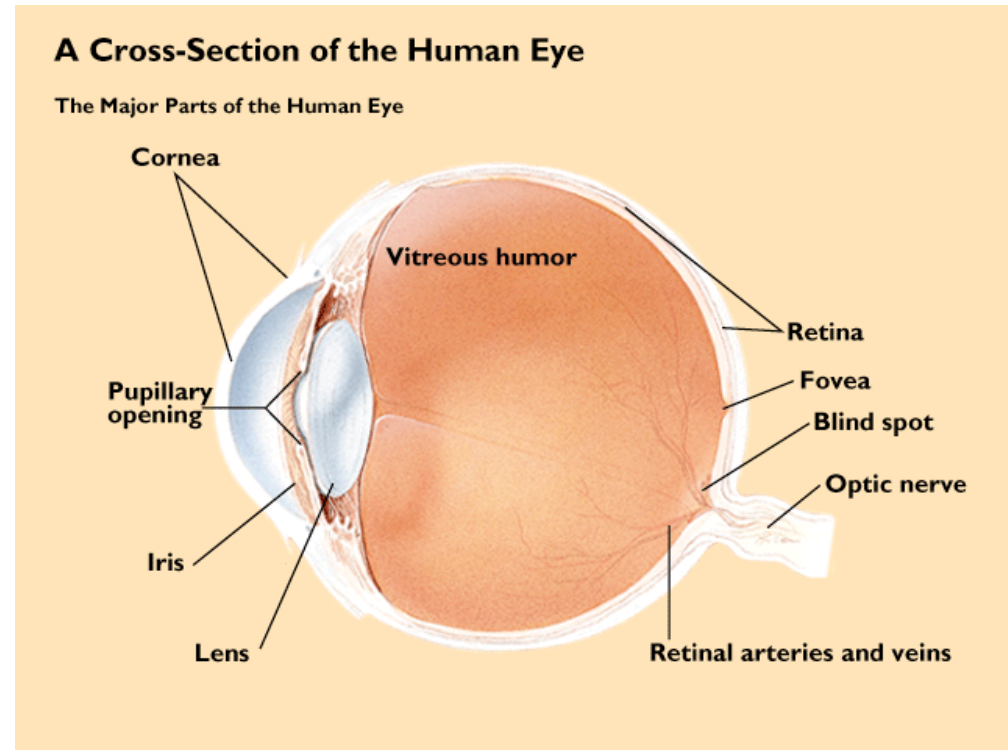


Látás

A retina és a pályák

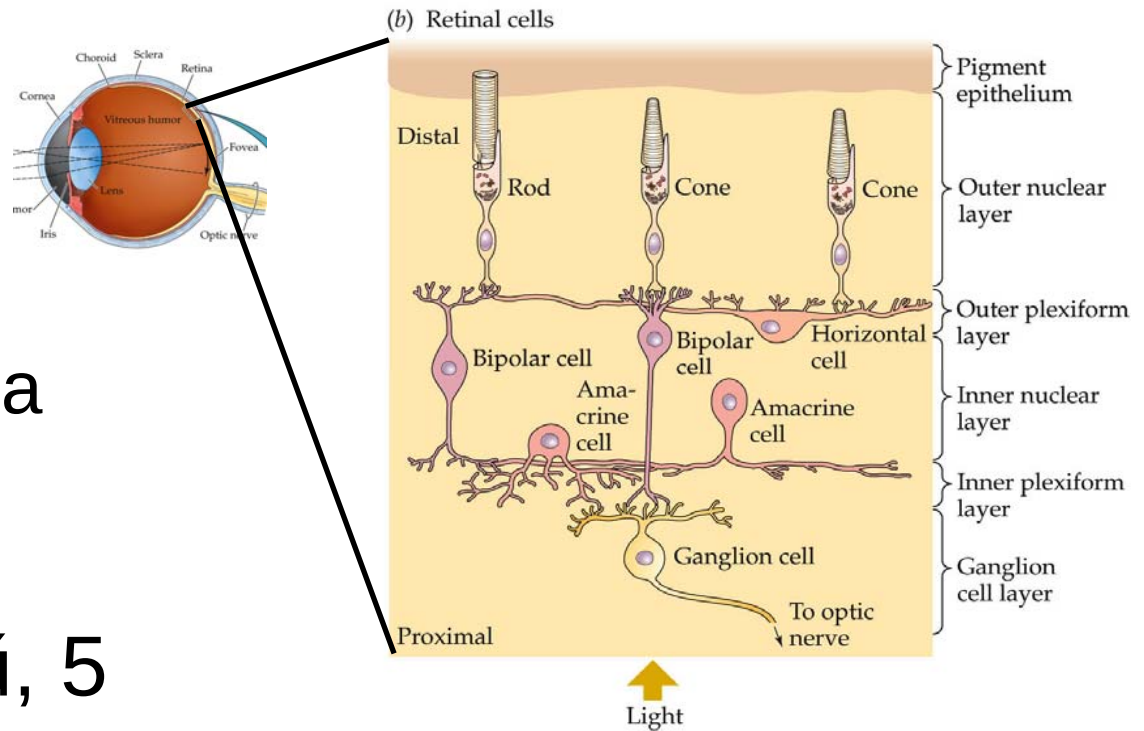
Vizuális percepció kezdete....

- ÚT: fény → cornea → szem belső része
- Itt: egy speciális „érzékszerv” (retina) segítségével elektromos jel generálódik → nervus opticus → magasabb központok



Retina

- Amiben más, több:
 - Alkalmas a szenzoros transzdukció megértésére
 - nem periférikus, a KIR része
- Mindemellett: relatíve egyszerű, 5 fő neuronosztály



Ma ...

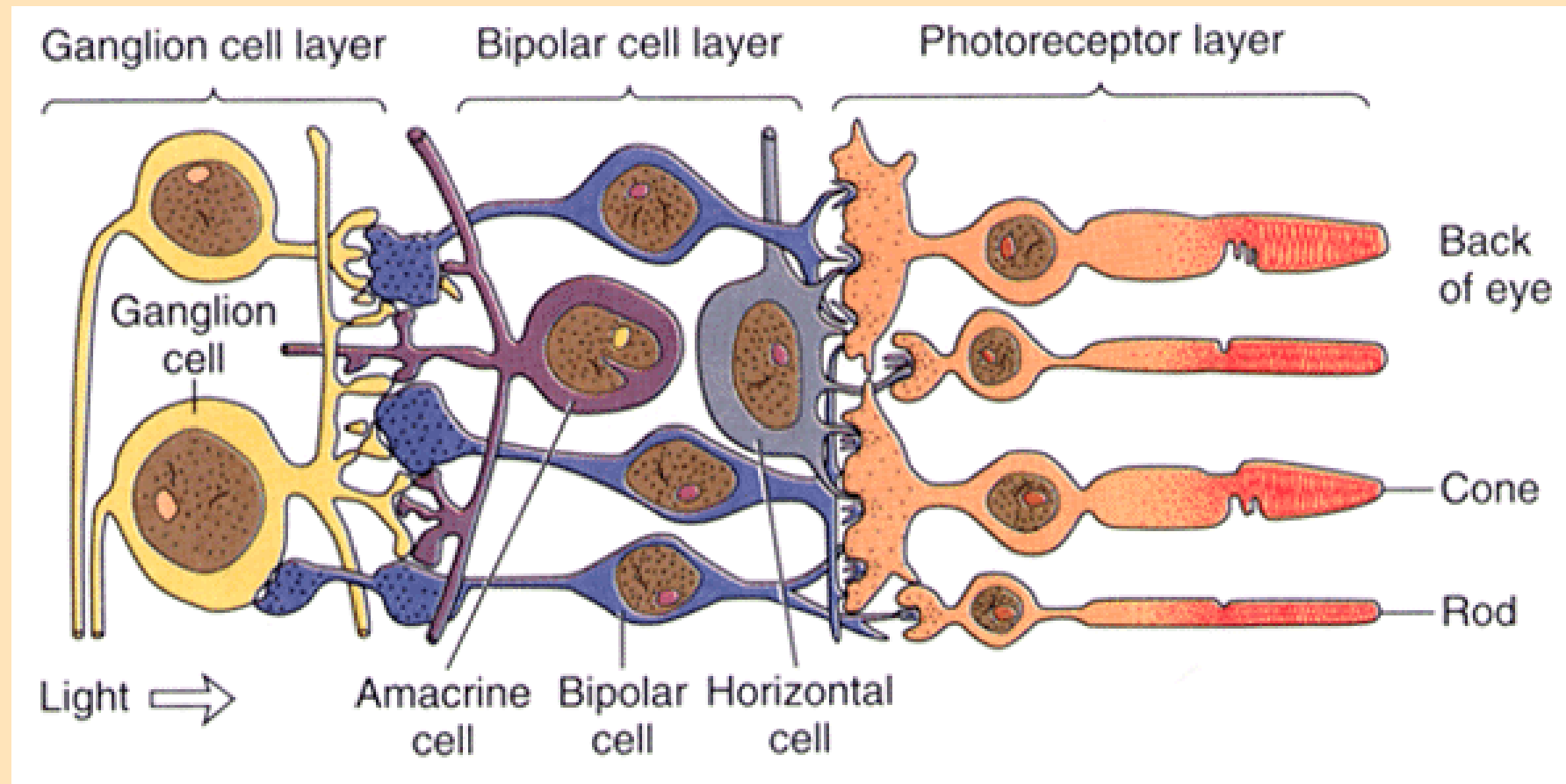
- Hogyan lesz a fényből elektromos jel? (receptorok)
- Más retinális sejtek hogyan alakítják át ezt a jelet? (út az agyhoz, kapcsolatok)
- Központi pályák

Ezek konkrét megtárgyalása előtt

- Retina szerveződése
- A látás receptorainak alapvető fiziológiai tulajdonságai

- Cél: a vizuális kép fókuszálása a retinán minimális optikai torzítás/veszteség mellett
- Fény fókuszálására: cornea + lencse
- Innen az üvegtesten keresztül egyenes az út a fotoreceptorok felé
- Pigment epithelium: fekete festékanyaggal (melanin) töltött, elnyeli az összes fényt, mely nem éri el a retinát
- Retina: a pigment epitheliummal szemközt a szem belső „borítása“
- Közvetlenül a pigment epitheliummal szemben, a lencséhez legközelebb: retinális sejtek, de axonjaik csupaszak, így ezek a sejtrétegek relatíve transzparenssek

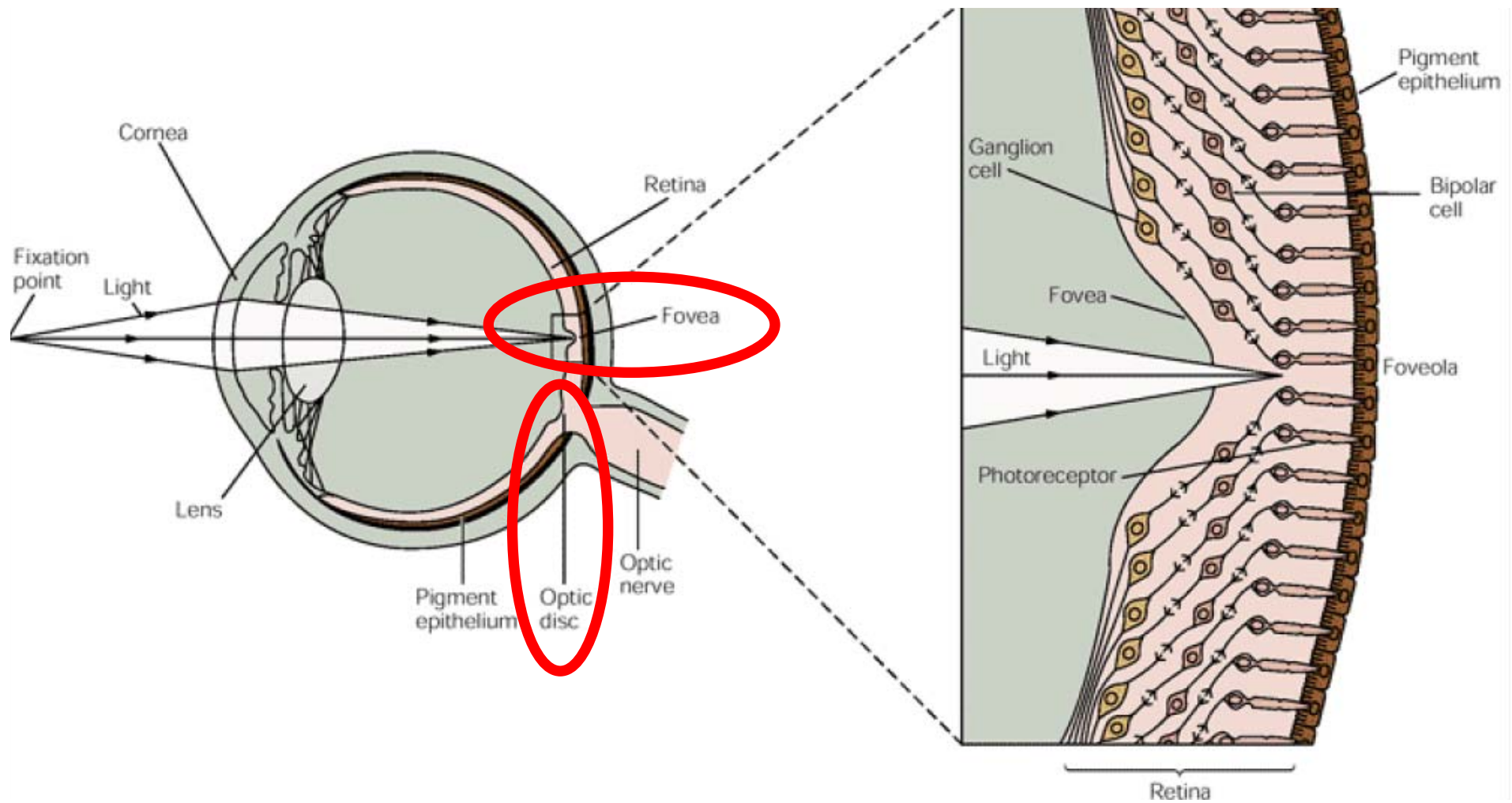
The Cells of the Retina



Redrawn by permission of the Royal Society and the authors from Dowling, J. E., and Boycott, B. B., *Proceedings of the Royal Society (London)*, B 166 (1966), 80-111, Fig. 23.

A retina KÉT kitüntetett pontja

- *Fovea*: itt a retinális sejtek „kitérnek“, így a fotoreceptorok itt kapják meg a legkevesebb torzítással a vizuális ingert
- A legerősebb „kitérés“ a fovea közepénél = foveola
- Célunk: a nézett kép mindig ide vetüljön
- *Vakfolt (optic disc)*: itt hagyják el a nervus opticus rostjai a retinát, nincsenek fotoreceptorok



Fotoreceptorok

PÁLCIKÁK

- Magas fényérzékenység, éjszakai látás
- Több fotopigment, több fény
- Magas erősítés, egyetlen foton detektálása
- Alacsony idői felbontás: lassú válasz, hosszú integrációs idő
- Érzékenyebb a szétszórt fényre

RENDSZER

- Foveánál alig, nagy konvergencia a retinális pályán
- akromatikus

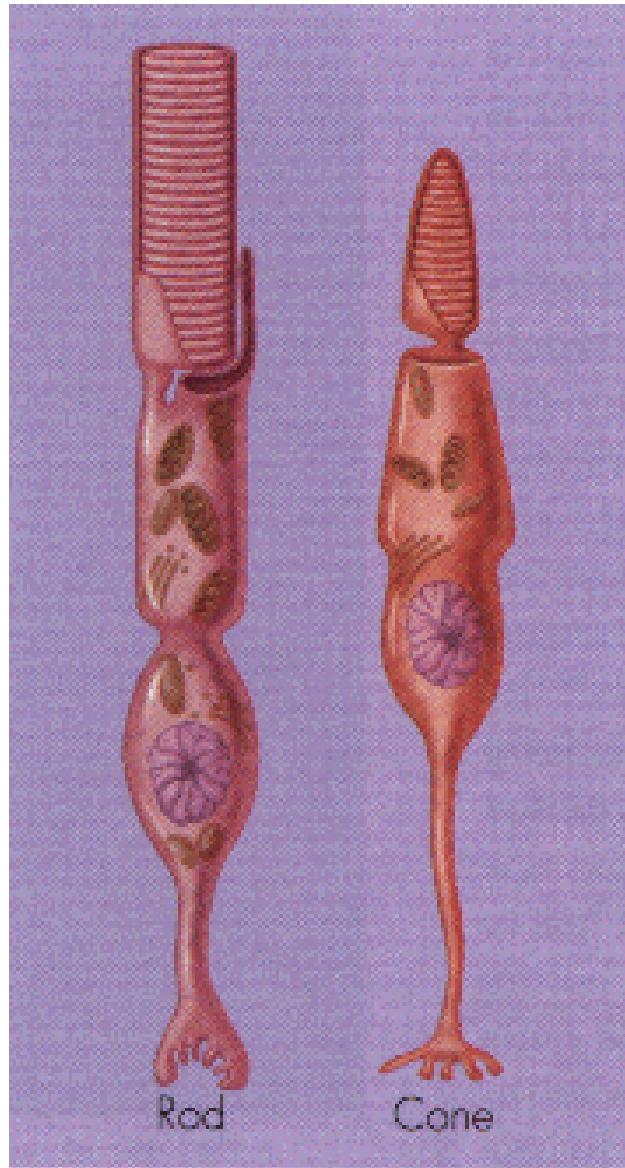
CSAPOK

- Alacsonyabb érzékenység, nappali látás
- Kevesebb fotopigment
- Alacsonyabb erősítés
- Magas idői felbontás: gyors válasz, rövid integrációs idő
- Legérzékenyebb a direkt axiális sugarakra

RENDSZER

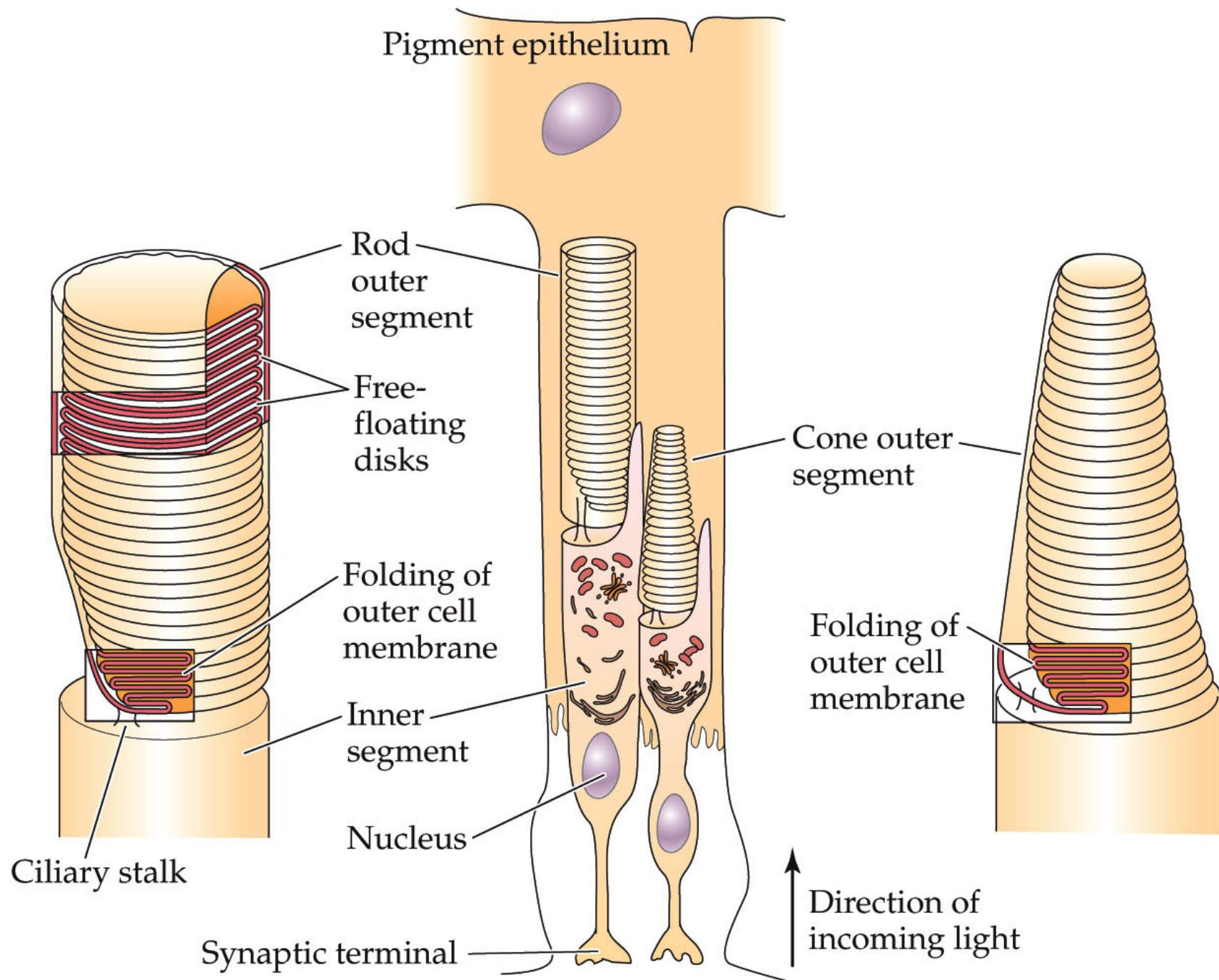
- Foveánál sok, szórt retinális pályák
- Kromatikus (3 csaptípus)

Egyik sem generál AP-t, az intenzitást a MP súlyozásával kódolják.



A fotoreceptorok részei

- Külső szegmens
 - Fényelnyelő vizuális pigmentek, melyek egy kisebb fényelnyelő molekulából és egy nagyobb 7-TM membránproteinből állnak (sok protein – lemez, membránfelszín területét drámaian növelik; csapok esetén a plazma membránjával folytonosak)
 - Folyamatosan és gyorsan újulnak, régebbiek fagocitózissal távoznak
- Belső szegmens
 - Sejttestek és bioszintetikus rendszer
- Szinaptikus végződés (terminálok)
 - Kapcsolatok



Fototranszdukció

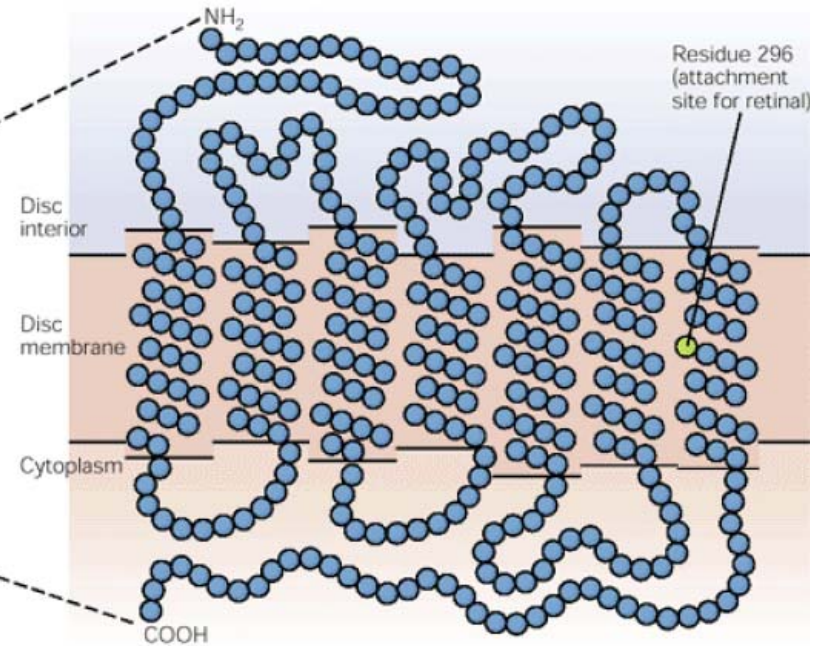
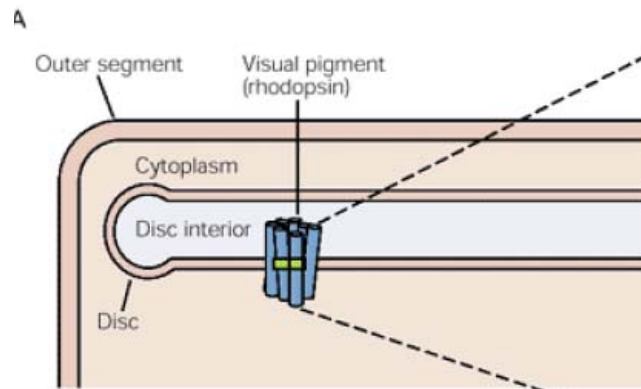
- Általánosságok
 - 3 állomásos kaszkád
 - A fotoreceptorok pigmentjeinek fényelnyelésével indul a folyamat, fő molekula: cGMP
 - cGMP: pálcikákban second messenger, cytoplazmán át viszi az infót hozzákötve a szabadon lebegő lemezeket a sejt plazmamembránjához; csapoknál: mivel a lemezek folytonosak a plazmamembránnal, itt a cGMP speciális ioncsatornák nyitásával ionáramokat kontrollál

Röviden

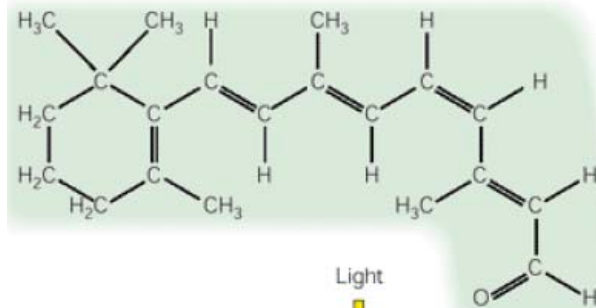
- Sötét → cGMP koncentráció relatíve magas → csatornák nyitva → sejt relatíve depolarizált állapotban → fény aktiválja a vizuális pigmenteket → ezek az aktivált molekulák egy enzimet stimulálnak, mely a citoplazma cGMP koncentrációját csökkenti → ez bezárja a cGMP-kapuzott csatornákat → fotoreceptor hiperpolarizációja

1. A fény aktiválja a pigmentmolekulákat a fotoreceptorokban

- A vizuális pigment neve: rodopszin
 - két része van
 - *opszin* (protein), beágyazva a lemez membránjába
 - egy fényelnyelő rész, a *retinal* (A-vitamin aldehidje), melynek számos izomerje létezik, a két legfontosabb:
 - nem-aktivált rodopszinban a *11-cisz* izomer, mely az opszin molekula egy kötési helyébe illik bele
 - Aktiváció esetén (*all-*)*transz*, ami már nem illik oda, így az opszin változáson megy át (félstabil állapot) (metarodopszin II.), de percekben belül szétválik opszinná és (*all-*)*transz* retinallá.
 - Ezután az (*all-*)*transz* a pálcikától a pigment epithelium sejtekhez szállítódik, ahol (*all-*)*transz* retinollá (ez már az A-vitamin) csökken, ami a prekursor a *11-cisz* szintézisében és ez visszaszállítódik a pálcikákhoz

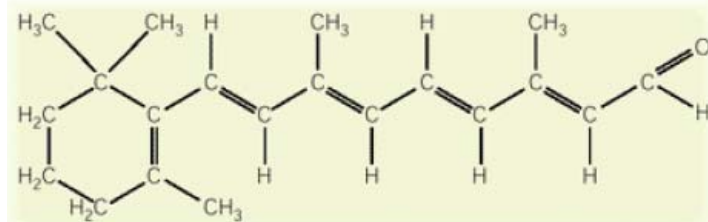


B
11-*cis* retinal
(M_r = 268)



Light
↓

All-*trans* retinal



Kék – opszin
Zöld – retinal

Forgatás – stabilabb

Csapok esetében

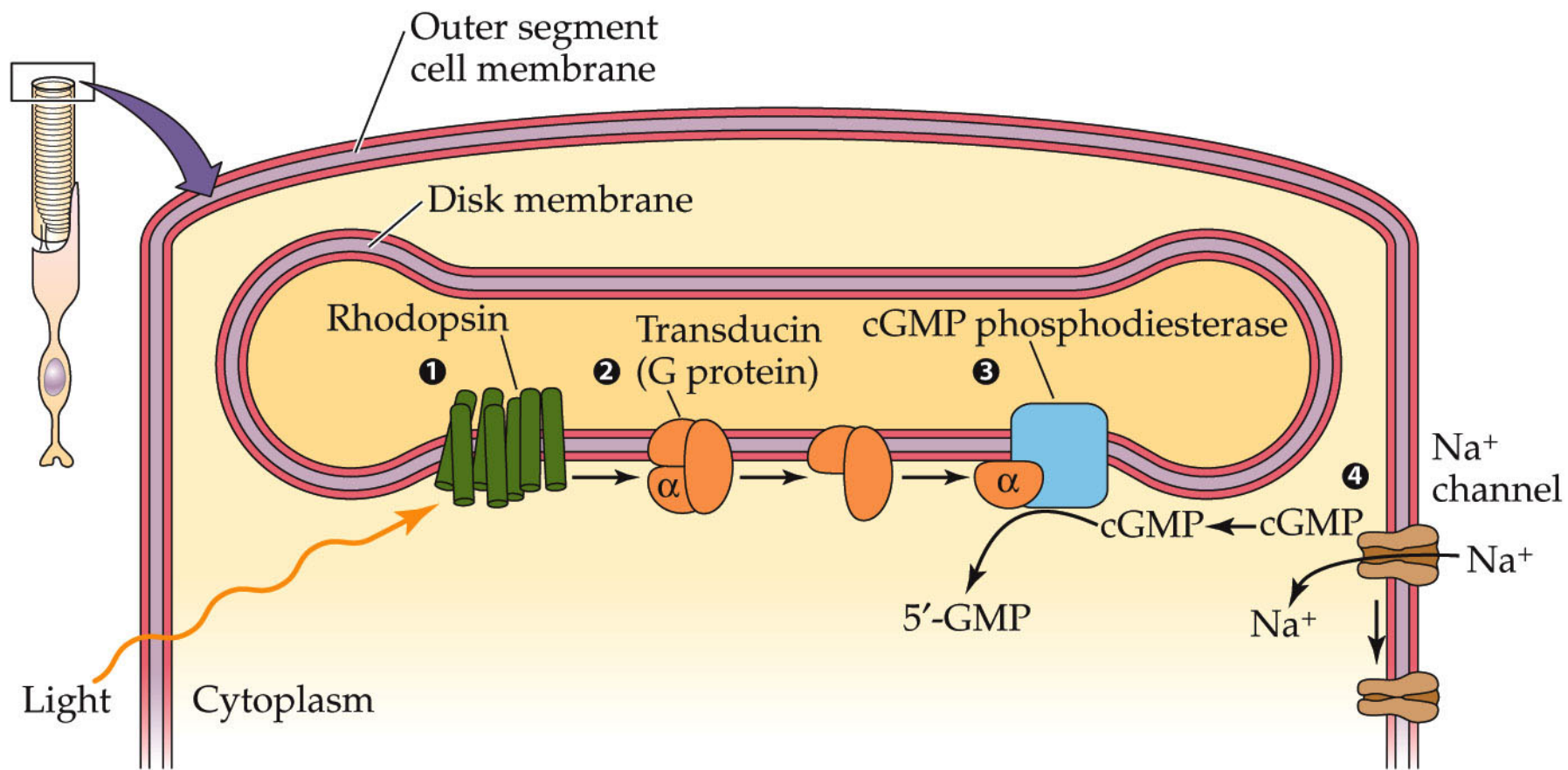
- 3-féle csaptípus – külön fényelnyelésre optimalizált pigmentek
- Hasonlóan két részből állnak
 - Csap opszin (protein) és 11-cis retinal
- Más csap pigment – más opszin izomorf

2. A pigmentmolekulák aktivációja csökkenti a citoplazmás cGMP koncentrációt

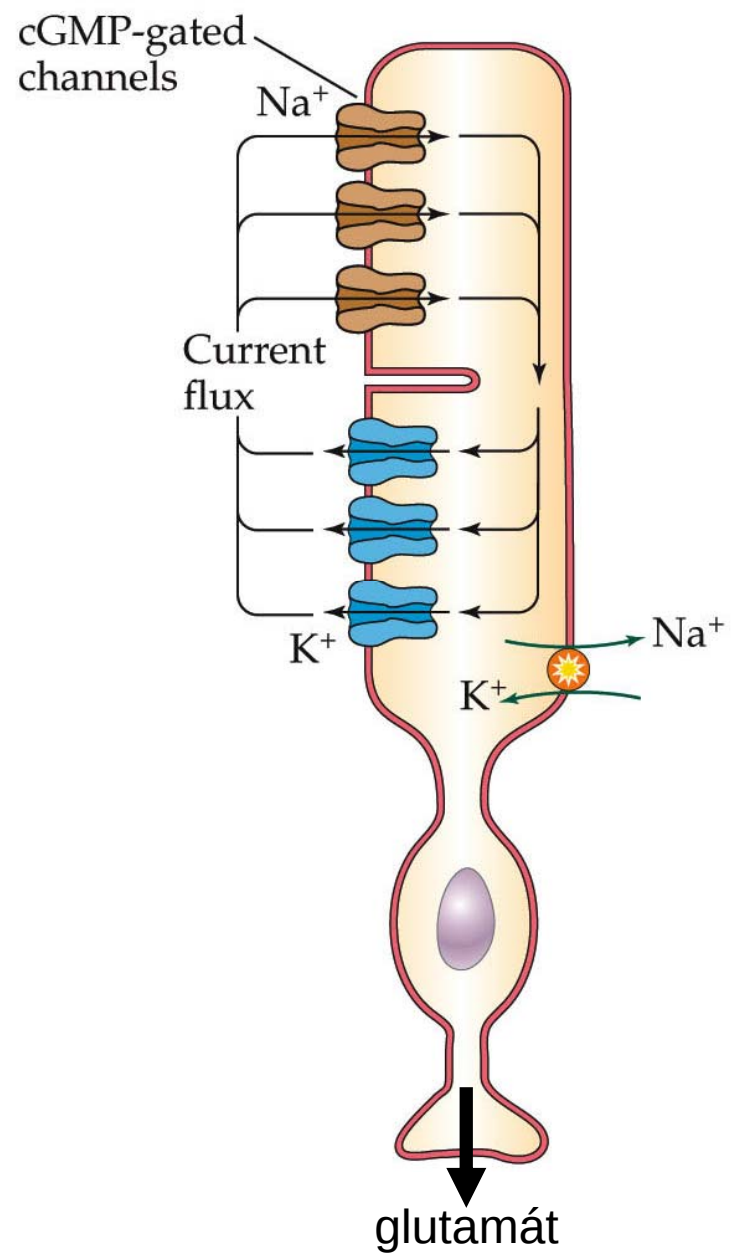
- Fény → pigmentmolekula aktivációja → cGMP citoplazmás koncentrációja csökken (koncentrációját két enzim kontrollálja – GTP-ből szintézis által /ezt egy G-protein, a *transzducin* GDP-ből állítja elő/ vagy 5'-GMP-vé törik le cGMP-t foszfodiészteráz által – utóbbit a vizuális pigmentek kontrollálják, így fényinfóra aktiválódik a *foszfodiészteráz* is, így csökken a cGMP koncentrációja is)

3. A cGMP koncentráció csökkenése zárja a cGMP-kapuzott ioncsatornákat, így hiperpolarizálja a fotoreceptort

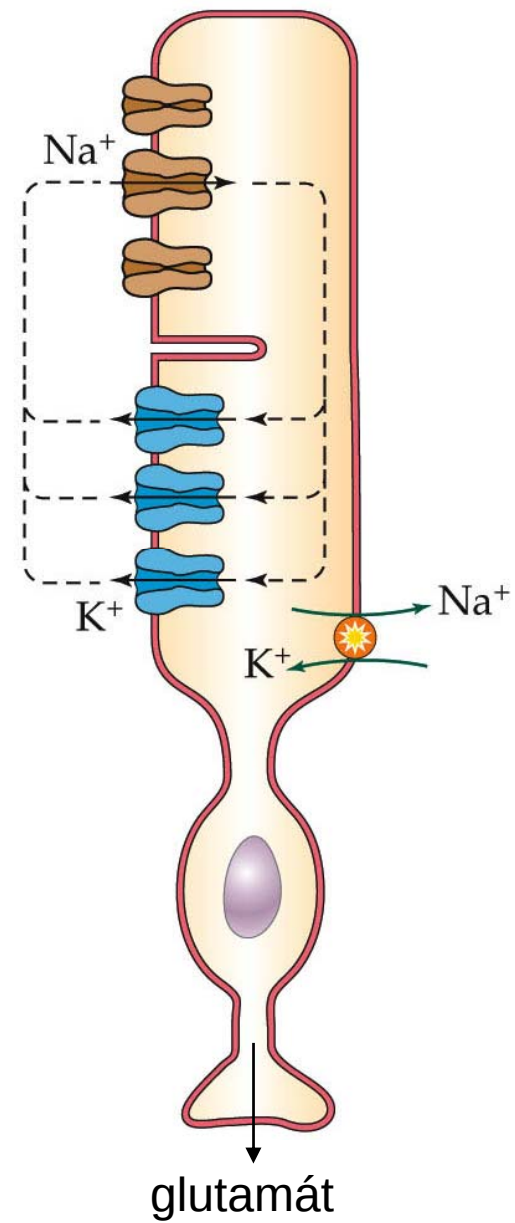
- A cGMP kapuzza ezeket a csatornákat azáltal, hogy közvetlenül kötődik a csatornák citoplazmás oldalához – legalább 3 cGMP molekula együttműködő kötődése által a csatorna aktiválódik
- Fény hiányában a cGMP-kapuzott ioncsatornák egy belső áramot vezetnek (sötétáram), mely képes depolarizálni a fotoreceptort
- E csatornáknak a fény kiváltotta zárása csökkenti ezt az áramot és ezért a sejt hiperpolarizálódik



SÖTÉT



VILÁGOS



Hogyan tovább?

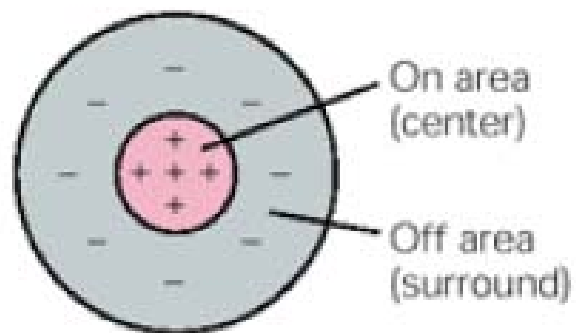
- Ganglion sejtek, de előtte: 3 interneuron-osztály
 - Bipoláris, horizontális, amakrin sejtek
 - Feladatuk nem csupán jelszállítás, hanem össze is rakják az egyes fotoreceptorokból jövő jelet úgy, hogy a ganglionsejtekben kiváltott elektromos jel döntően a fény pontos téri és idői mintázatától függjön

Ganglion sejtek

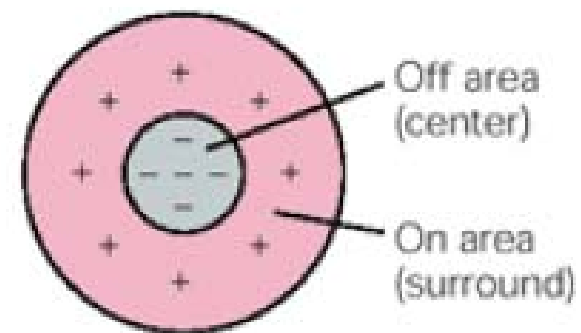
- Van egy alapaktivitásuk, ezt a retinális interneuronokból jövő input modulálja
- Input: a környező fotoreceptorokból, a retina egy körülhatárolt területéről (RM)
- RM: két fontos vonása – központ (körkörös) és szél (körgyűrű)
- Két osztályuk van: ON vagy OFF center
- Számuk kb. azonos! Mindegyik fotoreceptor küld kimenetet mindkét típusnak – ez már sugallja a párhuzamos pályákat!
- RM mérete a retina egyes részein más – fovea: kicsi, periféria: nagyobb

Ganglionsejtek receptív mezeje

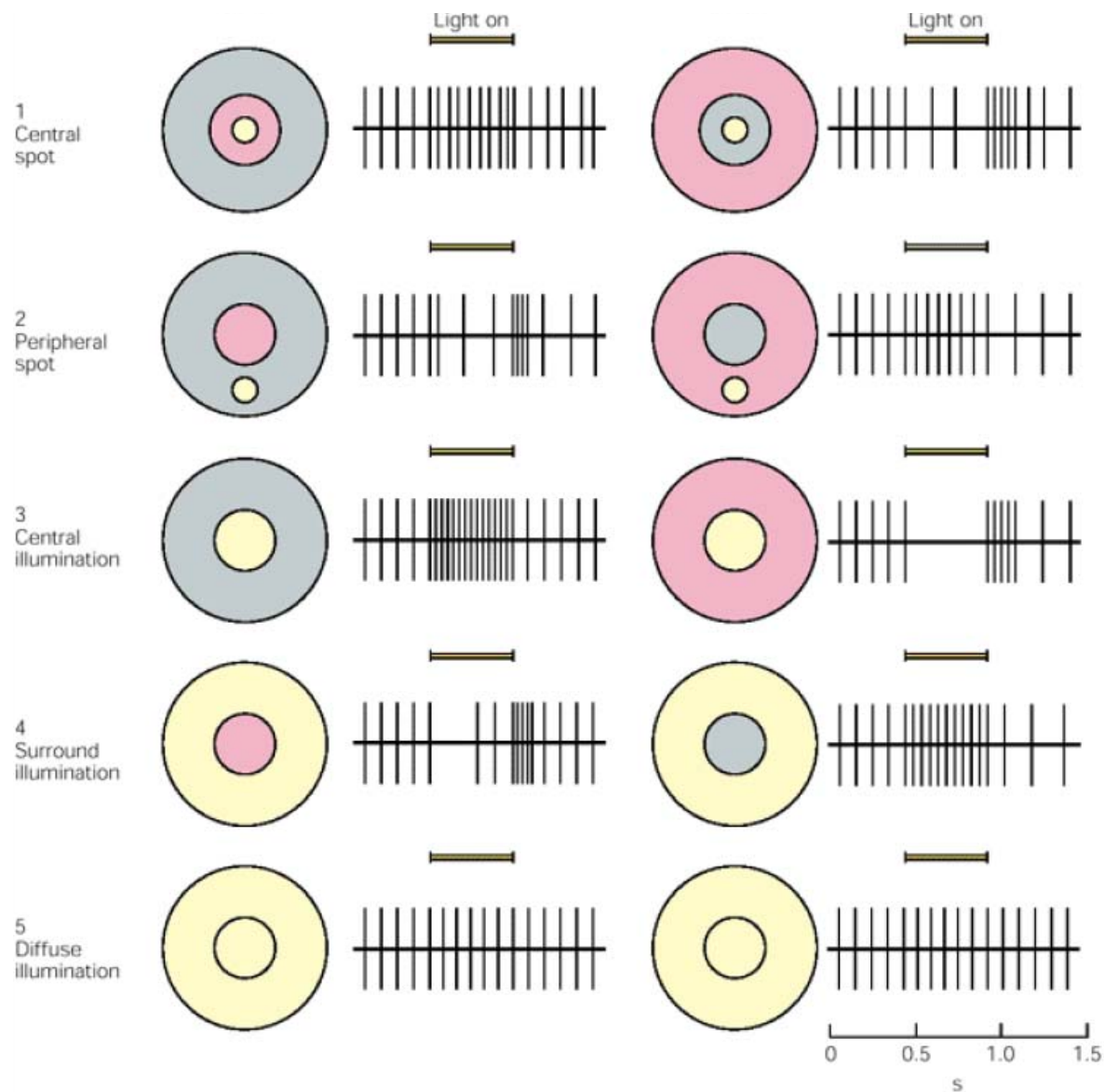
A On-center ganglion cells



B Off-center ganglion cells



Válaszaik fény jelenlétére



Fő feladatuk

- Max válasz, ha központi és széli infó eltér – tehát inkább kontrasztot, mint intenzitást kódol
- Miért jó? Mert a transzmissziós hiba minimális lesz.
- Szintén növeli a vizuális rendszer teljesítményét, hogy az ON és OFF pályák párhuzamosak

Két funkcionális osztály

- M és P osztály – mindkettőben vannak ON és OFF sejtek is
- M: nagy RM, fennálló ingerlésre, nagy tárgyakra, gyors változásokra – gyors vonás, mozgás
- P: több, kis RM, hullámhosszra specifikus, alak, szín, finom részletek

Interneuronok

- Minden típusnak speciális szerepe van
- Közülük a legdirektebb a kapcsolat a bipoláris sejtekkel a csapok esetében

Csapoktól a ganglionsjetekig

- Két út
 - Egy ganglionsejt RM-jének közepében lévő csapok – direkt szinaptikus kapcsolat a bipoláris sejtekkel, amelyek direkt kapcsolatban a ganglionsjetekkel (*direkt/vertikális pálya*)
 - Szélről: horizontális és amakrin sejteken át indirekten (*laterális pálya*)
 - Horizontális: dendritikus fák – feedback a csapok közepének
 - Amakrin: bipoláris - ganglion

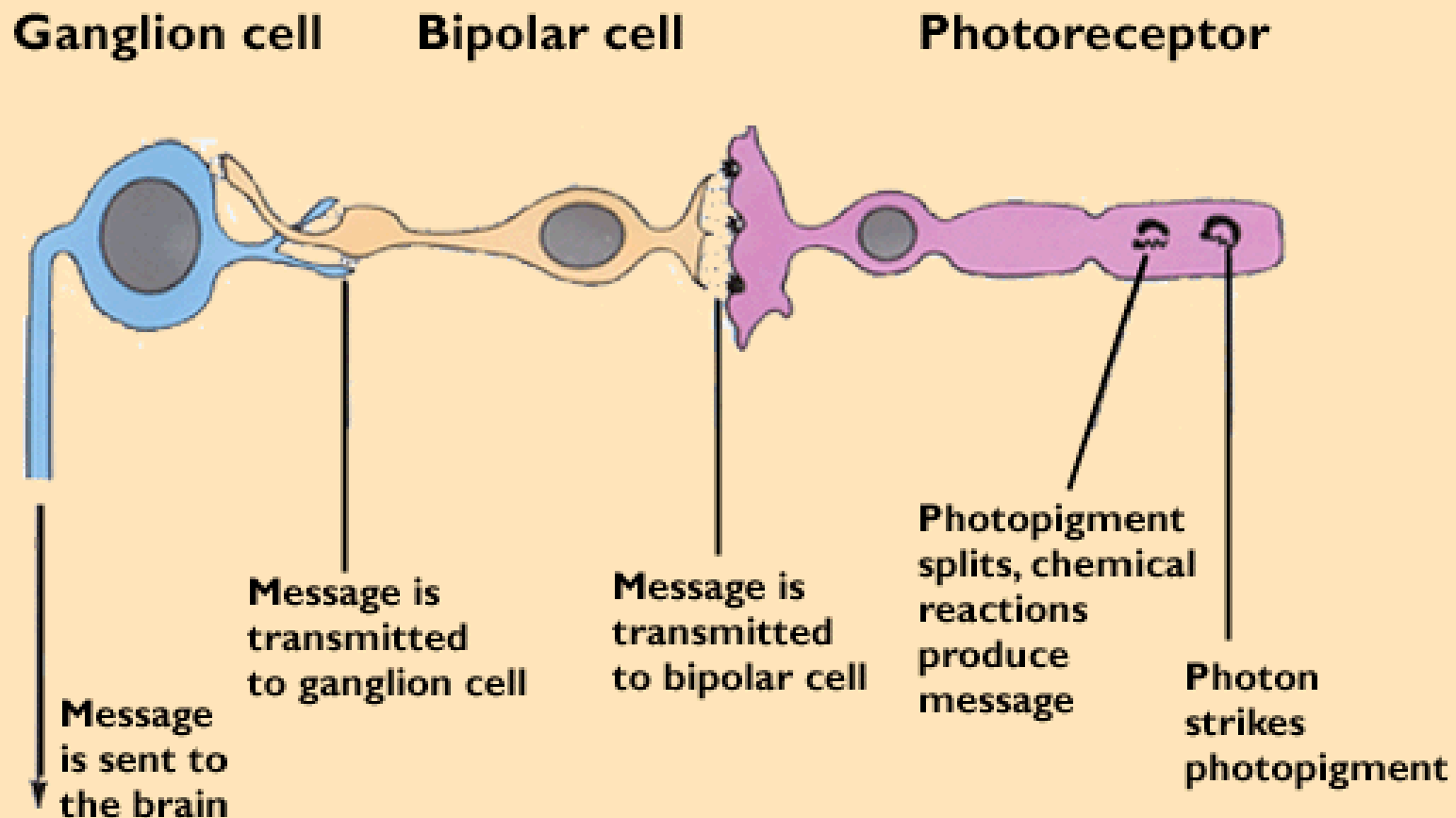
Retina szinaptikus kapcsolatai

- Két plexiform réteg
 - Külső: receptorok, bipoláris, horizontális
 - Belső: bipoláris, amakrin, ganglion
 - Azaz: bipoláris mindkettőben – ez a híd a kettő között
 - De: AP-t még nem tud generálni!!!!

Bipoláris sejtek RM-je

- Hasonlóan központ/szél szerveződés
- ON/OFF
- ON: depolarizáció
- OFF: hiperpolarizáció
- A hozzájuk kapcsolódó ganglionsejt-osztályokkal serkentő kapcsolatban

Transduction of Light into Neural Activity and the Transmission of Information to the Brain



És most a pályák ...

Hálózat

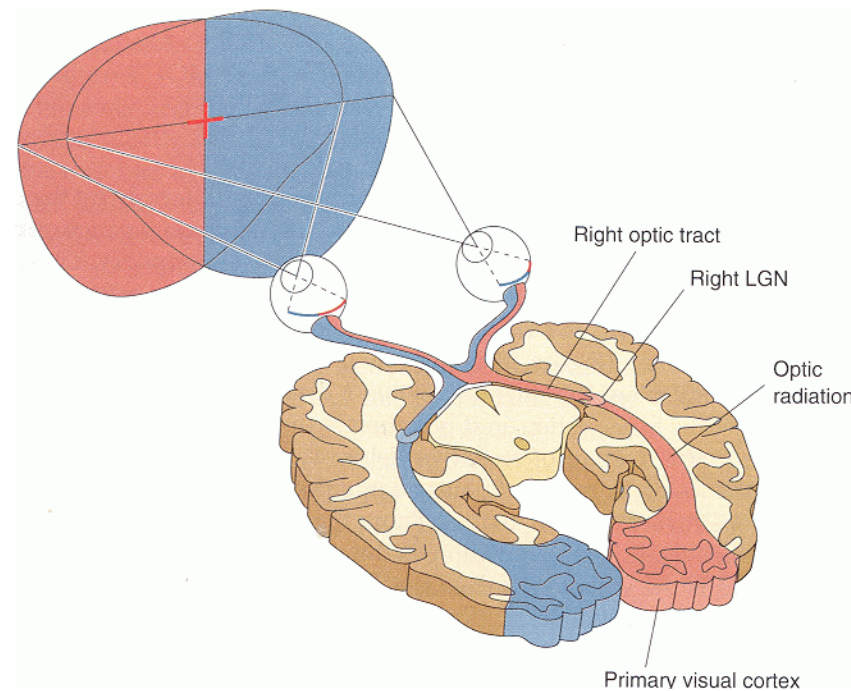
- A vizuális rendszer a legkomplexebb neuronális hálózat (kb. 1 millió rost alkotja a nervus opticus)
- Út a retinától: középagy – Thalamus – primer látókéreg (V1/Br17/striális kéreg)
- Subcorticalis régiók: pretectális régió, colliculus superior (középagy), CGL (Thalamus)
- Ami még: M és P pályák – V1 – és annak szerveződése

Retinális kép - nomenklatúra

- Nazális hemiretina – foveától mediálisan
- Temporális hemiretina – foveától laterálisan
- Mindkét fele
 - Dorzális (superior) kvadráns
 - Ventrális (inferior) kvadráns

Látómező

- Az a nézet, amelyet két szemmel látunk a fej elmozdítása nélkül



LVF - RVF

Zónák

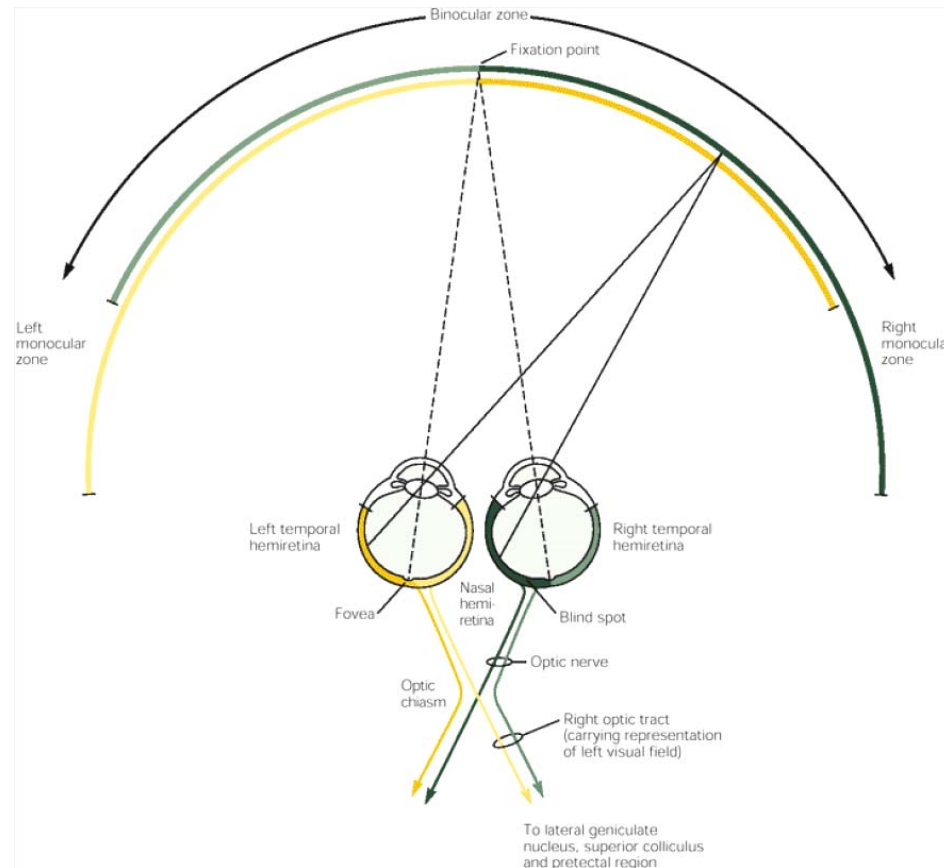
- Binokuláris – centrális
- Monokuláris, ha pl. nagyon temporálisan látható egy tárgy – ekkor csak ipszilaterális nazális

Vakfolt (optic disc)

- Itt lépnek ki a ganglionsejtek axonjai
- Itt nincsenek fotoreceptorok = fényre érzéketlen
- Mindkét szem esetén foveától nazálisan helyezkedik el, így ha két szemmel nézünk, nem tudatosulhat!!!!
- Kísérletesen: monkulárisan megtalálható

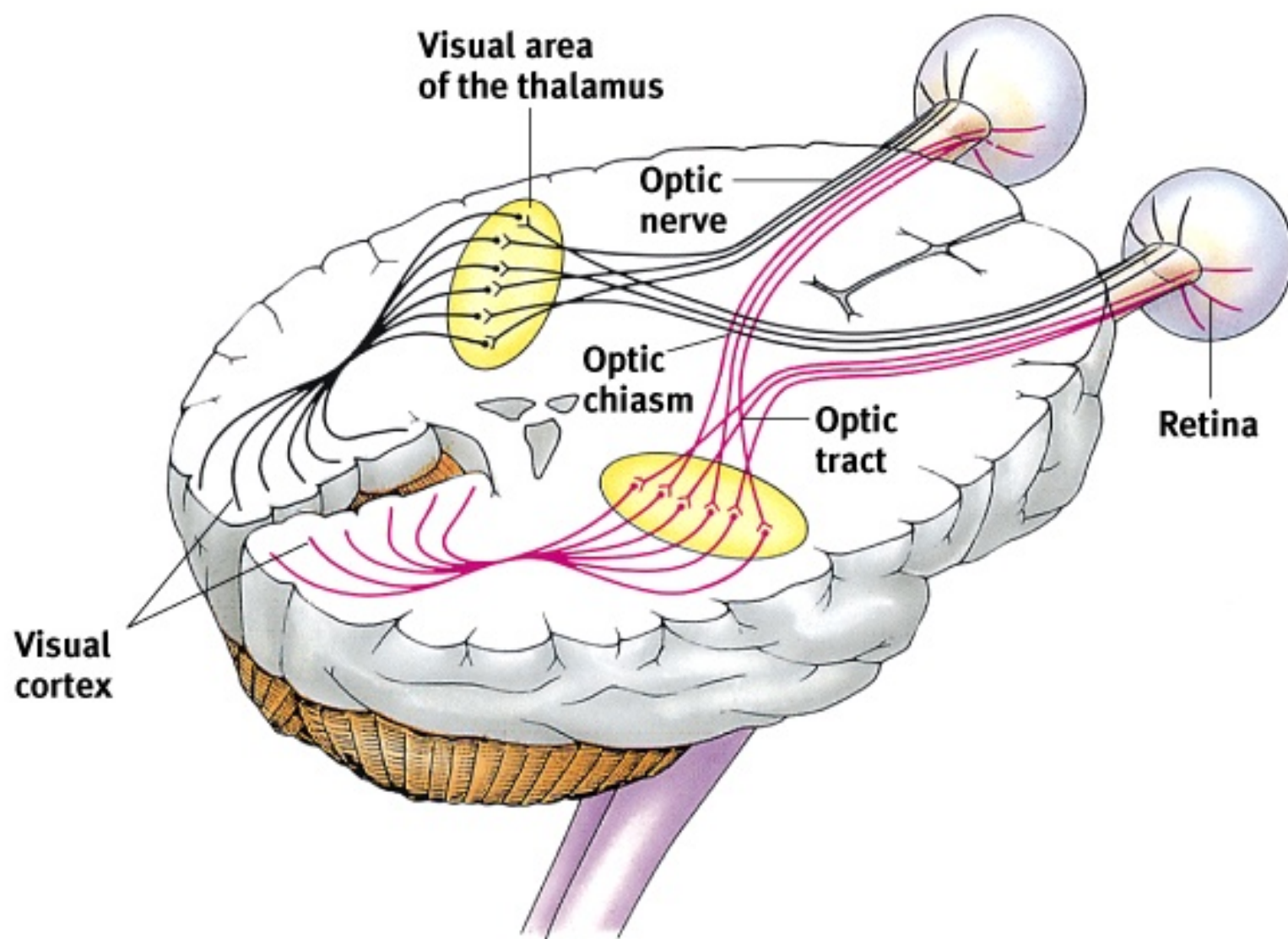


- Fontos a VF és a retinális kép közötti szerveződést megérteni, DE:
- Két probléma
 - A lencse megfordítja a vizuális képet, azaz pl. felső VF = inferior (ventrális) retina (sérülésnél erre figyelni kell!!!)
 - A binokuláris részen megjelenő pont a két retinán máshol található!



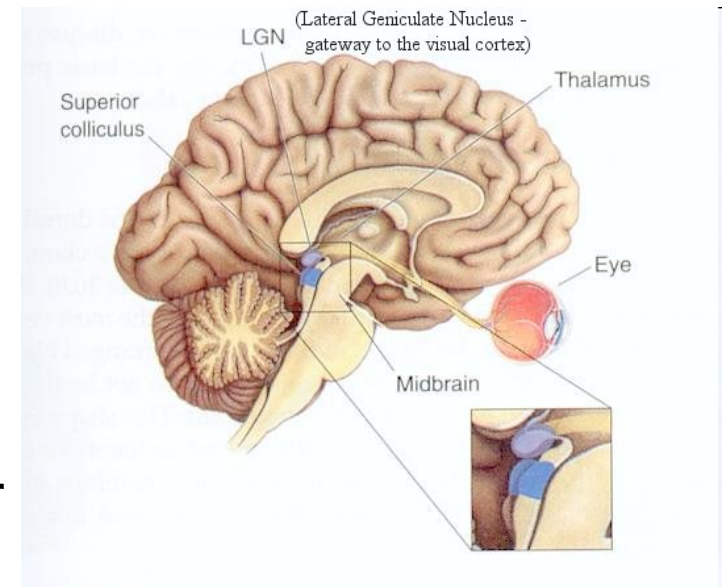
Axonok útja

- Ganglionsjetek axonjai a vakfolton át kilépnek, myelinizáltak lesznek - nervus opticust alkotják – kereszteződnek a chiasma opticumon át, ahol „újracsomagolódnak” – tractus opticus – innen 3 subcorticális régió (pretectum, colliculus superior, CGL)
- Átkereszteződés szabály: csak a nazális kereszteződik, a temporális marad
- Ezáltal a bal oldali retinarészek balra, jobb oldaliak jobbra



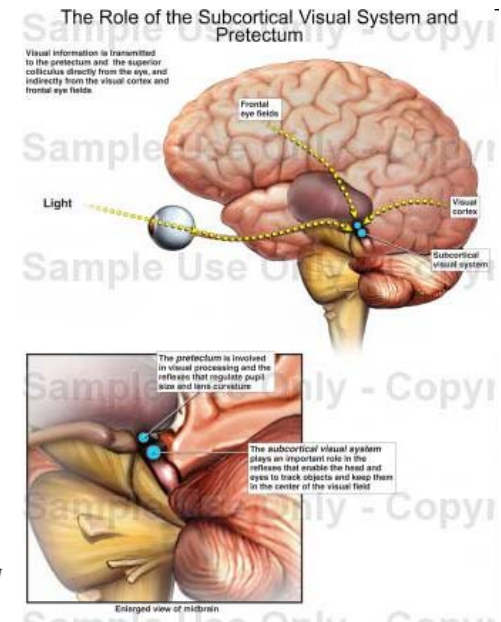
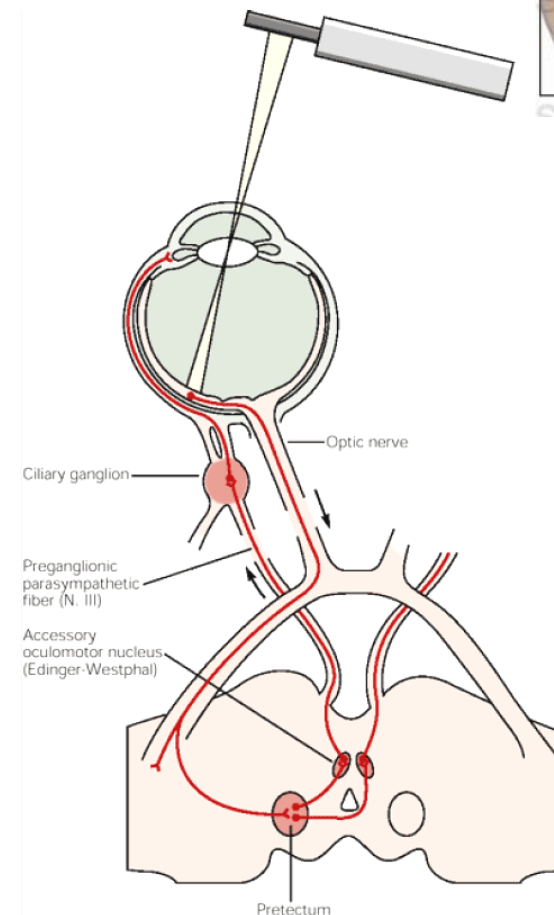
Colliculus superior

- Fő feladata: szakkádikus szemmozgás kontrollja
- Középagy tetején, sz.á. és f.á. része
- Retinális ganglionsejtek direkt projekciója a felső rétegeibe, megalkotja a contralateralis VF térképét – pulvinar (Thal) – kéreg
- Jelentős kérgi inputot is kap, felső réteg vizuálisból, alsóbbak más modalitásból is (fütyülő kismadár)
- Mélyebb rétegek: erős válasz szakkádikus szemmozgás kezdetekor (középső réteg)
 - Pl.: bal VFben lévő ingerre válaszoló sejtek balfelé irányuló szakkád kezdete előtt
- Input: direkt retinából is DE a legfontosabbak a kéregből



Pretectum

- Épp ventrálisan a colliculus superioritól, fő feladat: pupilla reflex
- Fény egyik szembe – direkt (abban a szemben) és konszenzuális (másikban) válasz
- Reflexet mediálják: retinális ganglionsejtek
- Sejtjei: bilaterális Edinger-Westphal nucleusban preganglionáris paraszimpatikus neuronok (III. agyideg mellett) – ciliáris ganglionok beidegzése az okulomotoros idegben
- Postganglionárisan: smooth pupilla sphincter izmok, szimpatikusan: radiális izmok dilatatioja

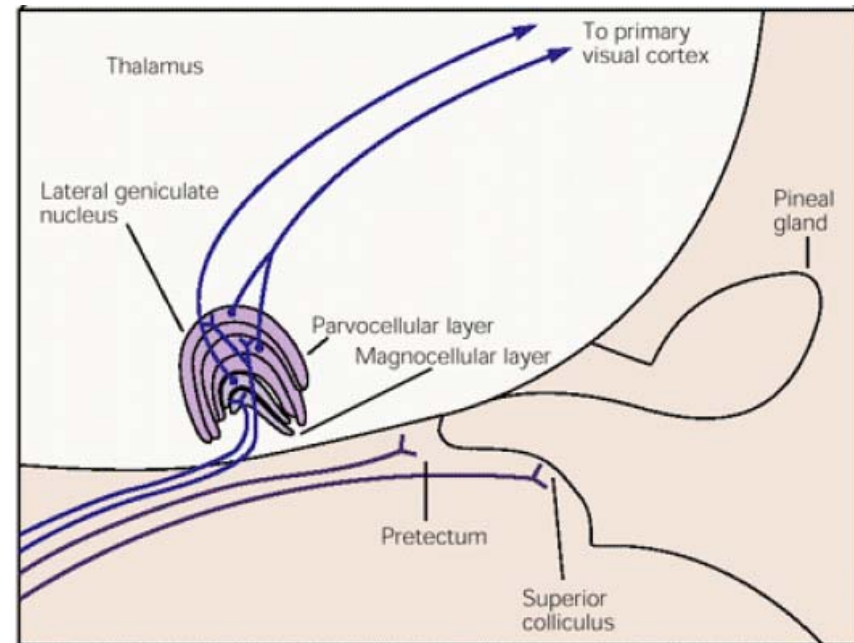


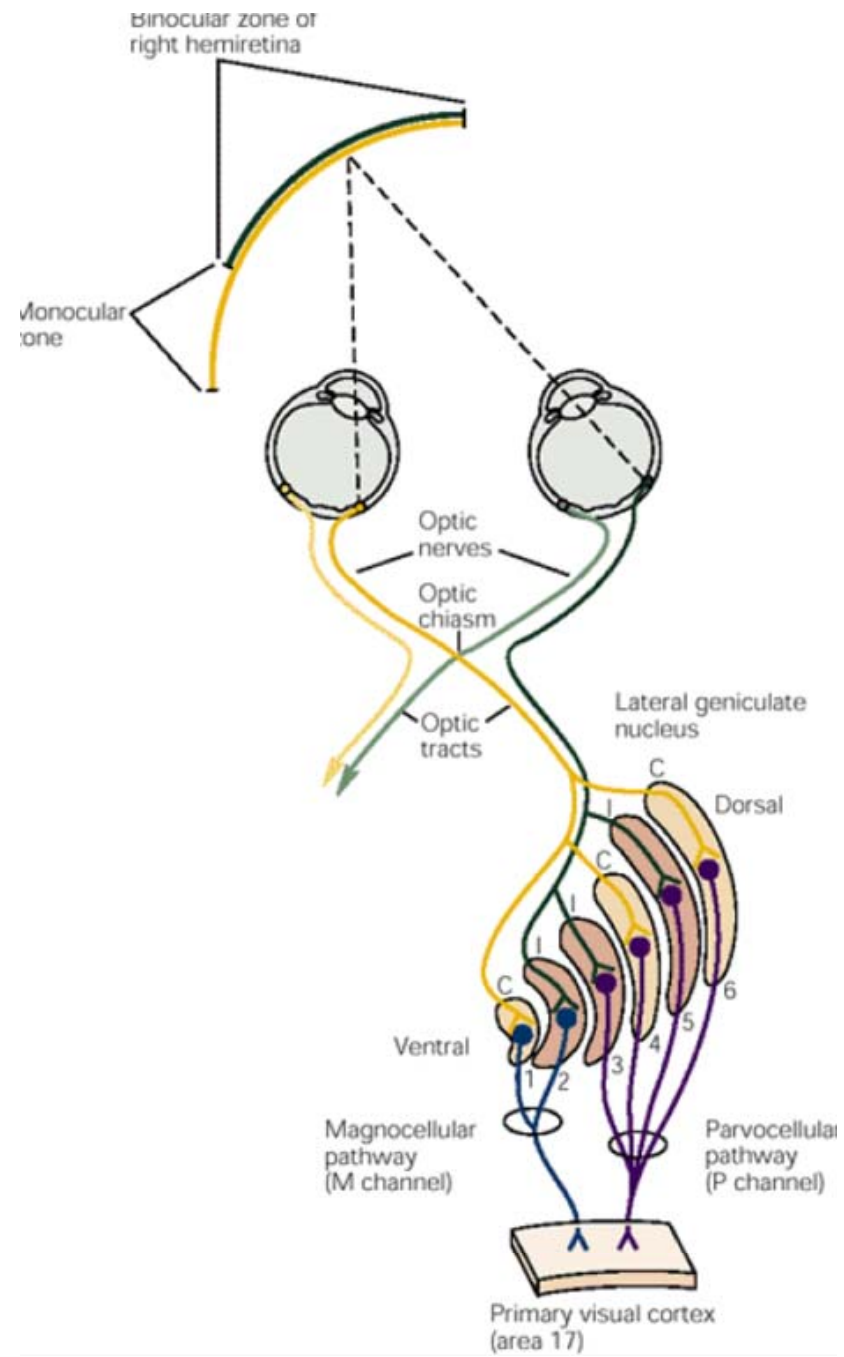
Azért a főnök.... CGL

- Retinából kb. 90% axon ide, innen a kéregbe
- Blindsight
- Kontralaterális VF retinotopikus leképeződése
- Nem egyforma hangsúlyú reprezentáció (v.ö.: szomatoszenzoros rendszer) – fovea túlreprezentált

CGL felépítése

- 6 réteg – közöttük intralamináris rétegek f.á.-nak
- M és P retinális ganglionsejtekből – 2 belső: magnocelluláris, 4 dorzális: parvocelluláris – mindegyikben ON és OFF sejtekből is
- DE: 1 adott réteg csak az egyik szemből: contralaterális
nazális: 1,4,6 – ipsilaterális
temporális: 2,3,5
- RM: központ/szél antagonisztikus szerveződés
- Kedvenc inger: kis fényfolt





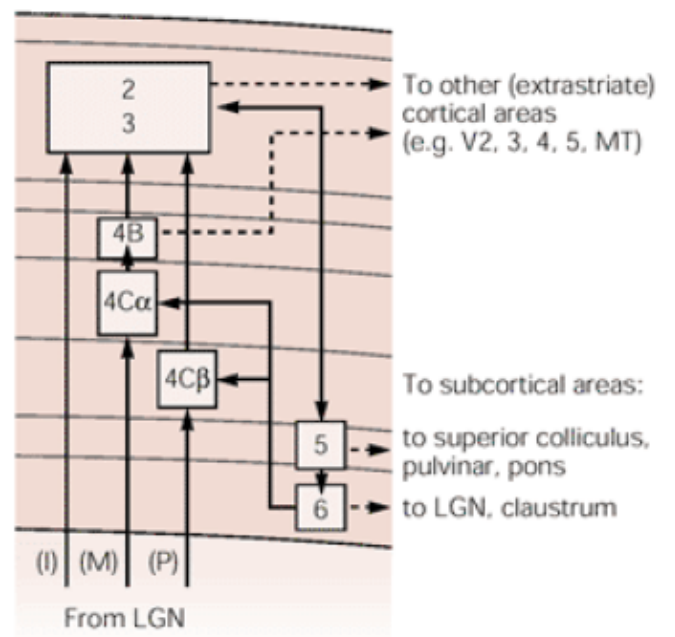
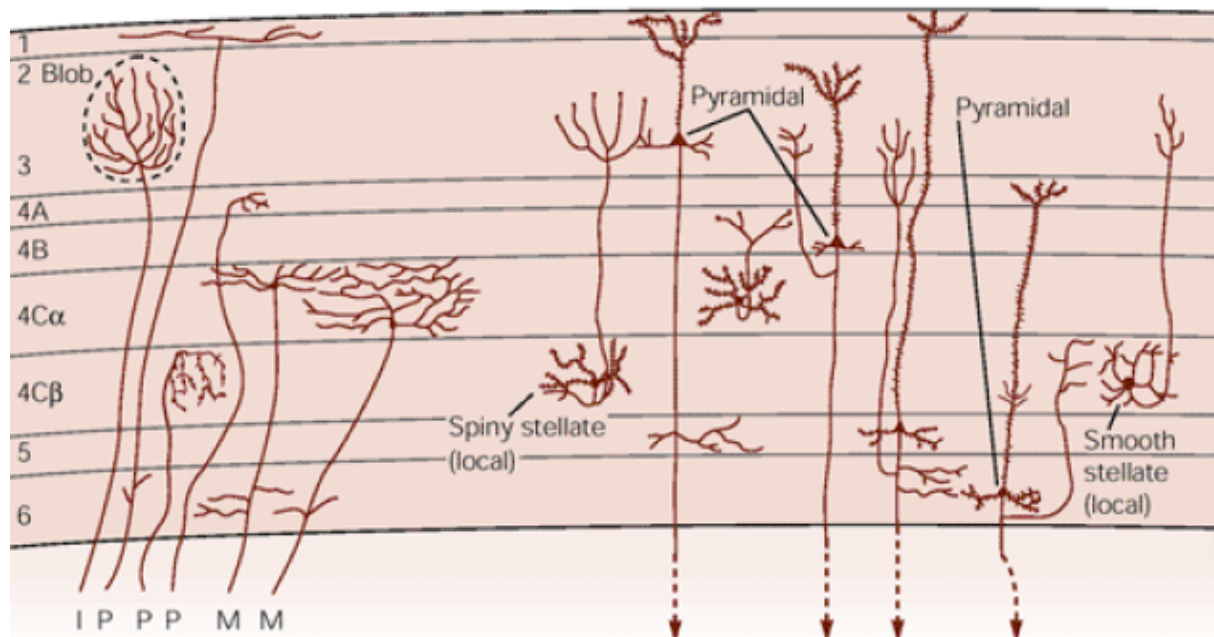
M és P pályák - sejtek

- Legfontosabb különbségek a pályák sejtjeiben – táblázat
- Szín, luminancia (fényességbeli különbség a 2 szélsőérték között), téri frekvencia (ciklus/fok), idői frekvencia (Hz)
- Károsodásuk speciális kiesésekkel

Stimulus feature	Sensitivity	
	M cells	P cells
Color contrast	No	Yes
Luminance contrast	Higher	Lower
Spatial frequency	Lower	Higher
Temporal frequency	Higher	Lower

V1

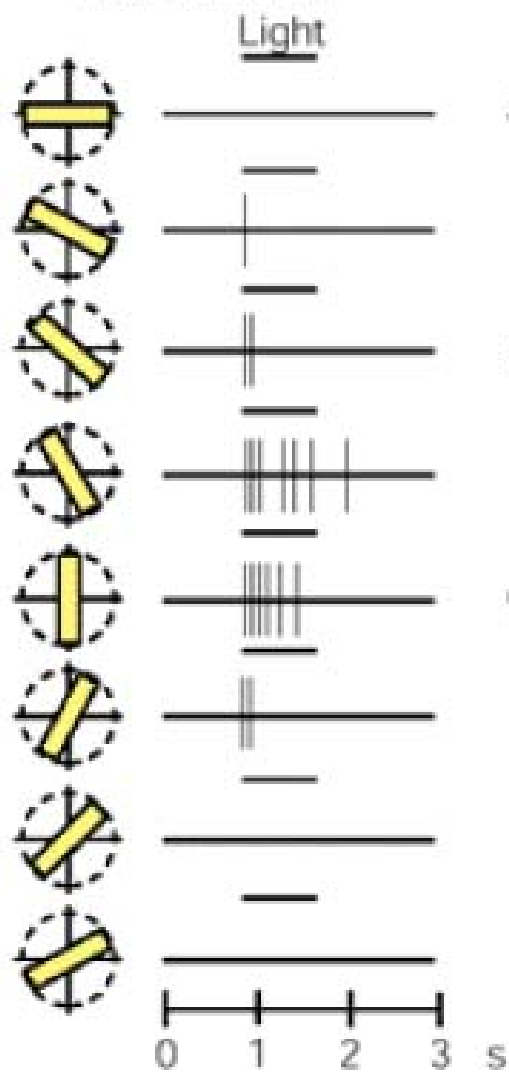
- Egyszerű retinális inputból a vizuális kép építőkövei!!! ☺
- Itt nagyon megváltozik a RM szerveződése, ami marad: ellenoldali VF reprezentációja
- Kb. 2 mm vastag, 6 réteg, CGL fő bemeneti rétege: 4-es – alrétegek: A,B,C α (M axonjai),C β (P axonjai) – szegregáció megmarad
- Ezekről függetlenül: intralamináris sejtektől 2,3-ba (blobok)
- Két fő sejtosztály: piramis sejtek, nem piramis sejtek (kis csillag alakú, tüskés vagy sima dendritekkel) – lokális interneuronok
- Tüskés és piramis: serkentő – glutamát vagy aszpartát
- Sima: gátló GABA



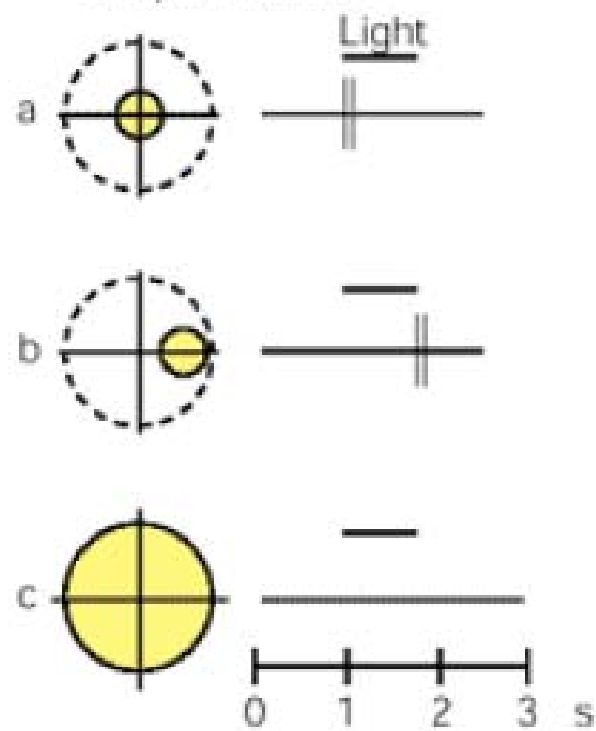
V1 sejtjei

- Egyszerű és komplex sejtek
- A vizuális képet apró, különböző orientációjú vonalszegmensekre szedi szét
- Hubel és Wiesel – story
- Egyszerű sejtek: speciális orientációra, RM szerveződése – serkentő és gátló rész, kialakulás: több ON és OFF összegződése
- Komplex: általában nagyobb RM, szintén orientáció, de az inger elhelyezkedése nem annyira döntő

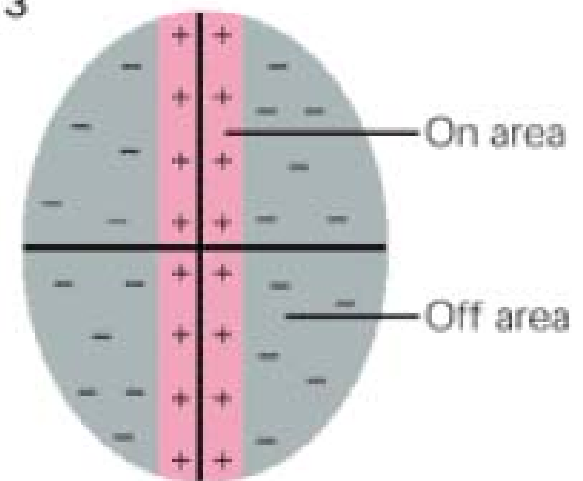
1 Bar stimulus



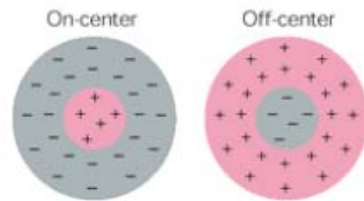
2 Spot stimulus



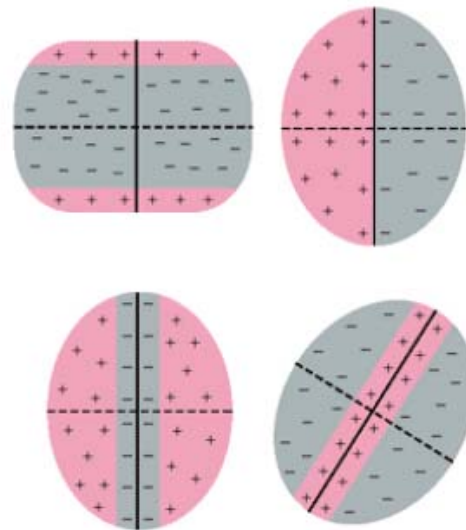
3



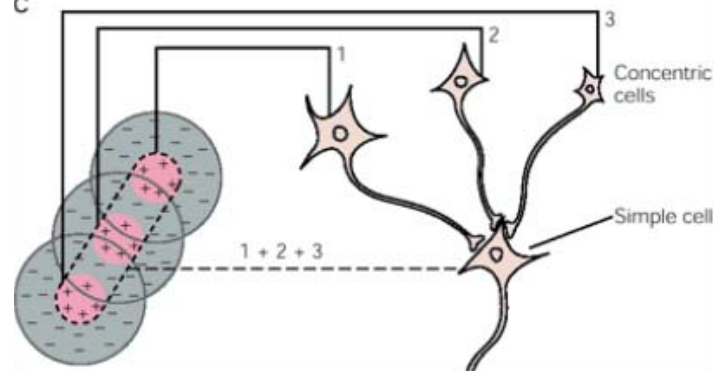
A Receptive fields of concentric cells of retina and lateral geniculate nucleus



B Receptive fields of simple cells of primary visual cortex



C

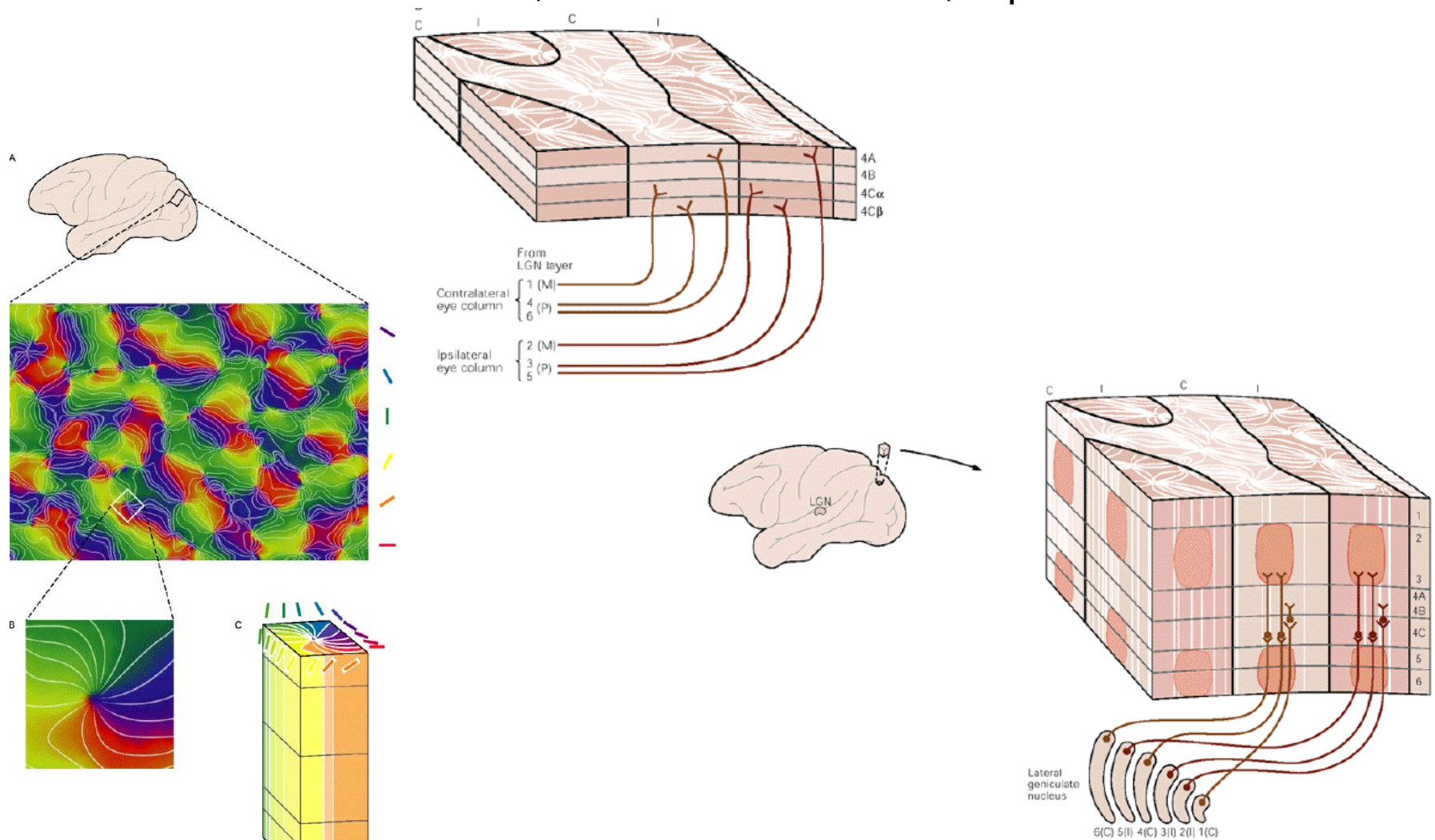


Út visszafelé ☺ - avagy erős konvergencia!!!

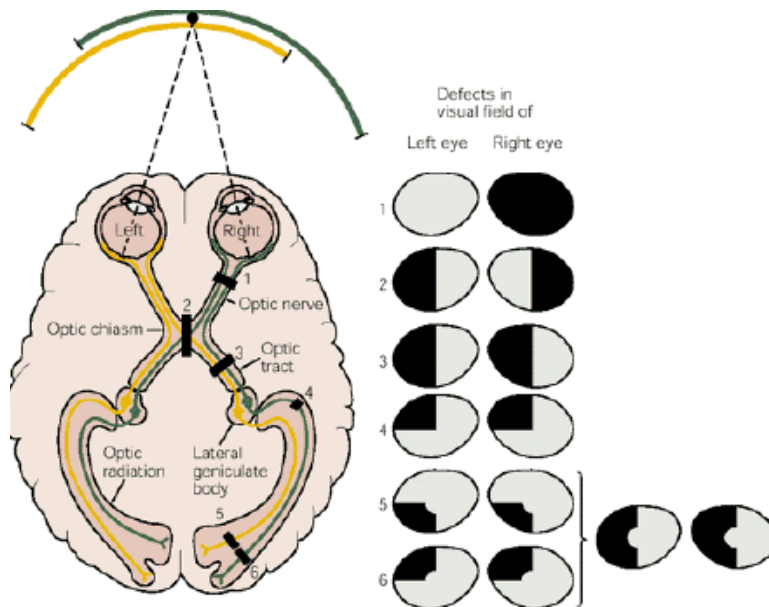
- Bármely komplex sejt egyszerű sejtnek csoportjának aktivitását szállítja – bármely egyszerű sejt a CGL sejtcsoportét – bármely CGL a retinális ganglionsjeteit – bármely ganglionsejt a bipoláris sejteit – azok pedig a receptorsejteit
- Minden szinten minden sejtnek nagyobb absztrakciós kapacitása
- A felszálló pálya bármely állomásán egy sejtet aktiváló ingertulajdonság egyre speciálisabb

V1 – funkcionális modulokba szerveződik

- Kolumnáris szerveződés
 - Orientációs kolumnák, Okuláris dominancia, Hiperkolumnák

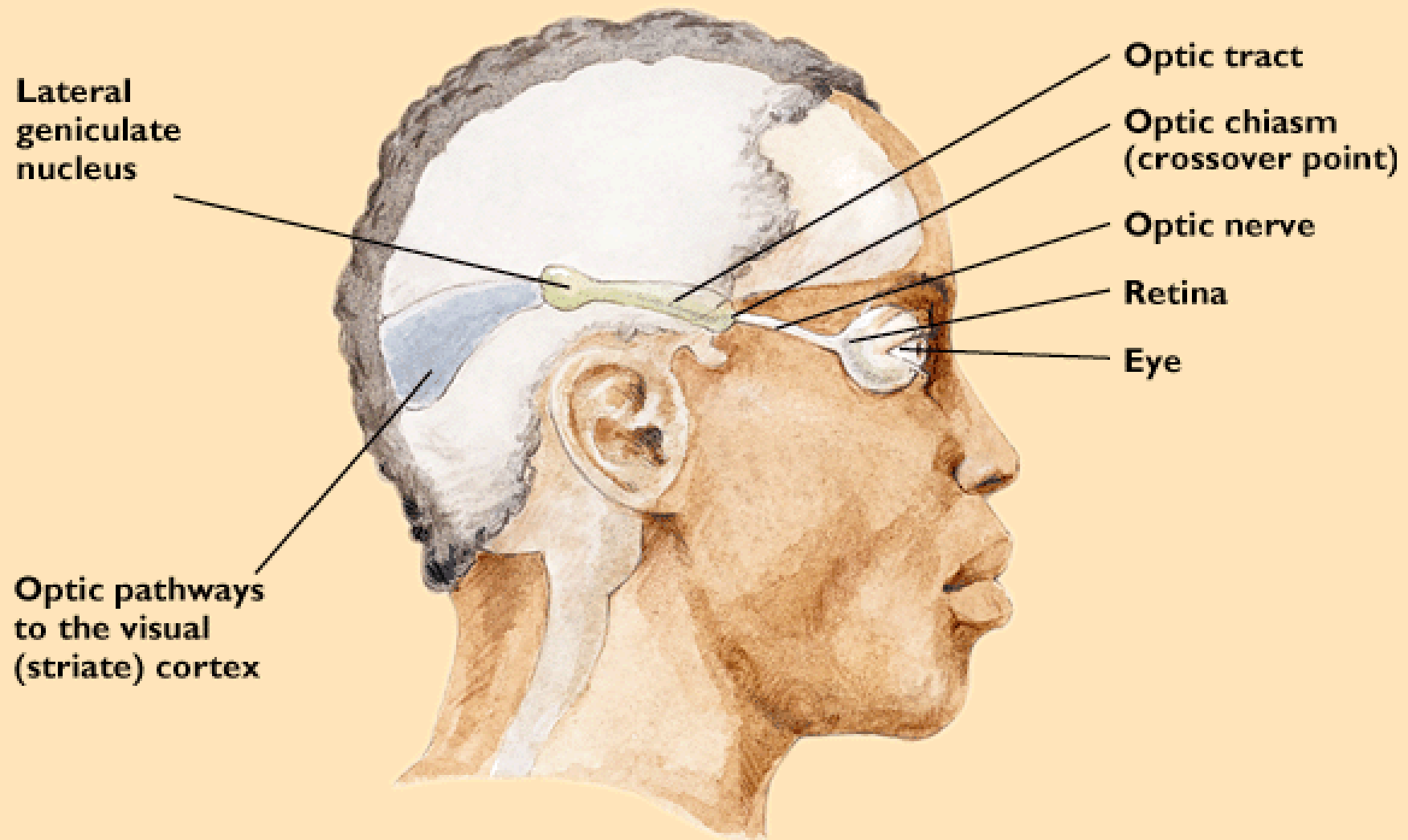


Léziók



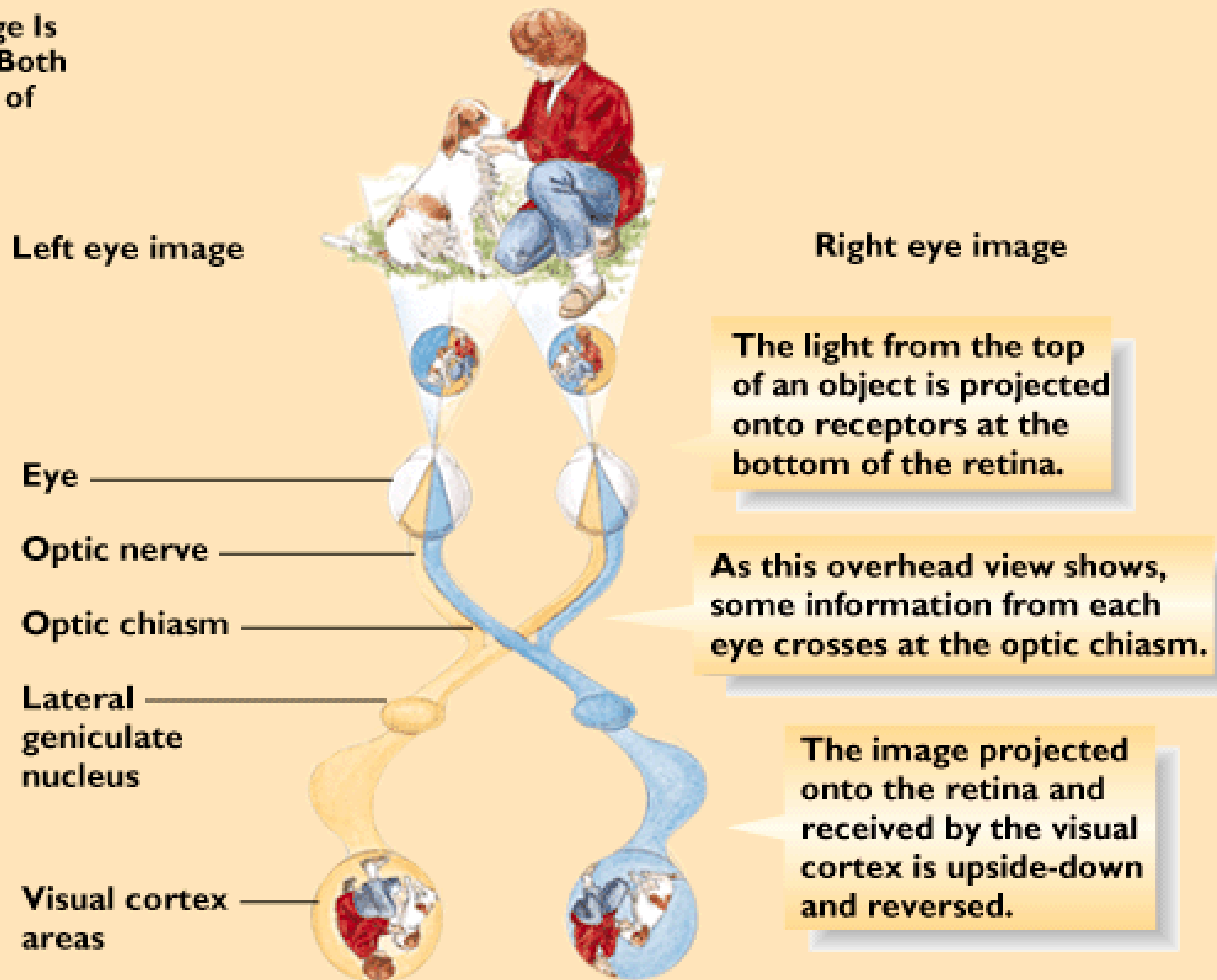
1. Jobb nervus opticus – totál látásvesztés a jobb szemben
2. Chiasma opticum – bitemporális hemianopsia
3. Jobb tractus opticus – kontralaterális hemianopsia
4. Meyer-loop (rad.opt. ami a temporálisba megy) – felső kontralaterális kvadratikus anopsia
5. Sulcus calcarinus felső partja – másik oldal inferior kvadráns
6. Alsó part – superior kvadráns

Major Components of the Visual System



Information from Each Eye Crosses at the Optic Chiasm

A Visual Image Is Projected to Both Hemispheres of the Brain



Irodalom

- Kandel – Schwartz – Jessell: Principles of neural science
 - 26. – 27. fejezet