



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



# **Aberacije oka i njihov uticaj na kvalitet lika**

**-stručni rad-**

Mentor: prof. dr Olivera Klisurić

Kandidat: Marija Gartner 707/11

Novi Sad, 2015

# Sadržaj

Uvod.....	4
Brzina svetlosti .....	5
Refrakcija svetlosti kroz sočivo .....	5
Merenje refraktivne jačine (dioptrija).....	7
Oko kao kamera.....	8
Elektromagnetni spektar .....	9
Vidljivi spektar.....	10
Ultraljubičasto (UV) zračenje.....	10
Anatomija refraktivnih površina oka .....	11
Formiranje lika na retini.....	13
Međusobni položaj refraktivnih komponenti oka (ose i uglovi oka) .....	16
Optika ljudskog oka.....	17
Apsorpcija UV spektra u strukturama oka.....	17
Aberacije .....	18
Sferna aberacija .....	18
Astigmatizam.....	21
Koma .....	22
Hromatska aberacija .....	23
Shvatanje očnih aberacija .....	29
Primena hromatske aberacije u refrakciji .....	30
Aberacije i refraktivne greške .....	31
Aberacije i akomodacija.....	32
Promene u oku koje se dešavaju s godinama .....	32
Zaključak .....	33

<b>Indukovane aberacije .....</b>	<b>33</b>
<b>Da li je moguće viđenje bez aberacija? .....</b>	<b>33</b>
<b>Ciljevi u budućnosti .....</b>	<b>33</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>35</b>
<b>Biografija .....</b>	<b>36</b>

## Uvod

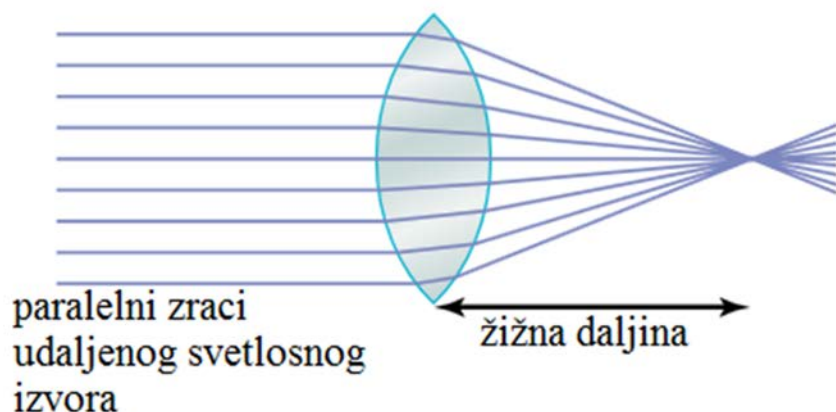
Ljudsko oko je organ čula vida i, posle mozga, predstavlja najkompleksniji organ u telu. Vid nam omogućava da razumemo svet u okolini i da se prilagodimo sredini. Kada gledamo oko nas, oči neprekidno primaju svetlost, što predstavlja osnovu za vidni proces. Prednji deo oka je sočivo, kroz koje svetlost koja se reflektuje od objekata u okolini, prolazi. Svetlost putuje kroz očnu jabučicu, prolazeći kroz strukture do kraja očne jabučice, gde svetlost konvergira u jednu tačku. Jedinostveni set ćelija na kraju očne jabučice prima svetlost, koristi svoju energiju da bi je prevela u električne impulse, ili u signale koji, zatim, putuju do mozga. Impulsi putuju neuronskim putem, koji počinje s kraja oka, pa sve do potiljačnog dela u mozgu, vidnog korteksa. U vidnom korteksu se električni signali oba oka spajaju u jednu sliku. Vreme od kada svetlost ulazi u oko, pa sve do spajanja jedinstvene slike u mozgu, iznosi samo delić sekunde. Naučno istraživanje kompleksnih i vitalnih struktura u ljudskom oku, značajno su se proširila u 20. i početkom 21. veka. Iako su neka od ovih istraživanja vršena na životinjama, značajna količina informacija su dobijena od studija bolesti ljudskog oka. Uz pomoć ovih istraživanja razumemo funkciju svake strukture ljudskog oka. Svaka struktura doprinosi na specifičan način vidnom procesu i zajedno predstavljaju široki spektar vidnih funkcija, od percepcije objekta (oblika, veličine i boje), do njegove udaljenosti.

## Brzina svetlosti

Svetlost putuje kroz vazduh brzinom od  $300\,000\text{ km/s}$ , ali manjom brzinom putuje kroz providna tela i tečnosti. Indeks prelamanja providne supstance je razlomak brzine svetlosti kroz vazduh i brzine svetlosti date sredine. Indeks prelamanja vazduha je 1,00.

## Refrakcija svetlosti kroz sočivo

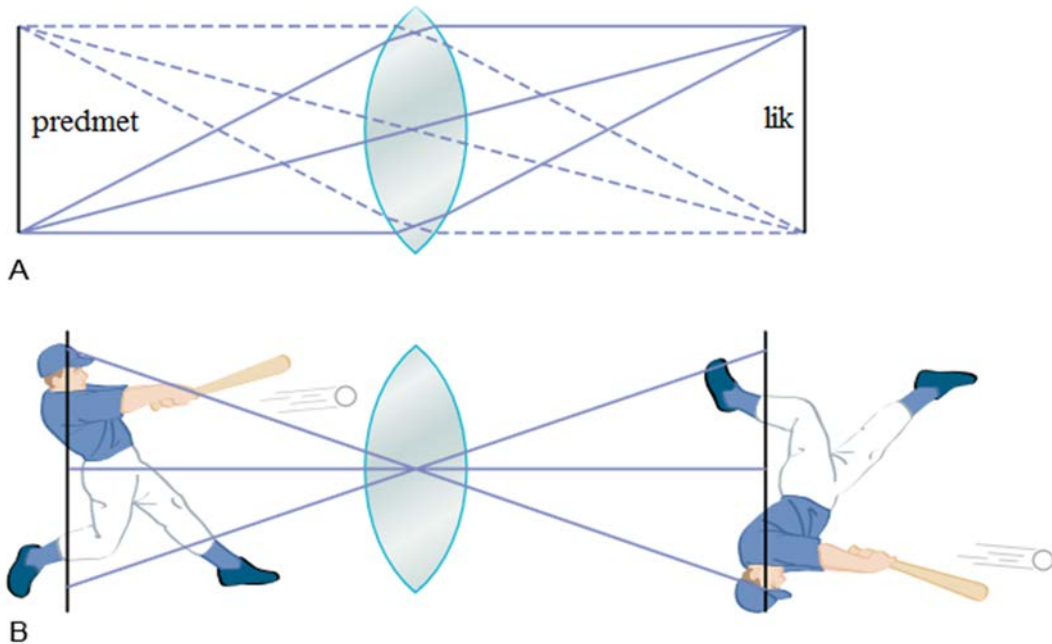
Paralelni svetlosni zraci koji padaju normalno na centar konveksnog sočiva, izlaze iz sočiva bez skretanja. Zraci koji padaju na sočivo bliže ivici, konvergiraju za neki ugao.



Slika 1. Sabirno (konvergentno) sočivo

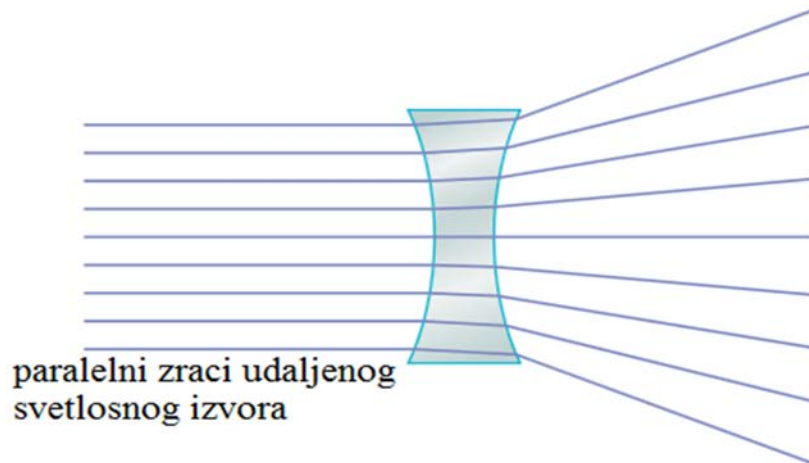
Pola prelamanja svetlosti se dešava na prvoj površini sočiva, a pola na drugoj. Ako sočivo ima pravilnu krivinu, svetlosni zraci koji prođu kroz svaki deo sočiva će konvergirati za određeni ugao, tako da zraci prođu kroz jedinstvenu tačku koja se naziva žiža (fokus).

Svaki objekat predstavlja seriju tačkastih izvora svetlosti. Neki tačkasti izvori su jasni, a neki manje jasni i takođe, variraju u bojama. Svaki zrak na sočivu se različito prelama i seče optičku osu u različitoj tački. Lik je obrnut u odnosu na predmet, i strane su obrnute.



Slika 2. Formiranje lika sabirnim sočivom

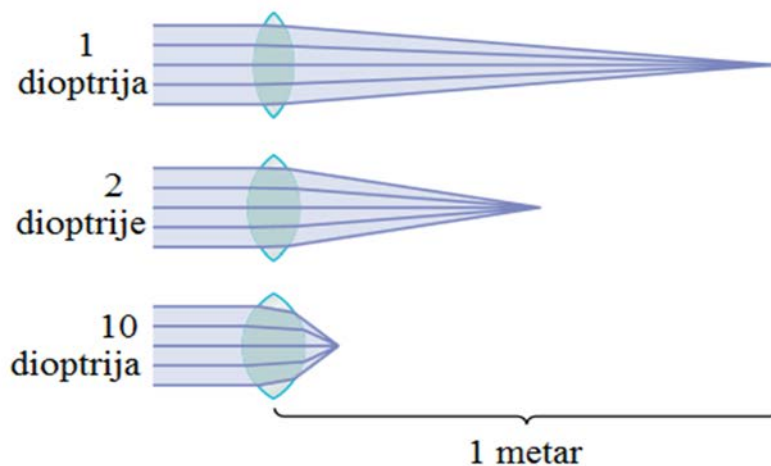
Svetlosni zraci koji padaju normalno na centar konkavnog sočiva se ne prelamaju (slika 3). Svetlosni zraci koji padaju bliže krajevima sočiva, ulaze u sočivo pre centralnih zraka. Ovo je suprotno od sabirnih sočiva, što uzrokuje da periferni zraci divergiraju od centralnih zraka. Svetlosni zraci pola divergiraju na prednjoj površini, a pola na zadnjoj površini. S obzirom da se zraci rasipaju po izlasku iz sočiva, oni se neće sastati ni u jednoj tački. Tačka u kojoj se sastaju njihovi imaginarni produžeci predstavlja žižu. Ona se nalazi na istoj strani sa koje dolazi svetlost.



Slika 3. Rasipno (divergentno) sočivo

### Merenje refraktivne jačine (dioptrijska)

Što više sočivo prelama svetlost, veća je refraktivna moć, dioptrijska sočiva. Refraktivna jačina sabirnog sočiva je jednaka recipročnoj vrednosti njegove fokalne dužine. Sferna sočiva koja konvergiraju paralelne zrake do fokalne tačke, koja je 1 metar udaljena od centra sočiva ima refraktivnu jačinu od +1 D. Ukoliko sočivo konvergira paralelne zrake duplo više od +1 D, onda to sočivo ima jačinu od +2 D, a fokalna dužina iznosi 0,5 m. Sočivo koje konvergira paralelne zrake samo na 10 cm od sočiva ima refraktivnu jačinu od 10 D.



Slika 4. Žižna daljina sočiva

Žižna daljina konkavnih sočiva se ne nalazi iza sočiva jer zraci divergiraju po izlasku iz sočiva. Ukoliko konkavna sočiva divergiraju svetlosne zrake u istoj meri kao što sabirna sočiva od +1 D konvergiraju zrake, onda sledi da to sočivo ima jačinu od -1 D. Slično tome, ako divergentna sočiva divergiraju zrake u istoj meri kao što sabirna sočiva od +10 D konvergiraju zrake, onda kažemo da to sočivo ima jačinu od -10 D. Rasipna sočiva neutrališu refraktivnu jačinu sabirnih sočiva. Ukoliko je rasipno sočivo od -1 D postavljeno odmah do sabirnog sočiva od +1 D, rezultujuća vrednost te kombinacije će biti 0.

## **Oko kao kamera**

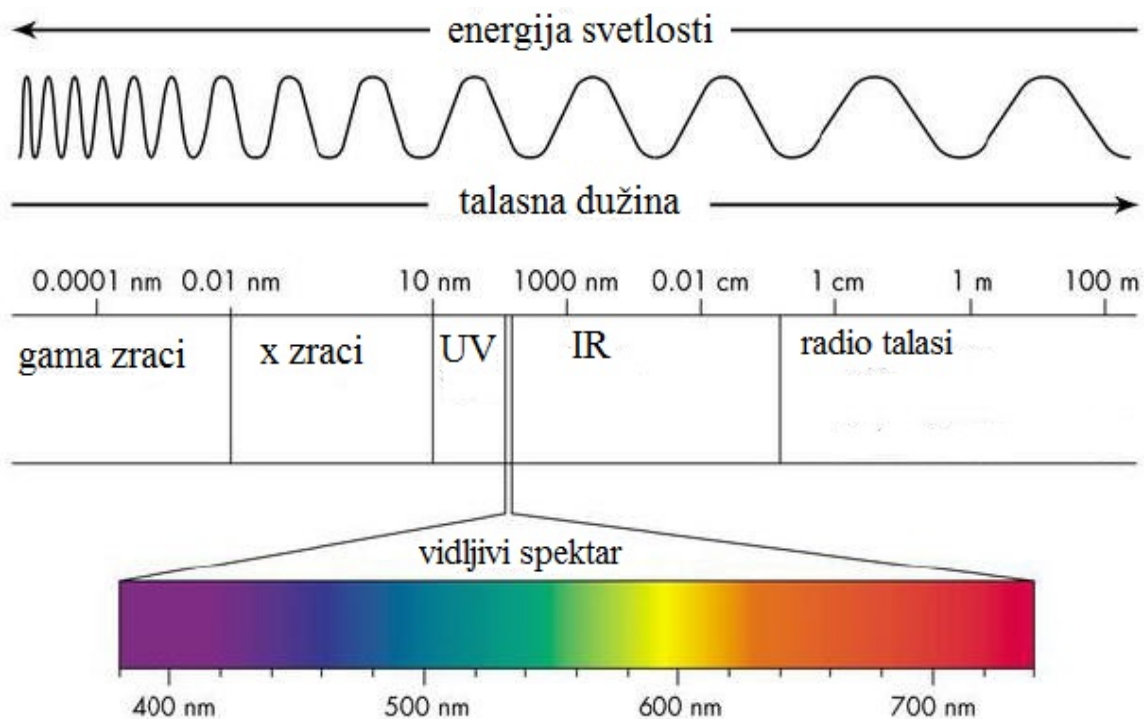
Oko je optički jednako uobičajenoj kameri. Ima sistem sočiva, podešavajuću aperturu (zenicu) i mrežnjaču koja odgovara filmu na kameri. Sistem sočiva u oku je sastavljen od četiri refraktivne površine: prva je površina između vazduha i rožnjače, prednja površina rožnjače, površina između zadnje površine rožnjače i očne vodice, površina između zadnje površine rožnjače i prednje površine sočiva i površina između zadnje površine sočiva i staklastog tela.

Isto kao što sočivo fokusira sliku na nekom zaklonu, tako i sistem sočiva u oku fokusira sliku na retini. Slika je obrnuta u odnosu na objekat u okolini. Međutim mozak prima objekat kao uspravno orijentisan, zato što je istreniran da obrnuti objekat vidi kao normalan.



## Elektromagnetni spektar

Ako se u jednoj tački prostora stvara periodično promenljivo električno polje, koje je praćeno istom takvom promenom magnetnog polja, kroz okolni prostor će se širiti elektromagnetni talasi. Oni se mogu prostirati i kroz bezvazdušni prostor. Elektromagnetni talasi u prirodi imaju širok opseg frekvencija, odnosno talasnih dužina. Dijapazon svih talasnih dužina predstavlja spektar elektromagnetnog zračenja. Granice između pojedinih vrsta zračenja nisu oštre, već dolazi do prekrivanja u pojedinim oblastima. To je zbog toga što talasna dužina nije jedina karakteristika određenog zračenja, već i način dobijanja, upotreba, osobine koje ispoljavaju u interakciji sa sredinom kroz koju prolaze...



Slika 5. Spektar elektromagnetnog zračenja

## Vidljivi spektar

Ljudsko oko je u mogućnosti da detektuje samo mali deo spektra elektromagnetnog zračenja. Vidljivi spektar obuhvata talasne dužine od 400 do 700 nm. Nesenzitivnost oka na ostale delove elektromagnetnog spektra izazivaju različiti razlozi od kojih su najvažniji:

- neodgovarajuća energija koju poseduje foton određene svetlosti,
- snažna apsorpcija određenih delova spektra vršenih od strane refraktivnih struktura oka, pre nego što dođe do retine,
- neosetljivost fotoreceptora na mrežnjači na određene delove spektra van vidljivog dela spektra.

## Ultraljubičasto (UV) zračenje

Ultraljubičasto zračenje obuhvata oblast talasnih dužina od 400 do 100 nm. UV zraci su klasifikovani u 3 grupe:

- UVA (400-315 nm),
- UVB (315-280 nm),
- UVC (280-100 nm).

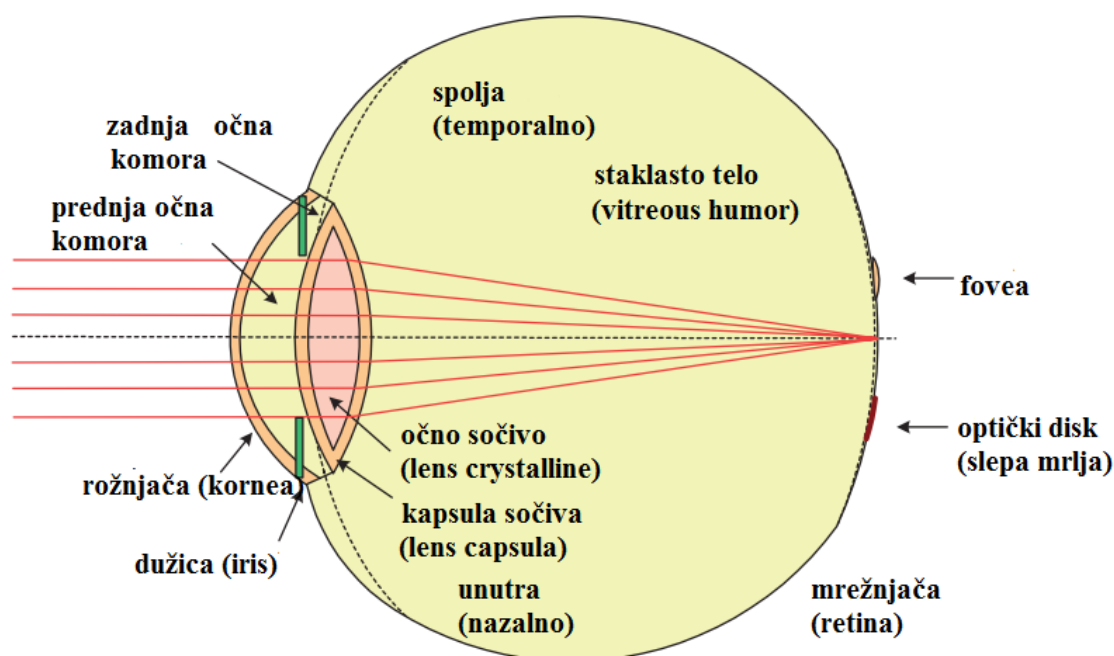
UVC je deo spektra koji je skoro u potpunosti apsorbovan od strane ozonskog omotača u atmosferi. Veoma mali deo prirodnog UVC zračenja dolazi do našeg oka, ali ukoliko i dođe do oka, veći deo se apsorbuje u epitelu rožnjače, što izaziva privremenu, ali bolnu redukciju oštrine vida.

UVB deo ultraljubičastog zračenja se probija kroz atmosferu, ali ukoliko stigne do oka ne dolazi do velike dubine. Najveći deo ovog zračenja biva apsorbovan u epitelu rožnjače, i isto kao i UVC može izazvati njena oštećenja.

UVA zračenje je jedini deo UV spektra za koji je rožnjača transparentna, a većina ovog zračenja se apsorbuje u sočivu. Zbog velike apsorpcije u sočivu samo mali deo UVA zračenja dolazi do retine.

## Anatomija refraktivnih površina oka

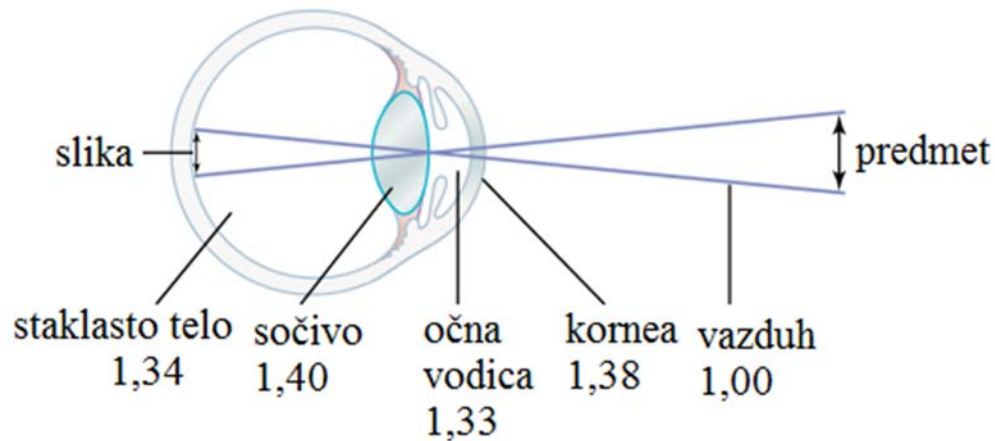
Oko može detektovati širok opseg osvetljenosti. Ako je intenzitet slab, prag je veći. Svetlost se odbija od objekata u prostoru, i dolazi do našeg oka. Ulazi u oko prolazeći kroz sledeće strukture: rožnjača (*cornea*) - prednja očna komora - zenica (*pupila*) - očno sočivo (*lens crySTALLINA*) - očna vodica - mrežnjača (*retina*).



Slika 6. Anatomija ljudskog oka

Svetlost prolazi kroz korneu, debljine 0,5 mm, i indeksa prelamanja 1,376. Površina kornee nije glatka i zato mora postojati sloj suza na njenoj površini da bi se kompenzovala ta neravnina. Zatim prolazi kroz prednju očnu komoru, debljine 3,04 mm i indeksa prelamanja 1,336. Očno sočivo je promenljivog oblika i menja svoju refraktivnu moć, da bi oko jasno fokusiralo bliske objekte. Sačinjeno je od nekoliko ćelija. Dioptrijske sočiva su od 19 do 33 D, kod osoba do 20 godina. Jezgro sočiva ima veći indeks prelamanja od kapsule, ali je prihvaćen indeks prelamanja sočiva 1,42. Posle sočiva, svetlost prolazi kroz staklasto telo i dolazi do retine.

## refraktivna jačina oka 60 D



Slika 7. Indeks prelamanja struktura oka

Mrežnjača se sastoji iz 9 slojeva. Centralni deo, gde je rezolucija najveća i koji služi za razlikovanje boja i jasnog vida se naziva fovea. Ona je u dijametru široka 1,8 mm. Fovea se nalazi temporalno (spolja). U perifernom delu retine se nalazi veliki broj štapića, koji primaju svetlost iz širokog vidnog polja, ali bez razlikovanja boja i slabije rezolucije, ali sa većom oštrinom. U nazalnom delu retine je optički disk, koji je u dijametru 1,8 mm. U ovom delu retine nema receptora, pa je ovaj deo poznat i kao slepa mrlja.

Kornea predstavlja najmoćniji refraktivni deo optičkog sistema oka. Po svom obliku, rožnjača je divergentno sočivo, i da se nalazi u vazduhu ona bi rasipala svetlost. Međutim, rožnjača ima jaku sabirnu moć od +43 D, zbog male razlike između indeksa prelamanja rožnjače i očne vodice. Ona predstavlja deo sfere koja je periferno zaravnjena, da bi kvalitet lika bio bolji.

Očno sočivo ima višćelijsku strukturu, koja je formirana od konačnog broja ćelija. Ova složena struktura sočiva daje otpor refleksiji ulazećeg zraka.

Iris se širi i skuplja zajedno sa zenicom. Njegov dijametar može varirati u opsegu od 1,5 mm do 8 mm, i on se menja u zavisnosti energije koja se koristi za formiranje lika i za zaštitu retine. Očno sočivo i staklasto telo imaju spektralnu transmisiju svetlosti. Ovi delovi oka takođe utiču na osetljivost boja. Apsorpcija svetlosti u oku počinje na oko 600 nm.

## Formiranje lika na retini

Poslednja faza mnogih optičkih sistema je formiranje lika. Svetlost koja ulazi u oko i prolazi kroz propustljive površine koje prelamaju svetlost, i u optički normalnom (emetropnom) oku fokusira obrnuti lik na retini. Kao što je i ranije pokazano, svetlost prvo prolazi kroz rožnjaču i očnu vodicu i kroz zenicu dolazi do očnog sočiva, koje se nalazi u prednjem segmentu oka. Mišići dužice refleksno podešavaju veličinu zenice, koja zavisi od količine svetlosti koja ulazi u oko. Refrakcija i fokusiranje svetlosti na retinu zavisi od optičke jačine rožnjače i očnog sočiva. Optička jačina oka se prikazuje u dioptrijama. Za gledanje udaljenih objekata, razmak između sredine rožnjače i očnog sočiva je 0,017 m, odakle sledi da je optička jačina oka oko 60 D. U drugom slučaju, oko koje fokusira beskonačno udaljene objekte, sočivo će fokusirati sliku na retini objekta koji se nalazi na 1 m od oka. Najveća refrakcija se javlja na rožnjači, zbog razlike indeksa prelamanja. Razlika indeksa prelamanja između vazduha i rožnjače je veća nego razlika indeksa prelamanja očne vodice i sočiva. Kornealna jačina je fiksirana, dok se jačina sočiva može podešavati menjajući krivinu sočiva. Akomodacija omogućava da se objekti na različitim razdaljinama jasno fokusiraju na retinu. Sa starenjem se postepeno gubi akomodacija do potpunog gubitka fokusiranja bliskih objekata. Ta pojava se naziva presbiopija. Razlog ove pojave je gubitak elastičnosti kapsule u kojoj se nalazi sočivo, dok će se mišići koji menjaju krivinu sočiva i dalje grčiti. Zenica refleksno smanjuje svoju veličinu, i to zavisi od osvetljenosti mrežnjače. Srednji mozak inervira sfinkter irisa koji se širi kada je osvetljenost mala i skuplja kada je osvetljenost velika. Veličina zenice takođe utiče na kvalitet lika. Smanjena zenica fokusira sliku na retini povećanjem dubine polja. Smanjena zenica smanjuje efekte aberacije kornee, ali i povećava efekte difrakcije koji utiču na kvalitet lika. Konačna slika na retini nije rezultat difrakcije i hromatične aberacije nego i drugih faktora, pigmentacije i krvnih sudova, koji redukuju broj fotona koji padaju na retinu. Oko 70 % svetlosti pada na retinu i od toga se oko 50 % pretvara u vidne signale, putem fotoreceptora.

Svetlost koja izlazi iz optičkog sistema je ograničena za naše oko, to je vidljivi deo spektra, na koje ljudsko oko može da reaguje. Slika na retini se ne formira ni suviše jasno, ni suviše zamaglano. Razumljivo je da je ljudski stvorena okolina, dizajnirana tako da odgovara našim senzornim i fizičkim sposobnostima. Ali ovaj proces nije gotov. Mnogo je toga što treba da se

zna o optičkom sistemu oka i što više povećavamo naše znanje o oku, bolje razumemo vidne sposobnosti.

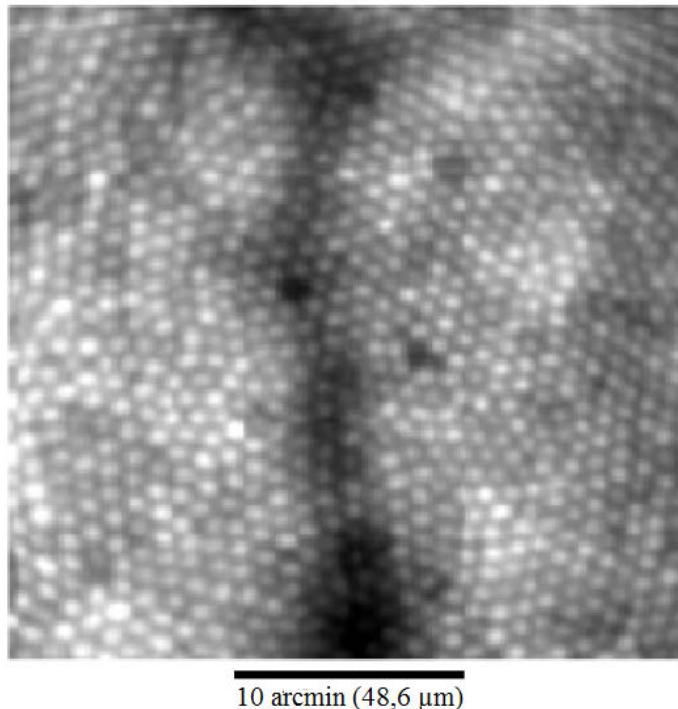


Slika 8. Formiranje lika na mrežnjači



Slika 9. Formiranje slike u mozgu

Glavna uloga retine je da prima i prenosi informacije primljene iz okoline do mozga. Mrežnjača je tanka moždana ovojnica koja sadrži svetlosno osetljive receptore (fotoreceptore) koji omogućavaju tu funkciju. Sastoji se od različitih slojeva. Fotoreceptori su smešteni na krajnjem sloju ćelija. Svetlost prolazi kroz sve transparentne slojeve retine i odbija se od poslednjeg sloja. Svetlost odbijena od poslednjeg sloja retine dolazi do fotoreceptora. Fotoreceptori reaguju na svetlost i pretvaraju energiju zračenja u električne signale. Svaki fotoreceptor je nalik talasnom vodiču, koji upućuje svetlost do spoljašnjeg segmenta, gde se nalaze fotosenzitivni pigmenti. Štapići čine većinu fotoreceptora, i ima ih oko 120 miliona u retini. Oni su veoma osetljivi i mogu da prime signal od jednog fotona. Čepići su manje osetljivi od štapića i postoje tri tipa, svaki je osetljiv za različit deo talasnih dužina vidljivog spektra. Dugački (long - L), srednji (middle - M) i kratki (short - S) talasne dužine osetljivi čepići. S čepići čine svega 5 % čepića i oni se ne nalaze u fovei. Bez S čepića oko ne raspoznaje plavu i žutu boju, i ovaj fenomen se naziva tritanopija. Preostalih 95 % čepića čine L i M čepići. Kombinacija signala čepića stvara kolorni vid visoke rezolucije. Nalaze se u mnogo manjem broju od štapića, oko 6 miliona. Njihova najveća gustina je u makuli, gde se nalazi fovea.

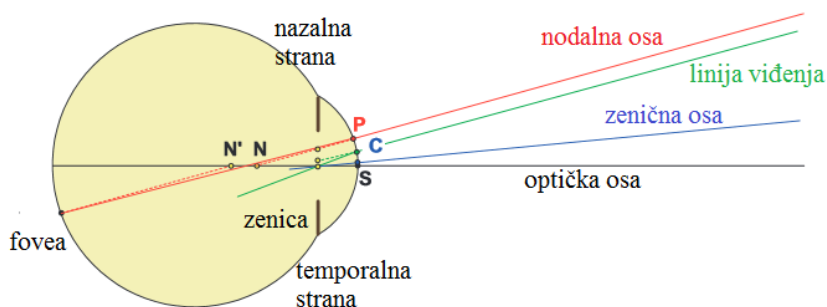


Slika 10. Mozaik fotoreptora retine snimljen pomoću odgovarajućeg oftalmoskopa. Mozaik pokazuje fotoreceptore na lokaciji 1° od centra fovee. Čepići su oko 5 mikrona u dijametru. Štapići su isto prikazani, ali oni su isuviše mali da bi se detektovali oftalmoskopom.

Čepići u senzornom delu retine su odgovorni za visoku rezoluciju slike u oku. S obzirom da se njihova gustina smanjuje udaljavanjem od makule, mesto najboljeg lika u vidnom polju je  $2\omega = 4^\circ$ . Drugi razlog smanjenja rezolucije udaljavanjem od centra fovee je neuronski signal. Udaljavanjem od fovee, veliki broj štapića se spaja u jednu ganglijsku ćeliju, što smanjuje rezoluciju. Ako je svetlosni signal slab, mali deo ulazi u oko. Zenica se adaptira u skladu s osvetljenošću. U ovom slučaju periferna sferna aberacija očnog sočiva smanjuje kvalitet i rezolucija opada. Ako svetlost pada na retinu, ali ne na foveu, rezidualni astigmatizam smanjuje kvalitet slike.

### Međusobni položaj refraktivnih komponenti oka (ose i uglovi oka)

Oko nije centrirani optički sistem. Međutim, kao i svaki optički sistem, i oko se može jednostavno prikazati uvođenjem kardinalnih tačaka i definisanjem uglova koje zaklapaju ose oka. Slika 11 prikazuje ose i uglove oka. Refraktivne komponente oka se ne mogu analizirati pojedinačno, ukoliko se ne poznaje njihov međusobni položaj. Optička osa oka bi bila linija koja spaja centre krivina svih refraktivnih površina. Međutim, centri svih prelomnih površina se ne poklapaju, i prava optička osa ne postoji. Ipak, mi možemo predstaviti liniju, najbolju optičku osu, koja najbliže povezuje optičke ose oka. Čak iako bi se optičke ose savršeno poklapale, fovea ne bi bila ni blizu te ose. Osa najbliža optičkoj osi oka je linija viđenja (osa koja prolazi kroz centar zenice i završava se na fovei).



Slika 11. Optičke ose oka



Sada kada su definisane sve ose oka, mogu se predstaviti i određeni uglovi koje zaklapaju te ose. Ugao alfa ( $\alpha$ ) zaklapaju optička i nodalna osa koje se spajaju u prvoj nodalnoj tački. Ugao kapa (K) grade zenična i nodalna osa. Ugao lambda ( $\lambda$ ) čine zenična osa i linija viđenja. Uglovi su pozitivni kada nodalna osa ili linija viđenja u prostoru objekta stoje nazalno od optičke ili zenične ose. Uglovi su predstavljeni kao pozitivni, što je slučaj i u realnosti, i svaki od njih iznosi oko  $5^\circ$ . Linija viđenja je glavni zrak od svetlosti koja se reflektuje od objekta. Može biti detektovana veoma lako i ima veliku važnost za vid. Fovea je locirana dalje od mesta gde najbolja optička osa preseca retinu.

## **Optika ljudskog oka**

Kvalitet optičkog sistema oka može se razmatrati objektivno, kao i svaki optički sistem. S druge strane, može se posmatrati i subjektivno, pošto je uticaj fotoreceptora u oku i sposobnost formiranje lika u mozgu veliki. Kvalitet optičkog sistema zavisi od adaptacije i akomodacije.

## **Apsorpcija UV spektra u strukturama oka**

Refraktivne površine oka nisu u potpunosti transparentne za vidljivi spektar svetlosnih talasa. Iako sva svetlost koja ulazi u oko dolazi do retine, značajan deo svetlosti, posebno manje talasne dužine se apsorbuju u strukturama oka. Ova osobina se menja drastično sa godinama. Sve optičke komponente oka, uključujući očnu vodicu i staklasto telo imaju osobinu propuštajućeg filtera u oku. Svetlost manjih talasnih dužina (UVC) se apsorbuje na kornei. Sočivo ima značajnu apsorpciju manjih talasnih dužina ultraljubičastog spektra UVA i UVB. Ova apsorpcija dolazi od strane žutog pigmenta u sočivu. Ova apsorpcija UV spektra tokom godina uništava sočivo i može rezultirati u pojavi katarakte. Očno sočivo štiti retinu od UV zraka koji imaju veliku energiju. Apsorpciji svetlosti doprinosi i retina koja ima pigmente koji smanjuju intenzitet svetlosti do fotoreceptora. Najdominantniji filter u retini je žuti pigment, koji se nalazi blizu fovee. Svetlost veće talasne dužine  $>700$  nm ima malu energiju, u poređenju sa spektrom malih talasnih dužina, tako da oni ne nanose velike štete očnim strukturama. Ova svetlost nije vidljiva jer ima malu energiju.

## Aberacije

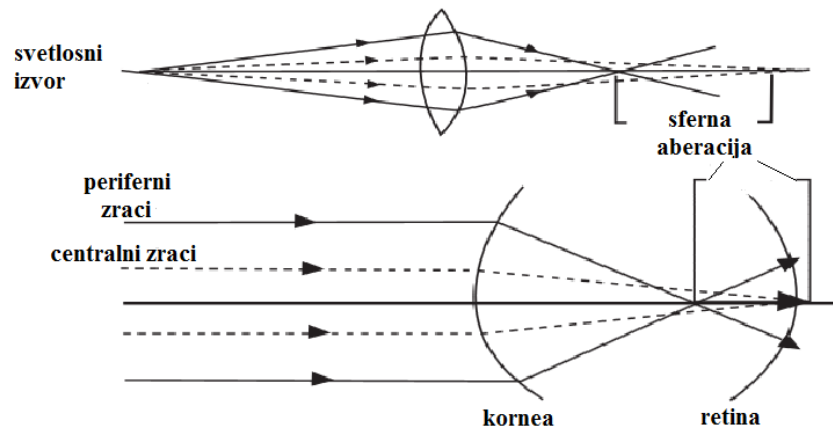
Oko je daleko od savršenog optičkog sistema, zato što nisu savršeno centrirane ose i zato što oko nije fiksirani optički sistem, zbog sposobnosti akomodacije. Za razliku od sočiva, oko ima urođene adaptacije koje ove aberacije dovode do minimuma, tako da one ne predstavljaju problem i ne mogu biti uočene u dnevnom viđenju. U ove adaptacije su uključeni selektivna apsorpcija u oku, dok dubina vidnog polja i dijametar zenice sprečavaju ulazak perifernih zraka u oko. Glavni izvori aberacija su rožnjača i očno sočivo i njihova lokacija u odnosu na zenicu. U rožnjači, pojavi aberacija najviše doprinosi prednja površina, zato što ona ima najveću optičku moć. Sočivo, sa druge strane, ima apsorpciju manjih talasnih dužina vidljivog spektra, apsorbujući svu svetlost ispod 400 nm.

Glavne aberacije oka se mogu podeliti u sledeće grupe:

- sferna aberacija,
- astigmatizam,
- koma,
- hromatska aberacija.

### Sferna aberacija

Za optičke sisteme velikog otvora, kao što je oko sa proširenom zenicom, sferna aberacija je značajan problem s obzirom da periferija sočiva više prelama svetlost od centra. Slika 12 pokazuje da svetlosni zraci koji ulaze u oko na periferiji zenice su fokusirani ispred retine, dok se oni zraci koji ulaze kroz centar zenice fokusiraju dalje od retine. Razlika između ove dve žižne tačke je poznata kao aksijalna sferna aberacija.



Slika 12. Sferna aberacija

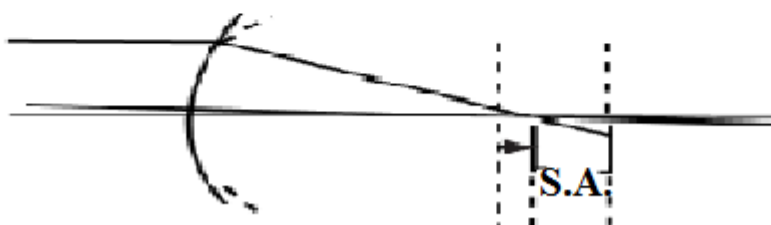
Stoga, tačkasti objekat nije projektovan kao tačka, već kao zamagljeni krug.

Sferna aberacija se smanjuje urođenim mehanizmima adaptacije. Kornea je periferno zaravnjena i zbog toga je manja refraktivna moć na periferiji rožnjače. To rezultira u smanjenoj refrakciji perifernih svetlosnih zraka.

**(a) efekat kod sferne kornee**



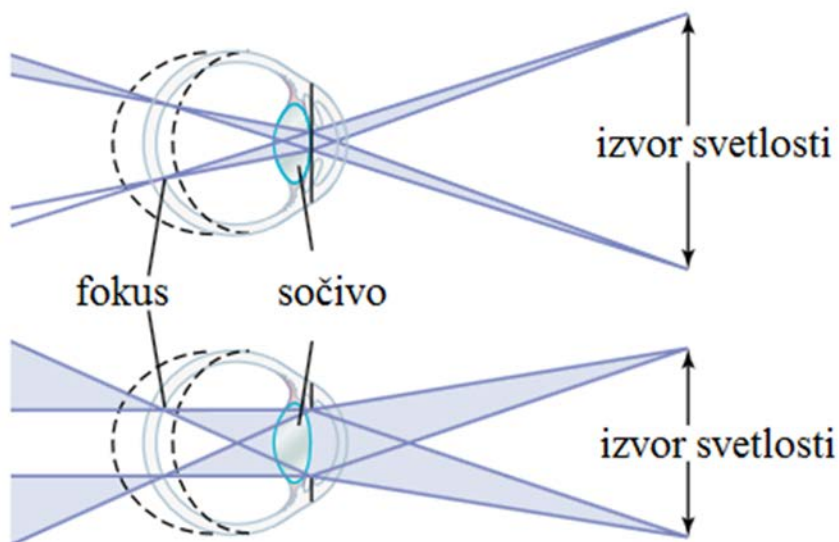
**(b) efekat kod kornee sa perifernom zaravnjenošću**



Slika 13. Efekti sferne aberacije u slučaju sferne kornee (gornja slika), i kornee sa perifernom zaravnjenošću (donja slika) na formiranje lika

Svetlost dalje prolazi kroz očno sočivo. Očno sočivo se sastoji od različitih indeksa prelamanja i krivina: jezgro sočiva ima veći indeks prelamanja od njegove kapsule, što znači da se zraci više prelamaju. U akomodiranom oku, prednja površina sočiva se ispupči više, dok su periferne zone zaravnjenije. U tom slučaju prelomna moć centralnog dela je povećana pa je i ukupna sferna aberacija smanjena. Sledeći uzrok smanjenja ove mane je *Stiles-Crawford* efekat. Pri ovom efektu periferni zraci svetlosti su manje vidljivi čepićima u poređenju sa centralnim zracima. Periferni svetlosni zraci koji se više prelamaju zbog sferne aberacije će biti automatski odbačeni od strane čepića.

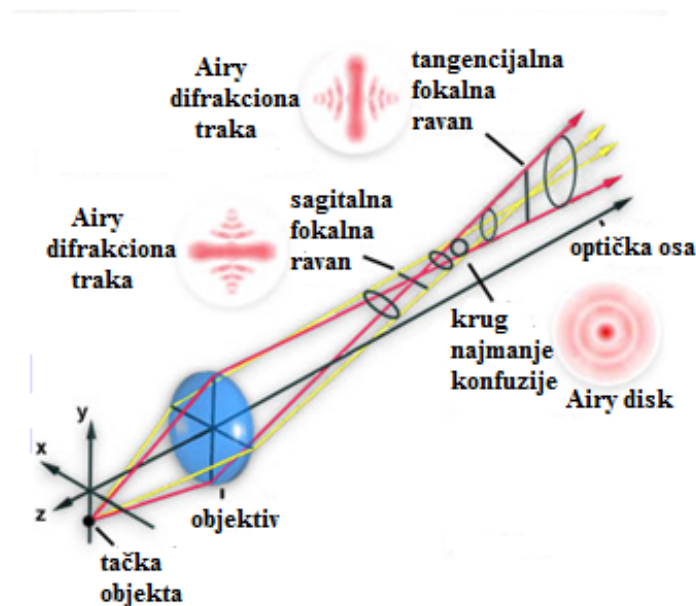
Sferna aberacija oka, koja iznosi 2,00 D, je najveća na oko 2-4 mm od vidne ose. Ovaj nedostatak smanjuje vidnu oštrinu za proširenu zenicu, noću, ali nije uočljiva zato što štapići preuzimaju dominaciju. Vidna oštrina je najbolja za zenice dijametra oko 3 mm. U tom slučaju se ivica zenice podudara sa maksimalnom sfernom aberacijom. Za zenice dijametra do 4 mm, sferna aberacija je zanemarljiva, u poređenju sa difrakcijom koja više nanosi štete liku. Difrakcija je bilo koje odstupanje svetlosnih zraka od pravolinijskog pravca koja se ne može manifestovati kao refleksija ili refrakcija.



Slika 14. Efekat dubine fokusa. Uticaj veličine zenice na sfernu aberaciju

## Astigmatizam

Nastaje kada svetlosni zraci koji ulaze u oko ne dolaze na jedinstvenu tačku na ili blizu retine. Astigmatizam je aberacija oka sa kojom se optometristi u praksi najčešće susreću. Uzrok za njegovu pojavu je asferičnost prelomnih površina oka, rožnjače i malo manje ocnog sočiva. Ova optička mana je glavni uzrok za vidnu oštrinu i zavisi od veličine zenice. Adaptacije koje smanjuju sfernu aberaciju, takođe redukuju i astigmatizam.



Slika 15. Astigmatizam

### Podela astigmatizma

- podela po poreklu,
- podela po relaciji između dva glavna meridijana,
- podela po orijentaciji meridijana ili ugla,
- podela po osnovu položaja fokusa u odnosu na retinu.

### Podela po poreklu

- 1) Kornealni astigmatizam nastaje kada je prednja površina kornee nejednake zakrivljenosti.

- 2) Lentikularni astigmatizam nastaje kada je površina očnog sočiva ili neki od njegovih slojeva različite zakrivljenosti.
- 3) Totalni astigmatizam je zbir kornealnog i lentikularnog astigmatizma.

Podela bazirana na odnosu dva glavna meridijana

- 1) Pravi astigmatizam nastaje kada su dva glavna meridijana normalna jedan na drugi. Mnogi slučajevi astigmatizma su pravi. Postoje tri tipa pravog astigmatizma: Sa pravilom (*with-the-rule*), protiv pravila (*against-the-rule*) i kosi (*oblique*).
- 2) Nepravilni astigmatizam nastaje kada dva glavna meridijana ne seku pod pravim uglom. Krivina bilo kog meridijana nije jednaka i često je nemoguće ostvariti punu korekciju.

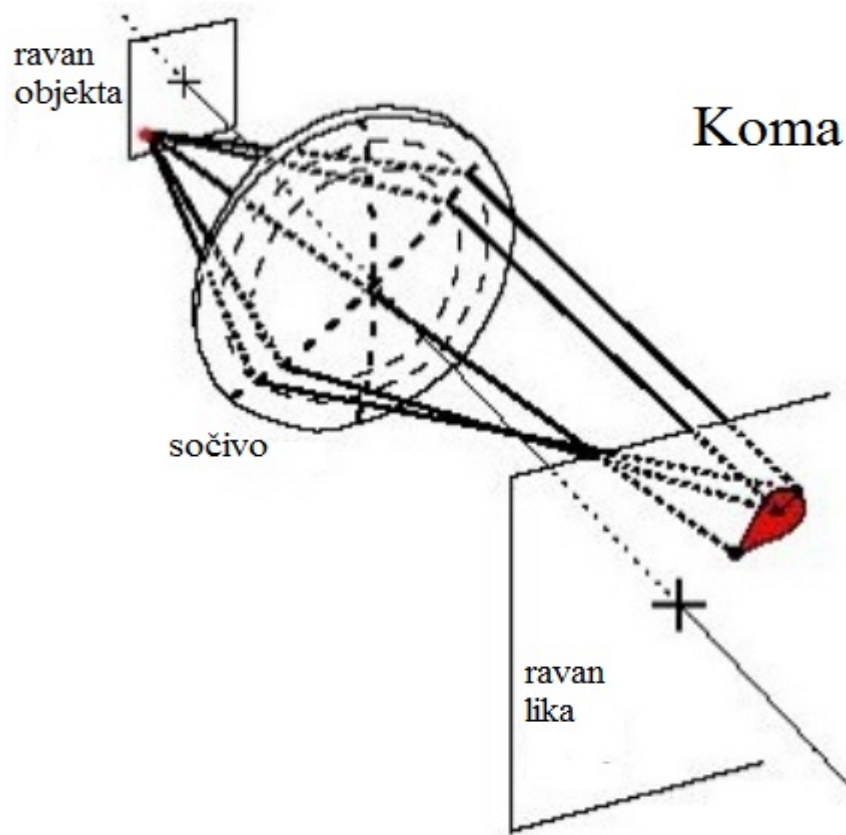
Podela bazirana na odnosu položaja fokusa u odnosu na retinu

Postoje tri tipa ovog astigmatizma: jednostavni, složeni i mešoviti.

- 1) Jednostavni nastaje kada jedan od glavnih meridijana fokusira svetlost na retinu, a drugi prelama svetlost jače ili slabije. Jednostavni miopni astigmatizam nastaje kada jedan od glavnih meridijana fokusira svetlost na retinu, a drugi fokusira svetlost ispred nje. Jednostavni hipermetropni astigmatizam nastaje kada jedan od glavnih meridijana fokusira svetlost na retini, a drugi fokusira svetlost iza nje.
- 2) Složeni astigmatizam nastaje kada oba glavna meridijana fokusiraju svetlost ili ispred ili iza retine. Složeni miopni astigmatizam nastaje kada glavni meridijani fokusiraju svetlost ispred retine. Složeni hipermetropni astigmatizam nastaje kada glavni meridijani fokusiraju svetlost iza retine.
- 3) Mešoviti astigmatizam nastaje kada jedan meridijan fokusira svetlost ispred, a drugi iza retine.

## **Koma**

Ova optička mana se javlja kada se zraci prelamaju kroz velike otvore sočiva. Ona se oslikava na obliku lika. Zraci koji se prelamaju kroz periferiju sočiva se prelamaju više (slika 16) i imaju nejednako uvećanje. Razlikuje se od sferne aberacije po tome što je fokus pomeren normalno u odnosu optičku osu, dok je kod sferne aberacije fokus pomeren duž ose.

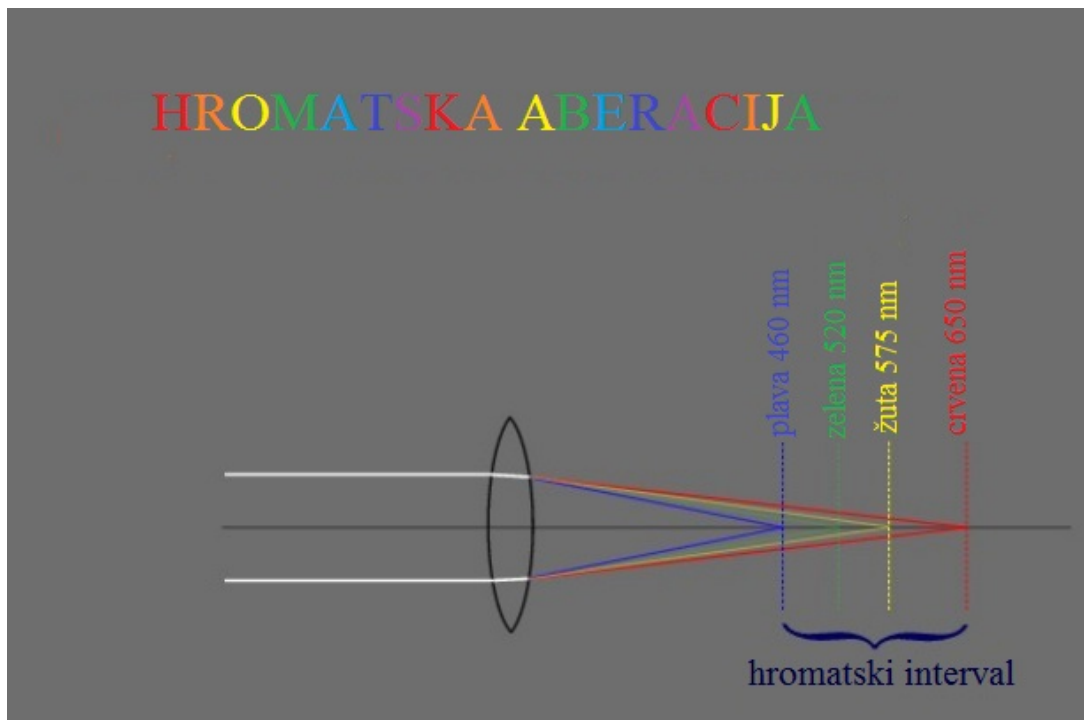


Slika 16. Koma

Koma nije značajna za oko.

## Hromatska aberacija

Polihromatska svetlost u optičkim medijumima oka će biti rasejana zbog različitih indeksa prelamanja optičke sredine. Osnovni uzrok pojave ove mane je različit indeks prelamanja nekog medijuma za različite talasne dužine, od kojih se sastoji polihromatska svetlost.



Slika 17. Hromatska aberacija

Prema tome, moć optičkog sistema je zavisna od talasne dužine. Mrežnjača oka je najosetljivija za talasnu dužinu od 555 nm, odnosno za žuto-zelenu boju. Indeks prelamanja oka se smanjuje sa povećanjem talasne dužine. Manje talasne dužine (<500 nm) se više prelamaju od većih talasnih dužina (>650 nm). Sve refraktivne površine oka doprinose ovom efektu zato što sve površine imaju različite indekse prelamanja:

- indeks prelamanja kornee varira od 1,376 do 1,3610,
- indeks prelamanja očne vodice se kreće od 1,3331 do 1,3221,
- očno sočivo ima indekse prelamanja od 1,4144 do 1,3999,
- staklasto telo ima indekse prelamanja od 1,3317 do 1,3208.

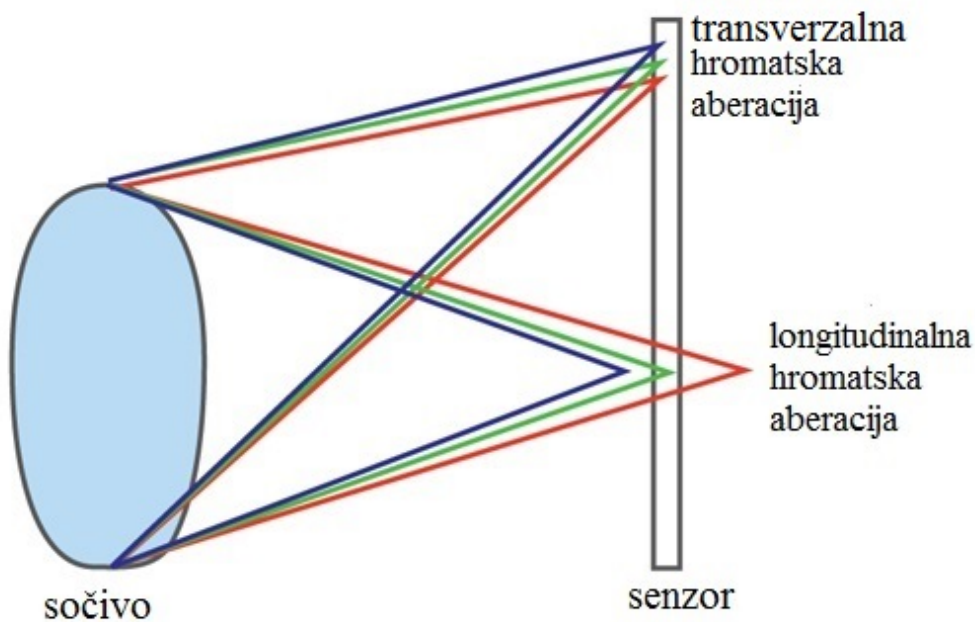
Bela svetlost će biti okružena obojenim prstenovima, što je uzrokovano različitim indeksima prelamanja. Ovo retko predstavlja problem u svakodnevnom viđenju.

Hromatska aberacija se manifestuje na dva načina: longitudinalna i transverzalna (slika 18). Longitudinalna hromatska aberacija je mera rastojanja između likova nastalih za dve različite talasne dužine (boje). Step en hromatske aberacije oka je relativno konstantan. Hromatska aberacija često opisuje promenu jačine optičkog sistema, ali je uobičajenije izraziti ovu manu



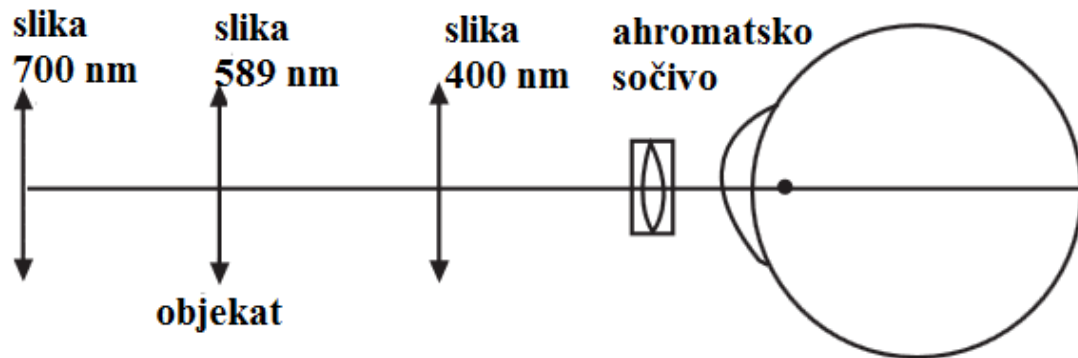
kako utiče na refrakciju oka. Refrakcija definiše optičku korekciju koja se zahteva da bi oko fokusiralo objekte u beskonačnosti. Prva impresija bi bila ta da bi ova količina aberacije ozbiljno ugrožavala vid. Ipak, refraktivna greška od 0,25 D je dovoljno velika da opravda korekciju. Ozbiljnost hromatske aberacije je umanjena, zato što oko prima samo određene talasne dužine.

Transverzalna hromatska aberacija bolje opisuje zamućenje lika na retini. Zbog razlike u fokusu, hromatska aberacija povećava razlike u lokaciji slike na retini u funkciji talasne dužine. Transverzalna hromatska aberacija pogađa objekte koji ne padaju na vidnu osu iz razloga što je zenica aksijalno pomerena od nodalne tačke. Najviše pogađa foveu zato što se nodalna tačka ne poklapa sa linijom viđenja.



Slika 18. Transverzalna (gore) i longitudinalna (dole) hromatska aberacija

Korekcija hromatske aberacije (slika 19) se naziva ahromatizacija. To podrazumeva kombinaciju negativnog sa pozitivnim sočivom, sa pažljivo odabranim indeksom prelamanja. Disperzija ovako kombinovana dva sočiva potiskuje obojene efekte.

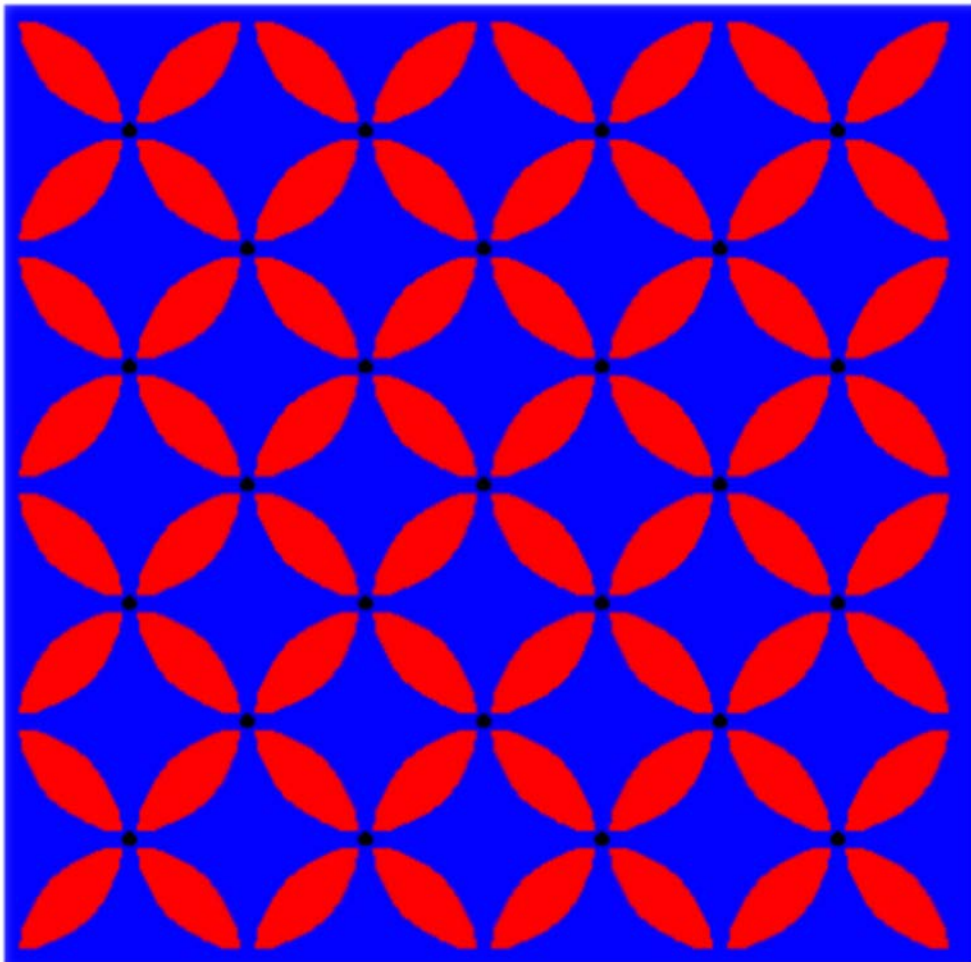


Slika 19. Ahromatizacija sočiva

Zbog toga što oko ima veću jačinu za kraće talasne dužine, sočivo za ahromatizaciju mora imati negativnu jačinu za kraće talasne dužine i pozitivnu jačinu za veće talasne dužine. Ovakva sočiva formiraju imaginarne likove za različite talasne dužine i spajaju u jednu sliku. Ustanovljeno je da je posle refraktivnih anomalija, hromatska aberacija najznačajniji faktor slabog kvaliteta slike. Takođe, ako bi se koristila monohromatska svetlost ili ahromatizujuća sočiva, oštrina vida se ne poboljšava značajno. Postoji nekoliko razloga zašto hromatske aberacije ne utiču na oštrinu vida u velikoj meri:

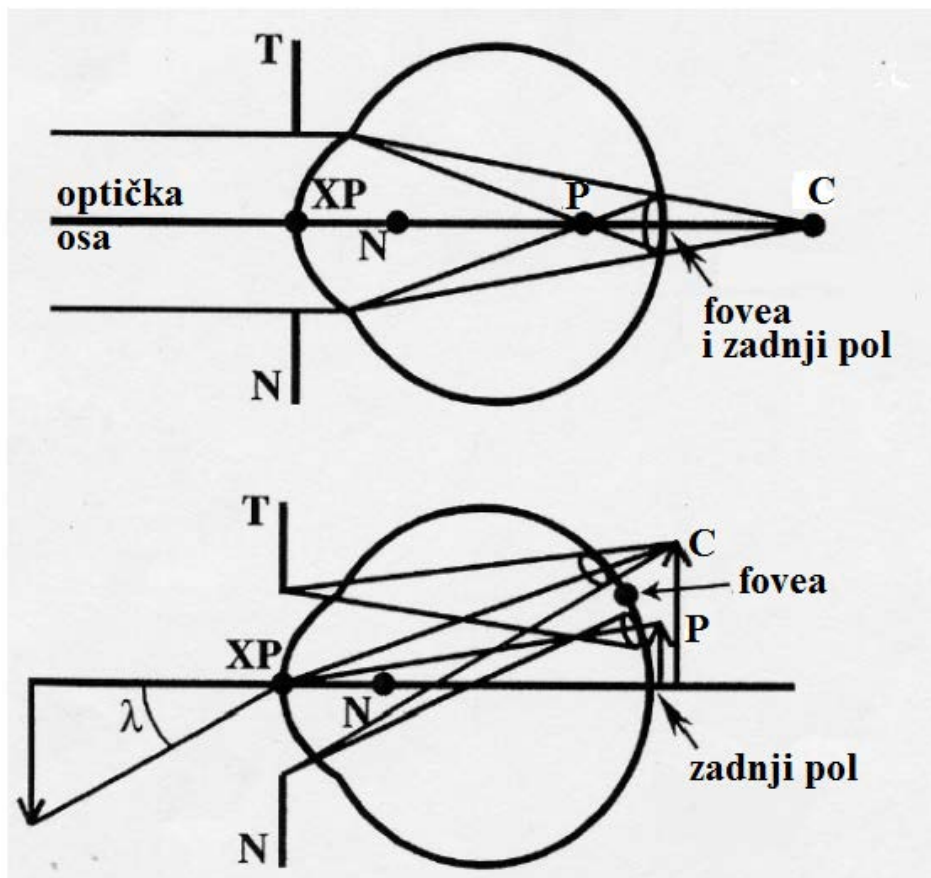
- starenjem očno sočivo postaje žućkasto i time postaje dobar filter za plavu svetlost koja je glavni krivac za uticaj hromatskih aberacija na oštrinu vida,
- retina sadrži žuti pigment (ksantofil) u makuli, koji okružuje foveu. On ne propušta plavu svetlost,
- ne postoje S receptori u fovei, samo L i M. Prema tome, na delu gde se zahteva najjasnija slika receptori su relativno neosetljivi na najzamućeniju plavu boju,
- pri dnevnom (fotopičnom) vidjenju oko je najosetljivije na žuto-zelenu svetlost (555 nm). Boje koje imaju manju talasnu dužinu od plavo-zelene i veću od narandžaste vidimo skoro duplo manje osvetljene nego žuto-zelene, pa je za te boje i svako zamagljenje manje primetno (upravo te talasne dužine i čine najveći deo problema koje stvaraju hromatske aberacije).

Čak iako oko ima sve ove načine da redukuje loš uticaj hromatskih aberacija na oštrinu vida, postoje neke situacije kada su ti načini neefikasni. Na slici 20 je prikazana slika na kojoj se istovremeno posmatraju plava i crvena boja. Oko pokušavajući da istovremeno fokusira i plavu i crvenu boju, dovodi sočivo u stanje oscilovanja i imamo utisak da granica između plave i crvene boje vibrira. Ovo će izazvati neprijatan osećaj napregnutosti mišića (*eyestrain*) koji pokreću očno sočivo.



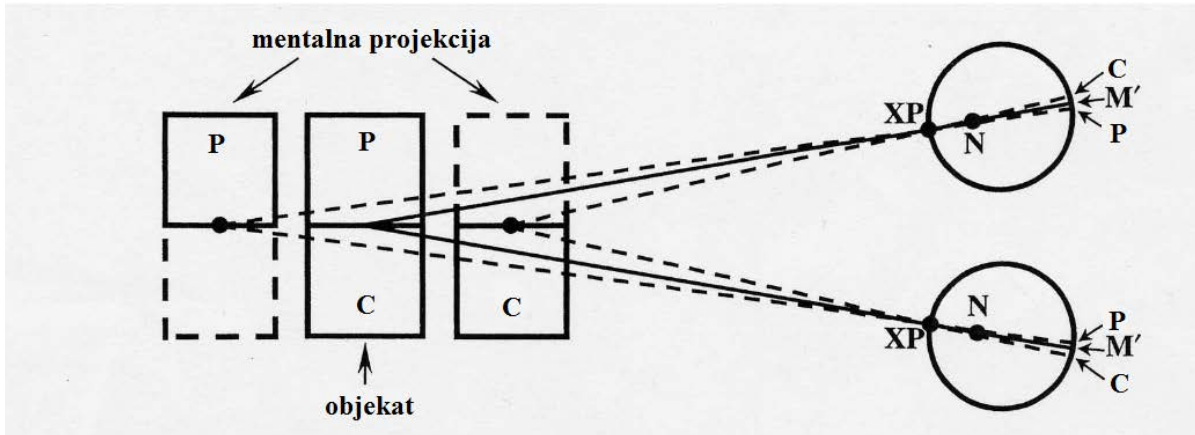
Slika 20. Crvena boja na plavoj podlozi. Ove dve boje se nalaze na suprotnim krajevima vidljivog spektra i zato nam jedna boja deluje bliža

Za većinu ljudi kada se crveni i plavi predmeti postave jedni pored drugih na crnoj podlozi, crveni predmeti će izgledati bliže nego plavi. Uzrok tome pozitivan ugao  $\lambda$ , koji imaju skoro svi ljudi, od oko  $5^\circ$ . Ugao  $\lambda$  daje prostorni efekat. Slika 21 prikazuje ovaj efekat.



Slika 21. Prelamanje crvene i plave svetlosti

Donja slika (slika 21) pokazuje da ako je granica između crvenog i plavog polja postavljena na fovei, razlike u hromatskim aberacijama će formirati plavi lik bliže nosu, a crveni bliže slepoočnici. Slika 22 pokazuje da ako se ta granica posmatra sa oba oka, crveni lik će biti projektovan na tačku koja se nalazi bliže oku, nego tačku na koju će biti projektovan plavi lik. Ovakav slučaj će čelije za vid u mozgu interpretirati kao razliku u dubini.



Slika 22. Lateralna hromatska aberacija

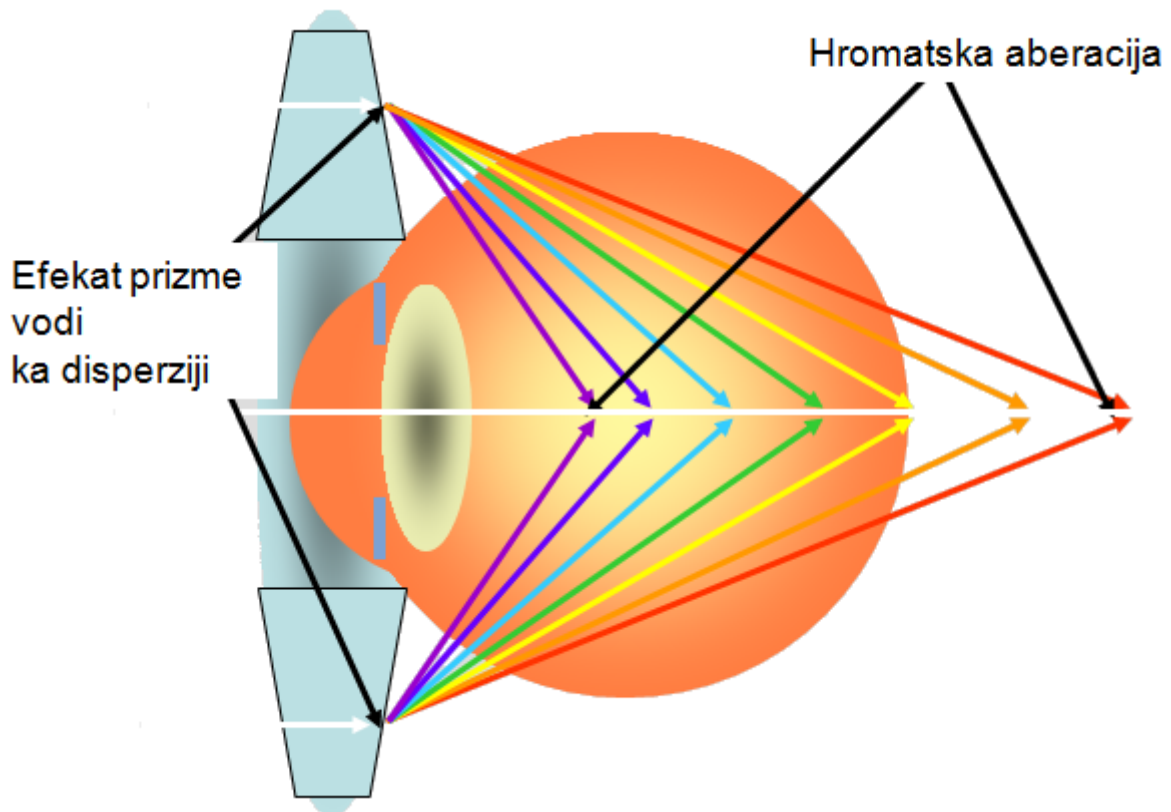
Slika 22 pokazuje još jedan oblik hromatske aberacije. Lateralna hromatska aberacija je hromatska razlika u uvećanju. Lateralnu hromatsku aberaciju izazivaju razlike u veličini lika koje stvaraju veće talasne dužine u odnosu na veličinu lika koje stvaraju manje talasne dužine. Lik koji se dobija reflektovanjem većih talasnih dužina je uvećan u odnosu na lik koji se dobija reflektovanjem manjih talasnih dužina. Osa koja prolazi kroz centar zenice i nodalnu tačku se naziva ahromatska osa. U velikom broju slučajeva, fovea je skoro na ahromatskoj osi, pa je lateralna hromatska aberacija skoro u potpunosti potisnuta, odnosno ne postoji.

## Shvatanje očnih aberacija

S napretkom tehnika u aberometriji, pomoću matematičke analize očnih aberacija, moguće je bolje razumeti ove mane, a možda i manipulirati ovim manama hirurški. Pomoću topografskih mapa moguće je ustanoviti deo optičkih defekata. Ovaj pristup je ustanovljen na konceptu talasnog fronta. Ako je kretanje talasa poremećeno u bilo kom obliku, talasni front više neće biti ravan, već će predstavljati krivu. Aberometri se koriste da suzbiju stepen aberacije merenjem razdaljine perfektnog talasnog fronta i poremećenog talasnog fronta. Iz ovoga može biti utvrđen uticaj na vidne performanse. Oko nije statički optički sistem, zbog promene dioptrije u akomodaciji, pa zbog toga i stepen aberacije može varirati. Prisutne su i mnoge psihološke varijacije, koje su individualne: gustina pigmenta u okularnim strukturama, gustina vlakana u kornei i sočivu i neke nepravilnosti kao što je abrazija kornee. Ovo će pogoršati kvalitet lika i biće smatrane kao prirodne aberacije.

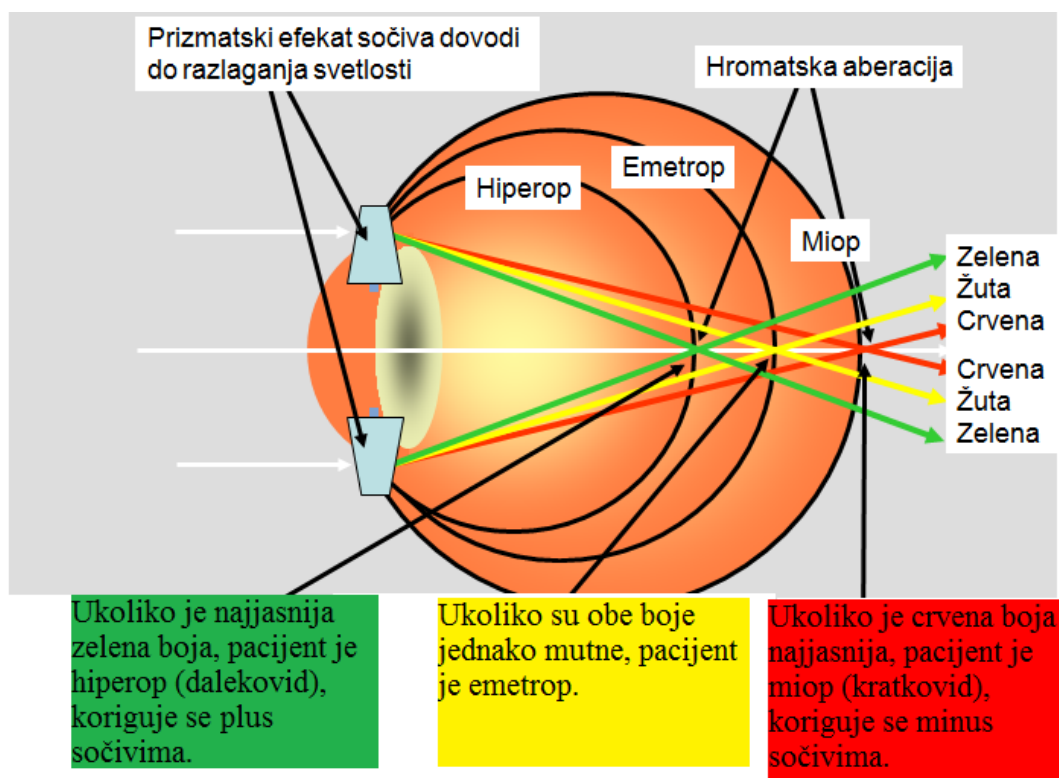
## Primena hromatske aberacije u refrakciji

Subjektivno određivanje refrakcije, duohrom test. Duohrom test se bazira na longitudinalnoj hromatskoj aberaciji. Zelena svetlost se više prelama i fokusira bliže u poređenju sa crvenom svetlošću. Žižna tačka koja je bliže mrežnjači će se videti jasnije.



Slika 23. Razlaganje bele svetlosti

Pacijent istovremeno gleda u crne krugove koji se nalaze na crvenoj i zelenoj površini. Pitati pacijenta na kojoj površini su krugovi najjasniji.



Slika 24. Duohrom test

U ovom testu se posmatra žuta boja jer se ona nalazi između zelene i crvene boje na vidljivom spektru.

## Aberacije i refraktivne greške

Defokus je najčešći razlog pojave aberacija u oku. Takođe je i najlakši za korekciju. Da li velikim refraktivnim greškama postoji veći stepen aberacija na kvalitet lika? Rani rezultati trenutnih studija pokazuju da miopi velikih minus dioptrija imaju veći stepen aberacija. Neke objavljene studije, pokazuju suprotno. Ovi rezultati nameću neka interesantna pitanja. Na primer, pošto oko koristi sistem povratne sprege da zadrži emetropiju, da li onda postojanje aberacije ugrožava sistem povratne sprege do nekog stepena i čini oko više miopnim? Ili, suprotno, da li miopno oko ima dovoljan signal povratne sprege da koriguje složene aberacije? Veza između aberacija i refraktivne greške ostaje nepoznata do danas.

## **Aberacije i akomodacija**

Tokom akomodacije oblik sočiva se menja grčanjem zonularnih mišića, koji su prikačeni za ekvator sočiva, što pokazuje da postoje razlike aberacije kod sočiva. Neki rezultati pokazuju da postoji tendencija da sferna aberacija prelazi u negativnu akomodacijom, mada je to različito kod svake osobe. Neke osobe ne pokazuju zavisnost aberacije i akomodacije, dok neki ljudi pokazuju menjanje znaka sferne aberacije akomodacijom. He et al. studija pokazuje da je sveukupna aberacija minimalno smanjena i da se povećava akomodacijom. Rezultati pokazuju da postoji akomodativno stanje gde su aberacije minimalne i to stanje je blizu opuštenog stanja akomodacije. Opušteno stanje akomodacije koje se naziva i tamni fokus, je stanje u kom nestimulisano oko fokusira (na primer ako je jedno oko prekriveno pregradom). To je tipično akomodativno stanje od oko 2 D ili na žižnoj daljini od 50 cm. Studije koje su rađene kod izolovanog sočiva pokazuju slične promene, u kojima se sferna aberacija kreće ka negativnim vrednostima. Važno je nagovestiti da su promene u aberaciji tokom akomodacije skoro istog intenziteta kao totalna aberacija u bilo kojim akomodativnim uslovima. Rezultat nameće dve važne promene. Prvo, zato što je razlika u aberaciji tokom akomodacije velika, sočivo mora biti značajan razlog ukupne aberacije oka. Drugo, iz ovoga sledi da fiksirana korekcija aberacije oka odgovara za jedinstveno akomodativno stanje i bilo kakve dobiti će biti umanjene. Ovo je važno zbog hirurških tehnika (LASIK), gde one napreduju do mogućnosti apsolutnog korigovanja aberacija, koje će istovremeno i poboljšati vidnu oštrinu.

## **Promene u oku koje se dešavaju s godinama**

Sve se u ljudskom telu menja s godinama. Nije iznenađujuće da se optika oka i kvalitet retinalnog lika takođe menja. Ranija merenja aberacija pokazuju da oko mladog čoveka ima više negativnu ili prekorigovanu sfernu aberaciju. Kako oko stari, rasprostranjenost sferne aberacije se povećava. Slična istraživanja su bila urađena i na izolovanom očnom sočivu, optičkoj komponenti koja raste s godinama. Konstantne promene sredine, starenje oka i godine takođe menjaju kornealnu topografiju. Utvrđeno je da sočivo i kornea uzajamno kompenzuju aberacije koje nameću, ali nije utvrđeno da je ovaj balans poremećen promenama koje dobijaju ovi elementi s godinama.



## **Zaključak**

### **Indukovane aberacije**

Utvrđeno je da hirurške procedure na kornei mogu indukovati značajnu sfernu aberaciju, posebno kod miopa velikih minus dioptrija. Kao rezultat problemi s iluminacijom retine i smanjenom kontrastnom osetljivošću su tipični u ranoj fazi, barem kao primereno iskustvo. Rezultat procesa je nešto lošiji za dalekovidne nego za kratkovidne osobe zbog problema sa promenom oblika rožnjače (postaje strmija ili bolje rečeno, menja joj se zakrivljenost). Ovaj efekat može biti smanjen laserskom intervencijom, dok se aberacije koriguju upotrebom IOL (*intraocular lens*).

### **Da li je moguće viđenje bez aberacija?**

Cilj određivanja vidne oštine kod svakog pacijenta naglašava važnost okularnih aberacija i potrebu da se individualnim pristupom redukuju. Korekcija složenih aberacija ablacijom kornee i korišćenjem procedura talasnog fronta može biti rezultat kornealne hirurgije, u cilju formiranja optiki savršenog oka. Pitanje koje se nameće je: Da li bi takvo oko stvarno imalo bolje vidne performanse? U praksi, veličina refraktivne greške i stepen aberacija su slabo povezane i zanemaruju se prilikom hirurških intervencija. Složene aberacije su male i podnošljive od strane oka.

### **Ciljevi u budućnosti**

Prilagođene kornealne ablacije mogu postati standard u inače zdravom ametropičnom oku. Analize talasnog fronta za rano određenje i nadgledanje funkcija retine kod nekih bolesti (dijabetične retine, ...) mogu takođe biti moguća. Optometristi i oftalmolozi će, bez sumnje, vršiti rutinska merenja aberacija i u slučaju patološkog i ametropičnog oka da bi se prilagodili kornealnoj površini. Naravno, ove tehnike se koriste da bi se prilagodila dinamika akomodacije, dok postoji mogućnosti da se koristi i u proučavanju suznog filma i efekata koji se dobijaju s godinama. Dizajn intraokularnih sočiva (IOL) takođe mogu biti pojednostavljen i dokazan na osnovu analiza talasnog fronta u pokušaju da se dovedu do minimuma indukovane aberacije.

Dalja razvijanja na polju dizajna kontaktnih sočiva mogu koristiti ovim tehnikama, sa ciljem dobijanja najviših optičkih performansi. Pre mnogo godina proizvođači kontaktnih sočiva su predložili pravce smanjenja efekta astigmatizma i presbiopije i prezentovan je novi izazov u izbacivanju naočara za korekciju vida. Takođe će, bez sumnje, biti interesa u optimizovanju tehnika refraktivne hirurgije kornee i shvatanje u budućnosti će svakako biti na poboljšanju vidnih performansi koje dozvoljavaju ove tehnike.

## Literatura

1. Understanding the basics of ocular aberrations Dr Janet Voke BSc PhD,
2. Handbook of Optical Systems: Vol. 4 Survey of Optical Instruments, Edited by Herbert Gross,
3. Handbook of Optical Systems: Vol. 3 Aberration Theory of Optical Systems, Edited by Herbert Gross,
4. FOURTH EDITION VISUAL PERCEPTION A CLINICAL ORIENTATION, Steven H. Schwartz,
5. Textbook of Medical Physiology ELEVENTH EDITION, Arthur C. Guyton. M.D., John E. Hall Ph.D.,
6. Blackwell Handbook of SENSETION & PERCEPTION Edited by E. Bruce Goldstein,
7. HUMAN VISUAL SYSTEM – IMAGE FORMATION, Austin Roorda University of Optometry Houston, TX,
8. FIZIOLOŠKA OPTIKA, Doc. dr Olivera Klisurić, Doc. dr Otto Barak
9. J.C. He, S.A. Burns, S. Marcos, Monochromatic aberrations in the accommodated human eye, Vision Research 40 (2000) 41–48

## **Biografija**

Marija Gartner je rođena 12.07.1992. godine u Zrenjaninu. Osnovnu školu „Dositej Obradović” i Gimnaziju „Svetozar Marković” je završila u Novom Sadu. Godine 2011. upisuje Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, smer Optometrija.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<i>Redni broj:</i> <b>RBR</b>	
<i>Identifikacioni broj:</i> <b>IBR</b>	
<i>Tip dokumentacije:</i> <b>TD</b>	Monografska dokumentacija
<i>Tip zapisa:</i> <b>TZ</b>	Tekstualni štampani materijal
<i>Vrsta rada:</i> <b>VR</b>	Stručni rad
<i>Autor:</i> <b>AU</b>	Marija Gartner
<i>Mentor:</i> <b>MN</b>	Dr Olivera Klisurić
<i>Naslov rada:</i> <b>NR</b>	Aberacije oka i njihov uticaj na kvalitet lika
<i>Jezik publikacije:</i> <b>JP</b>	Srpski/latinica
<i>Jezik izvoda:</i> <b>JI</b>	Srpski/engleski
<i>Zemlja publikovanja:</i> <b>ZP</b>	Republika Srbija
<i>Uže geografsko područje:</i> <b>UGP</b>	Vojvodina
<i>Godina:</i> <b>GO</b>	2015
<i>Izdavač:</i> <b>IZ</b>	Autorski reprint
<i>Mesto i adresa:</i> <b>MA</b>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića, Novi Sad
<i>Fizički opis rada:</i> <b>FO</b>	
<i>Naučna oblast:</i> <b>NO</b>	Fiziološka optika
<i>Naučna disciplina:</i> <b>ND</b>	Optometrija
<i>Predmetna odrednica/ključne reči:</i> <b>PO</b> <b>UDK</b>	Monohromatske i hromatske aberacije
<i>Čuva se:</i> <b>ČU</b>	Biblioteka departmana za fiziku PMF-a u Novom Sadu
<i>Važna napomena:</i> <b>VN</b>	Nema
<i>Izvod:</i> <b>IZ</b>	U ovom radu je predstavljeno oko kao sistem sočiva. Oko je daleko od savršenog optičkog sistema i ovde je opisano postojanje aberacija koje nanose štetu dobijenom liku. Opisane su urođene adaptacije koje redukuju ove aberacije tako da one ne mogu biti uočene u dnevnom viđenju.
<i>Datum prihvatanja teme od NN veća:</i> <b>DP</b>	<b>30.01.2015.</b>
<i>Datum odbrane:</i> <b>DO</b>	<b>12.02.2015.</b>
<i>Članovi komisije:</i> <b>KO</b>	
<i>Predsednik:</i>	Prof. dr Željka Cvejić Prof. dr Olivera Klisurić
<i>član:</i>	Prof. dr Srđan Rakić
<i>član:</i>	Prof. dr Olivera Klisurić

KEY WORDS DOCUMENTATION

<i>Accession number:</i> <b>ANO</b>	
<i>Identification number:</i> <b>INO</b>	
<i>Document type:</i> <b>DT</b>	Monograph publication
<i>Type of record:</i> <b>TR</b>	Textual printed material
<i>Content code:</i> <b>CC</b>	Final paper
<i>Author:</i> <b>AU</b>	Marija Gartner
<i>Mentor/comentor:</i> <b>MN</b>	Dr Olivera Klisurić
<i>Title:</i> <b>TI</b>	Aberrations of eye and their impact on image quality
<i>Language of text:</i> <b>LT</b>	Serbian/Latin
<i>Language of abstract:</i> <b>LA</b>	English
<i>Country of publication:</i> <b>CP</b>	Serbia
<i>Locality of publication:</i> <b>LP</b>	Vojvodina
<i>Publication year:</i> <b>PY</b>	2015
<i>Publisher:</i> <b>PU</b>	Author's reprint
<i>Publication place:</i> <b>PP</b>	Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<i>Physical description:</i> <b>PD</b>	
<i>Scientific field:</i> <b>SF</b>	Physiological optics
<i>Scientific discipline:</i> <b>SD</b>	Optometry
<i>Subject/Key words:</i> <b>SKW</b> <b>UC</b>	Monochromatic and chromatic aberrations
<i>Holding data:</i> <b>HD</b>	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<i>Note:</i> <b>N</b>	none
<i>Abstract:</i> <b>AB</b>	The eye is far from the perfect optical system and there is existence of aberrations that cause damage to the retinal image. There are ocular adaptations that reduce the aberrations and the aberrations cannot be noticed in day vision.
<i>Accepted by the Scientific Board:</i> <b>ASB</b>	<b>30.01.2015.</b>
<i>Defended on:</i> <b>DE</b>	<b>12.02.2015.</b>
<i>Thesis defend board:</i> <b>DB</b>	
<i>President:</i>	Prof. dr Željka Cvejić
<i>Member:</i>	Prof. dr Srđan Rakić
<i>Member:</i>	Prof. dr Olivera Klisurić