

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



IVA IVANIŠIĆ

OKO KAO OPTIČKI INSTRUMENT

Završni rad

Osijek, 2015.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



IVA IVANIŠIĆ

OKO KAO OPTIČKI INSTRUMENT

Završni rad

Podložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja prvostupnice fizike

Osijek, 2015.

„Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Denisa Stanića u skupu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Jospia Jurja Strossmayera u Osijeku“.

Sadržaj:

1. Uvod	5
2. Anatomija oka	6
2.1. Vanjski dijelovi oka	7,8
2.2. Unutarnji dijelovi oka	8,9
3. Kako oko vidi?	10,11
4. Akomodacija oka	12,13
4.1. Što je dioptrija?	13
4.2. Kratkovidnost	14,15
4.3. Dalekovidnost	14,16
4.4. Astigmatizam	16-19
5. Binokularni vid	19,20
6. Fizika vidnog polja	20
7. Moć razlučivanja oka	21
8. Spektralna osjetljivost oka	21-23
9. Zaključak	24
10. Literatura	25

OKO KAO OPTIČKI INSTRUMENT

IVA IVANIŠIĆ

Sažetak:

U ovom radu oku smo osim u medicinskom, pristupili i u fizikalnom smislu. Posmatrali smo ga kao optički instrument. Osim što nam oko pomaže da vidimo, prima više od 80% osjetilnih podražaja i tako obavlja vrlo važne funkcije u ljudskom tijelu. Oko ima kompleksnu građu i razne funkcije.

Proces vida započinje kada se svjetlosna zraka, koja se odbija od objekta i putuje kroz oko, refraktira i fokusira u žarištu. Žarište se nalazi na mrežnici. Mrežnica ima mnoštvo stanica koje hvataju slike na isti način kao i film u fotoaparatu pri izloženosti svjetlu. Te slike se zatim šalju prema mozgu putem vidnog živca i tamo se interpretiraju. Tako vidimo.

U smislu geometrijske optike, kada oko gleda neki objekt, zrake svjetlosti se odbijaju od taj objekt. Prva zraka koja dolazi paralelno sa glavnom optičkom osi refraktira se na leći te prolazi kroz fokus. Druga zraka prolazi kroz centar leće. Točka gdje se sijeku ta dva pravca označava mjesto gdje će nastati slika koju vidi to oko. Slika je realna i obrnuta te se oko mora akomodirati, to jest prilagoditi konvergenciju položaju predmeta.

Oko nije uvijek savršeno i nekada se događaju razni poremećaji u akomodaciji oka kao npr. kratkovidnost, dalekovidnost, astigmatizam, ili neke druge bolesti kao npr. strabizam, ambliopija, mrena itd.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: *oko, vidna oštrina, foveja, žuta pjega, mrežnica, konvergencija, strabizam, astigmatizam, akomodacija, dioptrija...*

Mentor: doc.dr.sc. Denis Stanić

Ocjenjivači: doc.dr.sc. Denis Stanić

EYE AS OPTICAL INSTRUMENT

IVA IVANIŠIĆ

Absrtact:

In this study, we approached the eye not just in medical, but also in physical sense. We observed it as an optical instrument. Beside helping us to see, eye receives more than 80% of sensory stimuli and in that way performs very important function in human body. It has complex structure and various functions.

The process of vision begins when the light beam, that is reflected from the object, travels through the eye and refracts in the focus. The focus is on the retina. Retina has many cells that capture images in the same way as a film camera when exposed to light. These images are then sent to the brain via optic nerve and are interpreted there. That is how we see.

In terms of geometrical optics, when the eye looks at an object, the rays of light are reflected by the object. The first air that comes in parallel with the main optical axis of the lens is refracted and passes through the focus. The second air passes through the center of the lens. Point of an intersection of the two lines indicates the location where the image you really see will show up. The image is real and inverted, so the eye must accommodate to see it upright.

Eye is not always perfect and sometimes there are disorders in accommodation of the eye, for example nearsightedness, farsightedness, astigmatism or some other diseases such as strabismus, amblyopia, cataract and so on.

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: eye, visual acuity, the fovea, yellow spot, retina, convergence, strabismus, astigmatism, diopter, accommodation of the eye ...

Supervisor: doc.dr.sc. Denis Stanić

Reviewers: doc.dr.sc. Denis Stanić

1. UVOD

Ljudsko oko (slika 1.) jedan je od najsavršenijih optičkih uređaja, te zajedno u sprezi s mozgom, predstavlja “ulazna vrata” bez kojih je teško i zamisliti svijet oko sebe. Preko 80% vanjskih podražaja nam dolazi putem osjetila vida. Omogućuje svjesnu percepciju svjetla, vid, razlikovanje boja i percepciju dubine. Ljudsko oko ima vidni kut od 200° i može razlikovati 10 milijuna nijansi boja.

Oko, odnosno vid, omogućuje nam, kako osnovne radnje poput kretanja i komunikacije s okolnim svijetom, tako i učenje, uživanje i ostale ljudima svojstvene aktivnosti. Dugo vremena kroz povijest čovječanstva to je bio i glavni i jedini optički uređaj kojim se istraživao Svemir. U fizici je prepoznata važnost oka, njegova kompleksnost i veličina. Proučavanju oka se posebno posvetila optika kao dio fizike.

Cilj seminara je na znanstveni i fizikalni način objasniti građu oka, njegovu funkciju, način na koji stvara sliku, njegove prednosti te neke mane koje se mogu dogoditi.



Slika 1. Ljudsko oko [1]

1. ANATOMIJA OKA

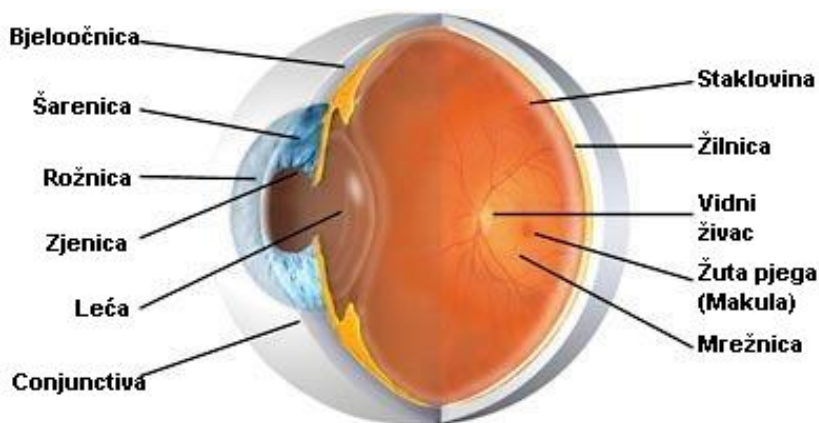
Oko je parni organ vida. U svojoj biti oko je receptor i pretvarač svjetlosnih podražaja okoline do cetra za vid smještenom u velikom mozgu na stražnjoj strani glave. Kuglastog je oblika i smješteno je u očnoj duplji u prednjem dijelu lubanje. Građu svakog oka možemo sažeti na pomoćni aparat oka te njegove vanjske i unutarnje dijelove.

Pomoćni aparat oka čine: kapci (lat. palpebrae), suzni aparat (lat. apparatus lacrimalis), spojnica (lat. conjunctiva), vanjski mišići oka (lat. muscoli bulbi oculi externi), očna šupljina (lat. orbita), pokosnica (lat. periost), masno tkivo (lat. paniculus adiposus), krvne i limfne žile te živci.

Slika 2. prikazuje vanjske i unutranje dijelove oka:

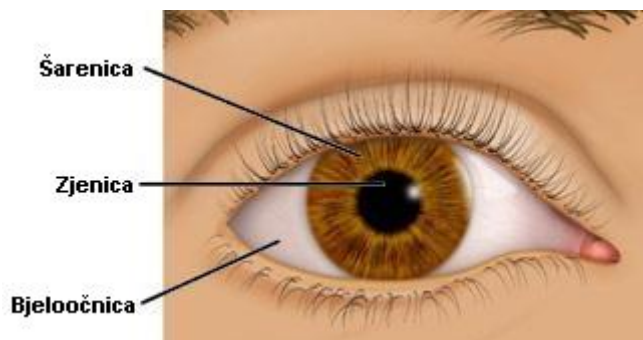
Vanjski djelovi oka su: bjeloočnica (lat. sclera), šarenica (lat. iris), zjenica (lat. pupil).

Unutarnji djelovi oka su: rožnica (lat. cornea), leća (lat. lens cristallina), spojnica (lat. conjunctiva), žilnica (lat. chorioidea), vidni živac (lat. nervus opticus), žuta pjega (lat. macula), mrežnica (lat. retina).



Slika 2. Dijelovi oka [2]

2.1. Vanjski dijelovi oka



Slika 3. Vanjski dijelovi oka [3]

Slika 3. prikazuje vanjske dijelove oka. Prikazane su: bjeloočnica, šarenica i zjenica.

Bjeloočnica (lat. sclera) čini veći, stražnji dio fibrozne ovojnice očne jabučice. Njena vanjska površina je konveksna i pokrivena fascijalnim omotačem, a naprijed još i spojnicom. Unutarnja površina je konkavna i odgovara žilnici. Ona je čvrsta, neelastična, bjeličasta i neprozirna opna debljine pola ili jedan milimetar. Ima oblik lopte presječene na prednjem kraju. U taj veliki kružni otvor uvlači se periferna granica rožnice. Osim ovog otvora, na bjeloočnici se nalaze još neki manji otvori za prolaz živaca i krvnih žila. Prekriva 5/6 očne jabučice te se na nju povezuje šest očnih mišića koji omogućavaju kretanje oka. Živčana vlakna u bjeloočnici su u vrlo ograničenom broju, stoga je relativno malo osjetljiva.

Šarenica (lat.iris) je obojeni dio oka koji okružuje zjenicu. Ravna je struktura i svaka je šarenica jedinstvena u svojoj boji, uzorku i strukturi. Dvije šarenice mogu nas identificirati kao što to mogu otisci prstiju. Boja šarenice se tokom prvih godina života mijenja a do promjena može doći čak do desete godine života. Boja ovisi o količini pigmenta kojeg šarenica sadržava. Promjer otvora šarenice (koja nosi boju ili po kojoj se razlikuje boja očiju) mijenja se od 2 - 8 mm, prema jakosti svjetla.

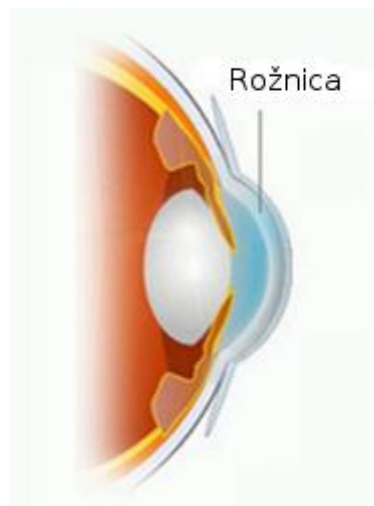
U šarenici se nalaze dva mišića:

- Sfinkter, mišić koji stišće zjenicu i ograničava količinu svjetla koje može ući u oko te putovati kroz očnu leću do mrežnice. Što je zjenica manja, to je šarenica veća.
- Dilator, mišić koji proširuje zjenicu pri slabom osvjetljenju, kako bi se povećala količina svjetla koje ulazi u oko. Širenje zjenice smanjuje veličinu šarenice.

Zjenica (lat. pupil) je okrugli otvor u centru šarenice. Zjenica se čini crnom jer se kroz otvor vidi vrlo pigmentirani unutarnji sloj mrežnice. Veličina zjenice određuje količinu svjetla koje ulazi u oko a regulirana je dvama mišićima, sfinkterom koji sužava otvor i dilatatorom koji otvor širi. Zjenični otvor povezuje prednju i stražnju očnu sobicu, te kroz njega cirkulira očna vodica.

2.2. Unutarnji dijelovi oka

Rožnica (lat. cornea) je prozirna struktura vanjske očne ovojnice smještena u prednjem dijelu oka. Čini glavni refrakcijski sustav oka na kojem se lomi svjetlo pri ulasku u oko. Prednja i stražnja strana rožnice nisu jednako zakrivljene, već je prednja strana manje konveksna (ispupčena) nego što je stražnja strana konkavna (udubljena). Stoga je rožnica zapravo optička leća optičke jakosti cca 43 dioptrija. S vanjske strane graniči sa zrakom, a stražnju stranu okružuje očna vodica koja ispunjava prednju očnu šupljinu. Ima oblik horizontalno smještene elipse, horizontalno mjeri 11,5 – 12 mm, a vertikalno 11 mm. Ako je horizontalni promjer manji od 10 mm, govorimo o maloj rožnici (lat.mikrocornea), a ako je veći od 13 mm, tada govorimo o velikoj rožnici (lat.megalocornea). Slika 4. prikazuje rožnicu .



Slika 4. Rožnica [4]

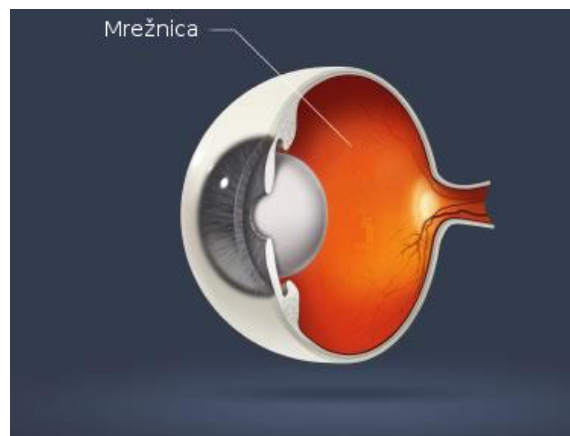
Leća (lat. lens cristallina) je bikonveksna eliptična struktura koja je smještena iza šarenice. Prozirna je i nema krvnih žila, kao ni rožnica. Ona fokusira zrake svjetlosti tako da one

padaju na mrežnicu. Ima sposobnost mijenjanja zakrivljenosti kako bi izoštrila fokus. Debljina leće se mijenja ovisno o akomodaciji. Slika 5. prikazuje leću.



Slika 5. Leća [5]

Mrežnica (lat. retina) je vrlo nježna, fotosenzibilna membrana koja leži na unutarnjoj strani očne jabučice. Smještena je na stražnjem dijelu očne jabučice i njezin je najvažniji dio. Uloga mrežnice je pretvaranje svjetlosnog signala u električni impuls koji se dalje prenosi putem vidnog živca u mozak. To je moguće zbog vrlo sofisticirane i precizne građe mrežnice, odnosno raznih vrsta stanica koje se u njoj nalaze, a među kojima su najpoznatije štapići i čunjići. Mrežnica je podijeljena na perifernu i centralnu zonu, omogućuje različite vidne funkcije kao što su detaljan centralan vid, percepciju boja, vid u prigušenom osvjetljenju i periferni vid. Debljina mrežnice iznosi 0,1-0,25 mm. Slika 6. prikazuje mrežnicu.



Slika 6. Mrežnica [6]

Žuta i slijepa pjega oka

Dio mrežnice odgovoran za oštrinu vida je žuta pjega. Žuta pjega je središnji dio mrežnice, gdje su živčane stanice najgušće raspoređene. Pored žute pjege nalazi se početak vidnog živca koji je neosjetljiv na svjetlo, pa se njegova projekcija u vidnom polju naziva slijepa pjega.

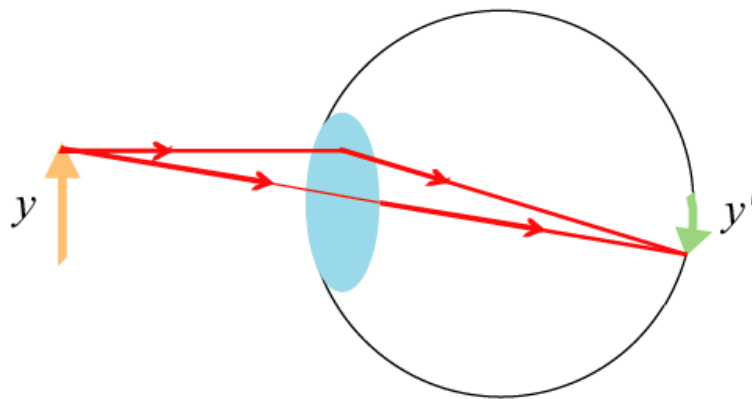
3. KAKO OKO VIDI?

Kako bismo mogli vidjeti, moramo imati svjetlo. Iako ne poznajemo sve razne osobine svjetla, znamo kako svjetlo putuje. Svjetlosna zraka može biti skrenuta, odbijena, savinuta ili upijena, ovisno o različitim tvarima na koje nailazi. Kada svjetlost putuje kroz vodu ili leću, njezina putanja je savinuta ili refraktirana. Neke očne strukture imaju refrakcijska svojstva kao voda ili leća, te mogu savijati svjetlosne zrake u preciznu točku fokusa ključnu za oštar vid. Većina refrakcija u oku nastupa kada svjetlosne zrake putuju kroz zakrivljenu, prozirnu prednju stranu oka – rožnicu. Očna leća također savija svjetlosne zrake. Čak i suzni film koji prekriva površinu rožnice i spojnice, kao i unutarnje tekućine oka (očna vodica i staklovina) imaju sposobnost refrakcije.

Proces vida započinje kada se svjetlosna zraka, koja se odbija od objekta i putuje kroz optički sustav oka, refraktira i fokusira u točku vidne oštine. Vidna oštrina je temeljni pokazatelj funkcije oka, to je sposobnost vida da jasno vidi dvije odvojene točke. Označava najbolju moguću vidnu funkciju sa ili bez korekcije naočalama ili kontaktnim lećama. Uredna vidna oštrina označava se s 1,0 ili 100%. Preduvjet dobre centralne vidne oštine je žarište slike na foveji uredne žute pjege, uz uredne živčane puteve do vidnih centara u mozgu. Foveja je točka u središtu žute pjege s najgušće smještenim čunjićima koja je odgovorna za centralnu vidnu oštrinu. To je mjesto na kojem se u normalnom, zdravom (emetropnom) oku treba nalaziti žarište. Za dobar vid ta točka mora biti na mrežnici.

Mrežnica je tkivo koje oblaže unutrašnjost oka, gdje stanice osjetljive na svjetlost (fotoreceptori) hvataju slike na isti način kao i film u fotoaparatu pri izloženosti svjetlu. Te slike se zatim šalju prema mozgu putem vidnog živca, gdje se interpretiraju. Mrežnica prekriva veliki

dio stražnje stijene oka, a u geometrijskoj optici predstavlja zastor na kojem optički sustav oka stvara sliku vanjskog predmeta. Slika je realna i obrnuta, a zastor je u stalnom položaju (ne mijenja se njegova udaljenost od leće). Stoga se oko mora akomodirati, prilagoditi konvergenciju položaju predmeta. Struktura mrežnice omogućuje detekciju zračenja, odnosno svjetlosnih podražaja, te nastajanje živčanih impulsa, koji dovode informaciju o podražaju u mozak. Osjetljivi elementi na svjetlost, koji se nalaze na mrežnici, nazivaju se čunjići i štapići, a oni su preko živčanih vlakana spojeni na očni živac; ovi receptori se razlikuju u strukturi i obliku (čunjići su na prednjem dijelu prošireni; uzdužni presjek štapića je uži). Na stražnjoj strani mrežnice nalazi se žuta pjega (maculata lutea, lat.), koja sadrži žuti pigment (boju), a u njenom središtu je smještena jamica, udubina (fovea, lat.); nastaje stanjenjem mrežnice, koja se na tom mjestu sastoji samo od čunjića velike gustoće, približno 50 000 čunjića po mm². S udaljenošću od jamice povećava se gustoća štapića u odnosu na broj čunjića. Na mjestu ulaska ocnog živca u oko nema ni štapića ni čunjića i tu se slika ne vidi; to je slijepa pjega oka.



Slika 7. Nastanak slike na normalnom oku [7]

Slika 7. prikazuje nastanak slike za normalno oko pomoću osnovnih zakona za konstrukciju slike pomoću karakterističnih zraka leće.

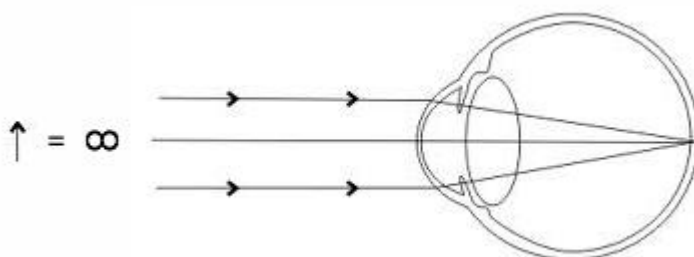
Kada oko gleda neki objekt, zrake svjetlosti se odbijaju od taj objekt. Prva zraka koja dolazi paralelno sa glavnom optičkom osi refraktira se na leći te prolazi kroz fokus. Druga zraka prolazi kroz centar leće. Točka gdje se sijeku ta dva pravca označava mjesto gdje će nastati slika koju vidi to oko. Slika je realna i obrnuta te se oko mora akomodirati, prilagoditi konvergenciju položaju predmeta.

4. AKOMODACIJA OKA

Normalno oko vidi jasno ako stvara slike na mrežnici. Budući da je udaljenost mrežnice od ulazne plohe rožnice stalna, potrebno je da oko poveća svoju konvergenciju (jakost) to više što je predmet kojeg promatra bliži. Dakle, oko se akomodira, tj. prilagođava jakost prema položaju predmeta ne bi li se slika uvijek stvarala na mrežnici.

Daleka točka (punctum remotum)

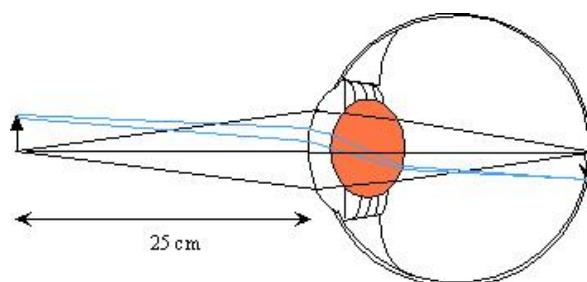
Daleka točka je točka kod koje oko najmanje konvergencije stvara sliku na mrežnici, oko tada nije napregnuto. Ta se točka za normalno oko nalazi u beskonačnosti, te daje jasan vid.



Slika 8. Daleka točka [8]

Slika 8. prikazuje nastanak slike za daleku točku gdje zrake svjetlosti iz beskonačnosti padaju na mrežnicu oka.

Bliska točka (punctum proximum)



Slika 9. Bliska točka [9]

Bliska točka točka je kod koje oko najveće konvergencije stvara na mrežnici sliku nekog predmeta koji se nalazi na najmanjoj daljini jasnog vida. Tada je oko napregnuto. Normalno oko

ima točku R (daleku točku) u beskonačnosti, dok je točka P (bliska točka) na udaljenosti od 7 do 40 cm ispred rožnice u životnoj dobi od 10 do 50 godina; uzima se za cijelu populaciju kao srednja vrijednost najmanje udaljenosti jasnog vida $d_s = 25$ cm. Slika 9. prikazuje blisku točku oka.

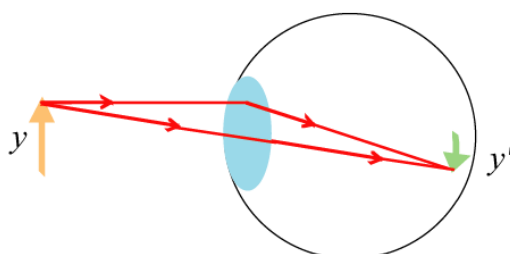
Kod akomodacije oka važnu ulogu ima ciljarni mišić. Ciljarni mišić (lat. *musculus ciliaris*) glatki je parni mišić glave koji se nalazi unutar očne jabučice. Djelovanje mišića dolazi do izražaja tijekom prilagodbe oka, odnosno tijekom prilagođavanja jačine loma svjetlosti u zavisnosti od blizine promatranog objekta. Kad su promatrani predmeti bliži, ciljarni se mišić kontrahira i tako povećava sagitalni promjer očne leće, čime se povećava njena lomna jakost. Tijekom promatranja udaljenih predmeta, zbiva se obrnut proces. Pri pogledu na daljinu kod ljudi sa normalnim vidom, ciljarni mišić oka je olabavljen, aparat leće je zategnut i prednja površina leće je manje zakrivljena. Međutim, kod pogleda na blizinu ciljarni mišić se steže i povlači liniju leće prema naprijed, i prednja površina leće se više izboči i mijenja svoju zakrivljenost. Steže se zjenica i oba oka konvergiraju. Osobe sa normalnim vidom na daljinu nemaju akomodaciju. Akomodiraju samo na blizinu. Myop tj. kratkovidna osoba ima slabo izraženu akomodaciju. Hypermetrop tj. dalekovidna osoba akomodira i na blizinu i na daljinu.

4.1. Što je dioptriya?

Dioptriya je mjera jakosti loma zraka svjetlosti, odnosno refrakcije. Dioptriya nije međunarodno priznata mjera, no svakodnevno se zbog praktičnosti koristi u oftalmologiji i očnoj optici. Matematički se definira kao recipročna vrijednost žarišne udaljenosti. To u praksi znači da leća od, primjerice 3 dioptriye fokusira zrake koje dolaze od nekog dalekog predmeta u jedno žarište udaljeno jednu trećinu metra, odnosno 33 centimetra od leće. Lomna jakost ljudskog oka je oko 60 dioptriya od čega dvije trećine pripadaju površini oka, odnosno rožnici, a jedna trećina očnoj leći. Kod mlađih osoba očna leća ima važnu funkciju akomodacije, odnosno prilagodbe pri gledanju bliskih predmeta. Nakon 40-te godine života očna leća postupno gubi sposobnost akomodacije te se javlja staračka dalekovidnost, odnosno prezbiopija.

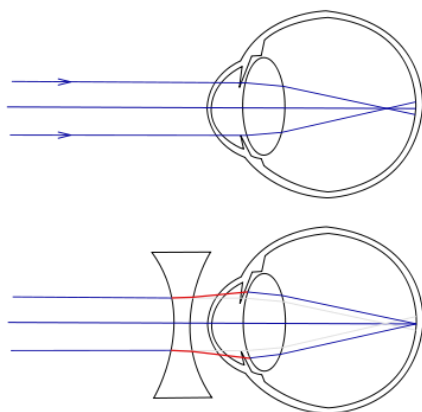
4.2. Kratkovidnost

Kratkovidnost (od grčke riječi $\mu\upsilon\omicron\pi\acute{\iota}\alpha$ myopia, „kratkovidnost“) predstavlja poremećaj lomljenja zraka u oku, u kojem, kad je akomodacija opuštena, paralelno usmjereno svjetlo proizvodi sliku ispred mrežnice, umjesto na mrežnici (slika 7.), kako je to kod normalnog oka. Ljudi s kratkovidnošću jasno vide bliske objekte, ali se udaljeniji objekti vide zamućeno. Očna jabučica kod kratkovidnih je preduga ili je rožnica preizbočena, pa su slike fokusirane u staklovini, unutar oka, umjesto na mrežnici, u stražnjem dijelu oka.



Slika 10. Kratkovidno oko [10]

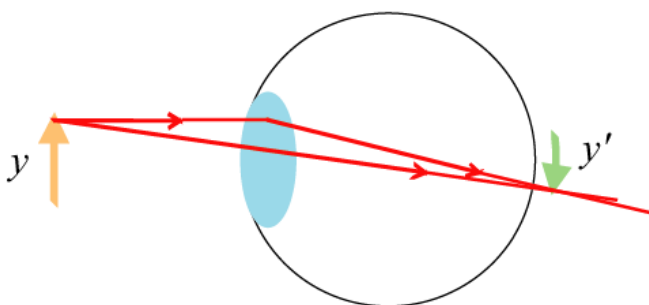
Oftalmolozi i optometristi ispravljaju miopiju najčešće nošenjem korektivnih leća kakve su naočalne ili kontaktne leće, a može se također ispraviti i laserskom kirurgijom kakva je LASIK. Korektivne leće imaju negativnu optičku jakost (konkavne su, „minus“), što kompenzira pozitivnu dioptriju kratkovidnog oka (slika 11.). U nekim slučajevima pacijenti s niskim stupnjem kratkovidnosti upotrebljavaju naočale koje umjesto klasičnih leća imaju površinu punu rupica širine jednog milimetra. One djeluju na principu smanjenja zamućenog kruga koji se stvara na mrežnici.



Slika 11. Korekcija kratkovidnosti konkavnim minus lećama [10]

4.3. Dalekovidnost

Dalekovidnost (hiperopija ili hipermetropija) predstavlja poremećaj lomljenja zraka u oku, u kojem, kad je akomodacija opuštena, paralelno usmjereno svjetlo proizvodi sliku iza mrežnice, umjesto na mrežnici kao što je to kod normalnog oka. (slika 7.) To se najčešće događa ako je očna jabučica prekratka, što uzrokuje poteškoće s naglaskom na bližim predmetima, te u ekstremnim slučajevima uzrokuje nemogućnost usredotočenja na predmete na bilo kojoj udaljenosti. Kako se predmet približava oku, oko mora povećati svoju optičku moć kako bi sliku zadržalo u fokusu na mrežnici. Kod dalekovidne osobe moć rožnice i leće nije dovoljna, te se slika pojavljuje zamagljena.

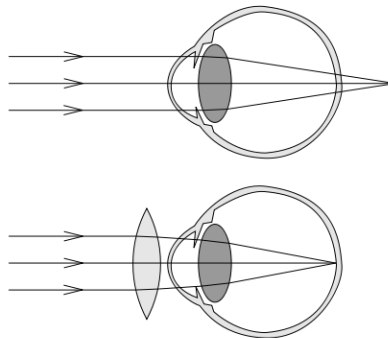


Slika 12. Dalekovidno oko [7]

Dalekovidnost je također i stanje je u kojem oko, sa starenjem, pokazuje progresivno smanjenje sposobnosti da se akomodira na objekte u neposrednoj blizini. Točni mehanizmi nastanka dalekovidnosti nisu utvrđeni. Međutim, većina istraživanja podupire teoriju gubitka elastičnosti kristalne leće, iako se kao moguć uzrok navode i promjene u zakrivljenosti leće, koje se objašnjavaju kontinuiranim rastom i gubitkom snage cilijarnog mišića (mišića koji savija i izoštrava leću). Baš kao i sijeda kosa i bore, dalekovidnost je simptom uzrokovan prirodnim tijekom starenja. Prvi simptomi (dolje navedeni) obično se najprije primjećuju oko 40 – 50 godine.

Sposobnost akomodacije oka na bliske predmete pada s godinama: od mogućnosti akomodacije s 20 dioptrija (mogućnost fokusiranja s 50 mm) kod djeteta, 10 dioptrija s 25 godina (100 mm), do 0,5 - 1 dioptrije sa 60 godina (sposobnost fokusiranja na 1-2 metra).

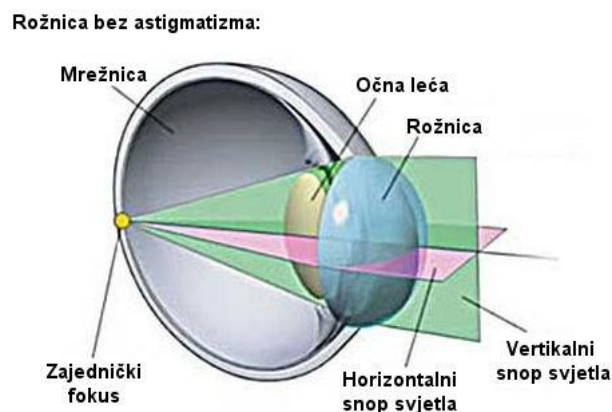
Gubitak sposobnosti akomodacije korigira se korektivnim lećama, naočalama ili kontaktnim lećama. Slika 13. nam pokazuje kakove trebaju biti konveksne („plus“) leće. Pomoću njih slika neće padati iza mrežnice nego na nju.



Slika 13. Korekcija dalekovidnosti konveksnim plus lećama [11]

4.4. Astigmatizam

Astigmatizam je refrakcijska pogreška oka također nazivana cilindar. Nastaje zbog nepravilno zakrivljene rožnice, koja zrake svjetla ne lomi u svim meridijanima jednako, a ponekad i zbog nepravilno zakrivljene očne leće. U svrhu podjele definirana su dva zamišljena meridijana oka, okomita jedan na drugi, vertikalni i horizontalni.

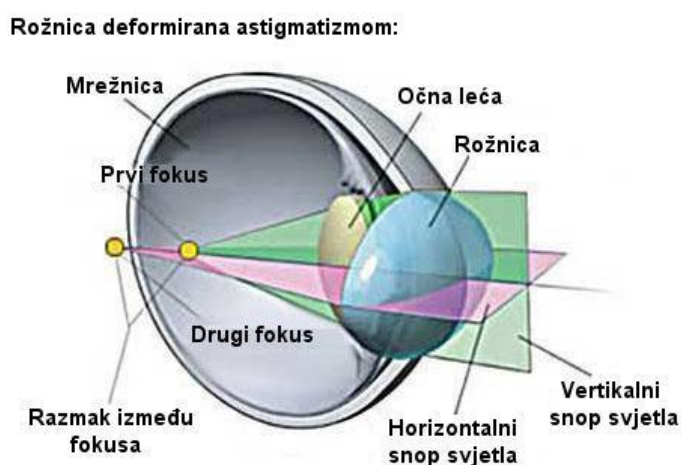


Slika 14. Rožnica bez astigmatizma [12]

Slika 14. prikazuje zdravu rožnicu bez astigmatizma. Zrake svjetlosti tu lome oba meridijana (horizontalni i vertikalni) jednako. I jedan i drugi fokus meridijana padaju u istu točku na mrežnici.

Vrste astigmatizma

Pravilni (regularni) astigmatizam – Slučaj kod više od 80% ljudi sa astigmatizmom je pravilni astigmatizam, kada se dva glavna zamišljena meridijana nalaze pod pravim kutem. Takav astigmatizam je najčešće podložan ispravljanju. Ako glavni meridijani leže pod pravim kutem, ali su postavljeni koso, takav astigmatizam se naziva kosi astigmatizam.



Slika 15. Rožnica deformirana astigmatizmom [13]

Slika 15. prikazuje rožnicu deformiranu astigmatizmom. Meridijani su postavljeni okomito jedan na drugi. Fokusi gdje padaju zrake svjetlosti ne padaju u istu točku, kako je prikazano na slici; fokus horizontalnog snopa svjetlosti pada izvan mrežnice, a fokus vertikalnog snopa svjetlosti pada na mrežnicu. Astigmatizam se najčešće pojavljuje u kombinaciji sa kratkovidnošću ili dalekovidnošću. U ovom slučaju ovo je astigmatizam kombiniran sa dalekovidnošću.

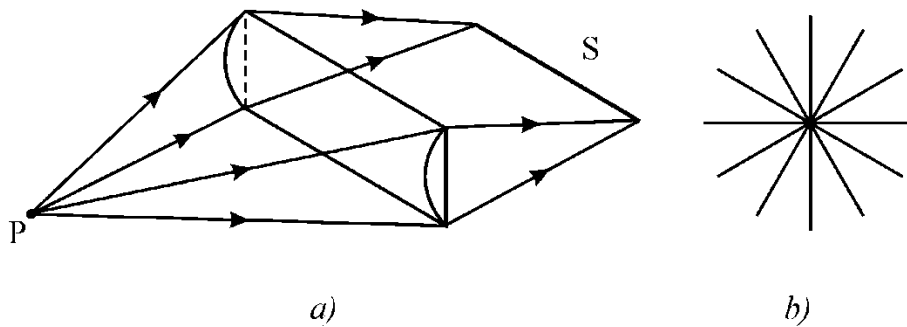
Nepravilni (iregularni) astigmatizam – Dva glavna meridijana nisu okomita jedan na drugi. Ovaj tip astigmatizma je uglavnom uzrokovan zbog bolesti rožnice (keratokonusa), ili nastaje kao posljedica ozljede ili upale rožnice.

Astigmatizam označavamo kao astigmatizam „po pravilu“, ako vertikalni meridijan jače lomi zrake svjetla od horizontalnog. Kada je slučaj suprotan, odnosno kada horizontalni meridijan lomi zrake svjetla jače od vertikalnog meridijana, takav astigmatizam označavamo kao astigmatizam „protiv pravila“.

Simptomi su zamagljen i nejasan vid, deformirana slika, ili deformirana tiskana slova pri čitanju. Kod blagog astigmatizma osoba ne primijeti uvijek postojanje poremećaja, jer zamagljen vid ispravlja akomodiranjem (prilagodba očne leće za gledanje na blizinu), dok visoki stupanj astigmatizma uzrokuje značajne probleme sa vidom i nemoguće ga je ne primjetiti. Kod djece se pri dugotrajnom čitanju pojavljuje glavobolja i povećan umor.

Korekcija astigmatizma

Pravilni astigmatizam se može korigirati dioptrijskim naočalama, toričnim kontaktnim lećama, ili kirurškim zahvatom. Ta grana kirurgije se naziva refrakcijska kirurgija. Korekcija nepravilnog astigmatizma je otežana, koriste se kontaktne leće, ponekad pomaže samo operacija. Astigmatizam može biti stabilan, ali isto tako se stanje često pogoršava, zato je iznimno važno redovito posjećivati oftalmologa ili optometrista(koriste test lik za astigmatičnost oka, slika 16.), zbog dobivanja potrebne korekcije. Najčešće se koriste cilindrične leće (slika 16.), koje korigiraju zrake samo u jednoj ravnini (i njoj paralelnoj ravnini).



Slika 16. a) Cilindrična leća za točkasti predmet (P) daje pravčastu sliku (S). [7]

b) Test lik za astigmatičnost oka [7]

5. BINOKULARNI VID

Bića s dva oka primaju dvije slike koje se stapaju u jedan vidni osjet. Posljedica binokularnog gledanja je odmjeravanje apsolutnih i relativnih udaljenosti. Budući da su oči razmaknute, svako oko stvara različitu sliku istog predmeta, na različitom mjestu mrežnice. To nam daje dojam dubine polja, osjećaj prostornosti (stereoskopsko gledanje). Razvoj binokularnog vida odvija se u 3 stupnja. U prvom stupnju postoji samo istodobno zapažanje slika iz oba oka. U drugom stupnju mozak stapuje slike oba oka u jednu. Treći stupanj koji se naziva stereoskopski (trodimenzionalni, prostorni) vid uključuje i osjećaj dubine. Poremećaji poput ambliopije i strabizma mogu spriječiti razvoj sva tri stupnja binokularnog vida.

Ambliopija (lat. amblyopia) ili slabovidnost, je pojava oslabljenog vida na oku, a da se pritom na oku ne mogu vidjeti nikakve patološke promjene. Uzrok ambliopije je fiziološki poremećaj u mozgu, odnosno u centru za vid. Ako se taj poremećaj ne ukloni na vrijeme, mozak će potiskivati vidne informacije koje stižu iz slabijeg oka, i vidni centar će ostati nedovoljno prijemljiv za te informacije. Zato se ambliopija mora na vrijeme otkriti. Pored određivanja dobre vidne korekcije, odnosno ispravljanja refrakcione greške naočalima, najbolja terapija ambliopije je pravovremeno povremeno zatvaranje boljeg oka i vježbanje vida na slabijem oku.

Strabizam je poremećaj položaja ili pokretljivosti očiju. Kod zdravih očiju oba oka stoje ravno gledajući u istu točku a pokreti pomicanja su usklađeni. Svako oko pokreće 6 mišića a impuls za pokretanje dolazi iz mozga. Usklađenim pokretima očiju postiže se savršena suradnja

oba oka što omogućava razvoj binokularnog vida, odnosno suradnje prilikom gledanja s oba oka u isto vrijeme pri čemu se dvije malo različite slike stapaju skupa u mozgu gdje se omogućuje stvaranje jedne slike u tri dimenzije (stereo vid). Ako oba oka ne stoje ravno ili je radi nečega ograničena pokretljivost u jednom smjeru mozak će oko koje ne stoji ravno ili ne prati isključiti, te će se razviti već ranije spomenuta slabovidnost a neće se moći razviti niti binokularnost i stereovid.

6. FIZIKA VIDNOG POLJA

Oko stvara slike predmeta iz onog dijela prostora iz kojeg svjetlost može doprijeti u njega. Ako oko miruje, taj dio prostora nazivamo vidnim poljem mirujućeg oka. Najbolja vidljivost je u području stošca otvora 30 kutnih minuta. Zbog velike pokretljivosti oka u očnoj šupljini, ono može zahvatiti velik dio prostora u horizontalnoj ravnini, a obuhvaćeni kut iznosi 260° . Slika 17. prikazuje uredna vidna polja jednog i drugog oka. Gubitak vidnog polja može se pojaviti tijekom bolesti ili poremećaja oka, vidnog živca ili mozga.



Slika 17. Uredna vidna polja oba oka [14]

7. MOĆ RAZLUČIVANJA OKA

Pod pojmom moć razlučivanja nekog optičkog instrumenta, pa tako i oka, podrazumijeva se sposobnost dobivanja dvije odvojene slike od dvaju različitih točkastih izvora. Oko vidi razdvojeno dva točkasta predmeta ako slika svake pojedine točke pada na drugi čunjić. Padaju li slike na isti čunjić, oko ih više ne vidi kao rastavljene, pa kažemo da ih više ne razlučuje. Normalno oko još razaznaje krajnje točke razmaknute za 0,1 mm na daljini jasnog vida od 25cm.

8. SPEKTRALNA OSJETLJIVOST OKA

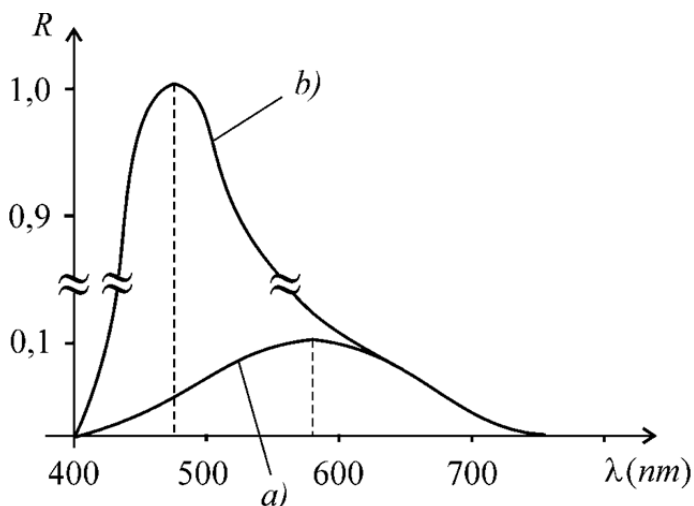
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko u prosjeku može vidjeti svjetlost s valnom duljinom u rasponu od 390 do 780 nm. Ljudsko oko reagira samo na vrlo ograničeni raspon valnih duljina, na vidljivu svjetlost. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje (tablica 1.) Boje su dakle male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, a najdulju crvena svjetlost.

Spektar vidljivog zračenja čine:

Tablica 1. Spektar vidljivog zračenja

Boja	Valna duljina [nm]
 Ljubičasta	390 - 455
 Plava	455 - 492
 Zelena	492 - 577
 Žuta	577 - 597
 Narančasta	597 - 622
 Crvena	622 - 780

Spektralna osjetljivost oka se odnosi na to da vidljivost ovisi o intezitetu svjetlosti. Mrežnica sadrži dvije vrste fotoreceptorskih stanica: čunjiće i štapiće. Čunjići služe za gledanje uz normalnu i jaku rasvjetu, a štapići za gledanje uz vrlo slabo osvjetljenje, noću ili u tamnim prostorima (jakost približno ispod 3 cd/m^2). Čunjići stvaraju obojenu, a štapići samo sivo-crnu sliku.



Slika 18. Spektralna osjetljivost oka (R , iskazana relativno) za a) čunjiće, b) štapiće [7]

Slika 18. prikazuje krivulje osjetljivosti za štapiće i čunjiće. Krivulja osjetljivosti za štapiće je uža ali i 10-tak puta veća od osjetljivosti čunjića; funkcija štapića manje raspoznaje boje ("noću su sve mačke sive"). Dakle, pomoću čunjića u mrežnici raspoznajemo boje. Prvi je Hermann Helmholtz (1821-1894) ukazao da čovjek ima tri skupine čunjića:

- čunjići osjetljivi na "crvenu" svjetlost - R (red)
- čunjići osjetljivi na "zelenu" svjetlost - G (green)
- čunjići osjetljivi na "plavu" svjetlost - B (blue)

Svaka se druga boja može stvoriti slaganjem crvene, zelene i plave svjetlosti (slika 19.). Kad svjetlost padne na mrežnicu osjete je jedna ili više skupina čunjića, ovisno o boji svjetlosti.

Npr. žuta svjetlost će djelovati na crvene i zelene čunjiće, ali neće na plave. Podražaj čunjića pretvara se u električni impuls koji se kroz vidni živac prenosi u mozak.



Slika 19. Miješanje svjetlosti [15]

9. ZAKLJUČAK

U ovom seminaru smo prikazali oko kao optički uređaj. Taj nadasve maleni dio našega tijela čini jednu od najvažnijih uloga u našem tijelu i našem životu. Više od 80% osjetilnih podražaja dolazi nam kroz osjetilo vida, kroz oko. Upoznali smo njegovu kompleksnu građu i funkcije pojedinih djelova. Na fizikalni način objasnili smo kako nastaje slika kroz zakone optike. Međutim, kako oko nije uvijek savršeno, događaju se i razni poremećaji u akomodaciji oka kao npr. kratkovidnost, dalekovidnost, astigmatizam...

U slučaju da se primijete neke promjene u funkciji oka, jako je bitno konzultirati se sa liječnikom jer sam život po sebi može biti veoma otežan bez zdravog osjetila vida.

10. LITERATURA

- [1]. http://hr.wikipedia.org/wiki/Ljudsko_oko [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [2] http://kis-miljenko.com/oko_Gradja.html [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [3] http://kis-miljenko.com/oko_Gradja.html [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [4] http://physics.mef.hr/Predavanja/seminar_optika/main1a.html [preuzeto 15. rujna 2015.]
- [5] <http://www.optometrija.net/wp-content/uploads/2010/11/Leca-u-oku.jpg> [preuzeto 17. rujna 2015.]
- [6] <http://www.optometrija.net/wp-content/uploads/2010/11/Mreznica.jpg> [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [7] <http://www.fizika.unios.hr/~branko/of3.htm> [preuzeto 17. rujna 2015.]
- [8] <http://www.kontaktne-lece.eu/i/c/246493384996650.jpg> [preuzeto 15. rujna 2015.]
- [9] <http://www.kontaktne-lece.eu/i/c/322160860406643.jpg> [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [10] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Kratkovidnost#mediaviewer/File:Myopia.svg> [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [11] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Dalekovidnost#mediaviewer/File:Hypermetropia.svg> [preuzeto 21. rujna 2015.]
- [12] <http://www.optometrija.net/wp-content/uploads/2010/04/astigmatizam-2.jpg> [preuzeto 19. rujna 2015.]
- [13] <http://www.optometrija.net/wp-content/uploads/2010/04/astigmatizam-1.jpg> [preuzeto 16. rujna 2015.]
- [14] http://hr.wikipedia.org/wiki/Vidno_polje [preuzeto 17. rujna 2015.]
- [15] <http://proleksis.lzmk.hr/6884/> [preuzeto 15. rujna 2015.]