

UNIVERZITET U TUZLI

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

ODSJEK: FIZIKA

Melika Damadžić

ZAVRŠNI RAD

**Primjena ultrazvučne biomikroskopije na primjeru mjerenja
debljine rožnice i dubine prednje očne komore**

Tuzla, juli 2020. godine

Mentor: dr.sc. Kunosić Suad, van.prof

Rad ima: 40 stranica

Redni broj završnog rada:

ZAHVALA:

Veliku zahvalu, u prvom redu, dugujem svom mentoru dr.sc. Kunosić Suadu, vanr.prof., na velikoj pomoći, stručnim savjetima te strpljenju i izdvojenom vremenu pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem se Poliklinici „Vaše zdravlje“ u kojoj je urađen kompletan praktičan rad primjene biomikroskopije na primjeru mjerenja debljine rožnice i dubine prednje očne komore.

Najveće hvala mojim roditeljima i sestri na razumijevanju i podršci tokom cjelokupnog školovanja.

SAŽETAK

Ultrazvučna biomikroskopija (UBM) je posebna, neinvazivna vrsta pregleda prednjeg segmenta oka koja omogućava između ostalog mjerenja debljine rožnice, dubine prednje očne komore i širine komornog ugla.

U skladu s načelima ultrazvučne fizike, kvaliteta slike ovisi o frekvenciji ultrazvuka, omjeru fokalne leće u odnosu na promjer sonde (f-broj) i dužine pulsa. Veća frekvencija i kraće žarišne dužine obično su povezane s većom rezolucijom slika.

Cilj ove metode je dijagnostika svih promjena koje se nalaze u ovom dijelu oka. Ultrazvučna biomikroskopija nam pomaže da razlikujemo benigne od malignih promjena.

Rad je eksperimentalno urađen u Poliklinici „Vaše zdravlje“ te je poseban akcenat dat na primjenu ultrazvučne biomikroskopije na primjeru mjerenja debljine rožnice i dubine prednje očne komore.

ABSTRACT

Ultrasound biomicroscopy (UBM) is a special, non-invasive type of examination of the anterior segment of the eye that allows, among other things, measurements of corneal thickness, anterior chamber depth and ventricular angle width.

According to the principles of ultrasound physics, the image quality depends on the frequency of the ultrasound, the ratio of the focal lens to the diameter of the probe (f-number) and the pulse length. Higher frequency and shorter focal lengths are usually associated with higher image resolution.

The goal of this method is to diagnose all the changes found in this part of the eye. Ultrasound biomicroscopy helps us to distinguish benign from malignant changes.

The work was done experimentally in the Polyclinic "Vaše zdravlje" and special emphasis was placed on the application of ultrasound biomicroscopy on the example of measuring the thickness of the cornea and the depth of the anterior chamber of the eye.

Sadržaj:

UVOD	1
1. GRAĐA OKA	2
1.1. Anatomija oka	2
1.2. Histologija oka	6
2. FIZIKA OKA I VIĐENJA	10
2.1 Optički sistem oka	10
2.1.1. Redukovano oko	12
2.1.2. Svjetlosni detektor oka – mrežnjača	13
2.1.3. Funkcija zjenice i adaptacija oka na mrak	17
2.1.4. Interakcija fotona i receptora	18
2.1.5. Difrakcioni efekti oka	19
2.2. Optički nedostaci oka	20
2.2.1. Dalekovidnost	20
2.2.2. Kratkovidnost	21
2.2.3. Astigmatizam	23
3. ULTRAZVUČNA BIOMIKROSKOPIJA	25
3.1. Historija razvoja	25
3.2. Fizikalni principi UBM	25
3.2.1. Razvoj i karakteristike UBM uređaja	26
3.2.2. Tehnike ispitivanja	28
3.2.3. Tehnike mjerenja rožnice	29
4. MATERIJALI I METODE RADA	32
5. REZULTATI I DISKUSIJA	35
6. ZAKLJUČAK	39
7. LITERATURA	40

UVOD

Ultrazvuk biomikroskopijom (UBM) prvi put je razvila jedna grupa u Kanadi prije nešto više od 10 godina jer može pružiti slike tkiva i strukture in vivo na mikroskopskoj rezoluciji, slično optičkoj biomikroskopiji. Najčešće korištena frekvencija oftalmološkog dijagnostičkog ultrazvuka je 10 MHz, a UBM koristi ultrazvučne talase frekvencije u rasponu od 50 do 100 MHz, omogućujući preglede ispod površine tkiva oka na vrlo visokoj rezoluciji. Ultrazvučna biomikroskopija (UBM) je neinvazivna dijagnostička procedura koja omogućava prikaz presjeka cijelog prednjeg segmenta oka s detaljima koji dosad nisu bili vidljivi klasičnim ultrazvukom. UBM-om se mogu utvrditi uzroci akutnog glaukoma, otkriti teško dostupni tumori, upale i povrede u tom dijelu oka.

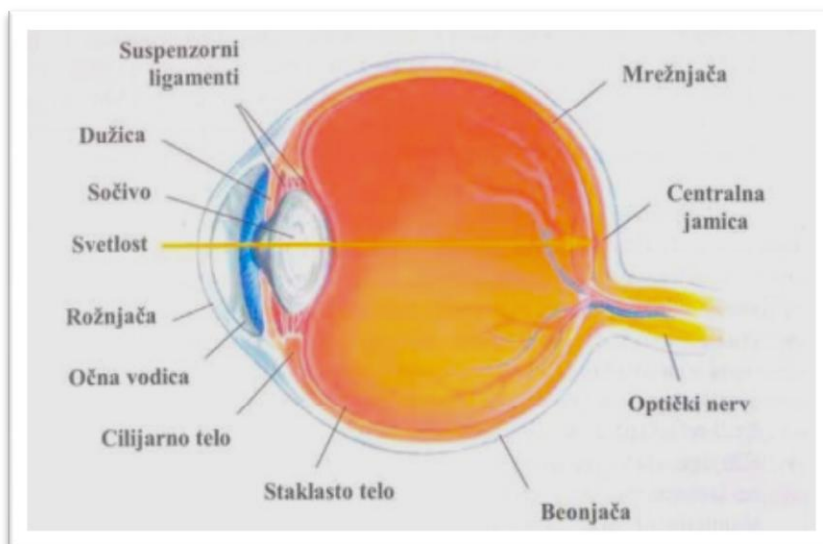
Ultrazvučna biomikroskopija (UBM) je neinvazivna dijagnostička procedura koja omogućava između ostalog: mjerenja debljine rožnice, dubine prednje očne komore i širine komornog ugla. To je postupak u kojem se visokofrekventni zvučni talasi (ultrazvuk) odbijaju od unutrašnjih tkiva oka i stvaraju odjek.

U ovom radu pokazan je sam fizikalni pristup ovoj metodi, opisana je procedura i postupak te izvršen konkretan prikaz dijagnostike desnog oka putem ultrazvučne biomikroskopije. Prikazane su dijagnostičke slike mjerenja pahimetrije oka i dubine prednje očne komore oka urađene pomoću UBM dijagnostike.

1. GRAĐA OKA

1.1. Anatomija oka

Oko (Oculus) je paran organ (Slika 1), koji se nalazi sa prednje strane glave, u gornjem dijelu kostura lica (regione orbitalis), u očnoj duplji (orbita).



Slika 1. Šematski prikaz uzdužnog presjeka oka.

- Očna jabučica:

Očna jabučica (Bulbus oculi) je smještena u prednjem dijelu koštane očne duplje. Okružena je mišićima i masnim dijelom očne duplje. Ona ima oblik nepravilne kugle čiji je prednji dio više ispupčen od zadnjeg [1,2] .

Očna jabučica ima izuzetno složen sistem u koji ulaze: 1. Omotači očne jabučice (spoljna ili fibrozna opna, srednja ili sudovna opna i unutrašnja opna). 2.Sadržaj očne jabučice.

1. Spoljna ili fibrozna opna očne jabučice (*Tunica fibrosa bulbi*)

Čvrsta, fibrozna opna koja štiti unutrašnjost oka i pruža otpor tzv.intraokularnom pritisku, koji djeluje unutar očne jabučice. Također, ona služi i za pripajanje očne jabučice mišićima koji su odgovorni za njeno pokretanje. Sastoji se od rožnjače (cornea) i bjeloočnice (sclera).

- Rožnjača predstavlja manju, prednju petinu spoljne očne jabučice, providna je jer kroz nju ulazi svjetlost u unutrašnjost oka pa nema ni krvnih ni limfnih sudova. Ima ulogu konveksno-konkavnog sočiva koje prelama i konvergira zrake. Rožnjača ima oblik odsječka lopte te joj se razlikuju prednja – konveksna strana i zadnja – konkavna strana.
- Bjeloočnica čini preostale četiri petine spoljne opne očne jabučice. To je čvrsta, nerastegljiva, bijeličasta i neprozirna opna oblika lopte presječene u prednjem dijelu gdje se uvlači periferna ivica rožnjače.

2. Srednja ili sudovna opna očne jabučice (*Tunica vasculosa bulbi*)

Leži između bjeloočnice i mrežnjače i ima veoma važnu ulogu u ishrani očne jabučice, a posebno mrežnjače. Sastoji se od tri dijela: Dužice (iris), cilijarnog tijela (corpus ciliare) i sudovnjače (choroidea).

- Dužica ima ulogu dijafragme oka jer reguliše količinu svjetlosti koja ulazi u unutrašnjost oka kroz otvor – zjenicu (pupilla), koja se nalazi u središnjem dijelu. Zjenica se pomoću dva glatka mišića može sužavati ili širiti refleksno .
- Cilijarno tijelo predstavlja srednji i najdeblji dio sudovne opne i nalazi se između dužice i sudovnjače. Stvara očnu vodicu i ima ulogu pri akomodaciji oka, koja se vrši pomoću cilijarnog mišića.
- Sudovnjača predstavlja zadnji dio sudovne opne očne jabučice. Njena ispupčena spoljna površina je neravna uslijed prisustva krvnih sudova i živaca u kapilarnom prostoru. Izdubljena unutrašnja površina je glatka i prirasla uz pigmentni sloj rožnjače.

3. Unutrašnja opna očne jabučice (*Tunica interna bulbi*)

Sastoji se iz dva funkcionalno i morfološki različita sloja: pigmentnog sloja (stratum pigmenti) i mrežnjača (retina).

- Pigmentni sloj unutrašnje opne očne jabučice oblaže unutrašnju površinu dužice, cilijarnog tijela i sudovnjače. Sastoji se od jednoslojnog epitela, čije su ćelije ispunjene pigmentom. Zadatak mu je da spriječi refleksiju svjetlosti sa unutrašnje strane bjeloočnice, tj. da je apsorbira.
- Mrežnjača je dio unutrašnje opne očne jabučice čija je unutrašnja površina u kontaktu sa prozračnim sadržajem očne jabučice, a spoljna površina je pigmentnim slojem odvojena od sudovne opne očne jabučice. Mrežnjača se sastoji od tri dijela: dužični dio mrežnjače, cilijarni dio mrežnjače i optički ili vidni dio mrežnjače. Ova tri dijela imaju različitu građu i značaj. Dužični i cilijarni dio mrežnjače su veoma tanki, sastavljeni su iz jednog sloja ćelija i nemaju fotoreceptivnu sposobnost te su nazvani slijepi dio mrežnjače (pars caeca). Vidni dio mrežnjače (pars optica) predstavlja najvažniji dio oka koji učestvuje u procesu viđenja. To je deblji sloj veoma složene građe i predstavlja jedini sloj mrežnjače osposobljen za prijem svjetlosnih nadražaja i njihovo pretvaranje u električne signale zahvaljujući fotoreceptorskim ćelijama koje se u njemu nalaze. Električni signali se zatim šalju optičkim nervom do mozga

4. Sadržaj očne jabučice

Unutrašnjost očne jabučice ispunjena je providnim dijelovima bez krvnih sudova. Veći dio unutrašnjosti čini staklasto tijelo (corpus vitreum). Ono naliježe na mrežnjaču, spriječava njeno nabiranje i osigurava ishranu te propušta i prelama svjetlosne zrake.

Očno sočivo (lens) je smješteno iza dužice, a ispred staklastog tijela. Ispred sočiva dužica dijeli prostor ispunjen očnom vodicom na prednju i zadnju komoru.

5. Pomoćni organi oka (*Organa oculi accessoria*) su:

- Mišići očne jabučice (*Masculi bulbi*), koji pomjeraju očnu jabučicu u svim pravcima i usmjeravaju oba oka u istom pravcu; ima ih šest i to četiri prava i dva kosa, od kojih su po dva uvijek antagonisti.
- Fascije očne duplje (*Fasciae orbitalis*) su: a) Tenonova čahura, tanka čvrsta fibrozna opna u kojoj očna jabučica slobodno rotira bez pomjeranja unazad; b) Mišićne fascije, tanki fascijalni omotači koji mišiće pokretače očne jabučice spajaju sa Tenonovom čahurom; c) Orbitalna pregrada, četvrtasta savitljiva ploča koja s prijeda nepotpuno zatvara ulazni otvor orbite i ulazi u sastav fibroznog sloja očnih kapaka.
- Obrve (*Supercilium*) su kožno-mišićni nabori koji u vidu luka leže iznad gornjih očnih kapaka i štite oči od znoja koji se sliva niz čelo.
- Očni kapci (*Palpebrae*) sprijeda pokrivaju otvor očne duplje i njen sadržaj; treptanjem raspoređuju suze i time ispiraju i vlaže rožnjaču.
- Vežnjača (*Tunica conjunctiva*) je glatka, sjajna i providna sluzokožna opna koja pokriva prednji dio očne jabučice i zadnju stranu oba očna kapka vezujući ih zajedno te odatle i potiče njen naziv.
- Periorbita (*Periorbita*) je tanka pokosnica očne duplje, koja pokriva njene koštane zidove. Masno tijelo orbite (*Corpus adiposum orbitae*) je polutečno masno tkivo koje ispunjava prazan prostor između koštanih zidova očne duplje i organa smještenih u njoj. Takođe, olakšava pokrete očne jabučice.
- Suzni pribor (*Apparatus lacrimalis*) izlučuje i sprovodi suze. Sastoji se od suzne žlijezde i odvodnih organa suza.

1.2. Histologija oka

Čulo vida čine očna jabučica i očni nerv, kao i pomoćni organi oka (ekstraokularni mišići, očni kapci, konjuktiva i suzni aparat)

- **Očna jabučica**

Očna jabučica (bulbus oculi) je smještena u očnoj duplji, od čijih je kostiju odvaja žuto masno tkivo. Zid očne jabučice čine tri sloja: spoljašnji, sastavljen od kornee i sklere, središnji, sastavljen od irisa, cilijarnog tijela i horoidee, i unutrašnji - retina. Unutar očne jabučice nalaze se: prednja i zadnja očna komora, ispunjene očnom vodicom, očno sočivo i staklasta komora u kojoj je staklasto tijelo.

1. Spoljašnji sloj zida očne jabučice

Sastoji se od kornee i sklere.

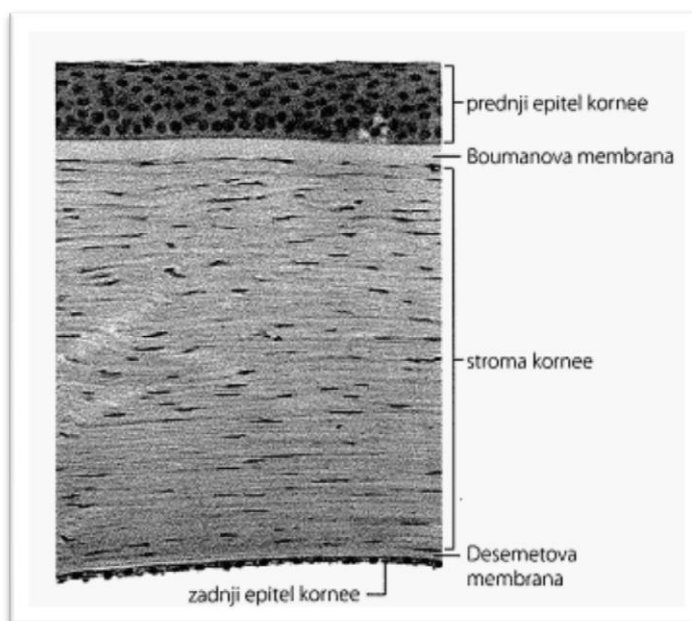
- a) Rožnjača ili kornea

Rožnjača ili kornea (cornea) je vlažna, veoma osjetljiva, avaskularna, providna, konveksna - put spolja okrenuta zaštitna opna koja gradi prednju šestinu spoljašnjeg sloja zida očne jabučice. Posmatrajući sa spoljašnje strane, izgrađuje je pet slojeva (Slika 2): prednji epitel, Boumanova (Bowman) membrana, stroma, Desemetova (Descemet) membrana i zadnji epitel (endotel). Prednji epitel kornee je izgrađen od 5 do 7 slojeva ćelija povezanih dezmozomima. Kroz epitel se, dopirući do najpovršnijih slojeva, prostiru brojni slobodni nervni završeci koji su odgovorni za visoku osjetljivost kornee[3]. Ovaj epitel ima visok regenerativni kapacitet. Prednji kornealni epitel se u području limbusa (kornealno-skleralni spoj) nastavlja epitelom konjunktive. Epitel kornee je stalno ovlažen sekretom suznih žlijezda. Boumanova membrana (lamina limitans anterior) je kondenzovana stroma kornee. Sastoji se od kolagenih vlakana tipa I i tankih elastičnih vlakana. Nema moć regeneracije, a uloga joj je u sprječavanju mehaničkih oštećenja i prodora bakterija. Stroma kornee (supstantia propria corneae) je najdeblji sloj kornee. To je regularno gusto (fibrozno) vezivno tkivo koje se sastoji od ćelija i ekstracelularnog matriksa (kolagena vlakna i osnovna supstanca). Ćelije su veoma spljošteni fibroblasti (keratociti) koji se nalaze između snopova kolagenih vlakana.

Kolagena vlakna (tipa I i V) su u snopovima i formiraju lamele. Sve lamele su paralelne sa površinom kornee, ali su u susjednim slojevima međusobno postavljene pod pravim uglom. Ovakav regularan raspored kolagenih lamela čini komeu propustljivom za svjetlost.

Desemetova membrana odgovara bazalnoj membrani zadnjeg kornealnog epitela. Tanja je od Boumanove membrane, a sastoji se od kolagena tipa VII. Ima veliku čvrstinu i veoma je otporna na traume. Pri povrijeđivanju rožnjače ovaj sloj će dati najveći otpor dejstvu mehaničke sile. Na rubu rožnjače membrana se nastavlja na vlakna koja premošćavaju ugao između rožnjače i dužice, formirajući strukturu pod nazivom trabekula.

Providnost rožnjače uslovljena je dehidratisanošću strome, regularnim rasporedom i ujednačenom dužinom kolagenih lamela, nepostojanjem krvnih sudova i postojanjem amijelinizovanih nervnih završetaka.



Slika 2. Histološka građa rožnjače

b) Sklera

Bjeloočnica ili sklera (sclera) je čvrsta neprovidna ovojnica koja ima ulogu u održavanju oblika očne jabučice, održavanju intraokularnog pritiska i zaštiti od traume i infekcije.

Od okolnog masnog tkiva, koje razdvaja kosti očne duplje od spoljašnjeg sloja zida očne jabučice, sklera je odvojena tankim slojem gustog (fibroznog) vezivnog tkiva označenog kao Tenonova (Tenon) kapsula.

Sa unutrašnje strane Tenonove kapsule nalazi se Tenonov prostor ispunjen rastresitim vezivnim tkivom koje čini prvi sloj sklere označen kao episklera. Ispod episklere je sklera u užem smislu, sastavljena od gustog (fibroznog) iregularnog vezivnog tkiva u kojem se nalaze rijetki fibroblasti, iregularno orijentisani snopovi kolagenih vlakana (tipa I), elastična vlakna i redukovana osnovna supstanca. Najdublje, prema srednjem sloju zida očne jabučice, sklera sadrži veći broj pigmentnih ćelija (melanocita), zbog čega se taj dio naziva crna opna (lamina fused). U zadnjem dijelu sklere se nalazi zadnji skleralni foramen (skleralni kanal).

2. Središnji sloj zida očne jabučice

Središnji sloj zida očne jabučice (*tunica vasculosa bulbi, iiveri*) veoma je dobro vaskularizovan sloj zida očne jabučice koji izgrađuju tri dijela: iris, cilijarno tijelo i horoidea.

a) Dužica ili iris

Dužica ili iris je prednji dio uvee u obliku tanke ploče, poput dijafragme koja djelimično prekriva očno sočivo i ima otvor u svom srednjem dijelu koji se zove zjenica (pupilla). Zjenica kontroliše količinu svjetlosti koja ulazi u oko. Iris odvaja prednju od zadnje očne komore, a zadnjom površinom se naslanja na očno sočivo. Posmatrajući od spoljašnje, prednje površine iris grade sljedeći slojevi: diskontinualan sloj zvijezdastih i spljoštenih fibroblasta i stroma, u kojoj se nalazi i mišićni. Stroma irisa je najbolje izražen sloj. Sastavljen je od rastresitog (pigmentnog) vezivnog tkiva sa brojnim pigmentnim i glatkim mišićnim ćelijama koje izgrađuju dva mišića - in. sfincter i in. dilatator pupilae. Uloga mišića irisa je da odredi prečnik zjenice, a time i količinu svjetlosti koja će ući u oko. Stroma je bogato snabdjevena krvnim sudovima i nervnim završcima.

b) Cilijarno tijelo

Cilijarno tijelo (corpus ciliare) izgrađuje središnji sloj zida očne jabučice, u pojasu između irisa i horoidee. To je fibromišićni prsten koji se prostire od korijena irisa do granice sa horoideom (ora serrata). Cilijarni epitel je nastavak slijepog dijela retine. To je dvoslojan kockast epitel. Stroma cilijarnog tijela je građena od rastresitog vezivnog tkiva bogatog pigmentnim ćelijama (melanocitima) pigmentno vezivo. Cilijarni produžeci (processus ciliares) koji su u vidu resica, polaze od prednjeg, neravnog segmenta cilijarnog tijela. Ima ih 70-80 i usmjereni su ka sočivu i staklastom tijelu. Ispunjeni su mnogobrojnim fenestriranim kapilarima okruženim redukovanom stromom. U cilijarnim produžecima stvara se očna vodica (humor aqueus). Od cilijarnih produžetaka prostiru se zonularna vlakna koja se pripajaju za površinu očnog sočiva. To su oksitalanska vlakna koja fonniraju suspenzorni ligament sočiva čija je uloga u akomodaciji oka. Cilijarni mišić gradi najveći dio cilijarnog tijela. Čine ga glatke mišićne ćelije organizovane u tri pravca (meridionalni, radijalni i cirkularni).

c) Horoidea

Horoideu izgrađuje bogato vaskularizovano i inervisano rastresito (pigmentno) vezivno tkivo - stroma, u kojem se nalaze fibroblasti, makrofagi, mastociti, pigmentne ćelije (melanociti), rijetke glatke mišićne ćelije, kolagena i elastična vlakna. Posmatrano od sklere, ona sadrži sljedeće slojeve: suprahoroidnu, vaskularnu, horiokapilarnu i Bruhovu (Bruch) membranu.

3. Unutrašnji sloj očne jabučice – retina

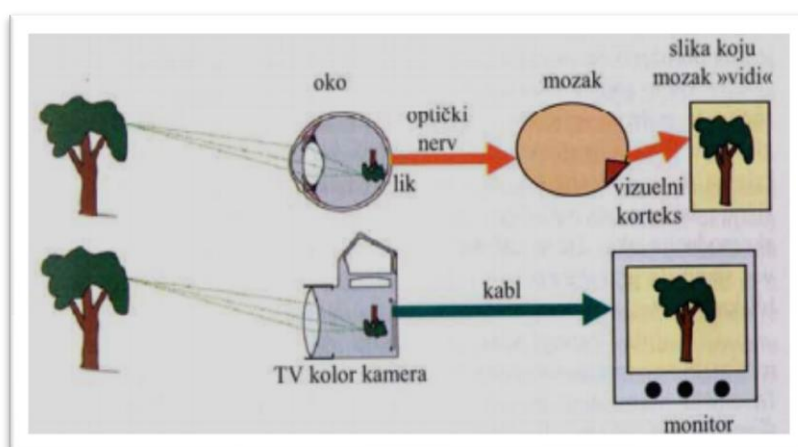
Optički dio retine sastoji se od pigmentnog i nervnog (senzornog) dijela. Pigmentni dio retine je građen od jednog sloja pigmentnih ćelija kockastog oblika. Nervni dio retine čini nekoliko tipova neurona: fotoreceptorni (štapići i čepići), sprovodni (bipolarne i ganglijske ćelije) i asocijativni (horizontalne i amakrine ćelije). Osim neurona, optički dio retine sadrži i neuroglijske - Milerove (Muller) ćelije. Ćelije nervnog dijela retine su razvrstane u tri sloja. U spoljašnjem su štapići i čepići, u srednjem su bipolarni, horizontalni i amakrini neuroni, a u unutrašnjem sloju su ganglijske ćelije. Jedra ovih ćelija su gusto postavljena i formiraju zrnaste (granulozne) slojeve retine. Između granuloznih slojeva nalaze se mrežasti (pleksiformni) svijetliji slojevi vlaknaste strukture, u kojima se aksoni i dendriti neurona spajaju sinapsama, što sve zajedno daje retini slojevit izgled.

2. FIZIKA OKA I VIĐENJA

2.1 Optički sistem oka

Optički sistem oka sa vidnim putevima sličan je kameri sa pridruženim dijelovima. Na slici 3 dat je uporedan šematski prikaz funkcionisanja oka i TV kamere. I jedan i drugi sistem sastoji se iz sljedećih cjelina:

1. Sistem sočiva kroz koje prolaze i prelamaju se svjetlosni zraci;
2. Dijafragma sa uskim kružnim otvorom, odnosno zjenica, koja reguliše količinu primljene svjetlosti;
3. Mračna komora sa negativom, koji u oku predstavlja mrežnjača, koja prima svjetlosne nadražaje;
4. Optički nervi, preko kojih se prenose svjetlosni nadražaji ka vidnim centrima u mozgu; slika koju mozak "vidi" je obrnuta u odnosu na lik predmeta u oku i odgovara realnom predmetu. Kod kamere je to kabl koji povezuje kameru sa monitorom na kome se reprodukuje slika.



Slika 3. Analogija u funkcionisanju oka i kamere

Oko ima dva glavna fokusirajuća dijela: rožnjaču, koja predstavlja providno ispupčenje na prednjoj strani oka i vrši oko dvije trećine fokusiranja, i sočivo koje vrši fino fokusiranje. Rožnjača ima stalan fokus, dok sočivo može mijenjati svoj oblik i samim tim fokusirati objekte na različitim udaljenostima [4].

Rožnjača fokusira prelamanjem svjetlosnih zraka, a ugao prelamanja zavisi od zakrivljenosti njene površine i njenog relativnog indeksa prelamanja prikazanih u Tabeli 1.

Tabela 1. Indeksi prelamanja rožnjače i drugih providnih dijelova oka.

Dio oka	Index prelamanja
Rožnjača	1.376
Očna vodica	1.336
Omotač sočiva	1.380
Centar sočiva	1.410
Staklasto tijelo	1.336

Indeks prelamanja rožnjače je približno konstantan za sve ljude, dok zakrivljenje varira i uglavnom je odgovorno za probleme u vidu. Ukoliko je rožnjača previše zakrivljena oko je kratkovidno, ako nije dovoljno zakrivljena oko je dalekovidno, a ako nije jednako zakrivljena onda je astigmatično.

Očno sočivo mijenja žižnu daljinu promjenom svoje zakrivljenosti. Fokusiranje sočiva je značajno manje od fokusiranja rožnjače zbog toga što je ono okruženo dijelovima koji imaju približan indeks prelamanja.

Očno sočivo okružuju cilijarni mišići. Kada su mišići opušteni očno sočivo je prilično spljošteno te je oko fokusirano na udaljene predmete. Pri gledanju bliskih predmeta cilijarni mišići se stežu i mijenjaju poluprečnik krivine prednje strane sočiva (veća zakrivljenost) i na taj način smanjuju i žižnu daljinu sočiva. Ova promjena oblika ocnog sočiva se naziva akomodacija oka. Žižna daljina sočiva se ne može beskonačno smanjivati, već samo do granice pri kojoj oštro vidimo predmet u tački koja se naziva bliska očna tačka.

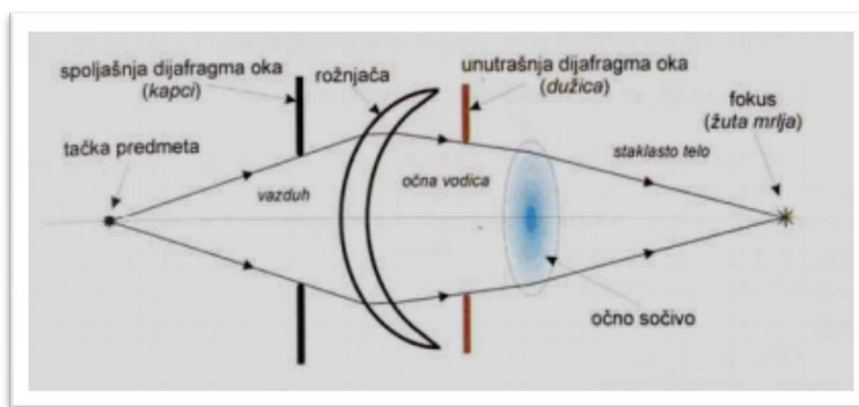
Daljina jasnog vida predstavlja rastojanje na kojem oko sa minimalnim naprežanjem mišića jasno vidi bliske predmete i ona iznosi kod fiziološki normalnog oka 25 cm.

2.1.1. Redukovano oko

Optički sistem oka se u prvoj aproksimaciji može predstaviti pomoću sistema tankih sočiva. Detaljnija analiza, međutim, zahtjeva da se optički sistem oka predstavi što realnije, a to znači kao sistem optički centriranih debelih sočiva. Optički centriran sistem sočiva je sistem kod koga centri svih sočiva leže na jednoj pravoj - glavnoj optičkoj osi. Ose sočiva su u tom slučaju međusobno paralelne i normalne na glavnu optičku osu.

Ovakav sistem će biti *stigmatičan* ako jednoj tački na predmetu odgovara kao lik samo jedna tačka. Ukoliko to nije tako, sistem je *astigmatičan*[4,5].

Oko, dakle, predstavlja složeni centrirani optički sistem koji se sastoji od nekoliko sfernih površina na kojima se prelama svjetlosni zrak. Stigmatični optički sistem oka je prikazan na slici 4.



Slika 4. Šematski prikaz optičkih dijelova slike

Za uprošćenu analizu koristi se tzv. *redukovano oko*. Sistem sočiva se zamjenjuje jednim debelim sočivom indeksa prelamanja 1.41, čija je središnja tačka udaljena 17 mm od žiže F , i mrežnjače. Tačka presjeka glavne optičke ose i mrežnjače definiše drugu žižu $F2$. Ukupna optička jačina oka je 59 dioptriya kada je oko prilagođeno za gledanje u daljinu.

Prednja površina rožnjače doprinosi ukupnoj dioptrijskoj snazi sa 48 dioptrija i to iz tri razloga:

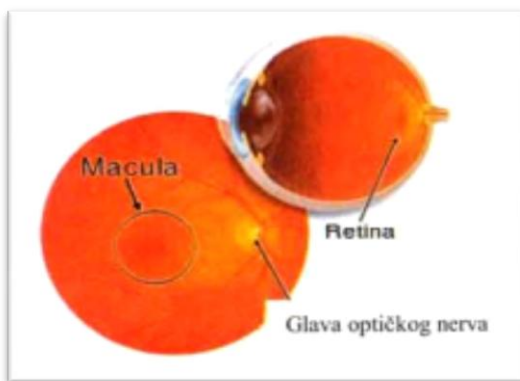
1. indeks prelamanja rožnjače se jako razlikuje od indeksa prelamanja vazduha,
2. rožnjača je u odnosu na očno sočivo udaljenija od mrežnjače i
3. zakrivljenost rožnjače je velika.

Zadnja površina rožnjače je konkavna ali budući da je razlika između indeksa prelamanja očne vodice i rožnjače mala, ona ima optičku jačinu od samo -4 dioptrije, čime se umanjuje ukupna optička jačina oka. Ukoliko bi se očno sočivo nalazilo u vazduhu njegova optička jačina bi bila 150 dioptrija. Međutim, kako je očno sočivo sa obje svoje strane okruženo tečnošću bliskog indeksa prelamanja njegova optička jačina iznosi samo 15 dioptrija. Tako dolazimo konačno do ukupne optičke jačine oka od $48 - 4 + 15 = 59$ dioptrija. Slika koju dobijamo na mrežnjači je obrnuta u odnosu na predmet. Međutim, mi je vidimo u pravom položaju jer je mozak uvježban da obrnutu sliku doživljava kao normalnu[4].

2.1.2. Svjetlosni detektor oka – mrežnjača

Optički dio mrežnjače je jedini dio oka osjetljiv na svjetlost. Njegova uloga je da pretvara svjetlosnu sliku u električne signale, koji preko aksona (dijelova vidnog živca) putuju do mozga. Pretvaranje svjetlosnih u električne signale odvija se u neuroepitelnim ćelijama, koje predstavljaju sastavni dio optičkog dijela mrežnjače.

Optički dio mrežnjače je potpuno providan i ružičaste je boje. Ta boja potiče od specifične supstancije nazvane vidni purpur (rodopsin) koja se nalazi u neuroepitelnim ćelijama. Rodopsin je osjetljiv na svjetlost i na njoj se razara, a u mraku se regeneriše. Uloga mrežnjače je slična ulozi filma u foto-aparatu, sa tom razlikom što se mrežnjača ne mora mijenjati kao film zahvaljujući rodopsinu, koji je posle regeneracije ponovo spreman za učešće u procesu viđenja. Na zadnjem dijelu unutrašnje površine optičkog dijela mrežnjače se razlikuju papila ili kolot optičkog živca i mrlja ili makula.



Slika 5. Položaj optičkog dijela mrežnjače u oku, uvećani dio pokazuje položaj žute mrlje (macula lutea) i papile (macula caeca) na mrežnjači.

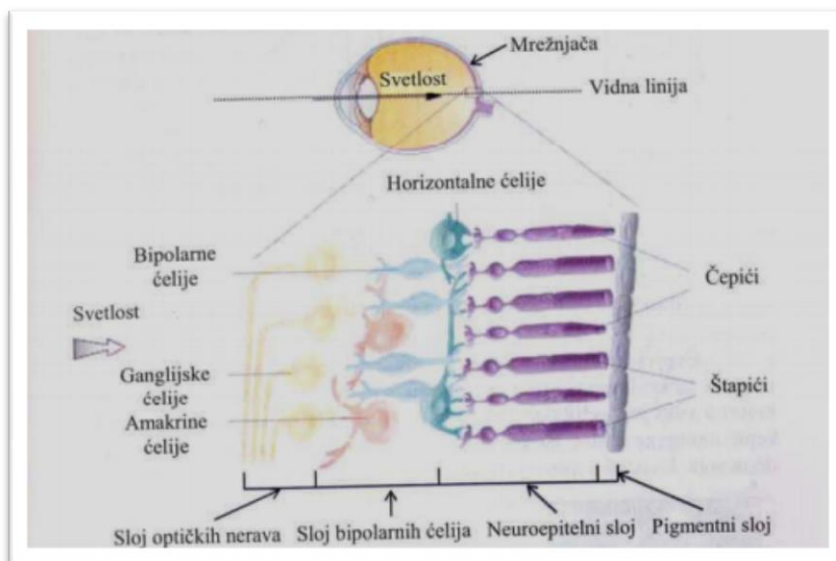
Papila ima oblik okrugle pločice prečnika 1,5 mm. Ona je svijetlija od ostalog dijela mrežnjače. Vlakna optičkog živca, koja dolaze iz svih dijelova mrežnjače, prolaze kroz papilu, a zatim kroz otvore na bionjači i sudovnjači.

Papila nema neuro-epitelijalnih ćelija te je ona u fiziološkom pogledu slijepa mrlja mrežnjače (macula caeca retinae).

Mrlja (Macula lutea) je žućkasta (žuta mrlja) i ima oblik elipse prečnika 1,5-2 mm. Njen srednji dio je izdubljen u tzv. centralnu jamicu (fovea centralis). To je tačka najjasnijeg vida kroz koju prolazi zadnji kraj vidne linije.

Optički dio mrežnjače se sastoji iz tri osnovna sloja:

1. neuroepitelni sloj u kome se nalaze dva tipa epitelnih ćelija - čepići i štapići, osjetljivi na intenzitet i talasnu dužinu svjetlosti;
2. ganglionski sloj sastavljen od nervnih bipolarnih ćelija
3. ganglionski sloj optičkog nerva koji se sastoji iz jednog reda krupnih ganglijskih ćelija na koje se nastavljaju optički nervi. Ova tri sloja se međusobno spajaju i obrazuju neuronske optičke puteve.



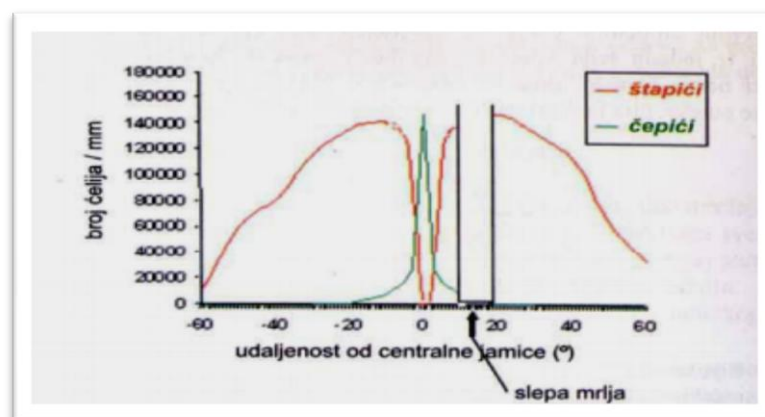
Slika 6. Detaljna struktura tri sloja optičkog dijela mrežnjače.

Slika je preuzeta sa sajta www.soma.npa.uiuc.edu

U prvom sloju optičkog dijela mrežnjače postoje dva tipa fotoreceptora: čepići i štapići. Oni se ne nalaze na samoj površini, tako da svjetlost mora da prođe nekoliko slojeva nervnog tkiva da bi došla do njih.

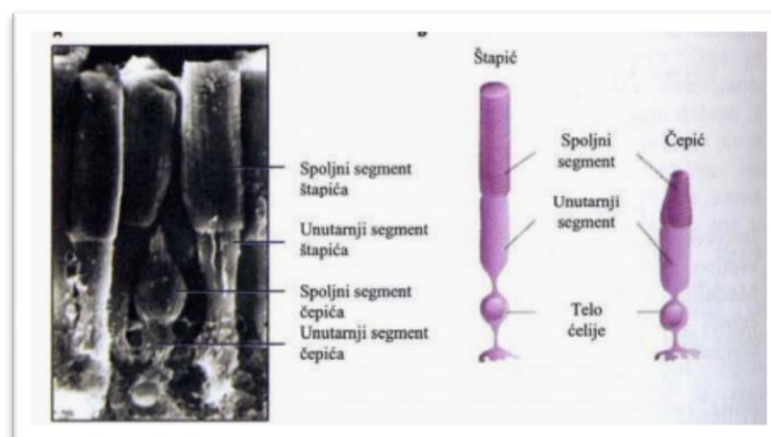
Međutim, u centralnoj jamici su unutrašnji slojevi toliko tanki da su tu čepići i štapići maksimalno izloženi svjetlosnom snopu. Zbog toga je centralna jamica mjesto najjasnijeg vida.

Štapići i čepići su simetrično raspoređeni u svim pravcima od vidne linije, osim u slijepoj mrlji. Njihova distribucija je različita. U samom centru - centralnoj jamici nalaze se samo čepići u velikom broju, da bi se sa udaljavanjem od centra njihov broj drastično smanjivao. Slijepa mrlja se nalazi između 10° i 20° od centra u pravcu spoljnog dijela oka.



Slika 7. Distribucija čepića i štapića u oku; vidna linija je na 0°.

Čepići (u oku ih ima oko 7 miliona) se nalaze u velikom broju u predjelu tačke jasnog vida i odgovorni su za dnevno (fotopično) viđenje, kolorno viđenje i veliku oštrinu vida. Oštrina vida se postiže tako, što svaki čepić unutar centralne jamice šalje informacije posebnim nervnim vlaknom do mozga. U ostatku mrežnjače nekoliko čepića dijeli isto nervno vlakno.



Slika 8. Izgled štapića i čepića pod mikroskopom (A); šematski prikaz (B).

Slika je preuzeta sa sajta www.soma.npa.uiuc.edu

Čepići i štapići nisu jednako osjetljivi na sve talasne dužine. Maksimum osjetljivosti čepića je na oko 550 nm u žuto-zelenoj oblasti, dok su štapići najosjetljiviji na talasne dužine svjetlosti od 500 nm. Na slici prikazan je grafik zavisnosti osjetljivosti čepića i štapića na različite talasne dužine svjetlosti[4].

Štapići (u oku ih ima 120 miliona) su osjetljivi na svjetlost niskog intenziteta, te služe za noćno viđenje i za periferni vid. Stotine štapića šalju informacije istim nervnim vlaknom, čime je znatno umanjena mogućnost razdvajanja dva bliska svjetlosna izvora perifernim vidom. Međutim, njihova rasprostranjenost i osjetljivost nam omogućava da primjećujemo i objekte sa strane kada gledamo naprijed.

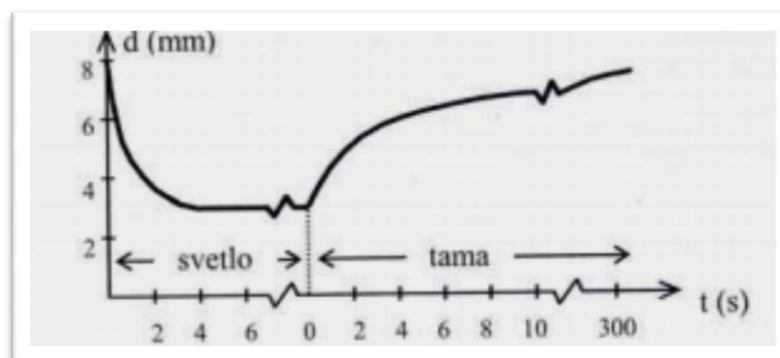
I čepići i štapići imaju u sebi hemijsku supstancu koja se razgrađuje kada se izlaže svjetlu i pri tome nadražuje nerve koji izlaze iz oka. Hemijska supstanca koja se nalazi u štapićima je rodopsin, a hemijske supstance koje se nalaze u čepićima se neznatno razlikuju po svojoj strukturi od rodopsina.

Spoljni dio štapića koji se nalazi u pigmentnom sloju mrežnjače sadrži rodopsin približno u koncentraciji od 40%. Kada rodopsin apsorbuje svjetlosnu energiju, odmah se počinje raspadati smanjujući propustljivost membrane za natrijumove jone.

2.1.3. Funkcija zjenice i adaptacija oka na mrak

Zjenica predstavlja otvor u centru dužice gdje svjetlosni zraci prolaze do očnog sočiva. Ona izgleda crna zato što se sva svjetlost koja ulazi apsorbuje u unutrašnjosti oka. Pri svjetlosti srednjeg intenziteta zjenica je otvorena 4 mm u prečniku.

Osnovni zadatak zjenice jeste da poveća količinu svjetlosti koja ulazi u oko u mraku, odnosno da je pri jakoj svjetlosti smanji. Količina svjetlosti koja ulazi u oko srazmjerna je površini otvora zjenice odnosno kvadratu poluprečnika otvora zjenice.



Slika 9. Promjena otvora zjenice u zavisnosti od intenziteta svjetlosti; d-dijametar zjenice.

Zjenica se može smanjiti na približno 1,5 mm ili povećati čak na 8 mm prečniku.

Na taj način se količina svjetlosti koja ulazi u oko može promijeniti promjenom otvora zjenice.

Otvor zjenice se ne mijenja trenutno na promjenu intenziteta svjetlosti. Oko 300 sekundi joj je potrebno da se potpuno otvori, a oko 5 sekundi da se zatvori koliko je to moguće.

Na taj način zjenica pomaže oku povećavanjem i smanjivanjem količine svjetlosti koja stiže na mrežnjaču, dok se ona ne prilagodi novim svjetlosnim uslovima.

Oko nema visoku osjetljivost za svjetlost niskog intenziteta. Ako se intenzitet svjetlosti iznenada smanji 1000 puta, naćićemo se u potpunom mraku, međutim, nakon par minuta počinjemo da vidimo brojne detalje. Ova adaptacija na mrak ustvari predstavlja vremenski interval potreban da se poveća zaliha fotoosjetljive supstancije u fotoreceptorima, čime se oko prilagođava novonastalim uslovima.

Čepići se brže prilagođavaju, oko 5 minuta je potrebno da centralna jamica dostigne svoju najveću osjetljivost. Štapići se prilagođavaju između 30 i 60 minuta, mada se veći dio procesa adaptacije odigra u prvih 15 minuta[4].

2.1.4. Interakcija fotona i receptora

Eksperimenti vršeni sredinom prošlog vijeka pokazali su da se interakcija između fotona i fotoreceptora (čepića i štapića) odigrava tako, da jedan foton aktivira jedan fotoreceptor pod uslovom da ima dovoljnu energiju. Energija svjetlosnih fotona mora biti veća od neke minimalne energije. Na osnovu eksperimenata je utvrđeno da najmanja vrijednost energije fotona potrebna za aktivaciju fotoreceptora iznosi 3 eV.

Infracrveni fotoni nemaju dovoljnu energiju za izazivanje fotohemijske reakcije pa ih zato ne vidimo, dok ultraljubičasti fotoni imaju dovoljnu energiju ali bivaju apsorbovani prije nego što dođu do mrežnjače, te je i ultraljubičasta svjetlost takođe nevidljiva.

Međutim, neće svi fotoni koji uđu u oko i posjeduju dovoljnu energiju aktivacije interagovati sa fotoreceptorima. Od 90 takvih fotona koji su ušli u oko, samo će se 10 apsorbovati u fotoreceptorima. Šta se dešava sa ostalima? Oko 3% fotona će se reflektovati sa površine rožnjače; narednih 50% će biti apsorbovani od raznih struktura oka.

Od onih fotona koji stignu do retine samo će 20% (odnosno, oko 10% od početnog broja) biti apsorbirano od strane fotoreceptora, dok će ostali biti apsorbirani u sloju retine koji se nalazi iza fotoreceptora i oni će biti izgubljeni za proces viđenja.

Neke od životinja (mačka, na primjer) imaju refleksioni sloj iza fotoreceptora. Fotoni koji su se reflektovali sa ovog sloja mogu u povratku da reaguju sa fotoreceptorima, zbog čega oči takvih životinja svijetle u mraku.

Ako već postoji opisana jednostruka interakcija između fotona i fotoreceptora, može se postaviti pitanje zašto oko ne vidi jedan foton? Glavni razlog je električni fon, koji se javlja kao posljedica nasumične aktivacije fotoreceptora u retini. Svaki štapić šalje tako generisan električni signal u prosjeku svakih 5 minuta, dok se kod čepića to još češće dešava.

2.1.5. Difrakcioni efekti oka

Svi svjetlosni talasi podliježu difrakciji ako prolaze kroz male otvore. Pri normalno otvorenoj zjenici (~ 4 mm) ovaj fenomen nema praktične posljedice pri dnevnom viđenju. Međutim, ako zjenica postane manja, na primjer 1 mm, difrakcija prouzrokuje mjerljiv uticaj na očnu rezoluciju u smislu njenog smanjenja. Ovo se može demonstrirati čitanjem Snelovog dijagrama kroz rupicu dijametra 1 mm. U tom slučaju očitavanje sitnijih slova je znatno teže jer se smanjuje očna rezolucija.

Sva sočiva imaju aberaciju kao nedostatak. Efekti aberacije se mogu smanjiti ako se ispred oka stavi što manja dijafragma. U oku manji otvor zjenice povećava očnu rezoluciju. Međutim, što je manji otvor zjenice jači su difrakcioni efekti. Iz tog razloga određena je optimalna širina zjenice; ona iznosi 3 - 4 mm pri dobrom osvetljenju.

2.2. Optički nedostaci oka

Normalno građeno oko (emetropno oko) podrazumjeva da se svjetlosni zraci, koji dolaze iz daljine, prelamaju i sijeku u samoj žutoj mrlji bez učešća akomodacije. Najdalja tačka jasnog vida (punctum remotum – por.) nalazi se u beskonačnosti.

Najbliža tačka jasnog vida (punctum proximum - p.p.) nalazi se ispred oka na daljini oko 25 cm, na kojoj oko sa minimalnim naprežanjem mišića jasno vidi bliske predmete. Veličina oka, tačnije rečeno prednje - zadnji dijametar kod emetropnog oka iznosi 24 mm.

Kako je u prirodi malo idealnih rješenja, logično je očekivati da se u cjelokupnoj populaciji nađe i određen broj osoba sa refrakcionim greškama, U tom slučaju govorimo o optičkim nedostacima oka, odnosno o ametropnom oku.

Najznačajniji optički nedostaci oka, koji se jednim imenom nazivaju ametropija, su:

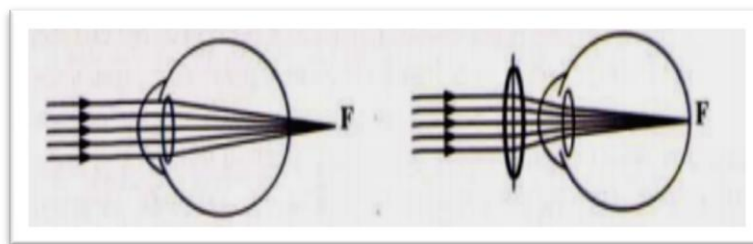
- kratkovidost (myopia);
- dalekovidost (hyperopia s. hypermetropia);
- astigmatizam (astigmatismus);
- prezbiopija (presbyopia).

2.2.1. Dalekovidnost

Dalekovidost je refrakciona mana, kod koje se paralelni svjetlosni zraci, koji dolaze iz daljine fokusiraju iza mrežnjače bez učešća akomodacije. Najdalja tačka jasnog vida kod hipermetropa realno ne postoji, pošto oni ne vide dobro ni na kom rastojanju. Najbliža tačka jasnog vida je udaljenija od oka u odnosu na emetropa iste starosti za veličinu hipermetropije, Ta daljina se obično povećava na 40 - 60 cm. Da bi se vidjeli bliski predmeti, sočivo bi trebalo još da se spljošti, što zbog smanjene sposobnosti akomodacije nije moguće.

Hiperopija se dijeli na: aksijalnu hiperopiju; prelomnu hiperopiju.

Najčešći uzrok dalekovidosti je prekratka očna jabučica. Ova refrakciona anomalija ponekad nastaje i zbog toga, što je sistem očnih sočiva preslab u stanju potpune opuštenosti cilijarnog mišića (*musculus ciliaris*), koji je dobro razvijen i pod stalnim je tonusom. Kod ovih osoba akt akomodacije je stalno uključen.



Slika 10. Šematski prikaz hiperopije i njena korekcija

2.2.2. Kratkovidnost

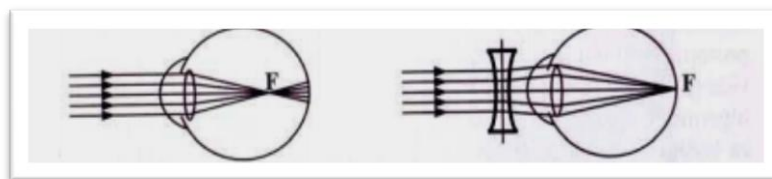
Kratkovidost je refrakciona anomalija, kod koje se paralelni svjetlosni zraci, koji dolaze iz daljine, poslije prelamanja kroz rožnjaču i sočivo, fokusiraju prije mrežnjače u staklastom tijelu i dospjevši iza fokusa u stanje divergencije, stvaraju na mrežnjači rasipne krugove. To znači da se lik udaljenih predmeta ne fokusira na receptorskom mjestu. Kratkovide osobe ne vide jasno na daljinu. Kako se paralelni svjetlosni zraci koji dolaze iz daljine sijeku prije mrežnjače, jasno je da će svjetlosni zraci, koji dolaze sa bliskih predmeta na rožnjaču u divergentnom položaju, poslije prelamanja kroz optički sistem oka biti, bez učešća akomodacije, fokusirani na žutoj mrlji. Miopi na tom rastojanju jasno vide bez učešća akomodacije. Najbliža tačka jasnog vida (p.p.) nalazi se bliže oku, nego kod osobe normalno građenog oka istih godina starosti.

Prema tome da li je uzrok kratkovidosti veće oko (prednje - zadnji dijametar veći od 24 mm) ili je prejak prelomni sistem rožnjača - sočivo, miopija se dijeli na: aksijalnu miopiju; prelomnu miopiju.

U kliničkoj praksi se mnogo češće javljaju oblici aksijalne miopije, odnosno ima više osoba, kod kojih je tokom razvoja oka došlo do njegovog rasta preko 24 mm.

Kako je oko precizan optički sistem u uslovima kada prelomna moć ostaje nepromijenjena, svaki milimetar rasta preko normale manifestuje se kao miopija od 2,5 D. Prema jačini dioptrijske greške miopija se može podijeliti na malu miopiju do - 3 D, srednju miopiju do - 6 D i veliku miopiju - 7 D i više. Mnogo je značajnija podjela miopije prema kliničkoj slici, kada se dijeli na benignu miopiju i malignu miopiju.

Noćna miopija je promjena refrakcije za - 0,5 do - 4 D u uslovima noćnog vida.



Slika 11. Šematski prikaz miopije i njena korekcija.

- Uzroci nastanka miopije.

Nasljedni faktor, uslovi života i rada utiču na učestalost pojave miopije u cjelokupnoj populaciji: u gradskim sredinama je miopa znatno više nego u seoskim, broj miopa na teškim školama i fakultetima dostiže i trećinu svih studenata. Kratkovide osobe mogu i treba da čitaju i rade na kompjuteru koliko to njihov posao ili interesovanje nalaže, uz optimalnu korekciju miopije, osvjetljenosti radnog mjesta, položaja glave i tijela.

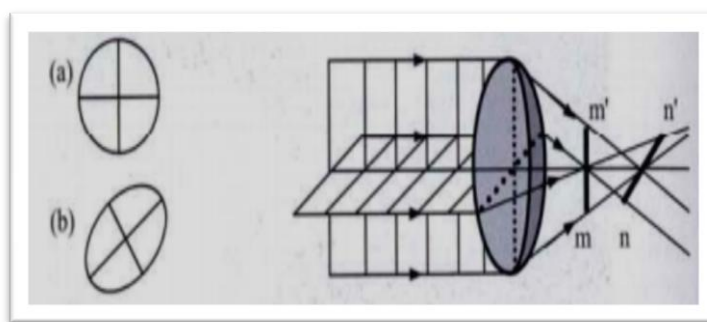
- Korekcija miopije.

Miopija se koriguje pomoću rasipnih sočiva odgovarajuće žižne daljine. Paralelni snop svjetlosnih zraka će se pri prolasku kroz rasipno sočivo raširiti, čime će se tačka presjeka – fokus snopa po prolasku kroz očno sočivo pomjeriti ka žutoj mrlji. Visoke miopije se uspješno koriguju kontaktnim sočivima, dok su kod manjeg broja miopa indikovani i hirurški zahvati[4,5].

2.2.3. Astigmatizam

Astigmatizam je nedostatak, koji može biti vezan za optičko sočivo - to je fizički astigmatizam ili za ljudsko oko - to je fiziološki astigmatizam.

Za razliku od kratkovidosti i dalekovidosti, kada se lik posmatranog predmeta stvara u jednoj tački ispred ili iza žute mrlje, kod astigmatizma postoje složeni optički odnosi: nema jedne žiže, već dve žižne linije - glavni meridijani. Glavni meridijani su uzajamno normalne ravni, u kojima poluprečnici krivina rožnjače imaju najveću i najmanju vrijednost.



Slika 12. Presjek rožnjače za normalno (a) i astigmatično oko(b) i šematski prikaz fiziološkog astigmatizma

Astigmatizmi se dijele na:

- direktni astigmatizam - jače prelama vertikalni meridijan;
- inverzni astigmatizam - jače prelama horizontalni meridijan;
- kosi astigmatizam, kod koga je pravac glavnih meridijana kos.

Uzroci nastanka astigmatizma su mnogostruki i još uvijek nedovoljno jasni. Nasljedni faktor igra nesumnjivu ulogu u prenosu osobina neophodnih da se razvije ova vrsta refrakcione anomalije. Nedovoljno usklađen razvoj fibroznog ili spoljnog omotača oka, zatim položaja i oblika sočiva predstavljaju osnovu za nastanak i razvoj astigmatizma. Anomalije razvoja zadnjeg pola oka takođe su praćene astigmatizmom. Dokazano je da mehanički faktori imaju uticaj: pritisak kapaka, kao i djelovanje intraokularnog pritiska.

Astigmatizam oka se veoma često javlja. Najveći dio astigmatizama javlja se u kombinaciji sa hiperopijom, odnosno miopijom (složeni astigmatizam - oko 80%). Samo oko 20% svih astigmatizma pripada jednostavnim ili mješovitim oblicima.

Složeni miopni astigmatizam je najčešći oblik astigmatizma i kod ovih osoba se takođe najčešće konstatuju i inverzni položaji glavnih meridijana. Ovu činjenicu objašnjavaju osobine građe spoljašnjeg ili fibroznog omotača kratkovidog oka i uticaji okolnih struktura na oko.

U toku života se astigmatizam jedne iste osobe može mijenjati. Ne samo da se povećava razlika u prelamanju glavnih meridijana, već može da dođe i do promjene njihovog položaja.

Astigmatizam se nešto češće javlja kod osoba ženskog pola - odnos je 6:4.

Korekcija mješovitog i složenog astigmatizma se vrši pomoću sferocilindričnih sočiva. Ova sočiva se postavljaju pod odgovarajućim uglom sa cilindričnim dijelom u pravcu daljih fokalnih linija. Ukoliko je astigmatizam veoma izražen, zadovoljavajuća korekcija se postiže kontaktnim sočivima. Nekad se ovaj problem rješava hirurškim putem.

3. ULTRAZVUČNA BIOMIKROSKOPIJA

3.1. Historija razvoja

Ultrazvuk biomikroskopijom (UBM) prvi put je razvila grupa u Kanadi prije nešto više od 10 godina [6] jer može pružiti slike tkiva i strukture in vivo na mikroskopskoj rezoluciji, slično optičkoj biomikroskopiji. Najčešće korištena frekvencija oftalmološkog dijagnostičkog ultrazvuka je 10 MHz, a UBM koristi ultrazvučne talase frekvencije u rasponu od 50 do 100 MHz, omogućujući preglede ispod površine tkiva oka na vrlo visokoj rezoluciji. UBM se pokazao kao kvalitetno rješenje pri postupku ocrtavanja različitih patologija oka: spojnice, sclere, kornee, prednje očne komore i mrežnice. Međutim, njegov glavni doprinos se ogleda u razumijevanju strukture prednjeg segmenta oka, posebice u glaukoma.

3.2. Fizikalni principi UBM

U skladu s načelima ultrazvučne fizike, kvaliteta slike ovisi o frekvenciji ultrazvuka, omjeru fokalne leće u odnosu na promjer sonde (f-broj) i dužine pulsa. Veća frekvencija i kraće žarišne dužine obično su povezane s većom rezolucijom slika. Na primjer, uređaj s visokom frekvencijom (80 MHz) i kratkom fokalnom dužinom (1,2 mm), može dati vrlo ostru sliku rožnice, prikaz epitelnog sloja na 50 mikrona rezolucije, iako dublje strukture rožnice nisu jasno prikazane.

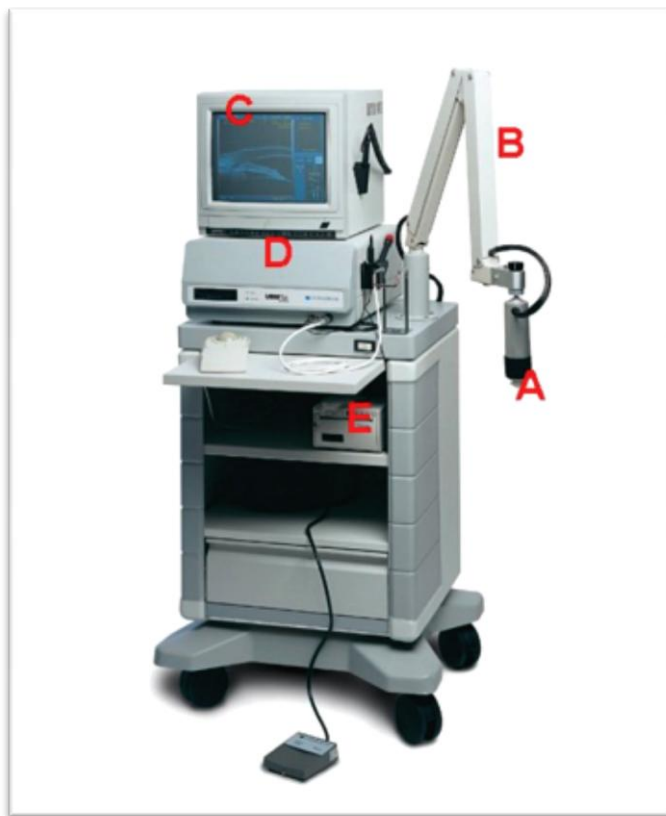
Tačnost snimanja sistema ovisi o bočnoj i aksijalnoj rezoluciji, stabilnosti mehaničkog kretanja i veličini piksela slike. Lateralna rezolucija (poprečno na smjer širenja pulsa) ovisi o raspodjeli ultrazvuka u području sonde. Sonda od 80 MHz i f 2.2 ima lošiju rezoluciju. Aksijalna tačnost (rezolucija) određena je brzinom zvuka u raznim tkivima, na primjer, 1542 m/s u šarenici, do 1620 m/s u skleri. Dva pojma opisuju aksijalnu tačnost: „Aksijalna rezolucija instrumenta” i „mjerna preciznost”.

Aksijalna rezolucija instrumenta je sposobnost instrumenta da razlikuje dvije površine koje su sve bliže i bliže.

Mjerna preciznost možda je bolja od aksijalne rezolucije instrumenta u nekim posebnim uvjetima, kao kada su dvije ravanske površine dobro postavljene i paralelne, npr prednje i stražnje površine rožnice.

3.2.1. Razvoj i karakteristike UBM uređaja

Prvi klinički model i prototip UBM uređaja razvijen je krajem 1980-ih, a prve kliničke slike snimljene su u martu 1990 godine. U saradnji s Pavlinom, Zeiss-Humphrey Inc. (San Leandro, CA, USA) razvio je prvi komercijalni model (Model 840) UBM-a 1994. Najnoviji model (Slika. 13) je radna stanica P60 (Paradigma Ins. US), a razvijen je i dodatni softver za analizu slike.



Slika 13. UBM-P45 radna stanica (Paradigm Medical Industries, UT, SAD). A: Ultrazvučni pretvarač i sonda; B: Zglobna ruka; C: Monitor; D: Centralna procesorska jedinica; E: Printer.

Razvoj UBM opreme omogućio je napredovanje u visokofrekventnoj obradi signala i razvoju precizne tehnologije upravljanja kretanjem. Glavne komponente UBM-a prikazane su na slici 13. Pretvarač je kritična komponenta. Pomicanjem pretvarača linearno preko 5 mm polja slike, sonografski podaci generiraju se uz svaki od 512 linije (8 mikrona između linija) (Slika 14).

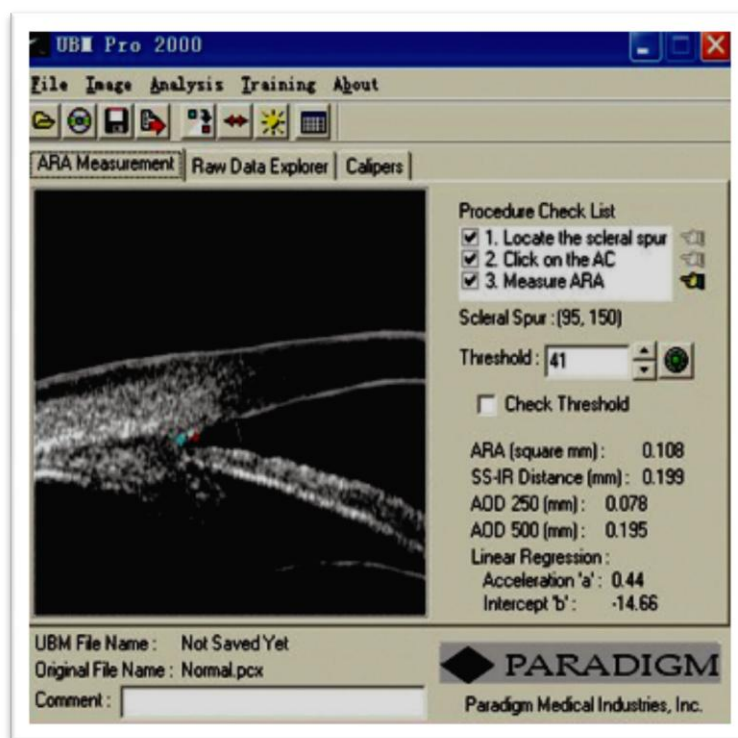


Slika 14. Ilustracija glavnih anatomskih orijentacija na UBM slikama. (C: Cornea; AC: Prednja komora; S: skleralni potpor; CB: Cilijarno tijelo ; PC: zadnja komora; LC: Kapsula leće; L: Objektiv). Crna strelica prikazuje najvažniju orijentaciju za mjerenje ugla

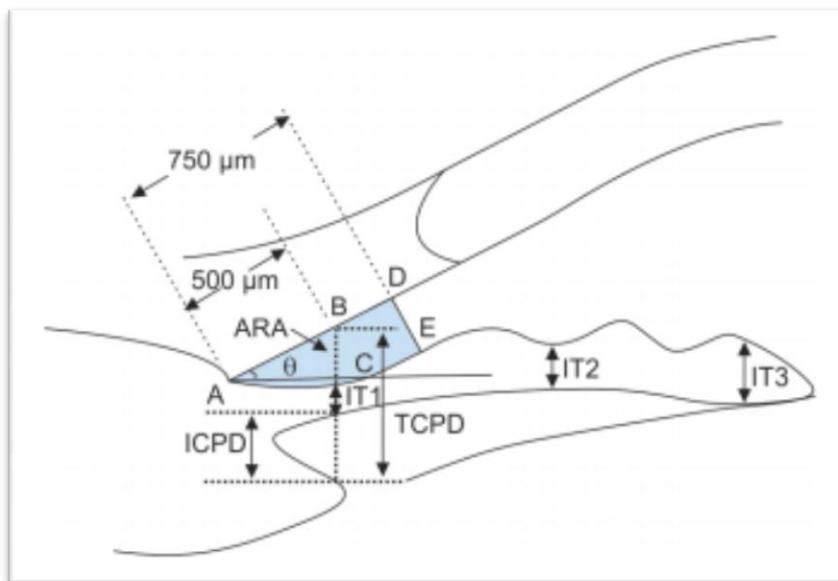
Signal se pojačava srazmjerno dubini iz koje je nastao. Nakon obrade signala, podaci ultrazvuka mogu se pretvoriti iz analognog u digitalni format, prebaciti u pretvarač za velike brzine, i na kraju prikazati na monitoru. U prototipnim modelima frekventijski raspon od 50 do 80 MHz sa izabranim vidnim poljem dimenzija 4×4 mm može dati koristan kompromis koji omogućava sve važne strukture.

3.2.2. Tehnike ispitivanja

UBM tehnika ispitivanja slična je B-modu ultrazvuka. Smjer pretvarača i manipulacija sonde se vidi gledanjem slike na ekranu. Glavne razlike uključuju oscilirajuću sondu bez prekrivanja, upotreba vodene kupelji te potreba za što sitnijim pokretima. Pacijent se pregleda u ležećem položaju okrenutom prema plafonu. Nakon topične anestezije, posebno dizajniran okular za oči (promjera 22 do 24 mm) koristi se za odvajanje kapka i formira se okruženje za vodenu kupelj. Ona je ispunjena viskoznom, sono-sjajnom tečnošću za spajanje poput metilceluloze (1-2,5%). Neki ispitivači koriste normalnu fiziološku otopinu. Slike se čuvaju u elektronskom obliku na računaru priključenom na uređaj (Slika 15.). UBM slikovne datoteke su u formatu koji nije kompatibilan sa komercijalno dostupnim softverima za obradu slika. Ime i prezime pacijenta, datum pregleda i lateralnost oka pohranjuje se u zasebnu datoteku. Pregled slika i izvođenje mjerenja na slikama mora biti na UBM računarskoj jedinici.



Slika 15. Slika na ekranu iz softverskog paketa UBM Pro 2000



Slika 16. Parametri koji se obično koriste za analizu slike UBM-a. ARA: Ugaono udubljenje na udaljenosti od 750 mikrona prema skleralnom potporu; IT1-3: Debljina šarenice na različitim mjestima do skleralnog poticaja; TCPD: Trabekularna udaljenost cilijarnog procesa; ICPD: Udaljenost cilijarnog procesa šarenice

3.2.3. Tehnike mjerenja rožnice

❖ KVANTITATIVNO MJERENJE

UBM se pokazala kao veoma dobra metoda u istraživanju uglova zatvaranja. Radijalno orijentisane slike kroz limbus pružaju poprečni presjek ugla prednje komore.

Može se razlikovati korneoskleralni spoj i skleralni potpor u većini slučajeva. Kvantitativna analiza ugaone anatomije zavisi od njene tačne lokalizacije. Međutim, u većini slučajeva UBM ispitivanje koristi se za kvalitativne analize, poput potvrde uglova zatvaranja, postojanja rotacija cilijarnog tijela ili za prepoznavanje ostalih abnormalnosti cilijarnog tijela.

Kvantitativna analiza geometrijskog ugla širina se obično koristi samo kao alat za istraživanje.

❖ ŠIRINA UGLA KVANTIFIKOVANA LINEARNIM RASTOJANJEM

Najčešće korišteni indeks ugaone širine je ugao-rastojanja otvaranja (AOD). Identificiran je skleralni poticaj i tačka na unutrašnjem zidu korneoskleralne ravni, a s obzirom na udaljenost od skleralnog poticaja (najčešće ili 250 ili 500 mikrona).

❖ ŠIRINA UGLA PREMA STEPENIMA

Mjerenje ugla u stepenima (ugao trabekularne šarenice, TIA θ 1) je također predložio Pavlin, definirajući ugao kao vrh linija koje prolaze kroz tačku na mreži 500 mikrona prema skleralnom poticaju i tački na irisu okomito suprotno. Međutim, mjerenje ugla korištenjem ove metode bilo je problematično i smatralo se da ima ograničenu valjanost zbog nepravilne konture šarenice.

❖ ŠIRINA UGLA PREMA PODRUČJU UDUBLJENJA

Ritch-ova grupa u New Yorku dodatno je proučila mjerenje ugla prednje očne komore. Shvatajući da se sve varijacije u anatomiji ugla ne mogu sažeti niti jednom mjerom, Ishikawa je razvio parametar nazvan ugao područja udubljenja (ARA) [7].

ARA je bila definirana kao područje omeđeno prednjom površinom šarenice, rožnicom endotela i linijom okomito na ravninu rožnice, endotelom uvučenim na površinu šarenice iz tačke 750 mikrona prema skleralnom poticaju. (Slika 16.)

❖ MJERENJE KONTURE ŠARENICE, DEBLJINE I RELATIVNE KOREKCIJE POVEZANE SA CILIJARNIM TIJELOM

Odnos šarenice i trabekularne mreže je glavno za razumijevanje zatvaranja ugla. Jasno, varijacije u debljini i obliku šarenice su vodeće varijable koje određuju prirodu ovog odnosa. U proučavanju sindroma disperzije pigmenta, Potash je opisao indeks konkavnosti šarenice [8]. Linija se prvo protezala od najudaljenije tačke do najviše središnje tačke iris pigmentnog epitela.

Perpendikularna linija je stvorena od ove linije do tačke pigmenta irisa najveće konkavnosti ili konveksnosti. Pavlin i drugi predložili su da ta debljina šarenice bude mjerena na tri lokacije, okomito na vodoravne ravnine šarenice, mjerenja debljine napravljena su na 500 mikrona od skleralnog poticaja (IT1), na 2 mm iz korijena irisa (IT2) i pri maksimalnoj debljini irisa blizu granice zjenice (IT3). (Slika 16.)

Kako bi opisao mjesto cilijarnih procesa, Pavlin je upotrijebio udaljenost cilijarnog procesa trabekularne mreže (TCPD), mjereći to okomito kroz šarenicu prema suprotnom tijelu cilijarnog procesa od tačke 500 mikrona prema skleralnom poticaju duž ravnine endotela rožnice. Udaljenost za kontaktnu leću s irisom (ILCD) je još jedno mjerenje za koje se vjeruje da mjeri mjeru zjenice. Mjeri se duž epitela pigmenta šarenice od granice zjenice do tačke gdje šarenica fizički ostavlja kontakt s prednjom površinom sočiva. Ishikawa je pregledao i ilustrirao većinu ovih mjerenja UBM-a koje je Pavlin predložio. (Slika 16.)

Varijacija u UBM mjerenju ovisi o snimanju slike, analizi slike i fiziološkoj varijabilnosti ugaonih struktura. Varijacije u fazi snimanja slike javljaju se uglavnom kao rezultat nedosljednosti usklađivanja, neuspjeha u kontroli smještaja i osvjetljenja sobe.

4. MATERIJALI I METODE RADA

4.1. Ultrazvučna biomikroskopija

Ultrazvučna biomikroskopija (UBM) je neinvazivna dijagnostička procedura koja omogućava prikaz presjeka cijelog prednjeg segmenta oka s detaljima koji dosad nisu bili vidljivi klasičnim ultrazvukom[9-11]. UBM-om se mogu utvrditi uzroci akutnog glaukoma, otkriti teško dostupni tumori, upale i povrede u tom dijelu oka. Neophodna je za dijagnostiku svih vrsta tumora i cista. Ona nam pomaže da razlikujemo benigne od malignih promjena. Pomoću nje možemo pratiti da li se one uvećavaju, smanjuju i kada je vrijeme za hirurški tretman.

Ultrazvučnu biomikroskopiju (UBM) izvodi ljekar specijalista oftalmolog ili ljekar na specijalizaciji uz superviziju lekara specijaliste i asistenciju medicinske sestre-tehničara. Ultrazvučna biomikroskopija (UBM) je neinvazivna dijagnostička procedura koja omogućava između ostalog: mjerenja debljine rožnice, dubine prednje očne komore i širine komornog ugla. To je postupak u kojem se visokfrekventni zvučni talasi (ultrazvuk) odbijaju od unutrašnjih tkiva oka i stvaraju odjek. Kapi za oči se koriste za površinsku anesteziju oka, a mala sonda koja šalje i prima zvučne talase nježno se stavlja na površinu oka. Odjeci čine detaljniju sliku oka nego običan ultrazvuk.

Prije izvođenja pregleda putem ultrazvučne biomikroskopije medicinski tehničar treba pripremiti:

- Prostoriju,
- Pacijenta,
- Aparat.

Ultrazvučna biomikroskopija oka vrši se u kabinetu za UBM oka, koji je opremljen potrebnim aparatom za izvođenje ove procedure. Pregled se izvodi na jednom aparatu putem posebne sonde (Slika.17.). Pacijenta je potrebno smjestiti u ležeći položaj. Ljekar će pacijenta upoznati sa procedurom i potrebom njenog izvođenja.

Nakon toga pacijentu se ukapava anestezija na očnu jabučicu. UBM metodom, ploča sonde je u kontaktu s površinom oka, a medij između sonde i oka predstavlja suza. Oftalmolog jednom rukom kontroliše pokrete sonde (Slika 18.).

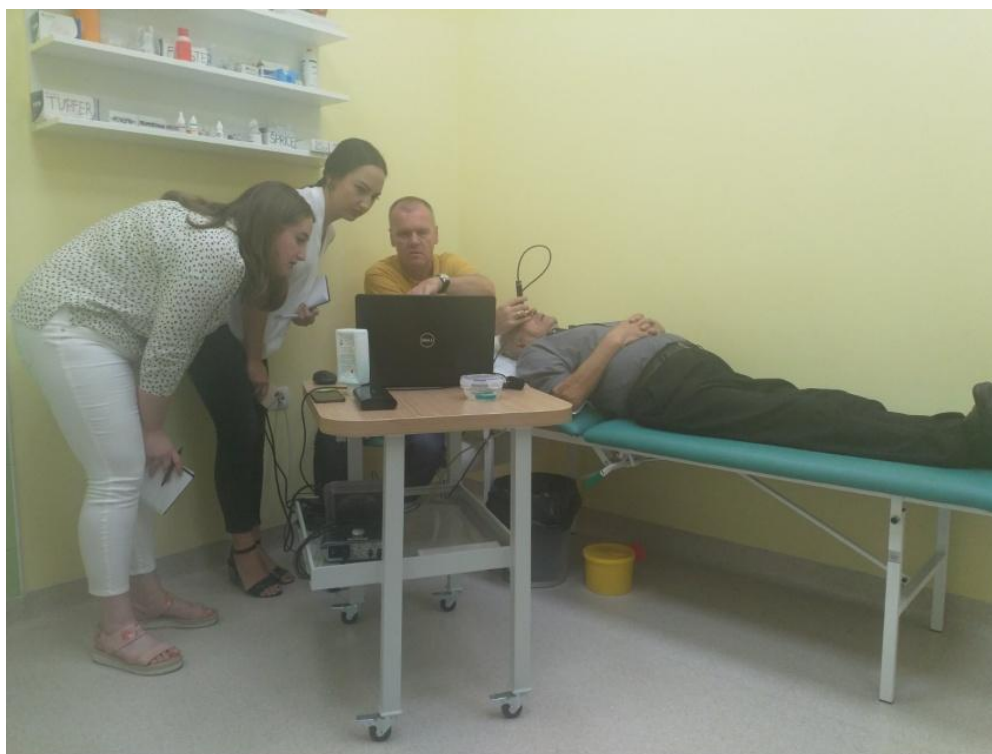
Za ispitivanje se koriste senzori s frekvencijom od 50 MHz. B - sonda je namijenjena za stražnji dio oka, dok je A – sonda za aksijalnu dužinu oka. Drugom rukom prati digitalnu obradu signala odjeka koji uređaj prima.

U posebnom profesionalnom softveru oftalmolog ima priliku analizirati informacije dobijene i tokom pregleda i nakon njega (Slika 19.).

Na osnovu odjeka vidi stanje očne jabučice i donosi svoje mišljenje. Informacije koje se prikazuju na računaru temelje se na analizi podataka iz piezoelektričnog elementa digitalne sonde.

Struktura očnih jabučica ima drugačiji izgled u akustičnom smislu.

Kada ultrazvučni talas dođe na granicu između dva područja, dolazi do procesa refleksije i refrakcije. Na osnovu podataka o refleksiji oftalmolog zaključuje da li postoji patoloških promjena u strukturi očne jabučice.



Slika 17. Prikaz ultrazvučne biomikroskopije oka.



Slika 18. Oftamolog vrši pregled oka pomoću UBM sonde.



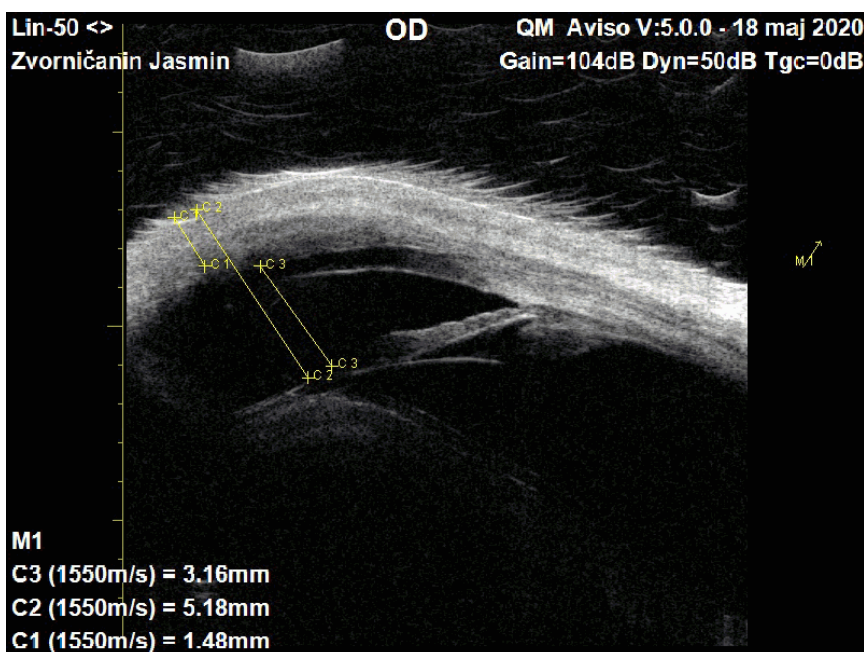
Slika 19. Klasičan UBM pregled pacijenta sa digitalnim obradom dobivenog signala, urađen na Poliklinici "Vaše zdravlje".

5. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom radu poseban akcenat dat je na primjenu ultrazvučne biomikroskopije na primjeru mjerenja debljine rožnice i dubine prednje očne komore. Ultrazvučna biomikroskopija je posebna vrsta pregleda prednjeg segmenta oka i svih promjena koje se nalaze u ovom dijelu oka. Neophodna je za dijagnostiku svih vrsta tumora i cista. Ona nam pomaže da razlikujemo benigne od malignih promjena. Pomoću nje možemo pratiti da li se one uvećavaju, smanjuju i kada je vrijeme za hirurški tretman.

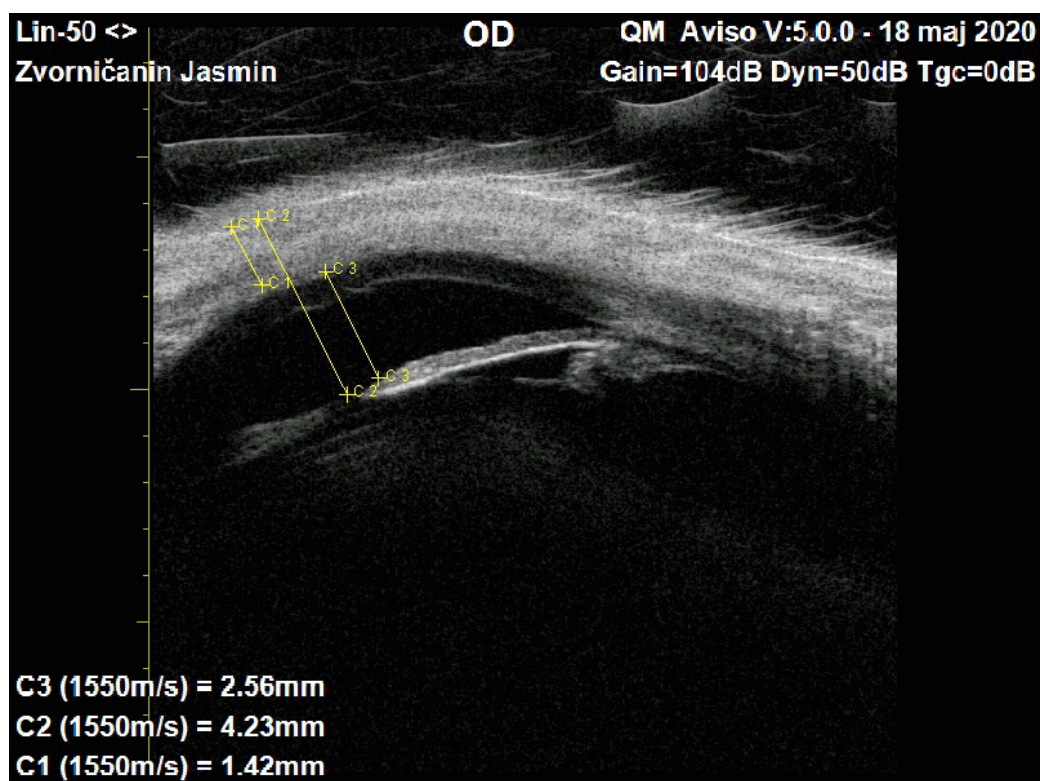
Kompletan praktičan rad primjene biomikroskopije na primjeru mjerenja debljine rožnice i dubine prednje očne komore je urađen na Poliklinici "Vaše zdravlje". Poliklinika je opremljena sa aparatom za ultrazvučnu biomikroskopiju oku, koji posjeduje sve tri sonde uključujući i UBM sondu od 50 MHz. Sve dijagnostičke pretrage UBM sondom se obrađuju u specijaliziranom softveru Quantel Medical AVISO 5.0.0, koji je namjenjen za sve vrste analiza uključujući:

- pahimetriju (Slika 20.-23.),
- dubinu prednje komore (Slika 20.,21 i 23) i
- širinu komornog ugla.

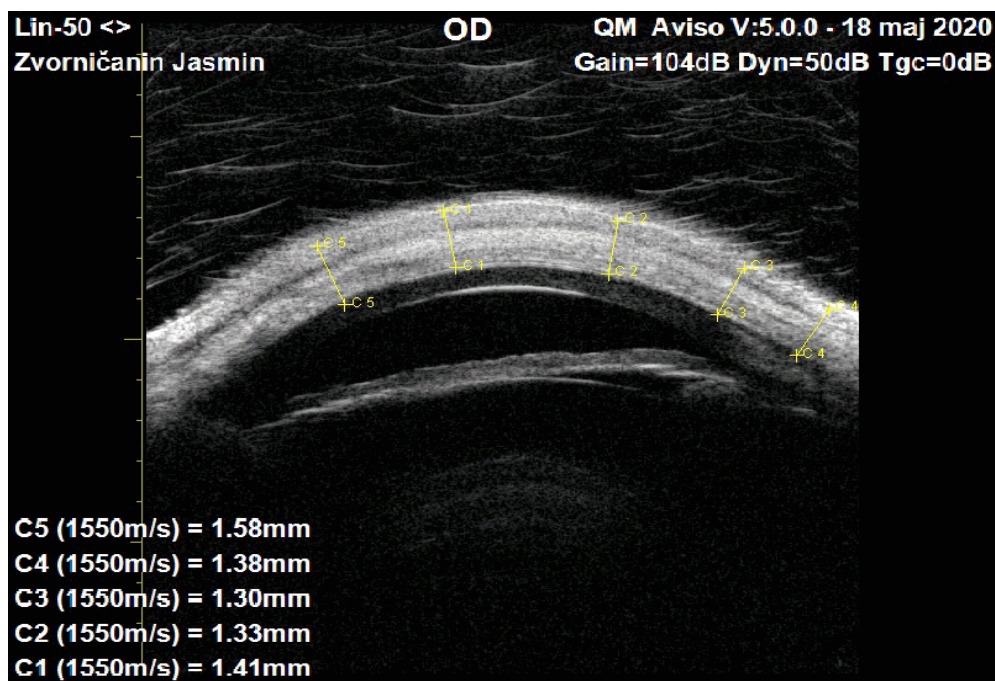


Slika 20. Prikaz pahimetrije (debljina rožnice) i dubine prednje očne komore desnog oka.

Na slici 20. i 21. urađena je pahimetrija ili mjerenje debljine rožnice desnog oka pomoću ultrazvučne biomikroskopije. Ona je važna za pravilnu interpretaciju rezultata mjerenja očnog pritiska te u dijagnostici i praćenju mnogih bolesti rožnice. Osim tačnog mjerenja očnog pritiska, pahimetrija je važan element predoperativnog pregleda za lasersku korekciju oka.

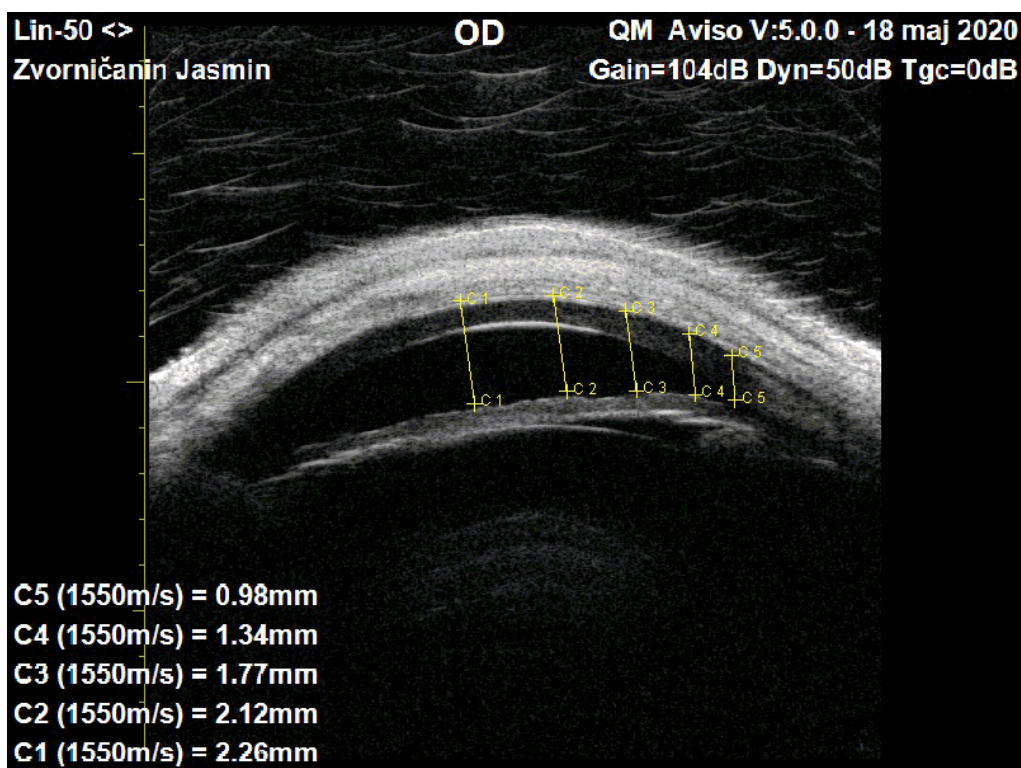


Slika 21. Prikaz pahimetrije i dubine prednje očne komore desnog oka.



Slika 22. Prikaz pahimetrije desnog oka na različitim presjecima.

Na slici 22. izvršena je pahimetrija kompletnog desnog oka na različitim presjecima, pa su stoga i vrijednosti u tačkama C1-C5 različite. Svi snimci su rađeni pomoću specijaliziranog softvera Quantel Medical AVISO 5.0.0.



Slika 23. Prikaz dubine prednje očne komore desnog oka.

Osim pahimetrije oka pomoću UBM dijagnostike izvršeno je mjerenje dubine prednje očne komore u našem slučaju desnog oka na slikama 20., 21 i 23. Prednja očna komora (lat. Camera anterior bulbi oculi) je tečnošću ispunjen prostor oka između šarenice i rožnjače ispod najdublje površine endotela [12]. Njena dva glavna patološka stanja su hifema i glaukom. U hifemu, prednju očnu komoru ispunjava krv. U glaukomu, nastaje blokada Schlemmovog kanala, što spriječava normalno oticanje očne vodice. To dovodi do akumulacije tečnosti, povećava očni pritisak i na kraju izaziva sljepilo. Normalna dubina prednje očne komore oka je 3,5 mm do 2,5 mm, a manja od 2,5 mm može biti rizik za zatvaranje ocnog ugla [13-14].

6. ZAKLJUČAK

1. Ultrazvučna biomikroskopija je posebna vrsta pregleda prednjeg segmenta oka i svih promjena koje se nalaze u ovom dijelu oka.
2. Neophodna je za dijagnostiku, praćenje i razlikovanje benignih od malignih promjena prednjeg segmenta oka.
3. Ultrazvučna biomikroskopija koristi tri različite sonde za različite ultrazvučne preglede, pri čemu najznačajnija sonda koristi frekvenciju od 50 MHz.
4. Osim pahimetrije oka pomoću UBM dijagnostike uspješno se vrši mjerenje dubine prednje očne komore oka.

7. LITERATURA

1. Čupak K. Oftalmologija 2. izdanje. Zagreb. Medicinska naklada, 1989.
2. Richard S. Snell & Michael A. Lemp. Clinical Anatomy of the Eye, UK, Blackwell Science, 1998.
3. Gordon Ruskell. Functional Anatomy and Histology of the Eye. Butterworth Heinemann, 2005.
4. J. Simonović, J. Vuković, D. Ristanović, R. Radovanović, D. Popović. BIOFIZIKA U MEDICINI, Medicinska knjiga – Medicinske komunikacije, Beograd 1997.
5. Rodney Cotterill. Biophysics, John Wiley & Sons, USA, 2003.
6. Pavlin, C. J., Sherar, M. D., & Foster, F. S. (1990). Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. *Ophthalmology*, 97(2), 244-250.
7. Ishikawa, H., Esaki, K., Liebmann, J. M., Uji, Y., & Ritch, R. (1999). Ultrasound Biomicroscopy Dark Room Provocative Testing:: A Quantitative Method for Estimating Anterior Chamber Angle Width. *Japanese journal of ophthalmology*, 43(6), 526-534.
8. Potash, S. D., Tello, C., Liebmann, J., & Ritch, R. (1994). Ultrasound biomicroscopy in pigment dispersion syndrome. *Ophthalmology*, 101(2), 332-339.
9. Chen, S. T., Guo, L. H., Yan, J. N., Wang, Q., et al. (2019). Ultrasound biomicroscopy and high-frequency ultrasound for evaluating extramammary paget disease with pathologic correlation. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 38(12), 3229-3237.
10. Pavlin, C. J., Harasiewicz, K., Sherar, M. D., & Foster, F. S. (1991). Clinical use of ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmology*, 98(3), 287-295.
11. Foster, F. S., Pavlin, C. J., Harasiewicz, K. A., Christopher, D. A., & Turnbull, D. H. (2000). Advances in ultrasound biomicroscopy. *Ultrasound in medicine & biology*, 26(1), 1-27.
12. Cassin, B., Solomon S. (1990). Dictionary of eye terminology. Gainesville, Fla: Triad Pub. Co. ISBN 0-937404-33-0.
13. Hall J. E., Guyton A. C. (2006): Textbook of medical physiology, 11th edition. Elsevier Saunders, St. Louis, Mo, ISBN 0-7216-0240-1.
14. Warrell D. A., Cox T. M., Firth J. D. (2010): The Oxford Textbook of Medicine Archived 2012-03-21 na Wayback Machine (5th ed.). Oxford University Press