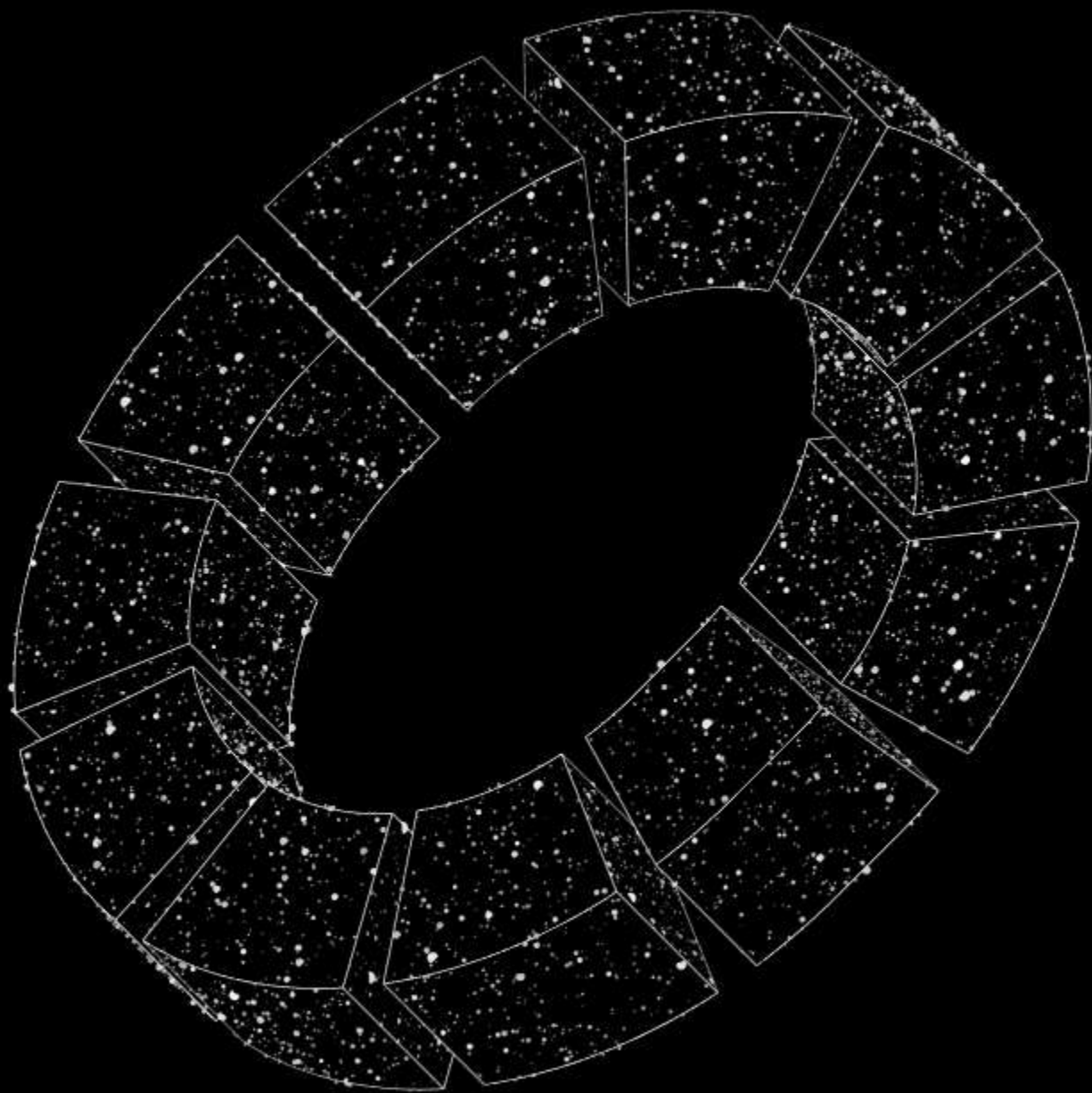
Additív színkódolás

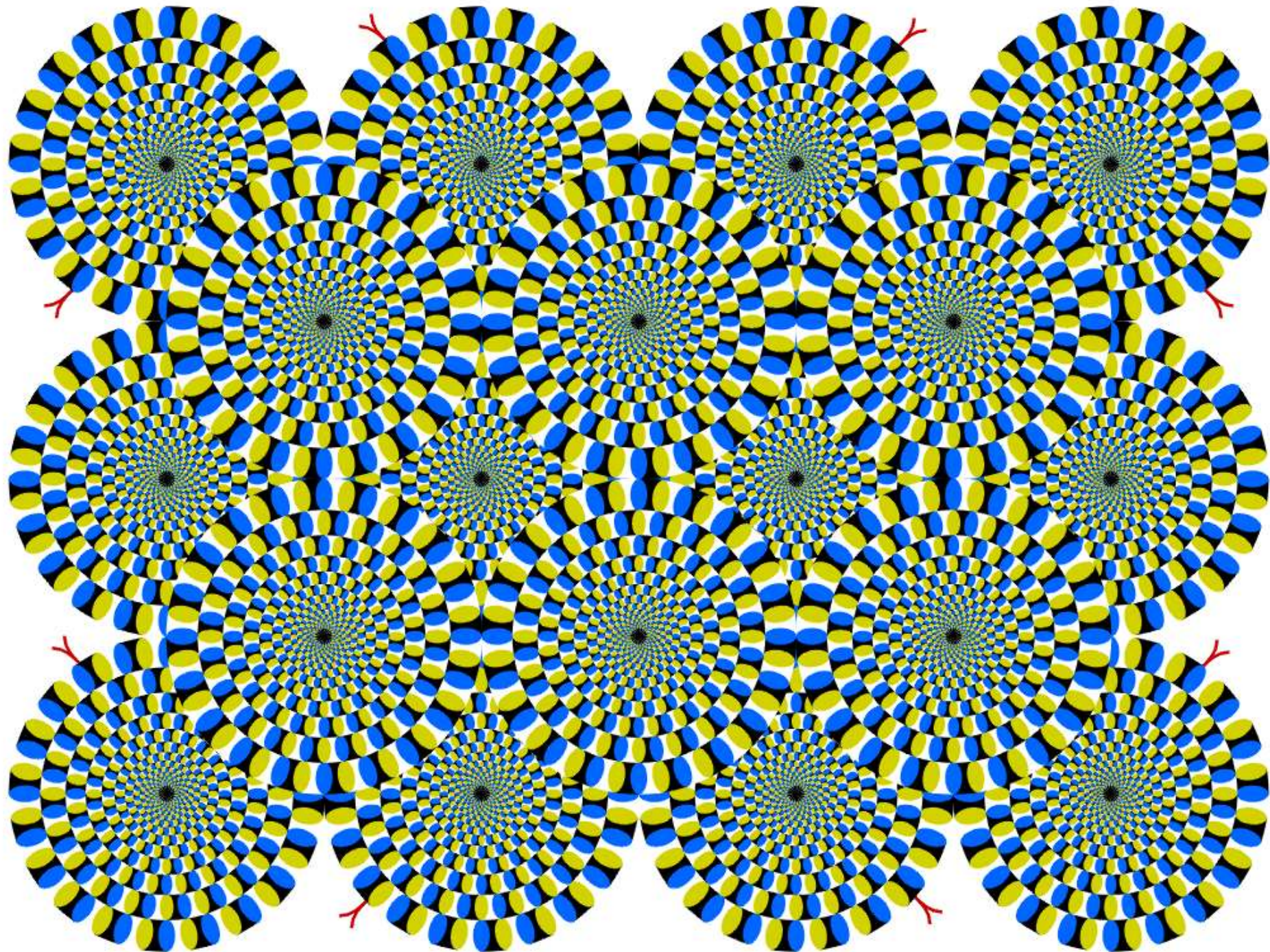
$$X = rR + gG + bB$$



Solar Radiation Spectrum

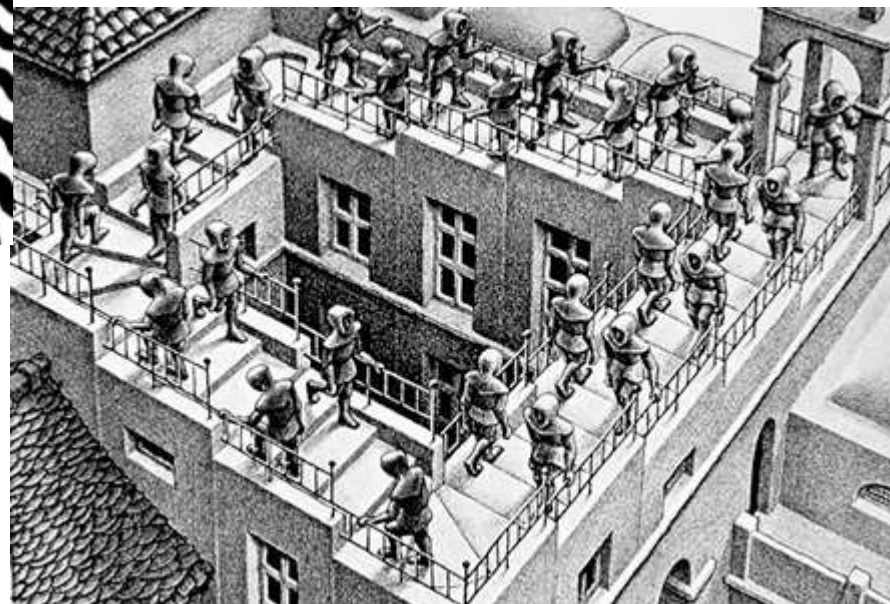
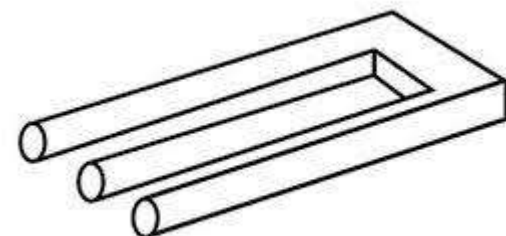
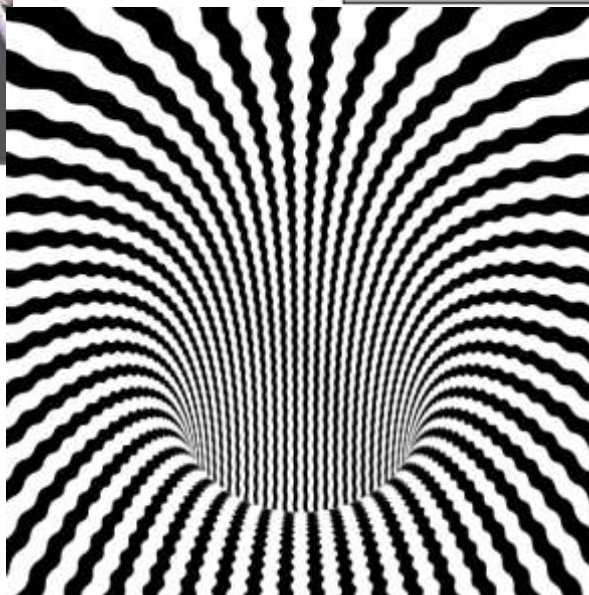
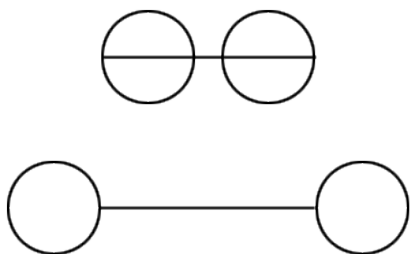
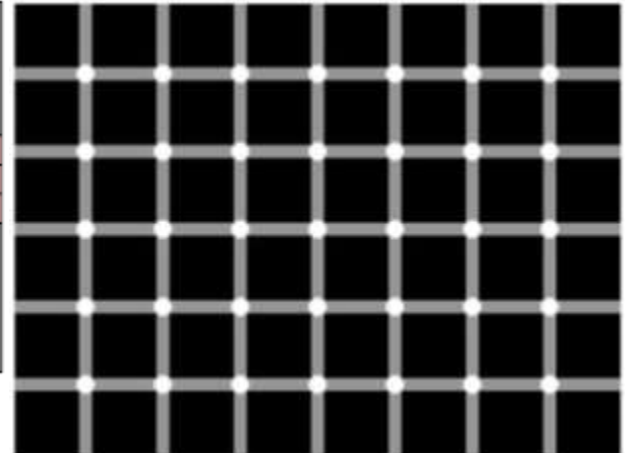
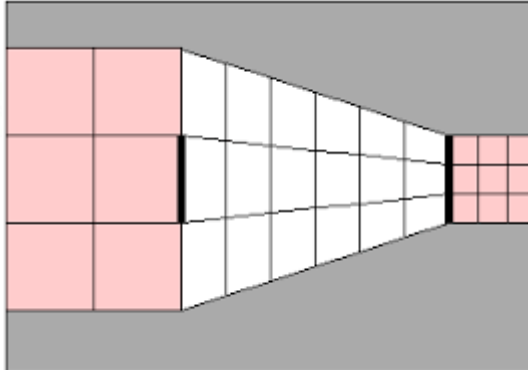
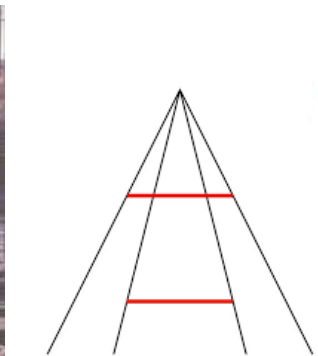






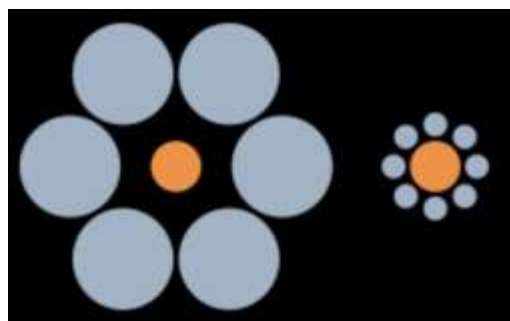
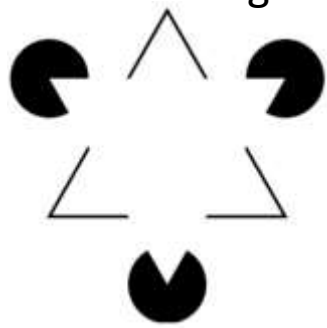


Ponzo illusion



Escher's staircase

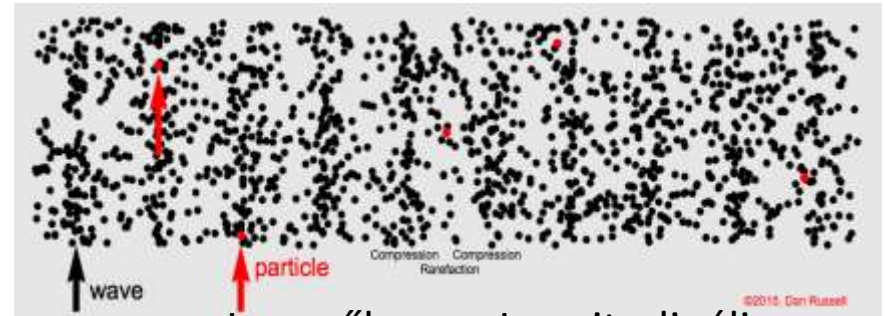
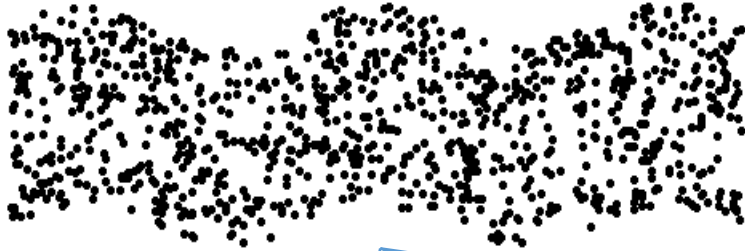
Kanizsa-triangle



Ebbinghaus illusion

A hallás biofizikája

Gitárhúr: Transzverzális

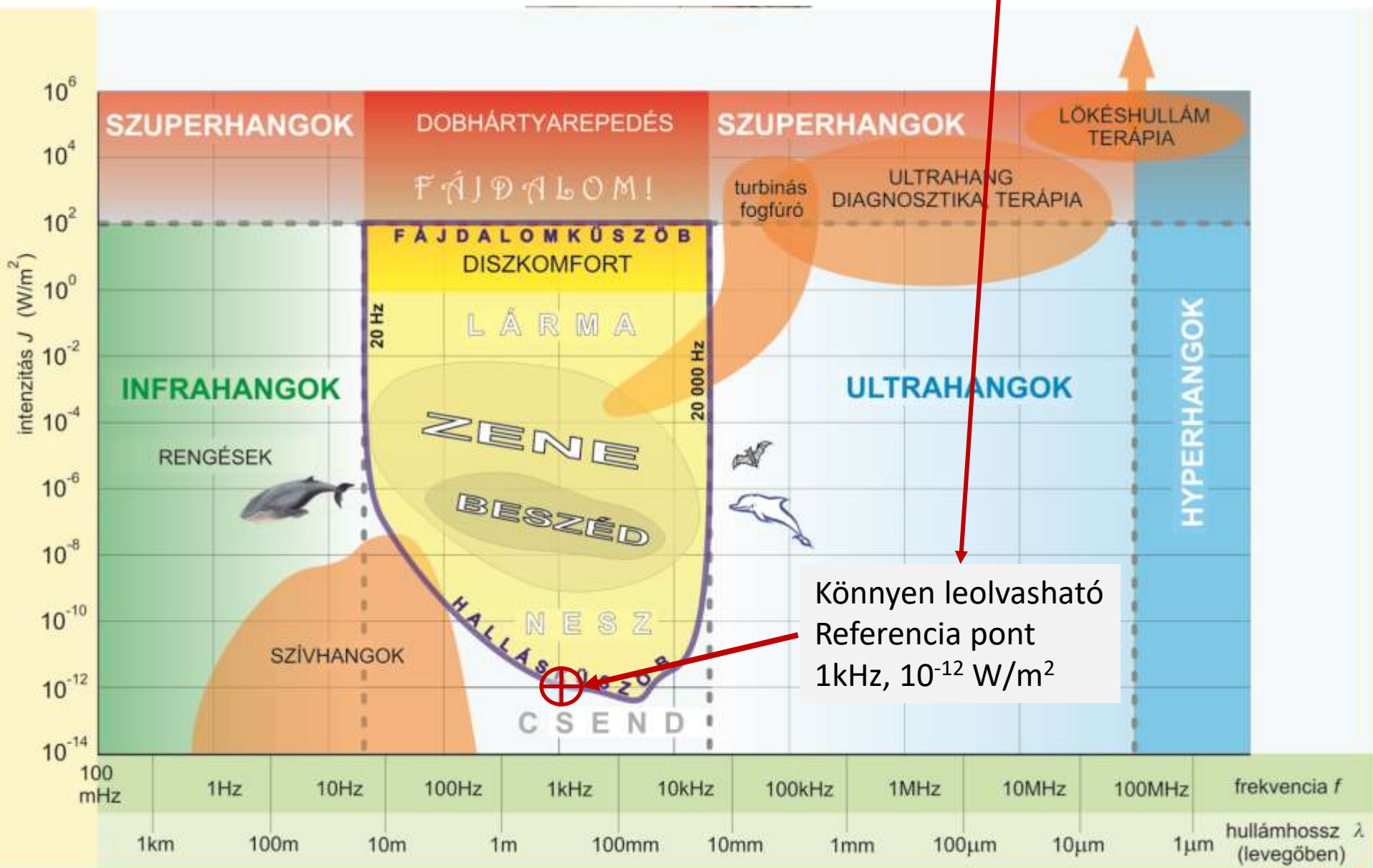


Levegőben -> Longitudinális



Nagyon széles intenzitás tartományt fed le a hallás -> Log-os skálát érdemes használni

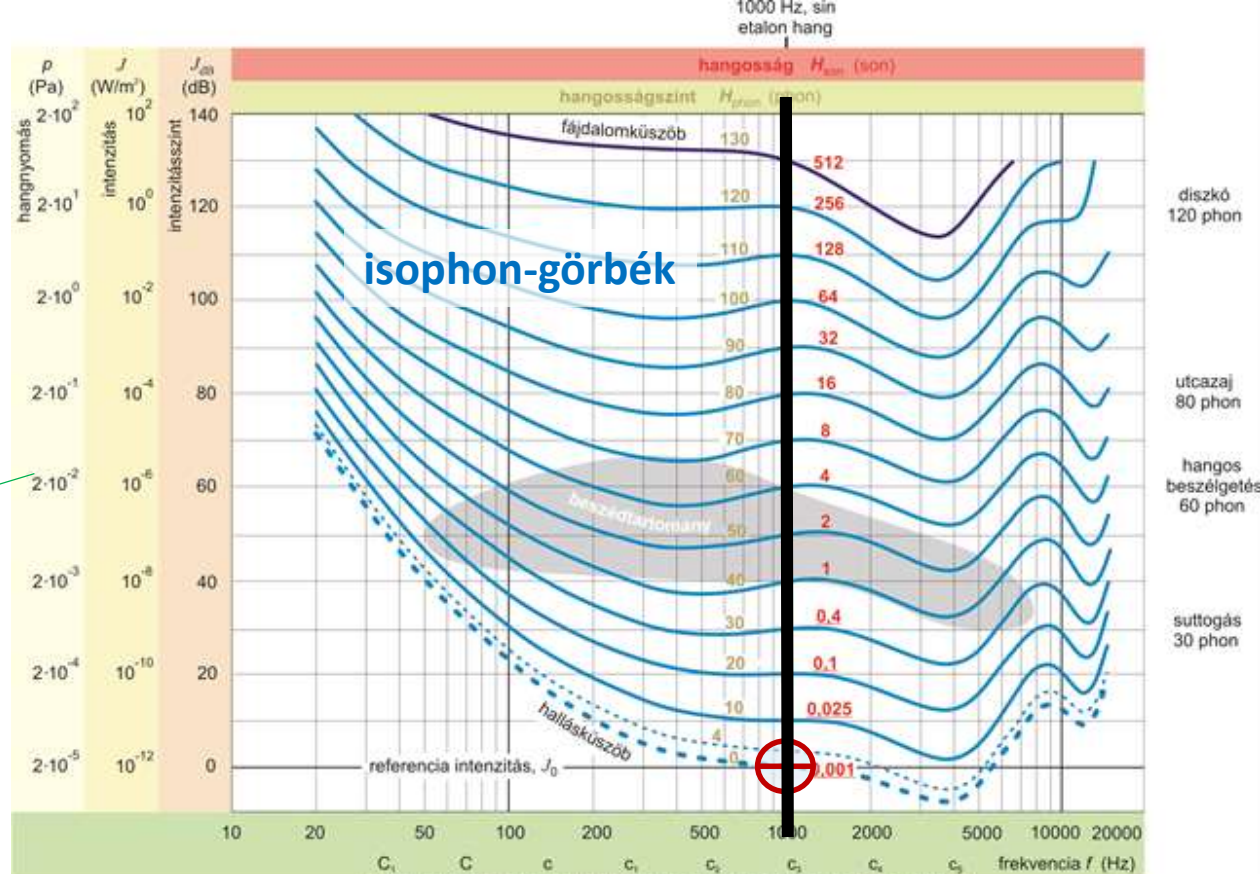
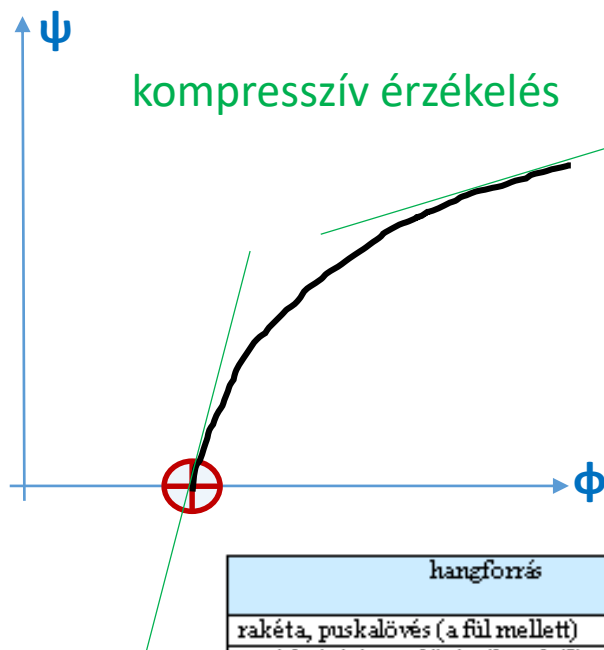
dB skála kényelmes és ismert: $10 \cdot \log(I/I_0)$



$$J = p_{\text{eff}}^2 / Z$$

$$Z = c * \rho$$

$$J_{\text{dB}} = 10 * \log(J / J_0)$$



hangforrás	hétköznapi, zenei hangosságfogalmak, ill. a halláskárosodás határai	hangosságszint (phon)	hangosság (son)
rakéta, puskalövés (a fül mellett)	dobhártyaexpedés	180	
sugárhajtású repülőgép (közelről)	fájdalomküszöb	130	512
diszkó (a hangfalnál), ordítás a fülbe (20 cm)	éppen elviselhető	120	256
légkalapács	nagyon hangos	110	128
nagyon zajos üzem	nagyon hangos	100	64
kiabálás (1,5 m), áthaladó metrószelvény	<i>fff</i> (fortississimo), 2 órán túl halláskárosodás	90	32
erős városi forgalom, hangos zene	<i>ff</i> (fortissimo), 8 órán túli halláskárosodás	80	16
autó belső terének zaja (kb. 120 km/óránál)	hangos, <i>f</i> (forte)	70	8
hangos beszélgetés, WC lehúzás, porszívó	<i>mf</i> (mezzoforte)	60	4
iroda, számítógép, nyomtató zaja	<i>mp</i> (mezzopiano)	50	2
normális beszélgetés	beszédhangerő, <i>p</i> (piano)	40	1
suttogás, könyvtár, óraketyegés	nagyon halk <i>pp</i> (pianissimo)	30	0,4
szívhangok, rádióstúdió alapzaja	nagyon halk, <i>ppp</i> (pianississimo)	20	0,1
avar zizegése, macska dorombolása	éppen hallható	10	0,025
süketszoba	hallásküszöb (ember, fiatal)	0	0,001

$$J_{\text{dB}} = 10 \cdot \log(J/J_0)$$

Kompresszív formát kétféle egyszerű görbe tud mutatni

LOG

Weber-Fechner

-> legyen akkor a dB-skála!

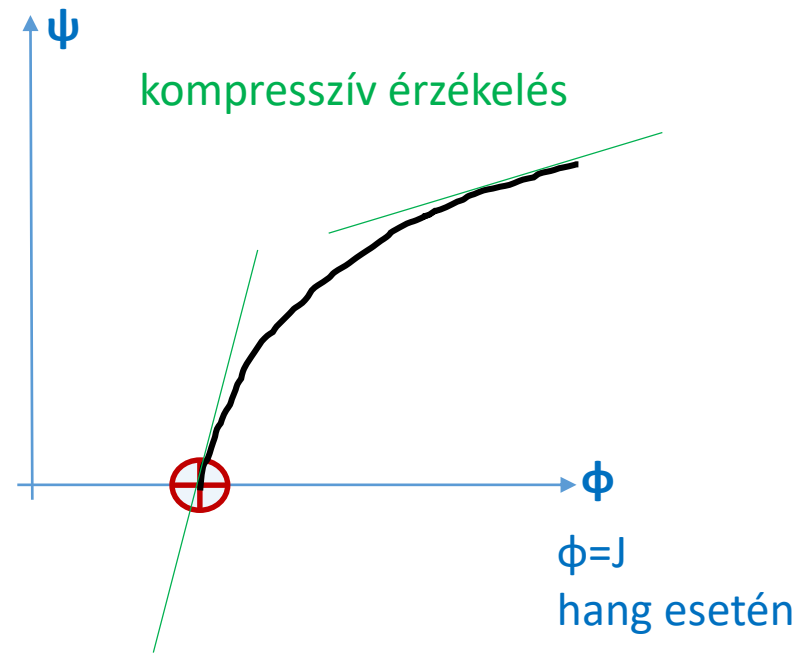
-> 1kHz-en: Phon=dB

HATVÁNY

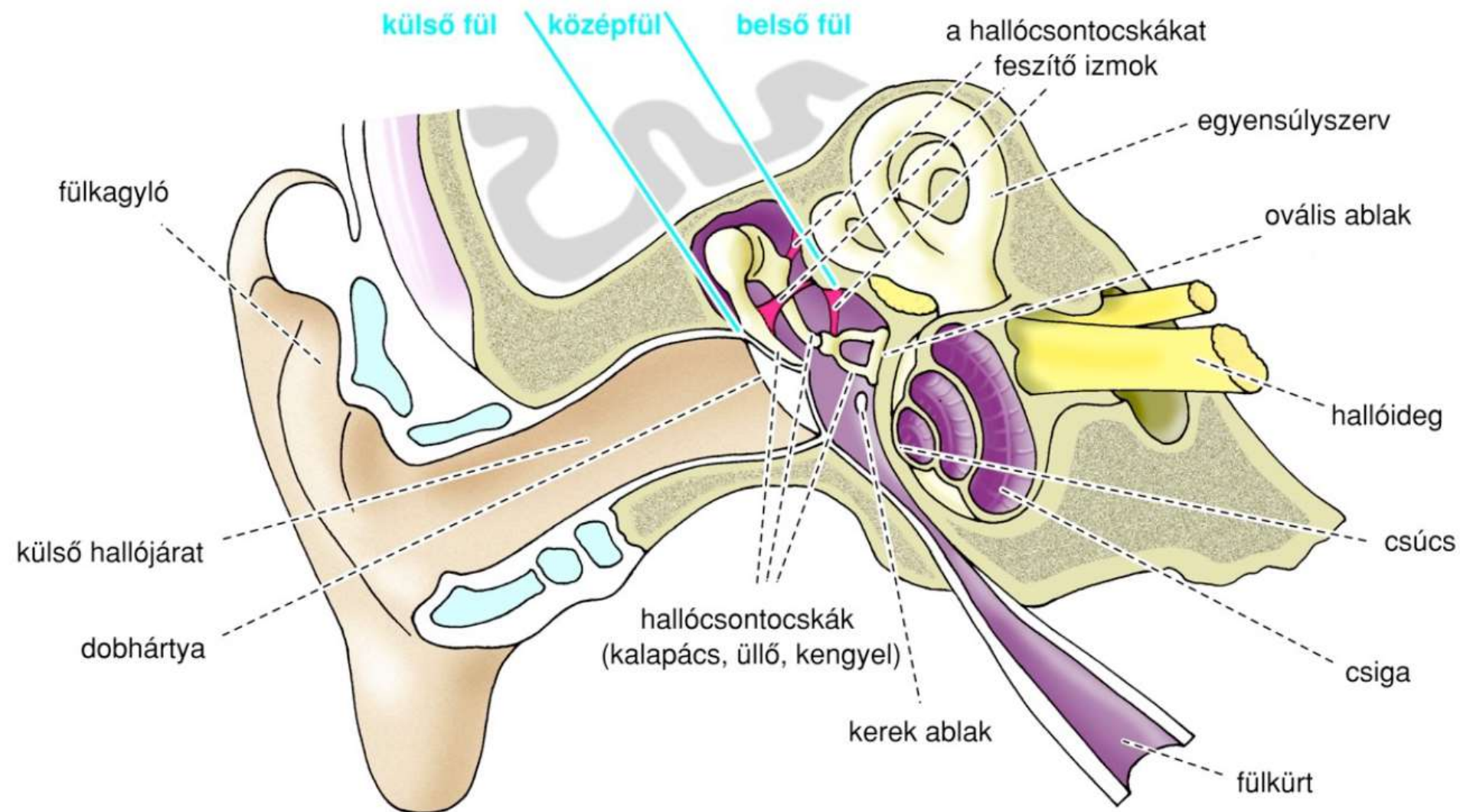
Stevens

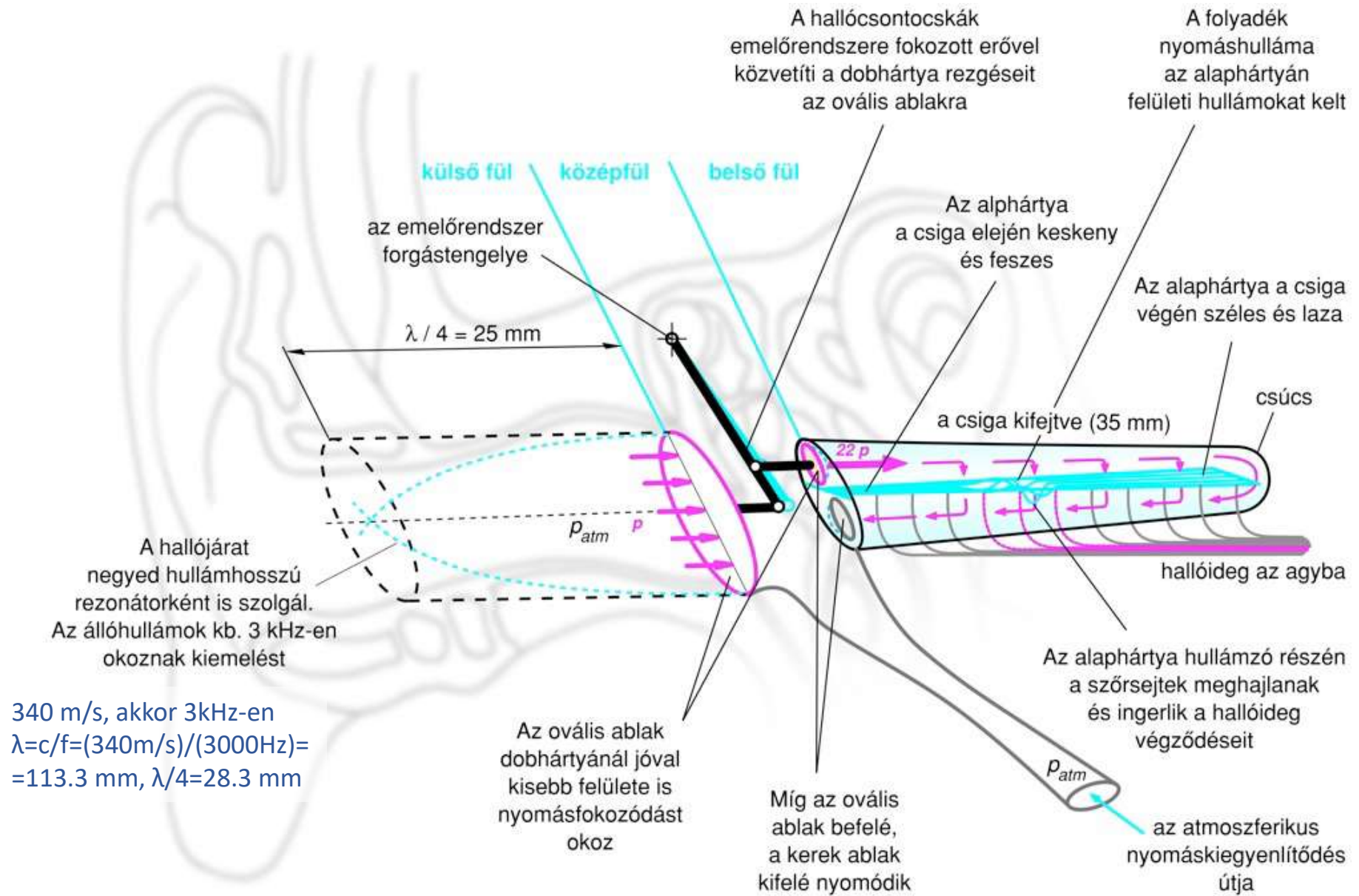
$$\psi = k \cdot (J/J_0)^n$$

Átlagos esetben, és kerekítve
 $k=1/16$, $n=0.3$



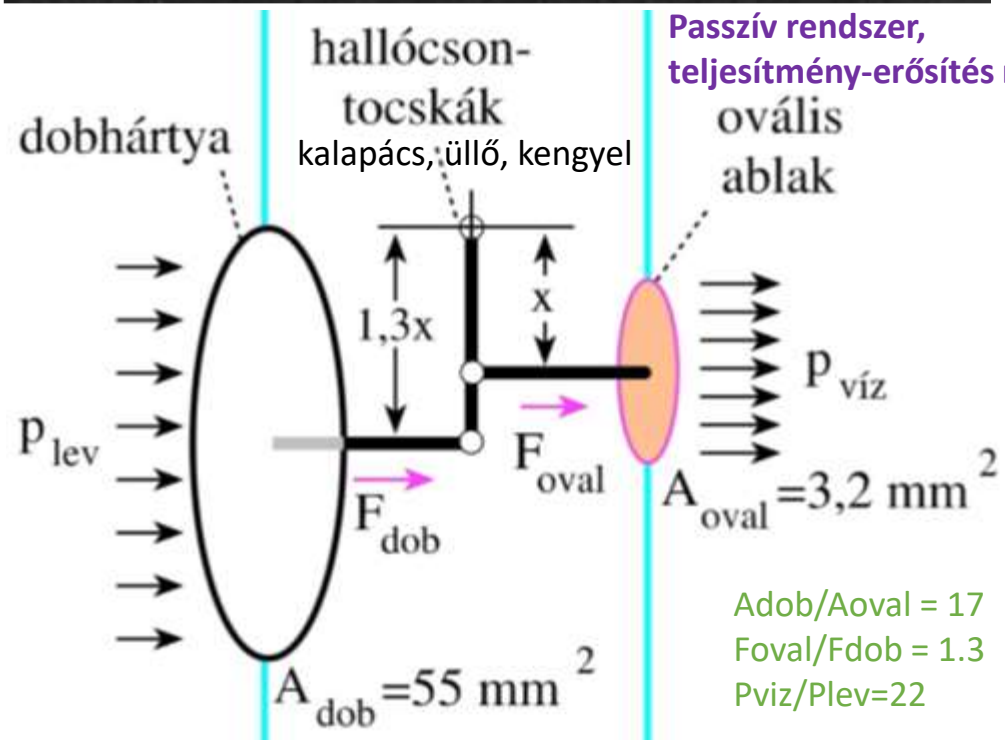
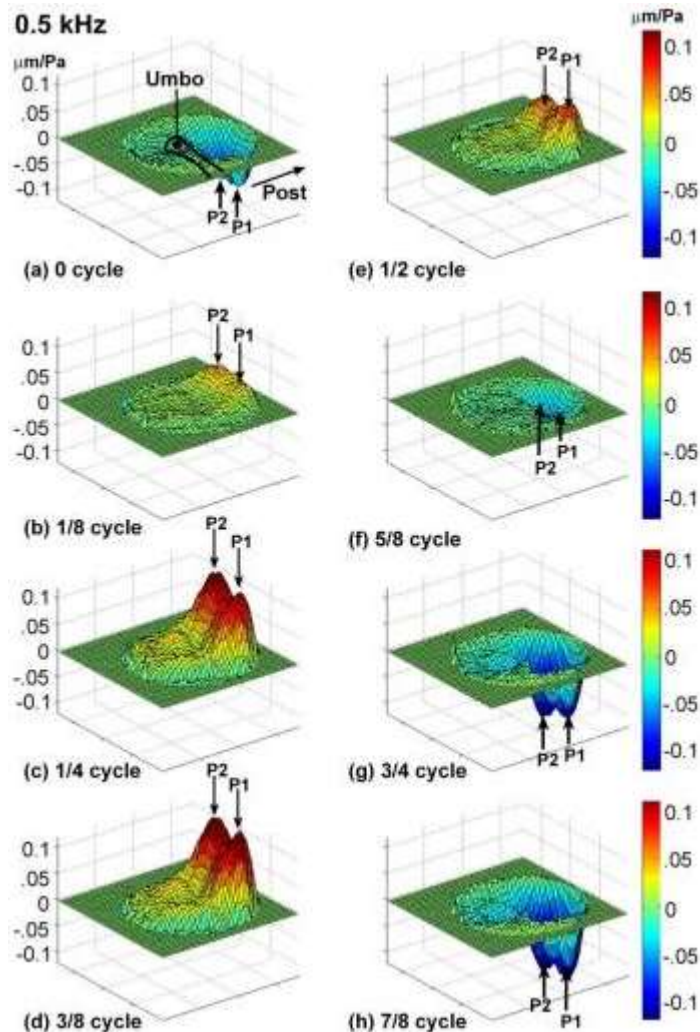
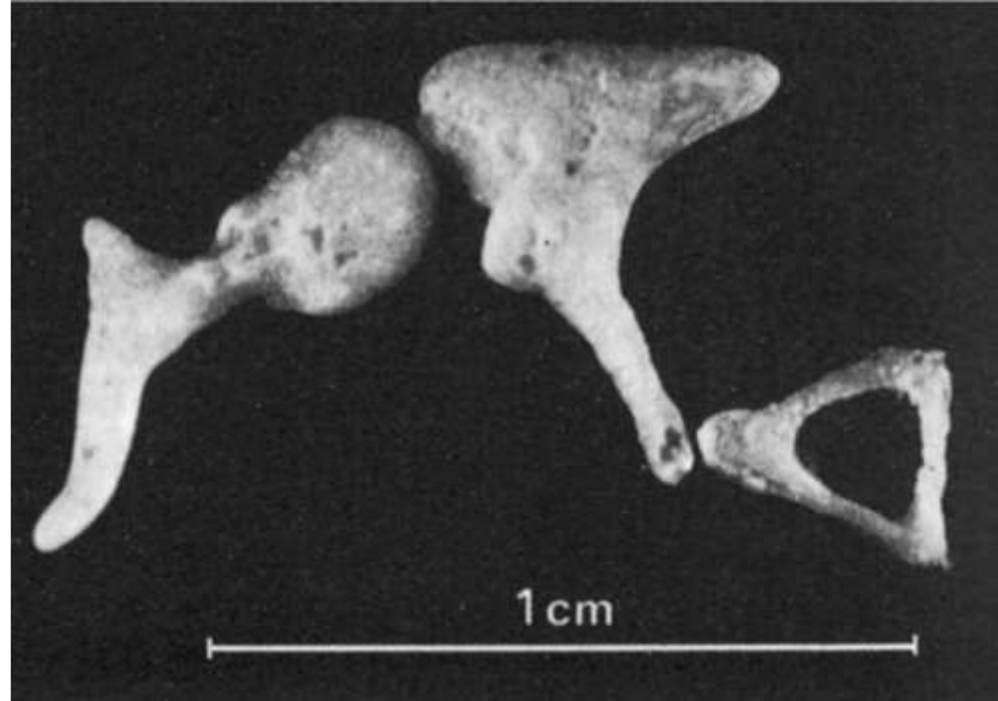
A hallószerv anatómiája





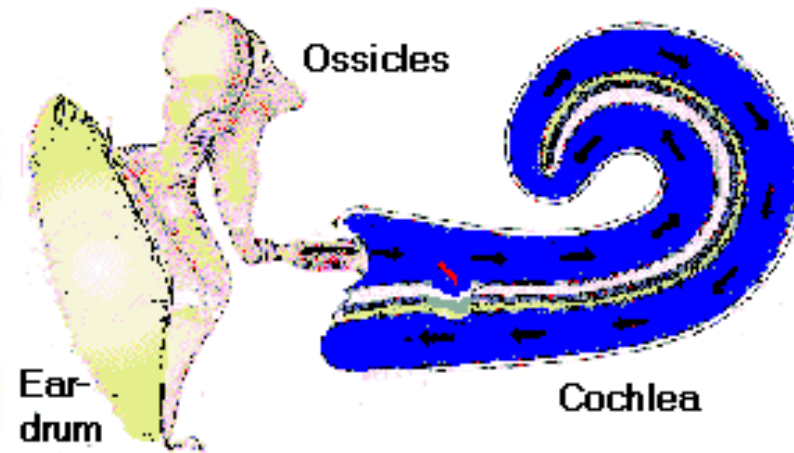
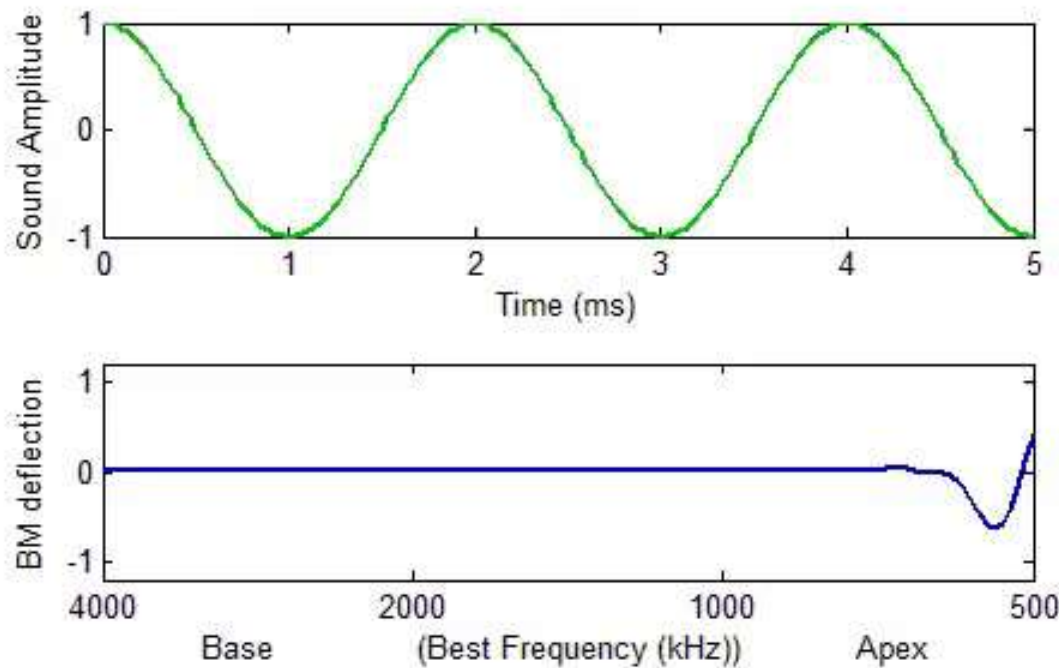
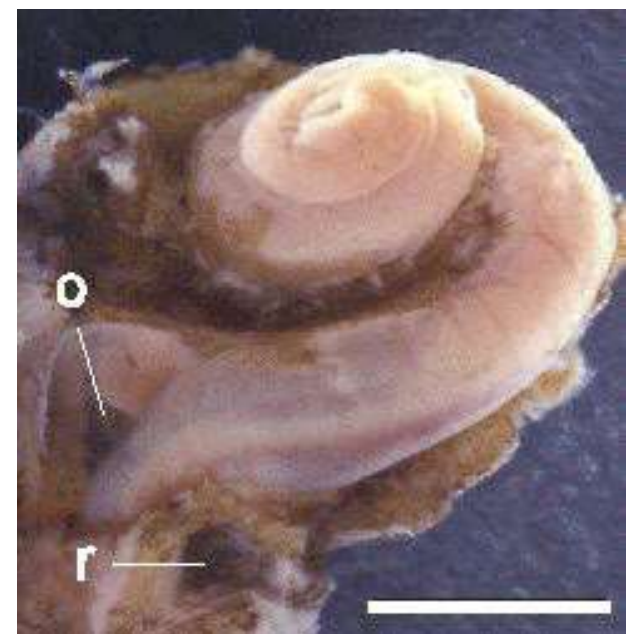
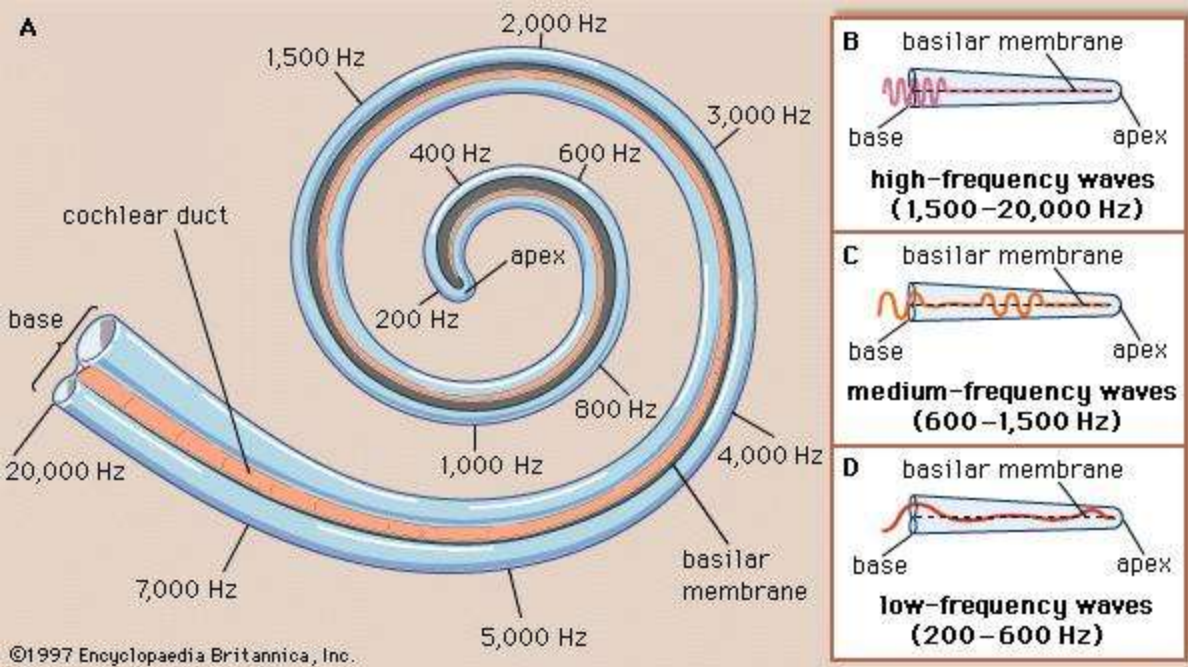
Akusztikus impedancia illesztés!

$$R = \frac{J_R}{J_0} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

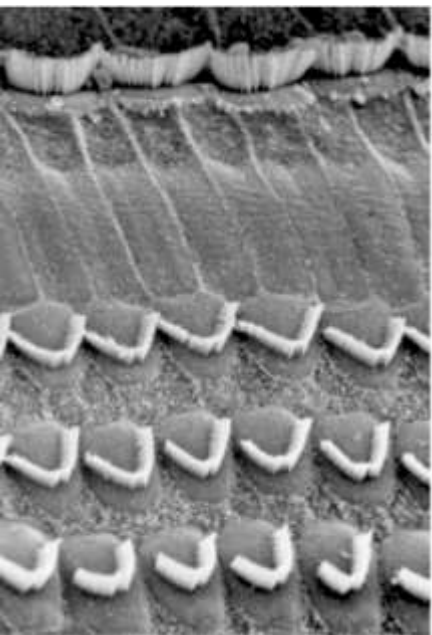
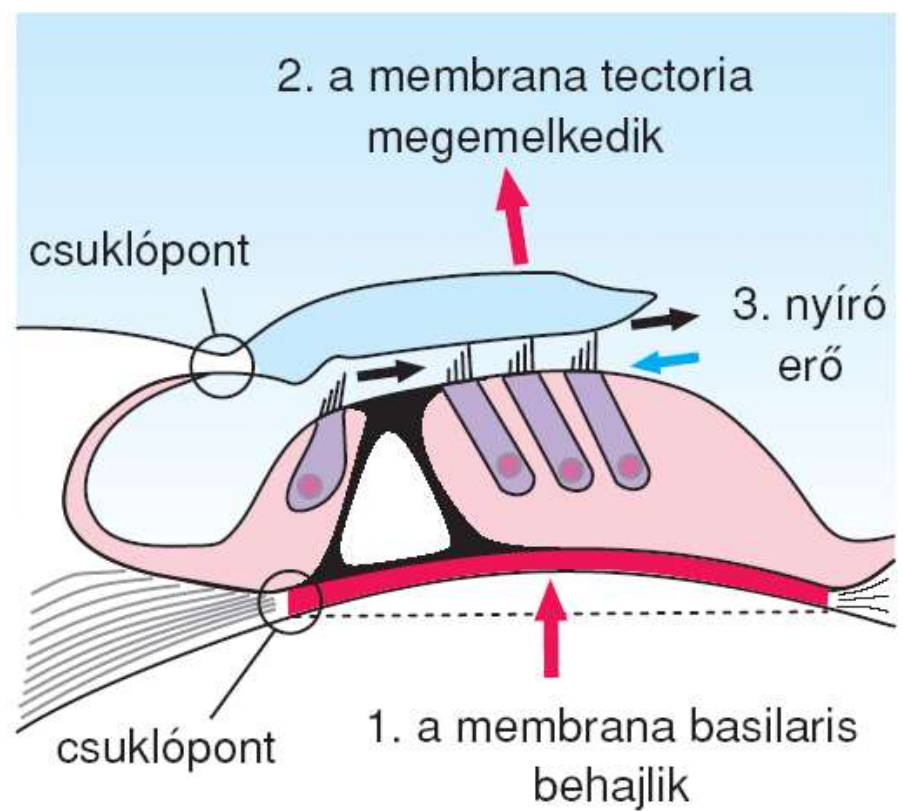
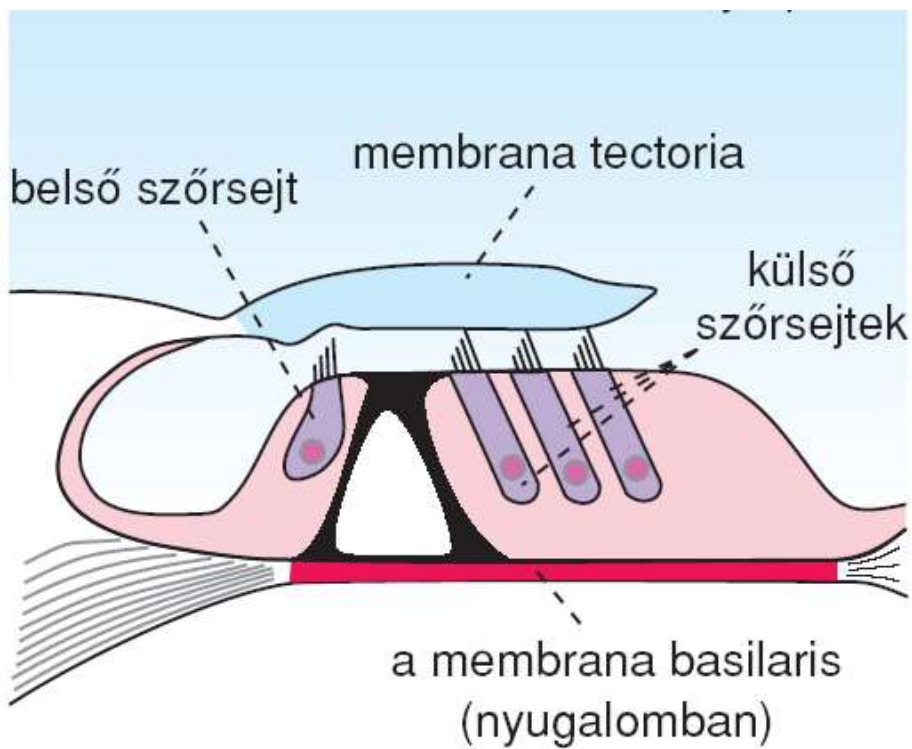


Passzív rendszer,
teljesítmény-erősítés nincsen

$A_{\text{dob}}/A_{\text{oval}} = 17$
 $F_{\text{oval}}/F_{\text{dob}} = 1.3$
 $p_{\text{vöz}}/p_{\text{lev}} = 22$

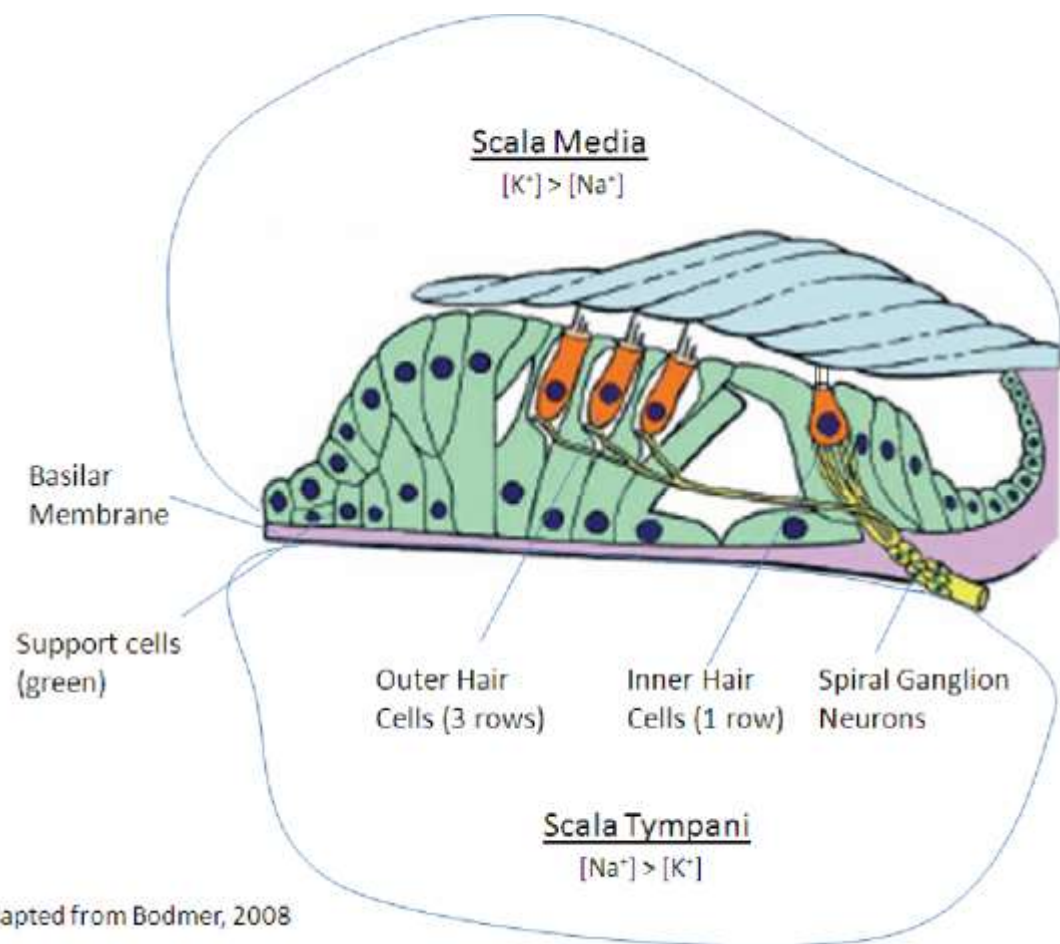
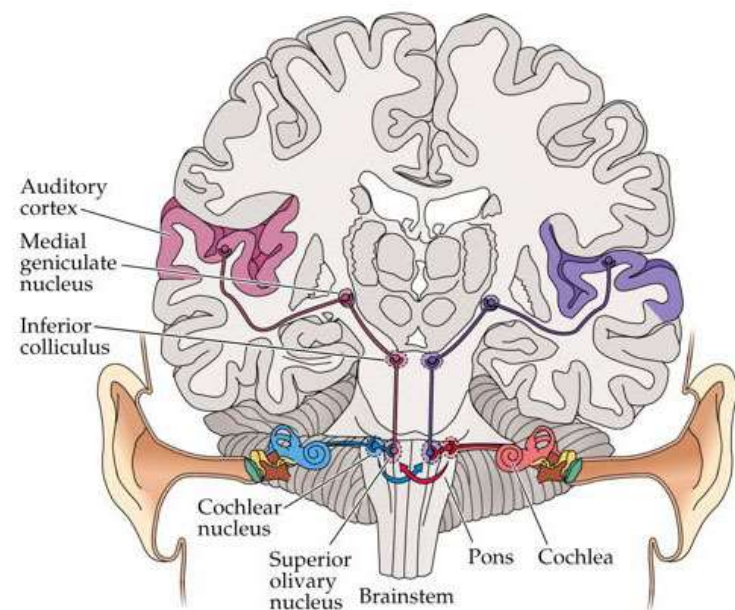
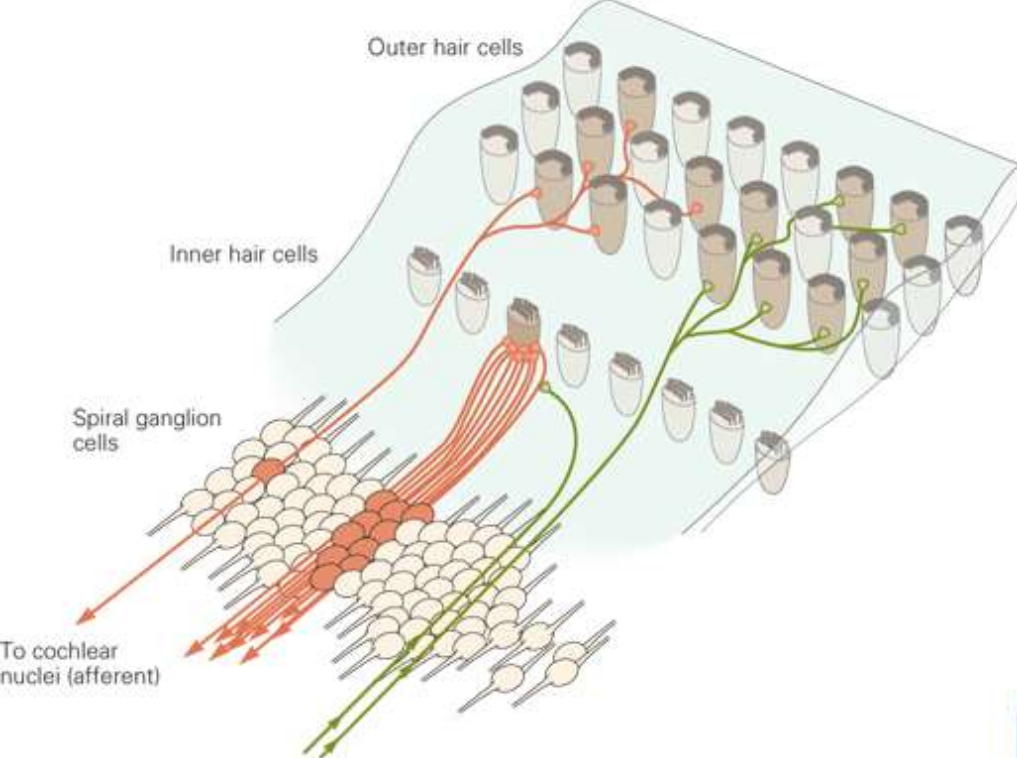




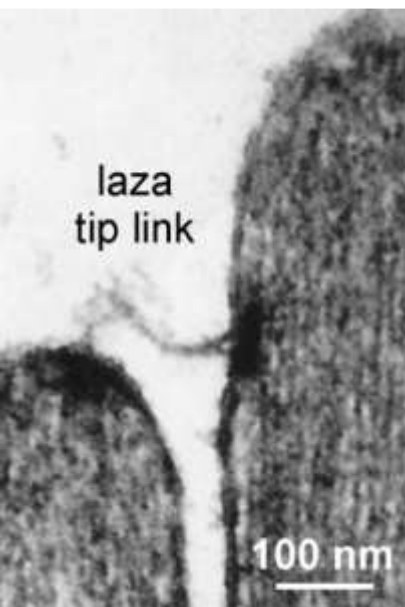


Békésy György Nobel-díj 1961

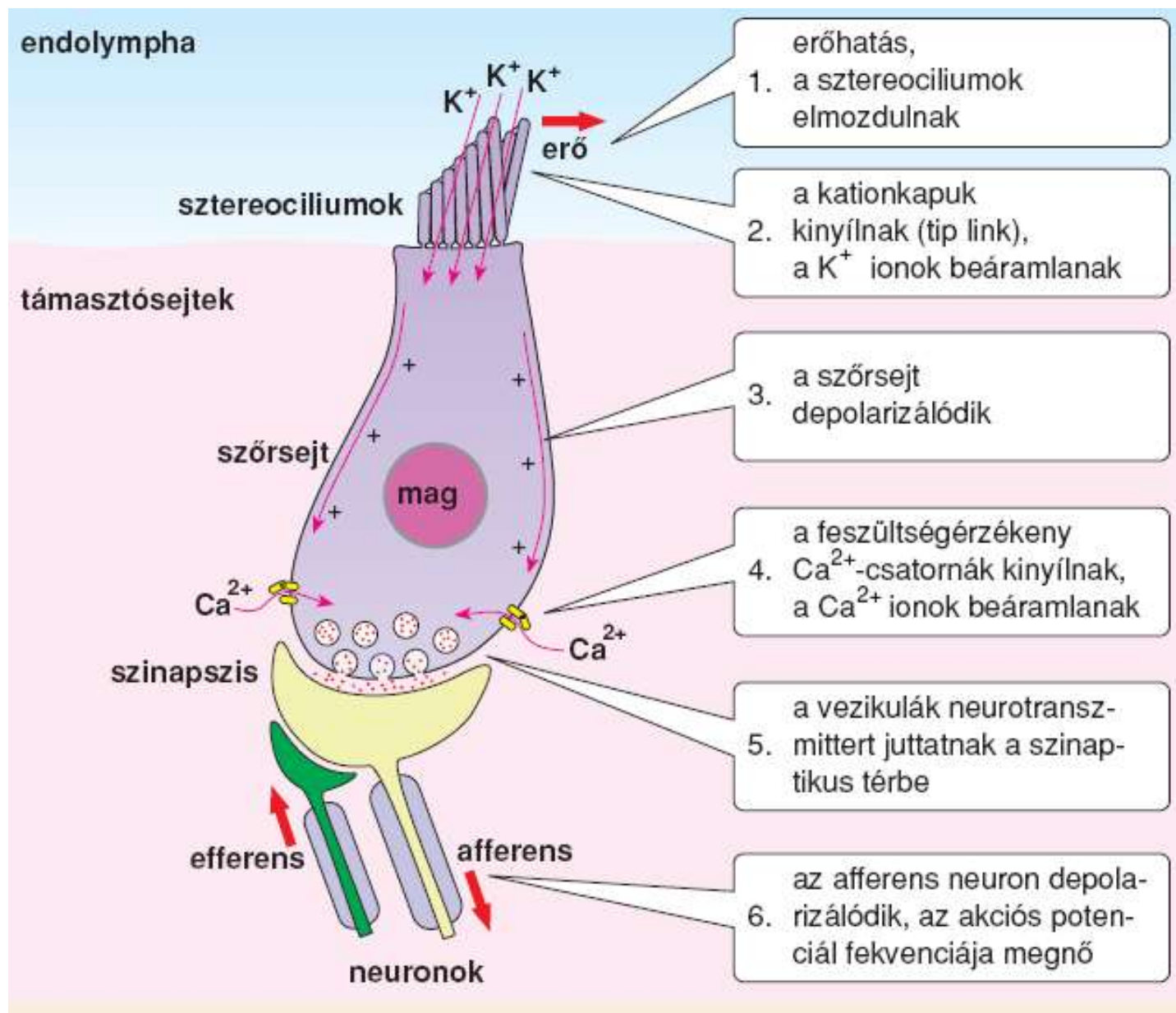
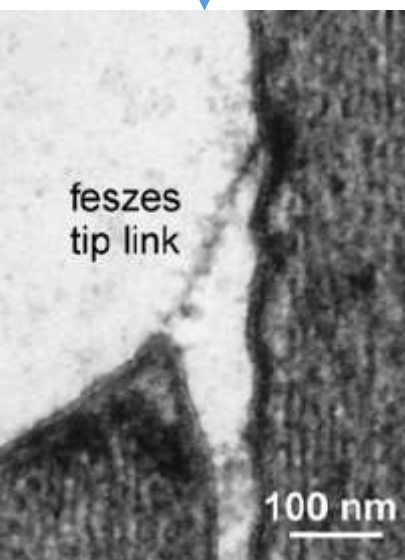


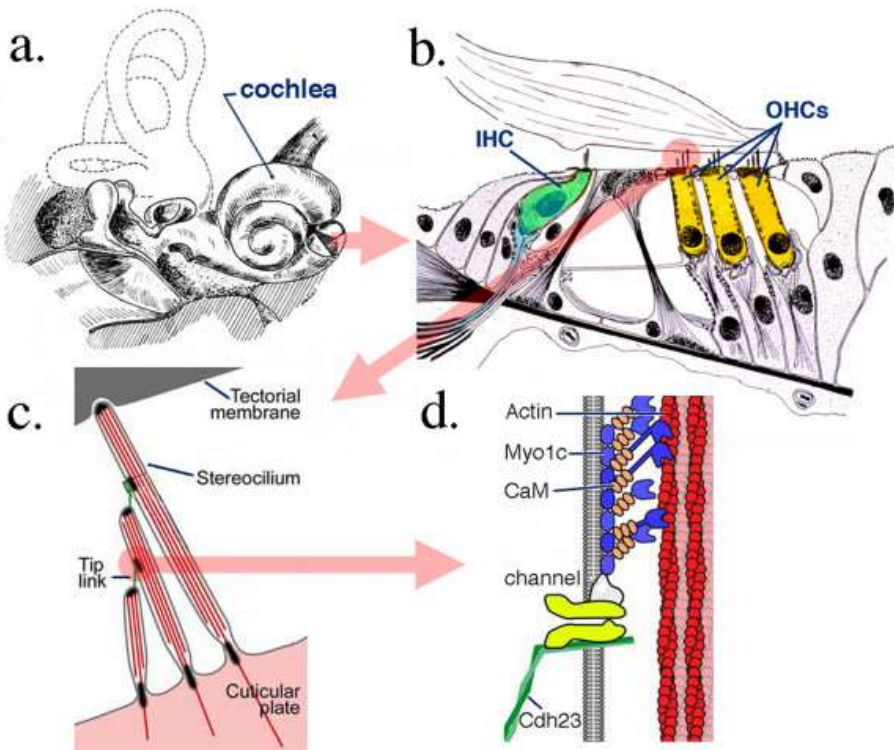


Adapted from Bodmer, 2008



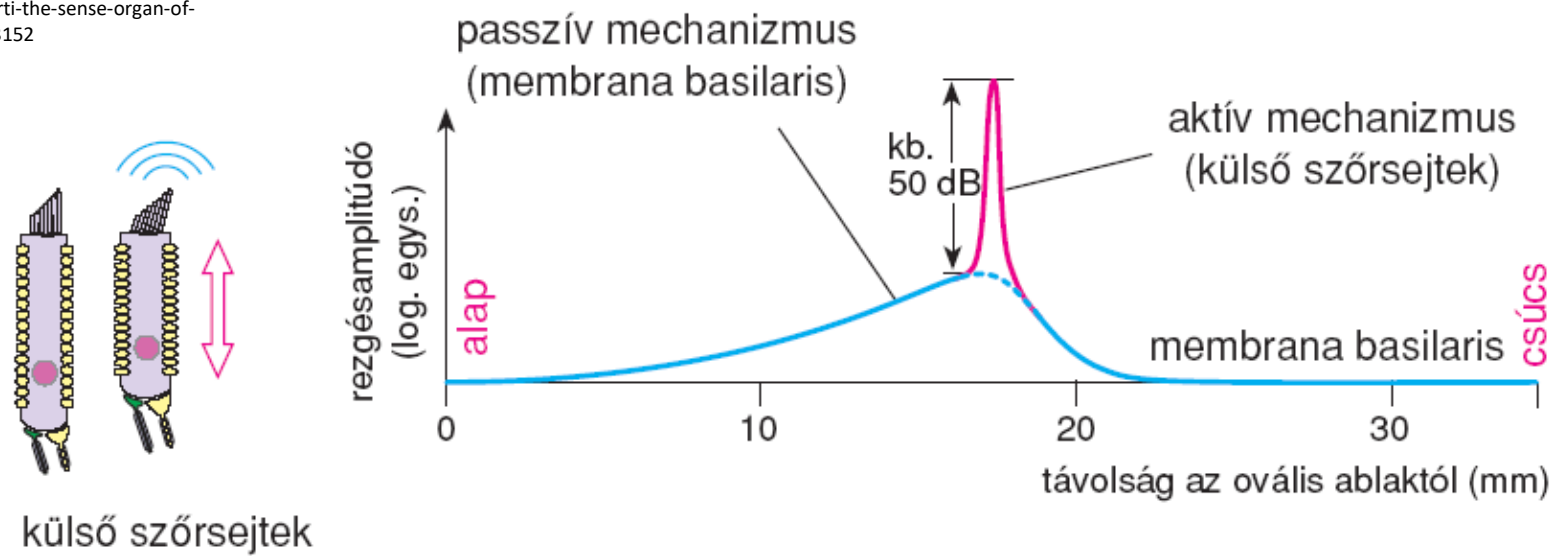
Nyíróerő





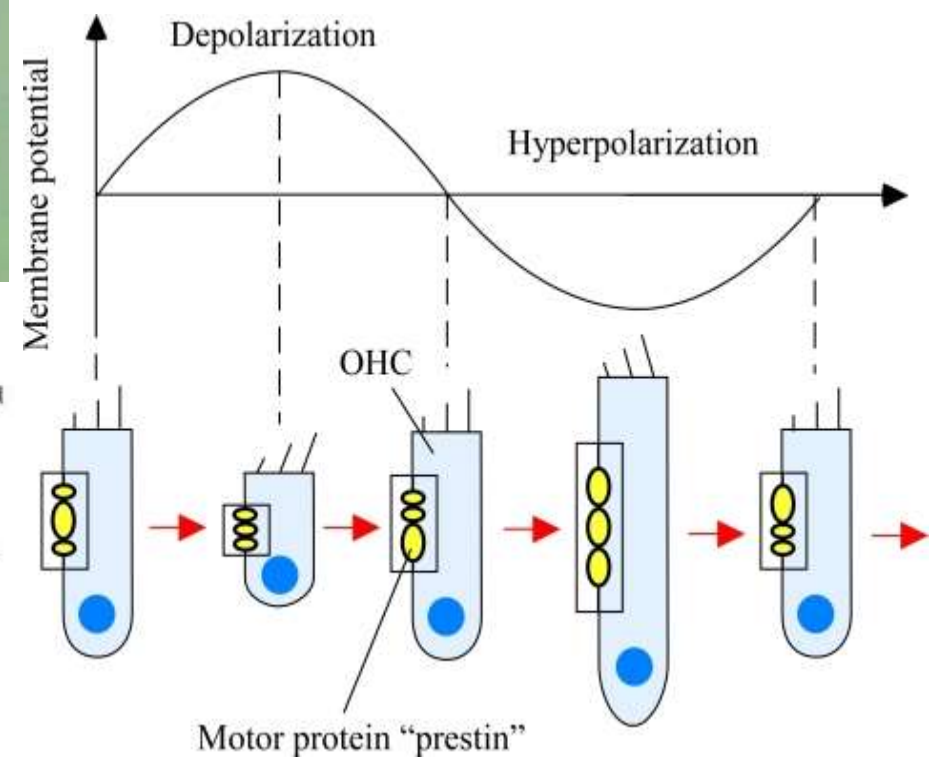
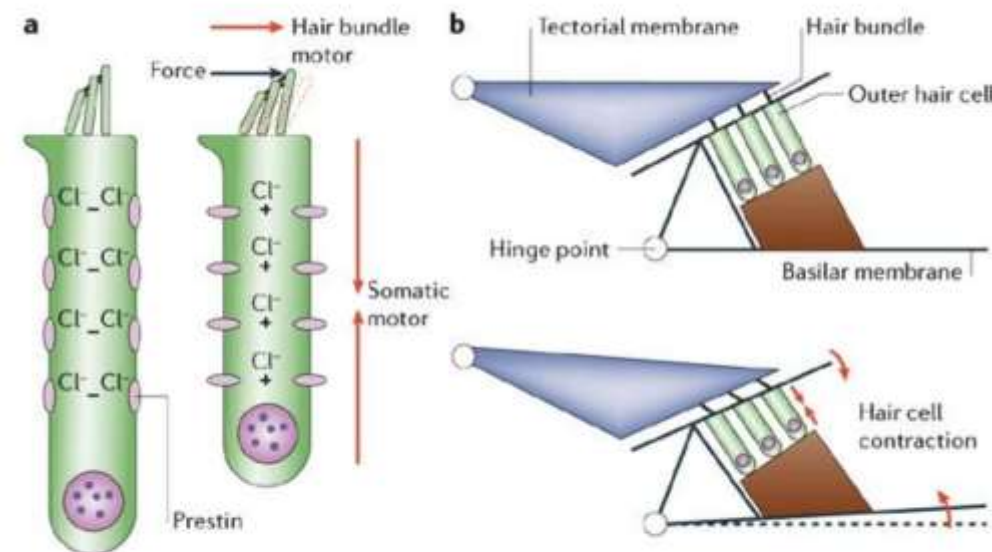
Aktív frekvencia-pontosítás

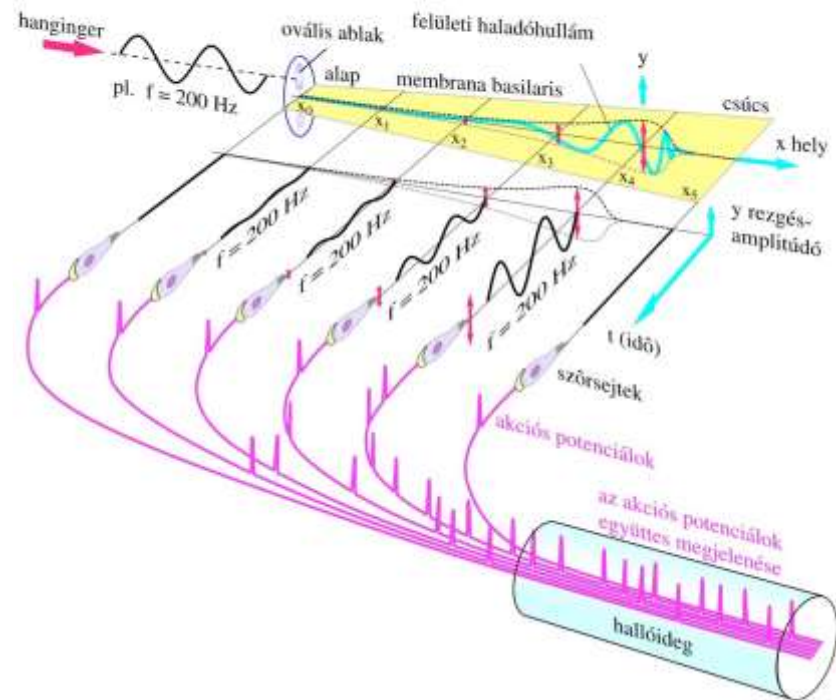
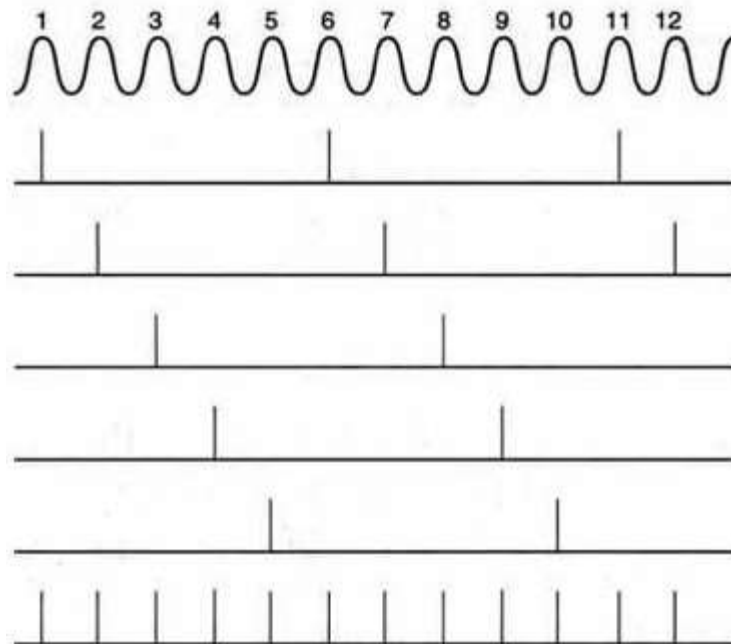
https://www.researchgate.net/figure/Anatomical-details-of-inner-ear-cochlea-and-organ-of-Corti-the-sense-organ-of-mammalian_fig1_215763152





Külső szőrsejtek reakciója AC elektromos ingerre.



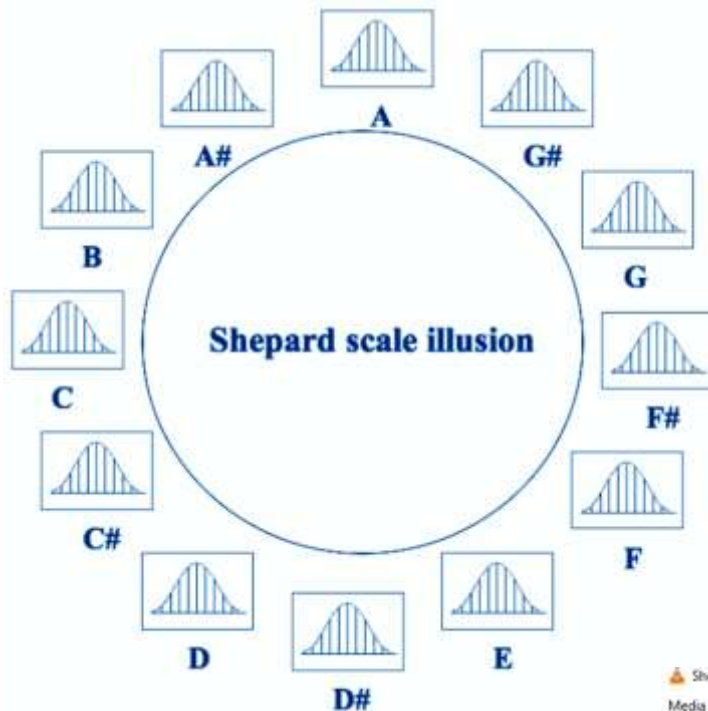


Röplabda-elmélet:
Több idegsejt egyidejű tüzelése

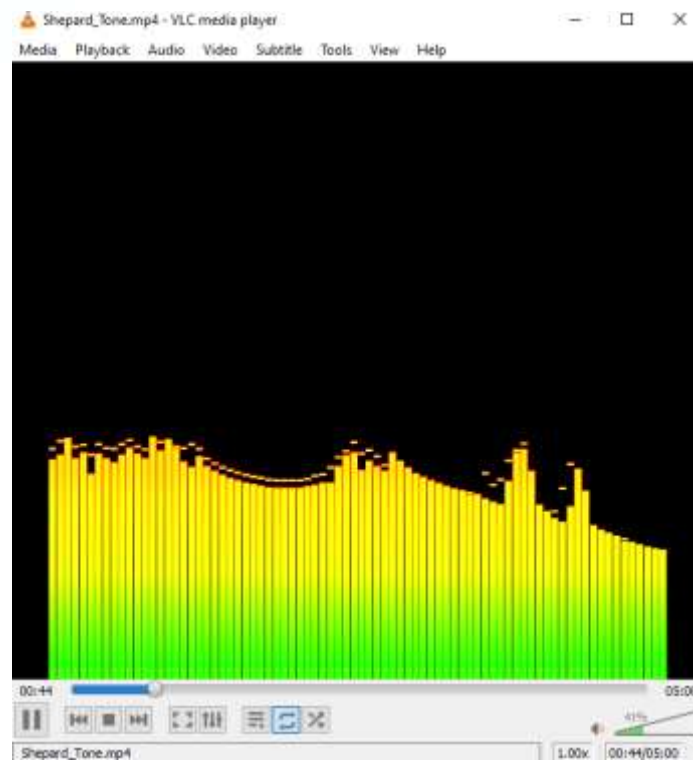
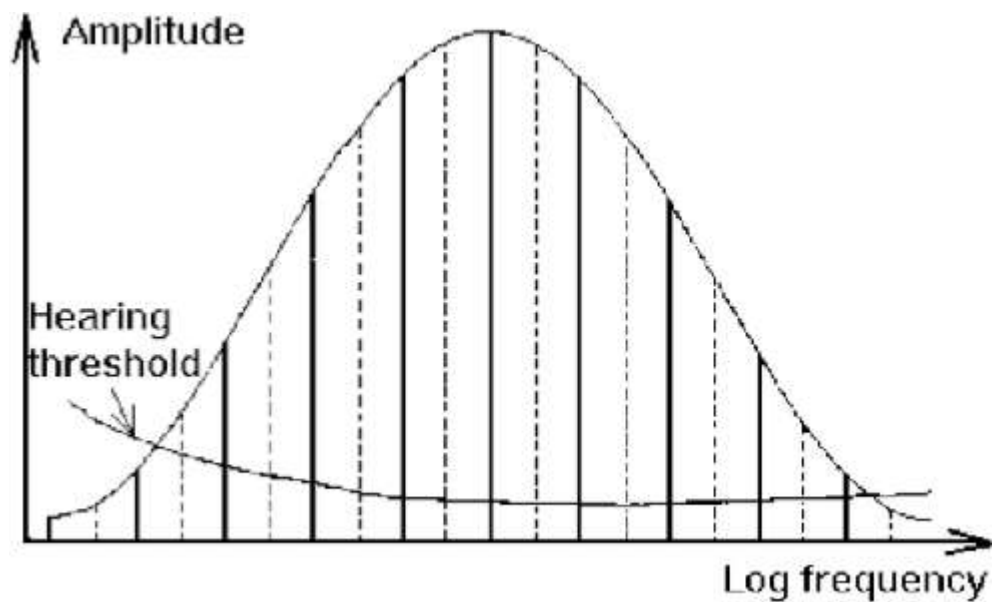
Ezzel összességében nagyobb AP-
frekvencia érhető el.
(egy sejtre max 1kHz az AP-
frekvencia)

Akusztikus csalódások

Shepard-skála



Folyamatosan
emelkedő hangszín
érzetét kelti



A ritmus, és a frekvencia, a térbeli orientáció együtt kerül feldolgozásra



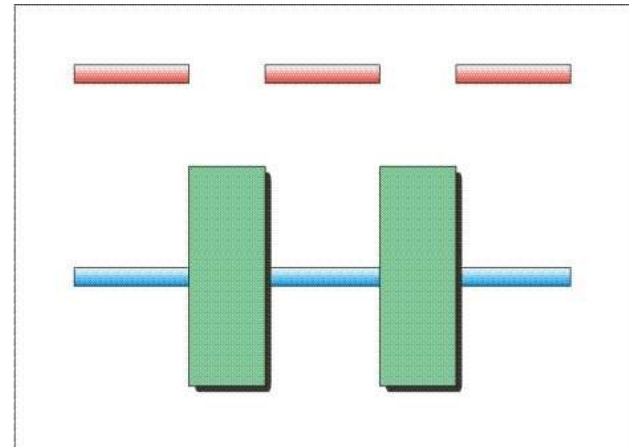
Ritmus: halljuk-e a ritmust?

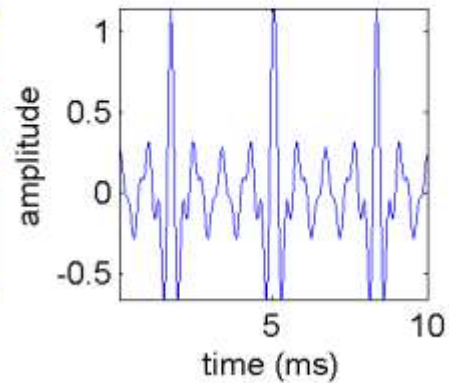
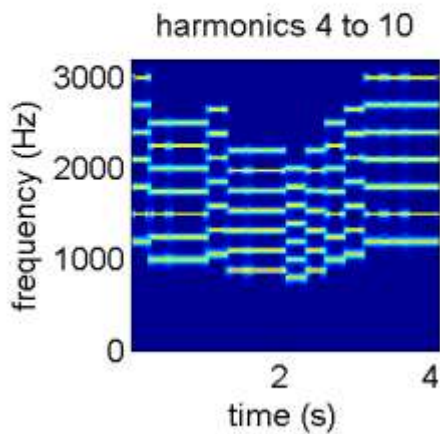
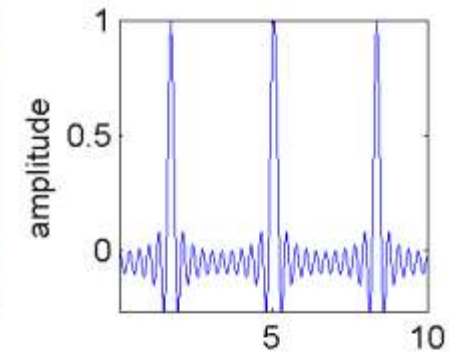
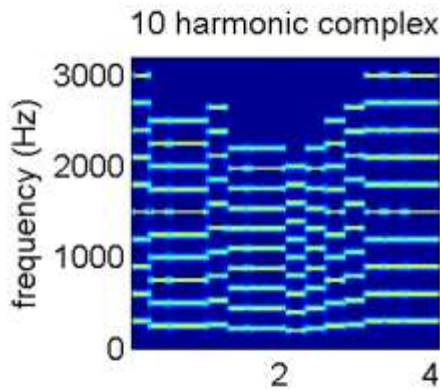
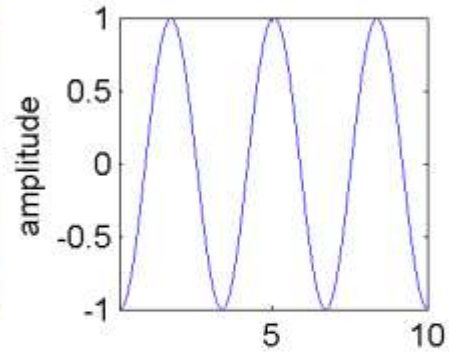
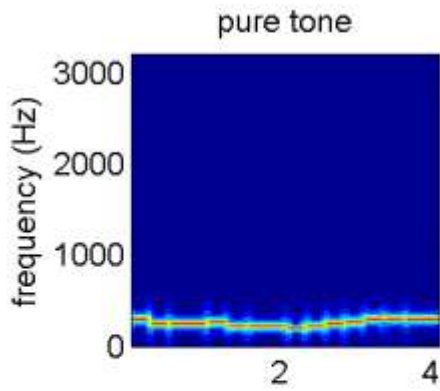
Attól függ a zajok milyen frekvenciájúak.

Az elnyomó zajoknak nem elsősorban a mennyisége számít, hanem az időbeli és spektrális elhelyezkedése



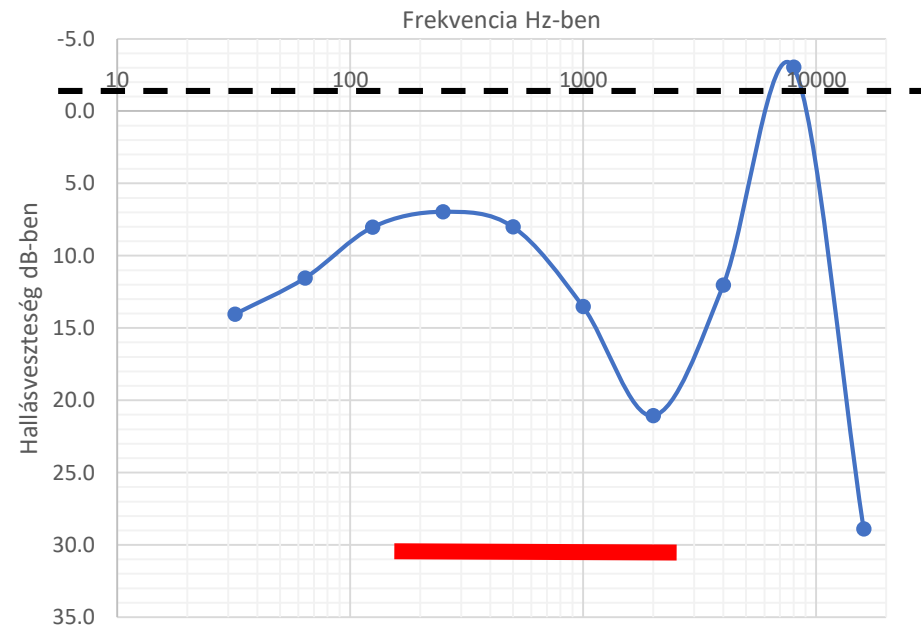
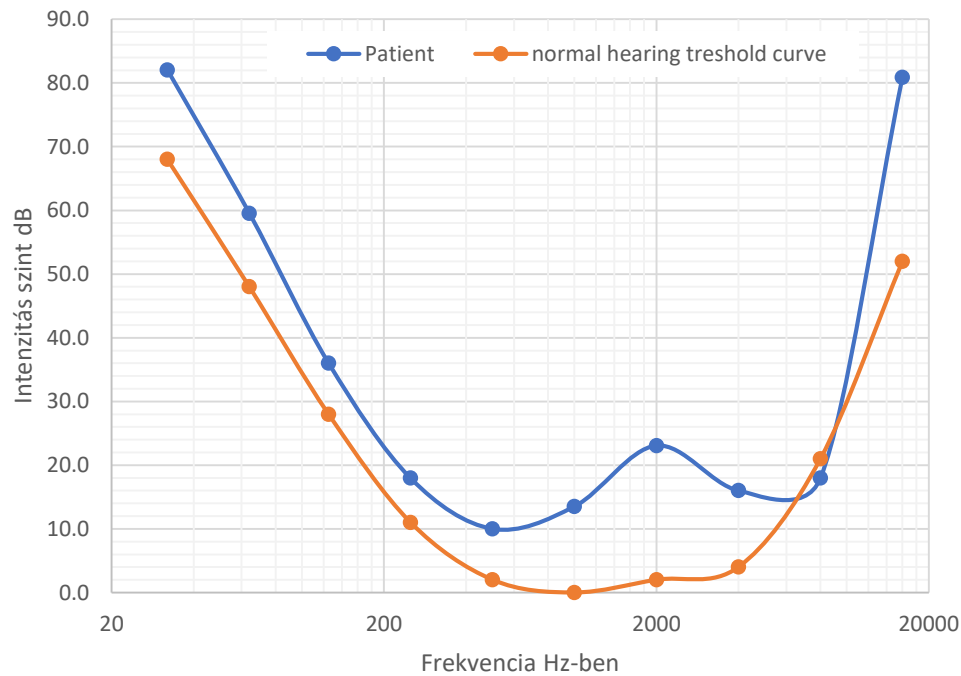
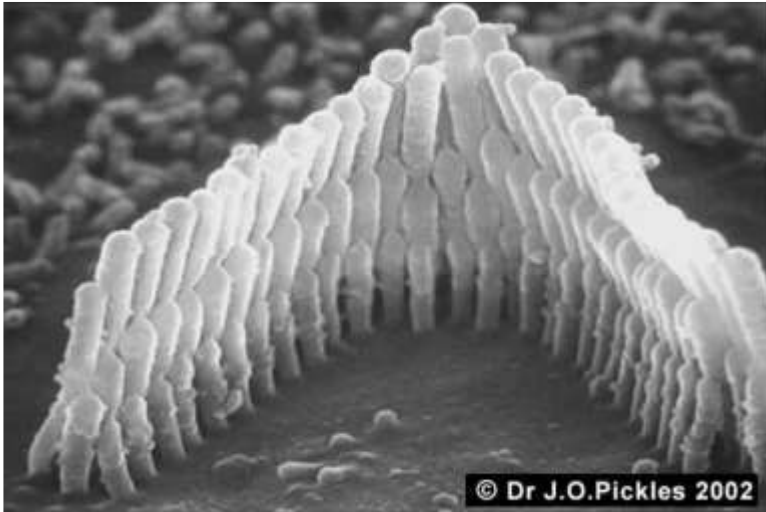
Kiegészíti a hiányzó részeket a feldolgozó rendszer.

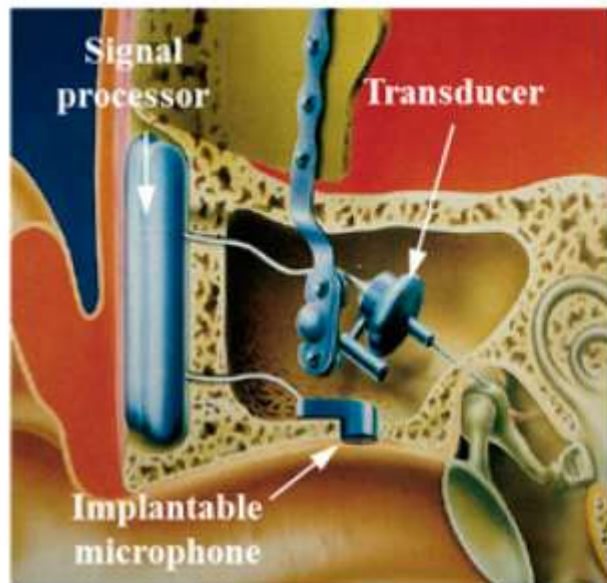




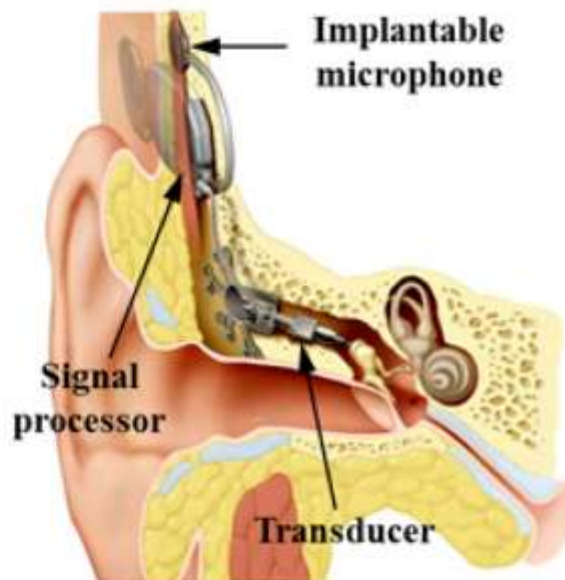
Mégis hallani véljük az alaphangot!

Halláskárosodás

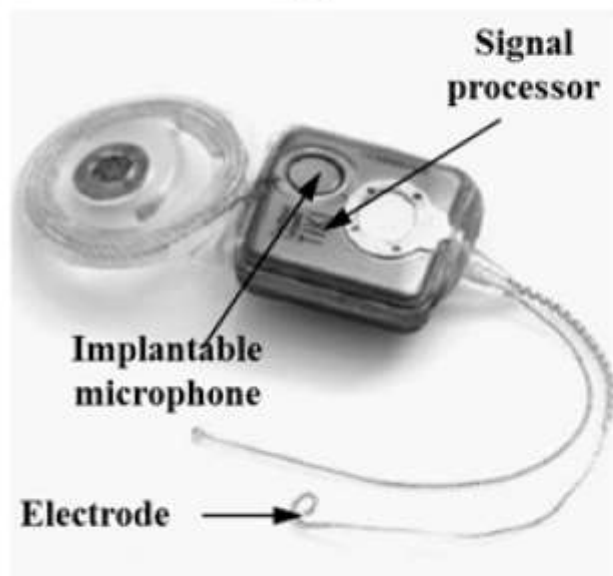




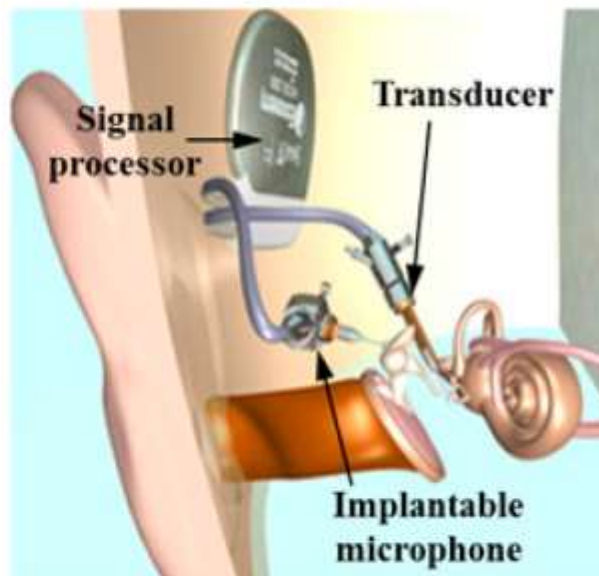
(a)



(b)



(c)



(d)