



FAKULTET ZA SPECIJALNU EDUKACIJU I REHABILITACIJU

Medicinska fiziologija - predavanja

Čulo vida

Doc. dr Maja Milovanović

Čulo vida

- Oko – periferni deo analizatora vida
- Vidni put – provodni deo
- Vidni korteks – centralni deo

Delovi oka

- Dioptrijski aparat
- Mrežnjača – retina: specijalizovane fotoreceptorske ćelije (čepići i štapići) koje prevode svetlosnu energiju u nervni signal

Fizička priroda svetlosti

- Vidljivi deo spektra elektromagnetnih talasa:
 - od 400 do 750nm
- Foton je osnovna jedinica vidljive svetlosti

Šta analizira čulo vida?

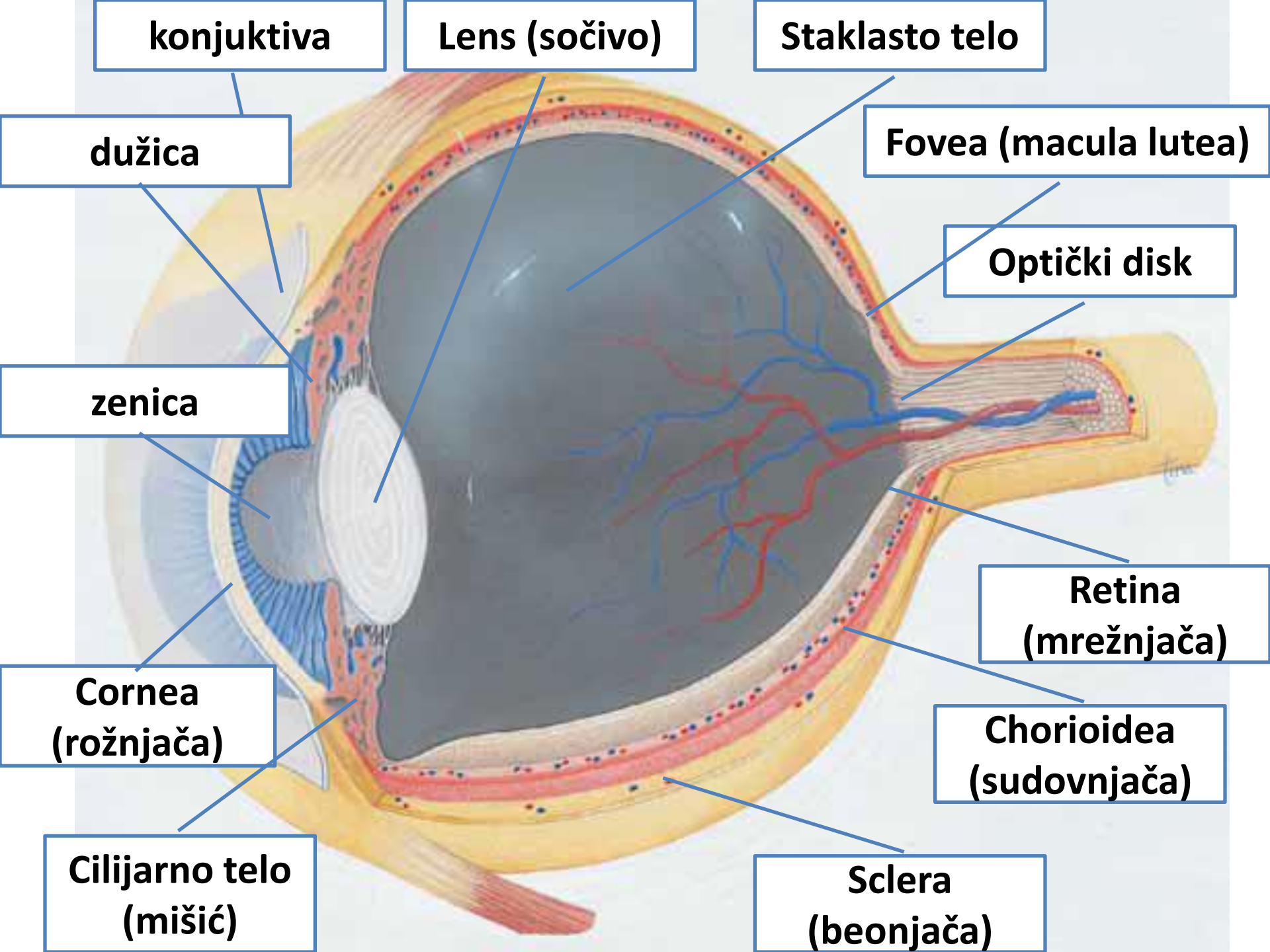
- Čulo vida analizira dva kvaliteta svetla:
 1. Jačinu svetlosti (luminacija, osvetljenost)
 2. Talasnu dužinu svetlosti (boja svetlosti)
- Štapići obavestavaju nervni sistem o prisustvu ili odsustvu fotona, bez obzira na talasnu dužinu (skotopski vid)
- Čepići obavestavaju nervni sistem o talasnoj dužini fotona (osećaj boje svetlosti – fotopski vid)

Glavne strukture oka (1)

- Cornea (rožnjača)
 - zakriviljena prednja površina oka, mesto gde svetlost ulazi u oko
- Sclera (beonjača)
 - gusto vezivno tkivo koje je u kontinuitetu sa durom mater oko optičkog nerva.
- Iris (dužica, šarenica)
 - obojena dijafragma koja prelazi preko prednjeg dela očne jabučice.
- Pupila (zenica)
 - otvor u centru dužice čiji dijametar kontrolišu mišići dužice.

Glavne strukture oka (2)

- Lens (sočivo)
- Retina (mrežnjača)
 - unutrašnji ćelijski sloj oka
- Optički nerv (n. Opticus, II kranijalni nerv)
 - izlazi na zadnjem polu oka, mesto izlaska na retini se zove slepa mrlja.
- Tečnosti oka:
 - humor aquosus (očna vodica)
 - humor vitreous (staklasto telo)



konjunktiva

Lens (sočivo)

Staklasto telo

dužica

Fovea (macula lutea)

zenica

Optički disk

**Cornea
(rožnjača)**

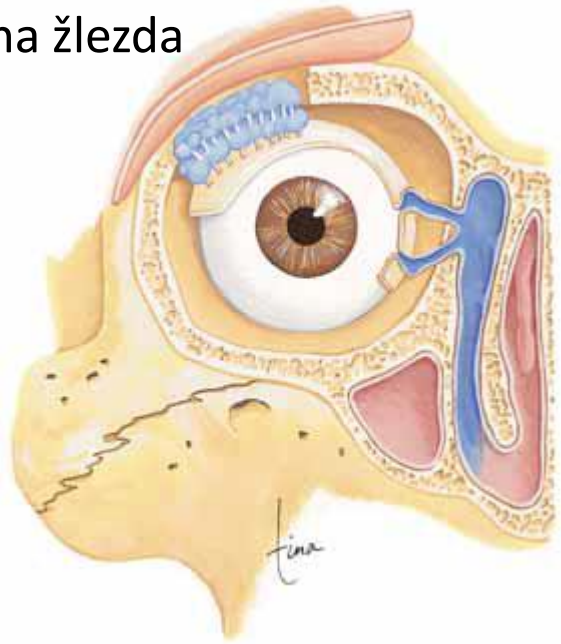
**Retina
(mrežnjača)**

**Chorioidea
(sudovnjača)**

**Cilijarno telo
(mišić)**

**Sclera
(beonjača)**

Suzna žlezda



Suzni kanal

Pomoćni delovi oka

Imaju zaštitnu funkciju:

Konjunktiva:

Mukozna membrana,
transparentna

oblaže unutrašnju stranu
kapaka i prednji deo
jabučice osim rožnjače;

Mišići pokretači:

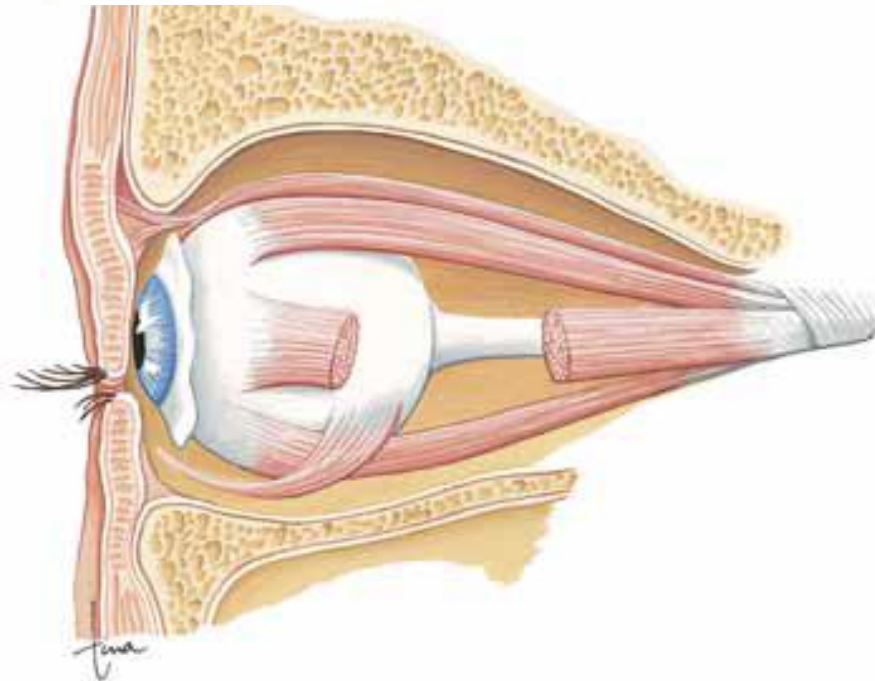
pokreću očnu jabučicu

Suzne žlezde

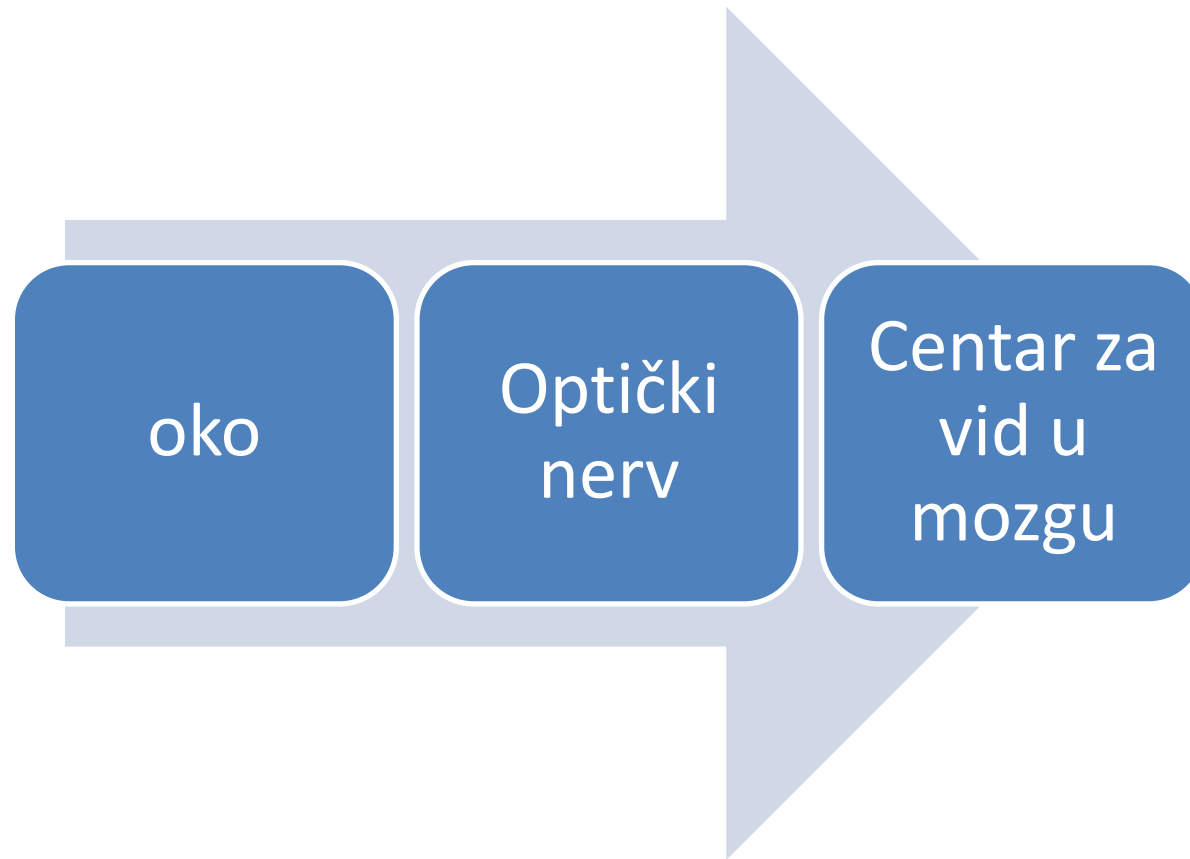
Gornji kapak

Trepavice

Donji kapak



Funkcionalna organizacija čula vida



Funkcionalna anatomija oka

- **Svetlosno - prelomni deo oka – dioptrijski aparat** - providne strukture koje propuštaju i prelamaju svetlost:
 - Rožnjača
 - Očna vodica
 - Sočivo
 - Staklasto telo
- **Svetlosno – prijemni deo oka**
 - Mrežnjača (retina)

Ovojnice oka

1. Fibrozna ovojnica:

- Korneja – rožnjača:
 - Providna, glavna optička površina oka, odgovorna za 2/3 snage prelamanja oka
- Sklera – beonjača:
 - Neprovidna

2. Vaskularna ovojnica:

- Iris – dužica:
 - Mioza
 - Midrijaza
- Cilijarno telo
- Sudovnjača

3. Neuralna ovojnica – mrežnjača (retina)

Principi optike

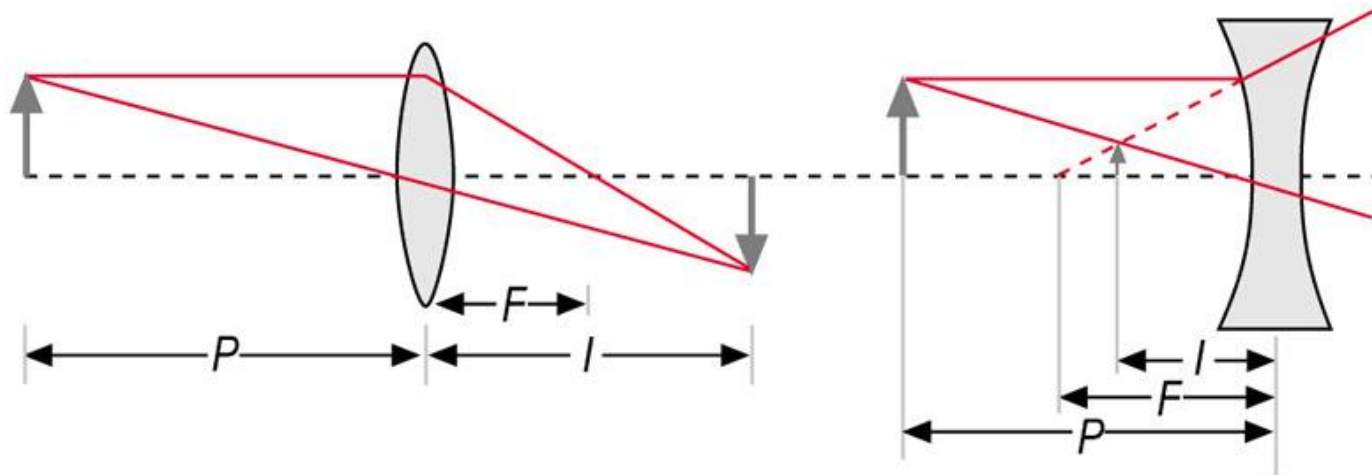
- Čim uđu u oko svetlosni zraci se prelamaju.
- Refrakcija je prelamanje svetlosti na zakrivljenim površinama.
- Step en prelamanja zavisi od:
 1. Zakrivljenosti površine (veća zakrivljenost jače prelamanje)
 2. Indeksa prelamanja sredine (velika optička gustina , veliki indeks prelamanja)

Prelamanje dioptrijskog aparata oka

- Rožnjača, očna vodica, sočivo i staklasto telo su providne strukture sa različitom optičkom gustinom.
- Žižna tačka (glavna žiža, fokus) - je tačka u kojoj se zraci sakupljaju – fokusiraju nakon prelamanja na rožnjači i sočivu.
- Žižna daljina – rastojanje od centra sočiva do žižne tačke

Prelomna moć sočiva

- Konstatna, meri se D
- Konveksno (sferno sočivo) fokusira svetlost
- Konkavno sočivo rasipa svetlost
- Žižna daljina sočiva je udaljenost iza konveksnog sočiva na kojoj se paralelni zraci koji prolaze kroz konveksno sočivo skupljaju u zajedničku žižnu tačku.



Optika oka i mehanizam akomodacije

- Rožnjača: $\frac{2}{3}$ od ukupnog prelamanja svetlosti
- Oko 15% prelamanja na sočivu.
- Sočivo menja svoj oblik a time i sposobnost prelamanja:
- Promena oblika sočiva da bi se projektovani lik posmatranog predmeta zadržao u fokusu na retini naziva se AKOMODACIJA SOČIVA.

Mehanizam akomodacije

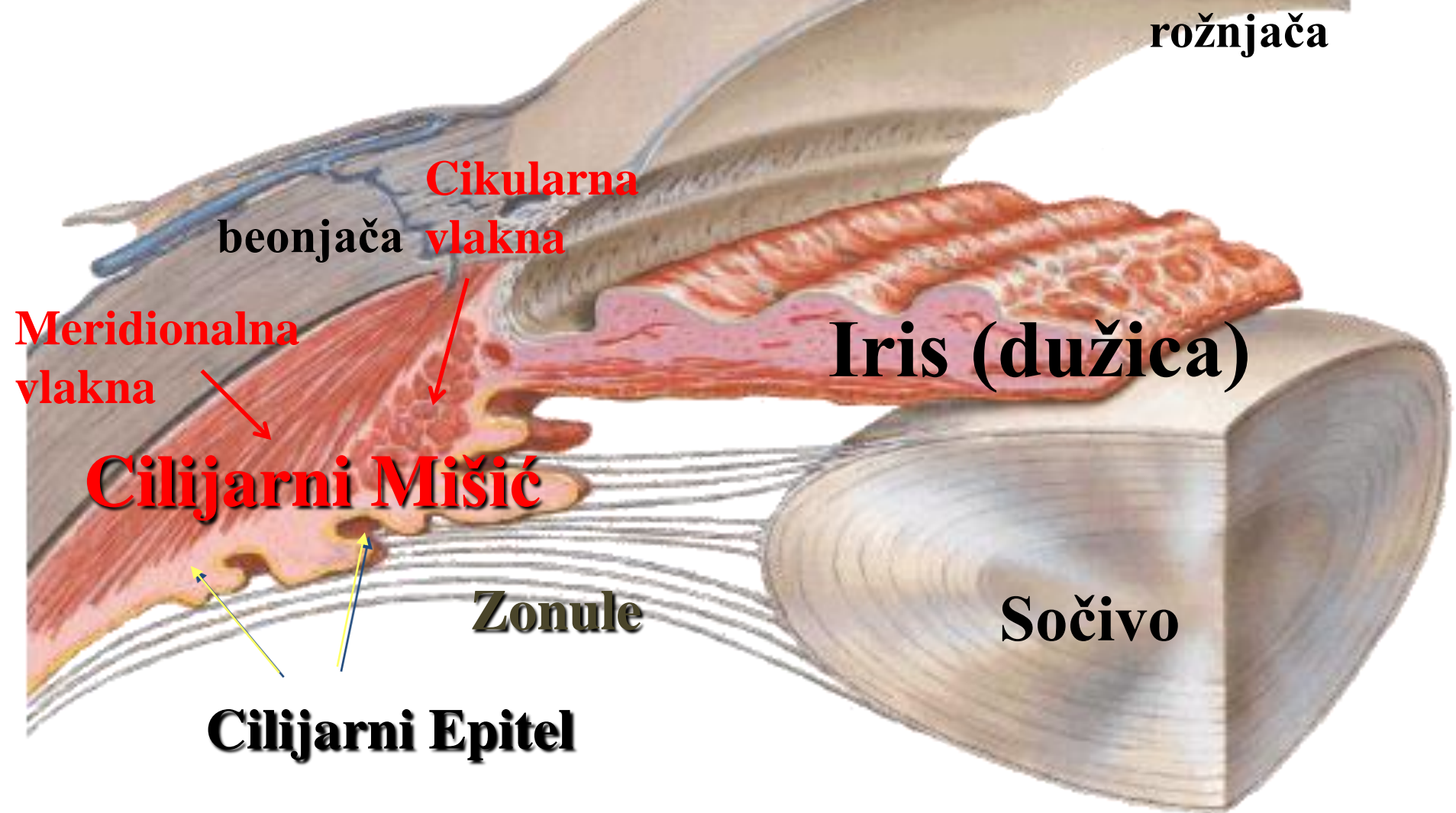
- Zavisí od elastičnih karakteristika sočiva i pritiska koje sočivo trpi u zavisnosti od funkcije suspenzornih ligamenata.
- Kontrakcija cilijarnog mišića smanjuje pritisak u suspenzornim ligamentima i omogućava sočivu da poprimi okrugao oblik.
- Kontrakciju cilijarnog mišića kontriše parasimpatikus, refleksno, van volje.

Akomodacija – moć sočiva

- Najdalja tačka jasnog vida – najmanje rastojanje od oka pri kome se predmeti jasno vide bez učešća akomodacije. Normalno 6m.
- Najbliža tačka jasnog vida - najmanje rastojanje od pri kome se predmeti jasno vide pri maksimalnoj akomodaciji. Normalno 15cm.
- Sa starenjem - smanjenje elastičnosti sočiva, staračka dalekovidost.

Cilijarno telo – akomodacija:

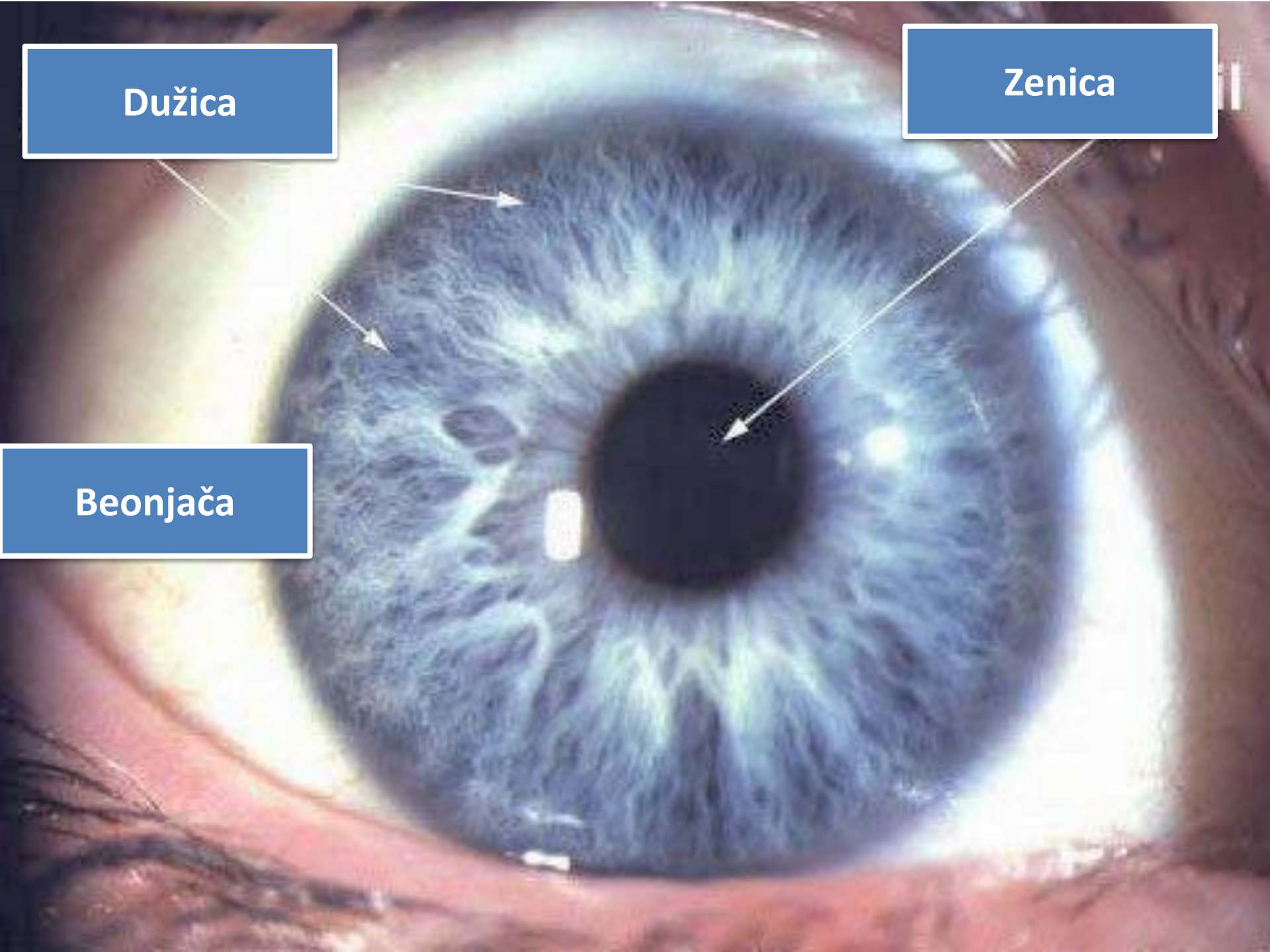
Kontrakcija kružnih i meridionalnih glatkih mišića dovodi do opuštanja ligamenata koji se pripajaju za kapsulu sočiva te ono poprimi više loptast oblik.



Dužica

Zenica

Beonjača



Zenica

- Kružni otvor na dužici kroz koji prolazi svetlost
- Veličina se refleksno reguliše kontrakcijom:
 - M. sphincter pupillae – kružno postavljena vlakna (inervisana parasimpatikusom) – mioza (pri velikoj osvetljenosti).
 - M. dilatator pupillae - radijalno postavljena vlakna (inervisana simpatikusom) – midrijaza (slaba osvetljenost).

Sposobnost prilagođavanja oka

- **Zenica**

- Prilagođavanje oka na količinu svetlosti

- **Sočivo**

- Prilagođavanje oka gledanju predmeta na različitoj udaljenosti od oka

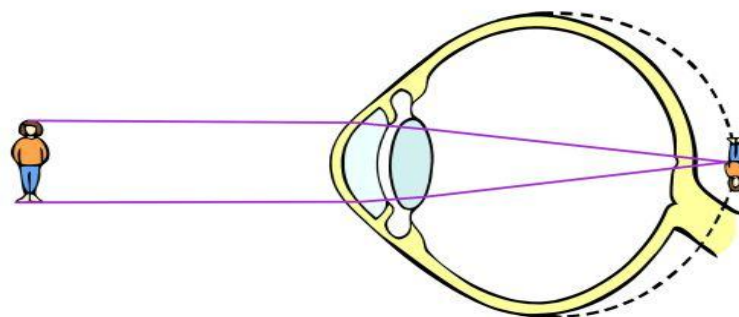
Emetropija

- Osoba može jasno videti sve udaljene predmete kada je cilijarni mišić potpuno opušten.
- Usklađena je prelomna moć dioptrijskog aparata oka sa dužinom očne jabučice, svi zraci se nakon prelamanja fokusiraju tačno na retini.

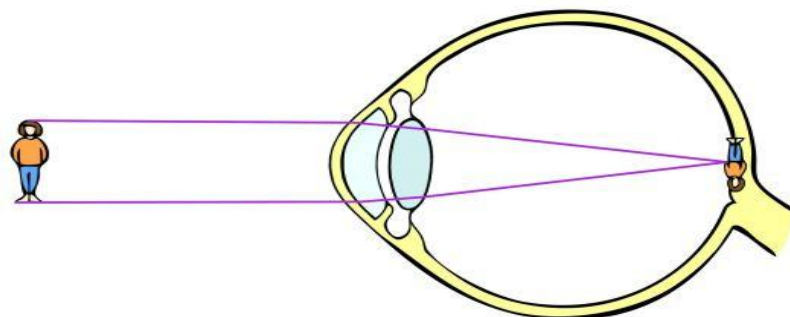
Greške refrakcije

- **KRATKOVIDOST:**
- dobro se vide bliski predmeti, ali ne i udaljeni

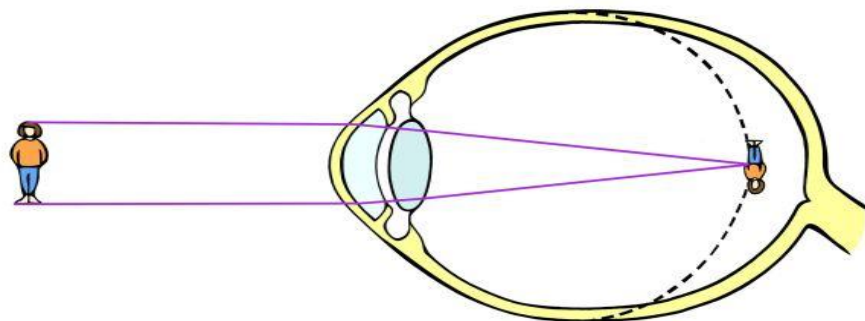
- **DALEKOVIDOST:**
- dobro se vide udaljeni predmeti, a bliski se ne vide jasno



C-dalekovidno oko

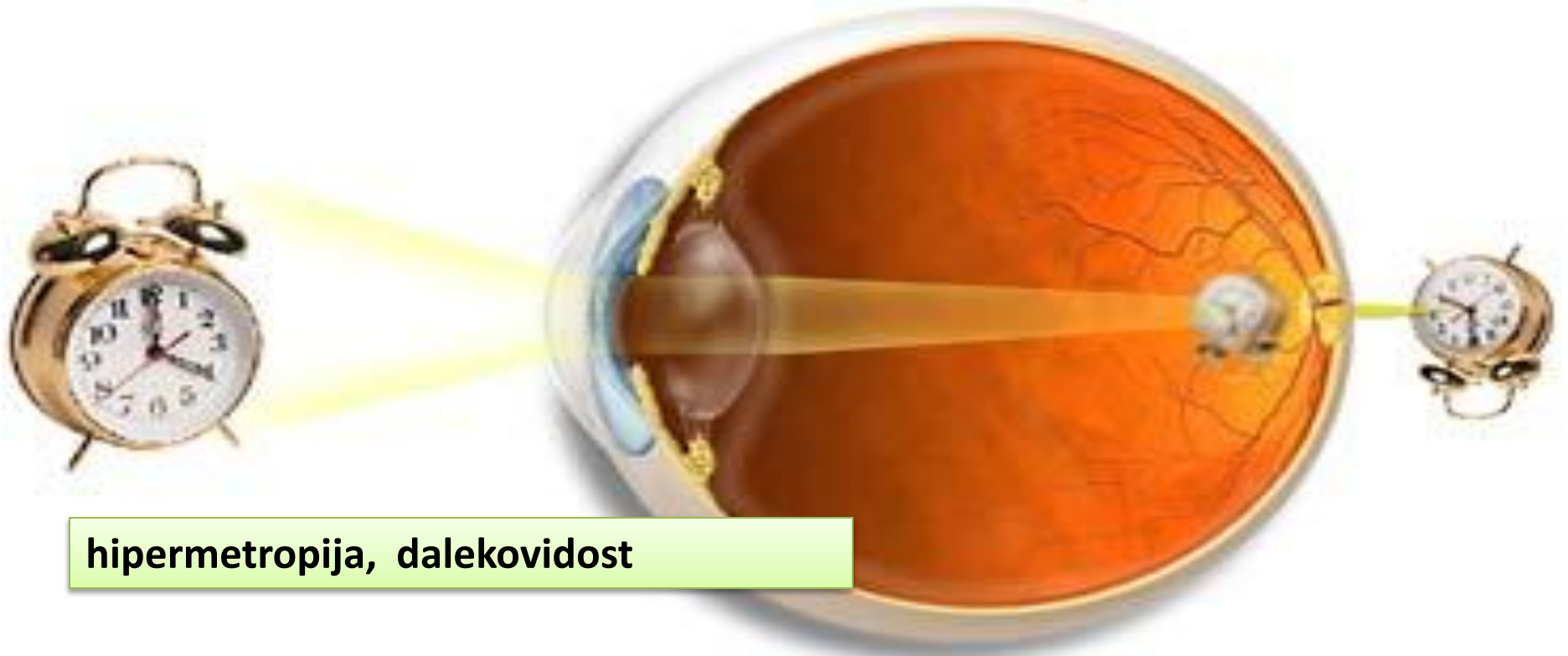


B-zdravo oko;



A-kratkovidno oko

Hipermetropija

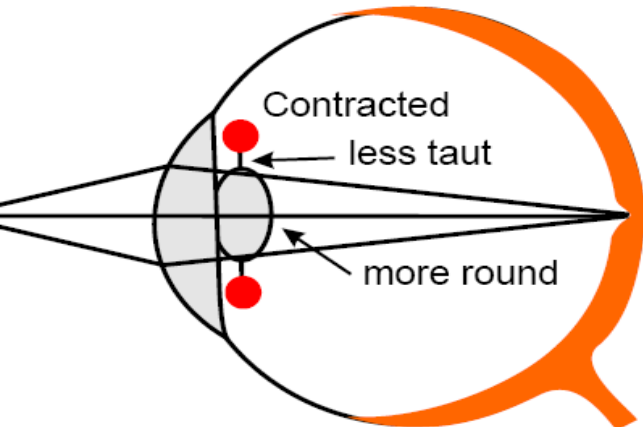
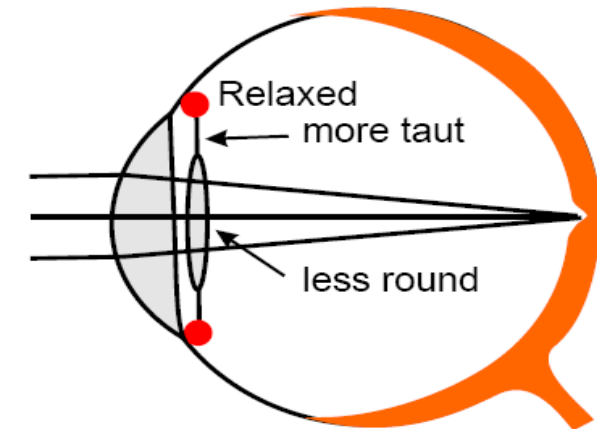
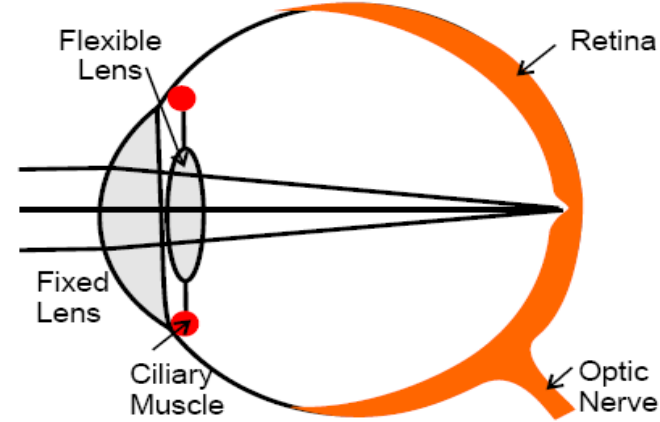


Nastaje zbog:

- 1. Kratke očne jabučice**
- 2. Slabog prelamanja dioptrijskog sistema**

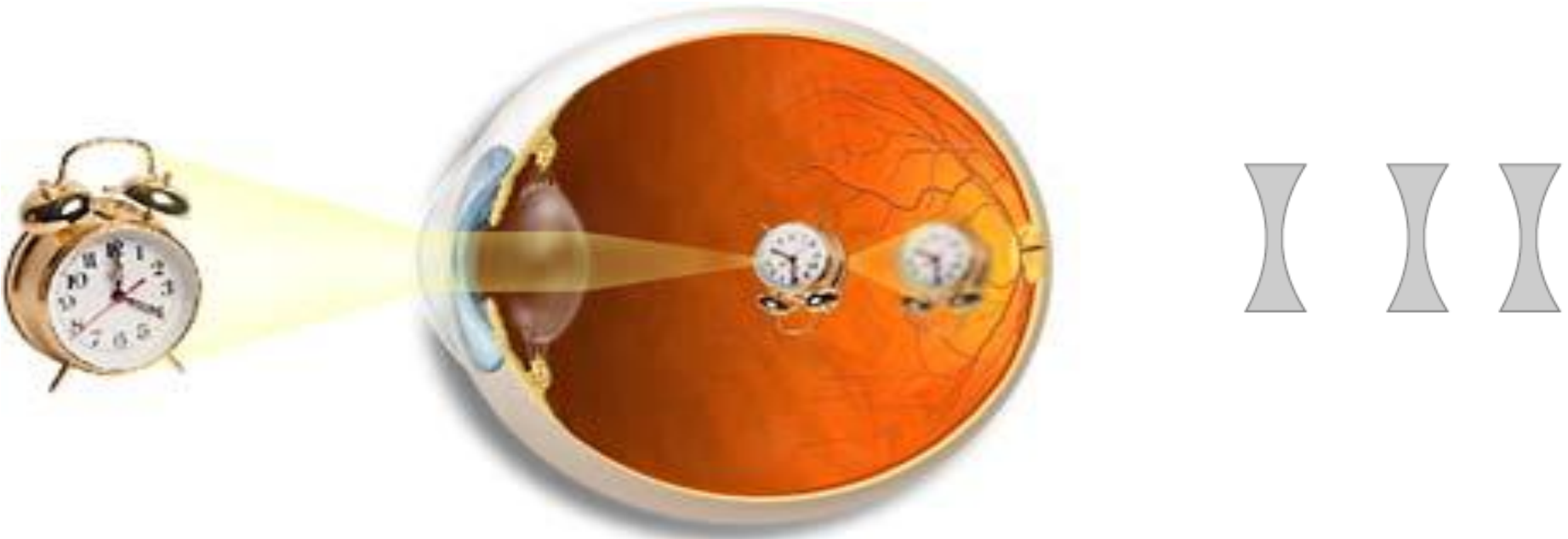


Prezbiopija – staračka dalekovidnost



- Kako osoba stari, zbog denaturacije proteina sočiva elastičnost se smanjuje kao i akomodaciona sposobnost
 - ✓ 14 D kod dece,
 - ✓ 2 D (45-50 g),
 - ✓ 0 D 70 g.
- Oči se više ne mogu prilagoditi, niti gledanju na blizinu niti gledanju na daljinu
- (bifokalne naočare)

Miopija



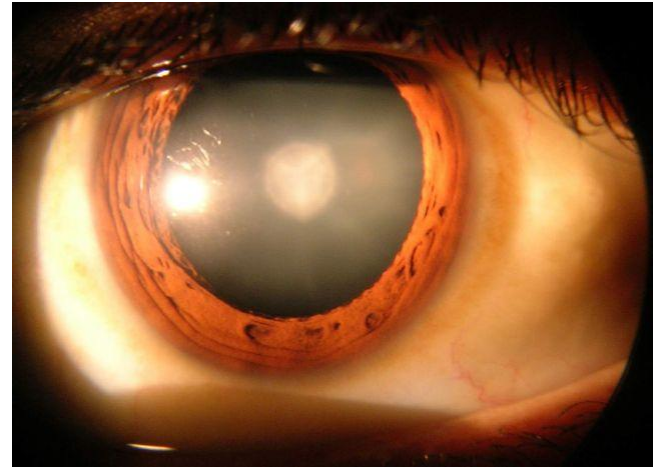
Svetlosni zraci koji dolaze sa udaljenih predmeta skupljaju se u žižu ispred mrežnjače

Nastaje zbog:

- 1. Izdužene očne jabučice**
- 2. Prejakog prelamanja sistema sočiva u oku**

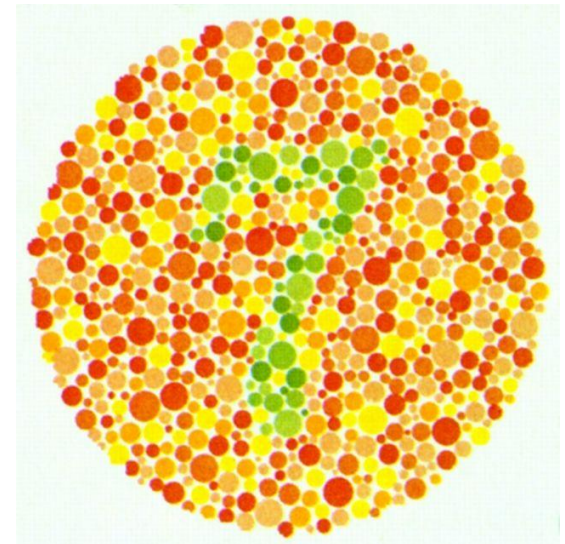
SIVA MRENA - katarakta

- zbog procesa starenja zamuti se očno sočivo i postane neprozirno



SLEPILO ZA BOJE (daltonizam)

- genetički poremećaj



Oštrina vida

- Sposobnost oka da jasno uoči dve odvojene bliske tačke u vidnom polju.
- Oštrina vida zavisi od:
 1. Veličine lika predmeta koji se stvara na retini (tj od veličine predmeta i udaljenosti od oka)
 2. Dioptrijskog aparata oka
 3. Građe i funkcije retine
 4. Osvetljenosti sredine (dnevna svetlost – najveća oštrina u fovei centralis, noćna svetlost – najveća oštrina na periferiji retine.
- Najveća oštrina vida je u fovei centralis (slojevi razmaknuti, svetlost pada na čepiće)

Normalna oštrina vida

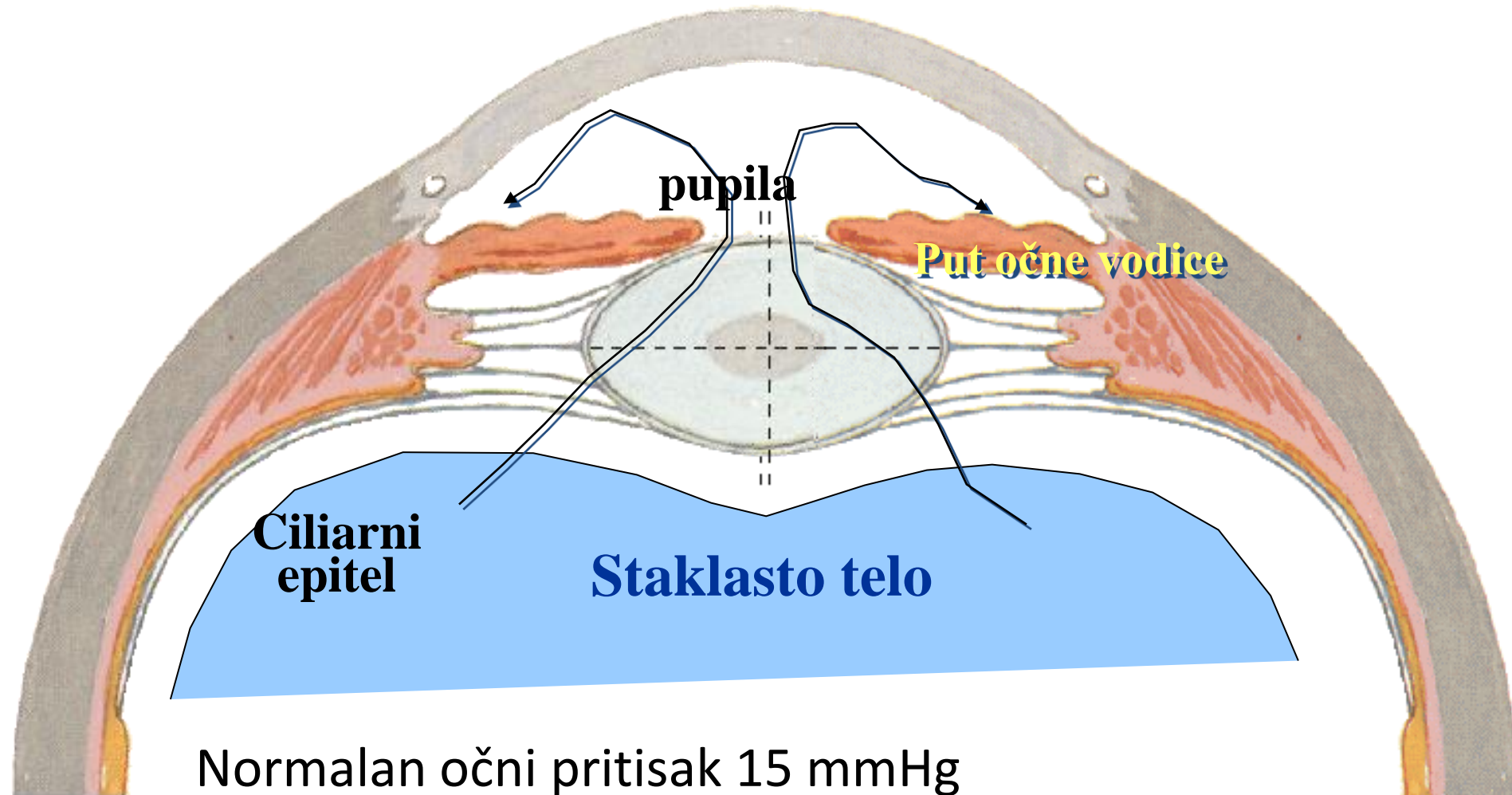
- **Da bi se dve tačke videle kao odvojene, svetlosti zraci koji sa njih polaze moraju da nadraže bar po jedan čepić, a između njih mora da bude bar jedna nenadražena receptorska ćelija (1 minut = veličina čepića u fovei centralis).**

Ispitivanje oštrine vida - optotipi

- Ukoliko ispitanik sa 6 m čita slova u 10. redu , visus 1.
- Izračunavanje oštrine vida: $V = d/D$
 - V – oštrina vida
 - D – 6 m udaljenost sa koje se vrši ispitivanje
 - D – udaljenost sa koje ispitanik čita poslednji red

Sistem tečnosti oka - intraokularna tečnost

očna vodica (humor aqueous) napred
tečnost staklastog tela (humor vitreous)



Normalan očni pritisak 15 mmHg

Glaukom – povišeni očni pritisak

FIZIOLOGIJA VIDA

Receptorska uloga retine

- Da bismo videli svetlosni zraci moraju biti fokusirani na retini
- Retina je specijalizovani epitel.

Ćelije retine

1. Dve vrste receptorskih ćelija: čepići, štapići
2. Bipolarne ćelije:
 - sinapsa sa čepićima i štapićima
 - Sinapsa sa ganglijskim ćelijama
3. Ganglijske ćelije:
 - Izlazne ćelije retine, aksoni čine optički nerv
4. Horizontalne ćelije:
 - Sinapse sa fotoreceptorima i bipolarnim ćelijama
5. Amakrine ćelije:
 - interneuroni

Neuralna funkcija mrežnjače

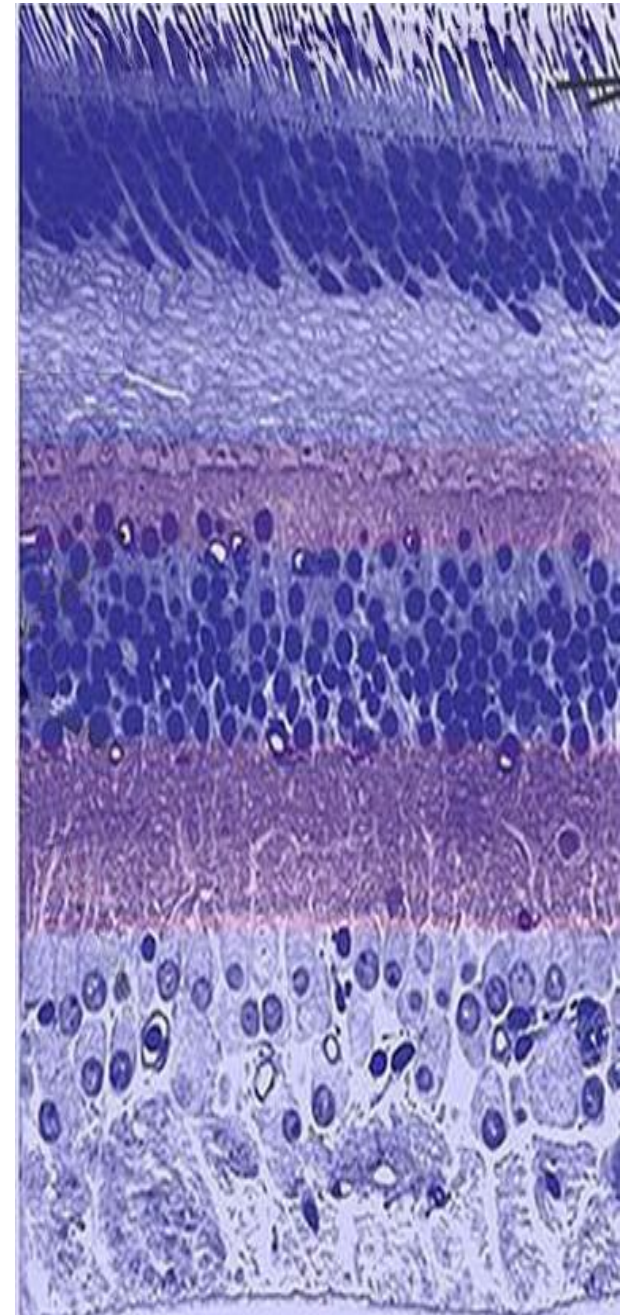
Štapići i čepići - fotoreceptori

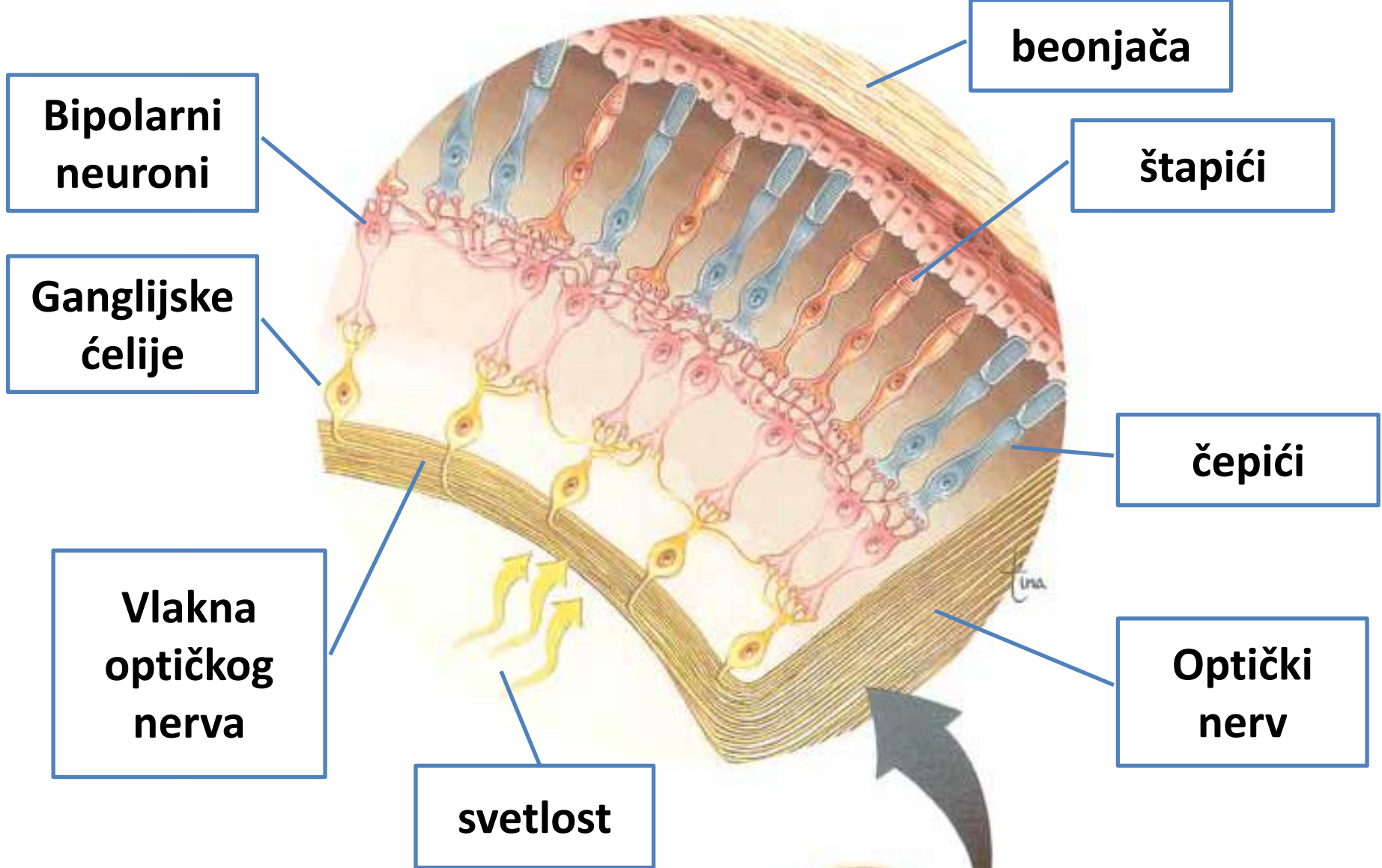
Horizontalne ćelije, prenose signale horizontalno u spoljašnjem pleksiformnom sloju sa štapića i čepića na bipolarne ćelije

Bipolarne ćelije, prenose signale vertikalno sa štapića, čepića i horizontalnih ćelija, do ganglijskih i amakrinih ćelija.

Amakrine ćelije, prenose signale direktno sa bipolarnih ćelija na ganglijske ćelije, bilo horizontalno unutar unutrašnjeg pleksiformnog sloja između aksona bipolarnih ćelija

Ganglijske ćelije, prenose izlazne signale od retine kroz optički nerv do mozga





Mikroskopska struktura mrežnjače u nivou optičkog diska

FOTOHEMIJA VIDA

Vrste fotoreceptora

- Čepičí
- Štapičí

Zajedničke karakteristike čepića i štapića

- Spoljašnji segment se sastoji od nabora membrane – diskova, koji sadrže veliku koncentraciju molekula vidnog pigmenta rodopsina
- Unutrašnji segment gradi sinapse sa bipolarnim i horizontalnim ćelijama

Različite karakteristike čepića i štapića

- Štapići su monohromatski receptori koji su visoko osetljivi na svetlost, što omogućava da se predmeti vide pri svetlosti niskog intenziteta
- Čepići - bolje funkcionišu pri jačem svetlu, i različito su osetljivi na svetlost različitih talasnih dužina:
 1. Plavi - apsorbuju svetlost kratkih talasnih dužina
 2. Zeleni - apsorbuju svetlost srednjih talasnih dužina
 3. Crveni – apsorbuju svetlost velikih talasnih dužina
- U najvećem broju slučajeva obojeno svetlo ekscitira sve tri vrste čepića, ali u različitom stepenu – pa tako obrazac stimulacije kodira boju.

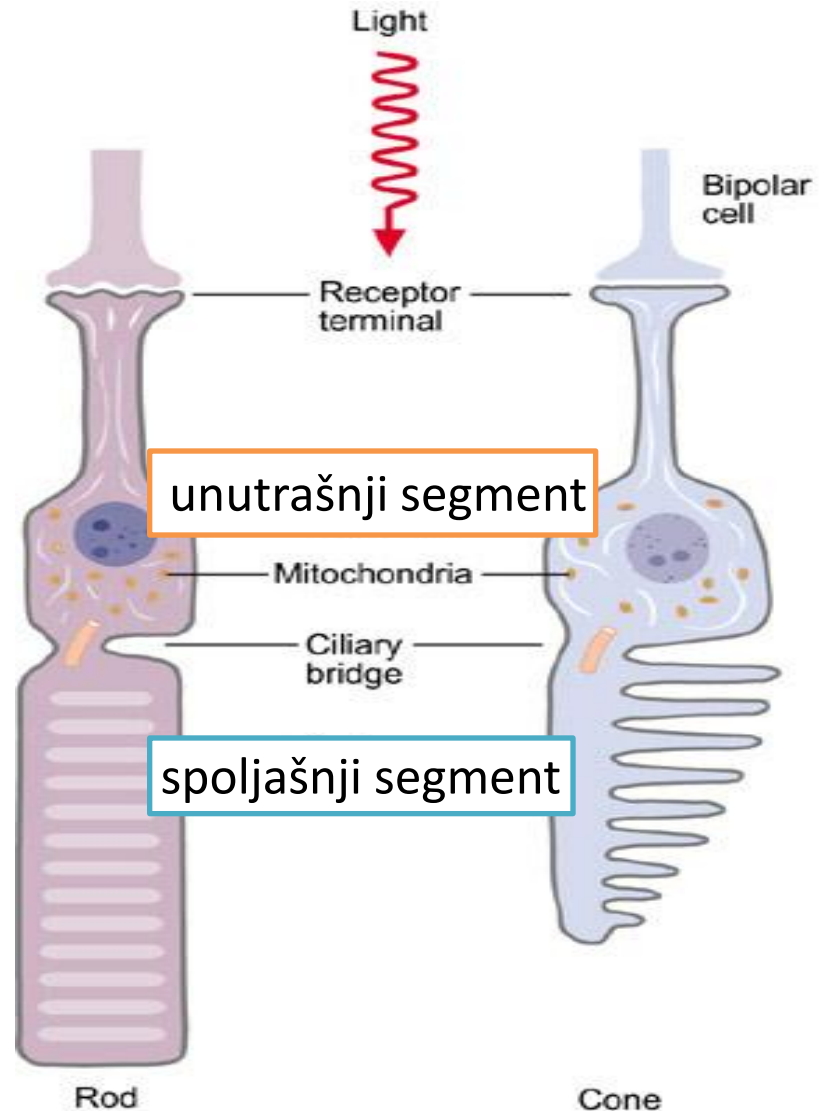
Čepići i štapići

Čepići - zapažaju boje

Štapići - odgovorni za crno –
belo i gledanje u mraku

U foveji, nema štapića

Štapići su uži i duži od čepića,
u centralnom delu retine



Raspored fotoreceptora u retini

- Raspored fotoreceptora u retini nije ravnomeran, te prema njemu postoje 4 regiona retine:

1. Fovea centralis

- Samo čepići

2. Parafovealna regija

- Čepići i štapići

3. Periferija retine

- Štapići

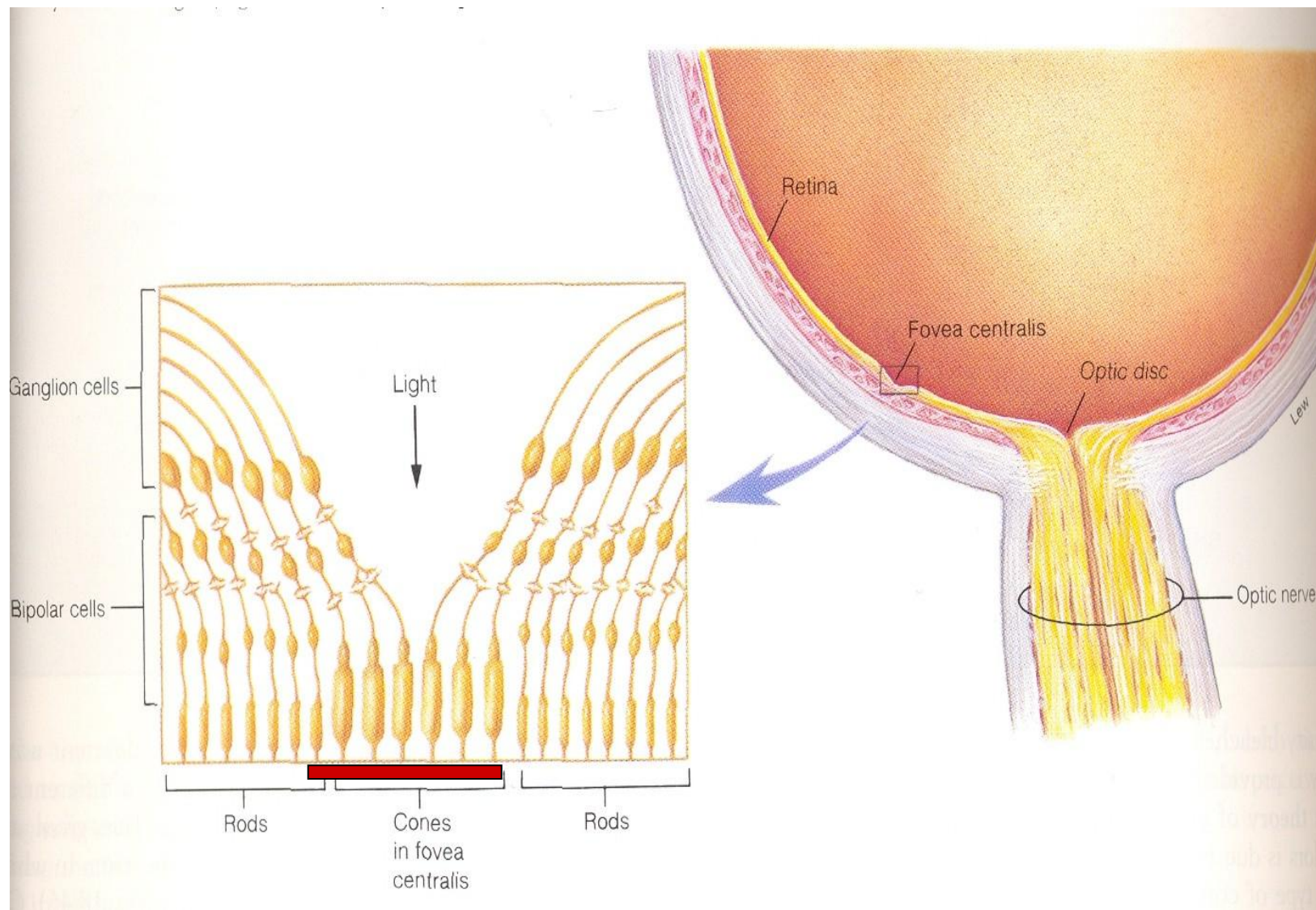
4. Slepa mrlja

- Nema fotoreceptora



**Žuta mrlja
(macula lutea)**

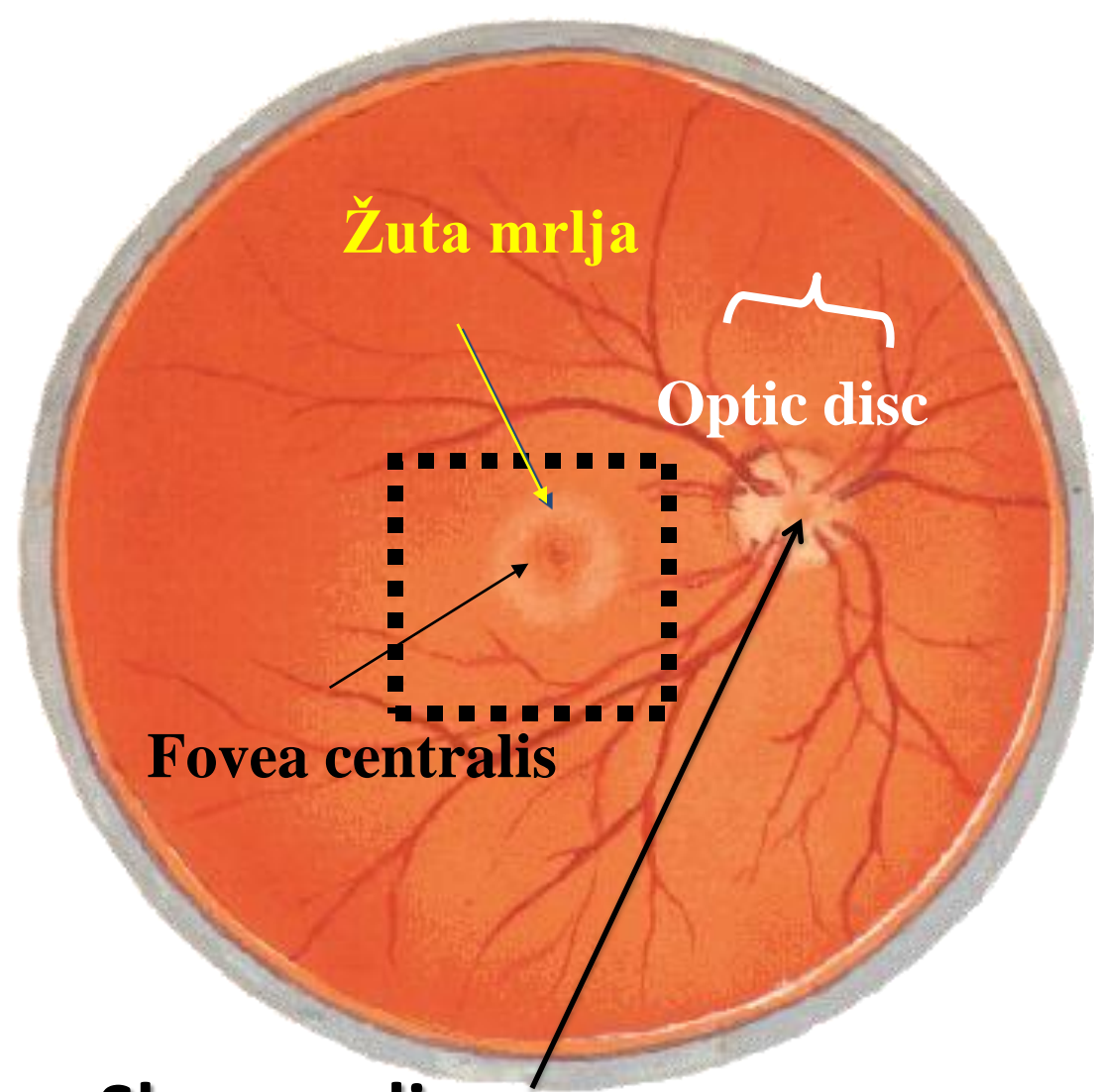
Fovea centralis – sadrži samo tanke **čepiće**, njih oko 35 000, a štapića uopšte nema. Od nje polazi 30% vlakana optičkog nerva.



Svaki čepić u foveji spojen je sa jednim vlaknom nervusa optikusa.

Očno dno

- **Žuta mrlja** – 1,8mm
- **Fovea centralis** - 0,4mm područje u centru mrežnjače, posebno je osposobljena za oštar i precizan vid.



- **Slepa mrlja** – Mesto na mrežnjači bez čepića i štapića; izlaz optičkog nerva prema mozgu

Fotohemija vida

- Svetlost: apsorbovani foton udari u molekul rodopsina, što dovodi do njegove razgradnje na:
 - Opsin
 - Retinal (derivat vitamina A)
- Tada rodopsin menja ružičastu boju u bledo žutu.
- **Razdvajanje fotopigmenata** dovodi do promene u membranskom potencijalu fotoreceptora (receptorski potencijal) u smislu **hiperpolarizacije** što dovodi do **smanjenja oslobađanja glutamata sa drugog kraja receptora.**

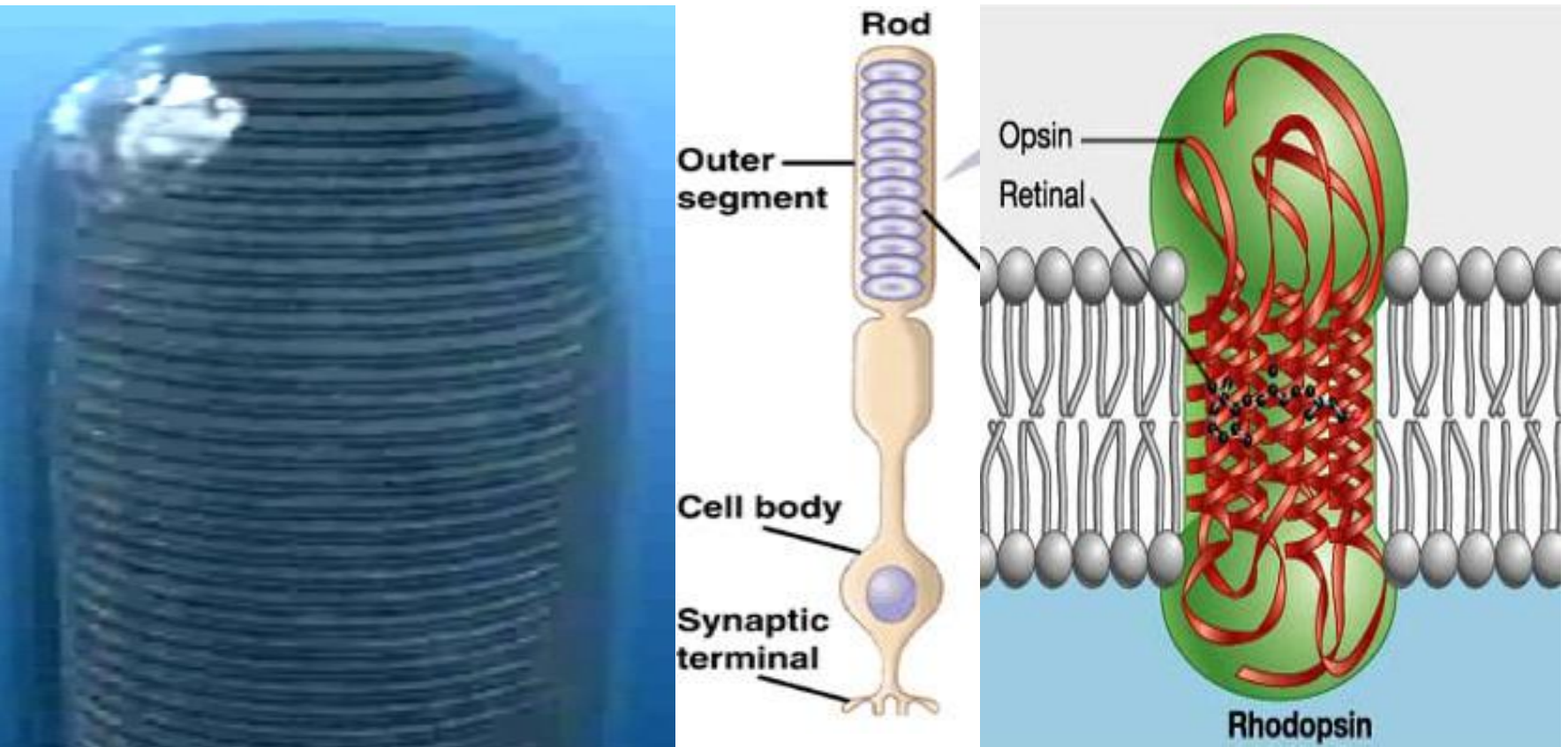
Fotohemija vida

- Fotoreceptori obezbeđuju ulazne informacije bipolarnim i horizontalnim ćelijama
- Sa bipolarnih ćelija informacija se prenosi na ganglijske ćelije.
- S obzirom da neurotransmitter glutamat izaziva inhibicioni efekat na bipolarnim ćelijama, **smanjenje oslobađanja glutamata dovodi do depolarizacije bipolarnih ćelija.**

Fotohemija vida

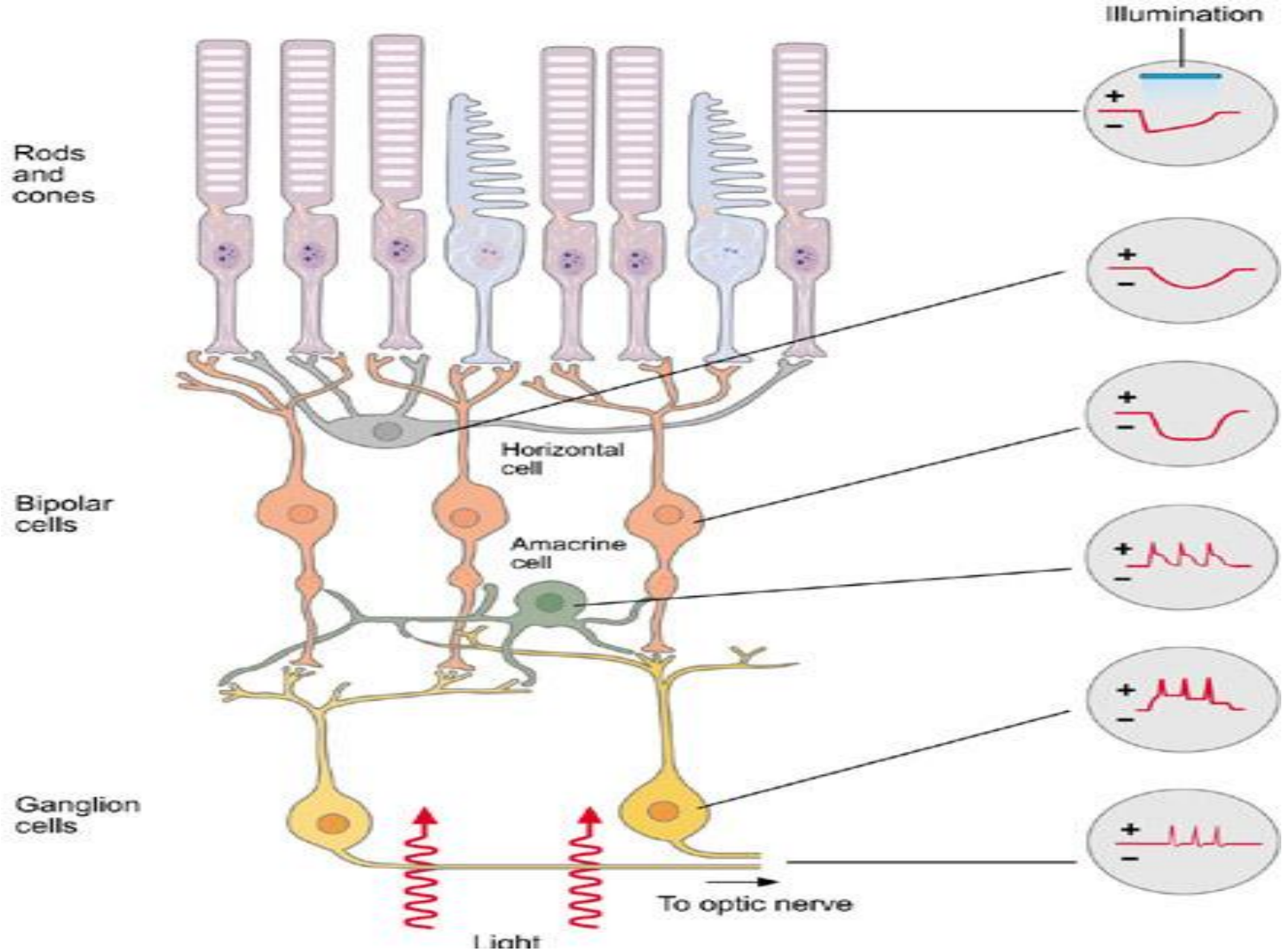
- **U sumi efekta: svetlost hiperpolariše fotoreceptore, a depolariše bipolarne ćelije**
- **Depolarizacija bipolarnih ćelija dovodi do oslobađanja ekscitatornih neurotransmitera na njihovim završecima, i to dovodi do depolarizacije ganglijskih ćelija.**
- **Depolarizacija ganglijskih ćelija dovodi do odašiljanja AP većom frekvencijom.**
- Uglavnom osvetljavanje fotoreceptora uzrokuje ekscitaciju ganglijskih ćelija, ali ne svih.

Fotosenzitivna supstanca u štapićima



Spoljašnji deo štapića sadrži rodopsin ili vidni purpur .

Rodopsin i kolorni pigmenti su konjugovani proteini, inkorporisani su u membrane diskova u vidu transmembranskih proteina.



Kao odgovor na svetlost - hiperpolarizacija u štapiću/čepiću, ne pojavljuje se nijedan akcioni potencijal (signal nije sve ili ništa)

Ganglijske ćelije su jedini neuroni mrežnjače koji uvek prenose vidne signale pomoću akcionih potencijala. Oni šalju svoje signale sve do mozga.

VEZE IZMEĐU OKA I MOZGA

Funkcionalna anatomija vidnog puta

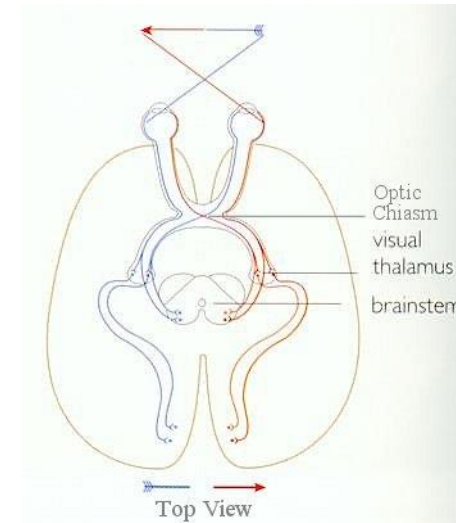
- Aksoni iz ganglijskih ćelija retine konvergiraju na optički disk, prolaze kroz zid očne jabučice i nastavljaju prema diencefalonu kao **optički nerv (II kranijalni nerv)**.
- Dva optička nerva stižu do diencefalona i stapaju se u **optičku hijazmu** – mesto delimičnog ukrštanja levog i desnog n. II

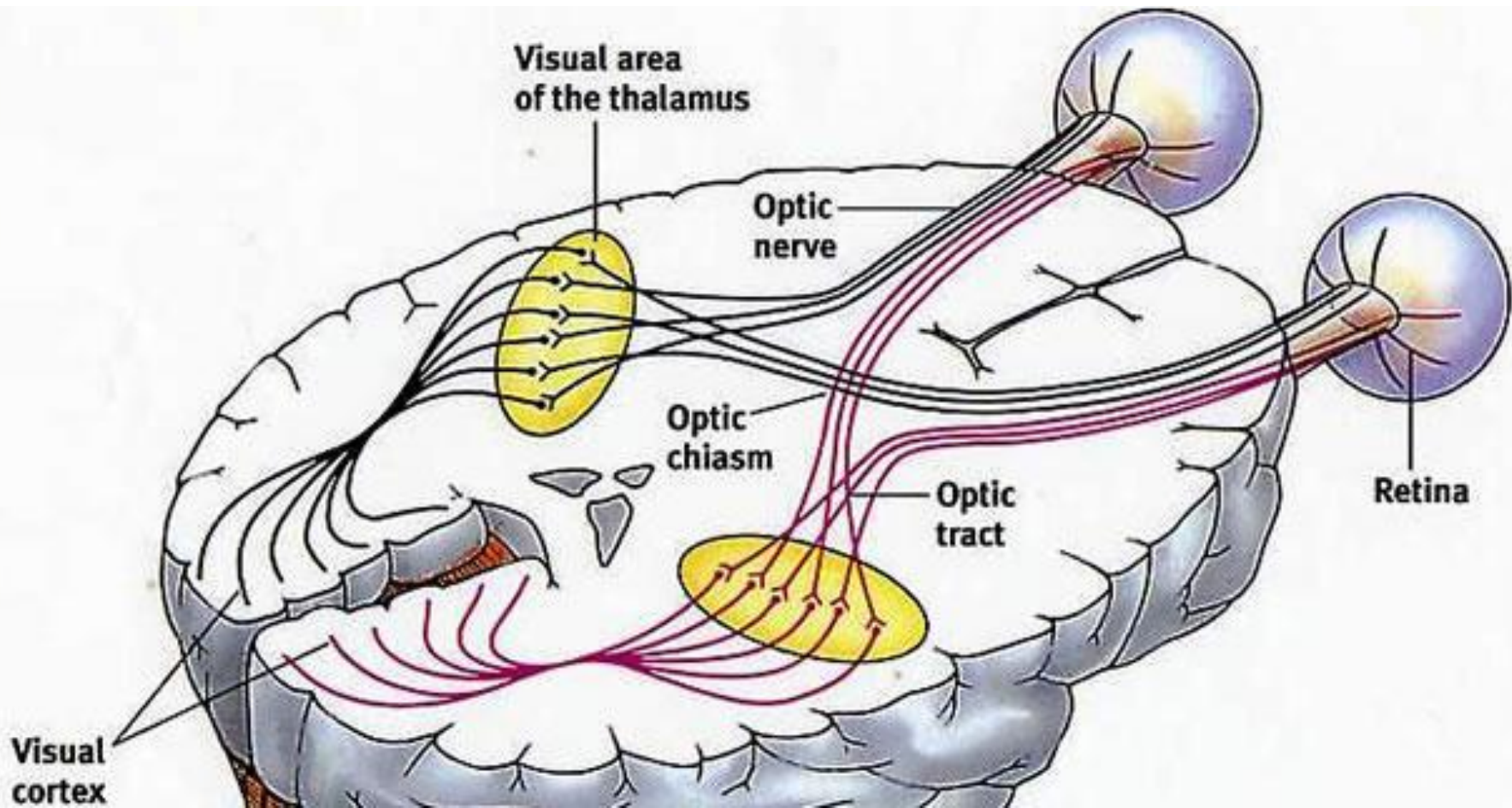
Optička hijazma

- Aksoni ganglijskih ćelija sa temporalnog dela retine (na koju padaju svetlosni zraci sa nazalne polovine vidnog polja) se ne ukrštaju.
- Aksoni ganglijskih ćelija sa nazalnog dela retine (na koju padaju svetlosni zraci sa temporalne polovine vidnog polja) se ukrštaju.
- Obe hemisfere dobijaju signale iz oba oka.

Subkortikalni centri - obezbeđuju refleksne reakcije

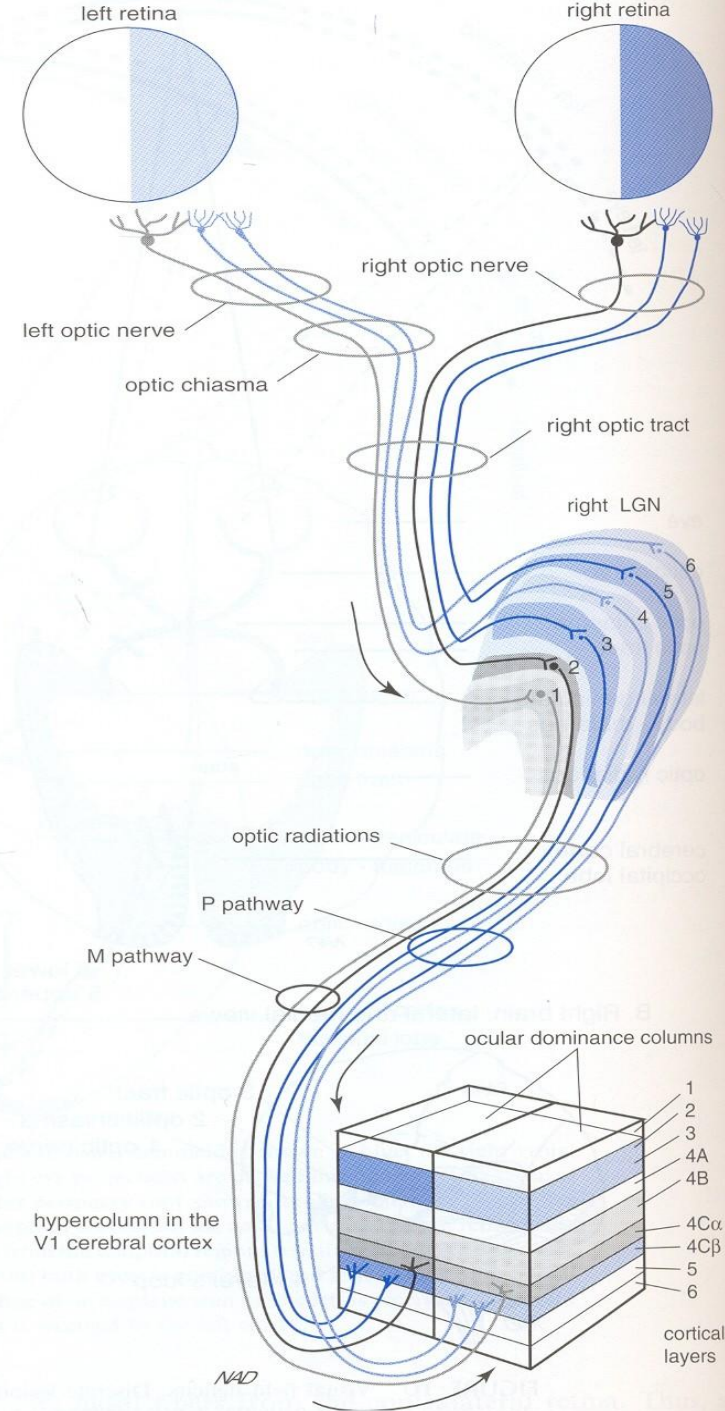
- Od hijazme vlakna idu i do:
 1. Nc. Suprachiasmaticus (hipotalamus):
 - Kontrola cirkadijalnih ritmova u odnosu na svetlost koja nas okružuje
 2. Pretektalna jedra
 - Refleks zenica na svetlost
 3. Gornji kolikuli
 - Kontrola brzih istovremenih pokreta oba oka





Funkcionalna anatomija vidnog puta

- Od hijazme signali idu nadalje u sastavu **tractus opticus** do **nc. geniculatum laterale dorsalis thalamusa**:
 - 6 slojeva – u II, III, IV sloj vlakna sa iste strane, u I, IV i VI sa druge strane – prenos signala “tačka po tačka”.
 - 2 vrste ćelija: magnocelularne, parvocelularne
- Potom kroz **genikulokalkarini put** (radiatio optica) do **vizuelne kore mozga**.



Vidna kora mozga

- Medijalni delovi potiljačnih režnjeva
- Horizontalna organizacija – 6 slojeva, vertikalna organizacija – kolumne (1000 neurona).
- U 4. sloju se završavaju vlakna optičkog puta.

Vidna kora mozga

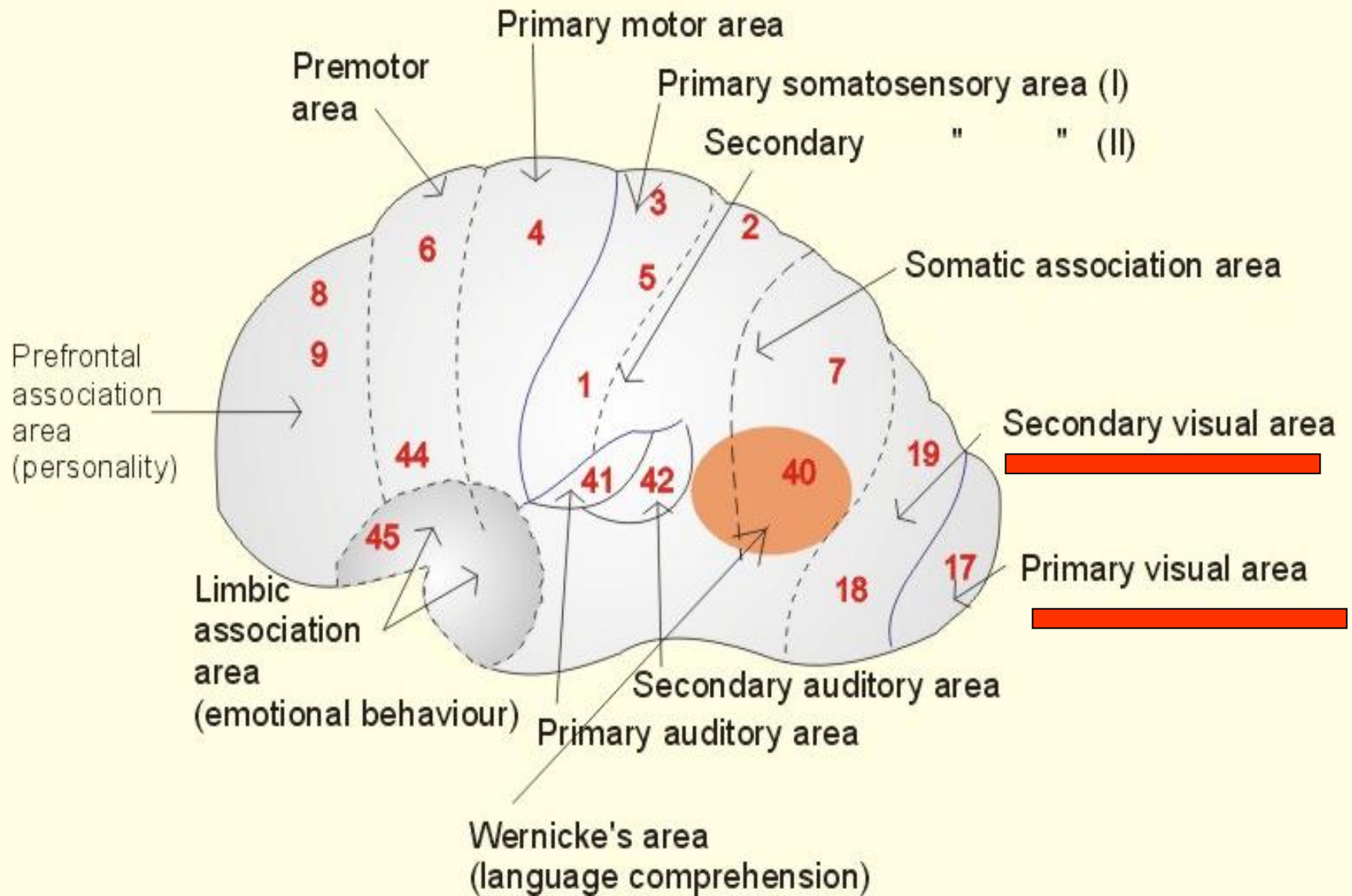
1. Primarna vidna kora (Brodman 17, strijatna kora) – retinotopski organizovana, 25% pripada foveji centralis.
2. Sekundarna vidna področja (asocijativna, ekstrastrijatna)

Primarno vidno područje

- Retinotopska organizacija
- Veliki deo pripada foveji centralis i žutoj mrlji – veličina kortikalnog predstavnštva zavisi od gustine receptora na periferiji
- U jednom delu vidne kore nalaze se horizontalno raspoređeni stubići širine 0,5mm gde naizmenično dolaze signali iz oba oka – **fuzija likova** posmatranog predmeta sa dve retine.

Sekundarna vidna područja

- 12 regiona, 7 regiona u okcipitalnom režnju, jedan u parijetotemporalnom režnju i dva u frontalnom režnju.
- Vrše viši stepen analize prispelih signala, progresivno dodaju informacije vidnim informacijama.
- **Dorzalni put: “gde se nalazi objekat i da li se kreće?”** - prepoznavanje, tumačenje, razlikovanje i upoređivanje položaja, pokreta, prostornih odnosa, vizuelnu pažnju.
- **Ventralni put: “šta je objekat i čemu služi?”** - prepoznavanje, tumačenje, razlikovanje i upoređivanje: oblika, kontrasta, lica posmatrane osobe, detalja i boje.



KODIRANJE VIZUELNE INFORMACIJE NA RETINI

Kodiranje svetlosti i tame

- Fotoreceptor na periferiji retine – na periferiji retine mnogo individualnih receptora (velika površina retine) konvergira ka jednoj ganglijskoj ćeliji.
- Fotoreceptor u foveji centralis - podjednak broj receptora i ganglijskih ćelija.

Vrste ganglijskih ćelija u retini

- Ganglijske ćelije su stalno aktivne.
- U odgovoru na svetlost postoje 2 vrste ćelija.:
 1. “on centar ćelije” – uključenje, odgovaraju ekscitacijom na osvetljenje centra njenog receptivnog polja
 2. “off centar ćelije” – isključenje, odgovaraju ekscitacijom kad svetlost deluje na periferiji njenog receptivnog polja.
- Oba tipa ćelija signale šalju putem povećanja stepena pražnjenja.

Adaptacija oka na svetlost i tamu

- Mehanizmi:
 1. Promena dijametra zenice
 2. Adaptacija fotoreceptora u retini:
 - Odnos između osetljivosti fotoreceptora i koncentracije rodopsina je upravo srazmeran:
 - Dugo na svetlosti, potrošen rodopsin, smanjena osetljivost na svetlost
 - Dugo u mraku, resinteza rodopsina, povećana osetljivost na svetlost
 - Čepići brže, ali kratko i malo resintetišu rodopsin, a štapići sporije, ali dugo i više resintetišu rodopsin - **štapići su važniji za gledanje u mraku.**
 3. Adaptacija nervnih ćelija u retini

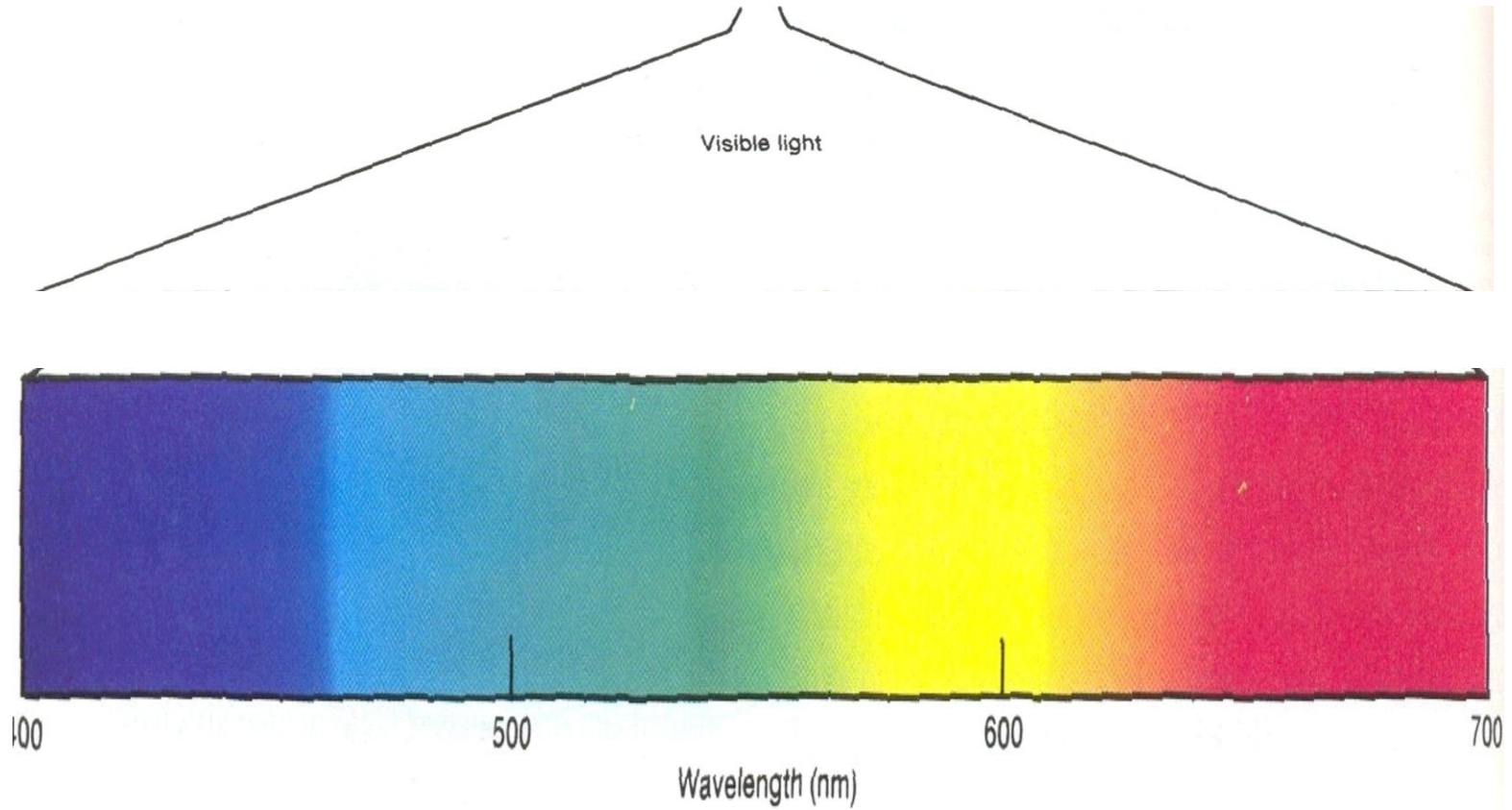
Kolorni vid

- Sposobnost oka da razlikuje boje
- Bela svetlost: stimulisane sve tri vrste čepića ili samo štapići.
- Dnevna svetlost (sunčeva svetlost) emituje fotone svih talasnih dužina.
 - Objekat će imati **belu boju** ako se fotoni svih boja odbiju o predmet i padnu na retinu.
 - Objekat će imati **crnu boju** ako su svi fotoni apsorbirani od objekta, i nijedan ne pada na retinu.
 - Objekat će imati **onu boju čije fotone reflektuje**, dok druge apsorbuje.

Jung-Helmholcova trihromatska teorija kolornog vida

- Kolorni vid je moguć zahvaljujući postojanju specijalizovanih receptora - čepića koji su selektivno osetljivi na određenu boju.
- Tri vrste čepića prema dužini svetlosnih elektromagnetnih talasa koju ono najviše apsorbuju:
 - 1. Plavi (S - kratki)**
 - 2. Zeleni (M – srednji)**
 - 3. Crveni (L - dugački)**

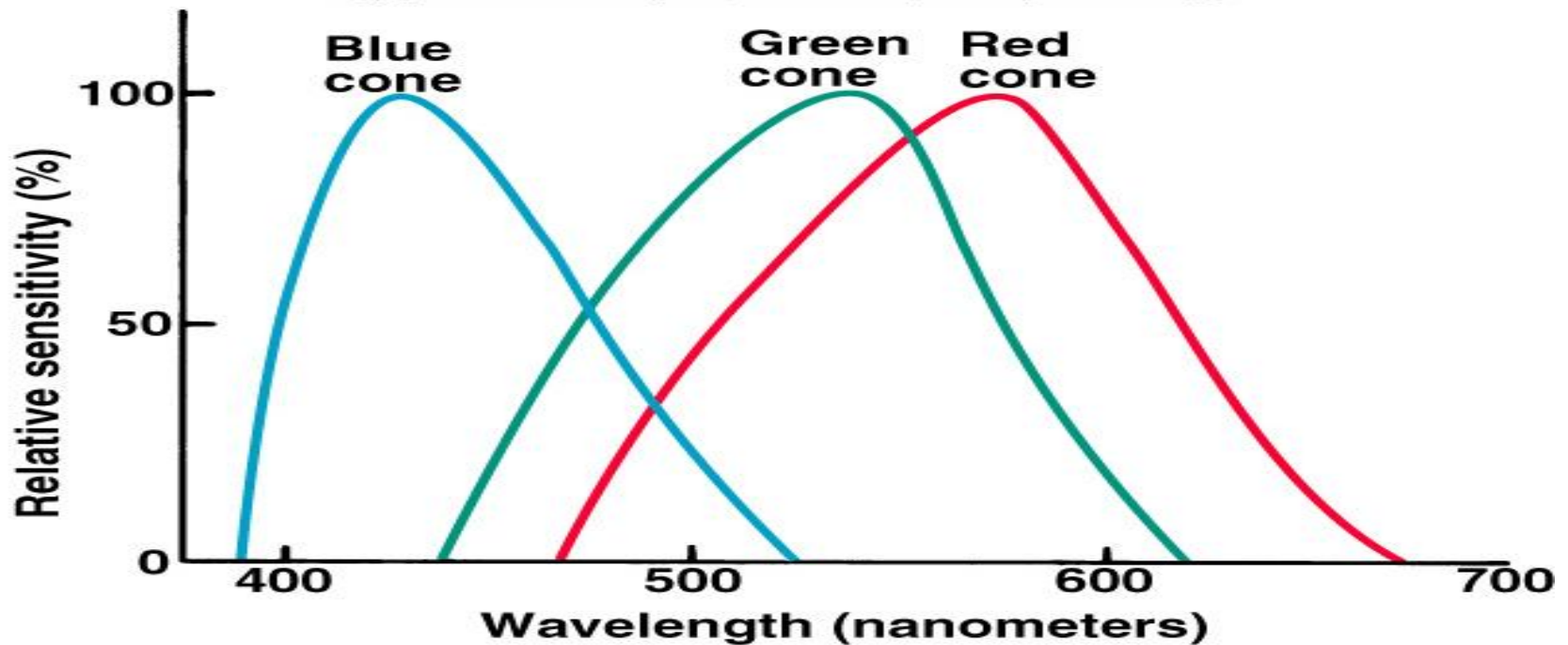
Vidljiva svetlost



Kolorni vid

- Nervni sistem dekodira boju prema relativnoj stimulaciji sve tri vrste čepića.
- Razlikovanje boje nastaje **putem integracije (zajedničke obrade) informacija koje pristižu iz sve tri vrste čepića.**
- **Ganglijske ćelije su selektivno osetljive na boje** (povećava AP na jednu boju, smanjuje na drugu).
- Nc. geniculatum laterale dorsalis thalamusa, primarna vidna kora.

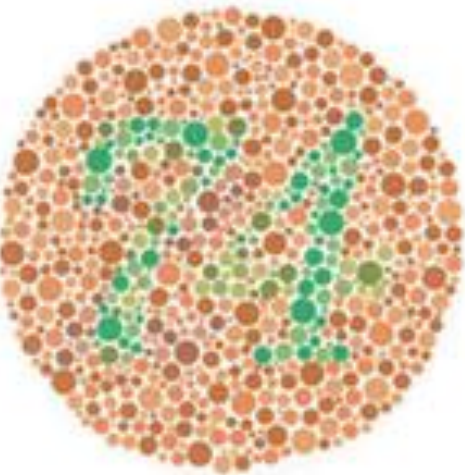
Kolorni vid



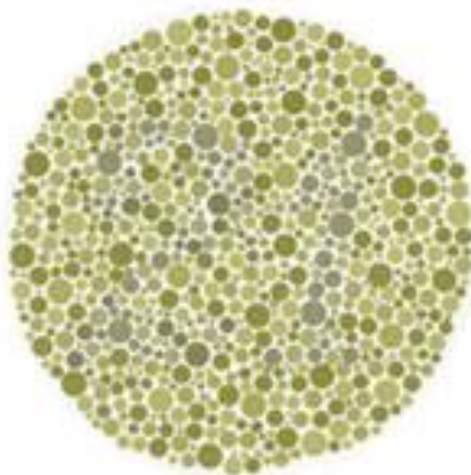
Kada su **crveni** i **zeleni** čepići jednako stimulisani osoba vidi **žuto**.
Kada su **svi** čepići jednako stimulisani osoba vidi **belo**.

Slepilo za boje

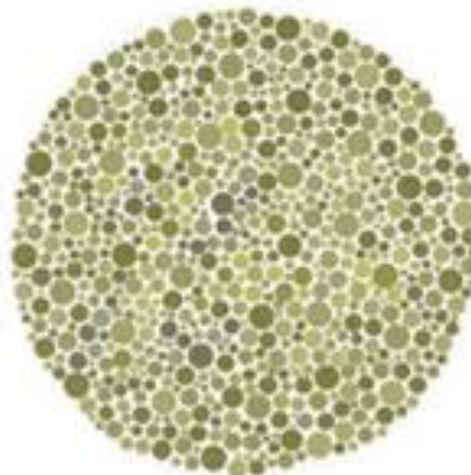
dihromati



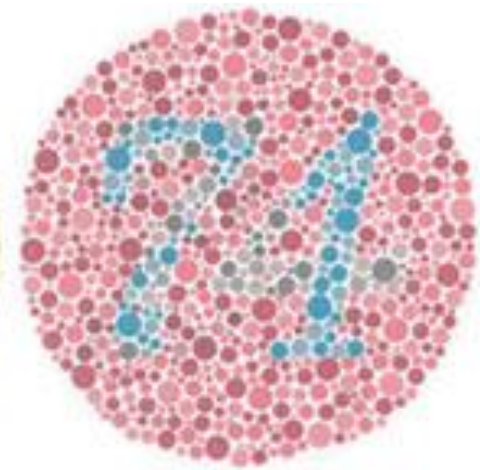
Normal vision



Deuteranopia



Protanopia



Tritanopia

trihromati

Ne vidi zelenu boju

Ne vidi crvenu boju

Ne vidi plavu boju

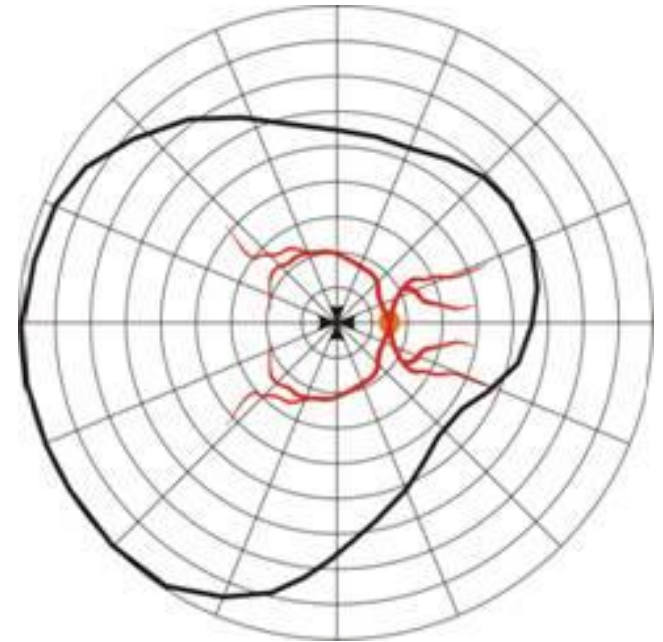
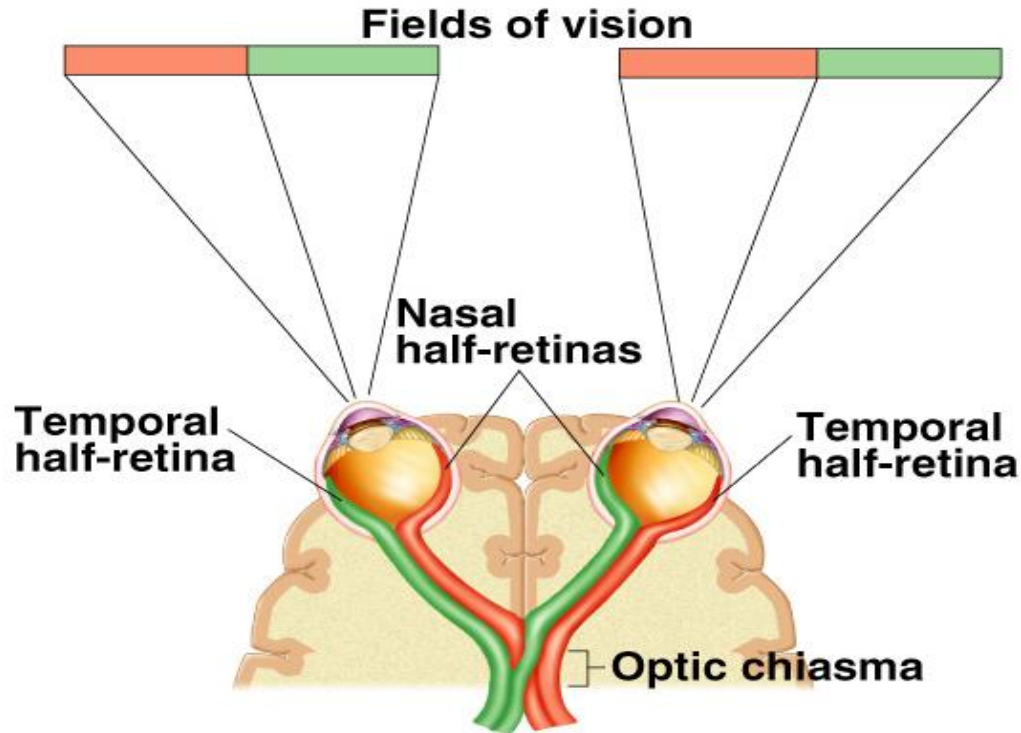
VIDNO POLJE

Vidno polje

- Deo prostora koji se pri fiksiranom pogledu vidi jednim okom (monokularno) ili sa oba oka (binokularno)
- Oblik i granice vidnog polja zavise od funkcije perifernih delova retine.
- Da bi vizuelna percepcija bila bolja, vidne slike iz oba oka normalno se stapaju jedna sa drugom na podudarnim – korespodentnim tačkama obe retine – fuzija vidnih slika.
- Diplopija (dupla slika) nastaje kada se slike predmeta u jednoj i drugoj retini ne formiraju na korespodentnim (simetričnim) već disparatnim tačkama.

Vidno polje

Vidokrug koje se vidi jednim okom kada je pogled fiksiranu jednu tačku



POREMEĆAJU U VIDNOM POLJU:

- SKOTOMI (FIZIOLOŠKI I PATOLOŠKI)
- LEZIJE OPTIČKOG PUTA

Ispadi u vidnom polju

- Amaurosis (anopsija)
 - N.opticus
- Hemianopsija
 - Heteronimna – hijazma
 - Homonimna - iza hijazme:
 - tr. opticus (refleks pupile odsutan)
 - nc. geniculatum dorsalis thalamusa (refleks pupile očuvan)
- Kvadrantanopsija
 - radiatio optica

