

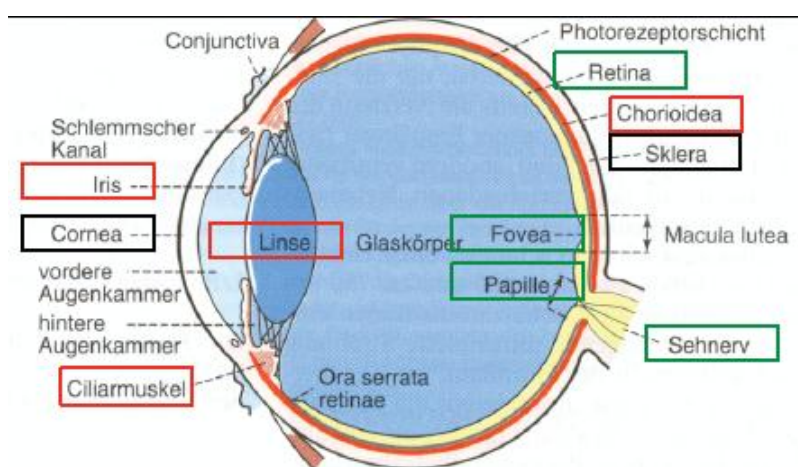
LJUDSKO OKO

1. Uvod (anatomija, histologija i fiziologija oka)

Anatomija vidnog aparata može da se podeli u tri dela (Slika 1).
To su:

- **Spoljni omotač koji čine rožnjača i beonjača;**
- Srednji omotač koji čine sočivo, dužica, cilijarni mišić i horoidea;
- Unutrašnji omotač koji čine mrežnjača, papila i optički nerv.

Poznavanje normalne anatomije, histologije i fiziologije oka je potrebno za mogućnost detekcije promena izazvanih oboljenjima ili nošenjem kontaktnih sočiva. Ovo znanje je takodje potrebno za olakšanje dijagnoze znakova i simptoma svih ovih promena.

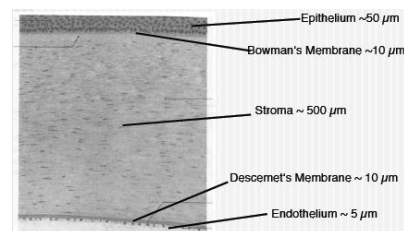


Slika 1: Anatomija oka

1.1 Rožnjača (Cornea)

Providnost, avaskularitet, prisustvo nediferenciranih mladih imunih ćelija i imunološka privilegovanost čine rožnjaču veoma posebnim tkivom.

Rožnjača nema krvnih i limfnih sudova zbog čega je transparentna, već svu neophodnu hranljivu materiju dobija preko suznog filma, a kiseonik direktno iz vazduha.



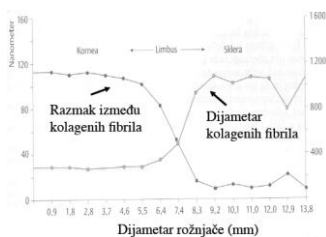
Slika 2: Struktura rožnjače

BIOMEDICINSKA FOTONIKA

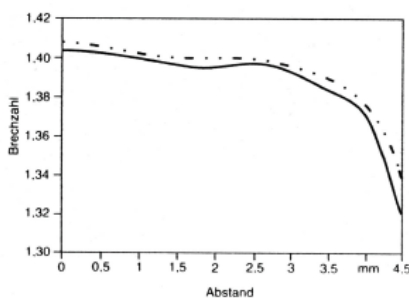
Dakle, očna vodica, koja pored vode sadrži tragove šećera i proteina, održava snabdevanje rožnjače hranjivim materijama i kiseonikom, i uklanjanja metaboličke otpade.

Rožnjača se sastoji od 200 slojeva tip I kolagena vlakana (15%), svaki po 1.5 do 2.5 mikrona.

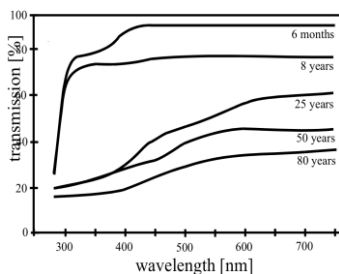
U zavisnosti od doba dana, količina vode u rožnjači varira od 74% do 79%. Na primer, u jutarnjim satima rožnjača je blago otečena zbog smanjenog protoka vode i smanjenog dotoka kiseonika, i zbog toga imamo malo zamagljen vid odmah nakon budjenja.



Slika 3: Providnost rožnjače



Slika 4: Refraktivni indeks sočiva



Slika 5: Sočivo i starost

1.1.1 Providnost rožnjače (Slika 3)

- Bragov uslov:

Rasipanje svetlosti nastaje kada je razmak između fibrila kolagena $> \lambda/2$

- Benedek G.B. (1971):

Rasipanje svetlosti

$\epsilon \propto N^2$, N – broj rasipajućih partikula po jed. površine

Rasipanje svetla individualnih fibrila se potire destruktivnom interferencijom rasutog svetla od drugih individualnih fibrila.

1.2 Očno sočivo

Očno sočivo je deo dioptrijskog sistema oka. Osnovna osobina sočiva je providnost. Providnost sočiva uslovljena je biohemijskim sastavom i unutrašnjom strukturom.

Uloga sočiva je u transparentnosti, refrakciji (Slika 4), akomodaciji i u apsorpciji ultraljubičastih zraka.

Sočivo se nalazi iza dužice, u frontalnoj ravni ispred staklastog tela, a iza dužice. Ono je bikonveksnog oblika, prečnika 10,0 mm.

Radius zakrivljenosti prednje površine sočiva je 8 mm (srednja vrednost).

Radius zakrivljenosti zadnje površine sočiva je 6 mm (srednja vrednost).

BIOMEDICINSKA FOTONIKA

Sočivo ima sposobnost da menja svoju prelomnu moć, pri čemu se znatno povećava zakrivljenost prednje površine sočiva, tako da pri maksimalnoj akomodaciji njen radijus iznosi 5,33 mm (od 10,0 mm do 5,33 mm). Zadnja površina sočiva neznatno povećava prelomnu moć, a radijus joj se menja od 6 mm do 5,33 mm. Pri akomodaciji sočivo postaje deblje za 0,4 mm.

Sočivo raste celog života, povećava volumen i težinu (Slika 5). Najveći rast sočiva je u prvoj deceniji i iznosi 45-50%. Težina sočiva se povećava od 65 mg na rođenju, do 125 mg na kraju prve godine, tako da do kraja prve decenije težina sočiva iznosi 150 mg. Masa sočiva u 90. godini iznosi 250 mg. Sa povećanjem sočiva povećava se i sočivna kapsula od 80 mm² do 180 mm².

1.2.1 Akomodacija

Akomodacija je sposobnost oka da, zahvaljujući prelomnoj moći sočiva, vidi jasno različito udaljene predmete.

Akomodacija je proces menjanja dioptrijske moći oka tako da objekat u blizini može da bude fokusiran u foveji.

Očno sočivo je indirektno povezano sa cilijarnim mišićem preko zonula.

Zonule su suspenzorni aparat sočiva. One su vezane za sočivo 2 mm ispred i 1 mm iza ekvatora. Sastoji se od niza finih vlakana, debljine 8 μm. Postoje dve vrste zonula: stalne (osnovne) i tenziona.

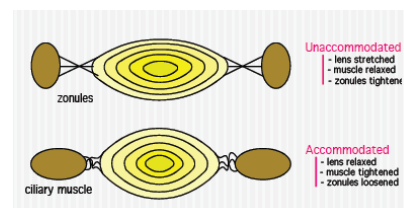
U procesu akomodacije zonule se opuštaju, što povećava prelomnu moć sočiva (Slike 6 i 7). Posle 40-50. godine elastičnost zonula se smanjuje skoro istovremeno sa smanjenjem tonusa cilijarnog mišića (Slika 8).

Refleksni put akomodacije sačinjavaju: vidni korteks, akomodacioni centar, parasimpatička vlakna okulomotornog nerva, zadnji dugi cilijarni nervi i cilijarni mišić.

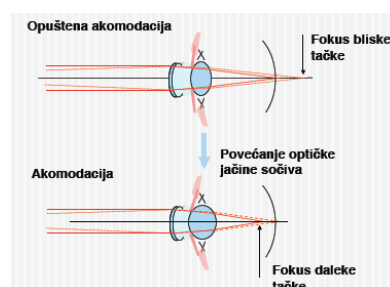
Ovaj refleks dovodi do kontrakcije cirkularnih vlakana cilijarnog mišića, suženje prstena koji gradi cilijarno telo oko ekvatora sočiva, opuštanja zonula i povećanja zakrivljenosti sočiva, a time i njegove debljine i prelomne moći.

1.3 Staklasto telo (Vitreus)

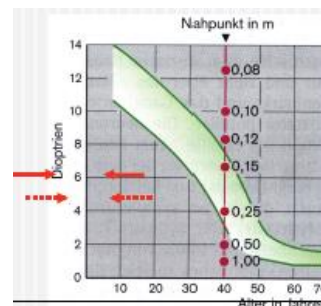
Staklasto telo je providna, bezbojna, želatinasta masa koja ispunjava zadnji deo oka, i zauzima oko 80% očne jabučice, i



Slika 6: Akomodacija



Slika 7: Akomodacija



Slika 8: Akomodacija i starenje – Presbiopija

Udaljenost najbliže tačke jasnog vida se povećava sa starošću

---> na 250 mm (4 D) sa 40-50 god

- - -> na 400 mm (2.5 D) sa 43-53 god

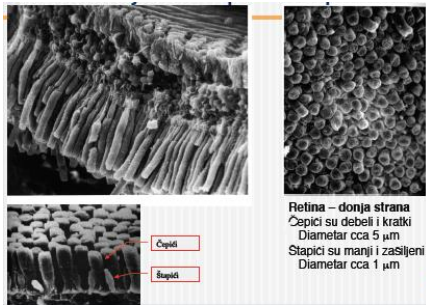
Posle 60 god osobe ne mogu da akomodiraju bliže od 0.5 do 1 m

BIOMEDICINSKA FOTONIKA

njegova zapremina je 4 ml. Staklasto telo takodje održava sferični oblik očne jabučice.

Refraktivni indeks staklastog tela je 1.336.

Staklasto telo ima sastav sličan rožnjači. Sastoji se iz veoma malo ćelija (fagociti, hijalociti), u njemu nema krvnih sudova, 98-99% njegove zapremine čini voda sa soli, šećerom, vitrozinom (vrsta kolagena), mrežama kolagena, kao i širokim spektrom proteina i mikro količinama. Takodje ima viskoznost 2-4 x veću od čiste vode. Neverovatno, sa tako malo čvrste materije totalno drži oko.



Slika 9: Žuta mrlja – štapići i čepići

1.4 Žuta mrlja, slepa mrlja, štapići i čepići

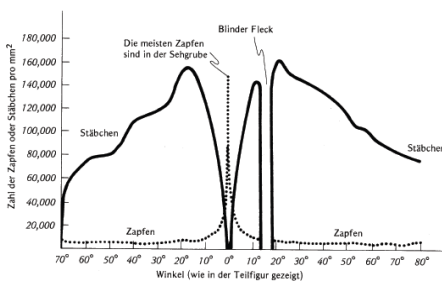
Žuta mrlja predstavlja deo oka koji se nalazi u zadnjem delu, blizu završetka oćnog nerva. To je polje najoštrijeg vida (Slika 9).

Mehanizam vida se moće najprostije objasniti na sledeći naćin: Svetlost sa predmeta koji posmatramo pada na roćnjaću, prolazi kroz prednju šupljinu oka, i pada na soćivo. Soćivo prelama svetlost, usmerava je prema mrećnjaći i ona pada na ųutu mrlju. Tu se stvara obrnuta slika.

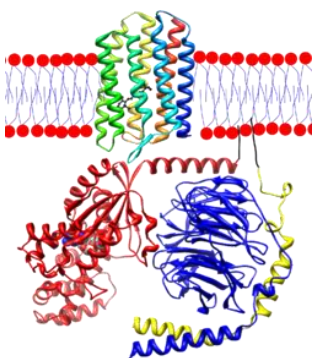
Pod uticajem svetlosti dolazi do razlaganja belanćevine rodopsin. Produkti raspadanja rodopsina nadraćuju završetke nervnih ćelija, koji te nadraćaje prenose na neurone, odakle se nervnim vlaknima dalje prenose do mozga. U mozgu nastaje ispravljena slika onoga ųto posmatramo.

Rodopsin je izraćen u fotoreceptoru ćelija (Slika 11). To je pigment mrećnjaće koji je odgovoran za i za formiranje fotoreceptornih ćelija i prvog događaja u percepciji svetlosti. Rodopsin pripada klasi G-proteina. Rodopsin je izuzetno osetljiv na svetlost, i omogućava noćni vid. Kada se izloći beloj svetlosti, pigment fotobeli, i potrebno je oko 30 minuta da se u potpunosti regeneriše kod ljudi.

Slepa mrlja je taćka u ljudskom oku u kojoj ne postoje receptori svetlosti (ćulne ćelije) i u njoj oko ne prima vizuelne informacije (Slike 12 i 13). Nalazi se ispred ųute mrlje, na mestu gde oćni nerv izlazi iz oćne jabućice i nalazi se u oba oka. Mozak ovaj nedostatak kompenzuje obiće tako ųto sliku dopunjuje informacijama iz drugog oka ili mislima. Slepju mrlju ima svako. Skotom je deo vidnog polja u kome postoji delimićna ili potpuna "crna mrlja".

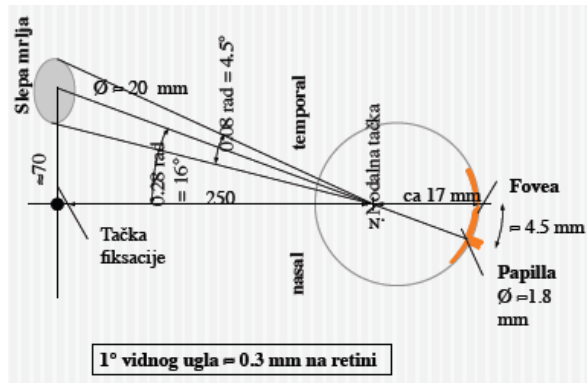


Slika 10: Raspored i broj ųtapića i ćepića (Broj ćepića 6 miliona; Broj ųtapića 120 miliona; Broj nervnih vlakana 1 milion)

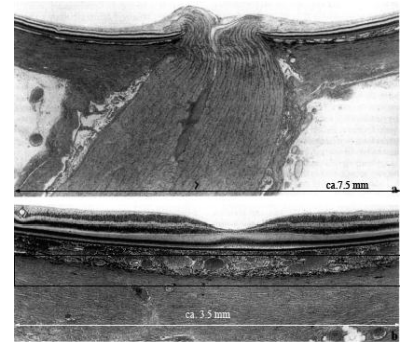


Slika 11: Rodopsin u ćepićima

BIOMEDICINSKA FOTONIKA



Slika 12: Slepa mrlja

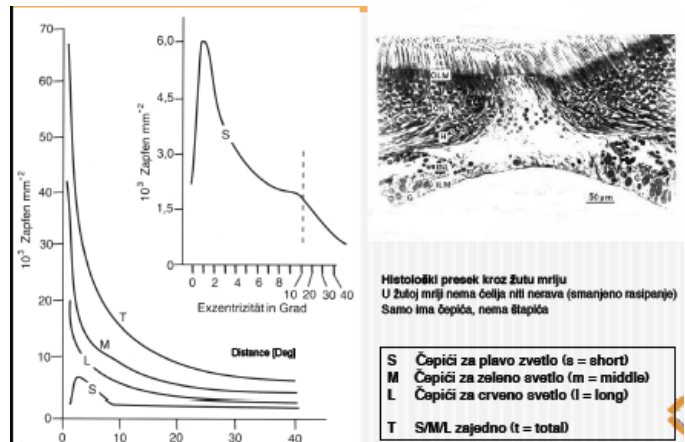


Slika 13: a) Papila – početak optičkog nerva (slepa mrlja)
b) Fovea – žuta mrlja (u centru retine) (tačka najjasnijeg vida)

Naš osećaj za svetlost se javlja obično iz stimulacije čepića i štapića na retini (Slika 10), i iz signala koji se iz njih prenose u vizualne centre mozga preko mnogobrojnih nervnih ćelija i puteva. Ako su bilo koji od ovih centara ili ćelija stimulirani nečim drugim, osećaj vida i dalje postoji. Na primer, ove ćelije mogu biti aktivirane hemikalijama, X zracima i pritiskom od udarca u glavu.

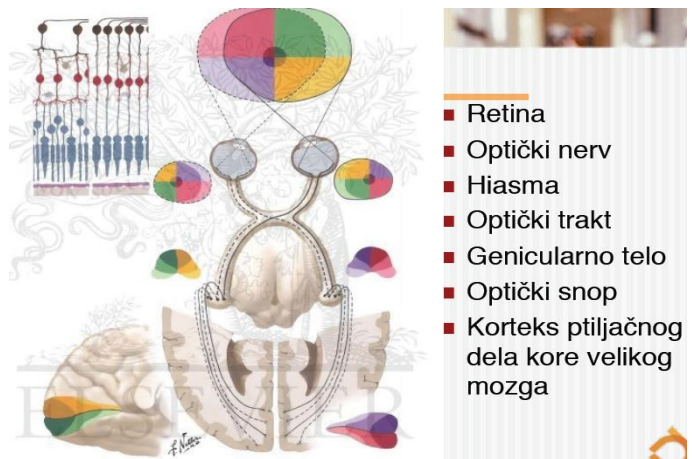
Svetlost se može jednostavno definisati kao traka elektromagnetnog spektra koja proizvodi vizualni odgovor, i ta traka ide od 380-780 nm. Oko ne reaguje podjednako na sve talasne dužine iz ove trake. Kriva spektralnog vizualnog odgovora je približno oblika zvona, što zavisi od nivoa svetlosti. Identifikovane su dve ekstremne forme krive spektralnog odgovora; jedna za srednje do visokih nivoa svetlosti, a druga za niske nivoe svetlosti. Za srednje i visoke nivoe svetlosti, dominantni su čepići, pa vidimo da se odgovor u boji i spektralni odgovor nazivaju fotopični odgovor. Za niske nivoe svetlosti, štapići su dominantni, ne možemo razaznati boju, a spektralni odgovor se naziva skotopični odgovor. Opseg nivoa svetlosti između ova dva ekstrema, gde su aktivni i štapići i čepići, naziva se mezopni opseg (Slika 14).

BIOMEDICINSKA FOTONIKA

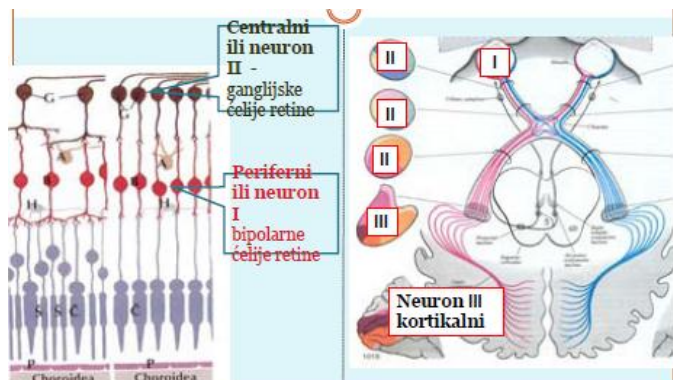


Slika 14: Raspored štapića i čepića

1.4.1 Optički put oka

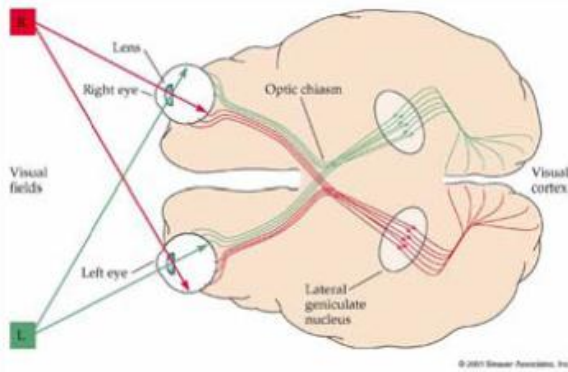


Slika 15: Optički put oka



Slika 16: Neuroni optičkog puta

BIOMEDICINSKA FOTONIKA



Slika 17: Optički put i prenos svetlosti



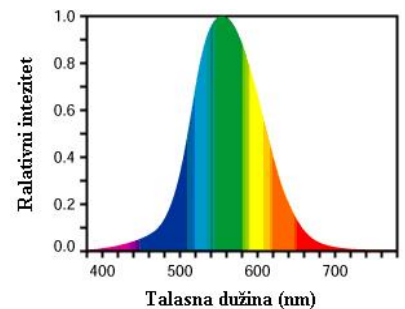
Slika 18: Optička raskrsnica

1.4.2 Spektralna osetljivost

Vidljiva svetlost je elektromagnetni talas u opsegu talasnih dužina od 380-780 nm. To je samo mali deo svih postojećih talasnih dužina. Svetlost koju mi vidimo nije jedna talasna dužina već kombinacija mnogo talasnih dužina. Na slici 19 dat je odziv ljudskog oka na dnevnu svetlost.

Spektralna raspodela snage (spectral power distribution – SPD) pokazuje precizno odziv boje od izvora svetlosti u vidu dijagrama energije prisutne na svakoj talasnoj dužini unutar vidljivog spektra.

Ljudsko oko radi u osnovi kao kamera. Svaki neuron je ili štapić ili konus. Samo konusni neuroni su osetljivi na boje. Čovek poseduje u oku specijalne ćelije za detektovanje boje. Te ćelije se još nazivaju i konusi zbog njihove sličnosti sa pomenutim geometrijskim oblikom. Postoje tri vrste konusa i to konusi za tri osnovne boje: crvenu, zelenu i plavu. Svaka od ovih ćelija različito reaguje na frekvenciju spoljašnje svetlosti.



Slika 19: Odziv ljudskog oka na dnevnu svetlost

BIOMEDICINSKA FOTONIKA

1.5 Deficiti prepoznavanja boja (smanjeno prepoznavanje boja)



Slika 20: Odsustvo crvenih i zelenih retinalnih fotoreceptora

1.5.1 Monohromatija (totalno neprepoznavanje)

Nedostatak uzrokovan defektom ili nedostatkom čepića. Dva ili sva tri pigmenta u čepićima nedostaju, te su boje i svetlost redukovani na jednu dimenziju.

1.5.2 Dihromatija (umereno neprepoznavanje)

Nedostatak je to što jedan od tri bazična kolorna mehanizma nedostaje ili je nefunkcionalan. Jedan od tri pigmenta u čepićima nedostaje i boja je redukovana na dve dimenzije.

1.5.3 Protanopia

Protanopia je ozbiljan deficit kolornog vida uzrokovan kompletnim odsustvom crvenih retinalnih fotoreceptora. U ovom obliku dihomatije, crvena boja izgleda tamno (Slika 20).

1.5.4 Deuteranopia

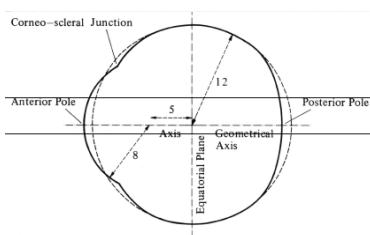
Deuteranopia je deficit prepoznavanja boja u kome se zeleni retinalni fotoreceptori odsutni, te na taj način umereno remete razaznavanje crveno-zelenog opsega boja (Slika 20).

1.5.5 Tritanopia

Tritanopia je izuzetno redak poremećaj prepoznavanja boja gde postoji potpuni nedostatak plavih retinalnih receptora (Slika 21).



Slika 21: Odsustvo plavih retinalnih fotoreceptora



Slika 22: Dimenzije oka

1.6 Oblik oka i njegove dimenzije

Oko nije pravilno sferičnog oblika. Dimenzije oka kod odraslih se mogu razlikovati samo jedan do dva milimetra. Vertikalna mera, generalno manja od horizontalnog rastojanja, je oko 24 mm kod odraslih, dok je pri rođenju oko 16-17 mm. Očna jabučica brzo raste, tako da do treće godine iznosi 22.5-23 mm. Od treće do trineste godine života, oko dostiže svoju punu veličinu. Zapremina oka je 6.5 ml, a težina 7.5 gr (Slika 22).