

Orvosi Fizika

Az érzékszervek biofizikája: a látás

Bari Ferenc

egyetemi tanár

SZTE ÁOK-TTIK Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai
Intézet

Szeged, 2019. november 18.

Látószervünk működése (fizikai alapok)

(tankönyv 309-322 old.)

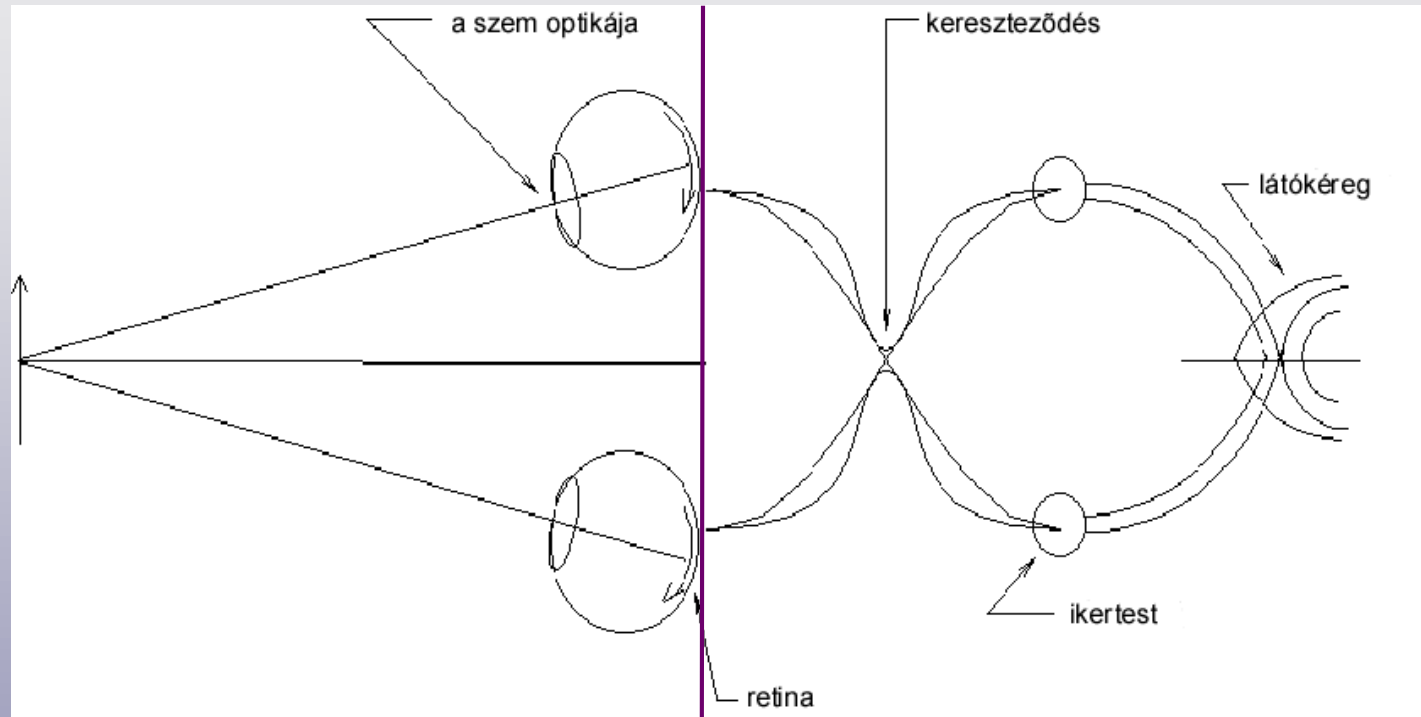
- bemenő optikai rendszer
- fiziológiai - biológiai jelfeldolgozás
- agyi mechanizmusok: pszichológiai jelfeldolgozás
- környezetből származó fény - **inger**, vagy - **stimulus**
- idegi gerjesztések: fény- **érzet**
- feldolgozott információ: fény - **észlelet**

- A szem működése (egyszerűsítve):
 - A szembe érkező fénysugarak 2 helyen törnek meg (nagyon):
 - Szaruhártya
 - Lencse- több átmenet van
 - Áthaladnak az üvegtesten
 - Retinára érkeznek, ahol kicsinyített fordított állású kép keletkezik
 - A fényt a receptorok detektálják
 - biológiai erősítőn halad át- az idegi elemek ingerületbe jönnek- előzetes jelfeldolgozás a retinán
 - A már kódolt ingerületet átveszik további idegsejtek és látóidegként kilépnek
 - A látóideg részlegesen átkereszteződik
 - Thalamusban átkapcsolódik
 - Látópályaként jut az agykéreg nyakszirtlebenyébe

Látószervünk működése, 2

- a szem leképező mechanizmusa (részletesen lsd. 3. gyakorlat és a hozzá tartozó jegyzet)
- **retina: csapok és pálcikák: a fényinger ideg ingerületté való alakítása**
- az agy felé továbbítandó ingerületek kialakulása a retinában
- idegpályák mechanizmusa
- agyi feldolgozás: észlelet kialakulása
 - a mentális kép összetevői: forma, mozgás, szín információk
 - asszociációk kialakulása: tárgy (pl. betűkép) azonosítása

Az emberi látórendszer felépítése - sematikus ábra



Két (nem identikus) kép keletkezik - ezekből 1 kép lesz (térlátás)

Ennek a résznek a fizikájáról lesz szó!

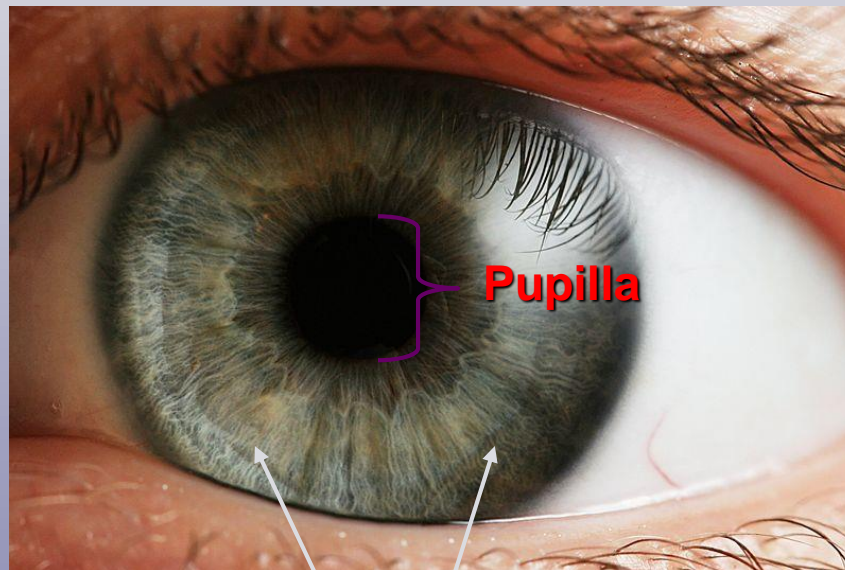
(ennek is van!!!)

A pupilla szabályozza a szembe jutó fény mennyiségét

- *Fény adaptáció:* a környezeti fényűrűséghez való igazodás, pupilla átmérő csökken a növekvő fényűrűséggel: 8 ... 2 mm
- *látóélesség* nő növekvő fényűrűséggel, csökkenő pupilla átmérővel
- a pupilla átmérő változási sebessége fényűrűség irány változásának függvénye

Fényerősség (I_v): kandela (cd)
SI alapegység

A fényűrűség értékét úgy kapjuk meg, ha egy fényforrás fényerősségi értékét elosztjuk a mérési távolságból mért megvilágítandó felülettel. Vonatkozhat fényforrásra és megvilágított felületre is. A relatív fényűrűség-különbséget a kontraszt



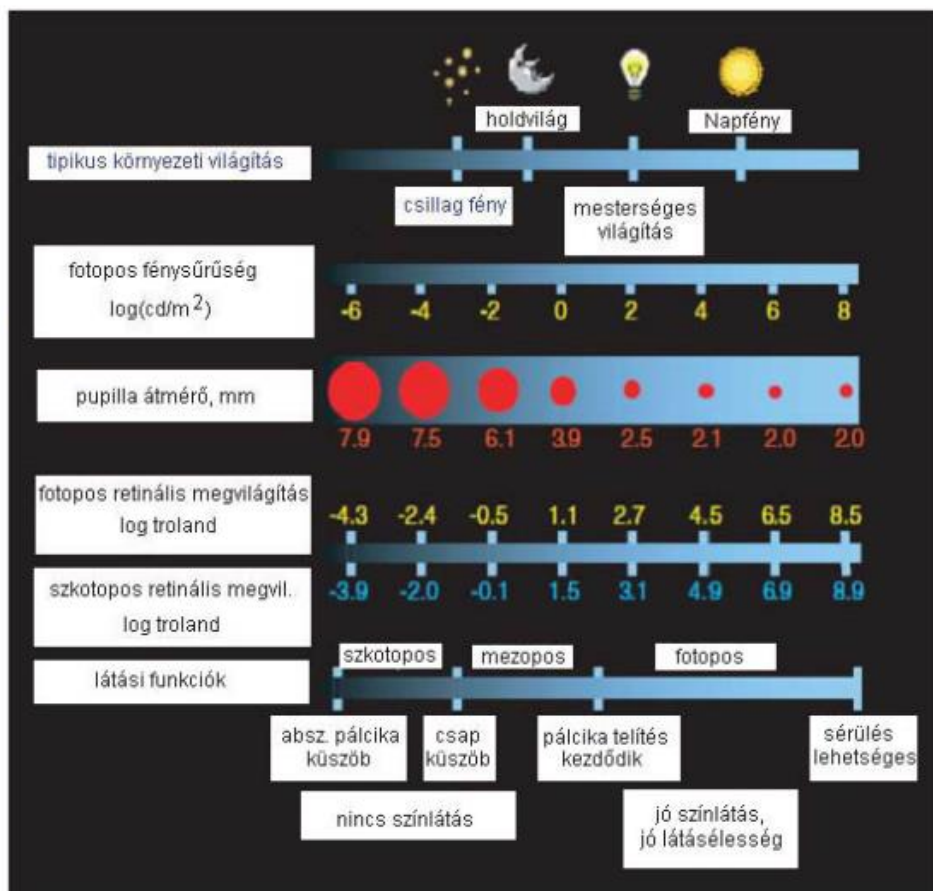
Petr Novák, Wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Eye_iris.jpg

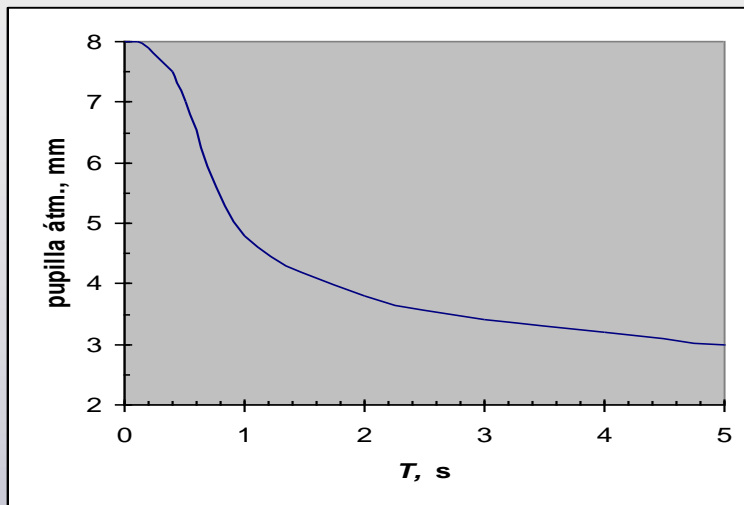
Iris

A megvilágítás/látás összefüggései

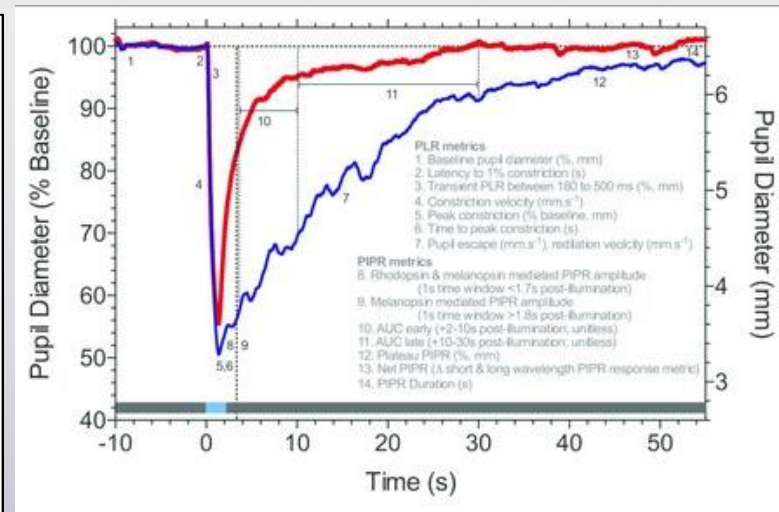
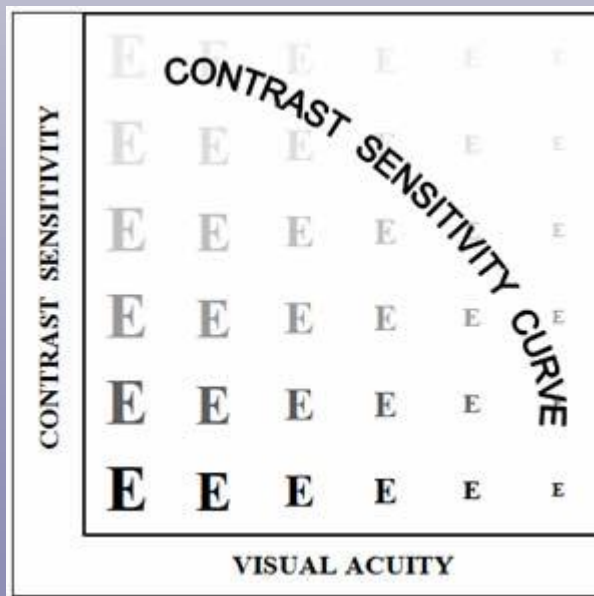
- ~(néhány) 5 cd/m^2 –
(10^{-2}) $5 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$
- Mind a csapok, mind a pálcikák aktívak ebben a fénysűrűségi tartományban
- Tipikus feladatok: vasútvilágítás, éjszakai vezetés, közvilágítás, légi irányítás...



A pupilla átmérő változása

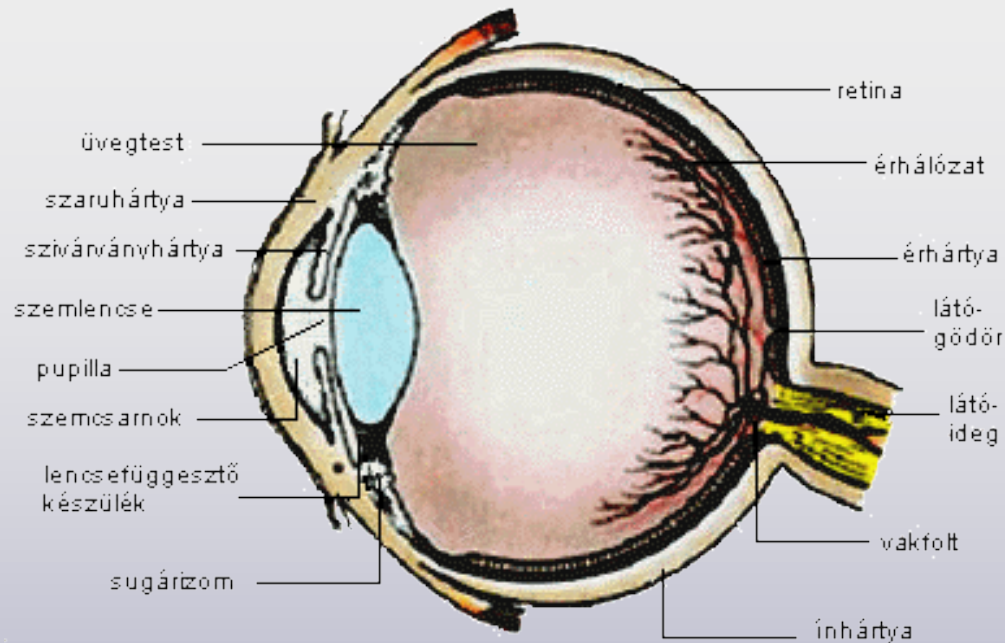


Pupilla átmérő változása: sötétből-világosba (300 cd/m^2)



Pupilla átmérő relatív változása: világosból sötétbe (azonos- piros és ellenoldali -kék) való adaptáció esetén

A látásban nagyság és kontraszt érzékelés van



A lencse

A szemlencse fizikája:

törőképesség változásai (a görbület változik)

akkomodáció mechanizmusa (lencse függesztő rostok)

életkorfüggőség, presbyopia,

cataracta (a lencse fényáteresztő képessége változik meg)

**A szem belső nyomása (meghatározza az alakját)
(Intraocularis nyomás)**

értéke: 10-16 Hgmm,

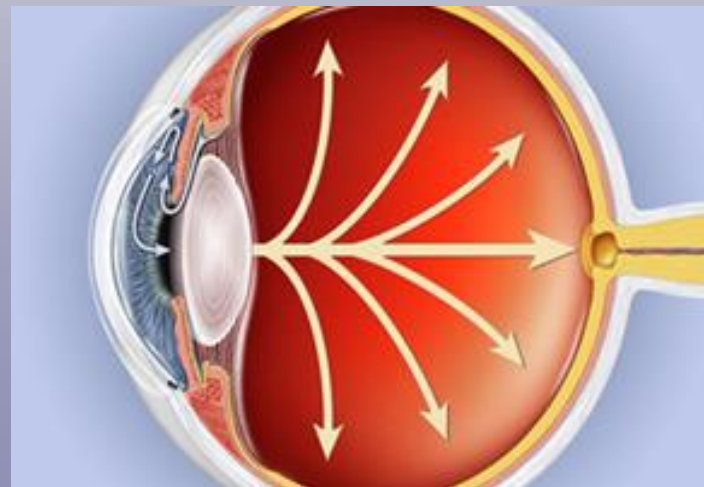
mérése –a szemgolyó behorpaszthatósága

a csarnokvíz keringése

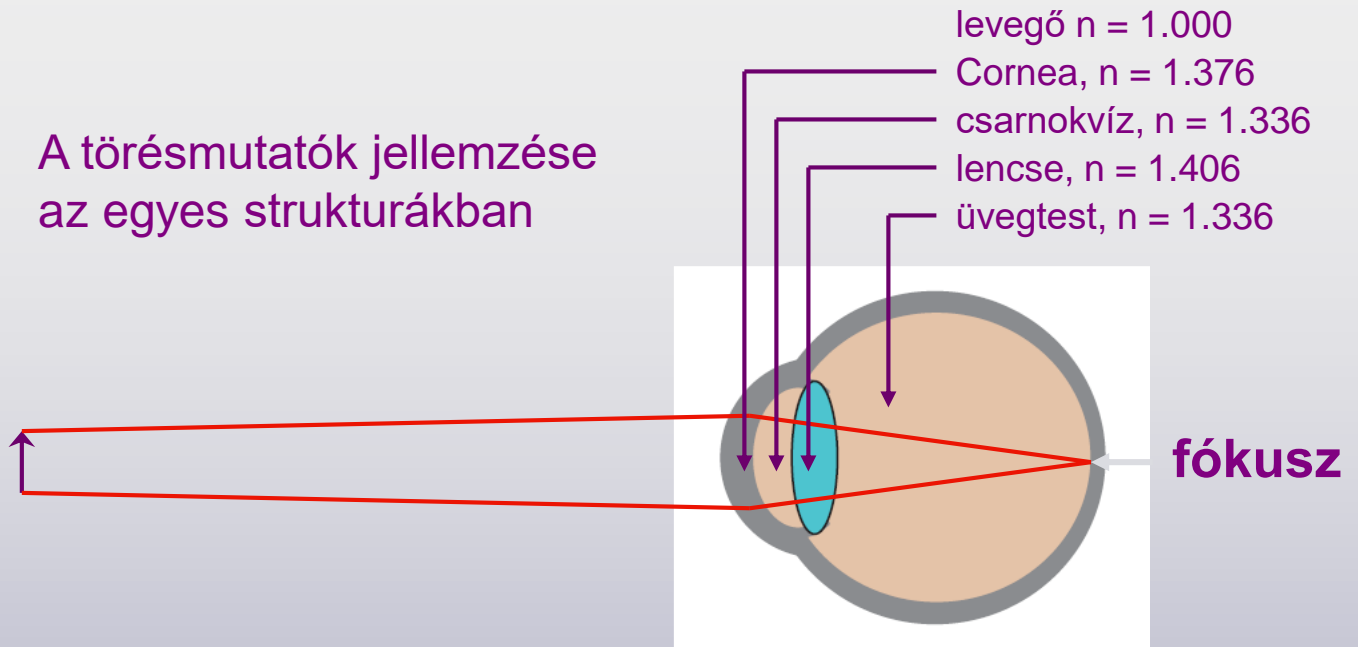
a pupilla szerepe a csarnokvíz elfolyásában

krónikus belnyomás emelkedés

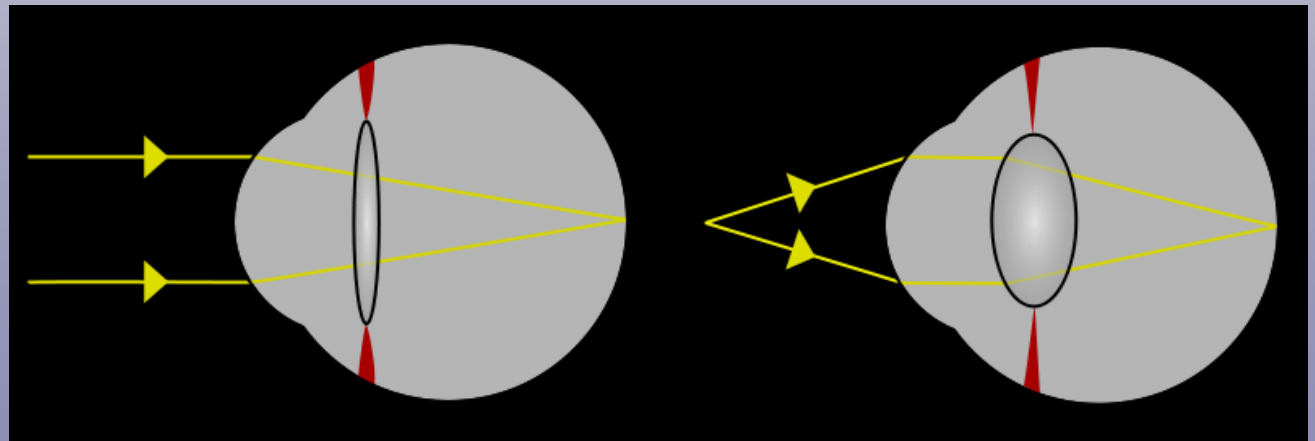
glaucoma (zöldhályog) – egyik fajtája



A törésmutatók jellemzése az egyes struktúrákban



Akkomodáció



Gullstrand model alapján meghatározott alapvető paraméterek

Allvar Gullstrand

1852 – 1930

Nobel Award – 1911

Swedish ophthalmologist



❖ törésmutató:

| | |
|---------------------|-------|
| cornea..... | 1.376 |
| aqueous humour..... | 1.336 |
| lencse..... | 1.413 |
| üvegtest | 1.336 |

❖ Törőerők:

| | |
|--------------------------------|--------|
| cornea | 42.7 D |
| lencse – a szembelsejében..... | 21.7 D |
| teljes szem | 60.5 D |

❖ Görbületi sugarak:

| | |
|-------------------------|---------|
| cornea | 7.8 mm |
| lencse – külső fal..... | 10.0 mm |
| lencse – belső fal..... | -6.0 mm |

❖ Fókuszok lokalizációja:

(a corneától mérve) :

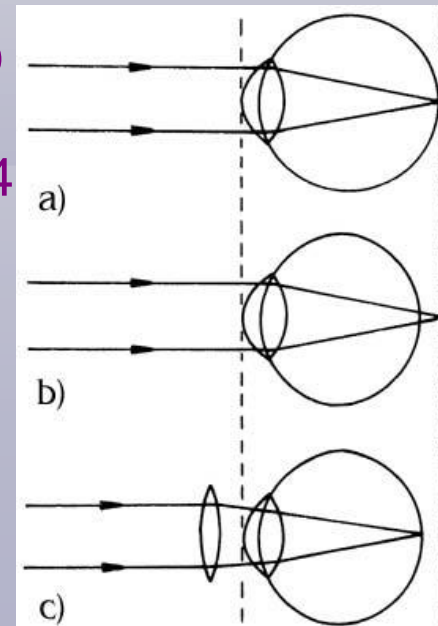
| | |
|---------------------------|-----------|
| front (object) focus..... | -14.99 mm |
| back (image) focus | 23.90 mm |
| retinae location..... | 23.90 mm |

A szem akkomodációs képessége

- Mekkora az a fókusz-távolság, amely változik az egészséges szem akkomodációja során?
- $P_{\text{akkomodáció}} = P_{\text{távolpont}} - P_{\text{közelpont}}$
- $P = 1/f$
- $1/f = 1/d_{\text{tárgy}} + 1/d_{\text{kép}}$
 - A képtávolság a szem átmérője (lencse - retina) = 2 cm
- $1/f_{\text{távolpont}} = 1/d_{\text{tárgy}} + 1/d_{\text{kép}}$
 $P_{\text{távolpont}} = 1/\text{végtelen} + 1/0.02 = 0 + 50 = 50 \text{ D}$
- $1/f_{\text{közelpont}} = 1/d_{\text{tárgy}} + 1/d_{\text{kép}}$
 - $P_{\text{near point}} = 1/0.25 + 1/0.02 = 4 + 50 = 54 \text{ D}$

$$P_{\text{akkomodáció}} = P_{\text{távolpont}} - P_{\text{közelpont}} = 50 \text{ D} - 54 \text{ D} = 4$$

Ha elvesz a képesség- lencsével korrigálható



Látótér

(Átismételni a poláris koordinátákat)

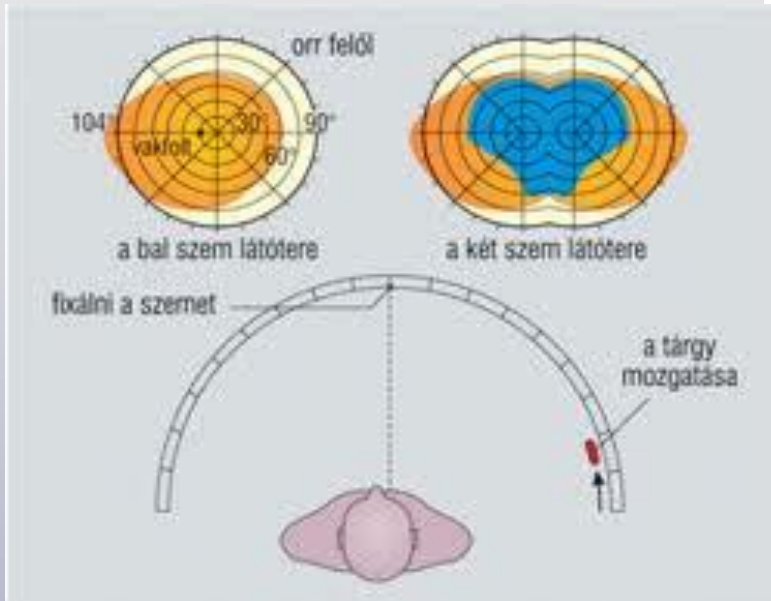
látótérvizsgálat : a beteg látóterének egyes részei milyen erősségű fényt képesek érzékelni-

statikus perimetria : előre kiválasztott pontokban mérjük meg a látótér érzékenységét

kinetikus perimetria: ismert méretű és intenzitású jelet mozgatunk a periféria felől a látótér centruma felé

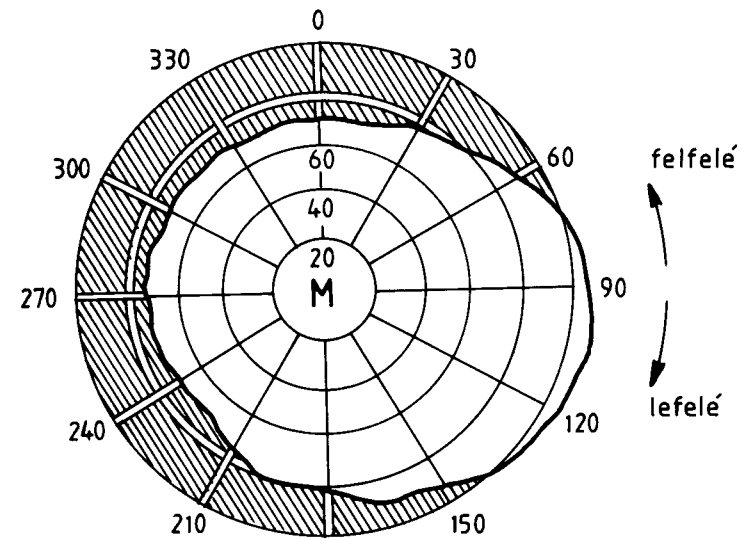
Jelentősége: zöldhályog (glaukóma) diagnosztikájában és gondozásában, valamint neurooftalmológiai betegségekben

Egy szemmel (jobb)

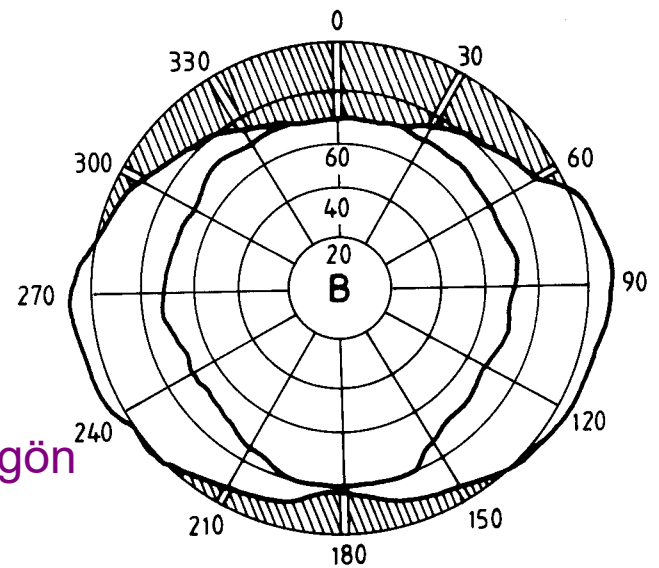


Két szem esetén

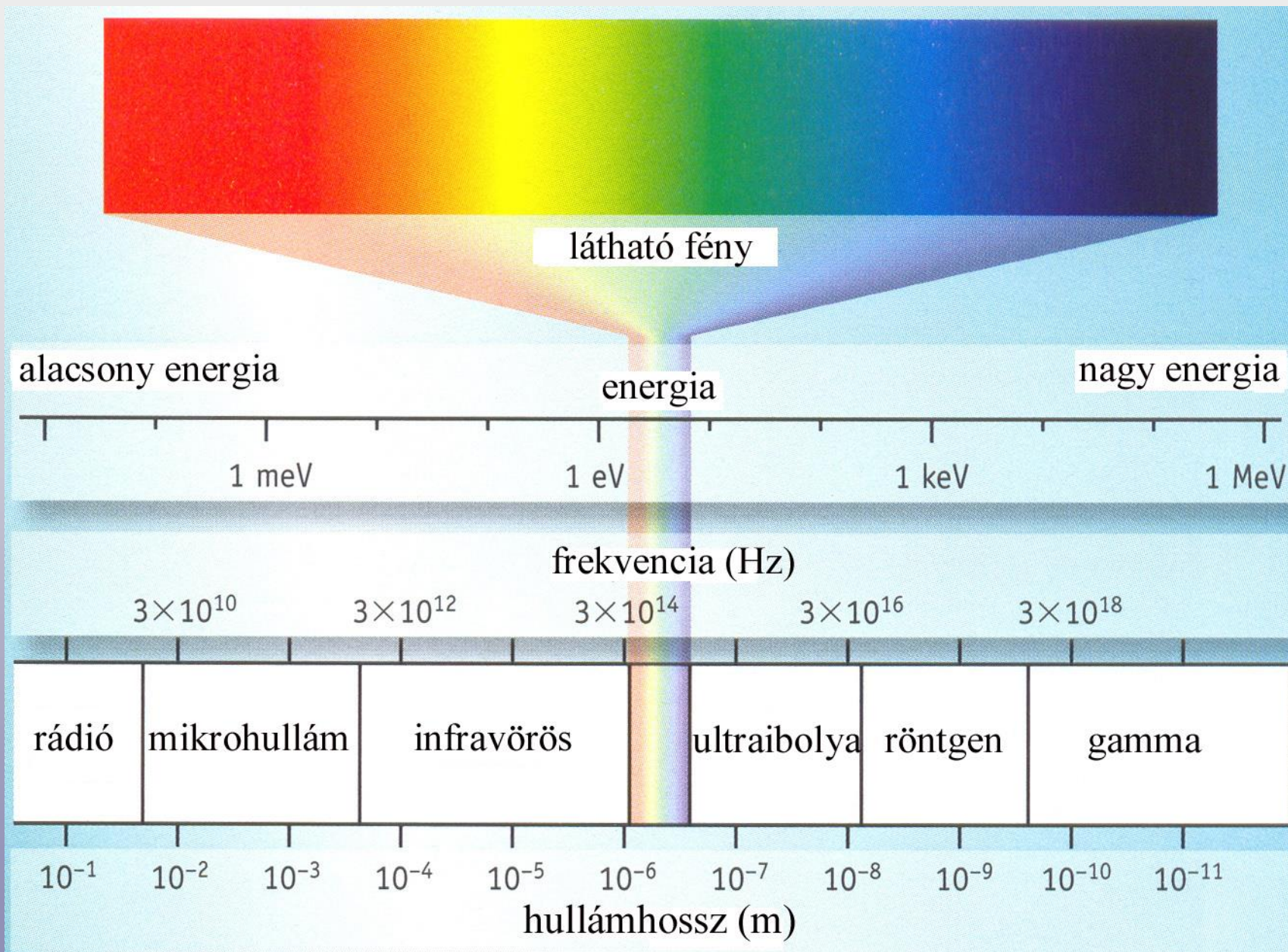
A legélesebb kép a látómező 2-30° kúp szögön belül.



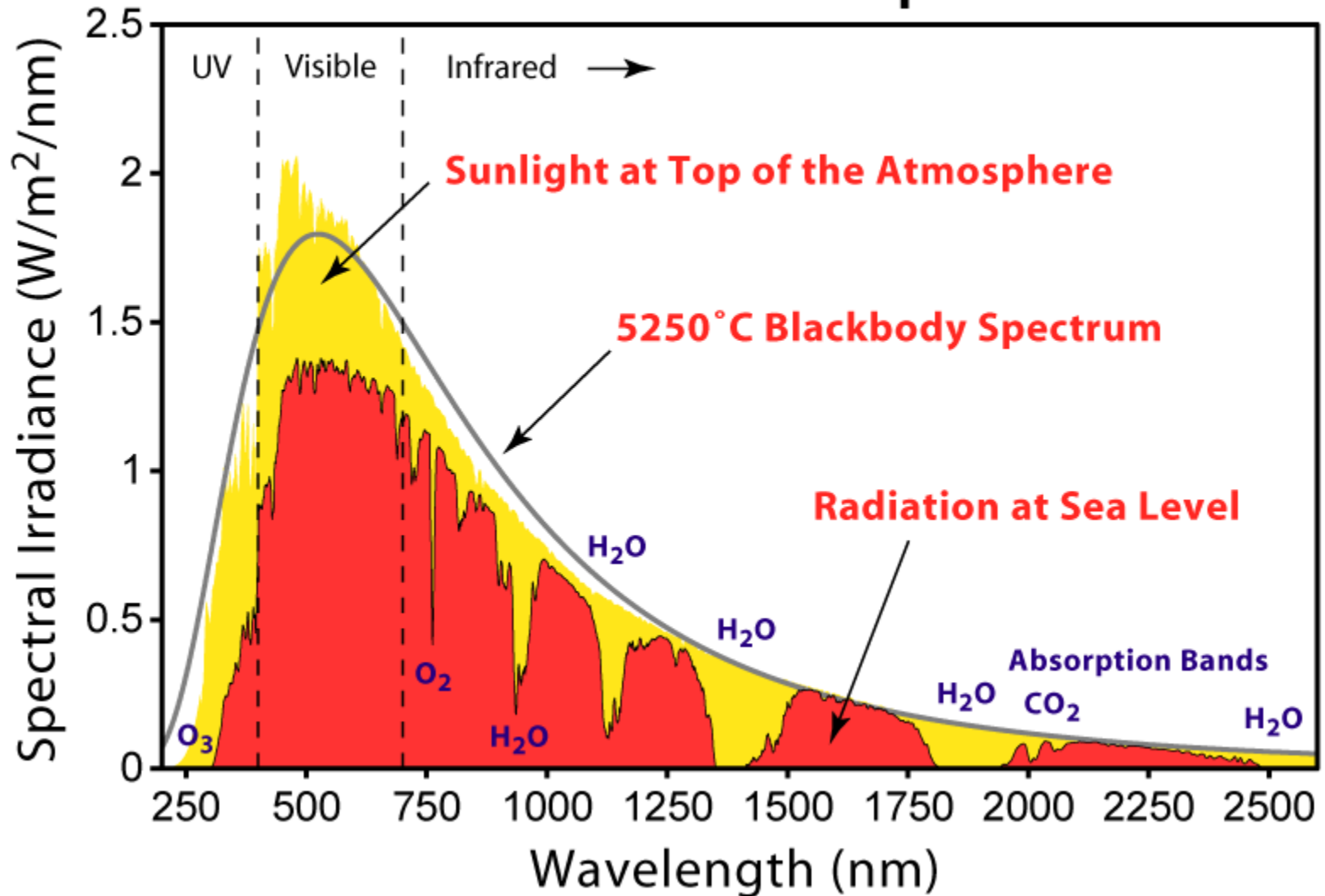
a)



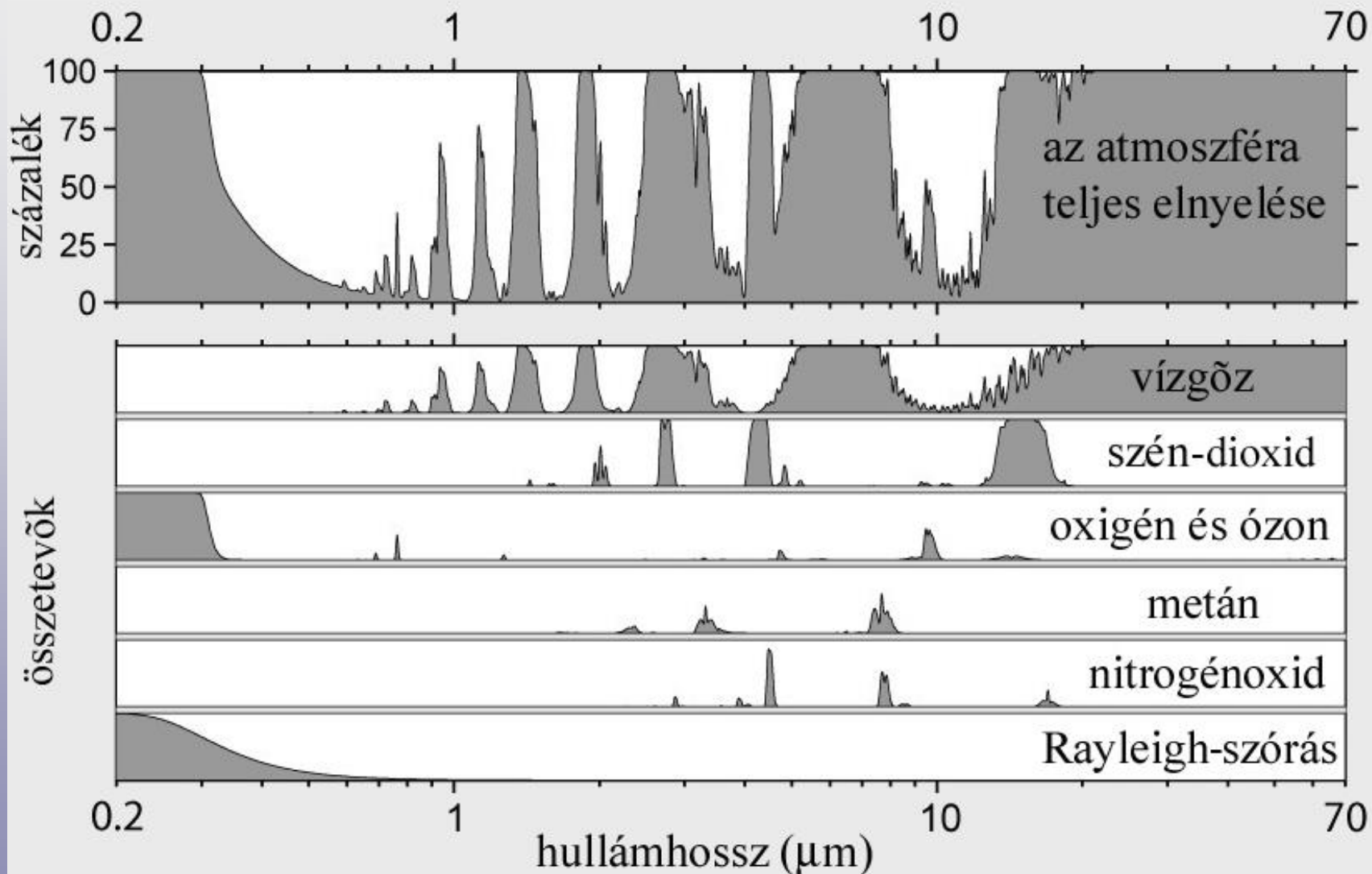
b)

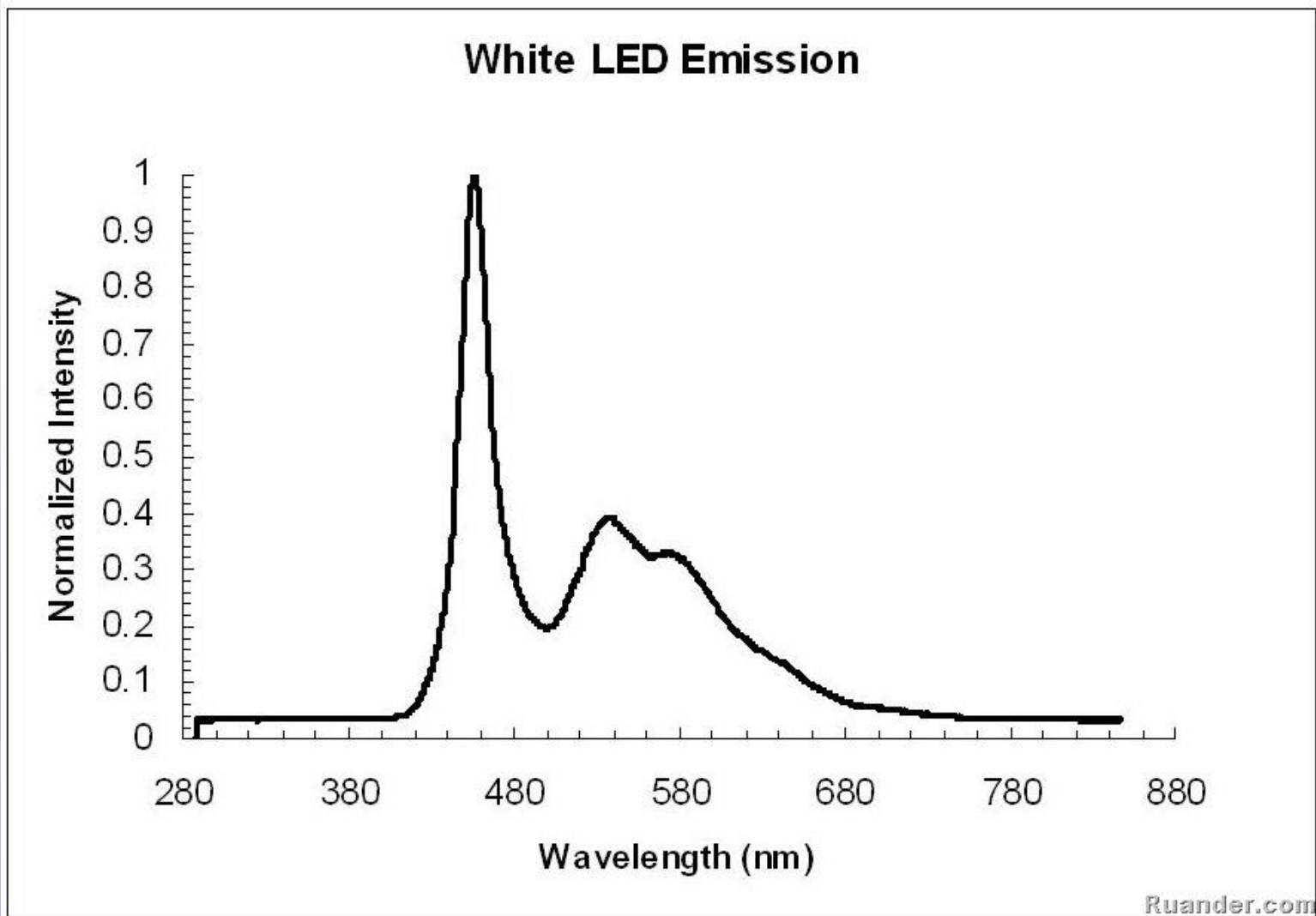


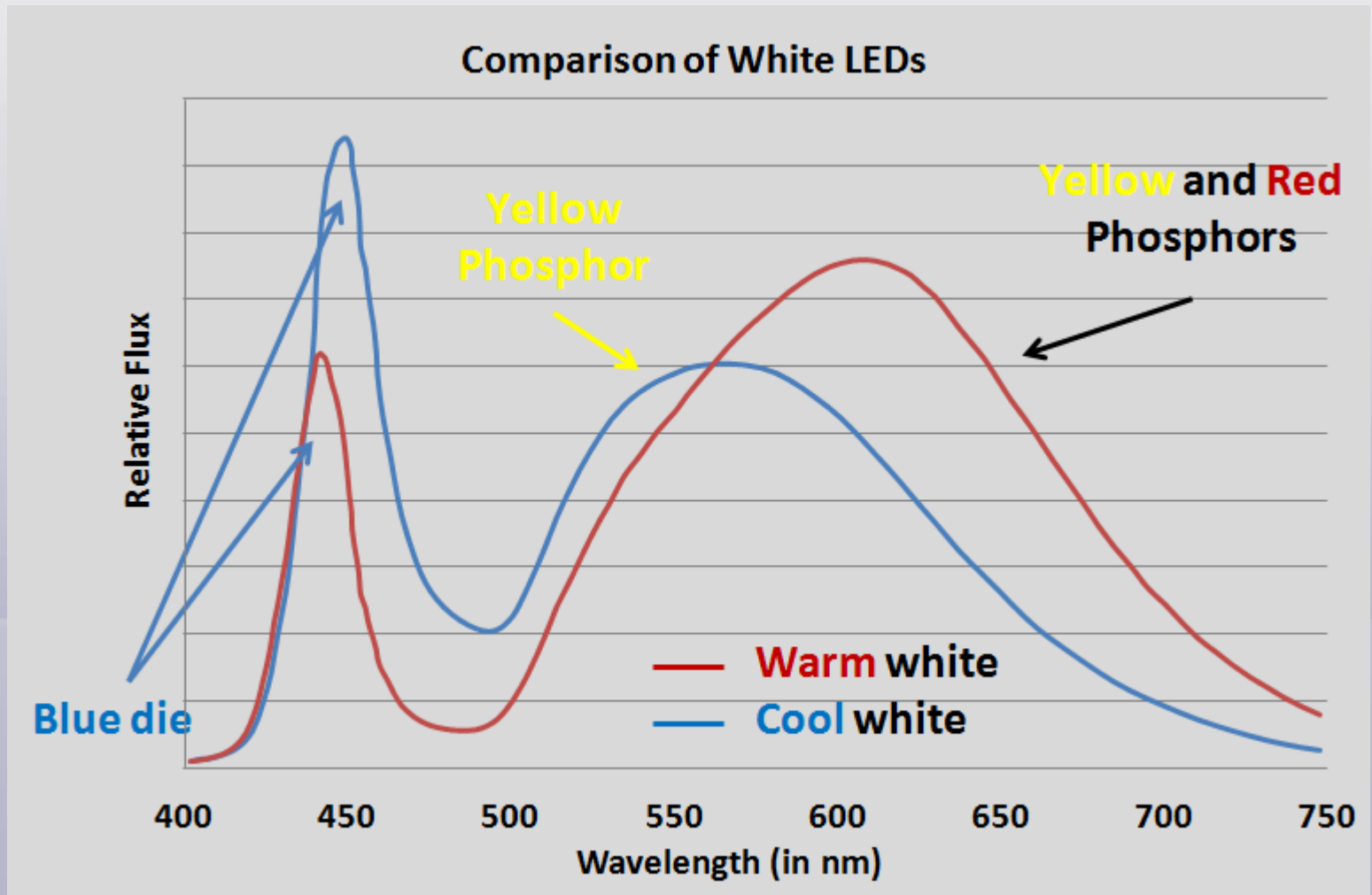
Solar Radiation Spectrum

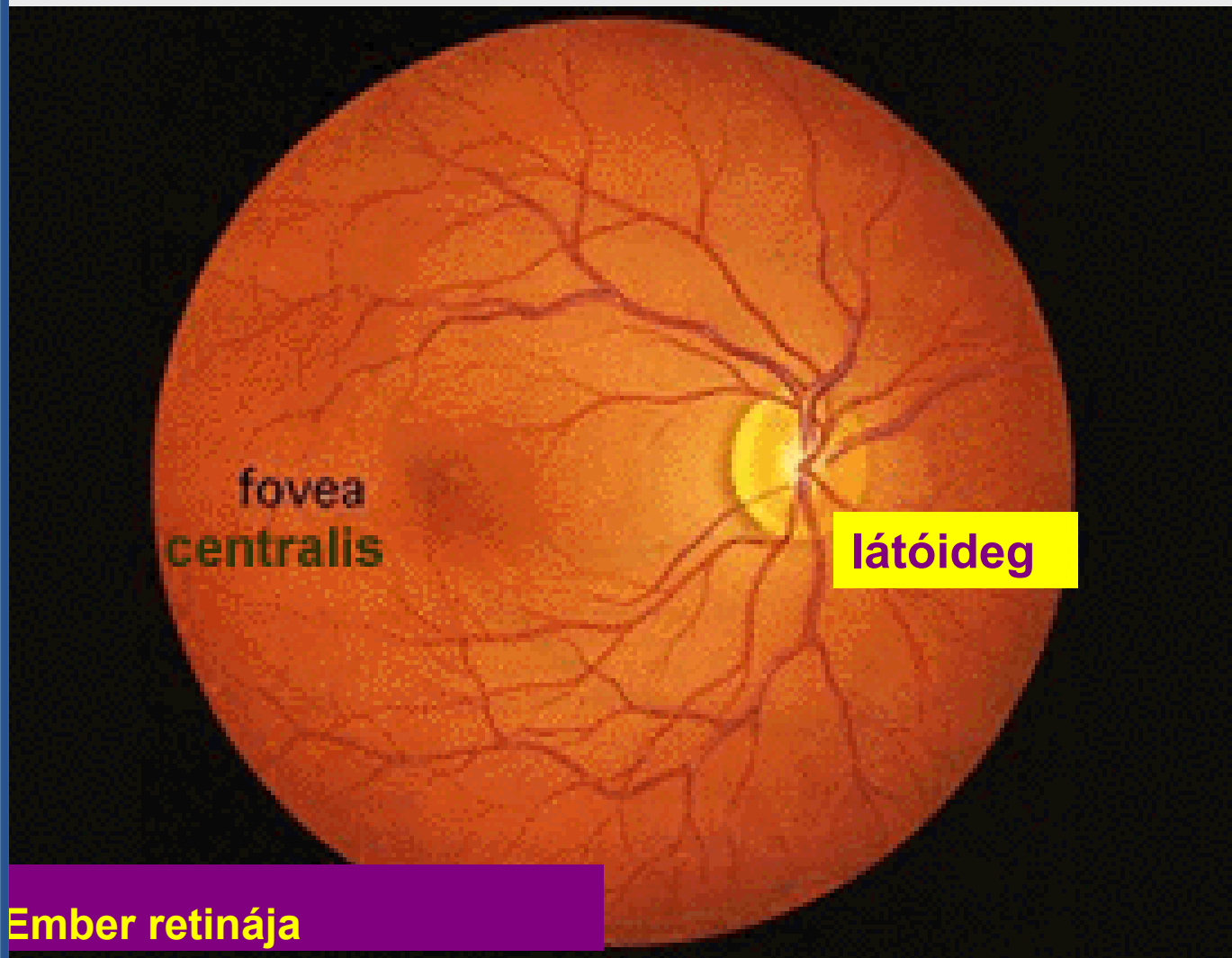


Fényelnyelés a földi légkörben







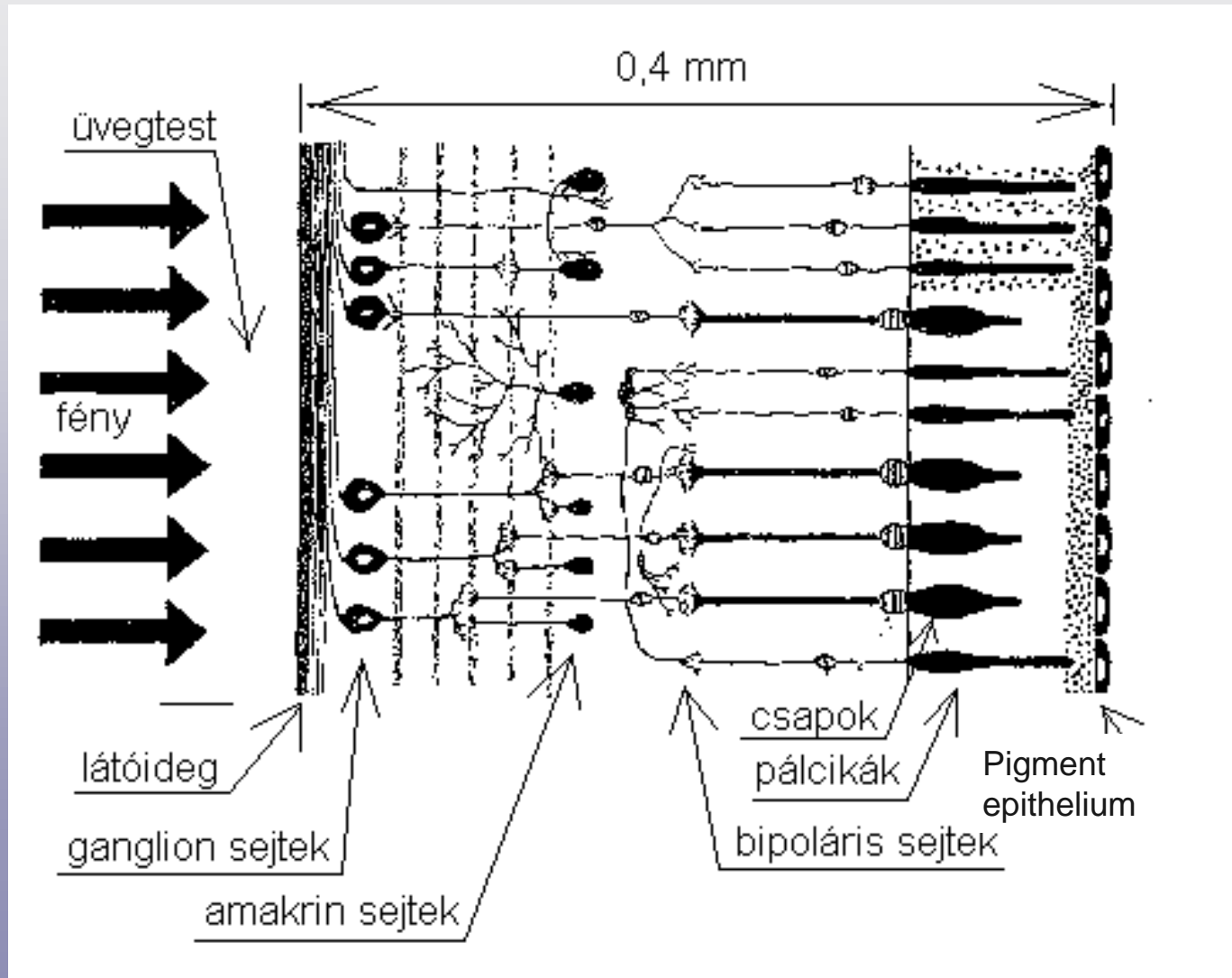


fovea
centralis

látóideg

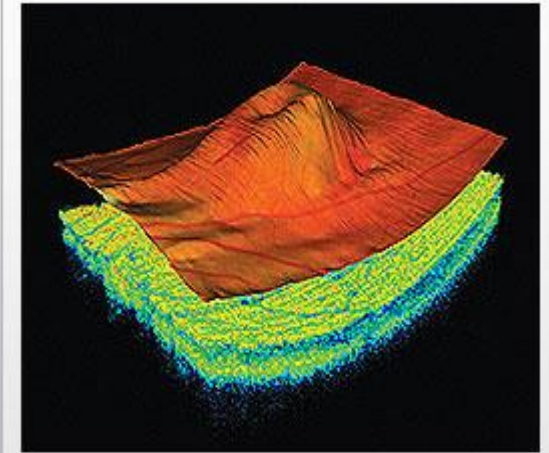
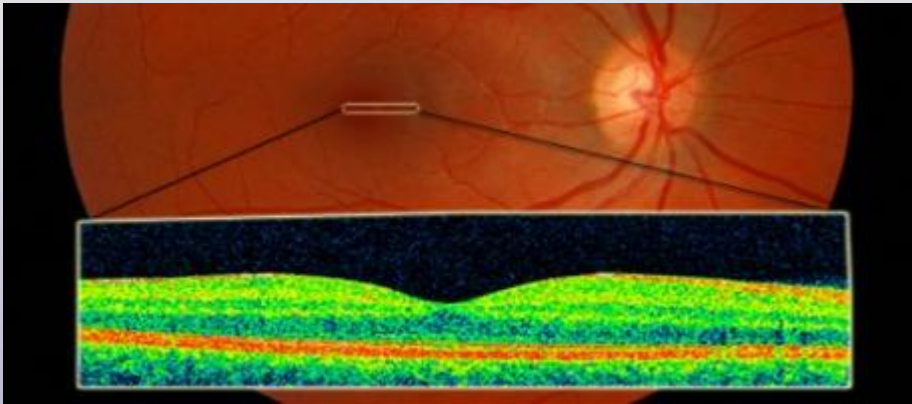
Ember retinája

A retina szerkezete

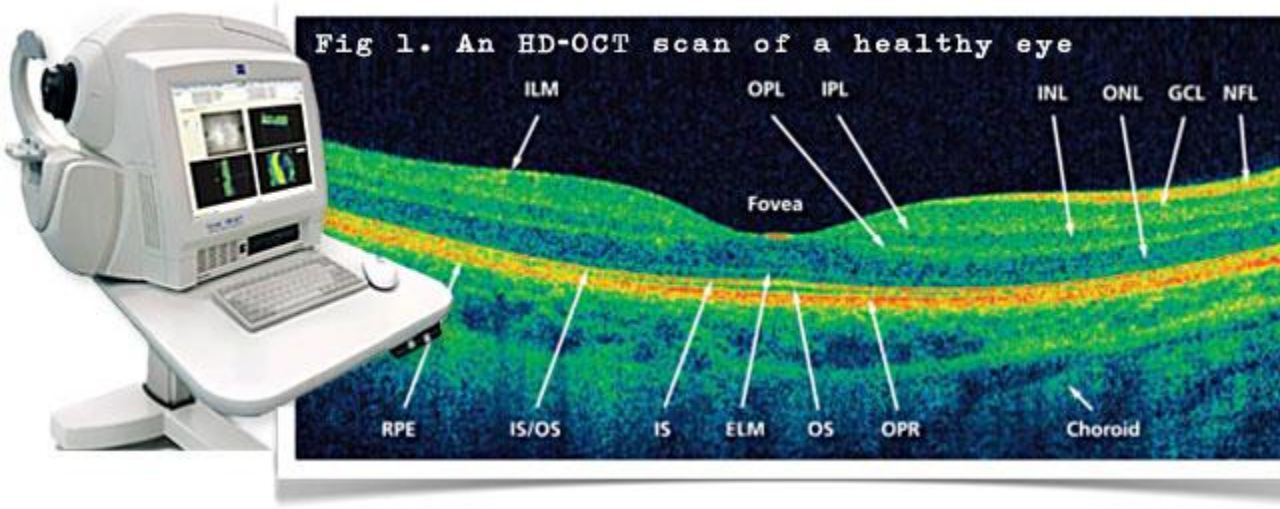


OCT –optikai koherencia tomográfia

A direkt és indirekt oftalmoszkópia mellett az elmúlt évtizedekben a képalkotó eljárások közül a szemészeti ultrahang, majd az angiográfia után az optikai koherencia tomográfia (OCT) megjelenésével - 1995-ben számoltak be -következett be jelentős előrelépés a diagnosztikában

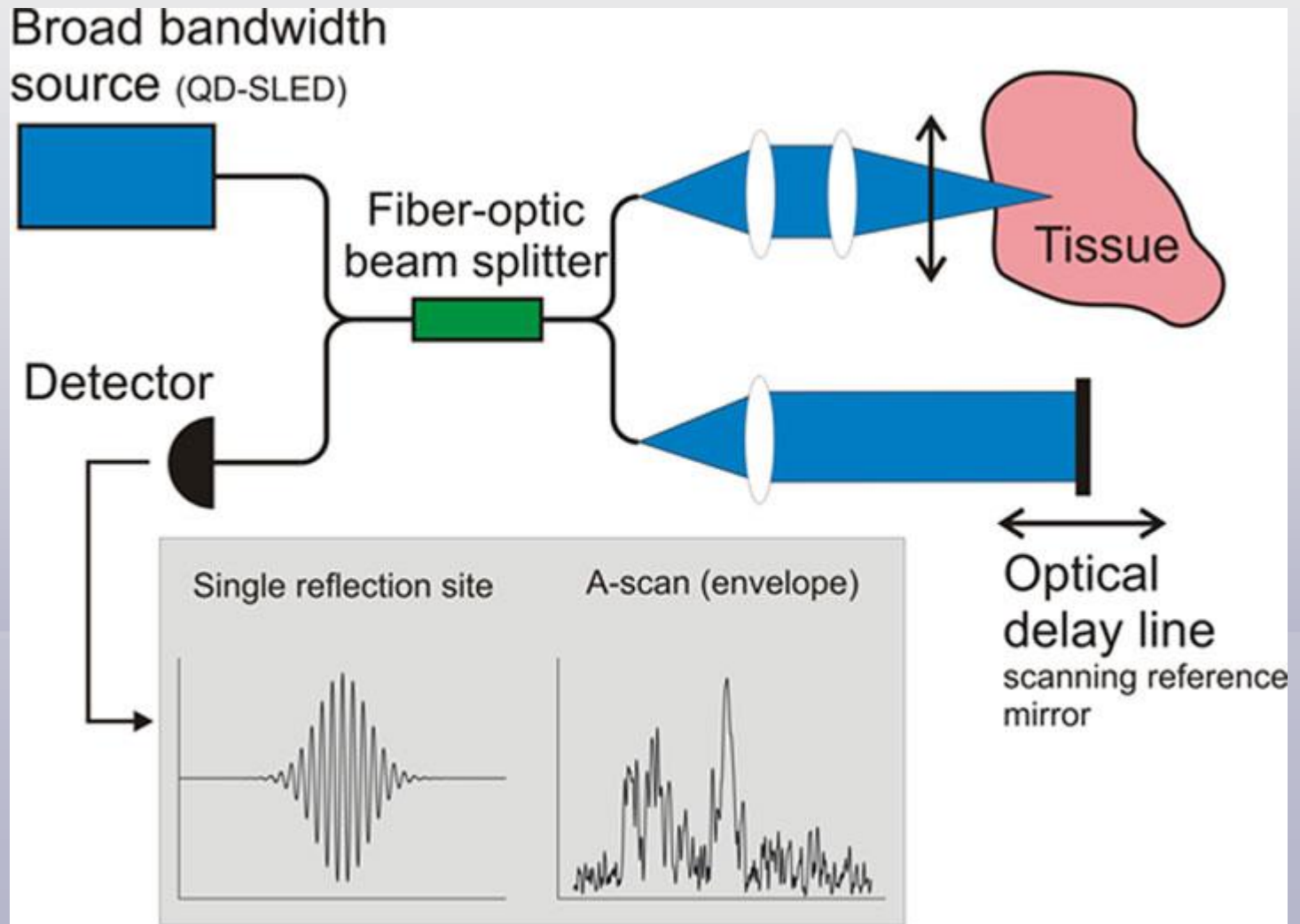


3 Dimensional OCT Image



Az egymás melletti síkmetszetekből készül a 3D rekonstrukció

A koherencia tomográfia elve (a laser fényt ketté osztjuk- a mintáról visszavert és az eredeti interferenciáját analizáljuk (time domain-frequency domain)



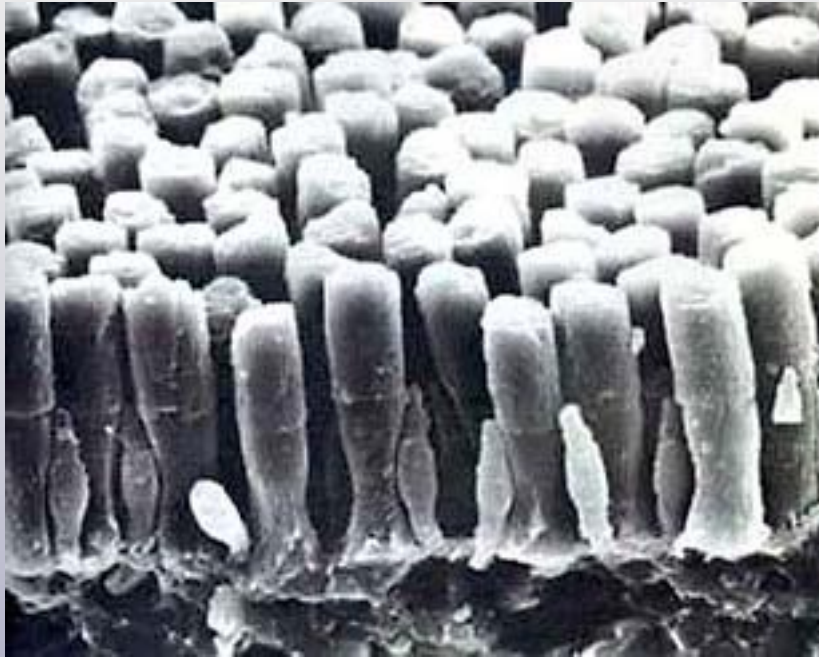
Az optikai jel feldolgozása a retinán

- A cornea és szemlencse leképezi a külvilágot a retinára: **fény inger** kép
- A retinán fényérzékelők: csapok (nappali és színlátás) és pálcikák (szürkületi látás) alakítják az ingert **ideg-ingerületté**
- további sejtek a retinában előfeldolgoznak, majd az agy felé továbbítják a jelet, ahol kialakul a **fény észlelet kép**

Fényérzékelő sejtek

- csapok koncentrációja nagy a **foveában** (látógödör, sárga folt)
- pálcika koncentráció nagy a periferiális tartományokban
- fovea központi tartománya a **foveola**
- ~ 120 millió **pálcika (sötétben látás)** és
- ~ 5 millió **csap (színlátás)**
- ~ 1,25 millió látóideg (erőteljes előfeldolgozás van a retinában)

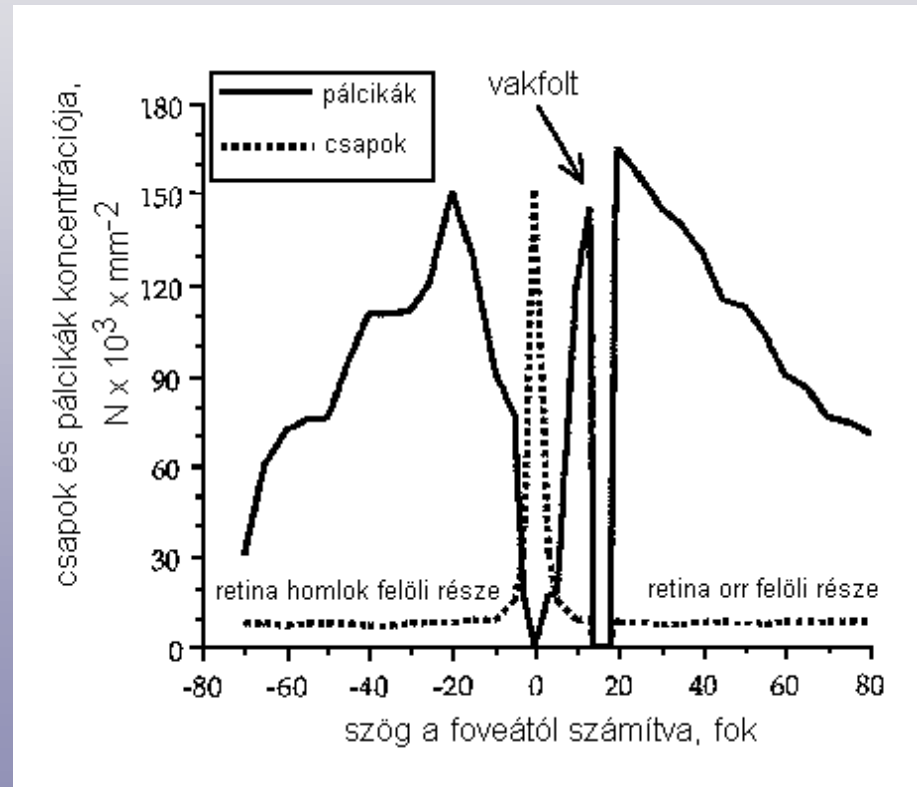
A receptorok



A nappali látás receptorai a csapok

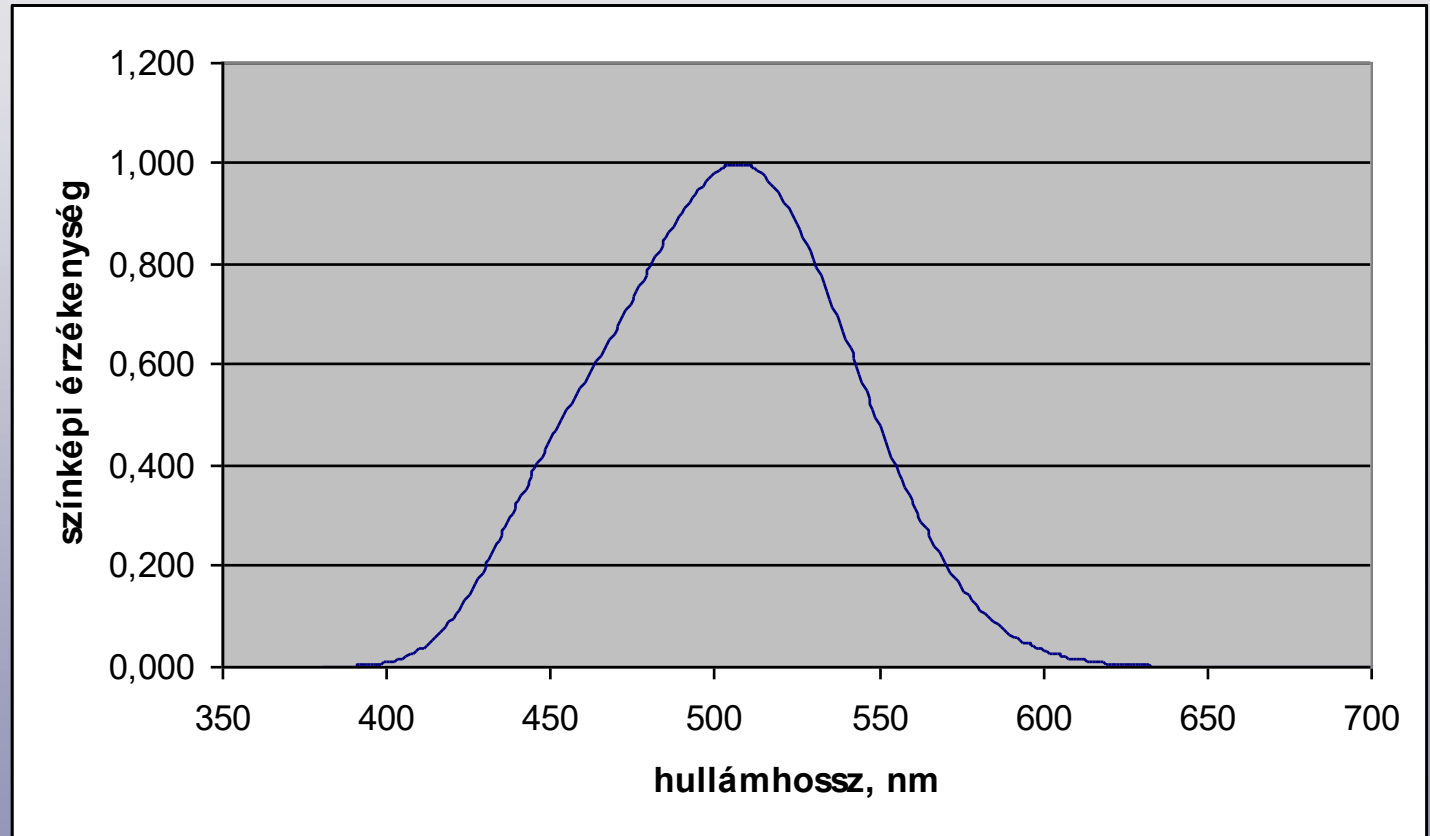
Az éjszakai látás receptorai a pálcikák (a csapoknál kb. ezerszer érzékenyebbek

A retina elektronmikroszkópos képe: a pálcikák és a közöttük a csapok

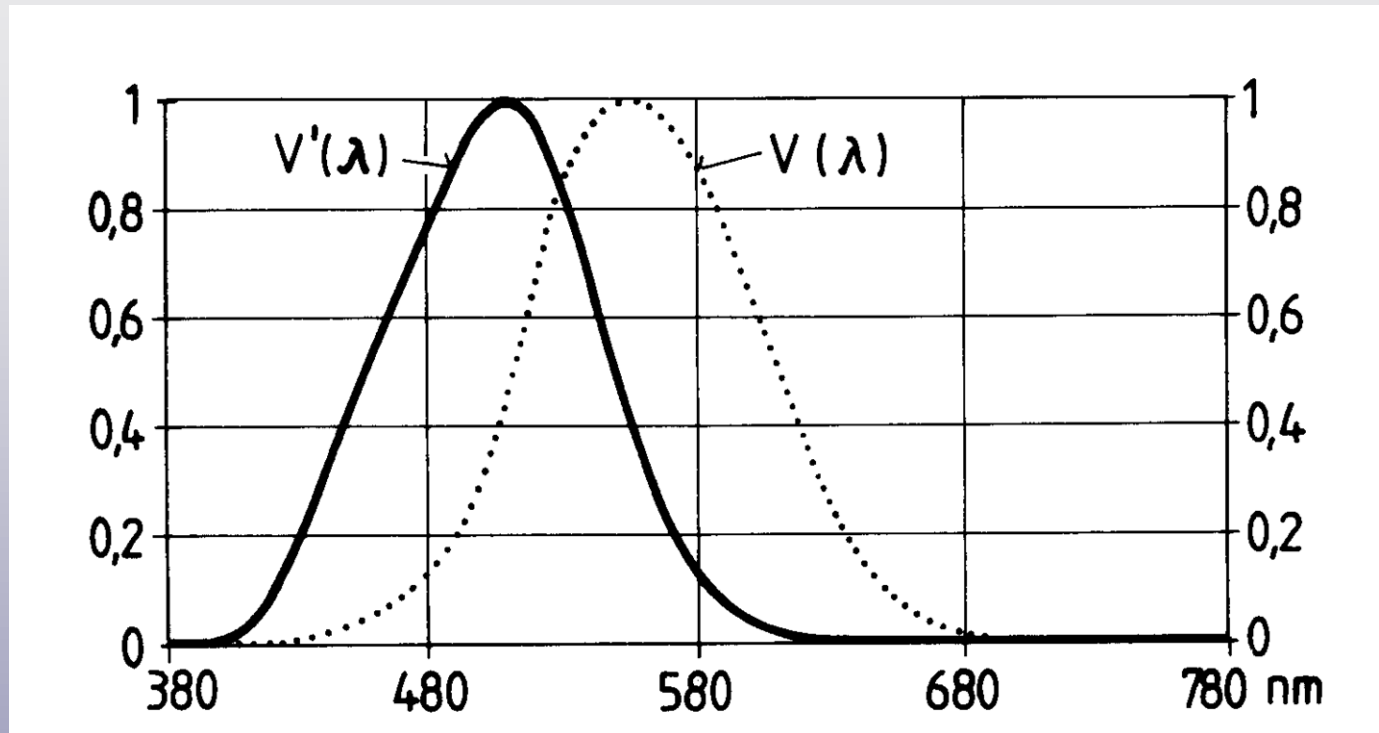


A csapok és pálcikák eloszlása a retinán

Pálcika látás színeképi érzékenysége



A szem érzékenységi görbék



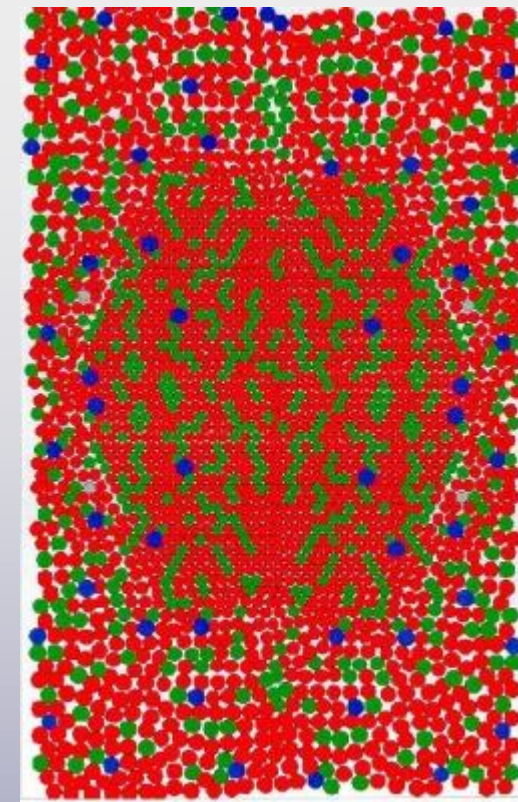
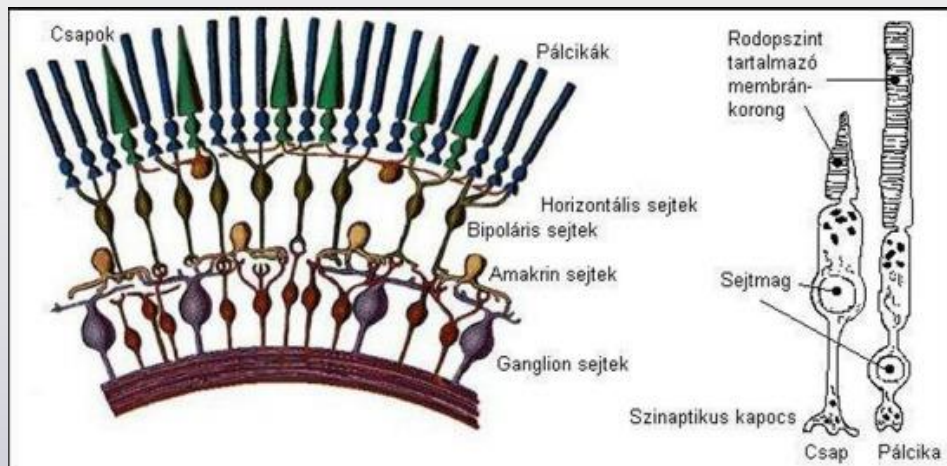
$V(\lambda)$ fotopiás látás;

$V'(\lambda)$ scotopiás látás

Scotopia: a szem alkalmazkodása sötétséghez

Kromatikus aberráció hatása látásunkra

- rövidhullámhosszú sugarak (kék fény) erősebben törnek meg, mint a hosszúhullámhosszú sugarak (vörös fény)
- ha a kék fényre fókuszálunk (A), vörös gyűrű jelenik meg
- ha a zöld fényre fókuszálunk (B), magenta (bíbor) gyűrűt látunk
- ha a vörös fényre fókuszálunk (C), kék gyűrűt látunk
- **sose használjunk egyszerre vörös és kék színt információ megjelenítésre!**



Világosban – sötétben látás

világosban-, fotopiás-látás: csap látás; 3 cd/m^2 felett
 sötétben-, skotopiás-látás: pálcika látás; 10^{-3} cd/m^2 alatt
 alkonyi-, mezopos-látás: a két tartomány között, mind a csapok, mind a pálcikák aktívak~

- ~ 65% vörös
- ~ 32 % zöld
- ~ 2-3% kék

Világosban – sötétben látás

- világosban-, fotopiás-látás: csap látás;
 3 cd/m^2 felett
- sötétben-, szkotopiás-látás: pálcika látás;
 10^{-3} cd/m^2 alatt
- alkonyi-, mezopiás-látás: a két tartomány között, mind a csapok, mind a pálcikák aktívak

A foton energiájából hogyan lesz elektromos jel?

Fényérzékeny molekula a rodopszin [opszin (7 egységből álló transzmembránhélix) és 11-cisz-retinal (pigment)]

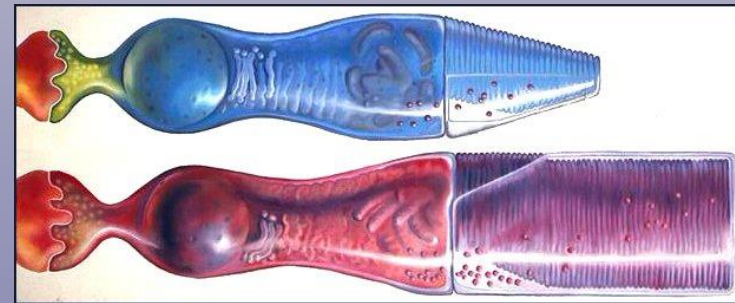
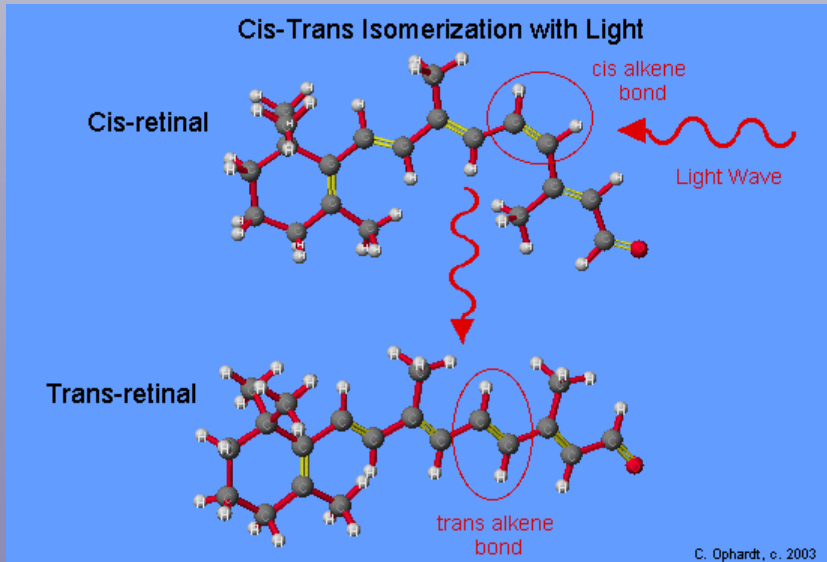
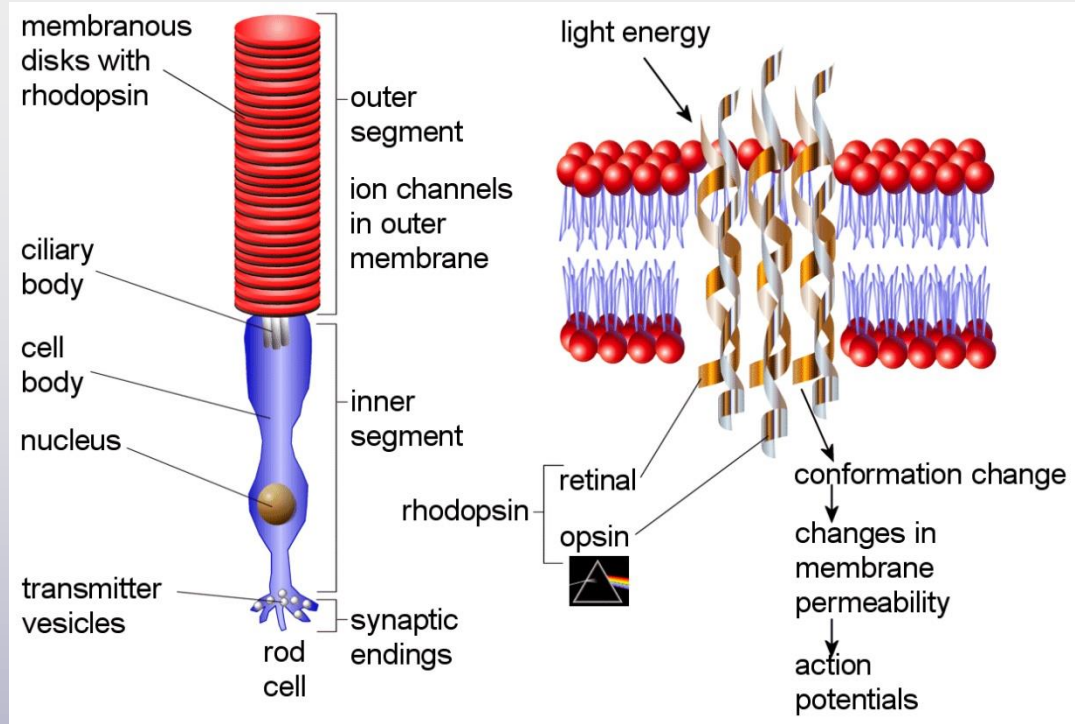
Egy foton hatására: 11-cisz-retinalból transz-retinal képződik

(a molekula kiegyenesedik) □ itt nem részletezendő

mechanizmus után Na^+ csatornák záródnak (megszűnik a külső és belső szegmens közötti nyugalmi „sötét” áram, a receptoron potenciál változás lesz (hiperpolarizálódik)

A pálcikákban egy, a csapokban háromféle rodopszin van (abszorpciójuk más és más)

A hiperpolarizált sejt(ek) retinális kapcsolatokon át kapuzzák a ganglion sejteket és elindul útjára az ingerület



A háromféle csaptípus elnyelési görbéi – A színérzet

Kék csúcs: 420 nm-nél

Zöldcsúcs: 535 nm-nél

Vörös csúcs: 565 nm-nél
(valójában inkább sárga!)

„fehér” – érzet: a háromféle csap

egyenlő

mértékben

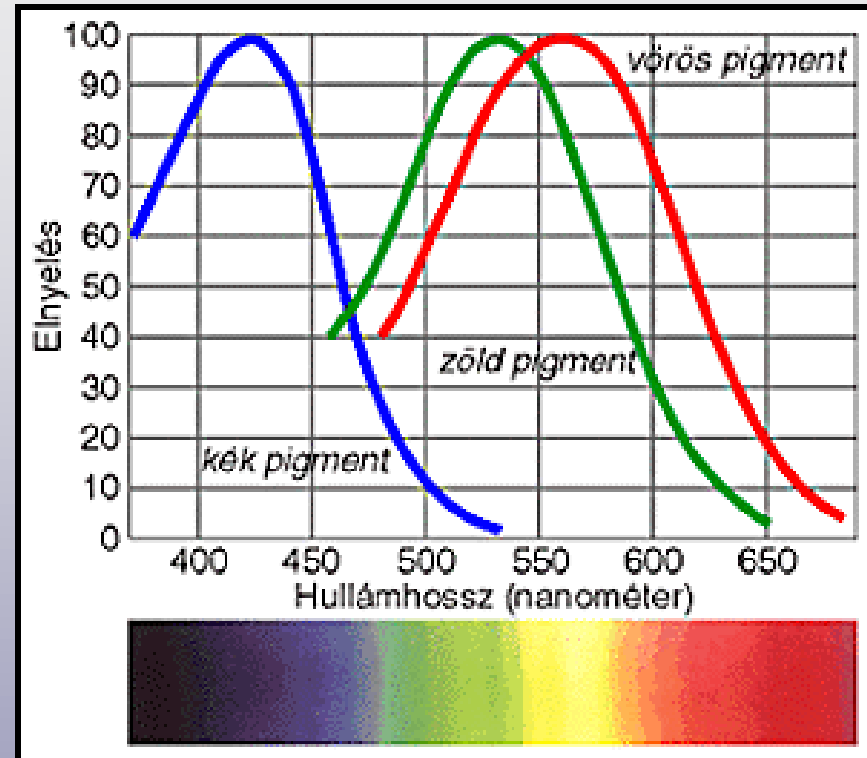
kerül

ingerületbe

színes érzet: a színes fény hullámhossz

eloszlásától

függ



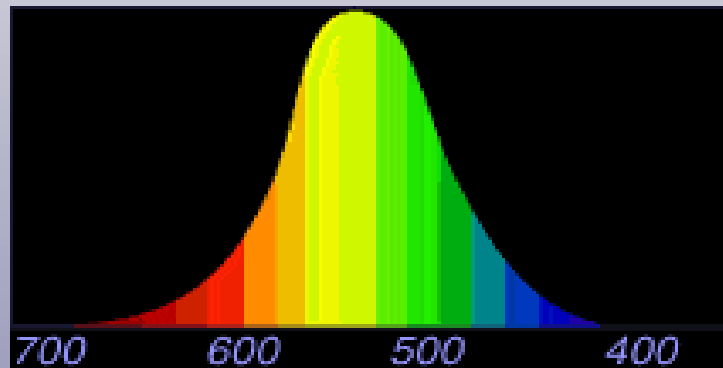
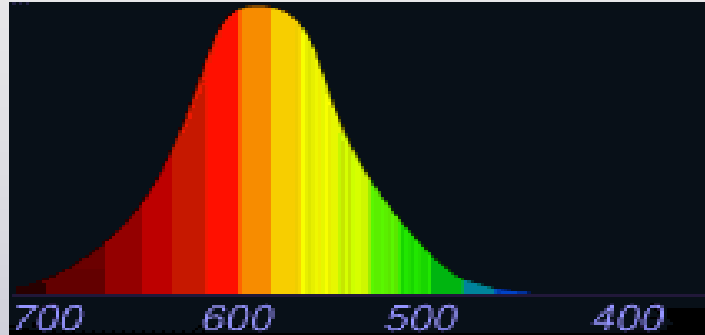
L (long), hosszú hullámhosszon
érzékeny

M (medium), közepes hullámhosszon
érzékeny

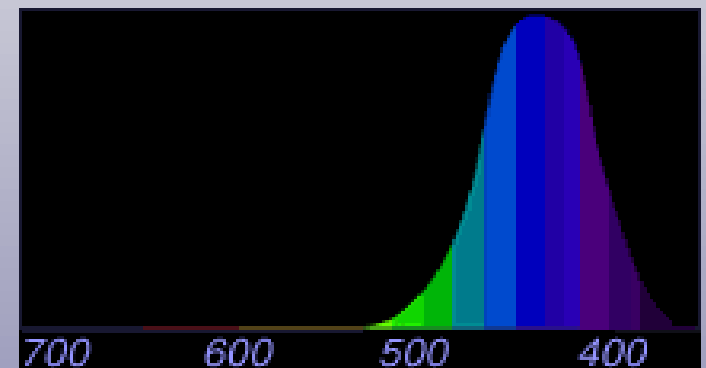
S (short), rövid hullámhosszon
érzékeny

Színlátás- spektrális érzékenység

“vöröre érzékeny” vagy “L” csapok

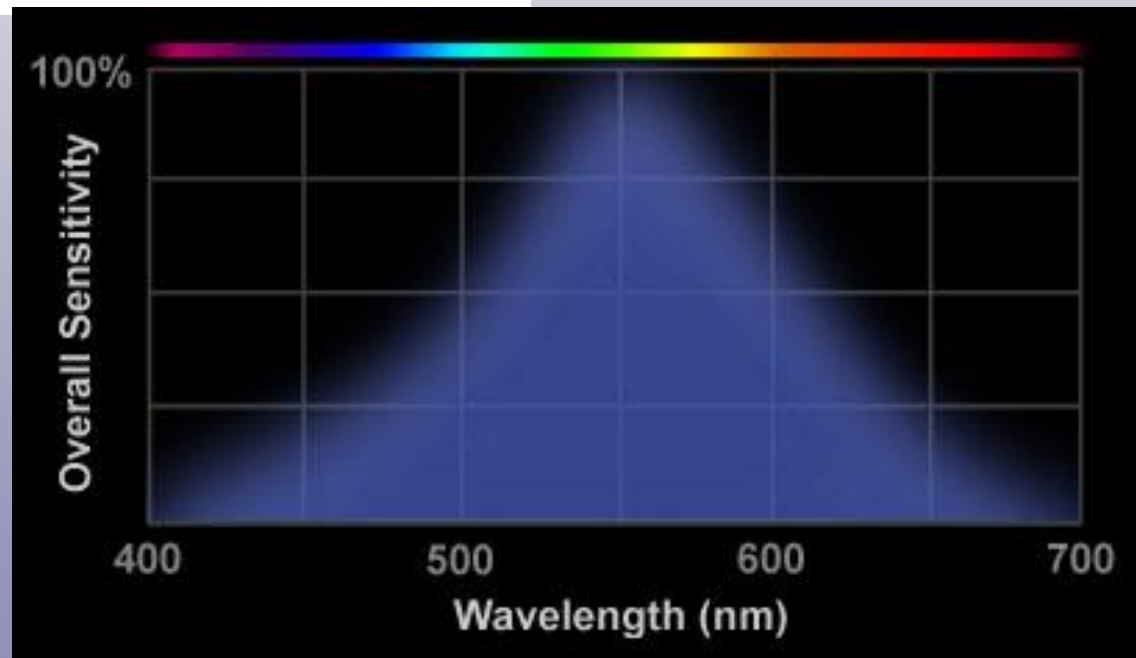
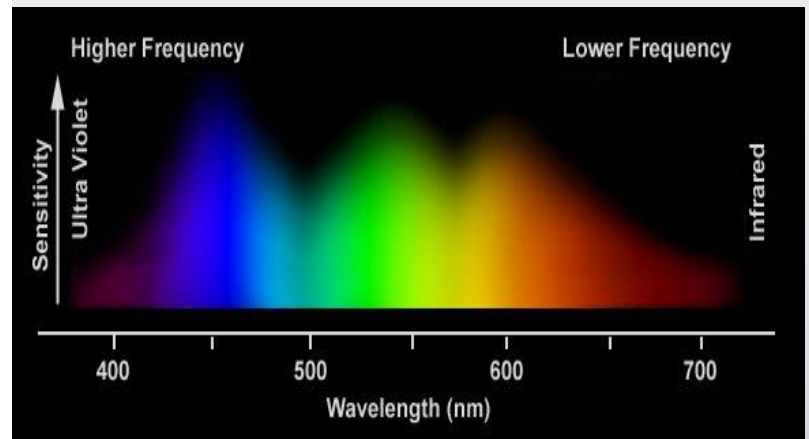
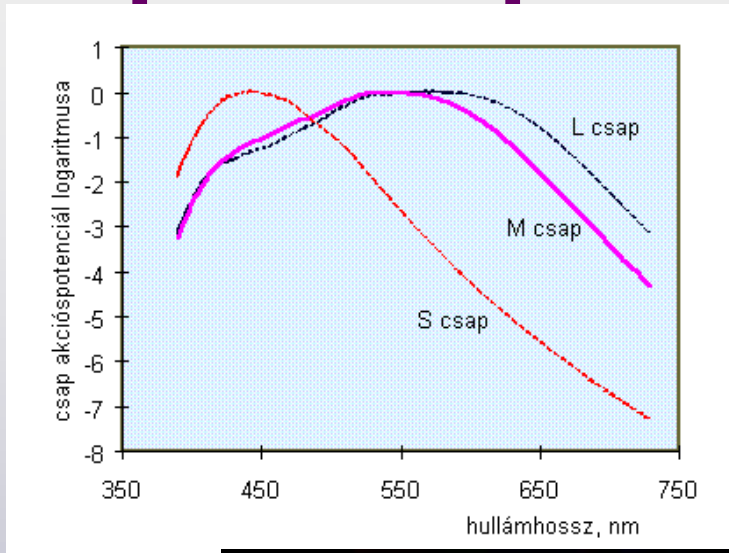


“zöldre érzékeny” vagy “M” csapok



“kékre érzékeny” vagy “S” csapok

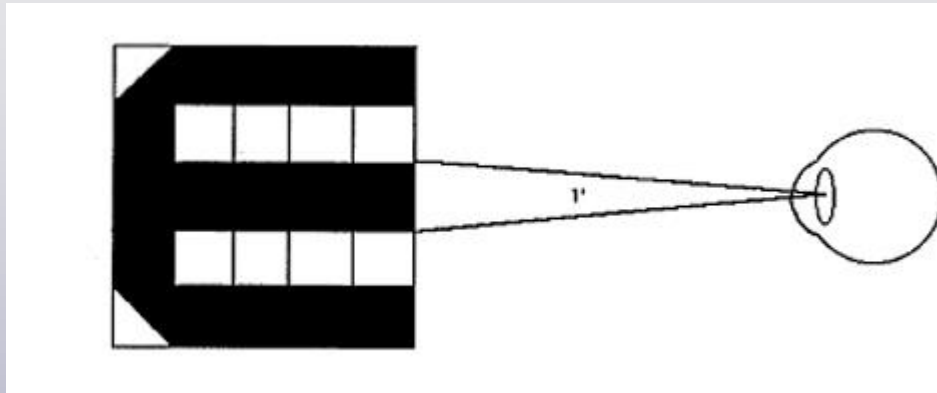
Csapok színeképi érzékenysége



Az éleslátás korlátai

1. látószög:

az egész ábra 5 szögperc, elemi részlete 1 szögperc alatt látszik



Legalább ekkora szöget kell bezárnia két pontszerű részletről érkező képalkotó sugárnak ahhoz, hogy azokat különállóként érzékeljük

2. Inger intenzitás- megvilágítás (1-10 foton/ms)
3. Időbeli felbontás (5-60 kép/sec-megvilágítástól függően)
4. A megvilágító- visszavert fény hullámhossza (380-760 nm)
5. a térlátás korlátai