



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
MEDICINSKI FAKULTET



Bojan Kozomara

**SFERNE ABERACIJE VIŠEG REDA KOD
BIFOKALNIH I TRIFOKALNIH
DIFRAKTIVNIH INTRAOKULARNIH
SOČIVA MJERENIH POMOĆU DVIJE
NEZAVISNE METODE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Banja Luka, februar 2021. godine



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF MEDICINE



Bojan Kozomara

**HIGHER ORDER ABERRATIONS IN
BIFOCAL AND TRIFOCAL DIFFRACTIVE
INTRAOCULAR LENSES MEASURED BY
TWO INDEPENDENT METHODS**

DOCTORAL DISSERTATION

Banja Luka, February 2021. godine

MENTOR: Prof. dr sc. med. Nikica Gabrić, redovni profesor Medicinskog fakulteta Univerziteta u Rijeci.

KOMENTOR: Prof. dr Milka Mavija, redovni profesor Medicinskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci.

**SFERNE ABERACIJE VIŠEG REDA KOD BIFOKALNIH I TRIFOKALNIH
DIFRAKTIVNIH INTRAOKULARNIH SOČIVA MJERENIH POMOĆU DVIJE
NEZAVISNE METODE**

REZIME:

Uvod: Sferne aberacije višeg reda (HOA) dobro su poznate u modernoj refraktivnoj hirurgiji i danas se smatraju osnovnim uzrokom gubitka kvaliteta vidne oštine prije ili nakon refraktivnih hirurških procedura. Za razliku od sfernih aberacija nižeg reda, kod HOA postoji nekoliko načina njihovog mjerenja i određivanja. Svaka od dijagnostičkih procedura obuhvata različite dijelove optičkog sistema oka mjereći sferne aberacije različito. Bifokalna i trifokalna difraktivna intraokularna sočiva predstavljaju najmoderniji način korekcije refrakcionih anomalija oka na dvije ili tri udaljenosti. Cilj ovog istraživanja je utvrditi i uporediti sferne aberacije višeg reda predoperativno i postoperativno kod obe grupe intraokularnih sočiva mjerenih uz pomoć Scheimpflug i Hartmann-Shack metodom.

Metode: Prospektivna, randomizirana, monocentrična studija sprovodi se na 50 ispitanika (100 očiju) koji su kandidati za korekciju hipermetropije i presbiopije. Protokol istraživanja ima jasne kriterijume za izvođenje studije. Polovini ispitanika binokularno se implantira bifokalno, a drugoj trifokalno difraktivno intraokularno sočivo od strane istog hirurga. Svi parametri praćenja mjereni su i analizirani u periodu od 12 mjeseci postoperativno. Za statističku obradu dobijenih podataka korišćeni su unpaired student t-test i ANOVA test.

Rezultati: Metoda Scheimpflug pokazala je statistički značajno veće vrijednosti izmjerenih HOA (coma, trefoil i spherical aberration) u obe grupe i tokom kompletnog perioda praćenja u poređenju sam Hartmann-Shack metodom. Takođe, obe grupe ispitanika su pokazale statistički značajno veće vrijednosti postoperativno. Grupa trifokala imala je bolju vidnu oštrinu na sve tri udaljenosti u odnosu na grupu bifokala, dok su ostale mjerenje i praćene vrijednosti bile insignifikantno različite.

Zaključak: HOA nemaju direktan uticaj na samu vidnu oštrinu koliko imaju na kvalitet vida. Od tačnosti metode njihovog mjerenja umnogome zavisi i određivanje adekvatne refraktivne hirurške procedure, ali i predviđanje ishoda samog zahvata. Buduće studije, ali i industrija uopšte, trebali bi se više fokusirati na pronalaženju univerzalnog načina mjerenja sfernih aberacija višeg reda.

Ključne riječi: sferne aberacije višeg reda, difraktivna intraokularna sočiva, Scheimpflug, Hartmann-Shack.

Naučna oblast: Medicina

Naučno polje: Oftalmologija

Klasifikaciona oznaka CERIF šifrarnika za naučnu oblast: B620

Tip odabrane licence Kreativne zajednice: Autorstvo-nekomercijalno (CC BY-NC).

SUPERVISOR: Prof. Nikica Gabric, MD, PhD, Faculty of Medicine,
University of Rijeka.

DEPUTY SUPERVISOR: Prof. Milka Mavija, MD, PhD, Faculty of Medicine,
University of Banja Luka.

HIGHER ORDER ABERRATIONS IN BIFOCAL AND TRIFOCAL DIFFRACTIVE INTRAOCULAR LENSES MEASURED BY TWO INDEPENDENT METHODS

SUMMARY:

Objectives: Higher order aberrations (HOA) are well known in refractive surgery for its impact on the quality of vision after refractive surgical procedures. Unlike lower order aberrations (LOA), in HOA there are a few methods of their detection and measurement. Each of these diagnostic procedures encompasses certain parts of the eye's optical system and measures HOA differently. Bifocal and trifocal diffractive intraocular lenses are the most sophisticated option for correction of vision in some or all distances. The aim of this study is to determine and compare HOA preoperatively and postoperatively in both groups of patients using Scheimpflug and Hartmann-Shack methods.

Methods: Prospective, randomized, monocentric study is being conducted on 50 patients (100 eyes) who are candidates for surgical correction of hypermetropia and presbyopia. Study protocol explains the exact criteria for study execution. Half of the examinees underwent binocular implantation of bifocal diffractive intraocular lens, while the other half received trifocal diffractive intraocular lens by the same surgeon. All follow-up data is measured and analyzed in the period of 12 months postoperatively in both groups. For statistical analysis unpaired student t-test and ANOVA are used.

Results: Scheimpluf method has shown statistically significant higher values of HOA (coma, trefoil, and spherica aberration) in both groups during the whole follow-up period comparing to Hartmann-Shack method. Furthermore, in both groups postoperative values are statistically higher in comaparison to preoperative values. Trifocal group shows better

vision on all three distances than bifocal group, while the rest of the follow-up elements are insignificantly different.

Conclusion: HOA do not have a direct impact on the visual acuity, but they can influence the quality of vision. Accuracy of their measurement preoperatively has a significant impact on the chosen refractive surgical procedure and the evaluation of its outcome. Future studies, and the industry as well, should focus more on the discovery of universal method by which the measurement of higher order aberration can be standardized.

Key words: higher order aberrations, diffractive intraocular lenses, Scheimpflug, Hartmann-Shack.

Scientific area: Medicine

Scientific field: Ophthalmology

Classification CERIF mark: B620

Types of creative commons license: Autorship-noncommercial (CC BY-NC).

Sadržaj

1.0. UVOD.....	1
1.1. Anatomija optičkom sistema prednjeg segmenta oka[76]	7
1.1.1. Prekornealni suzni film.....	7
1.1.2. Rožnjača.....	8
1.1.3. Prednja očna komora	11
1.1.4. Očno sočivo	12
2.0. KORNEALNE SFERNE ABERACIJE	15
2.1. Optičke karakteristike.....	15
2.2. Principi Wavefront analize	15
2.3. Zernike polinomijali	17
3.0. KARAKTERISTIKE OKULARNIH SFERNIH ABERACIJA	21
3.1. Dob	21
3.2. Pol.....	21
3.3. Veličina pupile.....	22
3.4. Keratometrija i aberacije	22
3.5. Odnos sfernih aberacija desnog i lijevog oka.....	22
3.6. Rasa	23
3.7. Dominantnost oka.....	23
4.0. PRINCIP MULTIFOKALNOG INTRAOKULARNOG SOČIVA[77].....	23
4.1. Fizičke karakteristike multifokalnih sočiva.....	24
4.2. Refrakcija i difrakcija	24
4.3. Difraktivna optika.....	25
4.4. Razlika između bifokalnih i trifokalnih multifokala	25
5.0. HIPOTEZA	26
6.0. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	27
7.0. MATERIJAL I METODE	29
7.1. Ispitanici	29
7.2. Etičke odredbe.....	33
7.3. Metode.....	33
7.4. Dijametar pupile.....	36

7.5.	Hirurški zahvat	37
7.6.	Statistika.....	38
8.0.	REZULTATI	40
8.1.	Scheimpflug mjerenje sfernih aberacija višeg reda	49
8.2.	Sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom.....	55
8.3.	Odnos Scheimpflug-ovih i Hartmann-Shack vrijednosti mjerenja	59
9.0.	DISKUSIJA	61
10.0.	ZAKLJUČCI.....	74
11.0.	LITERATURA.....	77
12.0.	PRILOZI	88
12.1.	Spisak skraćenica	88

1.0. UVOD

Evolucija u hirurgiji katarakte i implantaciji intraokularnih sočiva u posljednjih 10 godina se fokusirala ne samo da poboljšanje vidne oštine pacijentima, nego i na kvalitet vida, a samim tim i kvalitet života.

U posljednje vrijeme, vid na blizinu, kao i vid na tzv. srednju daljinu, su postali važni faktori želje za poboljšanjem kvaliteta vida i kvaliteta života. Danas se operacije korekcije dioptrije bilo koje vrste izvode na sve mlađim pacijentima, dobijaju se bolji postoperativni rezultati, ali postoji i sve veća želja i samokritičnost kod pacijenta da ponovo budu mladi i bez naočala.[1] Zbog postojanja sve većih mogućnosti, sve su veće i želje, odnosno zahtjevi na ovom polju. Međutim, ponovno uspostavljanje akomodacije, kada je u pitanju vid na blizinu, je i dalje u sferi naučne fantastike, te su se morale naći nove mogućnosti kako bi se na adekvatan način udovoljilo i ovoj populaciji. Stoga su multifokalna sočiva trenutno jedina realna opcija koja bi pacijentima mogla dati zavidan stepen nezavisnosti od nošenja naočala za čitanje. [2-5]

Osnovni izazov kada je u pitanju potpuni kvalitet vida kod multifokalnih sočiva jeste uspostavljanje nefiziološkog optičkog metoda za poboljšanje vida na blizinu. Po definiciji, multifokalna sočiva dijele svjetlo na različite fokuse, što izaziva disperziju svjetlosnih zraka koji ulazi u oko, te posljedično distribuira svjetlo na makulu takođe u različitim fokusima. Ovo dovodi do promjene u fiziologiji vida, jer upravo svjetlo slijedi različite fokalne karakteristike svojih upadnih zraka na nivou vidne osovine, odnosno na nivou retine. Tada se aktiviraju adaptabilne sposobnosti mozga da se prilagodi različitim promjenama u upadnom svjetlu predmeta koji se gleda, jer niti jedan humani organizam nije osposobljen za multifokalnost slike, odnosno predmeta koji se posmatra[6-9]. Stoga je upravo neurološka obrada slike koja se posmatra glavni izazov u uspostavljanju maksimalne multifokalnosti, iako se danas mogu naći nove tehnologije koje imaju za cilj smanjenje razlika vidne percepcije upravo u multifokalnosti. [10]

Jedan od problema nakon implantacije multifokalnih difraktivnih intraokularnih sočiva zapravo predstavljaju sferne aberacije višeg reda koje se mijenjaju kako zbog intraoperativnih kornealnih incizija, tako i zbog različitih fokalnih tačaka kod bifokalnih i trifokalnih intraokularnih sočiva.

Ljudsko oko sadrži nepravilnosti u prelamanju svetlosnih zraka koje u njega ulaze, a koje se nazivaju sferne aberacije. Kao što je ranije napomenuto, sferne aberacije mogu da se podijele na aberacije nižeg reda (lower-order aberrations) i na aberacije višeg reda (higher-order aberrations). Thomas Young [11] je prvi naučnik kome se može pripisati pominjanje i analiza sfernih aberacija, dok je mjerenje sfernih aberacija višeg reda započeto mnogo ranije. Koomen et al. [12] su dali istorijski doprinos merenju sfernih aberacija sve do prve polovine 20. vijeka. Non-sferične aberacije višeg reda su prvi put subjektivno mjerene od strane Smirnov-a [13], a kasnije su pominjane i u radu Howland, et al. [14]. Walsh, et al. [15] su prvi mjerili sferne aberacije višeg reda objektivnom metodom, koristeći aberoskop sa ukrštenim cilindrom različitih proizvođača. Međutim, za sistematsko mjerenje okularnih sfernih aberacija višeg reda zaslužna je grupa naučnika [16,17] koji su demonstrirali njihove rezultate sa "Hartmann-Shack" aberometrom. Od tada, su pokrenuta intenzivna istraživanja mnogih autora [18,19] na polju poboljšanja vidne oštine, ali i na polju industrije laserske korekcije dioptrije. "Scheimpflug" metoda mjerenja sfernih aberacija višeg reda je novija u odnosu na "Hartmann-Shack" i bazira se na "Zernike" polinomijalima.[20]

Prvi koncept multifokalnosti, odnosno multifokalnih intraokularnih sočiva, javio se sada već davne 1982. godine, kada je američki hirurg Kenet Hofer na slučajnom uzorku pacijenta koji je imao dislokaciju intraokularnih sočiva za oko 50% u inferiornom dijelu pupile, istog korigovao kontaktnim sočivima za razliku dioptrije za daljinu. Primijetio je da je pacijent dobio jasnoću vida za daljinu, ali i da je zahvaljujući dislokaciji sočiva mogao da čita i na blizinu, bez potrebe za nošenjem presbiopskih dioptrijskih naočala. Upravo su kontaktna sočiva korigovala afakiju koja se pojavila u gornjem dijelu pupile, a dioptrija istih tih sočiva bila je adicija za subluksirana intraokularna sočiva sa kojima je pacijent mogao jasno čitati na blizinu. [21]

Prva proizvedena multifokalna intraokularna sočiva su zapravo bila dva sočiva različitih dioptrija, čiji je optički dio bio mehanički prepolovljen i nalijepljen jedan na drugi u laboratorijskim uslovima. Tako su uzeta sočiva +18.00 dioptrija i +22.00 dioptrije, čije su polovine spojene u jedno sočivo i gdje je niža dioptrija implantirana u gornji dio kapsularne vreće i služila je za vid na daljinu, a viša dioptrija u donji dio kapsularne vreće i bila je zaslužna za vid na blizinu.[22]

Koncept modernih multifokalnih sočiva danas se zasniva na četiri različita principa:[23]

1. Kombinaciji dvije ili više različitih prednjih sferičnih refraktivnih površina za vid na daljinu i blizinu
2. Kombinaciji zadnje sferične refraktivne površine i multiple prednje asferične refraktivne površine.
3. Kombinaciji prednje sferične refraktivne površine i multifokalne zadnje difraktivne strukture za vid na daljinu i blizinu.
4. Bikonveksno sočivo sa longitudinalnim aberacijama prednje površine, što omogućava vid na blizinu kroz centar sočiva, a vid na daljinu kroz njegovu periferiju. Intermedijarni vid se ostvaruje kroz zonu između centra i periferije.

Pojednostavljena podjela multifokalnih sočiva danas je mnogo zastupljenija, a ista se dijele na refraktivna i difraktivna. [24] Refraktivna sočiva u suštini koriste različite zone refrakcije jačine da bi omogućila adekvatan fokus za objekte koji se posmatraju na blizinu i daljinu. Upravo zbog postojanosti različitih refraktivnih zona na optičkom dijelu sočiva, ove vrste implantata su ovisne o dijametru pupile, ali i o decentraciji sočiva nakon implantacije. Pošto nemaju fokus, odnosno slika koja se produkuje iz različitih refrakcionih zona je nonsferična, centralni dio sočiva je određen za vid na daljinu, dok je srednje periferni dio predviđen za vid na blizinu. Krajnja periferija predviđena je za vid na srednju daljinu, a zbog promjene dijametra pupile, ova zona je praktično neupotrebljiva.[25] Ograničenja ovih sočiva ogledaju se u zavisnosti o dijametru pupile, visokoj senzitivnosti na centraciju sočiva, intolerantnosti prema velikom uglu „kapa“, velikom potencijalu za pojavu haloa i glera zbog neravnih međuzona fokusa, te gubitku kontrastne

senzitivnosti.[26] Sa druge strane, difraktivna multifokalna intraokularna sočiva se baziraju na principu da svaka tačka fokusa svjetla može da se analizira kao zaseban izvor svjetla, tzv. „wavelets-talasića“, koji se šire sferično („Huygens-Fresnel” princip).[27] Amplituda optičkog polja van ove tačke je predstavljena zbirom ovih „talasića“. Kako se prostor između difraktivnih elemenata smanjuje, tako se povećava obrazac između refrakcionih elemenata. Kada se difraktivne mikrostrukture stave u koncentričnu zonu i kada se smanji razmak između zona kako se odmiču od centra, formira se tzv. Fresnel-ova ploča koja može da produkuje optičke fokuse. Stoga je jačina sočiva za vid na daljinu zapravo zbir optičke jačine prednje i zadnje površine sočiva nulte refraktivnosti, a jačina za vid na blizinu kombinacija jačine prednje i zadnje površine sočiva prvog reda refraktivnosti. Difraktivna multifokalna sočiva daju odličan vid na daljinu i blizinu, dok je intermedijarni vid nešto slabiji, ali često prihvatljiv. Međutim, ova sočiva su mnogo manje ovisna o dijametru pupile i mnogo tolerantnija prema većem uglu „kapa“. Ipak, za razliku od refraktivnih intraokularnih sočiva, često daju mnogo više haloa i glera, te umanjuju transparentnost svjetla za oko 18%.[28]

Upravo zbog činjenice da su gore navedena intraokularna sočiva zapravo bifokalnog tipa, i da ne mogu ostvariti željene rezultate vida na svim udaljenostima, posebno za intermedijarni vid, naučnici su u posljednje vrijeme mnogo radili na novom dizajnu sočiva koji bi otklonio i ovaj problem. Trifokalna sočiva su najnovija alternativa koja omogućava jasnoću vida na sve tri udaljenosti i dobrim dijelom kompenzuje nedostatak intermedijarnog vida bifokalnih implantata. Svojom dizajnom su zapravo difraktivna sočiva kod kojih su zone difraktivnosti drugačije raspoređene, tačnije postoje veći prostori između zona, čime se preraspodjelom dioptrijske snage sočiva za blizinu dobije bolji intermedijarni vid. Neka trifokalna intraokularna sočiva se takođe mogu smatrati i monofokalima sa povećanom dubinom fokusa. [29,30]

Izuzetno važan faktor za postoperativnu uspješnost implantacije multifokalnih intraokularnih sočiva je i neuroadaptacija. [31] Naime, radi se o procesu kod kojeg nervni sistem pacijenta vrši niz neuroloških promjena kako bi se na adekvatan način adaptirao na novonastalu dobijenu sliku produciranu multifokalnim intraokularnim sočivima. Kako

svako ljudsko oko ima određeni stepen sfernih aberacija nastalih anatomijom rožnjače i očnog sočiva koje su takođe podvrgnute procesu neuroadaptacije, mozak je već naviknut na korekciju slike koja se gleda na osnovu onoga što bi mogla biti ranije zapamćena i zapisana slika u njegovoj memoriji. Kod implantacije multifokalnih intraokularnih sočiva bilo koje vrste, neuroadaptacija igra presudnu ulogu. Samim svojim dizajnom, te zavisnošću ili nezavisnošću o dijametru pupile, ovi implantati stvaraju sliku na retini koja ne samo da je izložena većem stepenu sfernih aberacija, koje često doprinose postopearativnom nezadovoljstvu pacijenata. Upravo je neuroadaptacija ta od koje zavisi i uspješnost same operacije koja se prije svega odnosi na kontrastnu senzitivnost, pojavu haloa i glera, stepen sfernih aberacija koji može da utiče na kvalitet vida, itd. Od važnosti je i binokularnost vida kao jedna od karakteristika kod razvoja i prisustva neuroadaptacije. Naime, ukoliko postoji izražena anizometropija, mozak dobija različite informacije o potrebi za neuroadaptacijom, njenim nivoom u oku, te različitosti njenog nivoa kada su u pitanju oba oka. Upravo zbog potrebe za bržom i efikasnijom neuroadaptacijom, kod svih pacijenata se savjetuje implantacija multifokalnih sočiva u istom danu, ili ne više od par dana razlike, kako bi se u centru za vid mogle stvoriti neuroadaptivne promjene koje će dovesti do dobijanja jasne slike predmeta koji se gleda. [32,33]

Komplikacije nakon implantacije multifokalnih intraokularnih sočiva su rijetke, ali ipak prisutne. Najčešća komplikacija je zamagljen vid, koji prema nekim studijama dostiže i 7%. U principu se kod ove komplikacije radi o različitim fenomenima zamagljenja vida u fotopskim i skotopskim uslovima (94.7%), pojavi haloa (38.2%) i poremećaju u kontrastnoj senzitivnosti (32.9%).[34,35] Sljedeća na listi komplikacija koja može dovesti do nezadovoljstva postoperativnim rezultatima jeste i decentracija intraokularnog sočiva. Prema dostupnim podacima, [36-38] srednja vrijednost decentracije sočiva je 0.30 ± 0.16 (od 0 – 1.09 mm). Decentracija kao komplikacija kod multifokalnih sočiva i njen uticaj na vidnu oštrinu praktički zavisi od nekoliko faktora, a to su prije svih stepen decentracije[39], vrsta dizajna intraokularnog sočiva i veličina pupile. Veličina pupile može se smatrati možda i najbitnijom komplikacijom koja utiče na kvalitet vida nakon implantacije multifokalnih sočiva iz razloga što je rješavanje problema nezadovoljavajućeg dijametra pupile u praksi teško rješivo. Naime, činjenica je da je nemoguće predvidjeti dijametar

pupile nakon operativnog zahvata i da se isti često mijenja u odnosu na preoperativne vrijednosti. Stoga se jedan broj pacijenata postoperativno često žali na lošiji vid na blizinu, iako je predoperativni pregled urađen maksimalno precizno i operativni zahvat je protekao bez komplikacija. [40,41] Ako se dijametar pupile može smatrati najznačajnijim faktorom za nastanak komplikacija zbog limitirajućih karakteristika njenog rješavanja, onda je rezidualna refrakcija postoperativna komplikacija koja se najlakše rješava. Iako je preciznost mjerenja jačine intraokularnog sočiva predoperativno praktički dovedena do savršenstva, i danas se mogu desiti postoperativna iznenađenja kada je u pitanju upravo rezidualna refrakcija. Dostupne studije[42-44] pokazuju da je prediktabilnost od ± 1.00 dioptrije postoperativno moguća u skoro 100% pacijenata, a ona od ± 0.50 dioptrija u 92.85% pacijenata. Međutim, postoperativno jedan broj pacijenata može imati lošiji vid upravo zbog većeg stepena rezidualne refrakcije[45] koja zavisi od kornealnih incizija, položaja sočiva u kapsularnog vreći, količine viskoelastika koji je eventualno ostao „zarobljen“ iza implantata, ali i od postoperativnih vrijednosti suznog filma i izgleda kornealne površine. Sve rezidualne refrakcije koje su stabilne duže od 6 mjeseci i koje ne zavise od prekornealnog suznog filma uspješno se mogu korigovati metodama egzajmer laserske korekcije dioptrije. [46,47] Rijetko je potrebna zamjena multifokalnog intraokularnog sočiva, a u novije vrijeme kod pacijenata kojima je upravo zamjena sočiva jedina opcija za korekciju postoperativne refrakcije savjetuje se dodatna implantacija tzv. „add on” sočiva koja se postavljaju u sulkus, ispred prethodno implantiranog intraokularnog sočiva i koja uspješno koriguju rezidualnu refrakciju.

Naučni doprinos ove studije zapravo se zasniva na činjenici da do sada, prema dostupnim saznanjima, nisu upoređivane vrijednosti sfernih aberacija višeg reda kod multifokalnih bifokalnih i trifokalnih intraokularnih sočiva uz pomoć dvije gore navedene metode. Naime, većina autora [48-50] za mjerenje sfernih aberacija višeg reda u svojim studijama je koristila samo “Hartmann-Shack” metodu, dok su ostali [51-54] za svoje rezultate koristili mjerenja putem “Placido-disc” tehnologije. Osim toga, dostupan je samo jedan rad koji poredi sferne aberacije višeg reda mjerene pomoću “Placid-disk” i “Scheimpflug” tehnologije, ali kod keratokonusa. [55]. Sferne aberacije višeg reda su u posljednjih nekoliko godina u fokusu oftalmoloških ispitivanja, posebno na polju

refraktivne hirurgije, a jedini su realni limitirajući faktor da bi zdravo oko postiglo „savršen vid.“

Ovom studijom žele se ispitati sferne aberacije višeg reda kod bifokalnih i trifokalnih difraktivnih intaokularnih sočiva mjerenih “Hartmann-Shack” i “Scheimpflug” metodom, čime bi se ne samo detektovale sferne aberacije višeg reda, nego bi se pokazao i njihov uticaj na kvalitet vida postoperativno. Osim toga, ovaj studija će biti korisna i zbog činjenice što će se njome odrediti da li i na koji način sam hirurški zahvat utiče na nivo promjene sfernih aberacija višeg reda, posebno kornealne incizije, položaj intraokularnog sočiva u kapsularnoj vreći, smanjenje broja endotelne ćelije, te eventualna pojava sekundarne katarakte.

1.1. Anatomija optičkom sistema prednjeg segmenta oka[76]

1.1.1. Prekornealni suzni film

Iako prekornealni suzni film nije anatomska tkivo, on je jako važan za optičke karakteristike oka. Sastoji se od tri sloja: lipidnog (nastaje iz Meibomovih žlijezda), vodenog (formira se u suznoj žlijezdi) i mucinskog (primarno iz peharastih ćelija). Mnogi ga smatraju uniformnim gelom koji je građen od mukusa, tečnosti i proteina. Glikokaliks je zadužen za interakciju mukozno-vodenastog sloja sa površinskim epitelom ćelijama rožnjače.

Postojanje prekornealnog suznog filma važno je za normalno funkcionisanje rožnjače. On ima ulogu da:

- Omogućava lubrikaciju konjunktive i površinskog sloja rožnjače
- Omogućava transport topljivih materija, uključujući i kiseonik
- Doprinosi antimikrobnoj odbrani okularne površine
- Služi kao medijum za odstranjenje debris sa površine oka

Ono što je optički najvažnija osobina suznog filma jeste da je on važan refraktivni element oka, i to zbog razlike u refraktivnom indeksu vazduha i površine oka, tj. samog suznog

filma. Sferne aberacije na nivou suznog filma nastaju zbog različitih bolesti (suho oko, blefaritis), a one umnogome mogu da utiču kvalitet okularne površine i pacijentovog vida.

1.1.2. Rožnjača

Rožnjača predstavlja providno avaskularno tkivo koje se sastoji iz 5 slojeva:

- Epitel
- Bowman-ova membrana
- Stroma
- Descemetova membrana
- Endotel

Inače, rožnjača prekriva jednu šestinu ukupne površine oka i ima refraktivni indeks od 1.376, te prosječni radijus zakrivljenosti od 7.80 mm. Sa dioptrijskom snagom od 43.25 D, rožnjača zauzima najveći dio dioptrijske snage oka od ukupno 58.60 D. Kiseonik, koji na površinu oka dolazi iz vazduha i sa očnih kapaka, rastapa se u površinskim slojevima suznog filma preko kojeg i dospijeva u rožnjaču. Prehranjivanje ćelija u unutrašnjim slojevima rožnjače se vrši putem očne vodice, odnosno dolazi iz unutrašnjih struktura oka.

1.1.2.1. Karakteristike centralnog i perifernog dijela rožnjače

Kod odraslih osoba, horizontalni dijametar rožnjače je u prosjeku 12 mm, a vertikalni 11 mm. Njena centralna trećina je skoro potpuno sferična sa dijametrom od 4 mm. Kako je zadnji dio rožnjače zakrivljeniji od prednjeg, tako je i centralni dio rožnjače tanji (0.5 mm) u odnosu na periferiju (1.0 mm). Na svojoj periferiji ona je zaravnjenija u odnosu na centar, i to mnogo više u nazalnom i gornjem dijelu u odnosu na temporalni i donji dio.

1.1.2.2. Epitel i bazalna membrana

Površina rožnjače, odnosno njen epitel, građena je od lipofilnih, nonkeratinizirajućih skvamoznih ćelija koje su postavljene u 4-6 slojeva i debljine su oko 40-50 μ m. Površina im je oko 12 μ m, a gustima oko 6000 ćelija/mm². Za ostale slojeve rožnjače pričvršćene su hemidesmosomima, a oštećenje epitela i kidanje međućelijskih veza dovodi do rekurentnih kornealnih erozija. Iznad bazalnog sloja smješten je sloj

poligonalnih „krilastih“ ćelija koje se nalaze u 2-3 sloja, a iznad njih 1-2 sloja površinskih epitelnih ćelija koje su izrazito tanke (30 μm). Tijesne veze između njih omogućavaju površini ćelija da imaju i funkciju difuzne barijere. Mikrovili čine apikalnu membranu izuzetno iregularnom. Ipak, ove iregularnosti kompenzuje površinski suzni film i čini površinu oka optički glatkom. Iako su dublji slojevi epitela međusobno pričvršćeni dezmozomima, oni konstantno migriraju od bazalnog sloja ka suznom filmu u kojem budu i uništeni. Njihova migracije je i centripetalna, jer novonastale ćelije se moraju kretati od limbusa, to jest od njihove baze matičnih ćelija prema centralnim slojevima rožnjače. Zato se kod oštećenja limbalnih matičnih ćelija javljaju i defekti epitela rožnjače.

1.1.2.3. Bowman-ov sloj

Odmah ispod bazalne lamine epitela nalazi se Bowman-ova membrana ili Bowman-ov sloj, čvrsti dio rožnjače građen od kolagenih fibrila. To je anatomske modifikovani dio prednjeg dijela strome debljine od 8-15 μm . Za razliku od Descementove membrane, Bowman-ova membrana ne može da se regeneriše, te se oštećeni dijelovi zamjenjuju ožiljnim tkivom.

1.1.2.4. Stroma

Stroma čini oko 90% ukupne debljine rožnjače oka. Građena je od keratocita koji stvaraju kolagen, osnovne supstance i kolagenskih lamela. Lamelle su u prednjoj trećini rožnjače postavljene koso, dok su u ostatku ovog tkiva okomite. Kolagene fibrile su raspoređene u svim dijelovima strome i cirkumferentno se proširuju u području limbusa. Ove fibrile su izrazito uniformne u svojoj veličini i raspoređenosti, što zapravo rožnjaču i čini providnom. Veće odvajanje kolagenih fibrila edemom dovodi do stromalnog zamućenja. Tipovi stromalnog kolagena su tip I (koji je i najzastupljeniji), kao i III, IV, V, VI, XII i XIV. Tip VII stvara fiskirajuće fibrile koje se vežu za Bowman i epitel rožnjače. U starosti, prirodno dolazi do ispreplitanja ovih fibrila. Osnovna supstanca koja se nalazi u stromi se sastoji od proteoglikana koji se prostiru između kolagenih vlakana. Njihove glikozaminoglikanske komponente (npr. keratin sulfat) su negativnog elektriciteta, te teže da se odbijaju jedna od drugu, ali da u isto vrijeme privlače jone natrijuma i vodu, povećavajući tako zapreminu rožnjače. Keratociti, koji se nalaze između kornealnih lamela, proizvode i kolagen i proteoglikane. Rožnjača ima oko 2.4 miliona keratocita, koji

zauzimaju oko 5% zapremine strome; gustina im je veća u prednjim dijelovima rožnjače (1058 ćelija/mm²) nego u zadnjim (771 ćelija/mm²). Predstavljaju izuzetno aktivne ćelije bogate mitohondrijama, grubim endoplazmatskim retikulima i Goldžijevim aparatom. Posjeduju i povezane strukture, komuniciraju preko tijesnih veza, te neobično fenestriraju u plazma membranama. Zbog svoje pljosnate strukture i jednake raspoređenosti osiguravaju minimalno oštećenje u prolasku svjetla kroz rožnjaču.

1.1.2.5. Descemetova membrana

Bazalna lamina kornealnog endotela, Descemetova membrana je periodično PAS pozitivna. Ovo je prava bazalna membrana čija debljina raste sa godinama. Na rođenju, njena debljina je 3-4 μm , a do odrasle dobi naraste na 10-12 μm . Građena je od prednje trakaste zone koja nastaje još u fetalnom dobu ($4.6 \pm 0.4 \mu\text{m}$ debljine) i zadnje netrakaste zone koja se nalazi pričvršćena za endotel tokom cijelog života (prosječna debljina kod odraslih je $11.8 \pm 0.4 \mu\text{m}$ i povećava se za 0.1 μm na godinu). Ove zone umnogome pomažu normalnu funkciju endotela, a kao i sve druge bazalne lamine, tako je i Descemetova membrana bogata kolagenom tip IV.

1.1.2.6. Endotel

Endotel je građen od jednoslojnog sloja heksagonalno postavljenih ćelija nastalih iz neuralne kreste. Stoga se smatra da je endotel neuroektodermalnog porijekla. Kod mladih i zdravih osoba sadrži oko 500.000 ćelija gustine od oko 3000 ćelija/mm² u centralnom dijelu rožnjače i oko 8000 ćelija/mm² na periferiji. Mitoza ovih ćelija kod ljudi je ograničena, te se njihov ukupan broj smanjuje sa godinama. Veličina, oblik i distribucija endotelnih ćelija mogu da budu vidljive i praćene putem endotelnog mikroskopa. Njihov vrh je orijentisan prema prednjoj očnoj komori, a baza ka Descemetovoj membrani. Obično mlade ćelije imaju velike nukleuse obilne mitohondrije, a aktivni transport jona od strane ovih ćelija dovodi do prenosa vode iz kornealne strome, što posljedično daje transparentnost iste. Disfunkcija endotelnih ćelija, kroz hiruršku traumu, inflamatorne procese ili druga patološka stanja, može prouzrokovati endotelnu dekompenzaciju, stromalni edem i gubitak vida. Kako je endotelna mitoza limitirana, preostale zdrave ćelije se u oštećenom endotelu šire i povećavaju.

1.1.3. Prednja očna komora

Prednja očna komora je prostor koji se anteriorno graniči sa endotelom rožnjače, a posteriorno sa irisom i pupilom. Ugao prednje očne komore, koji je zapravo spoj rožnjače i irisa, sastoji se od pet elemenata:

- Schwalbe-ove linije
- Schlemm-ovog kanala i trabekularne mreže
- Skleralni greben
- Prednja površina cilijarnog tijela
- Periferni iris

Prosječna dubina prednje očne komore je 3.0 mm, a dubina se mijenja i postaje veća kod afakije, pseudofakije, miopije i manjeg stepena hipermetropije. Kod odraslih, najdublja je centralno, da bi bivala sve plića prema periferiji i najplića na samom irido-kornealnom uglu. Prednja očna komora ispunjena je očnom vodicom (humor aqueous) koja nastaje u epitelu cilijarnog tijela i zadnjoj očnoj komori. Ona prolazi kroz zjenicu u prednju očnu komoru, te se drenira trabekularnom mrežom i uveo-skleralnim putem. Kod mladih osoba, uveo-skleralnim putem otiče oko 50% očne vodice.

U unutrašnjem dijelu skleralnog sulkusa je smješten Schlemm-ov kanal sa njegove spoljašnje strane, a trabekulum sa unutrašnje. Schwalbe-ova linija, periferna granica Descemetove membrane, stvara prednju granicu sulkusa, dok je skleralni greben zadnja granica. Skleralni greben dobija svoju inserciju na longitudinalnim cilijarnim mišićima, čija kontrakcija otvara trabekularnu mrežu. Miofibroblasti, ćelije skleralnog grebena, raspoređeni su cirkumferentno u samom skleralnom grebenu. Sadrže mehanoreceptore, primaju senzorne inervativne impulse, te su povezani sa elastičnim tkivom trabekuluma. Mijelinizirana nervna vlakna se protežu naprijed od cilijarnog tijela prema unutrašnjoj strani trabekuluma, te stvaraju grane za sam trabekulum, ali i za krajeve skleralnog grebena. Ovi završeci imaju iste morfološke karakteristike kao i mehanoreceptori u drugim organima, kao na primjer u karotidnoj arteriji. Nadalje, krajevi su nekompletno pokriveni sa Schwann-ovim ćelijama, te stvaraju kontakt sa ekstracelularnim matriksom kao što je elastin. Različita uloga je prepisivana ovim nastavcima, od propriorecepcije cilijarnih

mišića, signalizacije kontrakcije ćelija skleralnog grebena i barorecepcije vezane za promjene intraokularnog pritiska.

1.1.4. Očno sočivo

Sočivo je bikonveksna struktura koja se nalazi odmah iza zadnje očne komore i pupile. Dioptrijska snaga sočiva je oko 20 D, od ukupno 60 D koje oko inače ima. Po rođenju, dijametar od jednog do drugog kraja ekvatora je 6.5 mm, te se povećava u naredne dvije do tri dekade života i dostiže dijametar od 9-10 mm. Prednje-zadnji dijametar sočiva iznosi 3 mm na rođenju, a završava svoj rast oko 80. godine života na 6 mm. Ovaj rast istovremeno skraćuje prednju zakrivljenost ocnog sočiva, koje bi u protivnom imalo mnogo veću dioptrijsku snagu od postojeće.

U mladosti, akomodacija za vid na blizinu se ostvaruje pomoću kontrakcije cilijarnog mišića koji sa njom relaksira zonule i omogućava sočivu da dobije okrugliji izgled, što skraćuje prednji radijus i zakrivljenost. Sa godinama, akomodativna sposobnost ocnog sočiva se smanjuje. Tako sa 8 godina života iznosi 14 D, za 28 godina 9 D, a sa 64 godine samo 1 D. Razlozi za smanjivanje akomodativne sposobnosti ocnog sočiva uključuju povećanje veličine sočiva, te povećanje krutosti nukleusa kao posljedica promjene u kristalinskim proteinima vlakana citoplazme. Ostali faktori, kao što su izmjene u geometriji zonularnog aparata i u elasticitetu kapsule sočiva, takođe mogu da igraju važnu ulogu.

Sočivo nema krvnih sudova i nervnih vlakana. Nakon regresije hijaloidne vaskulature u toku embriogeneze, ishrana ocnog sočiva zavisi direktno od humor aqueous-a i vitreusa.

1.1.4.1. Kapsula

Kapsula ocnog sočiva proizvod je epitela samog sočiva. Bogato je kolagenom tipa IV i ostalim proteinima matriksa, a sinteza prednjeg dijela kapsule (koja prekriva epitel sočiva) se nastavlja tokom života, tako da se debljina povećava. Kako ne postoje epitelne ćelije sočiva u njegovom zadnjem dijelu, debljina zadnje kapsule ostaje nepromijenjena.

Ipak, njena debljina varira od 15.5 μm na prednjem dijelu do 2.8 μm na zadnjem dijelu, iako nije univerzalna i može da se razlikuje od osobe do osobe. Morfološki, kapsula sočiva je građena od filamenata koji su postavljeni u lamele, paralelne njenoj površini. Prednji dio kapsule sadrži fibrogranularni materijal, poznatiji kao laminin, a koji se na ultrastrukturnom nivou ne vidi na zadnjoj kapsuli.

1.1.4.2. Epitel

Epitel očnog sočiva se nalazi između prednjeg i ekvatorijalnog dijela kapsule, ali ga nema na zadnjoj kapsuli. Bazalni dio epitela naslonjen je na kapsulu sočiva bez posebnih veza. Ne postoje intracelularni prostori jer su vrhovi ćelija orijentisani prema unutrašnjem dijelu sočiva, dok se lateralni isprepliću. Svaka ćelija ima prominentan nukleus, ali rijetke citoplazmatske organele.

Postoje značajne razlike u rasporedu i ulozi epitelnih ćelija u različitim dijelovima kapsule. Tako su u centralnom dijelu stabilne populacije, a njihov broj se smanjuje sa godinama. U srednjem dijelu/zoni ćelije su manje, ali pokazuju znakove djelimične mitoze. Periferno i prema ekvatoru sočiva nalaze se meridionalno raspoređeni redovi kuboidnih ćelija koje formiraju germinativnu zonu sočiva. U ovom dijelu one podliježu mitotičkom dijeljenju produžuju se naprijed i nazad, te stvaraju diferencirane fibrozne ćelije sočiva. U humanom sočivu, mitoza ćelija traje tokom cijelog života i zahvaljujući njoj sočivo raste.

1.1.4.3. Vlakna

Kako se stvaraju nova vlakna u sočivu, ona se spajaju sa starim-već postojećim, te okružuju ona koja su nastala u toku embrionalnog razvoja. Ne postoji definitivna morfološka razlika, ali postoji djelimična tranzicija između nukleusa i korteksa sočiva. Pojmovi endonukleus, nukleus, epinukleus i korteks zapravo ukazuju na potencijalne razlike u pojedinim slojevima očnog sočiva koji imaju svoju tokom hirurških procedura. Pregledom na biomikroskopu, lamelarne zone diskontinuiteta su jasno vidljive u korteksu. Fibrozna vlakna su heksagonalna u poprečnom presjeku, imaju vretenast oblik i posjeduju mnoga prstenasta mjesta međusobnog kontakta. Osim najpovršnijih kortikalnih vlakana,

citoplazma je homogena i sadrži rijetke organele. Za visoki refrakcijski indeks oćnog soćiva zasluŹna je visoka koncentracija soćivnih kristalina (α , β i γ) u citoplazmi vlakana. Suture unutar soćiva su formirane na osnovu interdigitacije prednjih i zadnjih vretenastih vlakana. U fetalnom soćivo, suture su na prednjem dijelu u obliku slova Y, a na zadnjem dijelu u obliku obrnutog slova Y.

1.1.4.4. Zonularna vlakna

Soćivo je anatomske stabilno zahvaljujući zonularnim vlaknima (suspensornim ligamentima) koji nastaju iz bazalne lamine non pigmentnog epitela pars plane i pars plikate cilijarnog tijela. Ova vlakna su prićvršćena na kapsulu soćiva sa prednje i zadnje strane od ekvatora, a svako zonularno vlakno je napravljeno od multiplih filamenata fibrilina koji se spajaju sa ekvatorijalnim dijelom kapsule soćiva. Kod Marfanovog sindroma, mutacije u genima fibrilina dovode do slabljenja zonularnih vlakana i subluksacije soćiva.

Kada je oko fokusirano na predmete u daljini, zonule su zategnute, a soćivo poprima zaravnanu formu. Tokom akomodacije, kontrakcija cilijarnog mišića dovodi do olabljiivanja zonularnih vlakana, te do posljedićnog zadebljiivanja i protruzije oćnog soćiva prema naprijed.

2.0. KORNEALNE SFERNE ABERACIJE

2.1. Optičke karakteristike

Optičke karakteristike rožnjače se temelje na sljedećim faktorima: transparentnosti, glatkoći površine, konturi i refraktivnom indeksu. Položaj kolagenih vlakana rožnjači daje njenu providnost. Naime, diameter i međusobna razdaljina svakog vlakna su izrazito homogeni i mjere manje od polovine valne dužine vidljivog svjetla (400 do 700 nm). Njihov položaj je takav da se rasuti svjetlosni zraci odbijeni od svakog kolagenog vlakna anuliraju drugim rasutim svjetlosnim zrakom, što dozvoljava prolazak samo jasnih i oštih zraka kroz rožnjaču.[19]

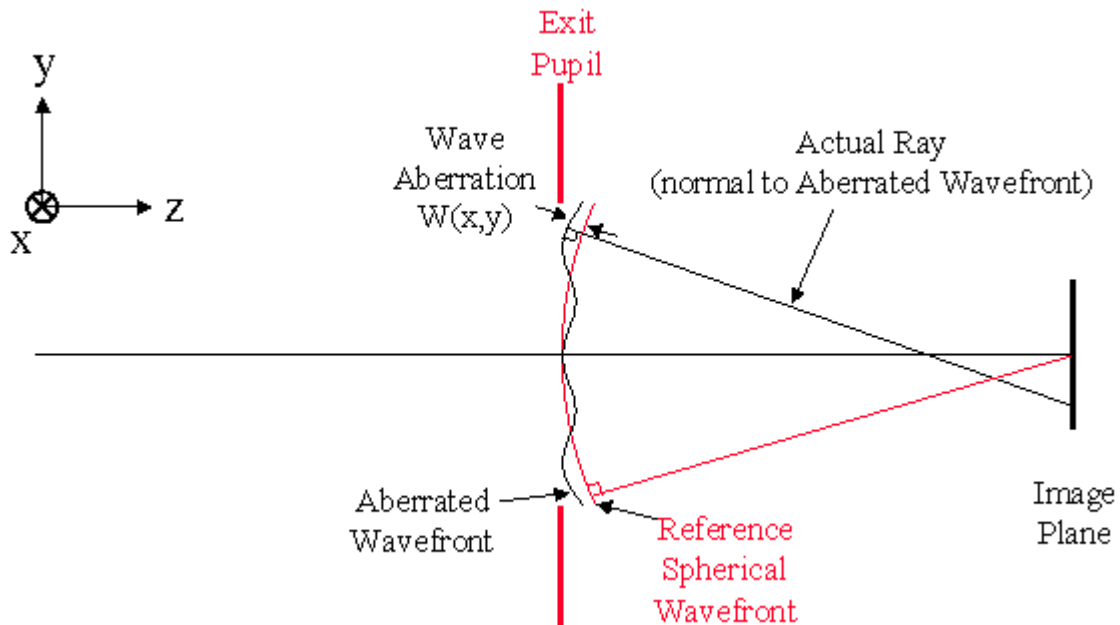
Zdravi i intaktni kornealni epitel i suzni film igraju glavnu ulogu u održavanju glatke kornealne površine. Pacijenti sa suhim okom često imaju ne samo subjektivne tegobe koje se tiču inflamacije površine oka, nego i smetnje u vidnoj oštrini koje nekada značajno mogu da utiču na kvalitet njihovog života.

Ukupan refrakcioni indeks rožnjače je 1,376. Svjetlo se najčešće znatno refraktuje kada prolazi kroz njenu prednju površinu. Refrakcioni indeks od 1,3375 se najčešće koristi za kalibraciju keratometara, jer se ova konstanta uzima kao vrijednost ukupnog refrakcionog indeksa prednje i zadnje površine rožnjače.

2.2. Principi Wavefront analize

Najjednostavniji način objašnjenja kornealnog wavefront-a se bazira na opisu po kojem su optičke aberacije greške nastale prilikom putovanja svjetlosnog zraka određene dužine. Dužina svjetlosnog zraka može da se definiše kao broj oscilacija koje nastaju iz propagirajućeg svjetlosnog zraka. Jednostavna formula za izračunavanje optičke distance je množenje fizičke dužine svjetla sa refraktivnim indeksom. Ova analiza svjetlosnog zraka posmatranjem dužine optičkog puta se zasniva na Fermat - ovom principu najkraćeg

vremena, po kojem će svjetlo sa tačke objekta do tačke slike putovati najkraćim putem. (Slika 1).



Slika 1. Šematski prikaz Wavefront aberacija ljudskog oka. Izvor: scien.stanford.edu

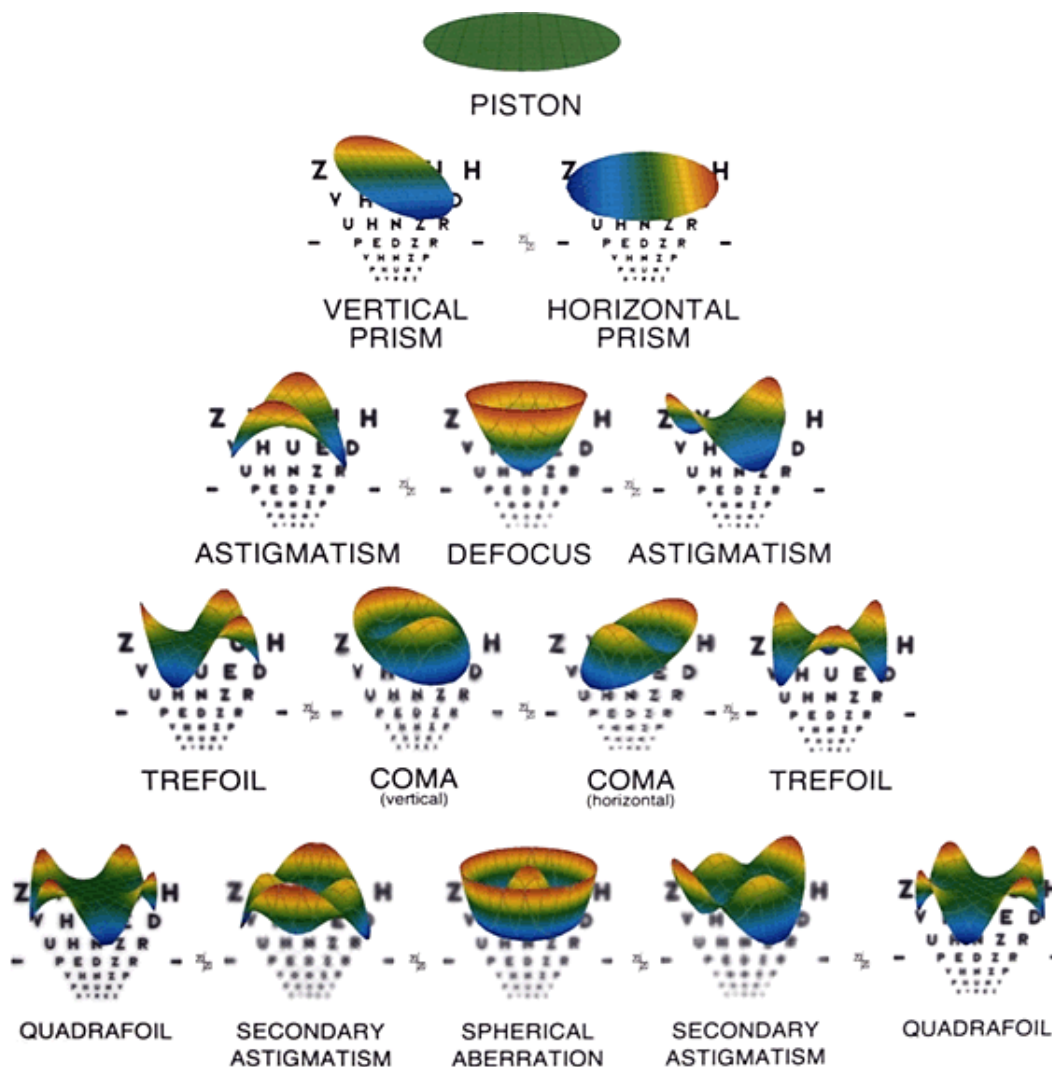
Wavefront se konceptijski može predstaviti kao površina koja povezuje sve svjetlosne zrake koji nastaju na istoj tački i imaju istu temporalnu fazu, npr. sa istom optičkom dužinom. U savršenom optičkom sistemu, dužina optičkog puta će biti najkraća i jednaka za sve svjetlosne zrake koji polaze sa objekta i kreću se prema slici istog objekta. Stoga će svi zraci koji nastaju na slici padati na istu tačku, dajući sferični wavefront centriran na određeni dio slike. Sa druge strane, svjetlosni zraci koji prolaze kroz aberisani sistem neće imati istu fokusnu tačku, nego će na sliku dolaziti u različitim fazama, pošto će putovati različitim dužinama svjetlosnog zraka. Ovakvi zraci će praviti aberisani wavefront koji odstupa od idealnog oblika. Razlika između stvarnog wavefront-a i idealne sfere naziva se wavefront greška (wavefront error).[20]

Na osnovu toga, kornealne wavefront aberacije mogu da se izračunaju kao razlika dužine optičkog puta između aksijalnih i marginalnih zraka. Ako se uzme da je oko sistem sa jednopovršinski sistem sastavljen od savršene kornee, svi svjetlosni zraci koji dolaze iz

beskonačnosti će na tačku fokusa stići u isto vrijeme. Odnosno, kod takvog sistema, wavefront greška je nula. U stvarnosti, prisustvo kornealnih aberacija se odnosi na činjenicu da svjetlosni zraci sa periferije dolaze na tačku fokusa u različitim fazama, a što zavisi od aksijalnih svjetlosnih zraka, koji tako zajedno stvaraju aberisani wavefront. U svakodnevnoj praksi izračunati se mogu prednje kornealne i ukupne kornealne sferne aberacije na osnovu elevacijskih kornealnih mapa, dok aberacije zadnje strane rožnjače takođe mogu da se izračunaju oduzimanjem prednjih kornealnih od ukupnih kornealnih sfernih aberacija. Još jedan jednostavan način da se izračunaju vrijednosti kornealnih aberacija jeste da se kao referentna tačka za izračunavanje uzme oblik rožnjače, pošto kornealne aberacije nastaju iz njenog oblika, te da se odredi razlika između postojećeg i idealnog kornealnog oblika bez aberacija.

2.3. Zernike polinomijali

U okularnoj optici, wavefront aberacije se često opisuju matematički, uz pomoć serije Zernike polinomijala. Ova serija formula sastoji se od ortogonalnih redova definisanih kao jedinice kruga, što znači da su matematički nezavisne jedna od druge. Ortonormalna osobina je važna za modeliranje oblika wavefront-a. Nadalje, dekompozicija Zernike-a daje dobar opis kornealnih optičkih osobina, te posljedično svake aberacijske komponente. Svaka funkcija Zernike polinomijala izuzima komponentu wavefront greške; ove komponente se grupiraju u aberacije nižeg reda (lower order aberrations - LOA) i aberacije višeg reda (higher order aberrations-HOA). (Slika 2).



Slika 2. Šematski prikaz Zernike Polinomijala. Izvor: allaboutvision.com

Predstavljene su Zernike redom:

$$Z(n,m)$$

gdje je n red polinomijala, a m frekvencija njegove učestalosti.

Root Mean Square (RMS) je korijen zbira ukupnih wavefront aberacija, ili korijen zbira pojedinih komponenti Zernike aberacija višeg reda. Izračunavanje RMS-a vrši se pomoću sljedeće formule:

$$\text{RMS}^2 = \sum [Z(n,m)]^2$$

Point spread function (PSF) je mjera kojom se određuje koliko se dobro slika posmatranog predmeta projicira na retinu dok prolazi kroz optički sistem oka. Ova funkcija je u direktnoj vezi sa veličinom pupile, odnosno širina pupile direktno utiče na kvalitet slike predmeta koji dobija retina. U idealnim uslovima, odnosno u idealnom oku, najjasnija slika predmeta bi bila kada pupilarni dijametar ne bi bio veći od 1 mm. Sa porastom pupilarnog dijametra dolazi i do porasta PSF.

Modulation transfer function (MTF) je funkcija kojom se određuje koliko dobro se može prenijeti kontrast sa ravni slike u određenoj rezoluciji. Klinički, najjednostavnije ga je uporediti sa kontrastnom senzitivnošću.

Najčešće korišteni Zernike polinomijali koji utiču na vidu oštrinu su sljedeći:[21]

- Nulti red (Z^0_0): predstavlja konstantu.
- Prvi red ($Z^{-1}_1; Z^1_1$): predstavljaju tilt-pomjeranje u odnosu na x i y osu.
- Drugi red ($Z^{-2}_2; Z^0_2; Z^2_2$): predstavljaju defokus i regularni astigmatizam u vertikalnoj i horizontalnoj osi.
- Treći red: ($Z^{-3}_3; Z^{-1}_3; Z^1_3; Z^3_3$): pokazuje komu (coma) i trefoil (trefoil) sferne aberacije u 4 osnove.
- Četvrti red: ($Z^{-4}_4; Z^{-2}_4; Z^0_4; Z^2_4; Z^4_4$): predstavlja sfernu aberaciju (spherical aberration), sekundarni astigmatizam (secondary astigmatism) i tetrafoil (tetrafoil) u 5 osnova.

Nulti, prvi i drugi red predstavljaju sferne aberacije nižeg reda (lower order aberrations), dok aberacije drugog reda (defocus, regular astigmatism) daju najveći doprinos ukupnim wavefront aberacijama ljudskog oka. Treći do dvanaestog reda Zernike polinomijala predstavljaju sferne aberacije višeg reda (higher order aberrations), s tim što aberacije trećeg i četvrtog reda su najzastupljenije sferne aberacije višeg reda u ljudskom oku.

Koma (coma) se javlja kada se posmatrani objekat nalazi van optičke ose, ili ako je apeks rožnjače anatomske decentriran u odnosu na ostale elemente optike oka. Ova aberacija može se smatrati off-axis sfernom aberacijom, te stvara superponiranu sliku u odnosu jedne na drugu.[22] Analizira se polinomijalima u horizontalnoj i vertikalnoj ravni ($Z^{-1}_3; Z^1_3$).

Sa druge strane **sferna aberacija (spherical aberration)** predstavlja razliku u snazi refrakcije perifernih u odnosu na centralne zrake. Ovaj fenomen se javlja kada je izvor svjetlosti refraktovan od strane velikog otvora optičkog sistema. Različite zone optičkog otvora imaju različite fokalne dužine, te stoga ne fokusiraju izvor svjetla na istu sfernu lokaciju. Kod anatomske i fiziološke normalne oka, sferna aberacija nema uticaj na vidnu oštrinu jer je veličina pupile često mala.[23,24] Predstavljena je sa polinomijalnom Z_4^0 .

Trefoil sferna aberacija ubraja se u aberacije trećeg reda i petog reda, zajedno sa coma sfernom aberacijom. Kao i coma, ova sferna aberacija može da se izračuna u vertikalnoj i horizontalnoj formi, odnosno njen RMS predstavlja zbir Z_3^{-3} , Z_3^3 , Z_5^{-3} , and Z_5^3 . Smatra se da je ova sferna aberacija najvećim dijelom vezana za patološke promjene u očnom sočivu, odnosno da do njenog porasta često dolazi zbog zamućenja korteksa, ali i kod lenticonus-a i sferofakije.[25]

Zernike polinomijale je prvi otkrio i koristio njemački fizičar Fritz Zernike, koji je 1953. godine dobio Nobelovu nagradu za fiziku. Sa druge strane, sferne aberacije ljudskog oka mogu se izračunati i pomoću Fourier-ove serije polinomijala, koji su dobili naziv po francuskom naučniku i matematičaru Joseph-u Fourier-u. Popularnost Zernike polinomijala za izračunavanje okularnih sfernih aberacija u odnosu na Fourier-ove se temelji na činjenici da su Zernike polinomijali ortonormalni na cirkularnu pupilu, za razliku od Fourierovih koji su ortonormalni na pravougaonu pupilu. Nadalje, Zernike polinomijali se odnose na klasične aberacije, kao što su Seidel-ove i Schwarzschild-ove aberacije, te su konstruisani tako da su polinomijali višeg reda „balansirani“ aberacijama nižeg reda, te intenzitet slike na fokalnoj ravni može biti optimiziran kada je stepen aberacija nizak.

3.0. KARAKTERISTIKE OKULARNIH SFERNIH ABERACIJA

Ljudsko oko sadrži nepravilnosti u prelamanju svjetlosnih zraka koje u njega ulaze, a koje se nazivaju sferne aberacije. Kao što je ranije napomenuto, sferne aberacije mogu da se podijele na aberacije nižeg reda (lower - order aberrations) i na aberacije višeg reda (higher - order aberrations). Na nastanak i razvoj sfernih aberacija višeg reda utiču i mnogi drugi faktori, od doba, pola, pa sve do rase i pojedinih oboljenja oka.

3.1. Dob

U literaturi najčešće analizirani podatak jeste odnos sfernih aberacija i godina ispitanika. Dokazano je da sferne aberacije višeg reda (higher - order aberrations) RMS raste sa godinama, kao što rastu i kornealne aberacije i aberacije sočiva. Oshika et al.[35] su analizirali odnos između godina stasosti i stepena HO-RMS, coma, trefoil i spherical aberration na uzroku od 990 očiju, te na pupili od 5 mm. Utvrdili su da starenjem dolazi do porasta sfernih aberacija višeg reda.

3.2. Pol

Generalno, žene imaju veći stepen sfernih aberacija nego muškarci, a razlika pojedinih aberacija je signifikantna osim za trefoil, i to preoperativno. Prosječna vrijednost preoperativnih sfernih aberacija kod žena je $0,1954 \pm 0,0672$ za HORMS, $0,0709 \pm 0,0459$ za spherical aberration, $0,1096 \pm 0,0604$ za coma i $0,0943 \pm 0,0488$ za trefoil, za razliku od muškaraca kod kojih su vrijednosti za HORMS $0,1799 \pm 0,0588$, spherical aberration $0,0596 \pm 0,0387$, coma $0,1004 \pm 0,0515$ i trefoil $0,0929 \pm 0,0491$. Međutim, postoperativno stepen sfernih aberacija je viši kod žena samo za coma-u, dok su spherical aberration i trefoil nepromijenjeni.[36]

3.3. Veličina pupile

Dobro je poznato da uticaj sfernih aberacija višeg reda (HOA) na ukupan wavefront oka ima i veličina pupile, odnosno da stepen aberacija raste sa porastom otvora pupile. Tako je u literaturi[37] prijavljen podatak da porast dijametra pupile sa 3,0 mm na 7,0 mm dovodi do porasta HOA od 3% do 14%. Sferne aberacije višeg reda (HOA) i dijametar pupile su u direktnoj korelaciji sa dubinom fokusa. Smanjenje dijametra pupile dovodi do porasta dubine fokusa. Tako će porast HOA (posebno spherical aberration) proširiti dubinu fokusa, ali će u isto vrijeme smanjiti vidnu oštrinu. Magnituda HOA koja će održati prihvatljivu vidnu oštrinu i pored porasta dubine fokusa i dijametra pupile još uvijek nije generalizovan i zavisi od svakog pojedinca ponaosob.

3.4. Keratometrija i aberacije

Odnos između okularnih aberacija i kornealne keratometrije je nedovoljno analiziran, ali prema postojećim podacima, ne postoji snažna veza između vrijednosti keratometrije i kornealnih sfernih aberacija, osim djelimična korelacija između spherical aberration i keratometrije. Isti je slučaj i sa postoperativnim odnosom ova dva faktora, gdje se primjećuje neznatan porast coma i spherical aberration sa porastom keratometrije, dok niti ovdje nema promjena u odnosu trefoil-a i postoperativne keratometrije.[38]

3.5. Odnos sfernih aberacija desnog i lijevog oka

Prve informacije o odnosu sfernih aberacija desnog i lijevog oka dali su Porter et al.[39], koji na uzorku od 516 očiju nisu dokazali postojanje razliku sfernih aberacija između dva oka. Naime, sferne aberacije oba oka su preoperativno i postoperativno bile iste na oba oka.

3.6. Rasa

Kod bijele rase primjećuje se veće prisustvo spherical aberration, a znatno manje trefoil-a. Sa druge strane, žuta i crna rasa imaju veći stepen coma-e i trefoil-a, a znatno manji spherical aberration.

3.7. Dominantnost oka

Buzzonetti et al.[40] dokazali su da dominantno oko često ima nešto veći stepen HORMS-a, coma-e i trefoil-a, a manji spherical aberration.

4.0. PRINCIP MULTIFOKALNOG INTRAOKULARNOG SOČIVA[77]

Nakon 45. godine života, većina osoba će izbubiti akomodativnu sposobnost prirodnog očnog sočiva, odnosno razvije presbiopiju. Osim toga, nekih dvadeset godina nakon toga, većina će razviti i određeni stepen katarakte, što će zahtijevati i hirurški zahvat za njeno uklanjanje. U toku ovog operativnog zahvata kod svih pacijenata se ugrađuje intraokularno sočivo koje, u zavisnosti od svojih optičkih karakteristika, može da koriguje refrakcionu anomaliju za daljinu, ili i presbiopiju.

U toku tehnološkog razvoja multifokalnih intraokularnih sočiva, utvrđeno je da su dotadašnji implantati sa kojima se mogla korigovati dioptrija za daljinu i blizinu dobra opcija, ali većini pacijenata nedostaje kvalitetna vidna oštrina na srednju daljinu. Tako su, u želji da se dobije korekcija dioptrije na sve tri udaljenosti, počela razvijati trifokalna intraokularna sočiva.

Princip multifokalnih sočiva se zasniva na dva ili tri fokusa. Bifokali fokusiraju svjetlosne zrake simultano na fokus na blizinu i fokus na daljinu. Trifokali, uz ova dva fokusa, uzimajući dio refrakcije za blizinu, fokusiraju svjetlosne zrake i na srednju dalinu. Kako se svjetlosni zraci šire na mnogo većoj površini retine (zbog postojanja više fokusa), takva pojava se naziva „halo.“

4.1. Fizičke karakteristike multifokalnih sočiva

Posmatrajući raspored svjetlosnih zraka na retini, a koji prolaze kroz multifokalno sočivo, primjećuju se dva signala. Prvi signal je vidljiv kao optički signal i pokazuje sliku predmeta u daljini koju oko posmatra. Drugi signal je zapravo „eho“ prvog signala i u trenutku posmatranja predmeta na blizinu postaje glavni signal, odnosno prvi signal. Kod kvalitetnog bifokalnog intraokularnog sočiva, „eho“ prvog signala nije veći od 20 do 25 dB. Ova karakteristika može da bude upoređena sa pojačalima zvuka, čiji prosječan eho signala iznosi oko 75 dB, te je stoga akustični signal uvijek dominantniji u odnosu na eho zvuka.

Kako bi se brzo i precizno mogla napraviti razlika između ova dva signala, ključnu ulogu igra neuroadaptacija. Zapravo je centar za vid u okcipitalnom korteksu „softver“ koji eliminiše eho jednog od dva signala, a u zavisnosti da li se gledaju predmeti na daljinu ili na blizinu. Osim toga, neuroadaptacija igra ključnu ulogu i u binokularnosti spajajući u jednu vidne signale koji dolaze sa retine oba oka.

Sa porastom fokusa na multifokalnom sočivu, posljedično dolazi i do porasta „eho“ svjetlosnih signala, što zahtijeva i veći stepen neuroadaptacije.

Neuroadaptacija je najlakša i najbrža kod mladih osoba, ali je u ovoj dobnoj grupi akomodacija najčešće očuvana, te multifokalna intraokularna sočiva nisu rješenje njihove refrakcione anomalije.

4.2. Refrakcija i difrakcija

Stvaranje fokalnih tračaka svakog multifokalnog sočiva se vrši uz pomoć „praćenja svjetlosnog zraka“, odnosno „ray tracing metode.“ Ovaj princip analize multifokalnosti zasniva se na tzv. „zakonu o refrakciji svjetla“, koji glasi: svjetlosni zraci mijenjaju svoj pravac na površini dva medija različitih optičkih gustina, ili različitih optičkih indeksa. Međutim, ono što je jako važno jeste činjenica da se ovaj zakon može primijeniti samo onda kada su oba optička medija glatkih površina. U slučaju da su površine nepravilne, odnosno

da ne postoji glatkoća, predviđanje pravca svjetlosnog zraka ne može biti formulisano ovim zakonom.

4.3. Difraktivna optika

Difraktivna optika se zasniva na činjenici da se svjetlosni zraci šire putem svjetlosnih talasa. Ovi talasi su manifestacije periodičnih oscilacija nastalih iz elektro-magnetnog polja. Kako su oscilacije konstantne frekvencije, širenje svjetlosnih talasa zavisi od optičke gustine medijuma kroz koji prolaze, to jest od refraktivnog indeksa, dok se kompletan put svjetlosnog zraka u toku jedne oscilacije karakteriše kao dužina svjetlosnog zraka (wavelength), a količina oscilacije amplituda.

Kada se različiti svjetlosni zraci emitovani od istog izvora spoje na istoj lokaciji, oni se međusobno isprepliću i daju jedan svjetlosni zrak. Novonastali svjetlosni zrak je zbir svih svjetlosnih zraka različitih putanja sa istog izvora svjetla koji se sastaju na istoj površini. Ukoliko se desi da dva svjetlosna talasa formiraju svjetlosni snop, koji su paralelni i iste su talasne dužine, njihova jačina će biti duplo veća u odnosu na sve ostale svjetlosne zrake istog snopa.

4.4. Razlika između bifokalnih i trifokalnih multifokala

Osnovna razlika između trifokalnih i bifokalnih difraktivnih intraokularnih sočiva je u broju i raspoređenosti „ringova“, odnosno difraktivnih prstenova na njihovom optičkom dijelu.

Tako bifokalna intraokularna sočiva imaju manji broj prstenova koji su raspoređeni u dvije zone-zone vida za daljinu i zone vida na blizinu, i to uz pomoć fenomena difrakcije koji je ranije opisan. Trifokalna sočiva, sa druge strane, imaju nešto više prstenova, ali je mnogo važniji njihov raspored, odnosno distanca jednog u odnosu na drugi.

5.0. HIPOTEZA

Nulta hipoteza: ne postoji značajna statistička razlika između sfernih aberacija višeg reda mjerenih Hartmann-Shack i Scheimpflug metodom kod bifokalnih i trifokalnih intraokularnih sočiva.

Radna hipoteza: trifokalna difraktivna intraokularna sočiva daju manji porast vrijednosti sfernih aberacija višeg reda u odnosu na bifokalna difraktivna intraokularna sočiva postoperativno. Scheimpflug metoda daje veće vrijednosti sfernih aberacija višeg reda u odnosu na Hartmann-Shack metodu.

6.0. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj: Utvrditi i uporediti sferne aberacije višeg reda kod ispitanika sa bifokalnim i trifokalnim difraktivnim intraokularnim sočivima mjerenih Hartmann-Shack i Scheimpflug metodom.

Podciljevi:

1. Utvrditi vrstu refrakcione anomalije koja će biti korigovana
2. Utvrditi i analizirati nekorigovanu i najbolje korigovanu vidnu oštrinu na daljinu, srednju daljinu i blizinu predoperativno
3. Utvrditi i analizirati najbolju vidnu oštrinu na daljinu, srednju daljinu u blizinu postoperativno.
4. Utvrditi eventualno postojanje rezidualne refrakcije i zaostalog kornealnog astigmatizma
5. Utvrditi vrijednosti intraokularnog pritiska, kontrastne senzitivnosti, broja endotelних ćelija, te dubine prednje očne komore predoperativno i postoperativno.

Osnovni cilj ove naučne studije jeste komparacija mjerenja okularnih sfernih aberacija višeg reda pomoću dvije nezavisne metode, odnosno dvije tehnike mjerenja. Kako su po svojim karakteristikama ove dvije metode različite principom izvođenja samog mjerenja, cilj je uporediti preciznost rezultata u obe grupe ispitanika i sa obe metode mjerenja.

Podciljevi su takođe važan dio istraživanja, kako iz ugla uticaja sfernih aberacija višeg reda, tako i samim bifokalnim i trifokalnim intraokularnim sočivima.

Utvrdjivanjem predoperativne refrakcione anomalije koja će se korigovati želi se utvrditi koja je njena prosječna vrijednost predoperativno, te da li se za ove operativne zahvate odlučuju oni koji imaju samo jednu refrakcionu anomaliju (presbiopiju), ili oni sa dvije refrakcione anomalije (u ovoj studiji, hipermetropiju i presbiopiju).

Predoperativno će se odrediti nekorigovana i najbolje korigovana vidna oštrina na daljinu, srednju daljinu i blizinu, čime će se utvrditi koliko je dijagnostikovana dioptriya važna za vidnu oštrinu ispitanika.

Postoperativnim određivanjem vidne oštine na daljinu, srednju daljinu i blizinu utvrđuje se sama efikasnost operativnog zahvata, odnosno efikasnost implantiranih difraktivnih multifokalnih intraokularnih sočiva na vidnu oštrinu ispitanika u obe grupe. Osim toga, posebno se procjenjuje i uticaj dizajna multifokalnog sočiva na sve tri udaljenosti, kako bi se ispitala njihova uloga u korekciji sve tri dioptrije.

Iako je postoperativna rezidualna refrakcija direktno povezana sa predoperativnom kalkulacijom jačine multifokalnog intraokularnog sočiva i hirurškom tehnikom kojom je operativni zahvat izveden, njene vrijednosti mogu uticati kako na postoperativnu vidnu oštrinu, tako i na vrijednosti sfernih aberacija višeg reda.

Vrijednosti intraokularnog pritiska mogu varirati nakon intraokularnih procedura, posebno onih sa ugradnjom intraokularnih sočiva. Ispitivanjem ovih vrijednosti želi se utvrditi da li multifokalna sočiva statistički značajno utiču na vrijednosti tonusa postoperativno.

Kontrastna senzitivnost je važan faktor postoperativne vidne oštine pacijenata nakon ugradnje intraokularnih sočiva. Njenim ispitivanjem u ovoj studiji želi se utvrditi da li bifokalna i trifokalna intraokularna sočiva imaju uticaj na njene vrijednosti nakon implantacije, te da li neko od njih manje ili više smanjuje kontrastnu senzitivnost.

Od ukupnog broja endotelних ćelija zavise fiziološki procesi rožnjače, a poseban uticaj imaju na njenu transparentnost. Iako su i ovdje njihov predoperativni broj i hirurška tehnika važni za postoperativne vrijednosti, cilj je da se utvrdi da li odstranjenjem očnog sočiva bez ultrazvuka i ugradnjom multifokalnih intraokularnih implantata može značajno da se utiče na njihovo smanjenje.

7.0. MATERIJAL I METODE

7.1. Ispitanici

Prospektivna studija obuhvata 50 pacijenata (100 očiju) starosne dobi od 45 do 65 godina, koji su kandidati za korekciju hipermetropije i presbiopije ugradnjom bifokalnih ili trifokalnih intraokularnih sočiva.

Za potrebe ovog istraživanja formiran je protokol koji obuhvata:

1. Ime i prezime ispitanika
2. Pol
3. Godina rođenja/godina starosti
4. Vrsta refrakcione anomalije koja će se korigovati
5. Nekorigovana i najbolje korigovana vidna oštrina na daljinu, srednju daljinu i blizinu predoperativno
6. Nekorigovana i najbolje korigovana vidna oštrina na srednju daljinu, srednju daljinu i blizinu postoperativno
7. Postojanje rezidualne refrakcije postoperativno
8. Vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod trifokalnih sočiva mjerenih Scheimpflug metodom predoperativno i postoperativno
9. Vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod trifokalnih sočiva mjerenih Harmann-Shack metodom predoperativno i postoperativno
10. Vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod bifokalnih sočiva mjerenih Scheimpflug metodom predoperativno i postoperativno
11. Vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod bifokalnih sočiva mjerenih Harmann-Shack metodom predoperativno i postoperativno
12. Poređenje vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod trifokalnih i bifokalnih sočiva mjerenih Scheimpflug metodom
13. Poređenje vrijednosti sfernih aberacija višeg reda (coma, trefoil, spherical aberration) kod trifokalnih i bifokalnih sočiva mjerenih Harmann-Shack metodom
14. Vrijednost kontrastne senzitivnosti predoperativno i postoperativno

15. Vrijednosti dubine prednje očne komore predoperativno i postoperativno
16. Vrijednosti broja endotelних ćelija rožnjače predoperativno i postoperativno
17. Prisustvo sekundarne katarakte
18. Položaj intraokularnog sočiva u kapsularnoj vreći

Kriterijumi za uključivanje u studiju:

1. Punoljetnost ispitanika, koji su orijentisani u sve tri dimenzije (prema vremenu, prostoru i drugim ličnostima).
2. Starosna dob od 45 do 65 godina
3. Postojanje sferične refrakcije anomalije na daljinu i blizinu
4. Najbolja korigovana vidna oštrina od 0.5 do 1.0 (Snellen-ove tablice)
5. Najbolja korigovana vidna oštrina na srednju daljinu od 0.8 po Snellen-u i blizinu od „Jaeger“ J2 do J1+
6. Postojanje providnog očnog sočiva
7. Odsustvo inflamatornih i degenerativnih oboljenja prednjeg i zadnjeg segmenta oka

Punoljetstvo ispitanika i njihova orijentisanost su prva dva faktora koja moraju da se ispunje za uključivanje u studiju. Po pravilu, maloljetnim pacijentima se ne izvode operacije refraktivne hirurgije osim ako one nisu jedina opcija za očuvanje njihovog vida. Nadalje, svi ispitanici moraju da budu svjesni procedure kojoj se podvrgavaju, kao i mogućim rezultatima, tačnije da nemaju nerealna očekivanja.

Starosna dob ispitanika između 45 i 65 godina je posebno važna za ovo istraživanje. Naime, poslije 45. godine života prestaje akomodativna sposobnost očnog sočiva i pacijenti razvijaju presbiopiju. Upravo zbog ove fiziološke promjene može se u potpunosti pristupiti ispitivanju efikasnosti bifokalnih i trifokalnih intraokularnih implantata za korekciju dioptrije na sve tri udaljenosti. Sa druge strane, katarakta i ostale senilne degenerativne promjene oka se najčešće ne javljaju do 65. godine života, tako da se zanemaruje eventualnih uticaj patoloških promjena u optičkom sistemu oka na postoperativni ishod i efikasnost multifokalnih intraokularnih sočiva, odnosno na sam izbor ispitanika.

Sferična refrakciona anomalija je sljedeći važan faktor za uključivanje u ovu studiju za koju su odabrani pacijenti sa hipermetropijom i presbiopijom. Nije ograničavana ni vrijednosti hipermetropije, niti vrijednost presbiopije.

Najbolja korigovana vidna oštrina na daljinu između 0.5 i 1.0 po Snellen-u predoperativno je od velike važnosti za rezultate ove studije. Ambliopija ispod 0.5 vidne oštrine, odnosno vidna oštrina koja je manja od 50%, je jedna od kontraindikacija za implantaciju multifokalnih intraokularnih sočiva zbog neurosupresije signala optičkog puta. Stoga je posebno važno da se odaberu kandidati koji će imati što manji stepen ambliopije, odnosno što bolju vidnu oštrinu, kako bi rezultati studije bili što relevantniji.

Kao što je već navedeno za ambliopiju, isti razlozi za uključivanje u studiju su vezani za vidnu oštrinu na srednju daljinu i blizinu.

Providnost očnog sočiva je odabrano kao uslov za uključivanje u studiju iz dva razloga. Prvi je taj da se rezultati studije u potpunosti fokusiraju na podatke vezane za korekciju refrakcionih anomalija oka, a ne i druge patologije, kao što je katarakta. Drugi razlog je taj što se za vrijeme operacije katarakte, to jest za vrijeme uklanjanja zamućenog očnog sočiva, koristi i ultrazvučna energija koja može dovesti do oštećenja endotelne ćelije, te na taj način može uticati i na transparentnost rožnjače i vrijednosti sfernih aberacija višeg reda.

Formulisanjem studije kao striktno refraktivne smanjuje se mogućnost intraoperativnih komplikacija, tako da se dobijaju realniji rezultati postoperativnih vrijednosti sfernih aberacija višeg reda u obe grupe ispitanika.

Kriterijumi za neuključivanje u studiju:

1. Maloljetnost ispitanika
2. Nepostojanje refrakcione anomalije na daljinu i/ili blizinu
3. Ambliopija veća od 0.5 po Snellen-u
4. Postojanje skleroze nukleusa ili zamućenja sočiva od gradus 1 po „LOCS III“ sistemu gradacije
5. Postojanje patoloških stanja ili oboljenja prednjeg ili zadnjeg segmenta oka koji mogu uticati na ishod operacije

Kao što je već napomenuto, maloljetnim pacijentima se ne savjetuje izvođenje refraktivnih hirurških procedura, osim u rijetkim slučajevima kada one mogu doprinijeti razvoju vidne oštine, ili očuvanju postojeće.

Emetropnim pacijentima i pacijentima bez presbiopije se takođe ne savjetuju refraktivne hirurške procedure, jer one praktično nemaju svoje uporište i gube smisao ako ne postoji refrakciona anomalija koja će se korigovati.

Ambliopija je često kontraindikacija za mnoge procedure u refraktivnoj hirurgiji. Kako je loša vidna oština na blizinu kod pacijenata sa ambliopijom posebno izražena, ugradnja multifokalnih sočiva takođe ne može da da željene rezultate, te se zbog toga i izbjegava.

Postojanje skleroze nukleusa i/ili katarakte značajno može da utiče na predoperativne vrijednosti okularnih sfernih aberacija višeg reda, ali i ukupne vidne oštine na sve tri udaljenosti. Osim toga, hirurgija katarakte umnogome doprinosi smanjenju broja endotelних ćelija rožnjače, kao i nastanku intraoperativnih i postoperativnih komplikacija, što takođe utiče na vrijednosti okularnih sfernih aberacija višeg reda.

Patološke promjene u optičkom sistemu oka imaju veliki uticaj kako na vrijednosti vidne oštine, tako da i na sferne aberacije višeg reda predoperativno i postoperativno.

Posebno su važne inflamatorne i degenerativne promjene na rožnjači, kao i inflamatorne u prednjoj očnoj komori i degenerativne u očnom sočivu. Iako do sada nije utvrđena direktna veza između patoloških i degenerativnih promjena u vitreusu i na retini sa sfernim aberacijama višeg reda, i ove promjene su uzete u obzir kada se vršila selekcija ispitanika za ovu studiju.

7.2. Etičke odredbe

Prije pristupanja studiji, svi ispitanici će biti detaljno informisani o samom ispitivanju i metodama koje će se primjenjivati, kao i očekivanim rezultatima i važnosti istih za ovu studiju. Nakon prihvatanja svih informacija, svaki učesnik studije je potpisao informativni pristanak za učestvovanje u istraživanju koji je načinjen u skladu sa pravilima Deklaracije u Helsinkiju i odobren od strane Etičkog odbora Medicinskog fakulteta Univerziteta Banja Luka.

Istraživanje se vrši u specijalnoj bolnici iz hirurških oblasti za oftalmologiju „Svjetlost“ Banja Luka od 01.05.2018. godine.

7.3. Metode

Svi ispitanici su podvrgnuti predoperativnoj evaluaciji u vidu opšteg oftalmološkog pregleda i dijagnostičkih procedura.

Opšti oftalmološki pregled obuhvata:

- Određivanje nekorigovane i najbolje korigovane vidne oštine na daljinu, srednju daljinu i blizinu (Snellen-ove i Jaeger-ove tablice).
- Mjerenje intraokularnog pritiska
- Mjerenje kontrastne senzitivnosti
- Pregled prednjeg segmenta oka na biomikroskopu
- Pregled zadnjeg segmenta oka na biomikroskopu

Nekorigovana i najbolje korigovana vidna oštrina na daljinu određuje se uz pomoć Snellen-ovih tablica. Tablica se sastoji od 11 redova po pet slova ili brojeva, koji se postavljaju na udaljenost od šest metara od pacijenta. Pored svakog reda nalazi se decimalni broj koji označava nivo vidne oštine. Maksimalna vidna oštrina se postiže sa brojem 1.0.

Određivanje predoperativne vidne oštine na srednju daljinu izvodi se uz pomoć Snellen tablica prilagođenih za mjerenje ove vidne oštine, i to sa kompjuterskog ekrana veličine 63

cm. Ekran je postavljen na udaljenost od 60 cm od pacijenta, a promjenom veličine slova na ekranu određuje se i vidna oštrina.

Jaeger tablice su jednostavni redovi teksta, brojeva, slova, ili karaktera, koji se koriste za određivanje vidne oštrine na blizinu. Nisu standardizovani, a najčešće sadrže devet redova teksta, ili karaktera čija se veličina smanjuje od vrha ka dnu tablice. Najlošija vidna oštrina na blizinu označava se sa J8, a najbolja sa J1+.

Mjerenje intraokularnog pritiska sljedeća je faza predoperativnog pregleda, a isto će biti izvršeno putem Goldmann aplanacionog tonometra (Goldmann, Haag-Streit, Konitz, Švajcarska). Prije samog mjerenja, pacijentu se izvrši anestezija oba oka sa topikalnim anestetikom (Novesine 0.4%, OmniVision, GmbH, Puchheim, Njemačka), te se površina oka oboji fluoresceinskom bojom radi bolje vizuelizacije na kaloti. Prislanjanjem kalote na centralni dio rožnjače oka mjere se vrijednosti intraokularnog pritiska prvo desnog, pa onda i lijevog oka. Fiziološkim vrijednostima se smatraju one koje nisu manje od 10 mmHg, niti veće od 21 mmHg.

Pregled ispitanika na biomikroskopu zapoćeće se pregledom prednjeg segmenta oka (CSO SL-9000, CSO, Firenca, Italija). Detaljno se analizira eventualno postojanje oboljenja prednjeg očnog segmenta (blefaritisi, konjunktivitisi, sindrom suhog oka, keratitisi, te eventualno postojanje makula, nubekula i leukoma rožnjače). Nakon uspostavljanja medikamentozne midrijaze, na istom aparatu biće detaljno analiziran i zadnji segment oka, kako bi se isključile inflamatorne i degenerativne bolesti makule, te postojanje degeneracija periferne retine. Za analizu zadnjeg očnog segmenta koristi se non kontaktna lupa (Volk, Mentor, OH, SAD) sa 90 D.

Mjerenje dubine prednje očne komore, kao i kornealnog astigmatizma i analiza prisustva katarakte vršiće se uz pomoć aparata Oculus Pentacam II (Oculus, GmbH, Jena, Njemačka). Ovo je trenutno najsavremeniji aparat za dijagnostiku prednjeg segmenta oka, a princip rada zasniva se na rotirajućoj Scheimpflug-ovoj kameri. Zbog svojih tehničkih osobina daje između 25 i 50 slika u manje od 2 sekunde, odnosno 25.000 elevacijskih tačaka kompletne rožnjače, a njegovi dijagnostički nalazi su od izuzetne važnosti za donošenje konačne odluke o podobnosti kandidata za refraktivnu hirurgiju, jer se do detalja analizira kornealna topografija u nekoliko mapa (elevacijska, aksijalna, tangencionalna),

zatim pahimetrija, keratometrija, te dubina prednje komore i eventualno prisustvo katarakte. Prednja očna komora biće mjerena od endotela rožnjače do prednje površine oćnog soćiva, a svaki od ispitanika mora da ima dubinu prednje oćne komore od najmanje 2.60 mm.

Broj endotelnih ćelija mjeriće se uz pomoć spekularnog mikroskopa Tomey EM-3000 (Tomey, GmbH, Nurnberg, Njemaćka). Princip rada zasniva se na procjepnom svjetlu koje se emituje na rožnjaći oka, te omogućava vizuelizaciju tog reflektovanog snopa rožnjaće. Svjetlost se reflektuje po zakonima optike, gdje je upadni ugao svjetla jednak uglu refleksije. Normalni endotel se vidi kao grupa ćelija koje imaju tamne rubove i svijetlu površinu. Razlog ovakvog izgleda je ćinjenica da ravne površine (povšina endotelne ćelije) reflektuju svjetlo direktno u soćivo, a neravne strukture (membrana endotelne ćelije) ne reflektuju svjetlo direktno u soćivo, te se ćine tamnijima.

Za izraćun dioptrijske jaćine kod obe vrste difraktivnih intraokularnih soćiva koristiće se Carl Zeiss IOL Master (Carl Zeiss Meditech, Jena, Njemaćka). Non kontaktnom metodom, IOL Master emituje infracrveni laserski zrak koji se reflektuje prema instrumentu od retinalnog pigmentnog epitela mrežnjaće. Kada reflektovani svjetlosni zrak ponovo doće do aparata, aksijalna dućina se izraćunava uz pomoć modifikovanog Michels-ovog interferometra. Osnovno ogranićenje optićke koherentne biometrije je nemogućnost mjerenja kroz mature katarakte i ostale opacitate koji prekrivaju makulu, te zbog nemogućnosti fiksacija smatra se da se kod oko 10% pacijenata ne moće adekvatno uraditi mjerenje.

Najvaćnije za ovu studiju biće mjerenje sfernih aberacija višeg reda, i to uz pomoć dvije metode. „Hartmann-Shack” metoda (Huvitz HRK8000 A, Gunpo, Jućna Koreja) se bazira na nizu optićkog soćiva malog dijametra, nalik oku insekata. Svako soćivo je velićine oko 400 μm , a ukupno ih se u jednom mjernom instrumentu nalazi 180. Reflektovani snop svjetla je podijeljen na više manjih individualnih snopova koji daju multiple slike istog segmenta oka. U „savršenom” oku reflektovani snop svjetla prolazi kroz odgovarajuće optićko soćivo iz kojeg je i potekao, dok kod oka sa promijenjenim vrijednostima sfernih aberacija višeg reda snopovi nasumićno prolaze kroz optićka soćiva koja ne odgovaraju onom iz kojeg su nastali, te na taj naćin stvaraju sliku izmijenjenih

sfernih aberacija višeg reda poznatih kao „wavefront“. Određivanje sfernih aberacija se zapravo temelji da mjerenju ugla devijacije svjetlosnog zraka od njegovih normalnih vrijednosti, a softverska analiza se vrši na centralnih 15 stepeni senzora.

Sa druge strane, „Scheimpflug“ metoda mjerenja sfernih aberacija (Oculus Penacam II, Oculus, GmbH, Jena, Njemačka) bazira se na principu po kojem dubina polja snimanja postaje klinastog oblika sa vrhom na apeksu rožnjače, jer aparat koristi rotirajuću kameru koja može da snimi oko u svih 360 stepeni. Sam aparat zapravo detektuje između 25 i 50 slika u manje od 2 sekunde, odnosno 25.000 elevacijskih tačaka kompletne rožnjače oka. Za izračunavanje sfernih aberacija višeg reda ovom metodom koristi se set matematičkih polinomijala poznatih kao „Zernike“ polinomijali. Pošto su ovi polinomijali nezavisni jer imaju srednju vrijednost na nuli, ali i varijancu koja je jednaka kvadratu koeficijenta tog polinomijala, isti se mogu određivati i mjeriti pojedinačno, ali i grupno.

7.4. Dijametar pupile

Da bi se postigla univerzalnost dobijenih podataka za istraživanje, mjerenja sfernih aberacija višeg reda u obe grupe ispitanika i sa obe dijagnostičke metode će biti mjerena na dijametru pupile od 4 mm.

Svi predoperativni pregledi će biti obavljeni od strane istog ljekara (B.K), a sva dijagnostička mjerenja od strane istog medicinskog tehničara (D.Ć.).

7.5. Hirurški zahvat

Svi operativni zahvati će biti izvedeni u lokalnoj, topikalnoj anesteziji u obe grupe ispitanika.

Predoperativno, svakih 5 minuta u toku 20 minuta pacijentima je ukapan lokalni anestetik u oba oka (Novesine, 0.4%, OmniVision, GmbH, Puchheim, Njemačka).

Nakon predoperativne pripreme, čišćenja operativnog polja povidon jodom (Betadine, 10%, Alkaloid, Skopje, Sjeverna Makedonija) i prekrivanja sterilnom folijom, aplicira se blefarostat i podesi operacioni mikroskop iznad oka pacijenta (Zeiss Opmi Visu 200, Carl Zeiss Meditech, Jena, Njemačka).

Bočne kornealne incizije urade se na 3 i 9 sati veličine 1.5 mm, dok se glavna incizija uradi na 12 sati sa promjerom keratoma od 2.75 mm. Disperzivna viskoelastična supstanca (Viscoat®, Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA) instilira se u prednju očnu komoru, te se uradi prednja kapsuloreksa dijametra od 5.0 do 5.5 mm. Prije aspiracije nukleusa i sočivnih masa napraviće se dobra hidrodisekcija, kako bi se sočivne mase što lakše evakuisale iz kapsularne vreće. Nakon uklanjanja nukleusa i korteksa ocnog sočiva, kapsularna vreća se ponovo napuni, ovoga puta kohezivnim viskoelastikom (Provisc®, Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA), te se nakon toga kroz glavnu kornealnu inciziju implantira difraktivno multifokalno intraokularno sočivo.

Za grupu trifokala koristiće se Versario 3F® difraktivno multifokalno intraokularno sočivo (Bausch&Lomb, Rochester, NY, USA), a za grupu bifokala Versario MICS® difraktivno multifokalno intraokularno sočivo (Bausch&Lomb, Rochester, NY, USA) (Tabela 1.)

Tabela 1. Tehničke karakteristike Versario 3F® i Versario MICS®

Versario 3F		Versario MICS	
			
Hidrofobni akrilat		Hidrofilni akrilat sa hidrofobnom površinom	
Square edge dizajn 360°		Square edge dizajn 360°	
UV zaštita		UV zaštita	
Ukupni dijametar: 11.0 mm		Ukupni dijametar: 11.0 mm	
Dijametar optičkog dijela: 6.0 mm		Dijametar optičkog dijela: 6.0 mm	
Trifokal, srednja (+1.50D), blizina (+3.00D)		Bifokal, blizina (+3.75D)	
Dioptrijske vrijednosti: +0.00 do +34.00 D		Dioptrijske vrijednosti: +0.00 do +32.00 D	

Na kraju operativnog zahvata, i po ispiranju viskoelastika, u prednju očnu komoru će se aplicirati intrakameralni antibiotik (Vankomicin 1%, 0.2 mg/ml, Lek, Ljubljana, Slovenija).

Postoperativna terapija kod svih ispitanika se sastoji od topikalne terapije antibiotika i kortikosteroida (Tobrex, Alcon Laboratories, Forth Worth, TX, USA) u periodu od 7 dana, odnosno do prve postoperativne kontrole od koje počinje period paćenja za ovu studiju.

Hirurški zahvati će biti izvedeni od strane istog hirurga (B.K).

7.6. Statistika

Za analizu dobijenih podataka koristiće se dvije statističke metode, i to upareni student-t test i analiza varijanse (ANOVA) test.

Student t-test biće osnovna statistička metoda za upoređivanje dobijenih rezultata između dvije grupe ispitanika, odnosno grupe sa trifokalnim i bifokalnim difraktivnih intraokularnim sočivom čije su sferne aberacije mjerene pomoću dvije nezavisne metode.

ANOVA test se bazira na provjeri razlike između aritmetričkih sredina tri i više osnovnih skupova. Kako u istraživanju postoje tri grupe analiziranih sfernih aberacija višeg reda u dvije grupe pacijenata i sa dvije nezavisne metode mjerenja vrijednosti istih, ANOVA analizom će se pokazati međusobni odnos sfernih aberacija između njih samih, kao i odnos između dvije vrste implantata i dvije vrste mjerenja.

8.0. REZULTATI

Od ukupno 50 ispitanika (100 očiju) koji su uključeni u studiju, 20 su muškarci, a 30 žene. Kod svih ispitanika operativni zahvat je izvršen na oba oka u istom danu. Starosna struktura pacijenata je između 45 i 65 godina, sa srednjom vrijednosti od 53.41 ± 0.44 .

U grupi trifokala, srednja vrijednost nekorigovane predoperativne korekcije za desno oko je 0.30 ± 0.19 , a lijevo 0.31 ± 0.17 (od 0.05 do 0.70 po Snellen-u). Iste vrijednosti za bifokalnu grupu nisu mnogo različite i iznose 0.33 ± 0.21 za desno oko i 0.42 ± 0.26 za lijevo oko (od 0.05 do 0.75 po Snellen-u).

Srednja vrijednost najbolje korigovane vidne oštine u grupi trifokala predoperativno za desno oko je 0.95 ± 0.19 , a za lijevo 0.94 ± 0.21 , dok je u grupi bifokala opet nije bilo statistički značajne razlike u vrijednostima, te je za desno oko srednja vrijednost najbolje korigovane vidne oštine 0.95 ± 0.14 , a za lijevo 0.94 ± 0.19 . Primjetno je da je 7 dana nakon operacije nekorigovana vidna oštrina u obe grupe bila manja od najbolje korigovane vidne oštine predoperativno (0.85 ± 0.14 u grupi trifokala i 0.90 ± 0.11 u grupi bifokala). Porast vrijednosti nekorigovanih postoperativnih vidnih oština zabilježen je 1 mjesec nakon operacije u obe grupe, a predoperativne vrijednosti najbolje korigovanih vidnih oština su dosegnute 12 mjeseci nakon operacije. Vrijednost ukupnog sfernog ekvivalenta predoperativno u grupi trifokalan je $+1.95 \pm 0.07$, a u grupi bifokala $+1.87 \pm 0.04$. (Tabela 2).

Tabela 2. Vrijednosti vidne oštine na daljinu

	Trifokali		Bifokali	
	OD	OS	OD	OS
Predoperativno	0.30±0.19	0.31±0.17	0.33±0.21	0.42±0.26
Najbolja korigovana	0.96±0.11	0.95±0.14	0.95±0.10	0.96±0.15
7 dana postoperativno	0.85±0.14	0.86±0.17	0.91±0.12	0.89±0.12
1 mjesec postoperativno	0.90±0.10	0.91±0.10	0.94±0.65	0.91±0.80
3 mjeseca postoperativno	0.90±0.10	0.92±0.90	0.94±0.07	0.91±0.07
6 mjeseci postoperativno	0.93±0.08	0.93±0.09	0.95±0.10	0.93±0.09
12 mjeseci postoperativno	0.94±0.07	0.94±0.06	0.96±0.07	0.97±0.05
Sferni ekvivalent	+1.95±1.19	+1.96±1.29	+1.88±1.38	+1.86±1.29
Ukupno sferni ekvivalent	+1.95±0.07		+1.87±0.04	

U obe grupe ispitanika predoperativna vrijednost nekorigovane vidne oštine na srednju daljinu na 60 cm je 0.87 ± 0.15 u grupi trifokala i 0.78 ± 0.14 u grupi bifokala. Najbolja korigovana vidna oština u grupi trifokala je 0.98 ± 0.13 sa sfernim ekvivalentom od $+1.01 \pm 0.17$, a u grupi bifokala 0.99 ± 0.16 sa sfernim ekvivaletnom od $+1.04 \pm 0.19$. Postoperativno, već na početku praćenja vidljiva je velika statistička razlika između vidnih oština u dvije grupe ispitanika. Tako je u grupi trifokala jednaka najboljoj korigovanoj predoperativnoj (0.98 ± 0.13), ali je u grupi bifokala vrijednost znatno niža i iznosi 0.77 ± 0.15 . Zajedničko za obe grupe je to da se postoperativne vrijednosti vidnih oština na srednju daljinu nisu mijenjale u ostatku perioda praćenja. (Tabela 3).

Tabela 3. Vrijednosti vidne oštine na srednju daljinu

	Trifokali		Bifokali	
	OD	OS	OD	OS
Predoperativno	0.81±0.16	0.83±0.15	0.79±0.11	0.78±0.16
Najbolja korigovana	0.99±0.11	0.98±0.14	0.99±0.13	0.99±0.18
7 dana postoperativno	0.99±0.11	0.98±0.14	0.77±0.13	0.78±0.18
1 mjesec postoperativno	0.99±0.11	0.98±0.14	0.77±0.13	0.78±0.18
3 mjeseca postoperativno	0.99±0.11	0.98±0.14	0.77±0.13	0.78±0.18
6 mjeseci postoperativno	0.99±0.11	0.98±0.14	0.77±0.13	0.78±0.18
12 mjeseci postoperativno	0.99±0.11	0.98±0.14	0.77±0.13	0.78±0.18
Sferni ekvivalent	+1.00±0.15	+1.02±0.19	+1.01±0.18	+1.06±0.21
Ukupno sferni ekvivalent	+1.01±0.17		+1.04±0.19	

Takođe, u obe grupe, nekorigovana predoperativna vidna oština na blizinu na 35 cm je J8, sferni ekvivalent +2.27±0.37 u grupi trifokala i +2.29±0.41 u grupi bifokala. Najbolje korigovana vidna oština u grupi trifokala iznosi J1, a u grupi bifokala J1+. Na prve dvije postoperativne kontrole u grupi trifokala vidna oština je jednaka najboljoj korigovanoj predoperativnoj, da bi od treće postoperativne kontrole povećana na J1+. Što se tiče grupe bifokala, promjena u postoperativnoj vidnoj oštrini na blizinu nije bilo do kraja perioda praćenja. (Tabela 4).

Tabela 4. Vrijednosti vidne oštine na blizinu.

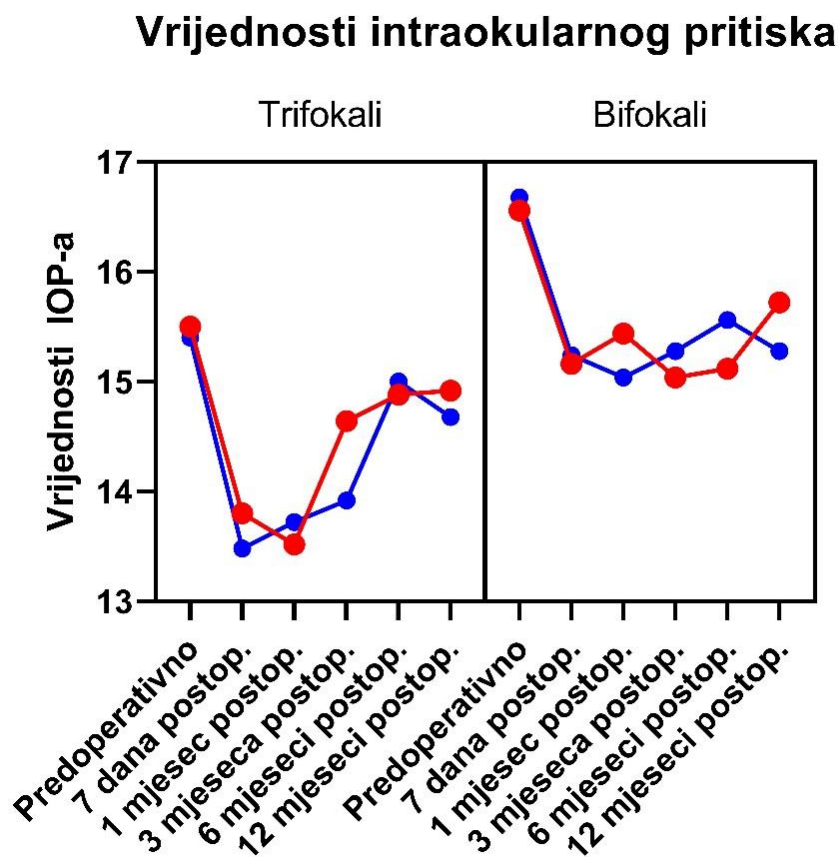
	Blizina	
	Trifokali	Bifokali
Predoperativno	J8	J8
Najbolje korigovana	J1	J1+
7 dana postoperativno	J1	J1+
1 mjesec postoperativno	J1	J1+
3 mjeseca postoperativno	J1+	J1+
6 mjeseci postoperativno	J1+	J1+
12 mjeseci postoperativno	J1+	J1+
Ukupno sferni ekvivalent	+2.27±0.37	+2.29±0.41

Ukupni sferni ekvivalent postoperativne refrakcije u grupi trifokala je -0.35 ± 0.04 , odnosno 0.31 ± 0.07 u grupi trifokala i 0.39 ± 0.06 u grupi bifokala.

Srednja vrijednosti preoperativnog intraokularnog pritiska je 16.35 ± 0.59 , a ukupnog postoperativnog 14.77 ± 0.68 , sa statistički signifikantnom razlikom ($p < 0.05$).

Na prvoj postoperativnoj kontroli, obe grupe ispitanika su zabilježile statistički značajan pad vrijednosti intraokularnog pritiska, s tim da je pad vrijednosti bio veći u grupi trifokala (13.67 ± 2.61 , $p < 0.005$) u odnosu na grupu bifokala (15.21 ± 2.54 , $p < 0.05$). Stabilizacija vrijednosti bez statistički značajnih promjena prisutna je 1 i 3 mjeseca postoperativno u obe grupe, dok je blagi porast zabilježen 6 mjeseci (14.97 ± 2.21) i 12 mjeseci postoperativno (14.88 ± 2.75) u grupi trifokala (Grafikon 1).

Grafikon 1. Preoperativne i postoperativne vrijednosti intraokularnog pritiska.



Postoji statistički signifikantna razlika između dubine prednje očne komore predoperativno i postoperativno ($p < 0.05$). Primjetno je da su vrijednosti prednje očne komore predoperativno bile manje u odnosu na ukupne postoperativne u obe grupe (2.88 ± 0.16 predoperativno i 3.11 ± 0.20 postoperativno). Porast vrijednosti dubine prednje očne komore primjetan je već na prvoj postoperativnoj kontroli 7 dana nakon operacije u obe grupe ispitanika, a iste se nisu statistički značajno mijenjale do kraja perioda praćenja. (Tabela 5).

Tabela 5. Vrijednosti dubine prednje očne komore.

	Trifokali		Bifokali	
	OD	OS	OD	OS
Predoperativno	2.90±0.17	2.87±0.15	2.89±0.16	2.87±0.13
7 dana postoperativno	3.14±0.21	3.09±0.19	3.13±0.18	3.08±0.17
1 mjesec postoperativno	3.13±0.21	3.09±0.19	3.13±0.18	3.09±0.17
3 mjeseca postoperativno	3.14±0.21	3.07±0.19	3.12±0.18	3.08±0.17
6 mjeseci postoperativno	3.12±0.21	3.09±0.19	3.12±0.18	3.09±0.17
12 mjeseci postoperativno	3.14±0.21	3.09±0.19	3.13±0.18	3.09±0.17

I u analizi broja endotelnih ćelija primjetna je statistički signifikantna razlika u njihovom broju predoperativno i postoperativno. Za razliku od dubine prednje očne komore, broj endotelnih ćelija rožnjače postoperativno je bio statistički značajno manji u odnosu na predoperativne vrijednosti. Tako srednja vrijednost predoperativnog broja endotelnih ćelija u obe grupe iznosi 2.564 ± 65.38 , dok je ukupna postoperativna vrijednost 2.338 ± 70.94 ($p < 0.05$).

Kao i u slučaju dubine prednje očne komore, nije bilo statistički značajnih varijacija u broju endotelnih ćelija u periodu praćenja postoperativno (Tabela 6).

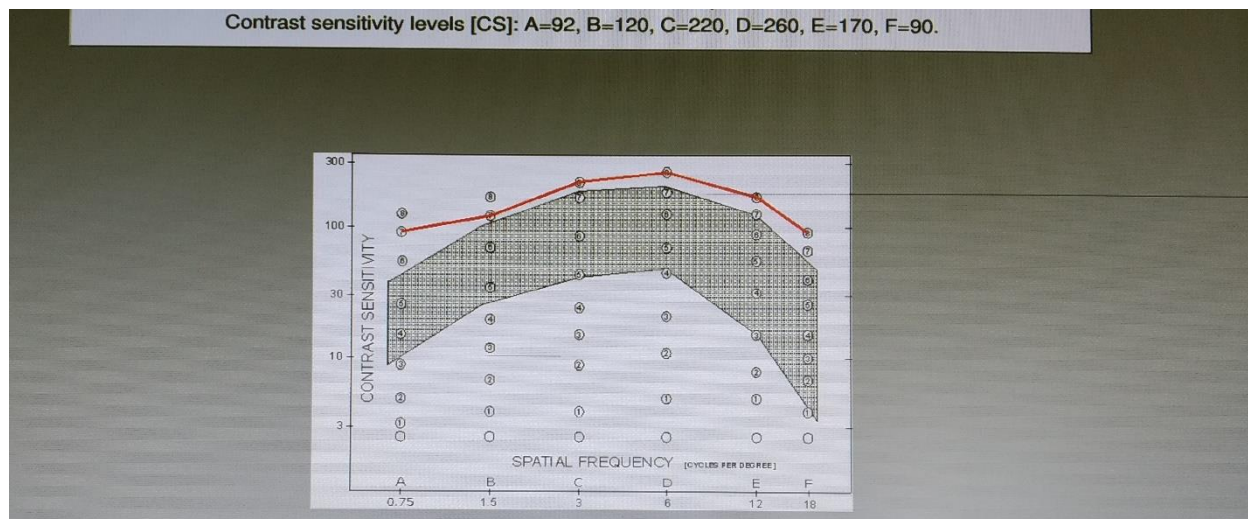
Tabela 6. Predoperativna i postoperativna vrijednost broja endotelnih ćelija

	Trifokali		Bifokali	
	OD	OS	OD	OS
Predoperativno	2663±0.04	2561±0.08	2479±0.09	2556±0.02
7 dana postoperativno	2414±0.05	2331±0.03	2231±0.10	2397±0.04
1 mjesec postoperativno	2414±0.05	2331±0.03	2232±0.10	2341±0.04
3 mjeseca postoperativno	2409±0.05	2313±0.03	2228±0.10	2398±0.04
6 mjeseci postoperativno	2411±0.05	2318±0.03	2230±0.10	2398±0.04
12 mjeseci postoperativno	2413±0.05	2327±0.03	2232±0.10	2397±0.04

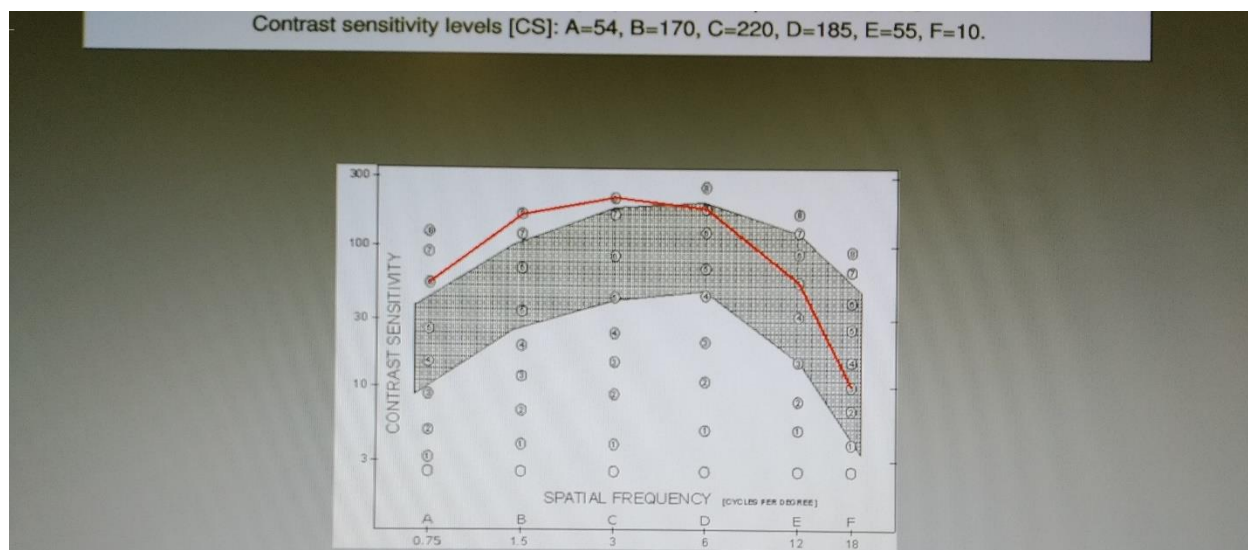
Primjetno je i značajno smanjenje kontrastne senzitivnosti postoperativno u odnosu na predoperativne vrijednosti, iako nije bilo značajne razlike u predoperativnim vrijednostima između dvije grupe ispitanika.

Tako je značajan pad kontrastne senzitivnosti postoperativno vidljiv na šestom i dvanaestom stepenu kruga, i to sa 170 i 90 (Slika 1) na 55 i 10 u grupi trifokala. (Slika 2).

Slika 1. Srednja vrijednost predoperativne kontrastne senznitivnosti predoperativno u obe grupe

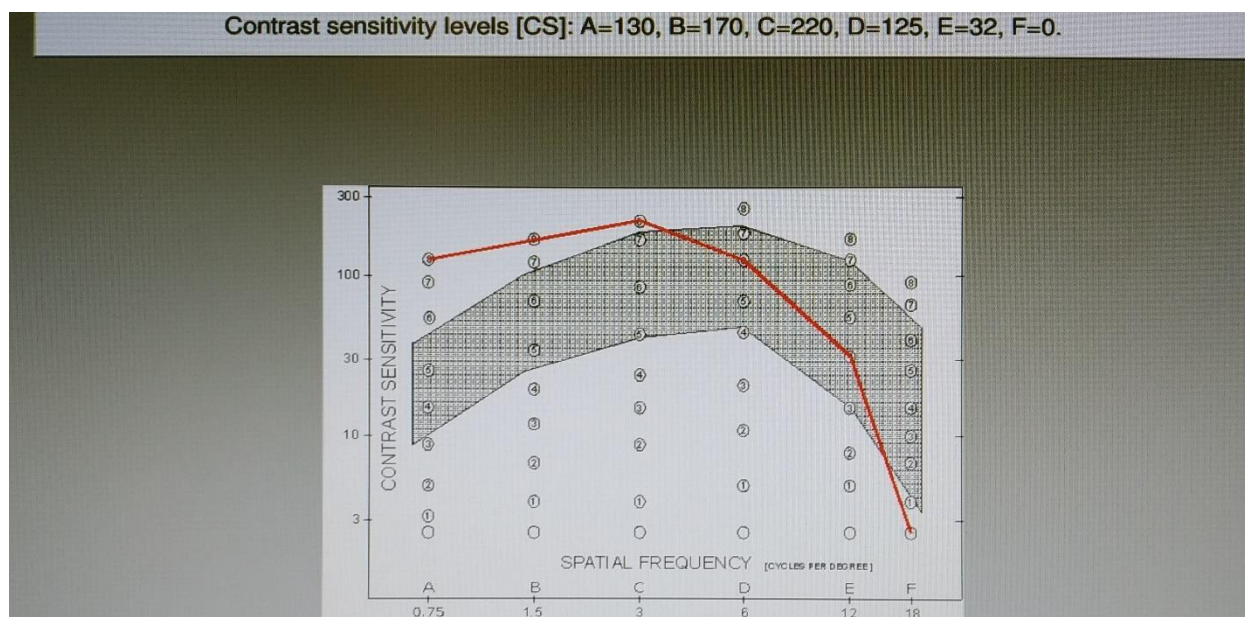


Slika 2. Vrijednost kontrastne senznitivnosti u grupi trifokala postoperativno



Kada je u pitanju grupa bifokala, primjetan je još veći i statistički značajniji pad kontrastne senznitivnosti na 18. stepenu kruga (Slika 3).

Slika 3. Vrijednost kontrastne senzitivnosti u grupi bifokala postoperativno.



Kada su u pitanju vrijednosti kontrastne senzitivnosti na srednju daljinu i blizinu, statistički značajan pad zabilježen je u grupi bifokala, dok nije bilo značajne razlike u vrijednostima između dvije grupe za vid na blizinu.

Kod tri pacijenta u grupi bifokalnih sočiva dijagnostikovana je sekundarna katarakta jedan mjesec nakon operacije, i to Gradus I kod dva pacijenta i Gradus II kod jednog pacijenta. U sva tri slučaja došlo je do statistički značajnog pada vidne oštine ($p < 0.05$), dok je vidna oština poboljšana nakon YAG laser kapsulotomije koja je urađena u sva tri slučaja po dijagnostikovanju sekundarne katarakte. Vidna oština ostala je stabilna nakon YAG laser kapsulotomije za vrijeme ostatka perioda praćenja.

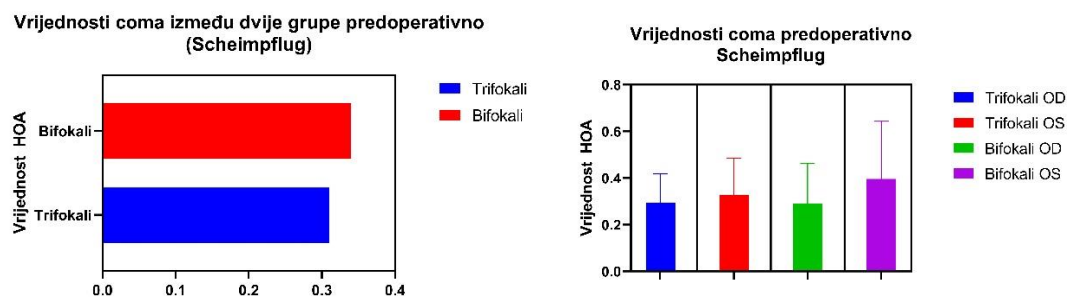
Sekundarna katarakta nije zabilježena kod ispitanika u grupi trifokala.

Položaj sočiva u kapsularnoj vreći je ostao nepromijenjen kod svih pacijenata u obe grupe ispitanika, odnosno nije bilo decentracije intraokularnog implanta za vrijeme perioda praćenja postoperativno.

8.1. Scheimpflug mjerenje sfernih aberacija višeg reda

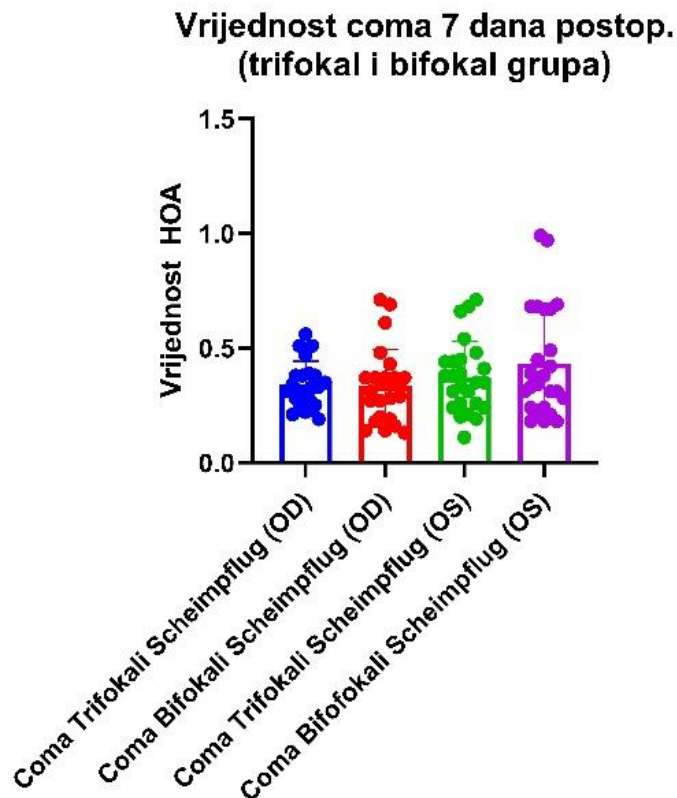
U predoperativnom mjerenju coma sferne aberacije metodom Scheimpflug vidljiva je statistički značajna razlika između trifokalne i bifokalne grupe (0.29 ± 0.15 , 0.36 ± 0.04 ; $p < 0.05$), kao i između desnog i lijevog oka u obe grupe (0.29 ± 0.12 , 0.32 ± 0.17 ; 0.29 ± 0.16 , 0.39 ± 0.25 ; $p < 0.05$) (Grafikon 2).

Grafikon 2. Vrijednosti coma u obe grupe mjerenih Scheimpflug metodom.



Na prvom postoperativnoj kontroli, 7 dana nakon operacije, takođe je primjetna statistički signifikantan porast coma sferne aberacije u odnosu na predoperativne vrijednosti i u grupi trifokala (0.31 ± 0.16 , 0.33 ± 0.01 ; $p < 0.05$) i u grupi bifokala (0.34 ± 0.05 , 0.40 ± 0.03 , $p < 0.05$). (Grafikon 3).

Grafikon 3. Vrijednosti coma 7 dana postoperativno mjerenih Scheimpflug metodom.



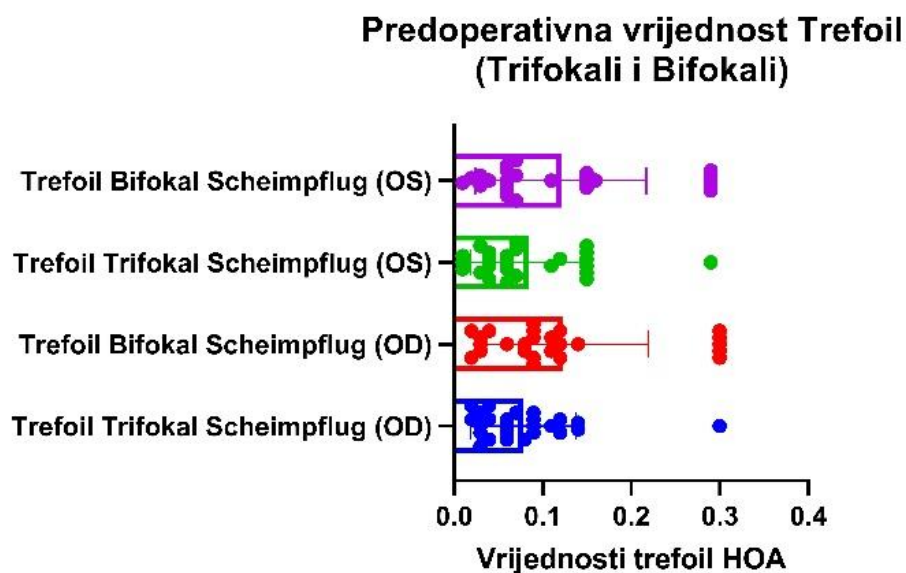
Uz statistički signifikantan porast vrijednosti 1 mjesec postoperativno u grupi trifokala (0.35 ± 0.12 , $p < 0.05$) i grupi bifokala (0.41 ± 0.03 , $p < 0.05$), vrijednosti su ostale nepromijenjen do kraja perioda praćenja. (Tabela 7).

Tabela 7. Vrijednosti coma sferne aberacije mjerene Scheimpflug metodom.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.29 ± 0.12	0.32 ± 0.17	0.29 ± 0.16	0.39 ± 0.25
7 dana postop.	0.33 ± 0.10	0.33 ± 0.15	0.37 ± 0.16	0.43 ± 0.24
1 mjesec postop.	0.35 ± 0.10	0.35 ± 0.13	0.38 ± 0.16	0.44 ± 0.23
3 mjeseca postop.	0.35 ± 0.10	0.35 ± 0.13	0.38 ± 0.16	0.43 ± 0.23
6 mjeseci postop.	0.35 ± 0.10	0.35 ± 0.13	0.38 ± 0.16	0.43 ± 0.23
12 mjeseci postop.	0.35 ± 0.10	0.35 ± 0.13	0.38 ± 0.16	0.43 ± 0.23

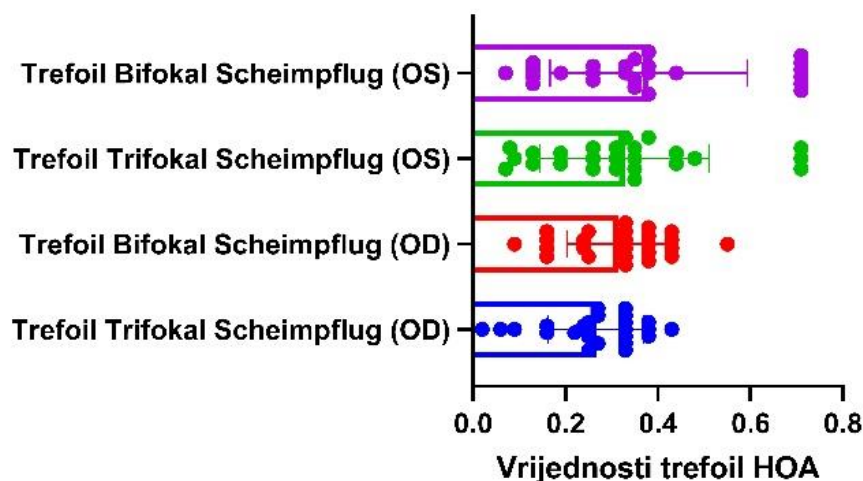
Za razliku od coma sferne aberacije, trefoil predoperativno ima značajno manje vrijednosti, ali i ovdje je bilo statistički značajne razlike između obe grupe (0.10 ± 0.02 , 0.11 ± 0.02 ; $p < 0.05$), kao ni između desnog i lijevog oka u obe grupe (0.08 ± 0.06 , 0.12 ± 0.10 ; 0.09 ± 0.07 , 0.12 ± 0.10 ; $p < 0.05$) (Grafikon 5).

Grafikon 5. Vrijednosti trefoil sferne aberacije predoperativno mjerene Scheimpflug metodom.



Postoperativno, slično kao i kod coma sferne aberacije, došlo do statistički značajnog porasta u vrijednostima na prvoj postoperativnoj kontroli obe grupe ispitanika (0.29 ± 0.03 , 0.36 ± 0.03 ; $p < 0.05$) (Grafikon 6).

Grafikon 6. Vrijednosti trefoil 7 dana postoperativno mjerenih Scheimpflug metodom.



Te se vrijednosti nisu mijenjale u toku perioda praćenja, odnosno 1, 3, 6, i 12 mjeseci postoperativno, osim u bifokalnoj grupi na lijevom oku, gdje je 1 mjesec nakon operacije trefoil bilo statistički znatno manji (0.21 ± 0.24 , $p < 0.05$). Vrijednosti se nisu mijenjale na ostalim postoperativnim kontrolama, odnosno do kraja perioda praćenja (Tabela 8).

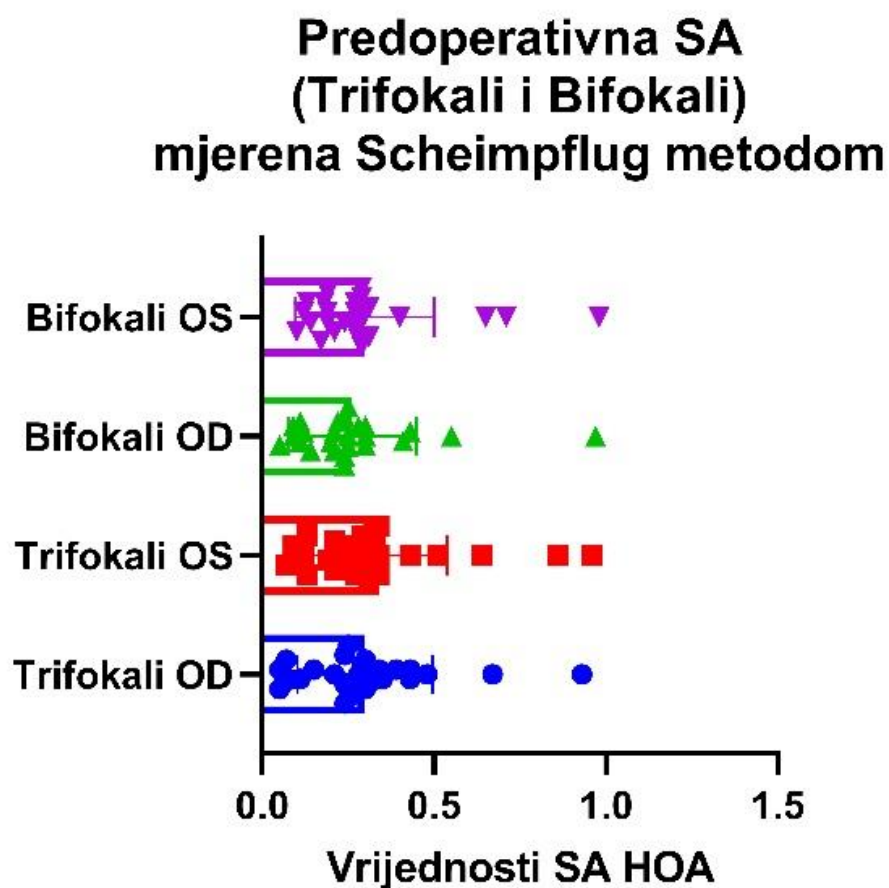
Tabela 8. Vrijednosti trefoil sferne aberacije mjerene Scheimpflug metodom tokom perioda praćenja.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.08 ± 0.12	0.12 ± 0.17	0.08 ± 0.16	0.12 ± 0.25
7 dana postop.	0.26 ± 0.10	0.31 ± 0.15	0.33 ± 0.16	0.38 ± 0.24
1 mjesec postop.	0.26 ± 0.10	0.31 ± 0.15	0.33 ± 0.16	0.21 ± 0.24
3 mjeseca postop.	0.26 ± 0.10	0.31 ± 0.15	0.33 ± 0.16	0.21 ± 0.24
6 mjeseci postop.	0.26 ± 0.10	0.31 ± 0.15	0.33 ± 0.16	0.21 ± 0.24
12 mjeseci postop.	0.26 ± 0.10	0.31 ± 0.15	0.33 ± 0.16	0.21 ± 0.24

Primjetno je da je predoperativna vrijednost spherical aberration sličnija vrijednostima coma sferne aberacije analizirano u obe grupe (0.31 ± 0.05 , 0.32 ± 0.01 ;

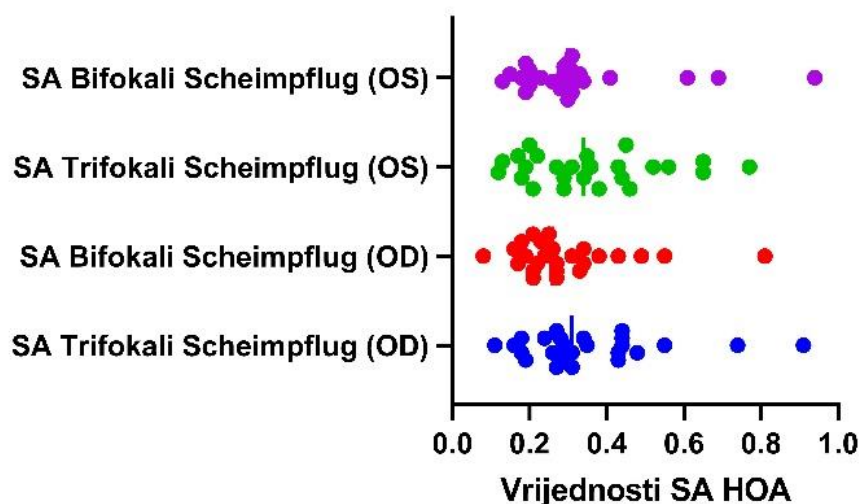
$p > 0.05$), ali i na oba oka posebno u obe grupe (0.30 ± 0.20 , 0.26 ± 0.18 ; 0.32 ± 0.22 , 0.30 ± 0.20 ; $p > 0.05$) (Grafikon 8).

Grafikon 8. Predoperativna vrijednost SA mjerene Scheimpflug metodom.



Statistički insignifikantan porast spherical aberration je zabilježen na prvom postoperativnoj kontroli nakon 7 dana (Grafikon 9).

Grafikon 9. Vrijednosti SA 7 dana postoperativno mjerenih Scheimpflug metodom.



Do promjena je došlo 1 mjesec nakon operacije u obe grupe, ali promjena nije bila statistički signifikantna ($p>0.05$). U ostatku perioda praćenja, 3, 6 i 12 mjeseci postoperativno, vrijednosti spherical aberration su ostale nepromijenjene. (Tabela 9).

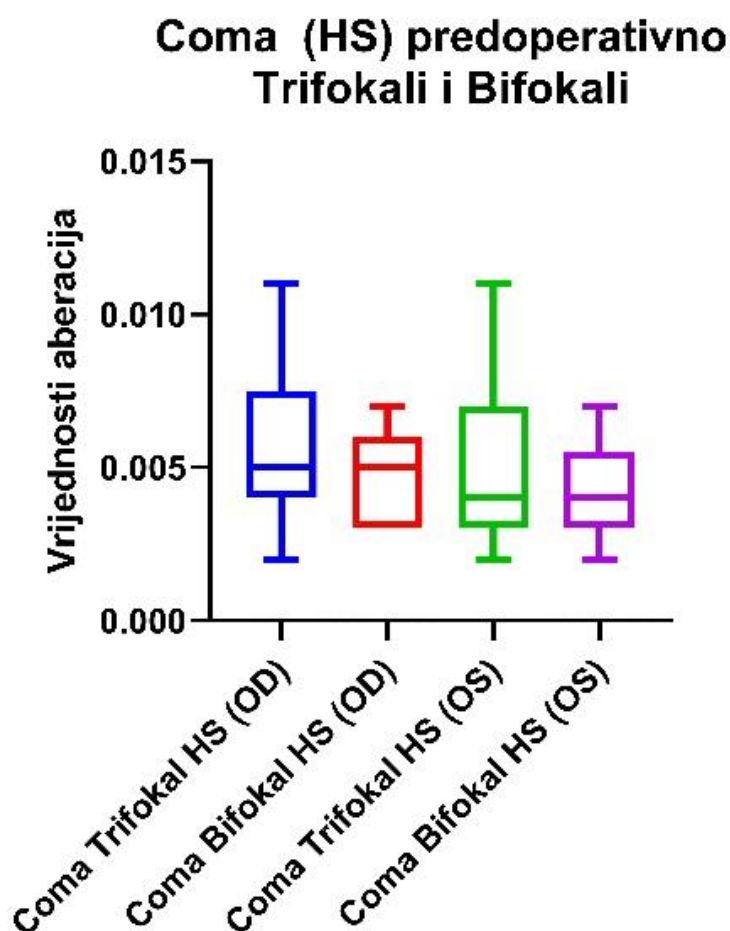
Tabela 9. Vrijednosti spherical aberration mjerene Scheimpflug metodom tokom perioda praćenja.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.30 ± 0.20	0.26 ± 0.18	0.32 ± 0.22	0.30 ± 0.20
7 dana postop.	0.36 ± 0.21	0.27 ± 0.15	0.35 ± 0.19	0.31 ± 0.18
1 mjesec postop.	0.35 ± 0.10	0.29 ± 0.15	0.36 ± 0.16	0.32 ± 0.24
3 mjeseca postop.	0.35 ± 0.10	0.29 ± 0.15	0.36 ± 0.16	0.32 ± 0.24
6 mjeseci postop.	0.35 ± 0.10	0.29 ± 0.15	0.36 ± 0.16	0.32 ± 0.24
12 mjeseci postop.	0.35 ± 0.10	0.29 ± 0.15	0.36 ± 0.16	0.32 ± 0.24

8.2. Sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom

Predoperativne vrijednosti coma sferne aberacije su statistički signifikantne između dvije grupe (0.05 ± 0.01 , 0.04 ± 0.01 ; $p < 0.05$), dok između dva oka u obe grupe nije bilo statistički značajne razlike (0.06 ± 0.02 , 0.05 ± 0.02 ; 0.05 ± 0.02 , 0.04 ± 0.01 , $p > 0.05$), (Grafikon 10).

Grafikon 10. Vrijednosti coma sferne aberacije predoperativno mjerene Hartmann-Shack metodom.



Na prvoj postoperativnoj kontroli, 7 dana nakon operacije, vidljiv je statistički značajan porast coma sferne aberacije u obe grupe pacijenata (0.08 ± 0.01 , 0.06 ± 0.01 ; $p < 0.05$), te na oba oka u obe grupe (0.09 ± 0.04 , 0.07 ± 0.02 ; 0.07 ± 0.02 , 0.05 ± 0.02 , $p < 0.05$).

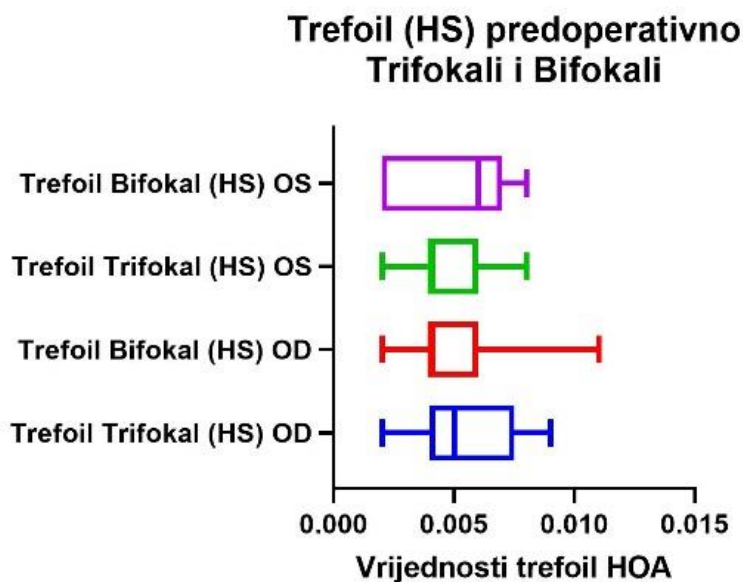
Statistički insignifikantan porast je primjetan 1 mjesec nakon operacije u obe grupe, ali takođe i statistički insignifikantno smanjenje vrijednosti 3 mjeseca postoperativno. Nakon ovih promjena, vrijednosti se nisu mijenjale do kraja perioda praćenja (Tabela 10).

Tabela 10. Vrijednosti coma sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom tokom perioda praćenja.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.06±0.02	0.05±0.02	0.05±0.02	0.04±0.01
7 dana postop.	0.09±0.04	0.07±0.02	0.07±0.02	0.05±0.02
1 mjesec postop.	0.09±0.04	0.08±0.03	0.07±0.02	0.07±0.05
3 mjeseca postop.	0.09±0.04	0.06±0.02	0.07±0.02	0.06±0.02
6 mjeseci postop.	0.09±0.04	0.06±0.02	0.07±0.02	0.06±0.02
12 mjeseci postop.	0.09±0.04	0.06±0.02	0.07±0.02	0.06±0.02

Za razliku od coma-e, kod trefoil sferne aberacije predoperativno nema statistički signifikantne razlike između dvije grupe (0.05±0.01, 0.05±0.02; $p>0.05$, te između desnog i lijevog oka (0.06±0.02, 0.05±0.02; 0.05±0.02, 0.05±0.02; $p>0.05$) (Grafikon 11).

Grafikon 11. Vrijednosti trefoil sferne aberacije predoperativno mjerene Hartmann-Shack metodom.



Prva postoperativna kontrola i ovdje pokazuje statistički signifikantnu razliku u grupi trifokala (0.09 ± 0.01 , $p < 0.05$), ali ne i u grupi bifokala (0.06 ± 0.02 , $p > 0.05$).

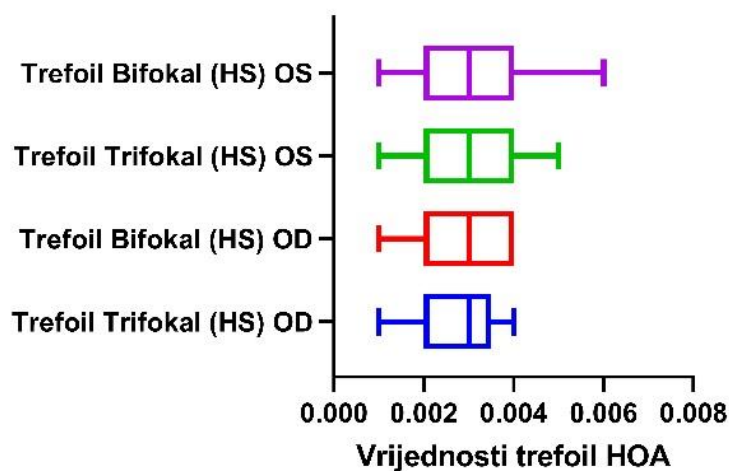
Takođe, 1 mjesec nakon operacije primjetne su razlike između desnog i lijevog oka unutar grupa, koje nisu statistički signifikantne. U toku ostatka perioda praćenja nije bilo promjene u vrijednostima (Tabela 11).

Tabela 11. Vrijednosti trefoil sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom tokom perioda praćenja.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.06 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.01
7 dana postop.	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02
1 mjesec postop.	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.02
3 mjeseca postop.	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02
6 mjeseci postop.	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02
12 mjeseci postop.	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02

Kao i kod trefoil-a, predoperativne vrijednosti kod spherical aberration mjerene Hartmann-Shack metodom bile su identične između obe grupe ispitanika (0.03 ± 0.01 , $p > 0.05$), kao i između desnog i lijevog oka u obe grupe (0.03 ± 0.01 , 0.03 ± 0.01 ; 0.03 ± 0.01 , 0.03 ± 0.01 ; $p > 0.05$) (Grafikon 12).

Grafikon 12. Vrijednosti spherical aberration sferne aberacije predoperativno mjerene Hartmann-Shack metodom.



Statistički signifikantan porast spherical aberration vidljiv je na prvoj postoperativnoj kontroli u obe grupe (0.04 ± 0.02 , 0.05 ± 0.05 ; $p < 0.05$), ali i između desnog i lijevog oka (0.04 ± 0.02 , 0.04 ± 0.02 ; 0.04 ± 0.02 , 0.05 ± 0.03 ; $p < 0.05$). Postoperativne vrijednosti u toku perioda praćenja nisu se mijenjale u grupi trifokala, ali jesu na lijevom oku u grupi bifokala, i to 1 i 3 mjeseca postoperativno (0.04 ± 0.02 , $p < 0.05$), 1 mjesec nakon operacije i (0.03 ± 0.02 , $p < 0.05$). Vrijednosti su ostale nepromijenjene na u periodu praćenja 6 i 12 mjeseci postoperativno (Tabela 12).

Tabela 12. Vrijednosti spherical aberration mjerene Hartmann-Shack metodom tokom perioda praćenja.

	Trifokali		Bifokali	
	Desno oko	Lijevo oko	Desno oko	Lijevo oko
Predoperativno	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
7 dana postop.	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02	0.05±0.03
1 mjesec postop.	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02
3 mjeseca postop.	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02
6 mjeseci postop.	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02
12 mjeseci postop.	0.04±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02

8.3. Odnos Scheimpflug-ovih i Harmann-Shack vrijednosti mjerenja

U poređenju obe metode mjerenja u obe grupe ispitanika i sve tri vrste sfernih aberacija višeg reda, primjetno je da su vrijednosti mnogo veće i statistička razlika mnogo značajnija kada su iste mjerene Scheimpflug metodom nego Hartmann-Shack metodom. (Tabele 13 i 14).

Tabela 13. Vrijednosti mjerenjih sfernih aberacija višeg reda sa obe metode u grupi trifokala.

	Trifokali					
	Scheimpflug			Hartmann-Shack		
	Coma	Trefoil	SA	Coma	Trefoil	SA
Predoperativno	0.31±0.02	0.10±0.02	0.28±0.02	0.05±0.01	0.05±0.01	0.03±0.001
7 dana postop.	0.33±0.01	0.29±0.03	0.32±0.05	0.07±0.01	0.09±0.01	0.05±0.01
1 mjesec postop.	0.33±0.01	0.29±0.03	0.32±0.03	0.07±0.01	0.09±0.01	0.05±0.01
3 mjeseca postop.	0.33±0.01	0.29±0.03	0.32±0.03	0.07±0.01	0.09±0.01	0.05±0.01
6 mjeseci postop.	0.33±0.01	0.29±0.03	0.32±0.03	0.07±0.01	0.09±0.01	0.05±0.01
12 mjeseci postop.	0.33±0.01	0.29±0.03	0.32±0.03	0.07±0.01	0.09±0.01	0.05±0.01

Tabela 14. Vrijednosti mjerenjih sfernih aberacija višeg reda sa obe metode u grupi bifokala.

	Bifokali					
	Scheimpflug			Hartmann-Shack		
	Coma	Trefoil	SA	Coma	Trefoil	SA
Predoperativno	0.34±0.14	0.10±0.02	0.31±0.21	0.05±0.01	0.05±0.01	0.03±0.01
7 dana postop.	0.40±0.21	0.35±0.03	0.33±0.18	0.06±0.02	0.06±0.02	0.05±0.01
1 mjesec postop.	0.42±0.19	0.28±0.03	0.34±0.17	0.07±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01
3 mjeseca postop.	0.42±0.19	0.28±0.03	0.34±0.17	0.07±0.02	0.06±0.03	0.04±0.01
6 mjeseci postop.	0.42±0.19	0.28±0.03	0.34±0.17	0.07±0.02	0.06±0.03	0.04±0.01
12 mjeseci postop.	0.42±0.19	0.28±0.03	0.34±0.17	0.07±0.02	0.06±0.03	0.04±0.01

Nadalje, primjetno je da su u grupi trifokala slične vrijednosti imale coma i SA u Scheimpflug grupi, dok se za sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom takva podudarnost ne može naći. Sa druge strane, u grupi bifokala identične predoperativne i postoperativne vrijednosti imaju coma i trefoil sferne aberacije u grupi Hartmann-Shack, dok se u Scheimpflug grupi ne može naći slična komparacija.

9.0. DISKUSIJA

Sferne aberacije višeg reda u posljednjih nekoliko godina postale su predmet velikog interesovanja istraživača. Ono što se do sada zna jeste da postoji i do dvanaest „redova“ sfernih aberacija višeg reda određivanih pomoću Zernike polinomijala, odnosno 24 mjeserih uz pomoć Fourier-ove metode. Najveći uticaj za sada imaju sferne aberacije trećeg i četvrtog reda, odnosno coma, trefoil i spherical aberration. Ostale sferne aberacije, one od petog do svih ostalih redova, još uvijek nemaju značajnije ispitanu funkciju u kvalitetu vida, ali je sigurno da su one više vezane za ostale dijelove optičkog sistema oka i da se njihova uloga tek treba utvrditi. Takođe, važno je napomenuti i da se promjene u sfernim aberacijama višeg reda najviše dešavaju zbog anatomskih i fizioloških promjena na površini oka, tačnije u suznom filmu i rožnjači, i to posebno nakon zahvata u excimer laserskoj refraktivnoj hirurgiji.

Trenutno su u opticaju tri vrste dijagnostičkih metoda kojima se mogu detektovati i analizirati sferne aberacije višeg reda.

Hartmann-Shack se bazira na nizu optičkih sočiva malog dijametra. Izračunavanje sfernih aberacija višeg reda se bazira na tome da li svjetlosni zraci koji ulaze u oko kroz jedno sočivo izlaze iz oka na isto to sočivo, ili neko drugo. Hartmann-Shack metodom se mjere sferne aberacije višeg reda kompletnog oka, ali imaju i ograničenje u tome što se mjere samo sferne aberacije u 15 stepeni od vidne osovine.

Scheimpflug metoda svoj princip zasniva na rotirajućoj kameri kod koje se detektuju elevacijske tačke na cijeloj rožnjači. U manje od dvije sekunde aparat može da snimi 50 elevacijskih tačaka, odnosno 25.000 tačaka ukupno. Za izračunavanje sfernih aberacija višeg reda ovom metodom, a na osnovu elevacijskih tačaka, koriste se set matematičkih polinomijala, poznatijih kao „Zernike“ polinomijali. Scheimpflug metodom se mjere sferne aberacije rožnjače, ali ne i kompletnog oka.

Placid disk metoda mjerenja sfernih aberacija određuje njihove vrijednosti na osnovu serije koncentričnih krugova koji se projektuju na površinu rožnjače oka. Slično Scheimpflug metodi, mjere se elevacijske tačke rožnjače oka i na osnovu njih i sferne aberacije višeg reda.

Za potrebe ove studije poređene su Hartmann-Shack i Scheimpflug metoda.

I u literaturi se mogu naći česte komparacije različitih metoda mjerenja sfernih aberacija višeg reda. Tako su Heidari i autori[78] poređili vrijednosti pojedinih sfernih aberacija višeg reda uz pomoć tri različita aparata. Drugi autori primjenjivali i komparirali sferne aberacije višeg reda za određivanje promjena aberentnosti rožnjače kod hiperglikemije[79], granularne kornealne distrofije[80] različitih vrsta refraktivnih procedura[81], kao i dislokacije intraokularnog sočiva.[82] Razlike u vrijednostima sfernih aberacija višeg reda postoje, a njihov uticaj na vidnu oštrinu i kvalitet vida umnogome zavise od same patologije i načina njenog nastanka.

Iako do sada fokus većine naučnih studija bio vezan za istraživanje uticaja excimer laserske refraktivne hirurgije rožnjače na promjene u kornealnim sfernim aberacijama, sve je više i onih koje kompariraju promjene njihovih vrijednosti i na različitim vrstama intraokularnih sočiva, pa i na difraktivnim multifokalima. Tako su Gatinel i autori[83], pomoću mikroskopa visoke rezolucije, mjerili topografsku površinu tri vrste difraktivnih multifokalnih intraokularnih sočiva, određujući tako sferne aberacije samog intraokularnog sočiva, te utvrdili da postoji statistički značajna razlika između različitih vrsta intraokularnih implantata. Istina, ova studija nije dokazala da li vrijednosti sfernih aberacija samog intraokularnog sočiva može da utiče na kvalitet vida, ali su dokazali da promjena površine optičkog dijela intraokularnog sočiva postojanjem difraktivnih zona različite visine i gustine utiče i na promjenu sfernih aberacija trećeg i četvrog reda.

Drugi fokus novijih istraživanja na polju sfernih aberacija višeg reda jeste pokušaj što tačnijeg mjerenja njihovih vrijednosti objedinjavanjem i upoređivanjem različitih vrsta mjerenja u jednu jedinstvenu. Jedna od tih studija zapravo se bazira na testiranju dijanostičkog aparata VX120 koji objedinjava sve tri trenutno postojeće metode (Hartmann-

Shack, Placid disk i Scheimpflug) u jedinstveno softversko mjerenje aberacija trećeg i četvrtog reda.[84] Rezultati su obećavajući, ali se istraživanja i dalje nastavljaju i aparat još uvijek nije dostupan za široku upotrebu.

U aktuelnu studiju uključeno je ukupno 50 pacijenata (100 očiju), od čega je 21 muškarac (42%) i 29 žena (48%). Srednja vrijednost starosti ispitanika je 53.41 ± 0.44 , odnosno između 45 i 65 godina starosti. Primjetno je da je nešto veći broj žena u odnosu na muškarce, što zapravo i odgovara podacima iz literature kada su u pitanju elektivne oftalmološke procedure. Tako su u studiji na 80 ispitanika podijeljenih u dvije grupe kojima su implantirana difraktivna multifokalna sočiva, He i autori[85] prijavili srednju vrijednost starosne strukture ispitanika od 68.35 ± 8.55 u jednoj i 65.34 ± 8.61 u drugoj grupi, te takođe više žena nego muškaraca (35 muškaraca i 46 žena). Statistički veći broj operisanih muškaraca u odnosu na žene prijavio je Nuzzi[86] u studiji na 63 ispitanika podijeljenih u četiri grupe različitih vrsta difraktivnih multifokalnih sočiva. U ovom studiji, srednja dobna vrijednost ispitanika je bila 71.59 ± 0.85 . U poređenju ove dvije studije sa aktuelnom studijom, signifikantno je viša starosna struktura ispitanika, što može da utiče i na rezultate istraživanja zbog činjenice da starija populacija lakše razvija komorbiditetna oboljenja oka vezana za njihovu dob, a koja opet mogu da imaju uticaj na vrijednosti sfernih aberacija višeg reda.

Predoperativna vidna oštrina nije se statistički značajno razlikovala između grupe bifokala i trifokala, osim između lijevog oka u obe grupe.

Tako je srednja vrijednost nekorigovane vidne oštrine u grupi trifokala za desno oko bila 0.30 ± 0.19 , a za lijevo 0.31 ± 0.17 (od 0.05 do 0.70 po Snellen-u), dok su iste vrijednosti u grupi bifokala iznosile 0.33 ± 0.21 za desno oko i 0.42 ± 0.26 za lijevo oko (od 0.05 do 0.75 po Snellen-u).

Najbolje korigovana vidna oštrina predoperativno takođe nije pokazivala statistički značajne razlike između oba oka u obe grupe, te je srednja vrijednost za desno oko u grupi trifokala bila 0.95 ± 0.19 , a za lijevo 0.94 ± 0.21 . U grupi bifokala, srednja vrijednost najbolje korigovane vidne oštrine za desno oko iznosila je 0.95 ± 0.14 , a za lijevo 0.94 ± 0.19 .

Nepostojanje velike statističke razlike između grupa je očekivano, jer su obe vrste difraktivnih multifokalnih sočiva dizajnirane da omoguće pacijentu odličnu vidnu oštrinu na daljinu.

Određivanje vidne oštine na srednju daljinu i blizinu rađeno je na principu binokularnog vida, zbog lakšeg razumijevanja dijagnostičke procedure, ali i zbog koncentracije samih ispitanika. Predoperativno, nekorigovana i najbolje korigovana vidna oština su bile statistički različite, te je u grupi trifokala nekorigovana vidna oština bila 0.87 ± 0.15 , a u grupi bifokala 0.78 ± 0.14 . Najbolje korigovana vidna oština bila je praktično ista u obe grupe ispitanika (0.98 ± 0.13 i 0.99 ± 0.16) sa skoro identičnim sfernim ekvivalentima ($+1.01 \pm 0.17$ za grupu trifokala i $+1.04 \pm 0.19$ za grupu bifokala), ali je primjetna statistički značajna razlika između postoperativne vidne oštine između grupa, te je ista znatno bolja u grupi trifokala (0.98 ± 0.13) u odnosu na grupu bifokala (0.78 ± 0.16). Ovakav nalaz se mogao i očekivati, jer bifokalna intraokularna sočiva nisu dizajnirana da koriguju vidnu oštrinu na srednju daljinu, odnosno difraktivni prstenovi optičkog dijela sočiva daju samo dva fokusa-za daljinu i za blizinu. Stoga su postoperativne vrijednosti slične ili jednake nekorigovanoj predoperativnoj vidnoj oštini na srednju daljinu.

Podaci dioptrije za blizinu nešto su drugačiji postoperativno, dok u predoperativnom dijelu, nekorigovana i najbolje korigovana vidna oština nisu bile različite između grupa (J2 u obe grupe). Postoperativno, nešto bolja vidna oština bila je u grupi bifokala (J1 u grupi trifokala i J1+ u grupi bifokala), sve do 3 mjeseca postoperativno kada je ista opet bila jednaka u obe grupe i ostala nepromijenjena do kraja perioda ispitivanja (J1+ u obe grupe). I ovdje je razlog nešto bolje vidne oštine na blizinu postoperativno dizajn samih intraokularnih implantata. Pošto bifokalna sočiva ne mogu da koriguju dioptriju za srednju daljinu, njihova dioptrijska jačina je raspoređena između dva fokusa, tj. korekcije dioptrije za daljinu i blizinu. Sa druge strane, u dizajnu trifokalnih intraokularnih sočiva dio korekcije refrakcije za blizinu prenosi na srednju daljinu, tako je korekcija blizine nešto slabija u odnosu na bifokalna intraokularna sočiva. Međutim, izjednačavanje vidne oštine 3 mjeseca postoperativno može da se pripiše neuroadaptaciji kod pacijenata sa trifokalima, što navode

i drugi autori u svojim studijama, a neki od njih napominju da je vrijeme neuroadaptacije kod njihovih ispitanika bilo od 3 nedjelje do 6 mjeseci, odnosno 3 do 12 mjeseci postoperativno.

Kada su u pitanju vrijednosti vidne oštine na daljinu, srednju daljinu i blizinu kod pacijenata sa bifokalnim i trifokalnim intraokularnim sočivima, slični podaci mogu da se nađu i u studijama drugih autora[85-92]. Jedna od njih [85] navode slične podatke za predoperativne vrijednosti vidnih oština na sve tri udaljenosti nekorigovane predoperativne vidne oštine na daljinu od 0.25 ± 0.31 , odnosno nekorigovanu vidnu oštrinu na daljinu od 0.85 ± 0.09 za daljinu i blizinu od 1.0 ± 0.09 (J1+). Takođe se u svim studijama ističe da je razlika u kvalitetu vida na srednju daljinu i blizinu vezana za sam dizajn intraokularnih sočiva.

Vrijednosti intraokularnog pritiska su obično niže nakon operacije katarakte, posebno metodom fakoemulzifikacije. Kao mehanizam nastanka smanjenja pritiska navodi se porast inflamatornih citokina u prednjoj očnoj komori za vrijeme operativnog zahvata (naročito IL-1), koji stimulišu stvaranje metaloproteinaze u trabekularnoj mreži, te na taj način mijenjaju njenu arhitektoniku i pojačavaju oticanje očne vodice.[93] Lv i autori[94] su na 353 ispitanika komparirali smanjenje intraokularnog pritiska nakon operacije katarakte kod emetropa i miopa i utvrdili da je intraokularni pritisak bio niži 7, 30 i 90 dana kod emetropa, a kod visokih miopa nestabilan sve do 90 dana nakon zahvata, kada se takođe stabilizovao i bio niži u odnosu na predoperativne vrijednosti.

I u aktuelnoj studiji vrijednosti intraokularnog pritiska bile su statistički značajno niže u odnosu na predoperativne vrijednosti. Nadalje, postojala je i statistički značajna razlika u predoperativnim vrijednostima između grupa, gdje je u grupi trifokala srednja vrijednosti intraokularnog pritiska bila 15.45 ± 0.68 , a u grupi bifokala 16.62 ± 0.71 ($p=0.0011421$). Ova razlika zadržala se u postoperativno. Važno je za napomenuti da se može reći da je do relativne stabilizacije vrijednosti intraokularnog pritiska došlo 3 mjeseca postoperativno, osim na desnom oku u grupi trifokala. Ipak, kako je fiziološki da su prisutne dnevne oscilacije u vrijednostima intraokularnog pritiska između dva oka, ali i u samom oku, ova razlika nije signifikantna.

Dubina prednje očne komore statistički je signifikatno dublja postoperativno u odnosu na predoperativne vrijednosti u obe grupe pacijenata. Tako je predoperativna srednja vrijednost bila 2.88 ± 0.17 u grupi trifokala i 2.87 ± 0.13 u grupi bifokala, dok je 7 dana nakon operacije ova vrijednost iznosila 3.12 ± 0.21 za grupu trifokala i 3.11 ± 0.18 za grupu bifokala. I druge dostupne studije takođe potvrđuju produbljivanje prednje očne komore nakon operacije katarakte, odnosno odstranjivanja očnog sočiva i implantacije intraokularnog sočiva. [95] Iako ispitanici aktuelne studije nisu imali kataraktu, hirurška procedura kojom je odstranjeno prirodno očno sočivo i implantirano difraktivno multifokalno se ne razlikuje od operacije katarakte. Što se tiče stabilizacije prednje očne komore, to jest njene dubine postoperativno, postoje različiti stavovi, ali se smatra da se stabilizacija dešava između dvije i šest nedjelja postoperativno. [96] Osim toga, neki autori [97] navode da promjena u dubini prednje očne komore za 1 mm dovodi i do nastanka blage hireopije od 0.32 D. U slučaju aktuelne studije nije bilo promjena u dubini prednje očne komore od prve postoperativne kontrole do kraja perioda praćenja i nije primijećena promjena refrakcione anomalije oka izazvane promjenom vrijednosti dubine prednje očne komore, prvenstveno zbog predoperativnih kalkulacija i određivanja dioptrijske jačine difraktivnog multifokalnog sočiva koje su u obzir uzele i moguće oscilacije u postoperativnoj dubini prednje očne komore i posljedičnoj promjeni položaja intraokularnog sočiva u kapsularnoj vreći.

Gubitak endotelних ćelija rožnjače je jedan od neželjenih efekata praktično svih intraokularnih hirurških zahvata na prednjem segmentu oka, naročito operacija katarakte metodom fakoemulzifikacije. [98] Normalan broj endotelnih ćelija rožnjače nakon rođenja u prosjeku iznosi oko 3500 ćelija/mm^2 , ali se vremenom smanjuje i u prosjeku kod odraslih osoba na zdravoj rožnjači iznosi 2400 ćelija/mm^2 . [99] Osnovni uzrok njihovog gubitka, osim starenja, te hroničnih bolesti kao što je dijabetes, i hirurška trauma izazvana intraokularnim procedurama. [100,101] Kod fakoemulzifikacije, trauma se dešava zbog porasta temperature u prednjoj očnoj komori izazvane djelovanjem ultrazvuka, ali i povećanim protokom kroz sondu što može izazvati turbulenciju sočivnih masa u prednjoj očnoj komori. [102]

Iako su jedan od uslova za uključavnje u aktuelnu studiju bilo providno očno sočivo, odnosno nepostojanje katarakte, došlo je do statistički značajnog smanjenja broja endotelnih

ćelija u postoperativnom periodu praćenja. Predoperativno, ispitanici u grupi trifokala su imali nešto veći broj endotelних ćelija (2599 ± 0.08) u odnosu na ispitanike iz grupe bifokala (2554 ± 0.09), ali je taj broj stastički insignifikantan. Signifikantnost u smanjenu broja endotelних ćelija se vidi već na prvoj postoperativnoj kontroli, gdje je srednja vrijednost za grupu trifokala bila 2337 ± 0.05 , a za grupu bifokala 2301 ± 0.06 , odnosno došlo je do smanjenja broja endotelних ćelija za 10.08% u grupi trifokala i 9.91% u grupi bifokala. Ukupno u obe grupe zajedno, srednja predoperativna vrijednost broja endotelних ćelija rožnjače bila je 2564 ± 65.38 , a postoperativna 2338 ± 70.94 , odnosno zabilježen je ukupni gubitak od 8.81%.

Smatra se da na stepen gubitka endotelних ćelija rožnjače nakon operacije katarakte često utiče i iskustvo operatera. Tako su Chamorro i autori[103] poredili stepen gubitka endotelних ćelija između iskusnih i manje iskusnih operatera, ali su utvrdili da nema velike razlike u stepenu gubitka endotelних ćelija između hirurgu sa iskustvom do pet godina i onih sa više od pet godina. Ipak, manje iskusni hirurzi su više oprezní, te su parametri njihovih hirurških postavki znatno „blaži“, a samim tim i povoljniji po preživljavanje endotelних ćelija rožnjače. Kako je za potrebe aktuelne studije sve operacije izvodio jedan operater sa zavidnim iskustvom, tako je i stepen postoperativnog gubitka endotelних ćelija ujednačen u obe grupe. Osim toga, i pojedine hronične bolesti mogu doprinijeti gubitku endotelних ćelija rožnjače nakon intraokularnih procedura.[104] Fokus aktuelne studije bio je uključivanje ispitanika bez oftalmoloških komorbiditeta, dok ostali komorbiditeti nisu uzeti u obzir.

Osim pojave fotičkih fenomena (haloa i glera), pad kontrastne senzitivnosti je opisan u literaturi kao osnovi faktor nezadovoljstva pacijenata nakon ugradnje difraktivnih multifokalnih intraokularnih sočiva. Po definiciji, kontrastna senzitivnost je minimum kontrasta potreban da bi određeni predmet bio vidljiv[105], ili razlika u svjetlini između najsvjetlijeg i najtamnijeg dijela predmeta koji se posmatra.[106] Najčešće se određuje u mesopskim uslovima (može u fotopskih i skotopskim), i to uz pomoć funkcionalnog vidnog kontrastnog testa (FACT), ili Pelli-Robson testa.

Kontrastna senzitivnost predstavlja najmanju razliku u intenzitetu između predmeta i njegove okoline koje ljudsko oko gleda. Mjeri se u „ciklusa po stepenu“ i što su ove vrijednosti manje, to je i lakše razaznavanje predmeta od njegove okoline. Suprotno tome, što su ove vrijednosti veće, ljudsko oko teže može da uoči razliku predmeta i njegove okoline. Za svakodnevni vid i ljudsko oko, najvažnija je kontrastna senzitivnost koja je u rasponu od 3 do 6 ciklusa po stepenu. Vrijednosti koje su veće od ovih najčešće nemaju veliki uticaj na kvalitet vidne oštine. Očekivano, i u obe grupe ispitanika aktuelne studije došlo je do smanjenja kontrastne senzitivnosti u mezopskim uslovima, s tim da je stepen smanjenja bio nešto veći u grupi bifokala (na 18. krugu stepena) u odnosu na trifokale (na 12. stepenu kruga). Razlika u padu kontrastne senzitivnosti održana je i kod mjerenja na srednjoj daljini i blizini, te je veći pad kod intermedijarnog vida bio u grupi bifokala, dok nije bilo razlike kod vida na blizinu. Brezna i autori[107] i Vilar i autori[108] navode da u njihovoj studiji na 60 ispitanika nije bilo velike razlike u padu kontrastne senzitivnosti između bifokala i trifokala na daljinu i blizinu, ali je intermedijarni vid u grupi trifokala pokazao njen znatno manji pad. Postoje čak i studije koje ističu mnogo bolje rezultate kontrastne senzitivnosti kod pacijenata sa bifokalnim difraktivnim multifokalnim sočivima u odnosu na trifokalne.[109] Sigurno je da je za rezultat kontrastne senzitivnosti zaslužna i neuroadaptacija koja je individualna i ne zavisi mnogo od vrste intraokularnih implantata.[87,110]

Zamućenje zadnje kapsule sočiva (Posterior Capsule Opacification-PCO), ili sekundarna katarakta, nije toliko čest postoperativni uzrok pada vidne oštine nakon operacije katarakte. Iako aktuelna studija nije podrazumijevala uklanjanje katarakte nego odstranjenje providnog očnog sočiva i implantaciju difraktivnog multifokalnog, to nije umanjilo mogućnost nastanka zamućenja zadnje kapsule. Tako je kod tri ispitanika u grupi bifokala registrovano zamućenje zadnje kapsule sočiva, i to Gradus I kod dva ispitanika i Gradus II kod jednog ispitanika. Osim toga, kod sva tri pacijenta došlo je do statistički značajnog pada vidne oštine, koja je poboljšana nakon YAG laser kapsulotomije.

Nastanak sekundarne katarakte se najčešće povezuje sa vrstom materijala od kojih se izrađuju intraokularna sočiva, kao i od dizajna samog implantanta. Tako mnogi autori u svojim istraživanjima prednost daju hidrofobnom materijalu u odnosu na hidrofilni[110], a

Li i autori[111] su to posebno dokazali za studiji od čak 861 ispitanika. Trifokalni implantat korišćen za ovu studiju je građen od hidrofobnog materijala, a bifokalni od hidrofilnog sa hidrofobnom površinom. Ovo se može smatrati razlogom pojave sekundarne katarakte kod tri ispitanika u grupi bifokala. Drugi važan faktor u sprečavanju nastanka sekundarne katarakte je dizajn samog sočiva. Oštre ivice optičkog dijela sočiva (sharp-square edge), kao što je slučaj sa intraokularnim implantatima u aktuelnoj studiji, imaju mnogo veću šansu za zaustavljanje migracije ćelija i sprečavanje nastanka sekundarne katarakte u odnosu na zaobljene ivice optičkog dijela sočiva. [112,113] Ukoliko se i pojavi, zamućenje zadnje kapsule lako se rješava YAG laser kapsulotomijom, a pacijent već poslije nekoliko sati osjeća znatno poboljšanje vidne oštine.

U aktuelnoj studiji nije primjećena decentracija intraokularnog sočiva u toku perioda praćenja. Razlog tome može da se nađe u hirurškoj tehnici, odnosno dovoljnoj veličini kapsulorekse i posljedičnom nepostojanju izražene fibroze kapsularne vreće, ali i veličini i dizajnu haptika intraokularnih sočiva. Poredeći ove rezultate sa onima iz drugih dostupnih studija, primjetno je da ne postoji velika statistička razlika u decentraciji intraokularnih sočiva u odnosu na dizajn njihovih haptika, ali da je stepen decentracije ipak nešto manji u plate-haptic intraokularnim sočivima u poređenju sa „one-piece“ i „three-piece“ implantatima.[114,115]

Sferne aberacije višeg reda postale su predmet velikog interesovanja u refraktivnoj hirurgiji oka u posljednjih 20 godina, odnosno od ekspanzije primjene excimer lasera u korekciji refrakcionih anomalija oka.

Prilikom mjerenja sfernih aberacija višeg reda posebno je važno istaknuti na koju vrstu aberacija se mjerenje odnosi, jer u praksi se određuju kornealne i okularne sferne aberacije višeg reda. Razlikuju se po tome što kornealne mjere samo asferičnost rožnjače, a okularne i asferičnost očnog ili intraokularnog sočiva.[116] Iako se mogu analizirati u više od deset redova, do sada je otkriveno da sferne aberacije trećeg i četvrtog reda, odnosno coma, trefoil i spherical aberration, imaju najveći uticaj na kvalitet vidne oštine ljudskog oka.

Po svojoj anatomskej strukturi, prirodno ljudsko oko ima blago pozitivne sferne aberacije višeg reda. Naime, prosječna vrijednost ukupnih sfernih aberacija višeg reda rožnjače je između $+0.27\mu\text{m}$ i $+0.30\mu\text{m}$, dok očno sočivo ima negativne sferne aberacije u prosjeku oko $-0.20\mu\text{m}$. Tako ukupne okularne sferne aberacije višeg reda imaju blago pozitivnu vrijednost, od oko $+0.10\mu\text{m}$. Sa pojavom katarakte, očno sočivo iz negativnog prelazi u pozitivno asferično, dodajući na taj način pogoršanje kvaliteta vida kod ovih pacijenata.[116,117]

Intraokularna sočiva se obično izrađuju kao negativno asferična, odnosno da budu što je moguće sličnija prirodnom očnom sočivu. Međutim, kasnije je dokazano da kvalitet slike nakon njihove implantacije ne mora automatski biti bolji, odnosno da se smanjuje dubina fokusa slike.[118]

Kada su u pitanju multifokalna intraokularna sočiva, najnovija generacija, koja je korišćena i za ovo istraživanje, su sferno neutralna. Na ovaj način pokušava se ne uticati na smanjenje kontrastne senzitivnosti i dubinu fokusa slike, i samim tim poboljšati ukupni kvalitet vida nakon njihove implantacije.

Što se tiče načina mjerenja sfernih aberacija višeg reda, i Scheimpflug i Hartmann-Shack metoda se baziraju na mjerenju ukupnih okularnih sfernih aberacija. Ipak, postoje i određene razlike u samom načinu mjerenja. Iako se obe metode baziraju na wavefront principu, Hartmann-Shack koristi sistem lupa nalik saću kroz koje se propuštaju svjetlosni zraci prema površini oka. Isti prolaze kroz kompletan optički sistem oka, odbijaju se od mrežnjaču, i ponovo se vraćaju prema lupama u aparatu. Za razliku od ove metode, Scheimpflug koristi rotirajuću kameru koja nema nikakav uticaj na zadnji segment oka, tačnije na vitreus i retinu. Ono što naučno i dalje nije dokazano jeste da li i eventualne patološke promjene upravo u ovom segmentu oka (opacitati u vitreusu, degenerativne promjene na retini kod starijih osoba i miopskih pacijenata) mogu imati uticaj na ukupne okularne sferne aberacije mjerene Hartmann-Shack metodom i kolike. Još jedna specifična karakteristika Hartmann-Shack metode je i ta što je njome obuhvaćeno mjerenje centralnih

15-30 stepeni okularnih sfernih aberacija, dok Scheimpflug mjeri kompletne. Stoga ne treba da iznenađuju veće vrijednosti dobijene Scheimpflug metodom.[119]

Predoperativne vrijednosti sve tri sferne aberacije višeg reda mjerenih u ovoj studiji bile su statistički veće na lijevom u odnosu na desno u obe grupe ispitanika. Kako ove aberacije inače imaju slične vrijednosti i kako razlika između dva oka nije relevantna za binokularni vid, njihova sličnost i u ovoj studiji je očekivana. Osim toga, anatomski niti jedno oko ne može biti isto. U radovima drugih autora mogu se naći slični podaci. Tako su Lee i autori[120] u svojoj studiji na 73 ispitanika kojima je implantirano kvadrifokalno intraokularno sočivo predoperativno mjerili sferne aberacije iTrace tehnologijom i imali vrijednost coma sferne aberacije od 0.17 ± 0.17 , trefoila 0.13 ± 0.10 i spherical aberration od 0.05 ± 0.08 . Međutim, ukupne sferne aberacije su imale vrijednost od 0.30 ± 0.19 . U aktuelnoj studiji predoperativne vrijednosti su bile veće za coma (0.29 ± 0.15 u grupi trifokala i 0.36 ± 0.04 u grupi bifokala), i spherical aberration (0.31 ± 0.05 u grupi trifokala i 0.32 ± 0.01 u grupi bifokala), dok je trefoil imao dosta sličnije vrijednosti citirajom studiji (0.10 ± 0.02 u grupi trifokala i 0.11 ± 0.02 u grupi bifokala). Velike razlike u vrijednostima za coma i spherical aberration se mogu objasniti vrstom dijagnostičke procedure kojom su sferne aberacije detektovane i analizirane, a koje se znatno razlikuju u odnosu na podatke iz komparativne studije.

Već na prvoj postoperativnoj kontroli vrijednosti sve tri mjerene sferne aberacije su bile statistički veće. Tako su vrijednosti coma sferne aberacije bile 0.32 ± 0.10 za grupu trifokala i 0.40 ± 0.18 za grupu bifokala, trefoila 0.29 ± 0.12 za grupu trifokala i 0.36 ± 0.21 za grupu bifokala, te spherical aberration 0.32 ± 0.19 za grupu trifokala i 0.33 ± 0.18 za grupu bifokala. Porast sfernih aberacija višeg reda, pojedinačnih ili ukupnih okularnih, prije svega zaviti od vrste intraokularnog sočiva koje će je implantirano, posebno ako se radi o difraktivnom multifokalu. Upravo u zavisnosti od ove činjenice, u literaturi se mogu naći različiti podaci o postoperativnim vrijednostima sfernih aberacija nakon implantacije različitih vrsta multifokalnih sočiva. Tako se u nekim radovima naglašava porast vrijednosti sfernih aberacija višeg reda postoprativno kod bifokalnih difraktivnih multifokalnih sočiva u odnosu na trifokalna, a sve zbog dizajna optičkog dijela sočiva. [121] Druge studije

prijavljaju potpuno suprotne rezultate, te navode da ne postoji statistički značajnija razlika između ove dvije vrste intraokularnih implantata.[122,123] Da bi dizajn optičkog dijela sočiva ipak mogao da ima uticaj na vrijednosti sfernih aberacije višeg reda ukazuju podaci[124,125] na osnovu kojih se vidi da asferični difraktivni dizajn daje mnogo manje vrijednosti sfernih aberacija od sferičnog. Stoga porast sfernih aberacija u aktuelnoj studiji postoperativno ne iznenađuje, jer su u obe grupe implantirata sočiva neutralnog asfericiteta. Važno je napomenuti da veće vrijednosti sfernih aberacija višeg reda u grupi bifokala i na lijevom oku nije iznenađujući uzevši u obzir da su i predoperativne vrijednosti bile više.

U ostatku perioda praćenja nije bilo statistički značajnih promjena u vrijednostima sve tri mjerene sferne aberacije višeg reda. I dalje su više vrijednosti bile u grupi bifokala u odnosu na trifokale. Značajna razlika vidljiva je jedino kod trefoil sferne aberacije, gdje je zabilježena veća vrijednost na lijevom oku u grupi trifokala (0.31 ± 0.15) u odnosu na grupu bifokala (0.21 ± 0.24). Stabilizacija vrijednosti sfernih aberacija višeg reda nakon implantacije multifokalnih sočiva je očekivana, te se u literaturi pominje period od 3-6 mjeseci postoperativno u kojem može doći do promjene u njihovim vrijednostima, a poslije ovog perioda porast je minimalan.[126]

Vrijednosti dobijene Hartmann-Shack metodom dosta su drugačije u odnosu na Scheimpflug, odnosno dosta su manje. Kao što je već navedeno, to je i očekivan podatak s obzirom da se Hartmann-Shack metodom mjeri samo 15-30 stepeni centralnog dijela ukupnih okularnih sfernih aberacija optičkog sistema oka. Osim toga, do danas postoji samo jedna studija koja potvrđuje da je evidentna direktna veza između vrijednosti sfernih aberacija višeg reda i degenerativnih promjena zadnjeg segmenta oka, u ovom slučaju vitreusa.[127] Za aktuelnu studiju se ne može sa sigurnošću tvrditi da su eventualne degenerativne promjene zadnjeg segmenta oka, prvenstveno opacitati u vitreusu, mogle uticati na vrijednosti mjerenih sfernih aberacija višeg reda ovom metodom.

Za razliku od coma, trefoil i spherical aberration mjerenih Scheimpflug metodom, kod Hartmann-Shack mjerenja postoji dosta više sličnosti između coma i trefoila u odnosu na spherical aberration, kako predoperativno, tako i postoperativno. Tako su predoperativne

vrijednosti coma i trefoila u obe grupe ispitanika bile 0.05 ± 0.002 za coma i 0.06 ± 0.002 , dok je predopativna vrijednost za spherical aberration bila 0.03 ± 0.001 .

Postoperativno je došlo do statistički signifikantnog porasta u vrijednostima sve tri mjerenje sferne aberacije, ali su te vrijednosti opet bile znatno manje u poređenju sa vrijednostima iz grupa mjerenih Scheimpflug metodom. Vrijednost coma u grupi trifokala 7 dana nakon operacije bila je 0.08 ± 0.04 , a u grupi bifokala 0.06 ± 0.02 . Iste vrijednosti u istom periodu praćenja za trefoil su bile 0.09 ± 0.01 za grupu trifokala i 0.06 ± 0.02 za grupu bifokala, dok je spherical aberration imala identičnu vrijednost za obe grupe koja iznosila 0.04 ± 0.02 . Ono što je takođe primjetno u postoperativnom periodu praćenja jeste da su se vrijednosti mnogo brže stabilizovale i nisu se statistički značajnije mijenjale, u poređenju sa Scheimpflug mjerenjem. Razlog se može naći u ograničenim polju mjerenja sfernih aberacija Hartmann-Shack metodom, odnosno fokusiranjem mjerenja samo da na centralni dio intraokularnog sočiva. U svojoj studijama, Ortiz i autori [128] i Villegas i autori [129] navode važnost dijametra pupile kod mjerenja sfernih aberacija višeg reda sa monofokalnim i multifokalnim intraokularnim sočivima, tačnije da su vrijednosti veće sa povećanjem dijametra pupile. Kako je u aktuelnoj studiji mjerenje sfernih aberacija višeg reda bilo na fiksni dijametar pupile od 4 mm, rana stabilizacija postoperativnih vrijednosti može biti pripisana upravo tome. Nešto veća vrijednost sfernih aberacija višeg reda postoperativno u grupi trifokala u odnosu na grupu bifokala je prijavljena u studiji na 55 pacijenata Liu i autora [130-132], mjerenjih Hartmann-Shack metodom, iako nije bilo značajnije razlike u fotičkim fenomenima.

Jedino približavanje vrijednostima sfernih aberacija višeg reda mjerenih Scheimpflug metodom primjetno je kod tri pacijenta sa opacifikacijom zadnje kapsule iz grupe bifokala. Ovaj porast može da se pripiše zadebljanju zadnje kapsule sočiva, te prisustvom Elschnig-ovih perli. U studijama drugih autora takođe je opisan je porast sfernih aberacija višeg reda kod pacijenata sa sekundarnom kataraktom, a smanjenje se može vidjeti tek nakon urađene Nd:YAG laser kapsulotomije. [133]

10.0. ZAKLJUČCI

Sferne aberacije višeg reda su faktor koji značajno može da utiče na kvalitet vida, ali i na vidnu oštrinu svakog pojedinca. Do sada je utvrđeno da najveći uticaj imaju sferne aberacije trećeg i četvrog reda, odnosno coma, trefoil i spherical aberration. Iako nemaju uticaj na isti dio optičkog sistema oka, njihov njihova povezanost je dokazana i ovom studijom, prije svega sličnošću u pojedinim mjerenjima predoperativno i postoperativno.

Ono što je takođe signifikantno jeste i to da mjerenje sfernih aberacija trećeg i četvrtog reda nije jednako u obe korišćene nezavisne metode u ovom studiji, odnosno da jedan način mjerenja daje mnogo veće vrijednosti u odnosu na drugi.

Nadalje, bifokalna i trifokalna difraktivna intraokularna sočiva takođe daju određene različitosti u vidnim oštrinama na sve tri udaljenosti, što umnogome zavisi od implantiranog modela i njegovih tehničkih karakteristika.

Iz svega navedenog, a na osnovu provedene studije, može se donijeti pet glavnih zaključaka.

1. Sferne aberacije višeg reda statistički su značajno veće u obe grupe ispitanika postoperativno u odnosu na predoperativne vrijednosti i sa obe metode mjerenja. Porast sfernih aberacija višeg reda mjerenih u ovoj studiji postoperativno u odnosu na predoperativne vrijednosti je značajan iz dva razloga. Prvi razlog je taj što je incizijama na površini rožnjače oka u toku operativnog zahvata narušena normalna arhitektonika rožnjače, te su promijenjene i vrijednosti sfernih aberacija višeg reda. Drugi razlog, mnogo značajniji, je vezan za sam dizajn optičkog dijela multifokalnom intraokularnog implantata koji se zapravo umnogome razlikuje od prirodnog očnog sočiva. Dokazano je, i u ovoj studiji potvrđeno, da različit dizajn optičkih „prstenova“, odnosno zona na sočivu dovodi do porasta sfernih aberacija.

2. Scheimpflug-ova metoda mjerenja sfernih aberacija višeg reda mnogo bolje prikazuje promjene u njihovim vrijednostima u poređenju sa Hartmann-Shack metodom.
Vrijednosti coma, trefoil i spherical aberration u ovom studiji su bile znatno veće u obe grupe ispitanika mjerenih Scheimpflug-ovom metodom u odnosu na Hartmann-Shack. Kao što je i navedeno u diskusiji studije, Scheimpflug metoda ima potpuno drugačiji način mjerenja sfernih aberacija, gdje rotirajuća kamera snima elevacijske tačke u svih 360 stepeni prednjeg segmenta oka. Sa druge strane, Hartmann-Shack praktično registruje samo 15-30 stepeni centralnog dijela optičkog sistema oka (u zavisnosti od modela aparata). Stoga su i očekivane vrijednosti sfernih aberacija višeg reda manje kada su mjerene ovom metodom.
3. Iako su ukupne vrijednosti sfernih aberacija višeg reda nešto manje u grupi trifokala u odnosu na grupu bifokala, iste nisu značajnije uticale na vrijednosti postoperativnih vidnih oštrina ispitanika.
Dizajn obe vrste intraokularnih sočiva je dosta sličan, ali nije u potpunosti isti. Zbog postojanja treće fokalne distance, kod trifokalnih sočiva je raspored difraktivnih „prstenova“ nešto drugačiji u odnosu na bifokalna sočiva. Međutim, njihov raspored i njihova veličina očigledno nisu uticali na kvalitet vida postoperativno, posebno ne na vidne oštrine ispitanika.
4. Stabilizacija vrijednosti sfernih aberacija višeg reda u obe grupe bila je identična, tako da se vrijednosti nisu mijenjale od 3 mjeseca postoperativno do kraja perioda praćenja.
Jedino objašnjenje za stabilizaciju sfernih aberacija višeg reda u obe grupe ispitanika može da se nađe u novim anatomskim karakteristikama prednjeg segmenta oka nakon implantacije difraktivnih multifokalnih intraokularnih sočiva. Pod stabilizacijom se podrazumijeva zarastanje kornealnih incizija, završavanje eventualne fibroze kapsularne vreće, a samim tim i položaja intraokularnog sočiva, te fluktuacije u mobilizaciji staklastog tijela prema naprijed.
5. Buduće studije bi se trebale fokusirati na eventualno postojanje većeg uticaja degenerativnih promjena u vitreusu i na retini na promjene u vrijednostima sfernih

abracija višeg reda, kao i na softversko objedinjavanje mjerenja Scheimpflug i Hartmann-Shack metodom u jednom aparatu.

Ono što je sigurno da je dokazano ovom studijom jeste to da sferne aberacije višeg reda moraju da budu mjerene jednom metodom koja će objediniti sve tri do sada postojeće. Osim toga, moraće detaljno biti utvrđeno da li i degenerativne promjene u vitreusu i makuli imaju uticaj na promjene u vrijednostima sfernih aberacija i kojima tačno, pošto se pojam optičkog dijela oka može odnositi i na vitreus i makulu. Ono što će sigurno mijenjati vrijednosti sfernih aberacija višeg reda jesu opacitati i likvefakcija vitreusa, kao i disrupcija pigmenta i eventualne početne degenerativne promjene po tipu suhe degeneracije makule na retini.

11.0. LITERATURA

1. Dai GM. Wavefront optics for vision correction, First Edition. Bellington, WA: Spie 2008.
2. So-Hyand C, et al. Comparison of higher order aberrations after wavefront-guided laser in situ keratomileusis and laser-assisted subepithelial keratectomy . J Cataract Refract Surg 2006;32:779-84.
3. Kelly JE, Mihashi T, Howland HC. Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma, and spherical aberration by internal optics of the eye. J Vis 2004;4:262-71.
4. Alio JL, Pinero D, Muftuoglu O. Corneal wavefront-guided retreatments for significant night vision symptoms after myopic laser refractive surgery. Am J Ophthalmol 2008;145:65-74.
5. Lombardo M, Lombardo G. Wave aberrations of human eyes and new description of image optical quality and visual performance. J Cataract Refract Surg 2010;36:313-31.
6. Alio JL, Pinero DP, Plaza Puche AB. Corneal wavefront-guided enhancement for high levels of corneal coma aberration after laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2008;34:222-31.
7. Chalita MR, Xu M, Krueger RR. Correlation of aberrations with visual symptoms using wavefront analysis in eyes after laser in situ keratomileusis. J Refract Surg 2003;19:S682-6.
8. Marsack JD, Thibos LN, Applegate RA. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. J Vis 2004;4:332-8.
9. McCormick GJ, Porter J, Cox IG, MacRae S. Higher-order aberrations on eyes with irregular corneas after laser refractive surgery. Ophthalmology 2005;112:1699-709.
10. Maeda N. Clinical applications of wavefront aberrometry-a review. Clin Experiment Ophthalmol 2009;37:118-29.
11. Bottos KM, et al. Corneal asphericity and spherical aberrations in eyes with supernormal vision. Am J Ophthalmol 2005;139:225-8.
12. Anera RG, Jimenez JR, del Barco LH, Bermudez J, Hita E. Changes in corneal asphericity after laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2003;29:762-8.

13. Kohnen T, Mahmoud K, Buhern J. Comparison of corneal higher-order aberrations induced by myopic and hyperopic LASIK. *Ophthalmology* 2005;112:1692.
14. Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? *J Refract Surg* 2002;18:S556-62.
15. Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 2001;1:1-8.
16. Oliviera CM, Ferreira A, Franco S. Wavefront analysis and Zernike polynomial decomposition for evaluation of corneal optical quality. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:343-56.
17. Wang M. *Corneal topography in the wavefront era*, First Edition. Thorofare, NJ:Slack 2006.
18. Mello GR, Rocha KM, Santhiago MR, Smadja D, Krueger RR. Applications of wavefront technology. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1671-83.
19. Lindskoog Pettersson A, Martensson L, Salkic J, Unsbo P, Brautaset R. Spherical aberration in relation to visual performance in contact lens wear. *Cont Lens Anterior Eye* 2011;34:12-6.
20. Atchinson DA, Markwell LL. Aberration of emmetropic subjects at different ages. *Vision Res* 2008;48:2224-31.
21. Mello GR, Rocha KM, Santhiago MR, Smadja D, Krueger RR. Applications of wavefront technology. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1671-83.
22. Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration. *J Refract Surg* 2007;23:505-14.
23. Agarwal A, Agarwal A, Soosan J. *Refractive Surgery*, Second Edition. Maryland Heights, MO:Jaypee 2009.
24. Binder PS, Rosenshein J. Retrospective comparison of 3 laser platforms to correct myopic spheres and spherocylinders using conventional and wavefront-guided treatments. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1158-76.
25. Philip K, et al. Total ocular, anterior corneal and lenticular higher order aberrations in hyperopic, myopic and emmetropic eyes. *Vision Res* 2012;52:31-7.
26. Young T. On the mechanism of the eye. *Phil Trans Roy Soc. London*;1801:91:23-88.
27. Koomer M, Tousey R, Scolnik R. The spherical aberration of the human eye. *J Opt Soc Am* 1949;39:370-6.

28. Smirnov MS. Measurement of the wave aberration of the human eye. *Biophys* 1961;6:776-94.
29. Lu E, et al. On the compensation of horizontal coma aberration in the young human eye. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008;28:277-82.
30. Walsh G, Charman WN, Howland HC. Objective technique for the determination of monochromatic aberrations of the human eye. *J Opt Soc Am* 1984;A1:987-92.
31. Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille J. Objective measurement of the wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wavefront sensor. *J Opt Soc Am* 1994;A11:1949-57.
32. Liang J, Williams DR. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *J Opt Soc Am* 1997;A14:2873-83.
33. Martinez CE, Applegate RA, Klyce SD, McDonald MB, Medina JP, Howland HC. Effect of pupillary dilation on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy *Arch Ophthalmol* 1998;116:1053-62.
34. Mrochen M, Donitzky C, Wullner C, Löffler J. Wavefront-optimized ablation profiles: Theoretical background. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:775-85.
35. Moreno-Barriuso E, Lloves JM, Marcos S, Navarro R, Llorente L, Barbero S. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42:1396-403.
36. Hartwig A, Atchinson DA. Analysis of higher-order aberrations in a large clinical population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:7862-70.
37. Melamud A, Chalita MR, Krueger RR, Lee MS. Comatic aberrations as a cause of monocular diplopia. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:529-32.
38. Kwan WC, et al. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia. *Clin Exp Optom* 2009;92:304-12.
39. Porter J, Gullrao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am* 2001;A18:1783-803.
40. Buzzonetti L, Iarossi G, Valente P, Volpi M, Petrocelli G, Scullica L. Comparison of wavefront aberration changes in the anterior corneal surface after laser-assisted subepithelial keratectomy and laser in situ keratomileusis: Preliminary study. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1929-33.

41. Jinabhai A, et al. A comparison between subjective refraction and aberrometry-derived refraction in keratoconus patients and control subjects. *Curr Eye Res* 2010;35:703-14.
42. Sabesan R, et al. Vision improvement by correcting higher-order aberrations with customized soft contact lenses in keratoconic eyes. *Opt Lett* 2007;32:1000-2.
43. Kamiya K, et al. Progression of pellucid marginal degeneration and higher-order wavefront aberration of the cornea. *Jpn J Ophthalmol* 2003;47:523-5.
44. Lekhanont, et al. Effects of sodium hyaluronate on wavefront aberrations in dry eye patients. *Optom Vis Sci* 2014;91:39-46.
45. Hofer H, Artal P, Singer B, Aragon JL, Williams DR. Dynamics of the eye's wave aberration. *J Opt Soc Am* 2001;A18:496-506.
46. Wang L, Koch DD. Ocular higher order aberrations in individuals screened for refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1896-903.
47. Dai GM. Scaling Zernike expansion coefficients to smaller pupil sizes: a simpler formula. *J Opt Soc Am* 2006;A23:539-43.
48. Chalita MR, Chavali S, Xu M, Krueger RR. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography. *Ophthalmology* 2004;111:447-53.
49. Tschering M. Die Monochromatischen aberrationen des menschlichen auges. *Z Physiol Sinnesorgan* 1893;6:456-71.
50. Vincent SJ, et al. Monocular amblyopia and higher order aberrations. *Vision Res* 2012;66:39-48.
51. Thibos LN, Hong X, Bradley A, Cheng X. Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes. *J Opt Soc Am* 2002;A19:2329-48.
52. He JC, Marcos S, Webb RH, Burns SA. Measurement of the wavefront aberrations of the eye by a fast psychophysical procedure. *J Opt Soc Am* 1998;A15:2449-56.
53. Surgery.org [Internet]: Garden Grove: American Association of Aesthetic Plastic Surgeons, Inc. [cited 2013, September 2nd]. Available at: www.surgery.org/sites/default/files/ASAPS-2012-Stats.pdf.

54. Randleman JB, Perez-Straziota CE, Hu MH, White AJ, Loft ES, Stulting RD. Higher-order aberrations after wavefront-optimized photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:260-4.
55. Wang L, Santaella RM, Booth M, Koch DD. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1512-19.
56. Artai P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberrations by the internal optics of the human eye. *J Vis* 2001;1:1-8.
57. Yamane N, et al. Ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:3986-90.
58. Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, Howland HC. Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40:1351-5.
59. Barriuso EM, Lloves JM, Marcos S, Navarro R, Llorente L, Barbero S. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;6:1396-403.
60. Vega-Estrada A, Alio JL, Arba Mosquera S, Moreno LJ. Corneal higher order aberrations after LASIK for high myopia with a fast repetition rate excimer laser, optimized ablation profile, and femtosecond laser-assisted flap. *J Refract Surg* 2012;28:689-96.
61. Marcos S, Barbero S, Lourdes L, Merayo-Llodes J. Optical response to LASIK surgery for myopia from total and corneal aberrations measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;13:3349-56.
62. Amano S, et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations. *Am J Ophthalmol* 2004;137:988-92.
63. McLellan JS, Marcos S, Burns SA. Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42:1390-5.
64. Fernandez-Sanchez V, Ponce E, Lara F, Montes-Mico R, Castejon-Mochon JF, Lopez-Gil N. Effect of 3rd-order aberrations on human vision. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1339-44.
65. Ligabue EA, Giordano C. Assessing visual quality with the point spread function using the NIDEK OPD-Scan II. *J Refract Surg* 2009;25:S104-S109.

66. Howland HC, Howland B. A subjective method for the measurement of monochromatic aberrations of the eye. *J Opt Soc Am* 1977;67:1508-18.
67. Wan XH, et al. Ocular monochromatic aberrations in a rural Chinese adult population. *Optom Vis Sci* 2014;91:68-75.
68. Levy Y, Segal O, Avni I, Zadok D. Ocular higher-order aberrations in eyes with supernormal vision. *Am J Ophthalmol* 2005;139:225-8.
69. Mathur A, Atchinson DA, Tabernero J. Effect of age on components of peripheral ocular aberrations. *Optom Vis Sci* 2012;89:E967-76.
70. Navarro R, Rozema JJ, Tassington MJ. Optical changes of human cornea as a function of age. *Optom Vis Sci* 2013;90:587-98.
71. Fang L, Wang Z, He X. Effect of pupil size on residual wavefront aberration with transition zone after customized laser refractive surgery. *Opt Express* 2013;21:1404-16.
72. Khalifa MA, Allam WA, Shaheen MS. Visual outcome after correcting the refractive error of large pupil patients with wavefront-guided ablation. *Clin Ophthalmol* 2012;6:2001-11.
73. Queiros A, Villa-Collar C, Gonzales-Meijome JM, Jorge J, Gutierrez AR. Effect of pupil size on corneal aberrations before and after standard laser in situ keratomileusis, custom laser in situ keratomileusis, and corneal refractive therapy. *Am J Ophthalmol* 2010;150:97-109.
74. Llorente L, Barbero S, Cano D, Dorronsoro C, Marcos S. Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations. *J Vis* 2004;4:288-98.
75. Smadja D, et al. Corneal higher order aberrations after myopic wavefront-optimized ablation. *J Refract Surg* 2013;29:42-8.
76. Brar VS, et al. *Fundamentals and principles in ophthalmology*, Fourth Edition. San Francisco, CA: American Academy of Ophthalmology 2019.
77. Fiala W, Bi and multifocal intraocular lenses. *J Emmetrop* 2010;7:43-52.
78. Heidari Z, et al. Early diagnosis of subclinical keratoconus by wavefront parameters using Scheimpflug, Placido and Hartmann-Shack based devices. *Int Ophthalmol* 2020;40:1659-71.
79. Keiichiro M, Yoko M, Toshifumi M, Kazunori M, Tetsuro O. Evaluation of paraxial forward scattering from intraocular lens with increased surface light scattering using

- goniophotometry and Hartmann-Shack wavefront aberrometry. *Jpn J Ophthalmol.* 2017;61:189-94.
80. Shaag-Gordon A, Pinero D, Kahloun C, Markov D. Validation of refraction and anterior segment parameters by a new multi-diagnostic platform (VX120). *J Optom* 2018;11:242-51.
 81. Wu F, Yin H, Yabo Y. Contralateral eye comparison between 2 cap thicknesses in small incision lenticule extraction: 110 versus 130 μm . *Cornea* 2019;38:617-23.
 82. Wiemer GM, et al. Refractive properties of the healthy human eye during acute hyperglycemia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246:993-8.
 83. Miranda MA, O'Donnell C, Radhakrishnan H. Repeatability of corneal and ocular aberration measurements and changes in aberrations over one week. *Clin Exp Optom* 2009;92:253-66.
 84. Kamiya K, Kobashi H, Igarashi A, Shoji N, Shimizu K. Effect of light scattering and higher-order aberrations on visual performance in eyes with granular corneal dystrophy. *Sci Rep* 2016;6:1-5.
 85. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H, Komatsu M. Comparison of visual acuity, higher-order aberrations and corneal asphericity after refractive lenticule extraction and wavefront-guided laser-assisted in situ keratomileusis for myopia. *Br J Ophthalmol* 2013;97:968-75.
 86. Taketani F, Matuura T, Yukawa E, Hara Y. Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:2158-62.
 87. He W, et al. Comparison of long-term decentration and tilt in two types of multifocal intraocular lenses with OPD-Scan III aberrometer. *Eye* 2018;32:1237-43.
 88. Nuzzi R, Tridico F. Comparison of visual outcomes, spectacle dependence and patient satisfaction of multifocal and accommodative intraocular lenses: innovation perspectives for maximal refractive-oriented cataract surgery. *BMC Ophthalmology* 2017;17:2-10.
 89. Xu, Z, et al. Comparison of clinical performance between trifocal and bifocal intraocular lenses: A meta-analysis. *PloS One* 2017;12:e0186522.
 90. Gatinel D, Loicq J. Clinically relevant optical properties of bifocal, trifocal, and extended depth of focus intraocular lenses. *J Refract Surg* 2016;32:273-80.

91. Vilar C, et al. Comparison between bilateral implantation of a trifocal intraocular lens and blended implantation of two bifocal intraocular lenses. *Clinica Ophthalmology* 2017;11:1393-7.
92. Shen Z, et al. Clinical comparison of patient outcomes following implantation of trifocal or bifocal intraocular lenses: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2017;7:45337.
93. Brenza W, et al. Psychophysical vision simulation of diffractive bifocal and trifocal intraocular lenses. *TVST* 2016;5:1-13.
94. Kim BH, Hyon JY, Kim MK. Effects of bifocal versus trifocal diffractive intraocular lens implantation on visual quality after cataract surgery. *Korean J Ophthalmol* 2019;33:333-42.
95. Sudhir RR, Dey A, Bhattacharaya S, Bahulayan A. AcrySof IQ PanOptix intraocular lens versus extended depth of focus intraocular lens and trifocal intraocular lens: A clinical overview. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology* 2019;8:335-49.
96. Yoon CH, Shin IS, Kim MK. Trifocal versus bifocal diffractive intraocular lens implantation after cataract surgery or refractive lens exchange: a Meta-analysis. *J Korean Med Sci* 2018;33:e275.
97. Schrecher J, Langenbucher A. Visual performance in the long term with secondary add-on versus primary capsular bag multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 2016;32:742-7.
98. Schmickler S, Bautista CP, Goes F, Shah S, Wolffsohn JS. Clinical evaluation of a multifocal aspheric diffractive intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 2013;97:1560-4.
99. Chavez MA, et al. Comparative study on optical performance and visual outcomes between two diffractive multifocal lenses: AMO Tecnis, ZMB00 and AcrySof IQ ReSTOR multifocal IOL SN6AD1. *Arq Bras Ophthalmol* 2016;79:171-6.
100. Rosa AM, et al. Functional magnetic resonance imaging to assess neuroadaptation to multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1287-96.
101. Melancia D, Pinto LA, Marques-Neves C. Cataract surgery and intraocular pressure. *Ophthalmic Res* 2015;53:141-8.

102. Wang N, Chintala SK, Fini ME, Schuman JS. Ultrasound activates the TM ELAM-1/IL-1/NF-kB response: a potential mechanism for intraocular pressure reduction after phacoemulsification. *Invest Ophthalmol* 2003;44:1977-81.
103. Lv H, et al. Changes of intraocular pressure after cataract surgery in myopic and emmetropic patients. *Medicine* 2018;97:38.
104. Ning X, Yang Y, Yan H, Zhang J. Anterior chamber depth-a predictor of refractive outcomes after age-related cataract surgery. *BMC Ophthalmology* 2019;19:134.
105. Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85:472-85.
106. Sugar A, Sadri E, Dawson DG, Musch DC. Refractive stabilization after temporal phacoemulsification with foldable acrylic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1741-5.
107. Pricopie S, et al. Pseudophakic bullous keratopathy. *Rom J Ophthalmol* 2017;61:90-4.
108. Americal Academy of Ophthalmology. External disease and cornea. 2014-2015;34.
109. Domingues GE, Fields F, Paris F, Pereira-Gomes JA, Costa de Farias C. Bullous keratopathy: etiopathogenesis and treatment. *Arq Bras Oftalmol* 2008;71:supl. 0.
110. Chamorro F, et al. Corneal endothelial cell loss associated to phacoemulsification and ophthalmologist experience: prospective analysis of individual secondary data. *Medwave* 2018;18:e7314.
111. He X, et al. Endothelial cell loss in diabetic and nondiabetic eyes after cataract surgery. *Cornea* 2017;36:948-51.
112. Vilar, et al. Comparison between bilateral implantation of a trifocal intraocular lens and blended implantation of two bifocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 2017;11:1393-7.
113. Zhao Y, Yang K, Li J, Huang Y, Zhu S. Comparison of hydrophobic and hydrophilic intraocular lens in preventing posterior capsule opacification after cataract surgery. *Medicine* 2017;96:44.
114. Nanu RV, et al. An overview of the influence and design of biomaterial of the intraocular implant of the posterior capsule opacification. *Rom J Ophthalmol* 2018;3:188-93.

115. Crnej A, et al. Impact of intraocular lens haptic design and orientation on decentration and tilt. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1768-74.
116. Hwang IP, et al. Decentration of 3-piece versus plate-haptic silicone intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:1505-8.
117. Oshika T, et al. Influence of pupil diameter on the relation between ocular higher-order aberration and contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:1334-8.
118. Guirao A. Optical aberrations of the human cornea as a function of age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2000;17:1697-702.
119. Grimson JM, et al. Contrast sensitivity: establishing normative data for use in screening prospective naval pilots. *Aviat Space Environ Med.* 2002;73:28-35.
120. Portney V. New bi-sign aspheric IOL and its application. *Optom Vis Sci.* 2012;89:80-9.
121. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Correlation between pupillary size and intraocular lens decentration and visual acuity of a zonal-progressive multifocal lens and a monofocal lens. *Ophthalmology* 2001;108:2011-7.
122. Cole SC, Werner L, Schwiegerling J, Crandall A. Visual aberrations in a multifocal intraocular lens with injection-related scratches. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1913-8.
123. Yoon CH, Shin IS, Kim MK. Trifocal versus bifocal diffractive intraocular lens implantation after cataract surgery or refractive lens exchange: a Meta-analysis. *J Korean Med Sci.* 2018;33:e275.
124. Ruis-Mesa R, Abengozar-Vela A, Ruiz-Santos M. A comparative study of the visual outcomes between a new trifocal and an extended depth of focus intraocular lens. *Eur J Ophthalmol* 2018;28:182-7.
125. Liu X, Xie L, Huang Y. Comparison of the visual performance after implantation of bifocal and trifocal intraocular lenses having an identical platform. *J Refract Surg* 2018;34:273-280.
126. Mojzis P, Majerova K, Hrkova L, Pinero DP. Implantation of a diffractive trifocal intraocular lens: one-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:1623-30.

127. De Garcia P, Hartwig A. Optimal orientation for angularly segmented multifocal corrections. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2017;37:610-23.
128. Villegas EA, et al. Effect of crystalline lens aberrations on adaptive optics simulation of intraocular lenses. *J Refract Surg* 2019;35:126-31.
129. Liu JP, Zhang F, Zhao JY, Ma LW, Zhang JS. Visual function and higher order aberration after implantation of aspheric and spherical multifocal intraocular lenses: a meta-analysis. *Int J Ophthalmol* 2013;6:690-5.
130. Lan J, et al. Visual performance with accommodating and multifocal intraocular lenses. *Int J Ophthalmol* 2017;10:235-40.
131. Lee CY, et al. Correlation and predictability of ocular aberrations and the visual outcome after quadrifocal intraocular lens implantation: a retrospective longitudinal study. *BMC Ophthalmol* 2019;19:188.
132. Alio JL, Elkady B, Ortiz D, Bernabeu G. Clinical outcomes and intraocular optical quality of a diffractive multifocal intraocular lens with asymmetrical light distribution. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:942-8.
133. Alio JL, et al. Comparison of a new refractive multifocal intraocular lens with an inferior segmental near add and a diffractive multifocal intraocular lens. *Ophthalmology* 2012;119:555-63.
134. Meng J, et al. Decentration and tilt of plate-haptic multifocal intraocular lenses in myopic eyes. *Eye and Vision* 2020;7:17.
135. Kim HK, Kim WS. Visual outcomes and patient satisfaction of low-power-added multifocal intraocular lens. *Eye Contact Lens* 2018;44:60-7.
136. Ortiz D, Alio JL, Bernabeu G, Pongo V. Optical performance of monofocal and multifocal intraocular lenses in the human eye. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:755-62.
137. Yokoyama S, Kojima T, Kaga T, Ichikawa K. Increased internal higher-order aberrations as a useful parameter for indication of vitrectomy in three asteroid hyalosis cases. *BMJ Case Rep* 2015;23:bcr2015211704.
138. Cinar E, Yuce B, Aslan F, Erbakan G. Comparison of wavefront aberrations in eyes with multifocal and monofocal iols before and after Nd:YAG laser capsulotomy for posterior capsule opacification. *Int Ophthalmol* 2020;40:2169-78.

12.0. PRILOZI

12.1. Spisak skraćenica

D	dioptrija
°	stepen Celzjusa
µm	mikrometar
HOA	sferne aberacije višeg reda (eng. <i>higher-order aberrations</i>)
LOA	sferne aberacije nižeg reda (eng. <i>lower-order aberrations</i>)
HO-RMS	korijen sfernih aberacija višeg reda (eng. <i>higher-order root mean square</i>)
RMS	korijen (eng. <i>root mean square</i>)
PSF	tačka transfera modulacije (eng. <i>point transfer function</i>)
MTF	funkcija transfera modulacije (eng. <i>modulation transfer function</i>)
nm	nanometar
mm²	milimetar kvadratni
PAS	Šifov periodični kiseli razmaz (eng. <i>periodic acid Schiff stain</i>)
dB	decibel
ANOVA	analiza varijance (eng. <i>analysis of variance</i>)

BIOGRAFIJA

Bojan Kozomara rođen je 30.12.1978. godine u Banjoj Luci u kojoj je završio osnovnu školu i započeo srednjoškolsko obrazovanje, koje je završio u Sjedinjenim Američkim Državama. Diplomirao je na Medicinskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci 2004. godine. Ljekarski staž obavlja u Klinici za očne bolesti Kliničkog centra Banja Luka, u kojem i završava specijalizaciju 2009. godine odličnim uspjehom. Za vrijeme specijalizantskog staža boravi na edukaciji na Vojnomedicinskoj akademiji u Beogradu, Univerzitetskoj oftalmološkoj klinici „Carreggi“ u Firenci, Italija, kao i u specijalnoj bolnici za oftalmologiju „Svjetlost“ Zagreb, Hrvatska. Od 2008. do 2011. godine je zaposlen u „Klinici Kozomara“, a od 2011. godine u „Klinici Svjetlost Banja Luka“, od 2021. godine specijalnoj bolnici „Svjetlost“ Banja Luka.

Postdiplomski studij iz biomedicinskih istraživanja sprovodi na Medicinskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci u periodu od 2009. do 2012. godine. Magistarski rad pod naslovom „*Poređenje kornealnih sfernih aberacija višeg reda kod miopskih pacijenata prije i nakon refraktivne hirurgije*“ odbranio je 2016. godine na Medicinskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci iz uže naučne oblasti oftalmologija. Autor je i koautor preko 30 naučnih i stručnih radova iz oblasti oftalmologije, kao i koautor jednog udžbenika iz zdravstvene njege. Aktivno je, u vidu usmenih i poster prezentacija, učestvovao na brojnim domaćim i međunarodnim kongresima iz oblasti oftalmologije. Član je Američkog udruženja za hirurgiju katarakte i refraktivnu hirurgiju, Evropskog udruženja za hirurgiju katarakte i refraktivnu hirurgiju, te Hrvatskog udruženja za hirurgiju katarakte i refraktivnu hirurgiju. Aktivno govori engleski i italijanski jezik. Oženjen je suprugom Sarom.

Izjava 1

IZJAVA O AUTORSTVU

**Izjavljujem
da je doktorska disertacija**

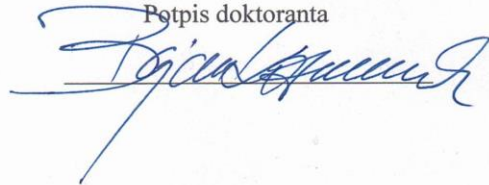
**SFERNE ABERACIJE VIŠEG REDA KOD BIFOKALNIH I TRIFOKALNIH
DIFRAKTIVNIH INTRAOKULARNIH SOČIVA MJERENIH POMOĆU DVIJE
NEZAVISNE METODE**

**HIGHER ORDER ABERRATIONS IN BIFOCAL AND TRIFOCAL DIFFRACTIVE
INTRAOCULAR LENSES MEASURED BY TWO INDEPENDENT METHODS**

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da doktorska disertacija, u cjelini ili u dijelovima, nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Banjoj Luci, 17.02.2021. godine

Potpis doktoranta



Izjava 2

Izjava kojom se ovlašćuje Univerzitet u Banjoj Luci da doktorsku disertaciju učini javno dostupnom

Ovlašćujem Univerzitet u Banjoj Luci da moju doktorsku disertaciju pod naslovom

SFERNE ABERACIJE VIŠEG REDA KOD BIFOKALNIH I TRIFOKALNIH DIFRAKTIVNIH INTRAOKULARNIH SOČIVA MJERENIH POMOĆU DVIJE NEZAVISNE METODE

koja je moje autorsko djelo, učini javno dostupnom.

Doktorsku disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo
2. Autorstvo-nekomercijalno
3. Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade
- 4. Autorstvo - nekomercijalno - dijeliti pod istim uslovima**
5. Autorstvo - bez prerade
6. Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima

U Banjoj Luci, 17.02.2021. godine

Potpis doktoranta



Izjava 3

Izjava o identičnosti štampane i elektronske verzije doktorske disertacije

Ime i prezime autora	Bojan Kozomara
Naslov rada	Sferne aberacije višeg reda kod bifokalnih i trifokalnih difraktivnih intraokularnih sočiva mjerenih pomoću dvije nezavisne metode
Mentor	Prof. dr Nikica Gabrić
Komentor	Prof. dr Milka Mavija

Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije identična elektronskoj verziji koju sam predala za digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci.

U Banjoj Luci, 17.02.2021. godine

Potpis doktoranta
