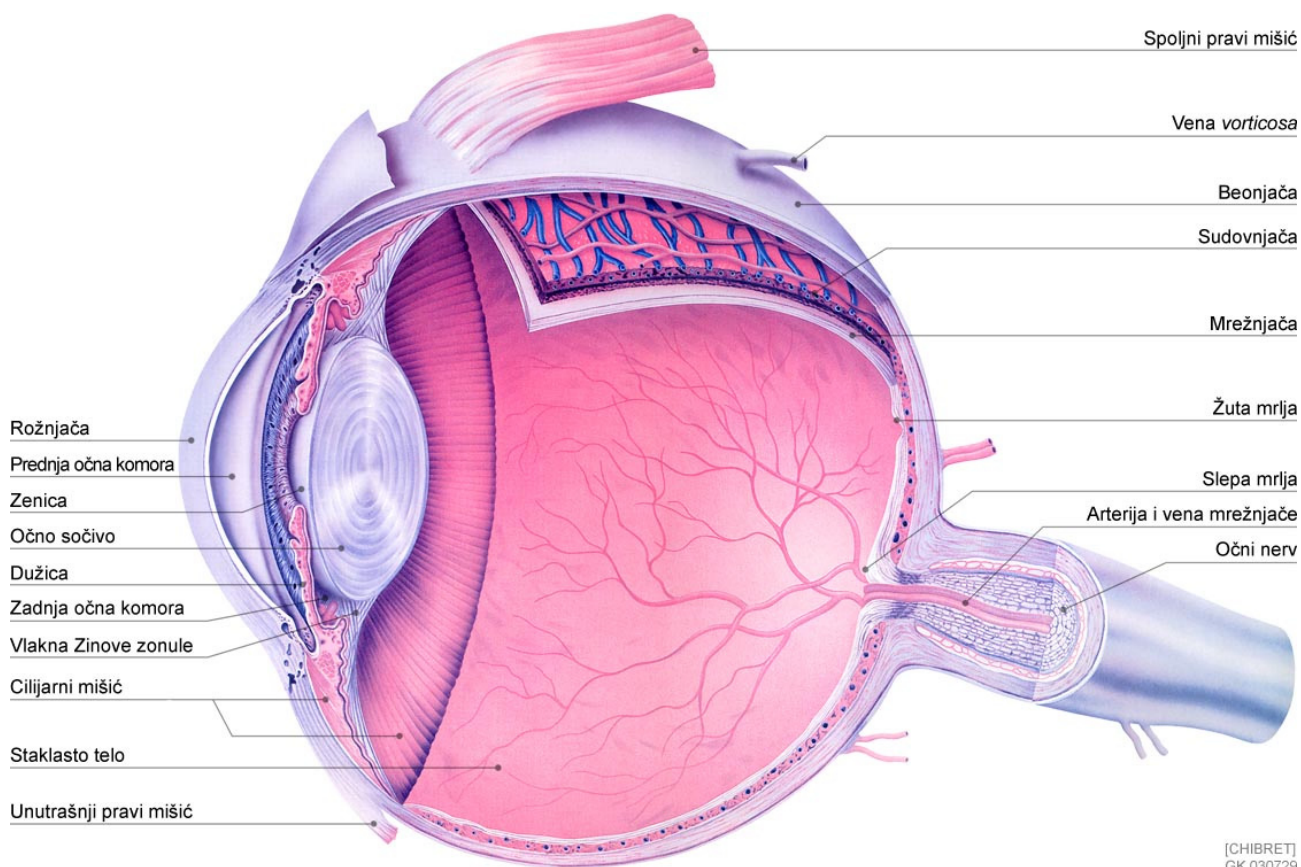


OKO I VID

SY294 • 21. avgust 2006.

Goran Kostić

1. Oko



Slika 1. Crtež horizontalnog preseka očne jabučice čoveka. ^[Chibret] (Očni nerv je blizu nosa.)

^{0.} **Oko** (lat. *oculus*) je parni organ vida koga čini očna jabučica sa očnim nervom. Oko je živi optički sistem na čijoj se zadnjoj strani projektuje obrnuta slika prelamanjem zrakova svetlosti koja ulazi kroz rožnjaču. Očna jabučica čoveka je skoro loptastog oblika najveće spoljašnje mere oko 24 mm (po osi koja prolazi kroz sredinu rožnjače; uz odstupanja do 2 mm). Oko je smešteno u orbitalno masno tkivo što omogućuje njegovo kretanje u različitim pravcima.

^{1.} Šest vanjskih mišića, svakog oka, postavljaju oči u položaj pri kome se slike gledanog objekta projektuju na korespondentna mesta mrežnjača oba oka. Takođe, mišići očiju deluju tako da se slike tačke koja se želi dobro uočiti projektuje na žute mrlje mrežnjača.

Pravac koji određuju žuta mrlja i dobro uočeni predmet, naziva se **osovina vida**. Osovina vida prolazi približno kroz sredinu rožnjače. Pokreti očiju su uvek povezani i zato se par očiju može smatrati jedinstvenim organom.

^{2.} Uobičajeno, nenapregnuto oko vidi oštro predmet počevši od beskonačne udaljenosti do daljine od 7 cm, u uzrastu oko 10 godina, 22 cm u oko 40 godina i 1 m u oko 60 godina.

^{3.} Okom se mogu videti površine sjajnosti od približno $1 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ do preko $100\,000 \text{cd}/\text{m}^2$, ali posle njegovog prilagođenja i pod uslovom da se srednji osvetljaj scene ne razlikuje od posmatrane površine više od približno 100 puta.

^{4.} Građa oka je ista kod svih sisara, ali se optička svojstva razlikuju.

1.1. Građa oka

1.1.1. Rožnjača

⁰ Rožnjača (lat. *cornea*) sa beonjačom čini spoljnu opnu očne jabučice. Rožnjača je providna i zakrivljenija je od beonjače. Čini približno 7 % spoljne opne. Gradi je pet funkcionalno različitih slojeva. Spoljni sloj je naročito osetljiv na bol i ima veliku sposobnost regeneracije bez ožiljaka.

¹ Rožnjača i beonjača su protivteža intraokularnom pritisku i čvrsta zaštita oka.

² Rožnjača pretstavlja konkavnokonveksno sočivo. Spoljna površina ima poluprečnik zakrivljenosti 7,83 mm, a unutrašnja 6,7 mm. Na centralnom delu ima debljinu oko 0,5 mm.

1.1.2. Prednja očna komora

⁰ Prednja očna komora (lat. *camera bulbi anterior*) je prostor omeđen rožnjačom, dužicom i zenicom.

¹ Prednja i zadnja očna komora ispunjene su **očnom vodicom** koja se sastoji od vode i kristaloidnih supstanci koje se nalaze i u krvi. Očna vodica se intenzivno stvara na nastavcima cilijarnog tela i dužici (za 5 do 6 min se proizvede cela količina), a otiče uglavnom difuzijom u vensku krv. Služi ishrani i odvođenju proizvoda raspadanja sočiva i donekle rožnjače, kao i održavanju očnog pritiska. Indeks prelamanja je 1,336.

1.1.3. Očno sočivo

⁰ Očno sočivo (lat. *lens*) je bikonveksno prozirno telo sačinjeno od zbijenih radijalno raspoređenih slojeva providnih ćelija i obavijeno inertnom polupropustljivom membranom (kolagen). Sadrži 2/3 vode i 1/3 belančevina.

¹ Sočivo je vezano jedino finim vlaknima Zinove zonule za cilijarni mišić. Sočivo se spljošti zatezanjem, a ispupči popuštanjem vlakana zonule (ispupčenost odgovara njegovoj unutrašnjoj ravnoteži). Pri ispupčenju menja se gotovo samo prednja strana sočiva pomeranjem prema spoljašnosti oka do 0,7 mm. Promene sočiva omogućuju izoštravanje slike projektovane na mrežnjači. Izoštravanje se naziva **akomodacija**. Pri ispupčenom sočivu izoštrani su bliski predmeti, a pri spljoštenom daleki.

² Slojevi ćelija očnog sočiva su različitih indeksa prelamanja: na polovima 1,386, na

ekvatoru 1,375, a u centru 1,406. Pri akomodaciji se menjaju zakrivljenosti površina sočiva, a ujedno se pomeraju i unutrašnji slojevi različitih indeksa prelamanja. Spoljna površina ima poluprečnik zakrivljenosti od 6 do 10 mm, a unutrašnja 5,5 do 6 mm. Prečnik sočiva je 9 mm, a debljina iznosi 3,7 do 4,4 mm.

1.1.4. Cilijarni mišić

⁰ Cilijarni mišić (lat. *musculus ciliaris*) čine radijalne i kružne mišićne niti koje deluju na očno sočivo posredstvom vlakana Zinove zonule.

¹ Cilijarni mišić služi menjanju ispupčenosti sočiva radi akomodacije. Kada cilijarni mišić miruje, na sočivo preko njegove membrane deluju prstenasto postavljena vlakna zonule koja membranu razvlače tako da se sočivo spljošti. Kada se cilijarni mišić zgrči, privuče prednju ivicu sudovnjače napred i olabavi vlakna zonule koja prijanjaju za ivicu sudovnjače. Olabavljanje vlakana zonule dovodi do ispupčenja sočiva.

1.1.5. Dužica

⁰ Dužicu (lat. *iris*) čine mišićna vlakna koja su spojena sa sudovnjačom snažnim mišićnim prstenom. Otvor dužice se može povećavati njenim radijalnim mišićnim vlaknima, ili smanjivati njenim kružnim mišićnim vlaknima.

¹ Svrha dužice je regulacija osvetljaja mrežnjače. Regulacija se obavlja refleksno.

² Kružna površina sočiva koju ograničava dužica naziva se **zenica**. Normalni prečnik zenice je od 2 do 5 mm, a pri smanjenom osvetljaju, posle prilagođenja oka, može doseći 8 mm. Debljina dužice je od 0,3 do 0,4 mm.

1.1.6. Staklasto telo

⁰ Staklasto telo (lat. *corpus vitreum*) je bezbojno prozirno želatinasto telo koje ispunjava veliki deo unutrašnjosti oka. Oblaže mrežnjaču, cilijarni mišić, delimično cilijarne nastavke, Zinovu zonulu i unutrašnju stranu sočiva. Učvršćeno je na nekoliko mesta, a posebno je čvrsto vezano za ćelije cilijarnog tela. Staklasto telo je gel sa mrežom tankih niti, bez ćelijske strukture. Hemijski je slično očnoj vodici, značajan je sadržaj vitreina (koji ima izraženo svojstvo formiranja gela), a sadrži 99 % vode.

¹ Staklasto telo pomaže ishrani sočiva, drži razapetu mrežnjaču i pripija receptorski uz

pigmentni list mrežnjače. Uz to propušta svetlost do mrežnjače.

^{2.} Indeks prelamanja staklastog tela je 1,338.

1.1.7. Beonjača

^{0.} Beonjača (lat. *sclera*) sa rožnjačom čini spoljnu opnu očne jabučice. Beonjača je neprovidna, bela i vrlo je otporna. Čini približno 93 % spoljne opne. Uglavnom je grade isprepletani snopovi kolagenih vezivnih niti, a sadrži i elastične niti. Na različitim mestima, beonjača je različite debljine: od 0,4 do 1 ili 2 mm na svom zadnjem delu. Veliki deo njene spoljne i unutrašnje površine je slobodan. Spolja leži u orbitalnom masnom tkivu što omogućuje kretanje oka u potrebnim pravcima. Površine između beonjače i sudovnjače odvojene su procepom što je važno pri akomodaciji oka. Beonjača ima niz otvora kroz koje prolaze tanke, dugačke niti nerava, arterija i vena. Na prednjem i srednjem spoljnom delu beonjače utkano je šest mišića oka.

^{1.} Beonjača i rožnjača su protivteža intraokularnom pritisku i čvrsta zaštita oka. Beonjača je i uporište očnih mišića.

1.1.8. Sudovnjača

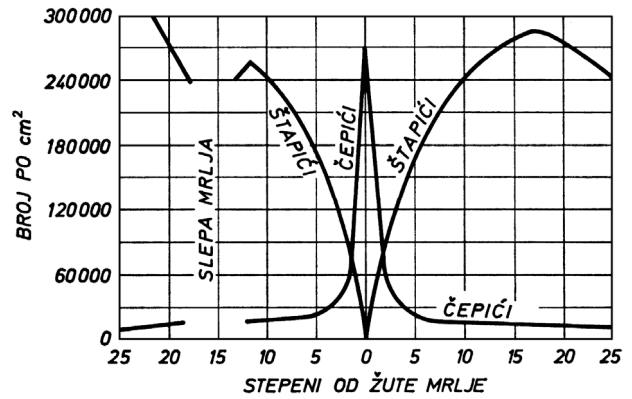
^{0.} Sudovnjača (lat. *chorioidea*) je sunđerasta četvoroslojna opna isprepletana krvnim sudovima. Kroz nju prolaze i nervi dužice, rožnjače i cilijarnog mišića. Smeštena je između beonjače i mrežnjače.

^{1.} Gust kapilarni sloj sudovnjače hrani mrežnjaču. Sloj sudovnjače uz mrežnjaču je gladak i podloga je mrežnjači. Sudovnjača ima važnu ulogu u regulaciji intraokularnog pritiska uključujući zaštitu mrežnjače od naglih skokova pritiska.

1.1.9. Mrežnjača

^{0.} Mrežnjaču (lat. *retina*) čine receptorski i pigmentni list. Receptorski list sadrži receptore koji primaju svetlosne pobude, a ovi se zatim prenose očnim nervom do mozga. Mrežnjača je providna, u dva lista ima deset slojeva i najkomplikovaniji je i najvažniji deo oka.

^{1.} Pigmentni list leži na glatkom sloju sudovnjače i čvršće je srastao sa njim nego sa receptorskim listom. Receptorski list leži na pigmentnom, u njemu su štapičaste ćelije (štapići) i kupaste ćelije (čepići). Štapići i čepići su vezani za pigmentni list čije pak ćelije imaju produžetke koji zalaze među štapiće i čepiće



Dijagram 1. Gustina štapičastih i kupastih ćelija u mrežnjači.

poput resa. Pri pobudi svetlošću, pigment iz ćelija pigmentnog sloja (melanin) ubacuje se u rese i tako štiti od svetlosti štapiće i čepiće i učestvuje u stvaranju vidnog purpura (rodopsina). **Vidni purpur** je neophodan za funkcionisanje štapića pri slabom svetlu. Štapići su osetljivi na svetlost male jačine bez obzira na boju. Čepići su osetljivi na srednje jaku i jaku svetlost i pomoću njih se vide boje.

^{2.} Štapići i čepići su vezani za **bipolarne ćelije** koje ih svojim nastavcima povezuju za dendrite **multipolarnih ćelija**. Neuriti multipolarnih ćelija spajaju se u **očni nerv** sa ukupno oko milion nervnih niti. Većina čepića je vezana posebnom, dok je uvek po nekoliko štapića povezano zajedničkom niti nerva za centralni nervni sistem. Nervnom niti informacije se prenose impulsima, binarno i to samo o promeni sjajnosti. Takođe, pojačavanjem pobude umnožava se broj pobuđenih niti nerva. Dakle intenzitet pobude signalizira se mozgu razlikom u broju pobuđenih niti. Dok traje jedan impuls ne može uslediti drugi, drugi može da se pojavi tek posle određenog perioda.

^{3.} Na malom delu uz samu površinu mrežnjače, koja se naziva **žuta mrlja**, raspoređeni su vrlo gusto čepići. Na tom mestu nema nekih slojeva mrežnjače pa je tanja, a čepići su skoro neposredno izloženi svetlosti. To mesto je naročito osetljivo na boju svetlosti. Na mestu žute mrlje nema štapića. Videti dijagram 1.

^{4.} Štapići su raspoređeni uz površinu mrežnjače izuzev na mestu žute mrlje i mestu izlaska očnog nerva iz mrežnjače.

^{5.} Na mestu izlaska očnog nerva iz mrežnjače nema nikakvih receptora, zato je to mesto neosetljivo na svetlost i naziva se **slepa mrlja**. Videti sliku 1. Slepa mrlja se delimično

nadomešćuje pokretima očiju, a delimično time što se na slepe mrlje dva oka projektuju različiti segmenti predmeta.

^{6.} Potrošnja kiseonika mrežnjače (po gramu tkiva) je vrlo velika, posebno u tami, pri proizvodnji vidnog purpura. Receptorski list je bez krvnih sudova što je potrebno zbog fotohemijjskih procesa. Međutim, receptorski list ima vrlo intenzivan metabolizam.

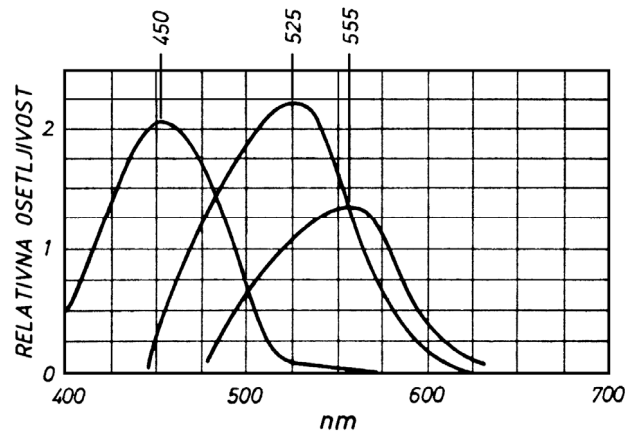
1.1.10. Štapići

^{0.} Štapići su ćelije koje se sastoje od jednog tanjeg i jednog debljeg cilindričnog članka. Tanji članak je okrenut prema površini mrežnjače na koju se projektuje slika. On sadrži niz okruglih pločica naređanih jedna na drugu poput novčića, kao i vidni purpur. Vidni purpur se pojavljuje pri slabom svetlu i omogućuje da se tada vidi, a pri jakom svetlu iščezava.

^{1.} Vidni purpur apsorbuje svetlost talasne dužine u određenom opsegu sa apsorpcionim maksimumom na oko 507 nm, što je svetlost na koju je oko najosetljivije pri slabom svetlu. Apsorbovana svetlost razlaže vidni purpur, proizvodi razlaganja pobuđuju štapić, a pobuda se zatim prenosi na nit nerva.

^{2.} Vidni purpur je crvenkast, a pod dejstvom svetla bleedi, postaje narandžast, pa žut, da bi zatim postao bezbojan. U mraku se vidnom purpuru vraća crvenkasta boja, kao i njegova sposobnost pobuđivanja štapića. Obnavljanje vidnog purpura obavlja se posredstvom oksidacije, delimično od proizvoda njegove razgradnje (retinen i vitamin A), a delimično od supstanci koje potiču iz krvi i pigmentnog lista mrežnjače. Razgradnja i obnavljanje vidnog purpura je kružna reakcija, a njena ravnoteža zavisi od osvetljenosti.

^{3.} Stanje oka prilagođenog na tamu odgovara maksimalnoj osetljivosti mrežnjače i maksimalnom stvaranju vidnog purpura. Oko je tada 10 000 puta osetljivije na svetlost nego kada je prilagođeno na dnevno svetlo. Sa povećanjem osvetljenosti raste količina proizvoda razgradnje vidnog purpura. Pri ustaljenoj osvetljenosti dolazi do ravnoteže



Dijagram 2. Relativne spektralne osetljivosti tri vrste kupastih ćelija.

između razlaganja i stvaranja vidnog purpura. Za prilagođenje oka na svetlo potrebno je približno 5 min, a za potpuno prilagođenje na tamu približno 45 min.

^{4.} Prečnik štapića je oko 1,5 μm . Štapića ima ukupno 75 do 150 miliona. Gustinu štapića u mrežnjači prikazuje dijagram 1.

1.1.11. Čepići

^{0.} Kao i štapići, čepići su ćelije koje se sastoje od jednog tanjeg i jednog debljeg cilindričnog članka, tanji članak je okrenut prema površini mrežnjače na koju se projektuje slika. Čepići su masivniji ali kraći od štapića i mogu da se skupljaju. Tanji članak čepića je izgrađen analogno tanjem članku štapića, ali je kraći, šiljat i ne sadrži vidni purpur. Umesto vidnog purpura čepići imaju jednu od tri fotohemijjske supstance koje su spektralno selektivne. Te fotohemijjske supstance imaju apsorpcioni maksimumom na različitim talasnim dužinama: 450 (plava svetlost), 525 (zeleno) ili 555 nm (žučkasto-zelena). Spektralna selektivnost tri fotohemijjske supstance čini selektivnim i čepiće, a time se obezbeđuje da mozak dobija informaciju o boji svetlosti. Videti dijagram 2.

^{1.} Prečnik tanjeg članka čepića je od 1 do 5 μm , a međusobni razmak u centru žute mrlje je približno 2 μm . Čepića ima ukupno 7 miliona, od čega je približno 34 000 u oblasti žute mrlje. Videti dijagram 1.

2. Vid

⁰ **Vid** je psihološki proces raspoznavanja oblika i boja predmeta, uobičajeno, posredstvom oka.

2.1. Moć rezolucije

⁰ Najmanji detalj na sceni koji može jasno da se uoči naziva se **rezolucija**.

¹ Svetli elementi na tamnoj podlozi vide se razdvojeno ako ih oko gleda pod uglom od oko 1 minuta ili većim. Ova rezolucija odgovara razmaku između receptora, kao i difrakciji svetlosti na zenici.

² Moć rezolucije detalja koji se razlikuju samo po boji znatno je manja: za zeleno - crvene detalje 40 % od rezolucije za svetlo tamne detalje, za crveno - plave 23 %, a za zeleno - plave 19 %.

2.2. Moć razlikovanja boja

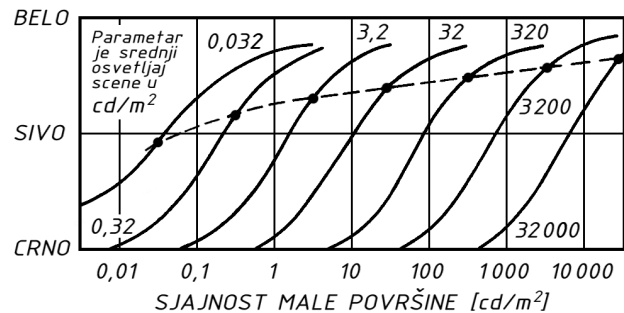
⁰ Ljudski vid može da razlikuje približno 17 000 boja (pri gledanju na detalj pod uglom od 2 °, pri sjajnosti pozadine od 50 cd/m² i ukupnom vidnom uglu od 50 °). Ako se boje razlikuju i po sjajnosti, broj nijansi koje se mogu razlikovati iznosi oko 10 miliona.

2.3. Osećaj sjajnosti, prilagođenje i kontrast

⁰ Za svaku vrednost srednje osvetljenosti scene, subjektivni osećaj sjajnosti male površine na sceni određen je posebnom funkcijom. Videti dijagram 3. Vid refleksno prelazi na funkciju koja odgovara aktuelnoj srednjoj osvetljenosti scene. Taj prelaz vida na odgovarajuću funkciju naziva se **prilagođenje** (ili adaptacija) **oka**.

¹ Prilagođenje oka postiže se menjanjem osetljivosti ćelija u mrežnjači. Prilagođenje može da se izvrši na čitavoj mrežnjači, tada se naziva **opšte prilagođenje**. Dolazi i do prilagođenja samo pojedinih delova mrežnjače, ono se naziva **lokalno prilagođenje**. Takođe dolazi i do prilagođenja jedne ćelije u zavisnosti od osvetljenosti susednih ćelija, što se naziva **bočno** (ili lateralno) **prilagođenje**.

² Pojedinačne funkcije subjektivnog osećaja sjajnosti male površine vrlo su slične, pa se zaključuje da se vidom osećaju samo relativne vrednosti sjaja male površine. Sa dijagrama 3 se vidi da se subjektivni osećaj sjajnosti male površine menja od crnog do belog pri promeni apsolutne vrednosti njene sjajnosti od oko sto puta.



Dijagram 3. Subjektivni osećaj sjajnosti za različita prilagođenja oka.

³ Osećaju od crnog do belog odgovara relativno mala promena apsolutne sjajnosti. Međutim to nije značajan nedostatak jer u prirodi promena srednje sjajnosti scene povlači i promenu najveće i najmanje sjajnosti na sceni. Inače u prirodi je odnos najveće srednje sjajnosti scene na suncu i najmanje srednje sjajnosti u mraku, i do 10⁹.

⁴ Odnos sjajnosti najsjajnije i najmanje sjajne površine scene, naziva se **kontrast**.

⁵ Vidom se vrlo teško procenjuje apsolutna vrednost sjajnosti. To se može zaključiti na osnovu male strmine isprekidane krive na dijagramu 3 koja pretstavlja osećaj sjajnosti u zavisnosti od apsolutne sjajnosti. Isprekidana kriva povezuje tačke na pojedinim krivama u kojima je sjajnost površine koja se ispituje jednaka prosečnoj sjajnosti scene.

⁶ Kada mala površina na sceni ne izgleda vrlo tamna ili vrlo svetla, osećaj njene sjajnosti približno je proporcionalan logaritmu njene sjajnosti. To odgovara slabo zakrivljenim delovima krivih na dijagramu 3. (Zavisnost osećaja od sjajnosti, tačnije daje stepena od logaritamske funkcije.)

2.4. Prilagođenje na boje

⁰ Prilagođenjem na boje smanjuje se osetljivost receptora pobuđenih bojama veće sjajnosti, a povećava osetljivost receptora boja manje sjajnosti. Usled toga se osećaj sjajnosti nekih boja smanjuje i takođe se povećava razlika (kontrast) boja nekih površina. Na primer, sjajna plava svetlost će smanjiti osetljivost receptora za plavo, pa će cijan izgledati zelenije. Kao kod prilagođenja na sjajnost, postoji opšte, lokalno i bočno prilagođenje.

¹ Usled opšteg prilagođenja, prilično veliki opseg boja sličnih belog, videće se kao bela.

Razlog je što svetlost slična beloj, izaziva smanjenje osetljivosti receptora za njene komponente veće sjajnosti, a povećava osetljivost za komponente manje sjajnosti. Kao rezultat, mozak prima signale koji odgovaraju ujednačenijim sjajnostima komponentata svetlosti, nego što one jesu, a to izaziva osećaj boje bliže beloj.

^{2.} Boje koje srećemo u svakodnevnom životu vidimo skoro nepromenjene i kada su objektivno donekle izmenjene, ovo se naziva **konstantnost boje objekta**. Uzrok je fiziološke i psihološke prirode. Konstantnost boje objekta je naročito izražena ako je boja slična beloj.

^{3.} Pri lokalnom prilagođenju menjaju se relativne osetljivosti tri vrste ćelija samo u delu mrežnjače. Zbog lokalnog prilagođenja kada se gleda mala površina izvesne boje, pa se pogled prenese na belu površinu, vidi se neko vreme prethodno gledana površina ali komplementarne boje. To je zbog povećanja lokalne osetljivosti čepića osetljivih na komplementarnu boju gledanoj, jer su oni bili slabo pobuđeni ili nepobuđeni.

^{4.} Usled bočnog prilagođenja oka izgled neke boje često zavisi od boje okoline. Dve boje koje se nalaze jedna do druge izazivaju bočno prilagođenje koje stvara osećaj u kome su dve boje pomerene ka komplementarnim.

2.5. Perzistencija i treperenje

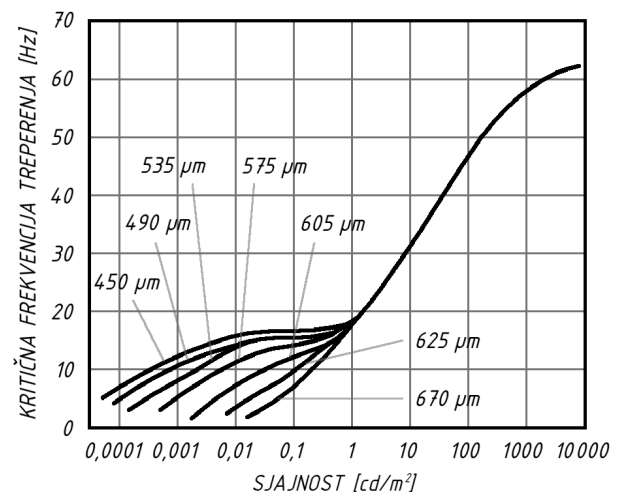
^{0.} Produženje osećaja boje posle promene pobude mrežnjače, naziva se **perzistencija**.

^{1.} Perzistencija je duža pri prilagođenju oka na male osvetljenosti. Perzistencija središnjeg dela mrežnjače duža je od perzistencije periferije. Perzistencija je duža ako se površina vidi pod većim uglom. Pri sjajnostima manjim

od 1 cd/m^2 perzistencija se produžuje sa produživanjem talasne dužine svetlosti (npr. duža je za crvenu nego za plavu svetlost). Videti dijagram 4.

^{2.} Kada se oko pobuđuje periodičnim impulsima, biće vidljiv svaki impuls, ako je vreme između impulsa (pauza) duže od perzistencije. Kada je vreme pauze kraće od vremena perzistencije, izgledaće da se svetlost stalno zrači, ali uz promenljivu sjajnost. Kada su jednaka trajanja impulsa i pauze, frekvencija impulsa pri kojoj prestaje da se vidi treperenje, naziva se **kritična frekvencija treperenja**. Pri kritičnim ili višim frekvencijama svetlosnih impulsa osećaj je jednak srednjoj vrednosti osvetljenosti.

^{3.} Za sjajnost u opsegu od 1 do 300 cd/m^2 , za sve boje svetlosti, kritična frekvencija treperenja proporcionalna je logaritmu sjajnosti. Pri sjajnosti od 3 cd/m^2 kritična frekvencija je 24 Hz. Videti dijagram 4.



Dijagram 4. Kritična frekvencija treperenja u zavisnosti od sjajnosti i talasne dužine svetlosti.

3. Reference

[1] Dr Jelena Krmpotić-Nemanjić, dr Nevenka Ljuština-Ivančić; u: Medicinska enciklopedija 5, Oko; Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb, 1970.

[2] Branislav Nastić; Osnovi televizijske tehnike; Naučna Knjiga, Beograd, 1977.

[3] -; (Plakat:) *Das Auge*; Chibret Pharmazeutische GmbH, ca 1984.

[4] Dr Mladen Paić; u: Tehnička enciklopedija 9, Optički instrumenti za preslikavanje; Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb, 1984.

[5] Edward S. Perkins; in: *Britannica Encyclopaedia (CD ROM), Human Vision: Structure and Function of the Eye*; 1996.

[6] Sergei Novakovsky; *Color Television*; Mir Publishers, Moscow, 1979.

GK 030824, ... 050601, 060821