



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNOMATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Primena wavefront analize i kornealne topografije u savremenoj optometrijskoj praksi

- Master rad -

Kandidat:

Livija Temunović

Mentor:

dr Željka Cvejić

Novi Sad, 2026.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Keratometrija kao osnova procene rožnjače	4
2.1. Princip keratometrijskog merenja	4
2.2. Manuelna i automatska keratometrija	5
2.3. Ograničenja i klinički značaj keratometrije	6
3. Kornealna topografija i tomografija	7
3.1. Topografija zasnovana na Placido disku	7
3.2. OCT tomografija prednjeg segmenta.....	8
3.3. Scheimpflug tomografija	9
3.4. Osnovni principi interpretacije kornealnih mapa.....	9
3.4.1. Aksijalna (sagitalna) mapa zakrivljenosti	10
3.4.2. Pahimetrijska mapa.....	10
3.4.3. Elevacione mape	11
3.5. Integrisana interpretacija tomografskog nalaza	11
3.5.1. Keratometrijski parametri i asferičnost rožnjače	12
3.5.2. Posteriorna površina i pahimetrijski profil	13
3.5.3. Kmax, PPI, ART i BAD-D	13
4. Wavefront analiza optičkog sistema oka	14
4.1. Osnovni princip wavefront aberometrije	14
4.2. Aberacije nižeg i višeg reda.....	15
4.3. Zernikeovi polinomi	16
4.4. Wavefront mape, RMS i veličina zenice	17
4.5. Klinički značaj wavefront analize.....	18
5. Integrisana primena topografije, tomografije i wavefront analize u optometrijskoj praksi	19
5.1. Procena refraktivnog i optičkog statusa.....	19
5.2. Prepoznavanje suspektih kornealnih promena i upućivanje oftalmologu .	20
5.3. Optometrijska procena pre i nakon refraktivne hirurgije.....	21

5.3.1. Preoperativna procena	21
5.3.2. Postoperativna refrakcija i kvalitet vida.....	22
5.3.3. Topografske i aberometrijske promene nakon LASIK/PRK	23
5.4. Primena pri fitovanju kontaktnih sočiva	23
6. Prikaz kliničkih slučajeva	24
6.1 Visoka miopija sa stigmatizmom – FemtoLASIK procedura	25
6.1.1 Preoperativna topografija i tomografija	25
6.1.2 Preoperativna wavefront analiza	27
6.1.3 Hirurški zahvat	29
6.1.4 Postoperativni nalazi	29
6.1.5 Dugoročni postoperativni nalaz	32
6.2. Suspektan kornealni nalaz – integracija topografije, tomografije i wavefront analize	33
6.2.1 Anamneza i inicijalni nalaz (2023.)	33
6.2.2 Topografsko – tomografski nalaz 2023.....	33
6.2.3 Kontrolni nalaz i progresija (2026)	35
6.2.4 Topografsko – tomografsko poređenje 2023. – 2026.	37
6.2.5 Integrisana interpretacija i terapijski postupak	38
6.3. Preoperativna i postoperativna procena pacijenta nakon LASIK/PRK	38
6.3.1 Anamneza.....	38
6.3.2 Refrakcija i vidna oština	39
6.3.3 Preoperativna topografija i tomografija	39
6.3.4 Preoperativna wavefront analiza	41
6.3.5 Hirurški zahvat i postoperativni tok	43
6.4. Iregularna rožnjača i primena korekcije kontaktnim sočivima	46
6.4.1 Anamneza.....	46
6.4.2 Refrakcija i vidna oština	47
6.4.3 Kornealna topografija/tomografija.....	48
6.4.4 Wavefront analiza	50
6.4.5 Integrisana interpretacija nalaza.....	50

6.4.6 Optometrijski zaključak i postupak	50
7. Diskusija	52
8. Zaključak	56
9. Literatura.....	57

1. Uvod

Savremena procena optičkog sistema oka značajno prevazilazi određivanje sferocilindrične refraktivne greške i centralne zakrivljenosti rožnjače. Razvoj kornealne topografije, tomografije i wavefront aberometrije omogućio je detaljniju karakterizaciju morfologije rožnjače i optičkog kvaliteta oka, što je od posebnog značaja kod iregularnih rožnjača, u proceni kandidata za refraktivnu hirurgiju i pri analizi subjektivnih smetnji koje se ne mogu u potpunosti objasniti standardnom vidnom oštrinom i refrakcijom [1–5].

Klasična keratometrija omogućava pouzdanu procenu zakrivljenosti centralnog dela prednje površine rožnjače, ali ne daje informacije o njenoj kompletnoj anteriornoj površini, posteriornoj površini, elevaciji niti raspodeli debljine. Kornealna topografija zasnovana na Placido disku proširila je mogućnosti analize omogućavajući detaljno mapiranje zakrivljenosti prednje površine i prepoznavanje regularnih i iregularnih kornealnih obrazaca [1,2,6]. Razvoj tomografskih sistema, posebno Scheimpflug i anterior segment OCT tehnologije, omogućio je trodimenzionalnu procenu rožnjače, uključujući anteriornu i posteriornu elevaciju i pahimetrijski profil [3,4,7].

Ovakva integrisana analiza ima poseban značaj u ranom prepoznavanju ektatičnih promena. Savremena procena suspektog keratokonusa ne zasniva se na jednoj keratometrijskoj ili topografskoj vrednosti, već na kombinaciji podataka o anteriornoj i posteriornoj površini, raspodeli debljine rožnjače, položaju najtanje tačke i kompozitnim tomografskim indeksima [4,7–10]. Zbog toga su topografija i tomografija postale posebno značajne u preoperativnoj evaluaciji pacijenata koji razmatraju refraktivnu hirurgiju, gde je prepoznavanje predispozicije za ektaziju jedan od ključnih elemenata procene kornealnog rizika [8–11].

Istovremeno, analiza morfologije rožnjače ne daje potpunu informaciju o njenom uticaju na kvalitet retinalne slike. Wavefront aberometrija omogućava kvantifikaciju optičkih aberacija oka izvan standardnog sferocilindričnog opisa refrakcije. Primena Zernikeovih polinoma omogućava standardizovan prikaz aberacija višeg reda, među kojima su klinički posebno značajne koma, trefoil i sferna aberacija [12–15]. Njihov uticaj na kvalitet vida zavisi i od veličine zenice i može biti izražen naročito u mezopskim uslovima, pri čemu pacijent može imati dobru visokokontrastnu vidnu oštrinu, ali istovremeno prijavljivati halo efekte, zaslepljivanje (glare), pojavu višestrukih senki (ghosting) ili smanjenu kontrastnu osetljivost [13–16].

Poseban značaj wavefront analize postoji u refraktivnoj hirurgiji. Promena oblika rožnjače nakon LASIK ili PRK procedure može dovesti do promene njenog aberometrijskog profila, uključujući indukciju ili promenu aberacija višeg reda [16–19]. Zbog toga se savremena procena ishoda refraktivne procedure ne zasniva isključivo na postignutoj nekorigovanoj vidnoj oštrini i rezidualnoj refrakciji, već uključuje i procenu kvaliteta vida, kornealnog oblika i aberacija optičkog sistema [17–20]. Wavefront podaci imaju dodatnu ulogu kod individualizovanih, wavefront-guided

ablacionih profila, dok topography-guided pristupi koriste informacije o kornealnoj morfologiji za optimizaciju tretmana kod odabranih pacijenata [18–21].

Kornealna topografija i wavefront analiza imaju značaj i izvan refraktivne hirurgije. Kod iregularnih rožnjača, uključujući keratokonus i postoperativne kornealne promene, topografski podaci mogu doprineti izboru dizajna rigidnih gas-propusnih, hibridnih ili skleralnih kontaktnih sočiva, dok aberometrijska analiza može pomoći u proceni njihovog efekta na optički kvalitet oka [22–24].

Zbog toga se topografija, tomografija i wavefront analiza ne mogu posmatrati kao međusobno konkurentne metode. Njihova najveća vrednost proizlazi iz komplementarnosti: topografske i tomografske metode opisuju *morfologiju rožnjače*, dok wavefront analiza omogućava procenu *funkcionalne optičke posledice* morfoloških i drugih optičkih nepravilnosti oka.

Cilj ovog rada je analiza komplementarne uloge kornealne topografije, tomografije i wavefront aberometrije u proceni morfoloških i optičkih karakteristika oka, sa posebnim osvrtom na prepoznavanje suspektih kornealnih nalaza, preoperativnu i postoperativnu procenu kod refraktivne hirurgije i primenu u fitovanju kontaktnih sočiva. Kroz odabrane kliničke slučajeve biće prikazano na koji način integracija morfoloških, refraktivnih i aberometrijskih podataka može doprineti potpunijoj optometrijskoj proceni pacijenta.

2. Keratometrija kao osnova procene rožnjače

2.1. Princip keratometrijskog merenja

Keratometrija predstavlja osnovnu metodu za procenu zakrivljenosti centralnog dela prednje površine rožnjače. Princip merenja zasniva se na refleksiji svetlosnih mira sa prednje površine rožnjače, koja se zajedno sa suznim filmom optički ponaša kao konveksno ogledalo. Analizom veličine i položaja reflektovanih slika određuju se radijusi zakrivljenosti glavnih meridijana rožnjače, odnosno najravniji i najstrmiji meridijan [21,22].

Klasični keratometri analiziraju relativno ograničenu centralnu zonu rožnjače, približno 3 mm u prečniku. Dobijene vrednosti mogu se izraziti kao radijusi zakrivljenosti u milimetrima ili kao keratometrijska refraktivna moć u dioptrijama [21,22]. Budući da je reflektovana slika sa rožnjače veoma mala, kod manuelnih keratometara primenjuju se optički sistemi za dupliranje slike, čime se omogućava preciznije određivanje veličine reflektovane slike i radijusa zakrivljenosti.

Keratometrija direktno procenjuje zakrivljenost prednje površine rožnjače, dok se doprinos zadnje površine ne meri neposredno. Za preračunavanje izmerenog radijusa zakrivljenosti prednje površine u keratometrijsku refraktivnu moć koristi se konvencionalni keratometrijski indeks prelamanja, najčešće 1,3375 [22,23]. Ova vrednost nije stvarni indeks prelamanja tkiva rožnjače, koji

iznosi približno 1,376, već konvencionalna vrednost kojom se na osnovu zakrivljenosti prednje površine aproksimira ukupna refraktivna moć rožnjače [22,23]. Savremena literatura dodatno ukazuje da ovakva aproksimacija podrazumeva određeni odnos između anteriorne i posteriorne zakrivljenosti, zbog čega može biti manje precizna kada je taj odnos izmenjen.

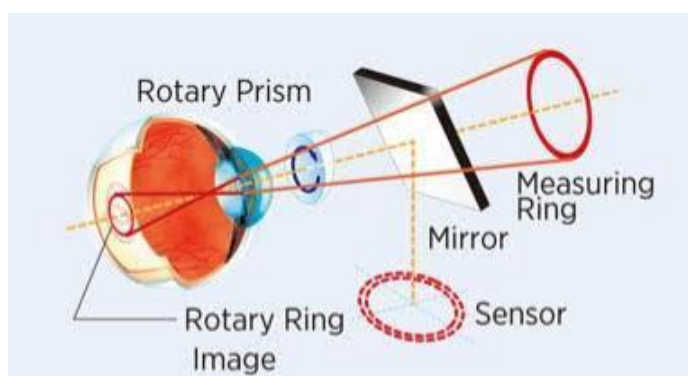
Poređenjem keratometrijski određenog kornealnog astigmatizma sa ukupnim refraktivnim astigmatizmom moguće je proceniti doprinos unutrašnjih optičkih struktura ukupnoj astigmatскоj grešci oka [21,24]. Ovaj odnos ima značaj i pri izboru kontaktne korekcije, naročito kod rigidnih gas-propusnih kontaktnih sočiva, kod kojih su nepravilnosti prednje površine rožnjače delimično optički kompenzovane suznim slojem između sočiva i rožnjače [24].

2.2. Manuelna i automatska keratometrija

Kod manuelne keratometrije ispitivač fokusira i poravnava reflektovane mire i određuje glavne meridijane rožnjače. U zavisnosti od konstrukcije instrumenta, sistemi dupliranja omogućavaju merenje dva glavna meridijana u jednoj poziciji ili zahtevaju rotaciju instrumenta radi određivanja drugog meridijana. Tačnost rezultata zavisi od pravilnog fokusiranja i centriranja, kvaliteta suznog filma, stabilnosti fiksacije i iskustva ispitivača [21,22].

Savremeni automatski keratometri zasniavaju se na istom osnovnom principu refleksije sa prednje površine rožnjače, ali se reflektovana slika registruje digitalnim senzorom. Računarski algoritam analizira geometriju refleksa i automatski određuje radijuse zakrivljenosti glavnih meridijana, keratometrijske vrednosti i veličinu kornealnog astigmatizma [22,25].

Automatizacija skraćuje vreme merenja, smanjuje zavisnost rezultata od iskustva ispitivača i omogućava dobru ponovljivost merenja. Ipak, osnovno metodološko ograničenje ostaje isto: automatska keratometrija procenjuje prvenstveno centralni deo prednje površine rožnjače i ne pruža informacije o kompletnoj geometriji rožnjače [22,25] (slika 1).



Slika 1. Šematski prikaz automatskog keratometrijskog merenja pomoću rotacione prizme.

Izvor: Topcon Healthcare, KR-800/KR-800A [29]

Tabela 1. Poređenje manuelne i automatske keratometrije

Karakteristika	Manuelna keratometrija	Automatska keratometrija
Način očitavanja	Manuelno poravnanje mira	Digitalna registracija i automatska analiza
Zavisnost od ispitivača	Veća	Manja
Vreme merenja	Duže	Kraće
Zahtev za iskustvom	Veći	Manji
Ponovljivost	Zavisi od operatera i uslova merenja	Uglavnom dobra
Osnovno ograničenje	Centralna prednja površina	Centralna prednja površina

2.3. Ograničenja i klinički značaj keratometrije

Keratometrija predstavlja jednostavnu, brzu i klinički korisnu metodu, ali njene rezultate treba tumačiti u okviru njenih metodoloških ograničenja. Standardnim keratometrijskim merenjem analizira se relativno mala centralna zona prednje površine rožnjače, dok se posteriorna površina ne meri direktno. Keratometrija takođe ne pruža informacije o elevaciji, pahimetrijskom profilu niti prostornoj raspodeli zakrivljenosti preko šire površine rožnjače [22,26]. Ograničenje manuelne keratometrije na centralnu, približno sfernu zonu i njena manja vrednost kod iregularnih rožnjača dobro su dokumentovani.

Pouzdanost merenja dodatno može biti smanjena kod izrazito iregularnih rožnjača, nestabilnog suznog filma, loše fiksacije ili nepravilnog centriranja. Kod iregularne rožnjače deformacija reflektovanih mira može ukazati na nepravilnost površine, ali standardna keratometrija ne omogućava njenu detaljnu lokalizaciju i kvantifikaciju [22,26].

Uprkos navedenim ograničenjima, keratometrija zadržava važnu ulogu u svakodnevnoj optometrijskoj praksi. Koristi se za procenu centralne zakrivljenosti i kornealnog astigmatizma, kao početna informacija pri izboru i fitovanju kontaktnih sočiva, za praćenje promena centralne zakrivljenosti i kao deo šire preoperativne procene oka [21,22,24]. Ove kliničke primene

keratometrije obuhvataju procenu astigmatizma, kontaktna sočiva i praćenje pre i postoperativnih promena.

Kod neuobičajenih keratometrijskih vrednosti, izražene razlike između glavnih meridijana ili deformacije mira, nalaz može ukazati na potrebu za detaljnijom analizom rožnjače. Keratometrija se, međutim, ne koristi kao samostalna metoda za dijagnostiku ili isključivanje ektatičnih promena, već takav nalaz predstavlja osnov za dalje ispitivanje kornealnom topografijom i tomografijom [26,27].

Upravo ograničenja keratometrije predstavljaju prirodan prelaz ka kornealnoj topografiji i tomografiji, koje omogućavaju prostornu analizu oblika rožnjače i procenu parametara koji standardnim keratometrijskim merenjem nisu dostupni [26,27]. Razvoj kvantitativnog mapiranja oblika rožnjače, opisan još u klasičnom radu Klycea, predstavljao je značajnu nadogradnju ograničenja klasične keratoskopije.

3. Kornealna topografija i tomografija

Kornealna topografija i tomografija predstavljaju komplementarne, ali metodološki različite načine analize rožnjače. Topografija zasnovana na Placido disku prvenstveno opisuje zakrivljenost prednje površine rožnjače na osnovu analize reflektovanih prstenova, dok tomografski sistemi omogućavaju trodimenzionalnu rekonstrukciju rožnjače i analizu prednje i zadnje površine, elevacije i raspodele debljine [3,5]. Razlikovanje ova dva koncepta posebno je značajno u savremenoj proceni rožnjače, jer normalan ili graničan izgled prednje površine ne isključuje promene posterioarne površine ili pahimetrijskog profila [3,5].

3.1. Topografija zasnovana na Placido disku

Placido topografija predstavlja neinvazivnu metodu za analizu zakrivljenosti i oblika prednje površine rožnjače. Na površinu rožnjače projektuju se koncentrični svetlosni prstenovi, čiji se refleksi registruje digitalnom kamerom. Raspored i deformacija reflektovanih prstenova zavise od lokalne zakrivljenosti rožnjače, a računarskom analizom njihovog položaja formiraju se kvantitativne, kolor-kodirane topografske mape [1,5].

Na strmijim delovima rožnjače reflektovani prstenovi su gušće raspoređeni, dok su na ravnijim delovima međusobno udaljeniji. Kvalitet merenja zavisi od pravilnog pozicioniranja pacijenta, stabilnosti fiksacije, kvaliteta suznog filma, centriranja i pravilne registracije refleksa. S obzirom na to da se Placido tehnologija zasniva na analizi refleksije sa anteriorne površine rožnjače i suznog filma, njome se ne mogu direktno odrediti posteriorna površina niti debljina rožnjače [3,5] (slika 2).

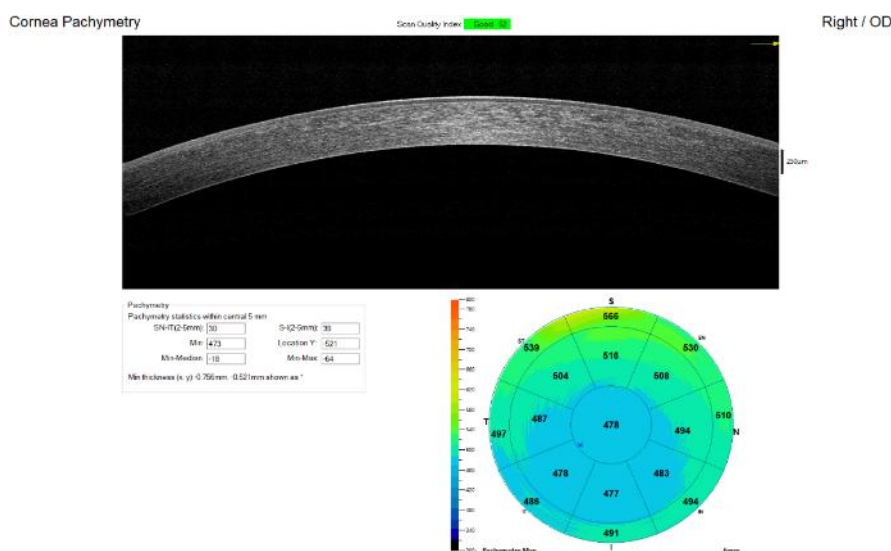


Slika 2. Sistem zasnovan na Placido disku za analizu prednje površine rožnjače. Izvori: levo – Drishti Eye Hospital [47]; desno – Kanclerz i sar.[48].

3.2. OCT tomografija prednjeg segmenta

Optička koherentna tomografija (OCT) predstavlja neinvazivnu i beskontaktnu metodu snimanja zasnovanu na niskokoherentnoj interferometriji. Analizom optičkog kašnjenja svetlosti reflektovane sa različitih dubina tkiva formiraju se visokorezolutivni presečni prikazi struktura oka [30].

Pojedinačno aksijalno merenje predstavlja A-sken, dok se povezivanjem većeg broja susednih A-skenova dobija dvodimenzionalni B-sken. Serijskim snimanjem moguće je rekonstruisati trodimenzionalni prikaz analizirane strukture. OCT prednjeg segmenta omogućava prikaz prednje i zadnje granice rožnjače, merenje njene debljine i formiranje pahimetrijskih mapa, zbog čega predstavlja značajnu metodu za morfološku analizu prednjeg segmenta oka [30] (slika 3).



Slika 3. OCT prikaz preseka rožnjače i pahimetrijske mape. Izvor: Wikimedia Commons, "Spectral Domain OCT – Corneal Cross-Section (and Pachymetry Map)".

3.3. Scheimpflug tomografija

Scheimpflug tomografija omogućava trodimenzionalnu analizu prednjeg segmenta oka snimanjem serije optičkih preseka. Scheimpflug princip omogućava da strukture koje se nalaze na različitim dubinama budu prikazane u fokusu zahvaljujući specifičnom međusobnom položaju ravni objekta, ravni objektiva i ravni senzora [3,4].

Rotacionim snimanjem dobija se veliki broj preseka prednjeg segmenta, iz kojih softver rekonstruiše trodimenzionalni model rožnjače. Na osnovu ovih podataka moguće je analizirati zakrivljenost prednje i zadnje površine, anteriornu i posteriornu elevaciju, centralnu debljinu rožnjače, vrednost i položaj najtanje tačke, kao i raspodelu debljine od centra ka periferiji [3,4,7]. Ovakva analiza ima poseban značaj u prepoznavanju suspektnektičnih promena i proceni rožnjače kandidata za refraktivne procedure [4,7,11].

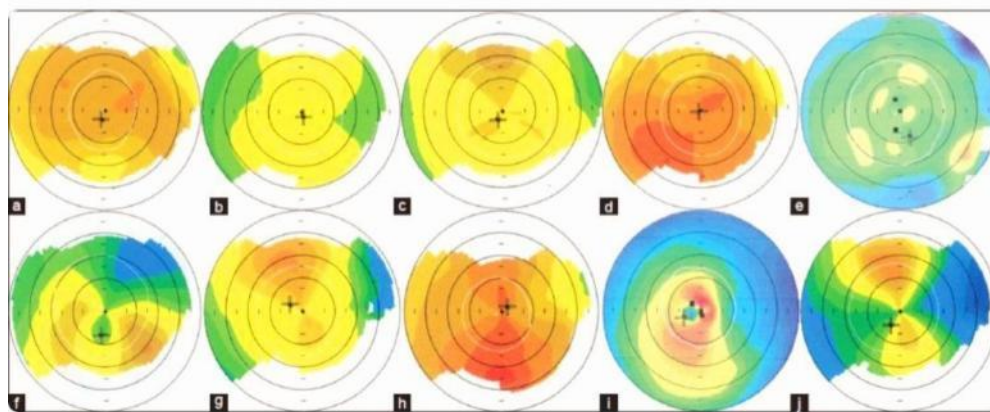
3.4. Osnovni principi interpretacije kornealnih mapa

Interpretacija topografskog ili tomografskog nalaza ne treba da se zasniva na jednoj mapi niti na pojedinačnoj numeričkoj vrednosti. Potrebno je integrisano analizirati raspored zakrivljenosti, simetriju rožnjače, elevaciju prednje, zadnje površine i pahimetrijski profil [3,4,5]. U kliničkoj praksi koriste se različiti prikazi, uključujući aksijalne (sagitalne), tangencijalne, elevacione i pahimetrijske mape, pri čemu značenje skale boja zavisi od vrste mape, korišćenog uređaja i izabranog načina prikaza [5].

3.4.1. Aksijalna (sagitalna) mapa zakrivljenosti

Aksijalna, odnosno sagitalna mapa daje pregledan prikaz ukupne raspodele zakrivljenosti rožnjače i posebno je korisna za uočavanje regularnih i iregularnih astigmatičkih obrazaca (slika 4).

Kod fiziološkog oblika rožnjače očekuje se relativno pravilan centralni obrazac sa postepenim zaravnjenjem prema periferiji. Asimetrija, lokalizovano inferiorno ili superiorno zastrmljenje, iskrivljenje radijalnih osa ili izrazito iregularan raspored mogu ukazati na potrebu za detaljnijom analizom drugim mapama i tomografskim parametrima [1,2,5].



Slika 4. Karakteristični obrasci kornealne topografije, uključujući simetrične i asimetrične „bow-tie“ obrasce i lokalizovana zastrmljenja.

Izvor: Hashemi i sar., prema klasifikaciji Rabinowitz i sar. [42].

3.4.2. Pahimetrijska mapa

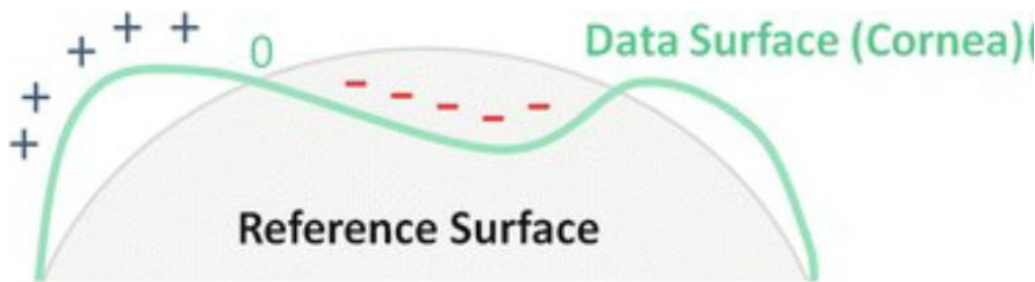
Pahimetrijska mapa prikazuje prostornu raspodelu debljine rožnjače. Za kliničku interpretaciju nije značajna samo centralna debljina, već i vrednost i položaj najtanje tačke, kao i način na koji se debljina povećava od najtanje tačke prema periferiji. Ovakav pristup posebno je značajan u proceni ektatičnih promena i predispozicije za ektaziju, jer pojedinačna vrednost centralne ili minimalne debljine ne opisuje celokupan pahimetrijski profil rožnjače [7,9].

3.4.3. Elevacione mape

Elevacione mape prikazuju položaj analizirane površine rožnjače u odnosu na izabranu referentnu površinu, najčešće *best-fit sphere* (BFS). Pozitivne vrednosti predstavljaju tačke koje se nalaze iznad, a negativne vrednosti tačke koje se nalaze ispod referentne površine (slika 5). Za razliku od mapa zakrivljenosti, elevacione mape omogućavaju procenu i prednje i zadnje površine kada se koriste tomografski sistemi [3,4].

Posebno je značajna analiza zadnje površine rožnjače, jer promene posteriorne elevacije mogu biti povezane sa ektatičnim promenama i mogu doprineti prepoznavanju suspektnih nalaza koji nisu dovoljno izraženi samo na mapama anteriorne zakrivljenosti [3,4,7].

Vrednosti elevacije ne treba interpretirati kao izolovane univerzalne granične kriterijume. Njihovo značenje zavisi od korišćenog uređaja, izabrane referentne površine, zone analize i softverskog algoritma. Zbog toga se anteriorna i posteriorna elevacija tumače zajedno sa raspodelom zakrivljenosti, pahimetrijskim profilom i ostalim tomografskim pokazateljima [3,4,7,33].

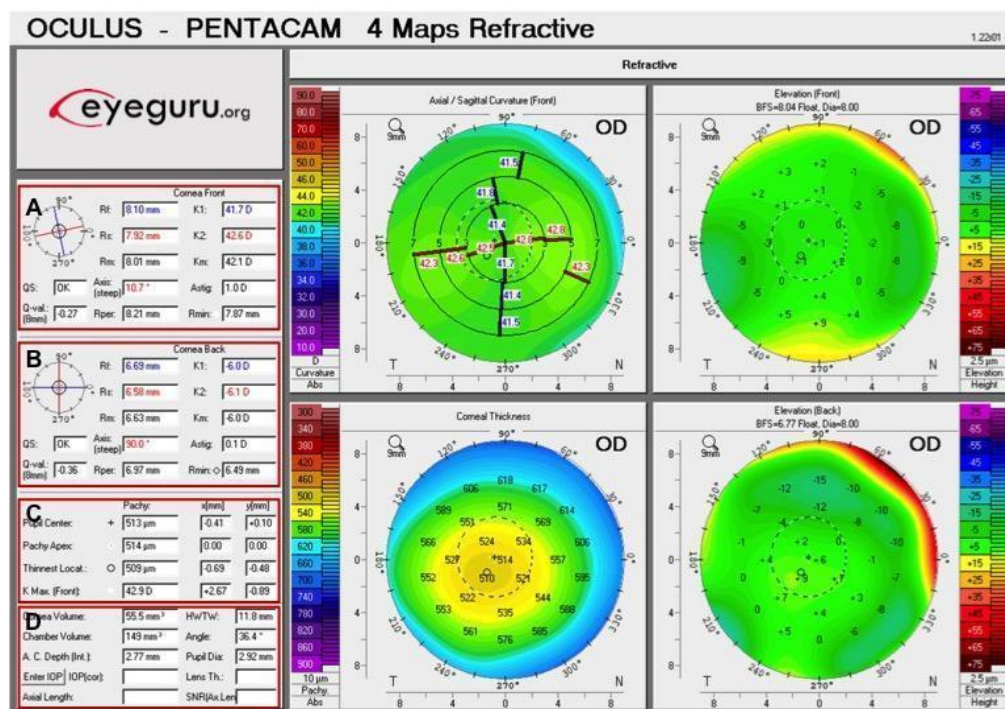


Slika 5. Princip određivanja elevacije rožnjače u odnosu na referentnu površinu (BFS).

Izvor: Belin MW i Khachikian SS.[3].

3.5. Integrirana interpretacija tomografskog nalaza

Pri proceni morfologije rožnjače analiziraju se keratometrijski parametri, kornealni astigmatizam, maksimalna zakrivljenost, asferičnost površine, anteriorna i posteriorna elevacija, vrednost i položaj najtanje tačke i pahimetrijski profil (slika 6). Nijedan od ovih parametara ne treba posmatrati izolovano, naročito kada se procenjuje suspektna ektatična promena ili kandidat za refraktivnu hirurgiju [4,7,11].



Slika 6. Pentacam prikaz četiri kornealne mape (4 Maps Refractive). Izvor: EyeGuru, Chen A. Lin B., Lin S.[43].

3.5.1. Keratometrijski parametri i asferičnost rožnjače

K1 predstavlja keratometrijsku vrednost ravnijeg, a K2 strmijeg glavnog meridijana prednje površine rožnjače, dok Km predstavlja srednju keratometrijsku vrednost. Razlika između K1 i K2 opisuje veličinu kornealnog astigmatizma, a orijentacija glavnih meridijana određuje njegovu osu [5].

Q-vrednost opisuje asferičnost rožnjače i omogućava kvantitativno opisivanje promene njenog oblika od centra prema periferiji. Normalna anteriorna površina rožnjače najčešće ima prolatan oblik, odnosno izraženiju zakrivljenost u centralnom delu, koja se postepeno smanjuje prema periferiji. Interpretacija Q-vrednosti zavisi od analizirane zone i sistema merenja. Nakon refraktivne hirurgije Q-vrednost može se menjati u zavisnosti od vrste i profila izvedene ablacije [5,16].

3.5.2. Posteriorna površina i pahimetrijski profil

Analiza zadnje površine obuhvata njenu zakrivljenost i elevaciju u odnosu na izabranu referentnu površinu. Posebnu pažnju zahtevaju lokalizovane promene posteriorne elevacije i njihova povezanost sa pahimetrijskim nalazom, naročito sa položajem najtanje tačke i načinom povećanja debljine prema periferiji [4,7,9].

Kombinovana analiza posteriorne površine i pahimetrijskog profila pruža više informacija od pojedinačnog parametra i ima poseban značaj u proceni suspektnih ektatičnih promena i preoperativnom skriningu kandidata za refraktivnu hirurgiju [31,32].

3.5.3. Kmax, PPI, ART i BAD-D

Kmax predstavlja najveću izmerenu keratometrijsku vrednost prednje površine rožnjače i koristan je u proceni i praćenju ektatičnih promena. Međutim, Kmax opisuje lokalnu maksimalnu zakrivljenost prednje površine i ne sadrži informacije o posteriornoj površini niti o prostornoj raspodeli debljine rožnjače. Zbog toga se ne tumači kao samostalni dijagnostički kriterijum, već u kombinaciji sa drugim topografskim, tomografskim i kliničkim pokazateljima [4,9].

Pachymetric Progression Indices (PPI) opisuju način povećanja debljine rožnjače od najtanje tačke prema periferiji i omogućavaju procenu prostornog pahimetrijskog profila. Na osnovu odnosa minimalne debljine rožnjače i progresije pahimetrije razvijeni su parametri Ambrósio Relational Thickness (ART). Ovi parametri pružaju dodatne informacije u razlikovanju normalnih i ektatičnih rožnjača u odnosu na procenu zasnovanu samo na pojedinačnoj vrednosti debljine [7].

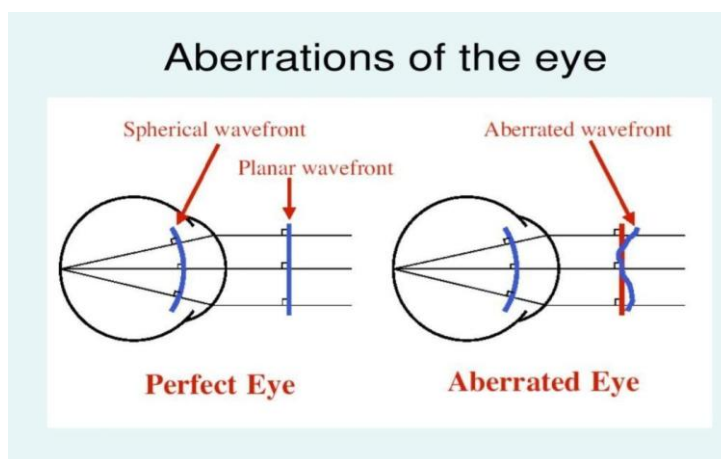
Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia Display (BAD) predstavlja tomografski prikaz dostupan na Pentacam uređaju, koji integriše više tomografskih parametara rožnjače, uključujući prednju i zadnju elevaciju, raspored debljine rožnjače i pahimetrijsku progresiju. Koristi se za otkrivanje suptilnih promena koje mogu ukazivati na povećan rizik od kornealne ektazije. Završni index BAD-

D predstavlja kombinovanu vrednost koja pokazuje stepen odstupanja analiziranih parametara od referentnih vrednosti i koristi se kao pomoć u preoperativnoj proceni [33].

BAD-D se, međutim, ne interpretira izolovano, niti se povišena vrednost automatski izjednačava sa dijagnozom keratokonusa. Rezultat treba tumačiti zajedno sa anteriornom i posteriornom elevacijom, pahimetrijskim profilom, zakrivljenošću i ostalim kliničkim i tomografskim nalazima [7,9,33]. Savremeni BAD-D algoritmi dodatno unapređuju mogućnost prepoznavanja rožnjača sa povećanom sklonošću ka ektaziji, ali i dalje predstavljaju deo integrisane procene, a ne samostalni dijagnostički test [33].

4. Wavefront analiza optičkog sistema oka

Talasni front (*wavefront*) predstavlja površinu koja povezuje tačke svetlosnog talasa iste faze. U idealnom optičkom sistemu izlazni talasni front imao bi pravilan oblik, dok u realnom oku refraktivne i druge optičke nepravilnosti dovode do njegovog odstupanja od idealnog oblika (slika 7). Wavefront aberometrija omogućava objektivno merenje i kvantifikaciju ovih odstupanja i pruža informacije o optičkom kvalitetu oka koje standardna sferocilindrična refrakcija ne može u potpunosti da opiše [12,13].



Slika 7. Šematski prikaz idealnog talasnog fronta i talasnog fronta sa aberacijama. Izvor: Badescu SV. i sar. [45].

4.1. Osnovni princip wavefront aberometrije

Jedan od najčešće primenjivanih principa merenja aberacija oka zasniva se na Hartmann–Shack senzoru. Svetlost koja se nakon refleksije sa retine vraća kroz optički sistem oka dolazi do matrice mikrosočiva. Svako mikrosočivo fokusira mali deo izlaznog talasnog fronta na detektor. Kod optički idealnog sistema položaj fokusnih tačaka odgovara referentnom rasporedu, dok u prisustvu

abracija dolazi do njihovog pomeranja. Na osnovu veličine i pravca ovih pomeranja određuju se lokalni nagibi talasnog fronta i rekonstruiše njegov oblik [12]. Klasični rad Liang i saradnika pokazao je da Hartmann–Shack senzor omogućava brzo, precizno i objektivno merenje abracija ljudskog oka [12].

U zavisnosti od izvora podataka razlikuju se ukupne očne abracije (*ocular wavefront*), kornealne abracije (*corneal wavefront*) i procenjeni doprinos unutrašnjih optičkih struktura oka (*internal wavefront*). Ukupni očni wavefront obuhvata zajednički doprinos rožnjače i unutrašnjih optičkih struktura, dok se kornealni wavefront izračunava iz geometrije kornealnih površina. Internalni doprinos može se proceniti poređenjem ukupnih i kornealnih abracija, uz odgovarajući referentni sistem i istu pupilarnu zonu [13-15].

4.2. Abracije nižeg i višeg reda

Optičke abracije oka dele se na abracije nižeg reda (*Lower-Order Aberrations – LOA*) i abracije višeg reda (*Higher-Order Aberrations – HOA*). Abracije nižeg reda dominantno obuhvataju defokus i regularni astigmatizam i čine najveći deo uobičajene refraktivne greške oka. One se u kliničkoj praksi u velikoj meri mogu korigovati standardnim sfernim i cilindričnim optičkim korekcijama [13-14].

Abracije višeg reda ne mogu se u potpunosti opisati niti korigovati klasičnom sferocilindričnom korekcijom. Među klinički značajnijim HOA izdvajaju se koma, trefoil (tropolisna abracija) i sferna abracija. Koma predstavlja asimetričnu abraciju, trefoil ima karakterističnu trokraku prostornu raspodelu, dok je sferna abracija povezana sa razlikom u fokusiranju zraka koji prolaze kroz centralne i periferne delove optičkog sistema [13-15].

Uticaj HOA na kvalitet vida zavisi od amplitude pojedinačnih abracija, njihovih međusobnih interakcija i veličine zenice. Zbog toga povećana RMS vrednost ne mora sama po sebi u potpunosti opisati funkcionalni efekat abracija. Applegate i saradnici pokazali su da različite kombinacije Zernikeovih modova mogu međusobno pojačavati ili delimično kompenzovati negativan uticaj na vidnu funkciju [14].

Abracije višeg reda mogu postati funkcionalno značajnije pri većem prečniku zenice i u mezopskim ili skotopskim uslovima. Povećane abracije višeg reda (HOA) mogu biti povezane sa pojavom svetlosnih oreola (halo efekata), zaslepljivanja (glare) višestrukih senki slike (ghosting), zamućenja vida i smanjene kontrastne osetljivosti, čak i kada pacijent postiže dobru visokokontrastnu vidnu oštrinu [14,19].

4.3. Zernikeovi polinomi

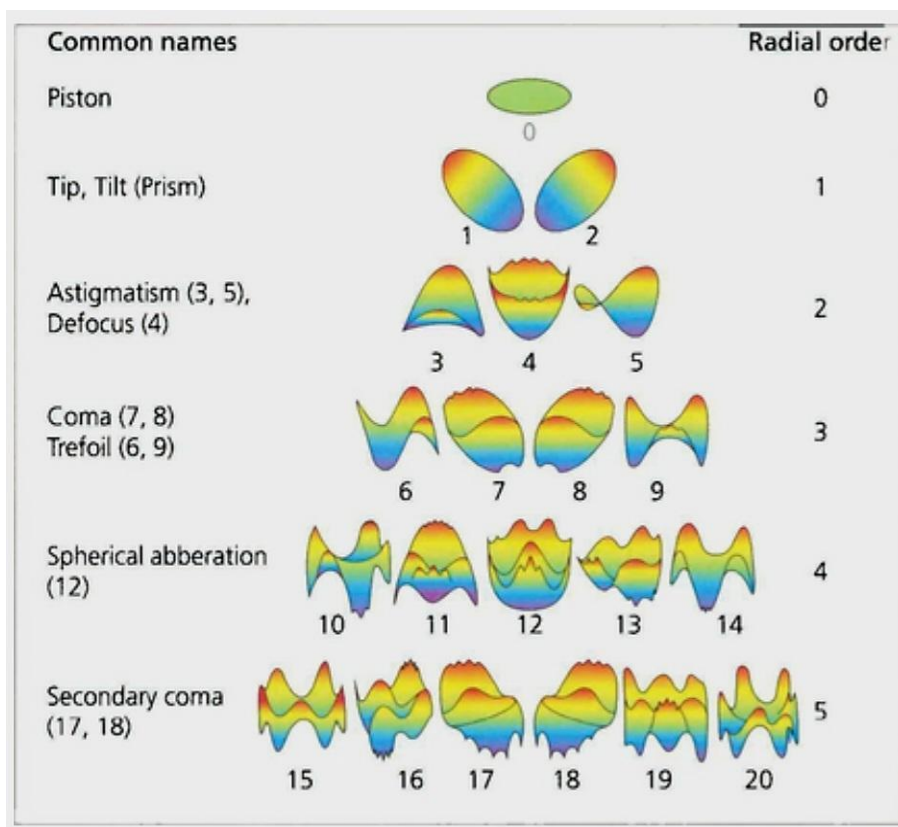
Zernikeovi polinomi omogućavaju matematičko razlaganje složenog oblika talasnog fronta na skup pojedinačnih ortogonalnih komponenti definisanih na kružnoj pupilarnoj aperturi. Svaka komponenta opisuje određeni oblik odstupanja talasnog fronta, a njena amplituda omogućava kvantitativno izražavanje odgovarajuće aberacije [13].

Standardizacija nomenklature, redosleda i znaka Zernikeovih koeficijenata bila je posebno važna za poređenje rezultata između različitih aberometrijskih sistema i istraživačkih studija. Preporuke VSIA Standards Taskforce definisale su standardizovan način izveštavanja optičkih aberacija ljudskog oka [13].

Za kliničku interpretaciju nije neophodno analizirati kompletan matematički aparat Zernikeovih funkcija, ali je značajno razumeti vezu između reda polinoma i odgovarajućih tipova aberacija. Drugi red dominantno obuhvata defokus i regularni astigmatizam, treći red komu i trefoil, dok četvrti red uključuje sfernu aberaciju i druge složenije komponente [13] (slika 8).

Tabela 2. Osnovna klinička interpretacija Zernikeovih aberacija

Red	Tipične komponente	Klinički značaj
1. red	tilt	uglavnom se ne razmatra kao refraktivna greška
2. red	defokus, regularni astigmatizam	dominantne aberacije nižeg reda
3. red	koma, trefoil	asimetrija i iregularnost optičkog sistema
4. red	sferna aberacija i druge komponente	mogu značajno uticati na kvalitet vida, naročito pri većoj zenici
≥5. red	složenije HOA	pojedinačno su obično manje zastupljene, ali mogu doprineti ukupnom aberometrijskom profilu



Slika 8. Grafički prikaz Zernikeovih polinoma različitih redova i odgovarajućih aberacija talasnog fronta. Izvor: Spalton i sar. (2005), slika 1.13. [46]

4.4. Wavefront mape, RMS i veličina zenice

Wavefront mape grafički prikazuju odstupanje izmerenog talasnog fronta od referentnog idealnog oblika. Pored analize pojedinačnih Zernikeovih koeficijenata, ukupna veličina aberacija može se izraziti RMS (*Root Mean Square*) vrednošću. RMS predstavlja kvadratni koren srednje vrednosti kvadrata odgovarajućih Zernikeovih koeficijenata i koristi se kao zbirna mera veličine aberacija u određenoj pupilarnoj zoni [13-15].

RMS vrednost međutim, ne opisuje prostornu raspodelu aberacija niti njihov međusobni odnos. Dva oka mogu imati sličan ukupni HOA RMS, a različit raspored pojedinačnih aberacija i različit funkcionalni kvalitet slike. Zbog toga se ukupni RMS tumači zajedno sa pojedinačnim Zernikeovim komponentama i kliničkim nalazom [14].

Prečnik zenice mora biti naveden pri poređenju wavefront nalaza, jer vrednosti Zernikeovih koeficijenata i RMS zavise od veličine analizirane pupilne aperture. Sa povećanjem zenice periferni delovi optičkog sistema više učestvuju u formiranju retinalne slike, pa se doprinos aberacija višeg

reda može povećati. Iz tog razloga aberometrijski nalazi dobijeni za različite pupilne prečnike nisu direktno uporedivi [13,15].

4.5. Klinički značaj wavefront analize

Wavefront analiza pruža informacije o optičkom kvalitetu oka koje standardna sferocilindrična refrakcija ne može u potpunosti da opiše. Posebno je korisna u situacijama u kojima postoji nesklad između standardne vidne oštine i subjektivnog kvaliteta vida. Pacijent može imati dobru visokokontrastnu vidnu oštrinu, a istovremeno subjektivne smetnje u kvalitetu vida posebno u uslovima smanjenog osvetljenja i povećanih vizuelanih zahteva [19].

Wavefront analiza ima značajnu primenu u refraktivnoj hirurgiji. Kod *wavefront-guided* tretmana individualni aberometrijski profil oka koristi se kao jedan od elemenata za definisanje ablacionog profila. Nasuprot tome, *wavefront-optimized* tretman nije zasnovan na individualnoj korekciji kompletnog HOA profila, već je dizajn ablacije usmeren na korekciju sferocilindrične greške uz smanjenje indukcije određenih aberacija, posebno sferne aberacije [34]. Meta-analiza Feng i saradnika direktno poredi wavefront-guided i wavefront-optimized LASIK i potvrđuje da se radi o različitim strategijama ablacije.

Topography-guided pristup koristi podatke o morfologiji i optičkim karakteristikama kornealne površine za individualizaciju ablacionog profila. Za razliku od wavefront-guided pristupa, koji se zasniva na ukupnom aberometrijskom profilu oka, topography-guided tretman dominantno se usmerava na kornealnu površinu i njenu regularizaciju [35]. Savremene meta-analize pokazuju da topography-guided i wavefront-optimized pristupi imaju različite metodološke osnove i da se njihovi ishodi mogu razlikovati u pojedinim parametrima kvaliteta vida i aberacija višeg reda.

Wavefront analiza je značajna i u postoperativnom praćenju, jer omogućava poređenje preoperativnog i postoperativnog aberometrijskog profila i procenu promena optičkog kvaliteta nakon refraktivne procedure. I LASIK i PRK mogu dovesti do promena HOA, pri čemu njihov obim zavisi od preoperativnog aberometrijskog profila, refraktivne greške, veličine analizirane zenice, optičke zone i drugih karakteristika tretmana [36]. U studiji Jahadi Hosseini i saradnika zabeleženo je povećanje ukupnih aberacija višeg reda (HOA) pri prečniku zenice od 6 mm nakon i wavefront-guided PRK i LASIK procedure, što dodatno ukazuje na važnost korišćenja istog prečnika zenice prilikom poređenja preoperativnih i postoperativnih aberometrijskih nalaza [36].

Wavefront aberometrija se zato ne posmatra kao zamena za refrakciju, kornealnu topografiju ili tomografiju, već kao njihova funkcionalna dopuna. U kombinaciji sa morfološkim podacima ona omogućava potpunije sagledavanje odnosa između strukture rožnjače, optičkih aberacija i subjektivnog kvaliteta vida.

5. Integrisana primena topografije, tomografije i wavefront analize u optometrijskoj praksi

Najveća klinička vrednost ovih metoda ne proizlazi iz njihove izolovane primene, već iz integracije refraktivnih, morfoloških i aberometrijskih podataka. Keratometrija i refrakcija daju osnovne informacije o optičkom statusu. Topografija opisuje raspodelu zakrivljenosti prednje površine, tomografija dodaje podatke o zadnjoj površini, elevaciji i pahimetriji, dok wavefront analiza omogućava procenu funkcionalnih optičkih posledica uočenih nepravilnosti [3,5,12-14].

U pojednostavljenom kliničkom smislu, topografija i tomografija prvenstveno odgovaraju na pitanje kakva je geometrija i morfologija rožnjače, dok wavefront analiza pokazuje kako optički sistem utiče na formiranje retinalne slike. Upravo njihovo povezivanje omogućava potpuniju procenu pacijenta.

5.1. Procena refraktivnog i optičkog statusa

Standardna objektivna i subjektivna refrakcija omogućavaju određivanje sfere, cilindra i ose, ali ne opisuju sve faktore koji mogu uticati na kvalitet retinalne slike. Topografijom se može proceniti da li je kornealni astigmatizam regularan ili iregularan i da li postoje lokalizovane ili asimetrične promene zakrivljenosti, dok wavefront analiza omogućava kvantifikaciju ukupnih aberacija oka, uključujući aberacije višeg reda [5,12,13].

Poređenjem ukupnog oćnog i kornealnog aberometrijskog profila može se proceniti relativni doprinos rožnjače i unutrašnjih optičkih struktura ukupnim optičkim aberacijama oka. Takva analiza može biti posebno korisna kada standardna sferocilindrićna refrakcija i visokokontrastna vidna oštrina ne objašnjavaju subjektivne smetnje pacijenta [19].

Pacijent, na primer, može postići dobru najbolje korigovanu vidnu oštrinu, a istovremeno prijavljivati imati smanjenu kontrastnu osetljivost i subjektivne smetnje u kvalitetu vida.. U takvim situacijama procena pojedinaćnih aberacija, ukupnog HOA RMS i njihovog odnosa sa morfologijom rožnjače može pružiti dodatnu informaciju o optičkom kvalitetu oka [19].

5.2. Prepoznavanje suspektnih kornealnih promena i upućivanje oftalmologu

U optometrijskoj praksi važna uloga topografije i tomografije jeste prepoznavanje nalaza koji odstupaju od očekivanog morfološkog obrasca i mogu zahtevati dodatnu oftalmološku procenu. Posebnu pažnju zahtevaju izražena asimetrija topografskog obrasca, lokalizovano zastrmljenje, iregularni astigmatizam, neuobićajen položaj najtanje taćke, abnormalna progresija pahimetrije i suspektne promene posteriorne elevacije [3-5,7,9].

Iregularni astigmatizam može biti povezan sa ektatičnim promenama rožnjače, uključujući keratokonus i pelucidnu marginalnu degeneraciju, ali se može javiti i nakon traume, infekcije ili hirurških intervencija. Zbog toga topografski obrazac sam po sebi ne predstavlja dijagnozu. Kod sumnje na ektatičnu promenu potrebno je integrisati podatke o anteriornoj i posteriornoj površini, zakrivljenosti, elevaciji, pahimetrijskom profilu, položaju najtanje tačke i drugim raspoloživim tomografskim parametrima [3,4,7,9].

Wavefront analiza može pružiti dodatnu informaciju o optičkim posledicama morfološke nepravilnosti. Kod keratokonusa su kornealne aberacije višeg reda, naročito koma i aberacije trećeg reda, često veće nego kod normalnih rožnjača i mogu pratiti stepen iregularnosti [37]. Međutim, aberometrijski nalaz ne treba tumačiti kao samostalni dijagnostički kriterijum, već kao funkcionalni dodatak topografskoj, tomografskoj i kliničkoj proceni [4,37].

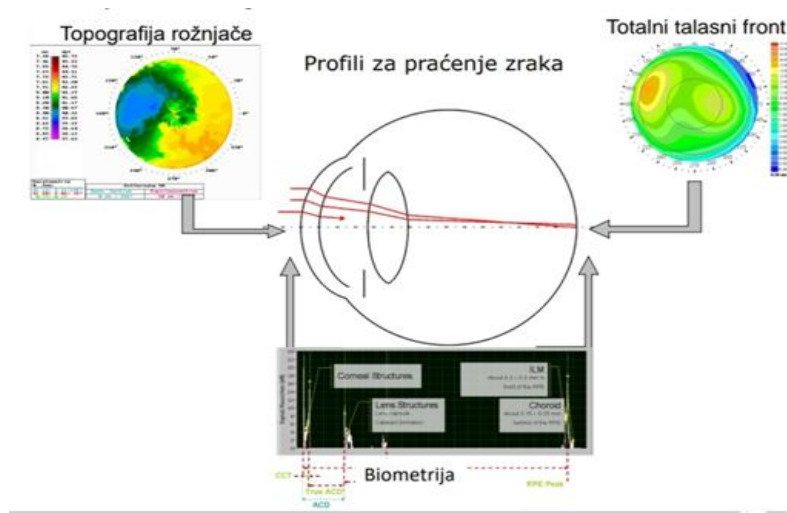
Uloga optometriste jeste da prepozna suspektan nalaz, poveže ga sa refraktivnim i funkcionalnim statusom pacijenta, dokumentuje uočene promene i pravovremeno uputi pacijenta oftalmologu. Postavljanje dijagnoze ektatične bolesti i donošenje odluke o medicinskom ili hirurškom lečenju pripadaju oftalmologu.

5.3. Optometrijska procena pre i nakon refraktivne hirurgije

5.3.1. Preoperativna procena

Preoperativna procena pacijenta koji razmatra refraktivni zahvat obuhvata određivanje refraktivne greške i vidne oštine, procenu stabilnosti refrakcije i detaljnu analizu morfologije i optičkih karakteristika rožnjače. Kornealna topografija i tomografija imaju centralnu ulogu u prepoznavanju regularnih i iregularnih obrazaca, proceni anteriorne i posteriorne površine, pahimetrijskog profila i drugih nalaza koji mogu ukazivati na povećan rizik za postoperativnu ektaziju [11].

Savremena preoperativna procena zato se ne zasniva na jednoj keratometrijskoj vrednosti niti samo na centralnoj debljini rožnjače. Potrebno je integrisati morfološke podatke, uključujući oblik prednje i zadnje površine, raspodelu debljine, lokalizaciju najtanje tačke i kompozitne tomografske pokazatelje [7,32,33] (slika 9).



Slika 9. Integracija kornealne topografije, wavefront podataka i biometrijskih merenja u individualizovanoj proceni optičkog sistema oka. Izvor: Preuzeto iz edukativnog materijala Pajić B., “Aberacije višeg reda i njihova klinička relevantnost” [44].

Wavefront analiza dopunjuje preoperativnu procenu kvantifikacijom aberacija nižeg i višeg reda i može biti značajna za procenu postojećeg optičkog kvaliteta oka i planiranje određenih individualizovanih refraktivnih procedura [12, 34–36].

Konačna procena podobnosti pacijenta i indikacija za refraktivni hirurški zahvat pripadaju oftalmologu/refraktivnom hirurgu. Optometrista učestvuje u detaljnoj refraktivnoj i funkcionalnoj proceni, izvođenju i interpretaciji optometrijskih merenja u okviru svojih kompetencija i prepoznavanju nalaza koji zahtevaju dodatnu oftalmološku procenu.

Poseban značaj u preoperativnoj proceni ima međusobno usaglašavanje rezultata različitih dijagnostičkih metoda. Nalaz koji pojedinačno ne ukazuje na značajno odstupanje može dobiti drugačiji klinički značaj kada se posmatra zajedno sa podacima kornealne topografije, tomografije i aberometrije. Ovakav integrisani pristup omogućava potpunije sagledavanje optičkih i morfoloških karakteristika oka i doprinosi prepoznavanju pacijenata kod kojih je potrebna dodatna dijagnostička obrada pre donošenja odluke o refraktivnom hirurškom zahvatu.

5.3.2. Postoperativna refrakcija i kvalitet vida

Nakon LASIK ili PRK procedure procenjuju se nekorigovana i najbolje korigovana vidna oštrina, rezidualna refraktivna greška i stabilnost refraktivnog ishoda. Međutim, dobra postoperativna visokokontrastna vidna oštrina ne mora nužno podrazumevati optimalan subjektivni kvalitet vida. Uprkos dobroj Snellenovoj vidnoj oštirini pacijenti mogu imati smanjenu kontrastnu osetljivost i izraženije vizuelne smetnje u uslovima slabijeg osvetljenja[19,36].

U takvim slučajevima topografija omogućava analizu oblika i regularnosti postoperativne rožnjače, dok wavefront analiza može pokazati promene aberacija višeg reda koje nisu obuhvaćene standardnom sferocilindričnom refrakcijom. Procena ishoda refraktivnog zahvata zato može uključivati refrakciju i vidnu oštrinu, subjektivni kvalitet vida i, kada postoji odgovarajuća indikacija, topografski, tomografski i aberometrijski nalaz [16,19,36].

5.3.3. Topografske i aberometrijske promene nakon LASIK/PRK

Refraktivni hirurški zahvat namerno menja geometriju i refraktivnu moć rožnjače. Nakon miopične ablacije centralna rožnjača postaje ravnija, pri čemu se može promeniti i njena prirodna asferičnost. Promene oblika rožnjače mogu biti praćene promenama aberacija višeg reda, posebno sferne aberacije i kome [16-18,36].

Postoperativna topografija omogućava procenu oblika, pravilnosti i centriranosti zone laserske ablacije. Decentracija tretmana, promenjena efektivna optička zona i iregularnost postoperativne površine mogu doprineti promenama optičkog kvaliteta oka i pojavi subjektivnih vidnih smetnji [16-19].

Wavefront analiza omogućava funkcionalnu procenu ovih optičkih promena poređenjem preoperativnog i postoperativnog aberometrijskog profila. Pri takvom poređenju naročito je važno koristiti isti ili standardizovan prečnik zenice, jer vrednosti aberacije višeg reda (HOA) zavise od prečnika zenice [13,19].

Zbog toga postoperativni rezultat nije opravdano procenjivati isključivo na osnovu Snellenove vidne oštine. Potpunija procena obuhvata refraktivni ishod, nekorigovanu i najbolje korigovanu vidnu oštrinu, subjektivni kvalitet vida, morfologiju rožnjače i aberometrijski profil [13,19,36].

5.4. Primena pri fitovanju kontaktnih sočiva

Kornealna topografija ima značajnu primenu pri fitovanju kontaktnih sočiva, naročito kod iregularnih rožnjača. Mape zakrivljenosti omogućavaju lokalizaciju zastrmljenih i ravnijih područja, procenu asimetrije i bolje razumevanje geometrije kornealne površine, što može doprineti izboru početnih parametara i dizajna kontaktnog sočiva [28].

Kod pacijenata sa keratokonusom, pelucidnom marginalnom degeneracijom ili postoperativno iregularnom rožnjačom standardna naočalna ili konvencionalna meka sferocilindrična korekcija često ne omogućava optimalan kvalitet vida. U zavisnosti od morfologije rožnjače, stepena iregularnosti, stanja očne površine i individualnih potreba pacijenta mogu se razmatrati rigidna gas-propusna, hibridna ili skleralna kontaktna sočiva [28].

Rigidna gas-propusna sočiva mogu značajno smanjiti optički efekat nepravilnosti prednje površine rožnjače stvaranjem refraktivne površine između sočiva i suznog sloja. Kod keratokonusa je pokazano značajno smanjenje određenih aberacija višeg reda nakon postavljanja RGP sočiva, uz poboljšanje optičkog kvaliteta [22,23]. Ipak, čak i uz dobru korigovanu vidnu oštrinu, rezidualne HOA mogu ostati veće nego kod zdravih očiju [22,23,40].

Jedan od razloga za rezidualne aberacije jeste činjenica da kontaktno sočivo dominantno koriguje optički efekat prednje kornealne površine, dok doprinos posteriorne površine rožnjače i drugih unutrašnjih optičkih struktura može ostati prisutan. Kod keratokonusa su aberacije zadnje površine povećane u odnosu na normalna oka, a posteriorna koma može delimično kompenzovati anteriornu komu [41].

Kod post-LASIK i drugih izrazito zaravnjenih ili iregularnih rožnjača topografija može biti posebno korisna za razumevanje odnosa centralne i periferne geometrije i izbor odgovarajućeg dizajna kontaktnog sočiva. Wavefront analiza, kada je dostupna, može dopuniti procenu kvantifikacijom promene ukupnih i pojedinačnih aberacija pre i nakon postavljanja sočiva [22,23,39-41].

Kombinovanje topografskog nalaza, refrakcije, objektivne procene fita, subjektivnog kvaliteta vida i, kada je dostupna, wavefront analize omogućava individualizovaniji pristup izboru kontaktne korekcije kod pacijenata sa iregularnim rožnjačama [22,23,39-41].

6. Prikaz kliničkih slučajeva

U cilju prikaza kliničkog značaja integrisane primene kornealne topografije, tomografije i wavefront analize, u ovom poglavlju predstavljeni su odabrani klinički slučajevi sa različitim morfološkim i optičkim karakteristikama rožnjače. Prikazani slučajevi obuhvataju uredan kornealni nalaz, suspektne kornealne promene, procenu pacijenata nakon refraktivne hirurgije i iregularnu rožnjaču kod koje je primenjena korekcija kontaktnim sočivima.

Svaki klinički slučaj analiziran je prema istoj strukturi, koja obuhvata anamnestičke podatke, refrakciju i vidnu oštrinu, topografsko-tomografsku procenu, wavefront analizu, integrisanu interpretaciju dobijenih nalaza i optometrijski zaključak.

Ovakav pristup omogućava povezivanje morfoloških karakteristika rožnjače sa optičkim kvalitetom oka i njihovim značenjem za donošenje odluka u svakodnevnoj optometrijskoj praksi.

Svi klinički nalazi prikazani u radu anonimizovani su radi zaštite identiteta pacijenata.

6.1 Visoka miopija sa astigmatizmom – FemtoLASIK procedura

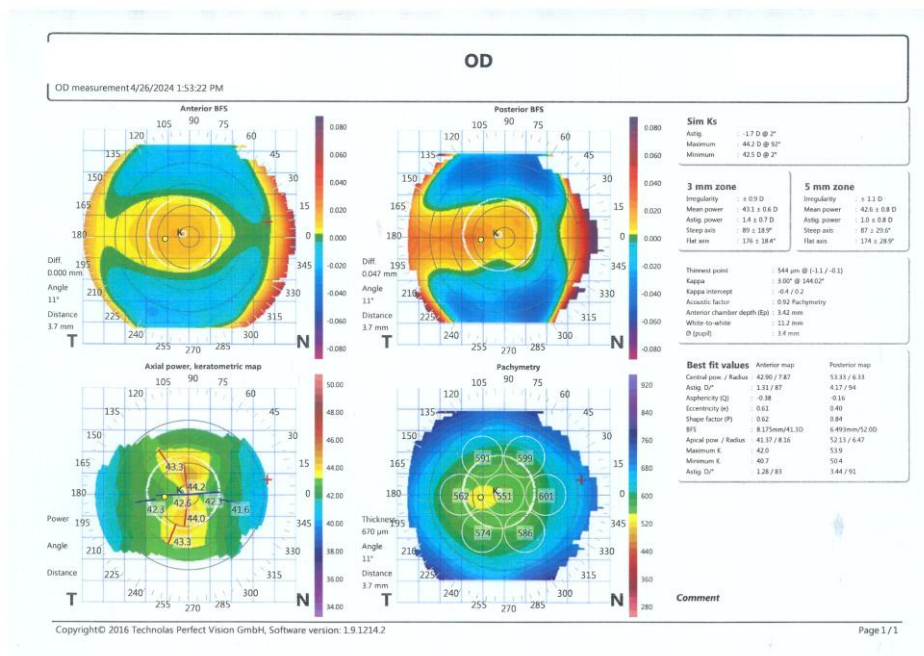
Pacijentkinja rođena 2001. godine, javila se na pregled radi procene mogućnosti laserske korekcije refraktivne greške. Preoperativno je utvrđena obostrana miopija sa astigmatizmom. Subjektivna refrakcija na desnom oku (OD) iznosila je -6,50 DS / -1,25 DC x 5°, uz korigovanu vidnu oštrinu 0,9, dok je na levom oku (OS) iznosila -6,00DS / -1,25DC x 175°, uz korigovanu vidnu oštrinu 1,0. Intraokularni pritisak iznosio je 15mmHg na desnom oku i 16mmHg na levom oku.

Pregled prednjeg segmenta bio je uredan. Širmerov test pokazao je vrednosti veće od 20 mm nakon 5 minuta merenja na oba oka. Pregled očnog dna u medikamentoznoj midrijazi pokazao je uredan nalaz papile očnog živca i makule, uz naganje retine i bez ruptura na periferiji.

U okviru preoperativne procene urađene su kornealna topografija/tomografija i wavefront analiza oba oka, radi detaljne procene morfologije rožnjače i optičkih aberacija pre refraktivnog hirurškog zahvata.

6.1.1 Preoperativna topografija i tomografija

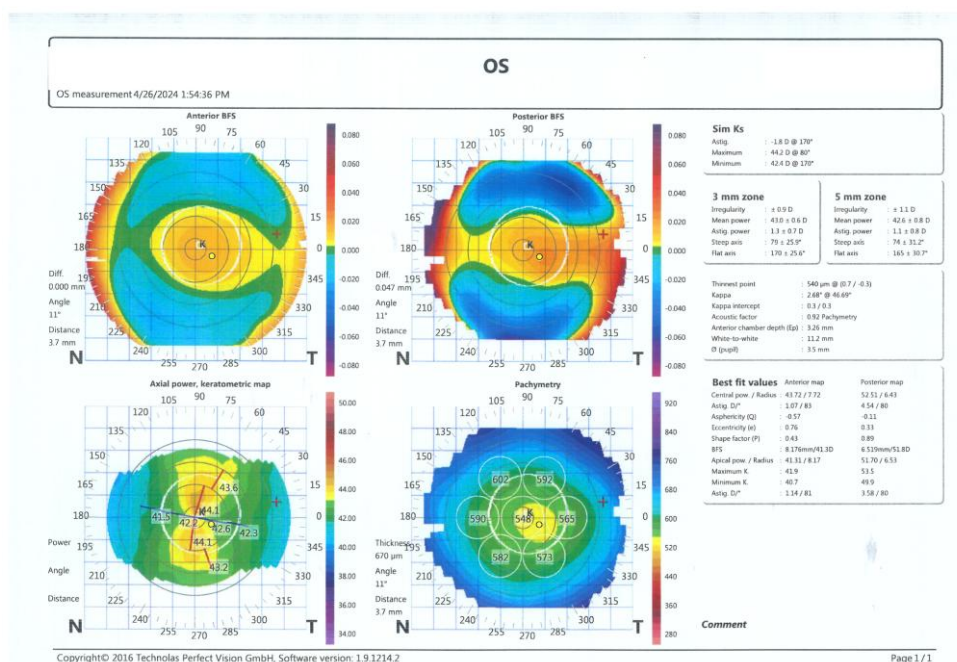
U okviru preoperativne procene izvršena je analiza prednje i zadnje površine rožnjače, kao i pahimetrijskog profila oba oka, radi procene zakrivljenosti, pravilnosti i debljine rožnjače pre planiranog refraktivnog hirurškog zahvata (slika 10,11).



Slika 10. Preoperativna kornealna topografija i tomografija desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz

Na *desnom oku (OD)* maksimalna simulirana keratometrijska vrednost (Sim K steep) iznosila je 44,2 D, a minimalna (Sim K flat) 42,5 D, uz kornealni astigmatizam od približno 1,7 D. Najtanja tačka rožnjače iznosila je 544 μm . Na *levom oku (OS)* maksimalna simulirana keratometrijska vrednost (Sim K steep) iznosila je 44,2 D, minimalna (Sim K flat) 42,4 D, uz kornealni astigmatizam od 1,8 D. Najtanja tačka rožnjače iznosila je 540 μm .

Topografske mape oba oka pokazuju relativno pravilan i simetričan obrazac zakrivljenosti rožnjače, uz izražen regularni astigmatski obrazac. Pahimetrijske vrednosti i prikaz prednje i zadnje površine rožnjače analizirani su u sklopu ukupne preoperativne procene pogodnosti za refraktivnu hirurgiju.



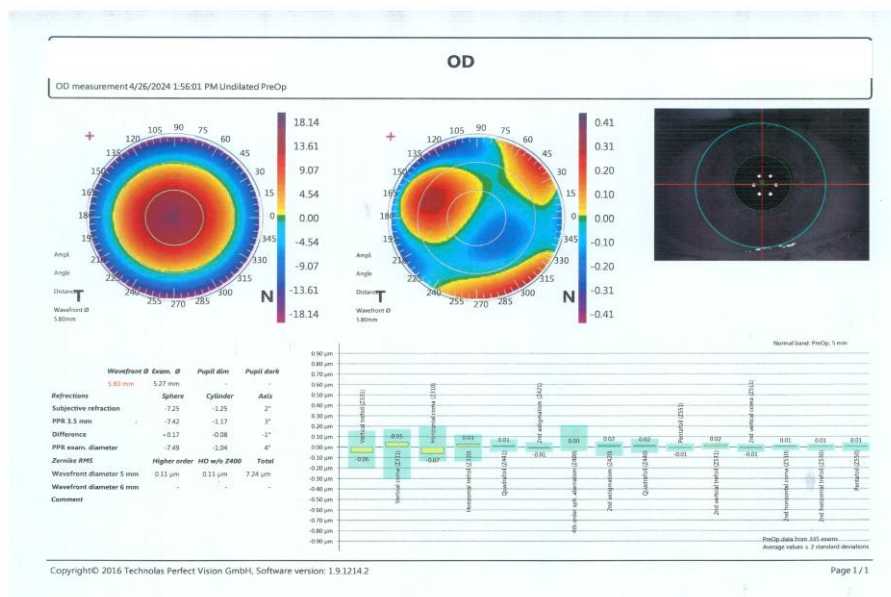
Slika 11. Preoperativna kornealna topografija i tomografija desnog levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz

6.1.2 Preoperativna wavefront analiza

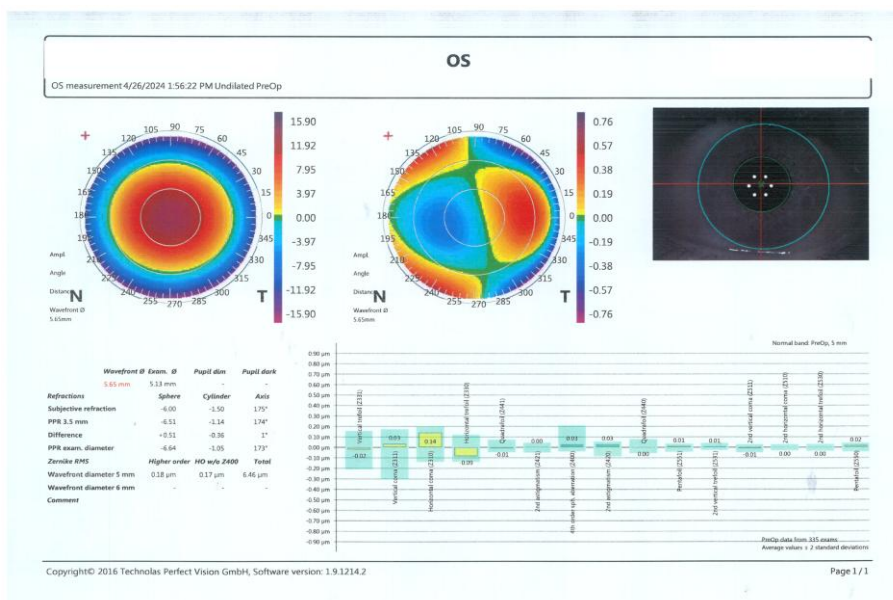
Preoperativnom wavefront analizom procenjene su aberacije optičkog sistema oba oka, sa posebnim osvrtom na aberacije višeg reda (HOA) i njihove pojedinačne Zernikeove komponente. Analiza je izvršena u okviru preoperativne procene pre planiranog refraktivnog hirurškog zahvata..

Na desnom oku (OD), pri prečniku analiziranog wavefronta od 5,80 mm, HOA RMS vrednost aberacije višeg reda za zonu od 5 mm iznosila je 0,11 μm . Među prikazanim Zernikeovim koeficijentima izdvajaju se vertikalna koma (-0,16 μm), horizontalna koma (0,12 μm) i primarna sferna aberacija (0,11 μm), (slika 12).

Na levom oku (OS), pri prečniku analiziranog wavefronta od 5,65 mm, HOA RMS vrednost aberacija višeg reda za zonu od 5 mm iznosila je 0,18 μm . U strukturi aberacija višeg reda uočavaju se vertikalna koma (-0,02 μm), horizontalna koma (0,03 μm), trefoil približno 0,14 μm i primarna sferna aberacija (0,03 μm) (slika 13).



Slika 12. Preoperativna wavefront nalaz desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.



Slika 13. Preoperativna wavefront nalaz levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.

6.1.3 Hirurški zahvat

Nakon sprovedene preoperativne procene i analize refraktivnog statusa, kornealne topografije, tomografije i wavefront nalaza, kod pacijentkinje je izvedena FemtoLASIK procedura na oba oka u cilju korekcije visoke miopije i pratećeg astigmatizma.

FemtoLASIK predstavlja tehniku kod koje se femtosekundnim laserom formira kornealni flap, nakon čega se ekscimer laserom vrši fotoablacija stromalnog tkiva u skladu sa planiranom refraktivnom korekcijom. Po završetku ablacije flap se vraća u prvobitni položaj.

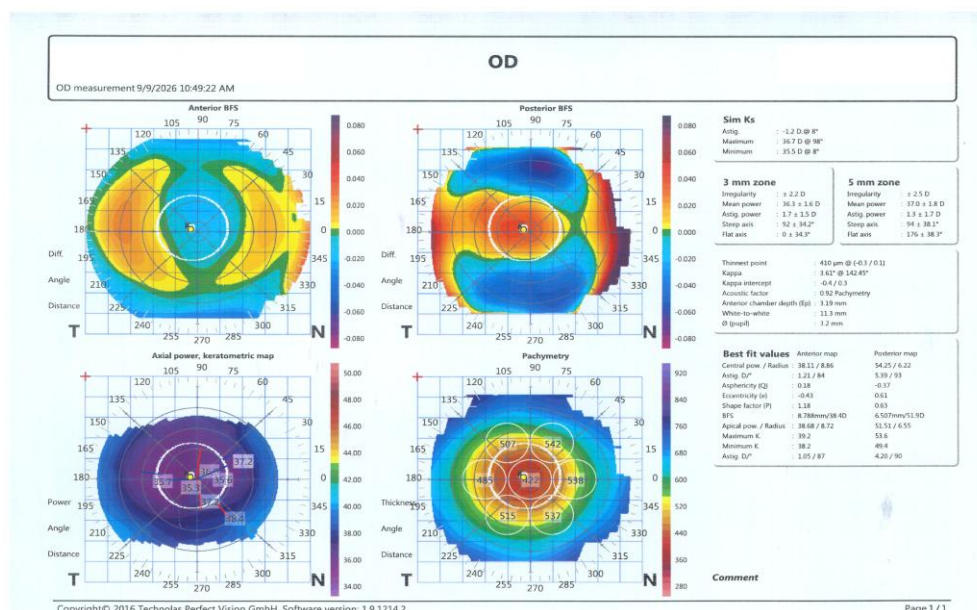
6.1.4 Postoperativni nalazi

Tri meseca nakon FemtoLASIK procedure izvršena je postoperativna procena rožnjače i wavefront analiza oba oka, sa ciljem procene nastalih morfoloških i aberometrijskih promena u odnosu na preoperativno stanje (slika 14,15).

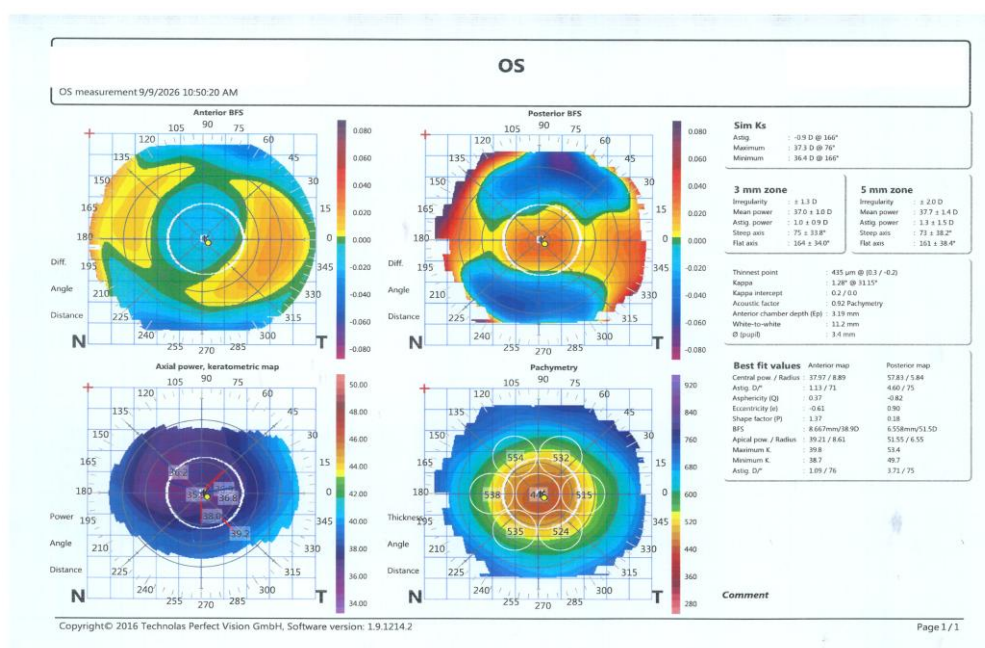
Nakon FemtoLASIK procedure postoperativna topografska i tomografska analiza pokazuje promenu kornealne zakrivljenosti oba oka u odnosu na preoperativno stanje, u skladu sa izvršenom korekcijom visoke miopije. Na aksijalnim mapama uočava se centralno zaravnjenje prednje površine rožnjače, koje odgovara zoni laserske ablacije.

Na oba oka postoperativne mape pokazuju relativno pravilan raspored zakrivljenosti u tretiranoj zoni. Promene prednje površine rožnjače izraženije su centralno, dok tomografski prikaz omogućava procenu odnosa prednje i zadnje površine rožnjače i rasporeda pahimetrije nakon zahvata.

Postoperativno su Sim K vrednosti na desnom oku (OD) iznosile 36,7 D i 35,5 D, uz najtanju tačku rožnjače od 410 μm , dok su na levom oku (OS) iznosile 37,3 D, i 36,4 D, uz najtanju tačku od 435 μm .



Slika 14. Postoperativni nalaz kornealne topografije i tomografije desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.



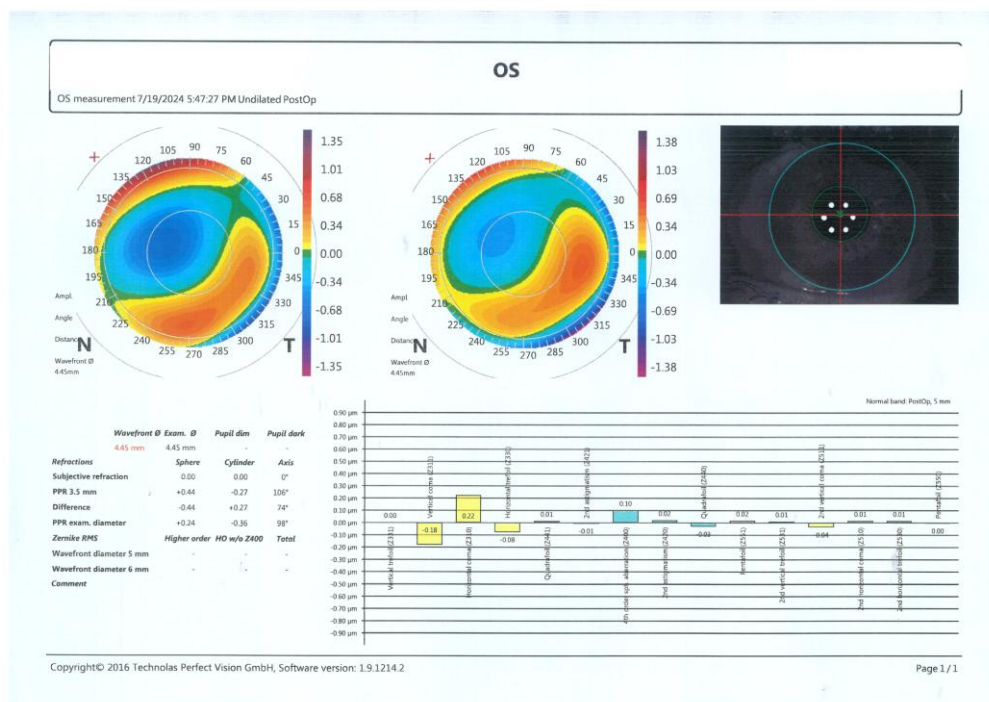
Slika 15. Postoperativni nalaz kornealne topografije i tomografije levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.

U poređenju sa preoperativnim nalazom, postoperativni izgled rožnjače odgovara očekivanim morfološkim promenama nakon miopijske FemtoLASIK ablacije, sa centralnim zaravnjenjem rožnjače na oba oka.

ativnom wavefront analizom, tri meseca nakon FemtoLASIK procedure hirurgskog sistema oba oka (slika 16, 17). Analiza je izvršena pri prečniku talasnog osrednjeg sistema (OD) i 4,45 mm na levom oku (OS). Zbog manjeg prečnika talasnog osrednjeg HOA RMS vrednosti za standardizovanu zonu od 5 mm nisu bile izračunate. Poređenje sa preoperativnim HOA RMS vrednostima nije vršeno.

Postoperativnim mapama uočavaju se promene pojedinačnih Zernikeovih koeficijenata. Ove promene treba tumačiti kao posledicu operativne topografije rožnjače i funkcionalnim rezultatom.

[illegible]



Slika 17. Postoperativna wavefront analiza levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.

6.1.5 Dugoročni postoperativni nalaz

Na kontrolnom pregledu dve godine nakon FemtoLASIK procedure pacijentkinja je navela da je subjektivno zadovoljna vidom. Nekorigovana vidna oštrina (VO) iznosila je 1,0 na desnom oku (OD) i 1,0 na levom oku (OS).

Biomikroskopskim pregledom prednjeg segmenta oba oka utvrđen je uredan nalaz, uz flap u pravilnom položaju. Postoperativna kornealna topografija pokazala je uredan nalaz na oba oka. Intraokularni pritisak iznosio je 9 mmHg obostrano.

Pregledom zadnjeg segmenta nakon midrijaze utvrđen je uredan nalaz papile optičkog nerva i makule, dok je retina bila prilegnuta bez perifernih ruptura i trakcija.

Postignuta nekorigovana vidna oštrina (VO) od 1,0 na oba oka, uz uredan nalaz prednjeg i zadnjeg segmenta, ukazuje na stabilan postoperativni funkcionalni rezultat nakon korekcije visoke miopije FemtoLASIK procedurom.

6.2. Suspektan kornealni nalaz – integracija topografije, tomografije i wavefront analize

Nakon inicijalnog pregleda 2023.godine, na kojem je postavljena dijagnoza keratokonusa i preporučeno redovno praćenje, pacijent nije dolazio na predložene kontrolne preglede. Ponovna evaluacija izvršena je 2026.godine, kada su utvrđeni znaci progresije ektatičkog procesa.

6.2.1 Anamneza i inicijalni nalaz (2023.)

Pacijent je prvi put pregledan u septembru 2023. Godine u okviru redovnog oftalmološkog pregleda i provere refrakcije. Prema anamnestičkim podacima, naočare je nosio od pete godine života, pri čemu je navodio da nikada nije postizao podjednako dobru vidnu oštrinu (VO) na oba oka i da je vid na levom oku oduvek bio slabiji. Negirao je ranije povrede oka, očne intervencije, hronične sistemske bolesti i upotrebu stalne terapije.

Na desnom oku (OD) korekcijom cilindra od -1,25 DC na osi 65° postignuta je vidna oštrina (VO) 0,9. Na levom oku (OS), uz sfernu korekciju -2,00 DS i cilindričnu korekciju -2.25 DC na osi 150°, postignuta je vidna oštrina (VO) 0,8.

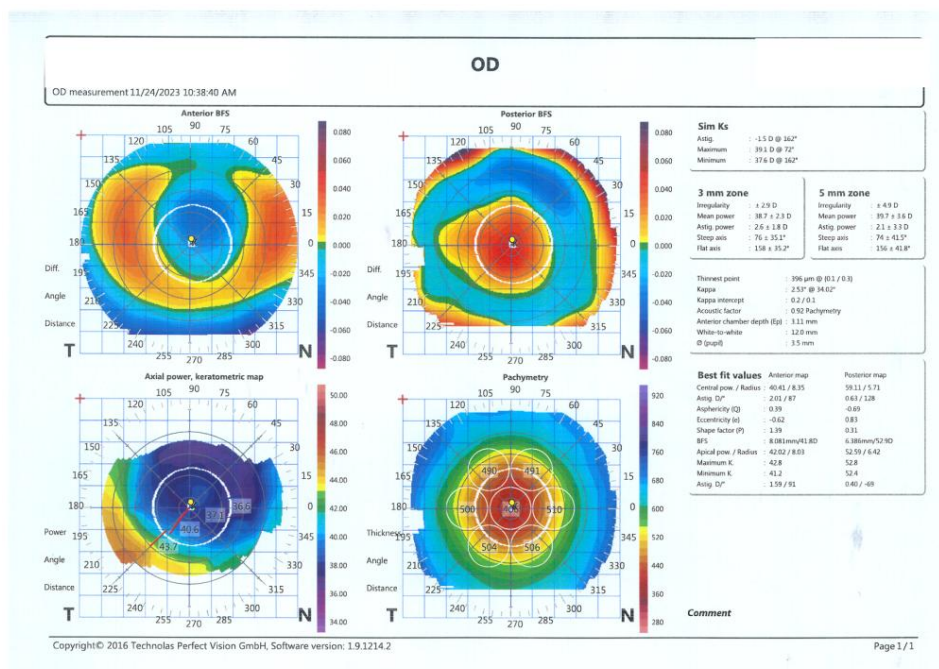
Cikloplegijska refrakcija pokazala je izraženiju astigmatSKU komponentu na oba oka. Na desnom oku (OD) iznosila je +1,50 DS / -2,00 DC ax °, uz vidnu oštinu (VO) 0,9--, dok je na levom oku (OS) iznosila -1,50 DS / -2,25 DC ax 150°, uz vidnu oštinu (VO) 0,4.

Na osnovu kompletnog oftalmološkog pregleda i kornealne topografije postavljena je dijagnoza *keratokonusa oba oka*, uz preporuku praćenja i kontrolnog pregleda sa kornealnom topografijom za 3-6 meseci.

6.2.2 Topografsko – tomografski nalaz 2023.

U okviru inicijalne procene urađena je kornealna topografija i tomografija oba oka. Nalazi su pokazali iregularan obrazac zakrivljenosti rožnjače, sa izraženijim promenama na levom oku.

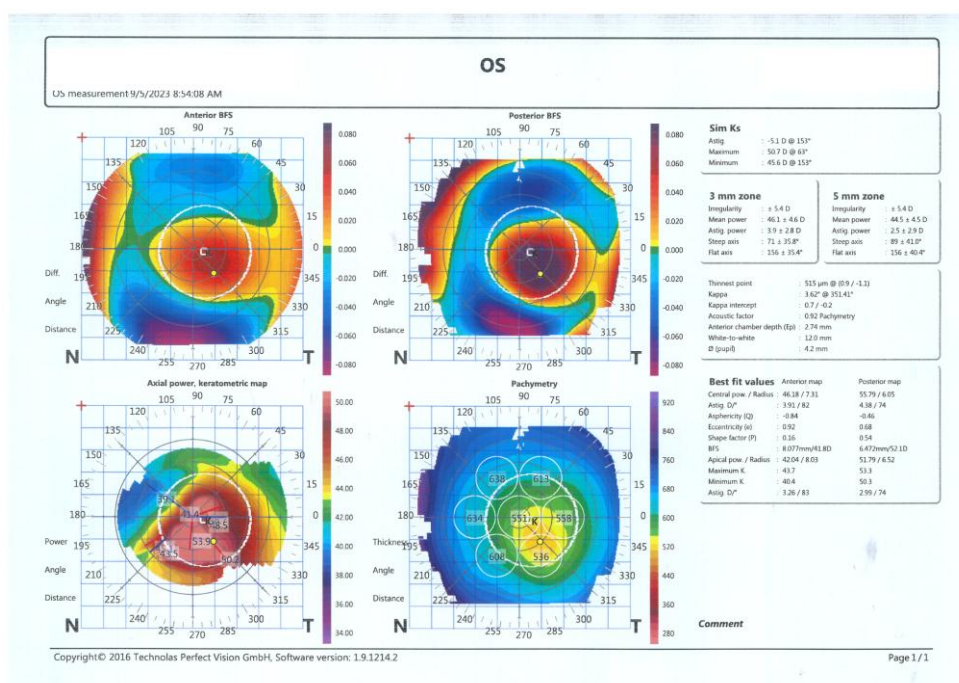
Na desnom oku (OD) uočava se lokalizovano povećanje zakrivljenosti rožnjače, uz asimetričan topografski obrazac. Sim K vrednosti iznosile su 44,0 D i 41,7 D, uz kornealni astigmatizam od 2,3 D, dok je najtanja rožnjače iznosila približno 529 µm. Na levom oku (OS) promene su bile izraženije, sa većim stepenom strmljena Sim K vrednosti 50,7 D i 45,6 D, uz izraženiji kornealni astigmatizam od 5,1 D i najtanju tačku rožnjače od 515 µm. Nalaz levog oka ukazivao je na izraženije promene u odnosu na desno oko (slika 18,19).



Slika 18. Inicijalni topografsko – tomografski nalaz rožnjače desnog oka (OD), 2023. godine.

Izvor: Klinička dokumentacija anonimizovani nalaz.

Topografsko – tomografski nalaz iz 2023.godine odgovarao je dijagnozi keratokonusa oba oka, sa izraženijim promenama na levom oku. Nalaz je predstavljao osnovu za preporučeno dalje praćenje i procenu eventualne progresije ektatičkog procesa.



Slika 19. Inicijalni topografsko – tomografski nalaz rožnjače levog oka (OS), 2023. godine.

Izvor: Klinička dokumentacija anonimizovani nalaz

6.2.3 Kontrolni nalaz i progresija (2026)

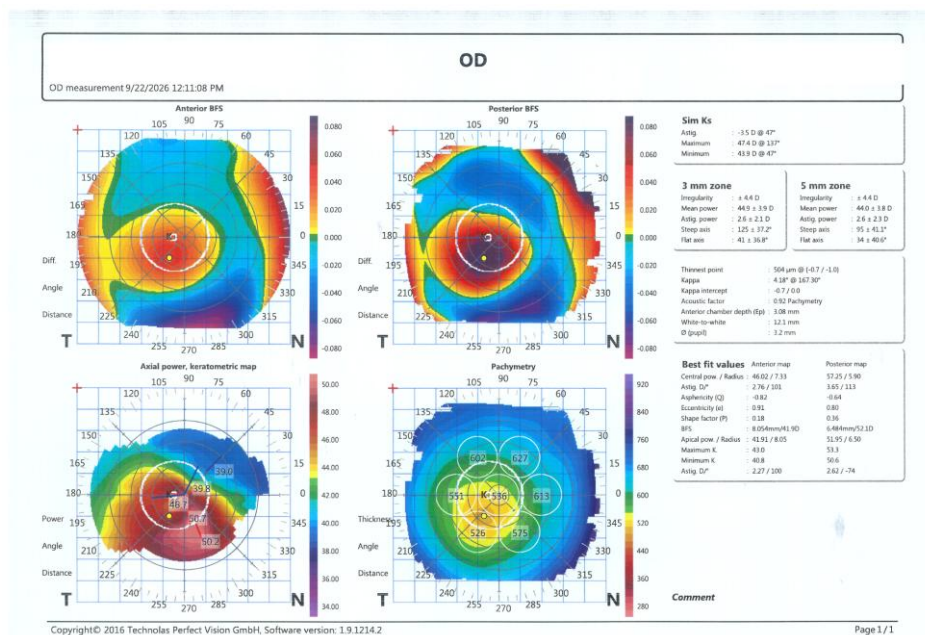
Pacijent se nakon inicijalnog pregleda 2023. godine nije javljao na preporučene redovne kontrolne preglede. Ponovna evaluacija urađena je 2026.godine kada je kontrolnim pregledom i kornealnom topografijom utvrđena progresija ektatičkog procesa na oba oka.

Na *desnom oku (OD)*, uz korekciju +0,75 DS / -2,25 DC ax 60°, postignuta je vidna oštrina (VO) 0,4, dok je na *levom oku (OS)*, uz korekciju -0,50 DS / -2,50 DC ax 125°, vidna oštrina iznosila svega 0,2 -. U poređenju sa nalazom iz 2023.godine kada je korigovana vidna oštrina (VO) iznosila 0,9 OD i 0,8 OS, evidentno je smanjenje najbolje postignute vidne oštrine na oba oka, izraženije na levom oku.

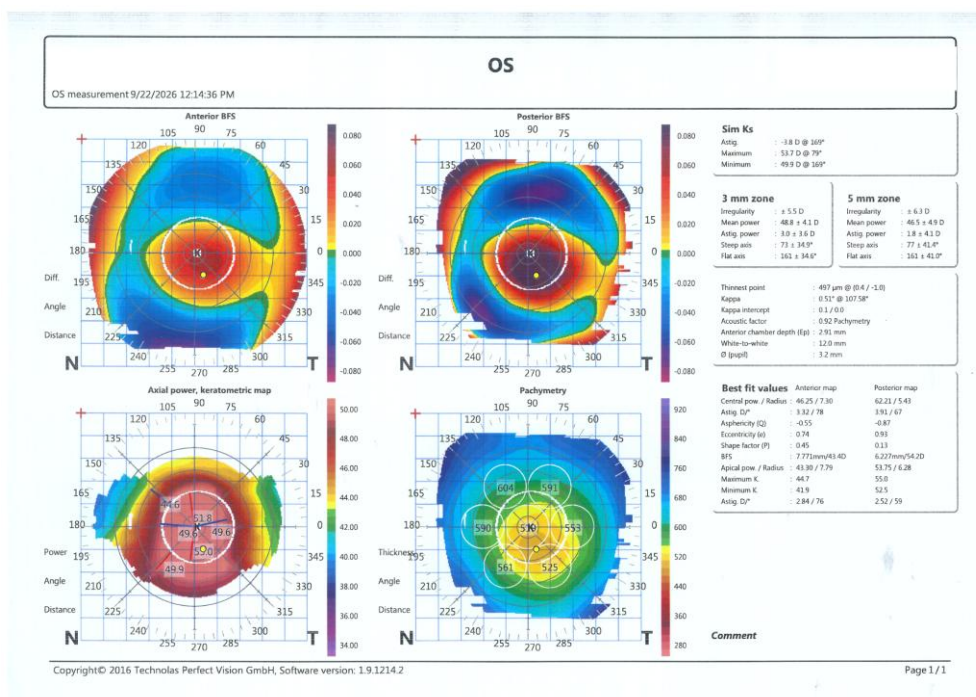
Keratometrijski i potografsko–tomografski nalazi ukazivali su na progresiju keratokonusa. Na desnom oku (OD) maksimalna keratometrijska vrednost (Kmax) iznosila je 47,4 D, centralna debljina rožnjače (CCT) 536 µm (slika 20). Na levom oku (OS) promene su bile izraženije, sa Kmax 53,7 D, CCT 519 µm i najtanjom tačkom rožnjače od 497 µm (slika 21).

Na osnovu kliničkog i topografsko–tomografskog nalaza potvrđena je progresija ektatičkog procesa, izraženija na levom oku, zbog čega je pacijent upućen oftalmologu radi dalje procene i razmatranja indikacije za corneal cross-linking (CXL) proceduru, sa ciljem zaustavljanja odnosno usporavanja dalje progresije keratokonusa.

Smanjenje najbolje korigovane vidne oštrine, uz promene keratometrijskih i tomografskih parametara, ukazuje na pogoršanje optičkih karakteristika rožnjače. Ovaj klinički slučaj posebno ističe značaj redovnog praćenja pacijenata sa keratokonususom, jer višegodišnji izostanak kontrolnih pregleda otežava pravovremeno otkrivanje progresije i planiranje daljeg lečenja.



Slika 20. Inicijalni topografsko – tomografski nalaz rožnjače desnog oka (OD) iz 2026. g, sa znacima progresije keratokonusa. Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz.



Slika 21. Inicijalni topografsko – tomografski nalaz rožnjače levog oka (OS) iz 2026. g, sa znacima progresije keratokonusa. Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovani nalaz

6.2.4 Topografsko – tomografsko poređenje 2023. – 2026.

Poređenjem topografsko – tomografskih nalaza iz 2023. i 2026.godine uočava se progresija ektatičkih promena na oba oka, izraženija na levom oku. Promene se ogledaju u povećanju nepravilnosti kornealne zakrivljenosti i izraženijem strmljenju rožnjače, uz smanjenje debljine u natalnoj tački.

Na desnom oku (OD) nalaz iz 2023. godine pokazivao je blaže izražene ektatične promene, uz najtanju tačku rožnjače od približno 527 μm , što uz promenu topografskog obrasca ukazuje na progresiju keratokonusa.

Na levom oku (OS) progresija je izraženija. Najtanja tačka rožnjače sa približno 512 μm u 2023. godini smanjila se na 497 μm u 2026.godini, uz Kmax od 53,7 D. Topografski nalaz pokazuje izraženiju iregularnost i strmljenje rožnjače u odnosu na inicijalni pregled.

Objektivne promene na kornealnoj topografiji i tomografiji praćene su istovremenim smanjenjem najbolje postignute vidne oštine (VO), naročito na levom oku. Time se nalazi iz 2026.godine ne posmatraju izolovano, već zajedno sa promenom funkcionalnog vida potvrđuju klinički značaj progresije ektatičkog procesa.

6.2.5 Integrirana interpretacija i terapijski postupak

Integrisanom analizom refraktivnih, funkcionalnih i topografsko–tomografskih nalaza u periodu od 2023. Do 2026.godine utvrđena je progresija keratokonusa na oba oka, izraženija na levom oku. Promene morfologije rožnjače bile su praćene smanjenjem najbolje vidne oštine, što ukazuje da progresija ektatičkog procesa ima i funkcionalni značaj.

Posebno je značajan nalaz levog oka, na kojem je zabeleženo izraženije strmljenje rožnjače, Kmax od 53,7 D i smanjenje debljine u najtanjoj tački na 497 μm , uz pad korigovane vidne oštine sa 0,8 u 2023. Godini na 0,2 – u 2026.godini. Na desnom oku takođe su prisutni znaci progresije, ali su promene manje izražene u odnosu na levo oko.

Na osnovu dokumentovane progresije ektatičkog procesa indicovana je corneal cross – linking (CXL) procedura na levom oku, sa ciljem zaustavljanja, odnosno usporavanja dalje progresije keratokonusa. Pacijentu je objašnjeno da primarni cilj CXL procedure nije korekcija postojeće refraktivne greške, već stabilizacija rožnjače, dok će se potreba za odgovarajućom optičkom korekcijom procenjivati u daljem postoperativnom praćenju.

Ovaj klinički slučaj ukazuje na značaj redovnog praćenja pacijenata sa keratokonusom i serijskog poređenja kornealno – topografskih nalaza, jer pravovremeno prepoznavanje progresije

omogućava donošenje odluke o terapijskom postupku pre razvoja izraženijih morfoloških i funkcionalnih promena.

6.3. Preoperativna i postoperativna procena pacijenta nakon LASIK/PRK

6.3.1 Anamneza

Pacijent od ranog detinjstva koristi naočalnu korekciju zbog miopije oba oka, dok je sa 16 godina započeo nošenje mekih kontaktnih sočiva. U okviru ranijeg praćenja, 2011. godine urađen je Schirmerov test u trajanju od 5 minuta, pri čemu je izmereno OD: 2mm, OS: 3 mm, što je ukazivalo na smanjenu produkciju suza. Uprkos takvom nalazu, pacijent nije navodio subjektivne tegobe niti probleme povezane sa dugogodišnjim nošenjem mekih kontaktnih sočiva.

6.3.2 Refrakcija i vidna oštrina

U periodu započinjanja korekcije kontaktnim sočivima naočalna refrakcija je iznosila -6.00DS na oba oka, dok je korekcija mekim kontaktnim sočivima iznosila obostrano -5.50DS. Tadašnje keratometrijske vrednosti iznosile su: OD: 43.12 44.42 x 90, OS: 42.87 44.25 x 90.

Tokom narednih godina i nošenja mekih kontaktnih sočiva (SCL) došlo je do progresije miopije, tako da je od 2021.godine, pa do refraktivnog hirurškog zahvata nošena korekcija u mekim kontaktnim sočivima -7.50DS na oba oka.

Na preoperativnom oftalmološkom pregledu, utvrđena je refrakcija desnog oka od -7.25DS / -1.00 DC x 165°, uz korigovanu vidnu oštrinu (VO) 1,0. Na levom oku refrakcija je iznosila -7.25 DS / . 0.75 DC x 30°, uz korigovanu vidnu oštrinu (VO) 0,8. Intraokularni pritisak iznosio je 14 mmHg na oba oka. Pregledom prednjeg segmenta i očnog dna nisu opisane patološke promene. U okviru preoperativne konsultacije razmatrane su mogućnosti refraktivne hirurgije, uključujući Femto-LASIK i Supracor.

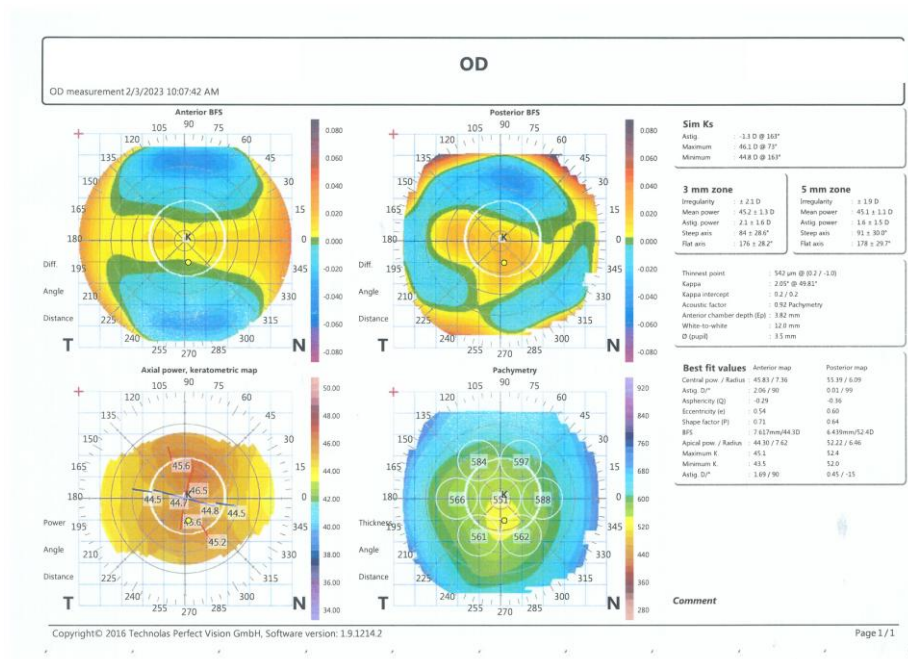
6.3.3 Preoperativna topografija i tomografija

U okviru preoperativne procene izvršena je analiza prednje i zadnje površine rožnjače, kao i pahimetrijskog profila oba oka. Cilj pregleda bio je da se procene zakrivljenost, pravilnost i debljina rožnjače, kao parametri značajni za planiranje refraktivnog hirurškog zahvata.

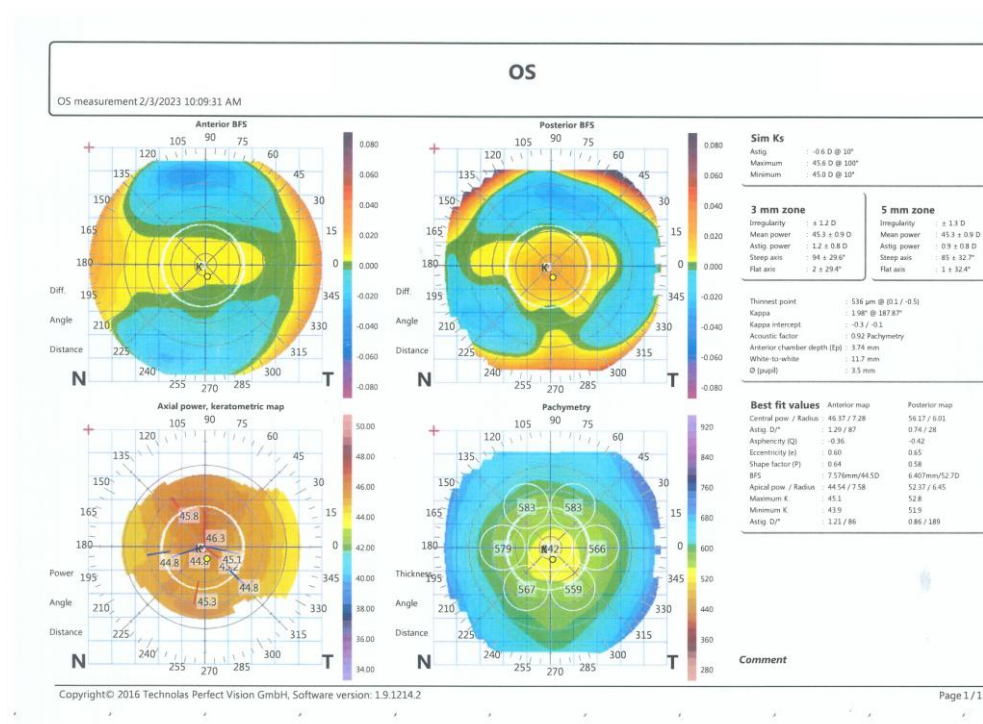
Na *desnom oku (OD)* maksimalna simulirana keratometrijska vrednost (Sim K steep) iznosila je 46,1 D, a minimalna (simK flat) 44,8 D, uz kornealni astigmatizam od približno 1.3 D. Najtanja tačka rožnjače iznosila je 542 µm i nalazila se blago inferiorno u odnosu na centar (slika 22).

Na *levom oku (OS)* maksimalna simulirana keratometrijska vrednost (Sim K steep) iznosila je 45,6 D, a minimalna (Sim K flat) 45,0 D, uz kornealni astigmatizam od približno 0.6 D. Najtanja tačka rožnjače iznosila je 536 μm (slika 23).

Na aksijalnim mapama oba oka uočava se relativno pravilan raspored zakrivljenosti, bez jasno izraženog fokalnog strmljenja. Elevacione i pahimetrijske mape pružaju dodatne informacije o morfologiji rožnjače, koje se razmatraju zajedno sa ostalim preoperativnim parametrima.



Slika 22. Preoperativni topografsko-tomografski nalaz rožnjače desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz



Slika 23.. Preoperativni topografsko-tomografski nalaz rožnjače levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz

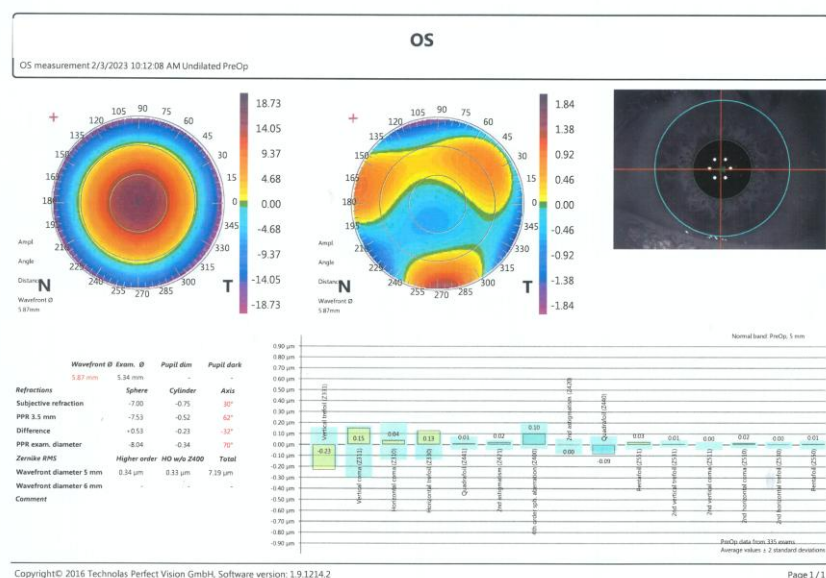
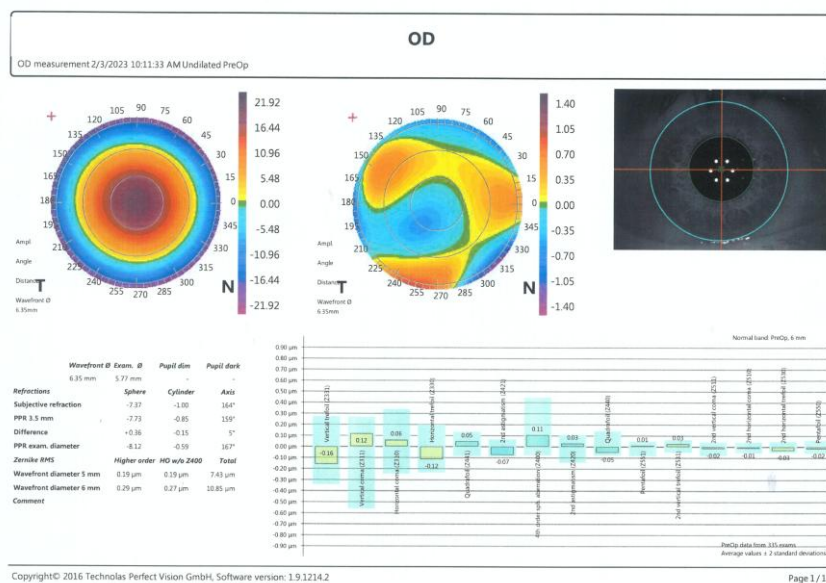
6.3.4 Preoperativna wavefront analiza

Preoperativnom wavefront analizom procenjena su aberacije optičkog sistema oka, sa posebnim osvrtom na aberacije višeg reda (HOA) i njihove pojedinačne komponente.

Na *desnom oku (OD)*, pri prečniku analiziranog talasnog fronta od 5 mm, RMS vrednost aberacija višeg reda iznosila je 0,19 μm , dok je pri prečniku od 6 mm iznosila 0,29 μm . Među prikazanim Zernikeovim koeficijentima uočavaju se vertikalna koma (-0,16 μm), horizontalna koma (0,12 μm) i primarna sferna aberacija (+0,05 μm).

Na *levom oku (OS)*, pri prečniku analiziranog talasnog fronta od 5 mm, RMS vrednost aberacija višeg reda iznosila je 0,34 μm . Među prikazanim koeficijentima izdvajaju se vertikalna koma (-0,23 μm), horizontalna koma (0,15 μm), horizontalni trefoil (0,13 μm) i primarna sferna aberacija (0,10 μm).

Poređenjem nalaza oba oka u istoj analiziranoj zoni od 5 mm uočava se veća ukupna RMS vrednost aberacija višeg reda na levom oku (slike 24,25). Ovi podaci predstavljaju osnovu za naknadno poređenje sa postoperativnim aberometrijskim nalazima i procenu promena optičkog kvaliteta nakon refraktivnog hirurškog zahvata.



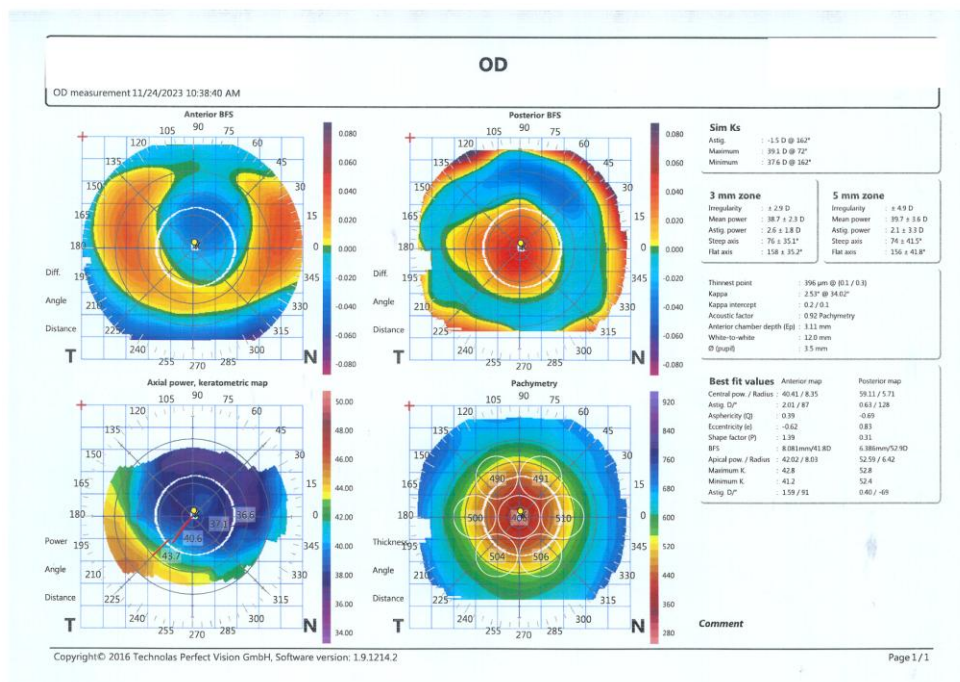
Slika 24., 25. Preoperativni wavefront nalaz desnog oka (OD) i levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija anonimizovan nalaz.

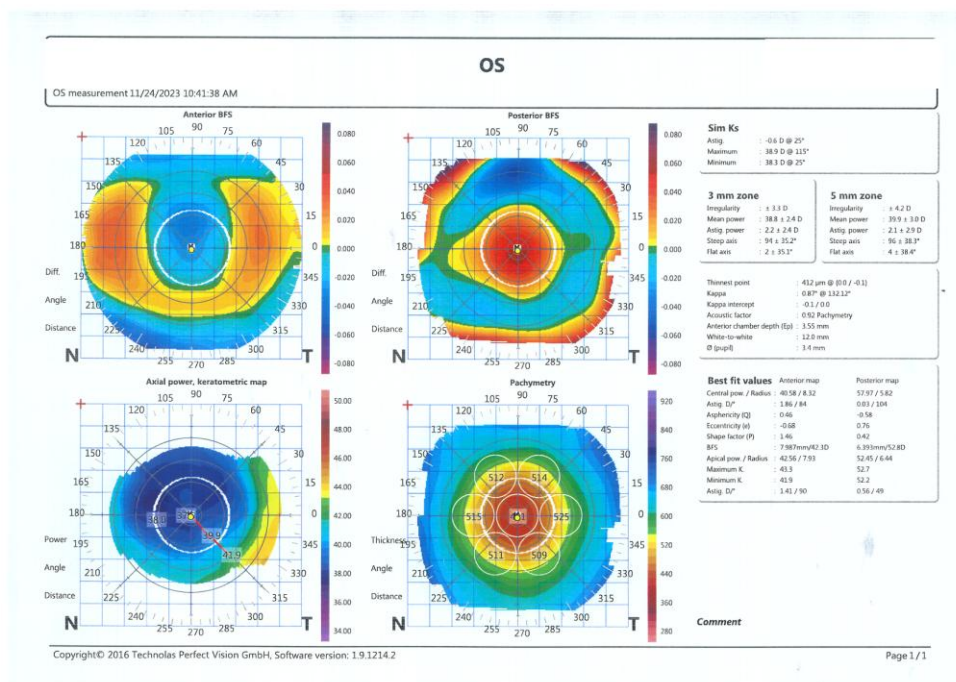
6.3.5 Hirurški zahvat i postoperativni tok

Nakon sprovedene preoperativne procene, kod pacijenta je 21.04.2023.godine izveden bilateralni Supracor tretman u okviru FemtoLASIK procedure. Femtosekundnim laserom formiran je kornealni flap debljine 90µm, nakon čega je izvršena fotoablacija strome. Po završetku ablacije flap je vraćen na svoje mesto i pravilno pozicioniran.

Na prvoj postoperativnoj kontroli 22.04.2023. godine nekorigovana vidna oština (VO) iznosila je 0,3 na oba oka. Nalaz prednjeg segmenta bio je uredan, uz pravilno pozicioniran kornealni flap. Na kontroli 28.04.2023. godine nekorigovana vidna oština (VO) iznosila je 0,5 na oba oka, uz uredan postoperativni nalaz prednjeg i zadnjeg segmenta.

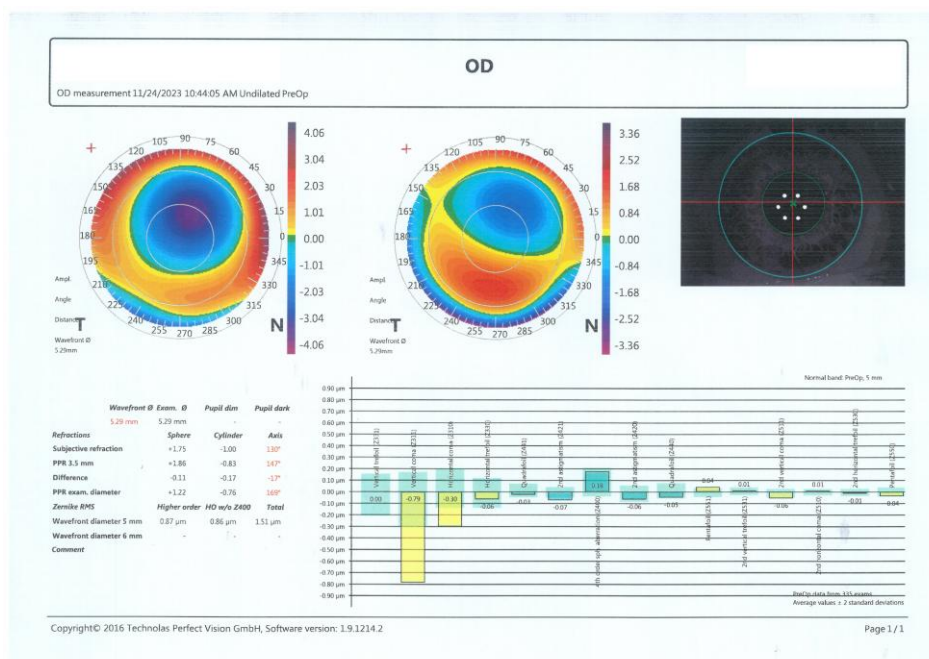
Postoperativna topografsko-tomografska analiza oba oka pokazuje promene morfologije rožnjače nastale nakon refraktivnog hirurškog zahvata. Na desnom oku (OD) Sim K steep iznosio je 39,1 D, a Sim K flat 37,6 D, uz kornealni astigmatizam od 1,5 D i najtanju tačku rožnjače od 396 μm . Na levom oku (OS) Sim K steep iznosio je 38,9 D, a Sim K flat 38,3 D, uz kornealni astigmatizam od 0,6 D i najtanju tačku rožnjače od 412 μm . U poređenju sa preoperativnim nalazom, oba oka uočava se izraženo centralno zaravnljenje prednje površine rožnjače, što odgovara očekivanim morfološkim promenama nakon miopske laserske ablacije. Tomografski prikaz omogućava dodatnu procenu prednje i zadnje površine rožnjače i pahimetrijskog profila nakon zahvata. (slike 26, 27).





Slika 27. Postoperativni topografsko-tomografski nalaz rožnjače levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz.

Postoperativna wavefront analiza pokazuje promenu aberometrijskog profila oba oka u odnosu na preoperativni nalaz. Na desnom oku (OD), pri analizi na prečniku od 5 mm, RMS vrednost aberacija višeg reda iznosila je $0,87 \mu\text{m}$, što predstavlja povećanje u odnosu na preoperativnu vrednost od $0,19 \mu\text{m}$. Među pojedinačnim Zernikeovim komponentama posebno se izdvaja vertikalna koma od $-0,79 \mu\text{m}$. Na levom oku (OS) postoperativna analiza izvršena je pri manjem prečniku i talasnog fronta od $4,66 \text{ mm}$, zbog čega direktno kvantitativno poređenje ukupne RMS vrednosti sa preoperativnim nalazom na 5 mm nije moguće. Ipak, raspored pojedinačnih Zernikeovih komponenti pokazuje promenu aberometrijskog profila, sa izraženijom vertikalnom komom. Nalaz treba posmatrati zajedno sa postoperativnom topografijom rožnjače i ostvarenim funkcionalnim rezultatom (slike 28,29).

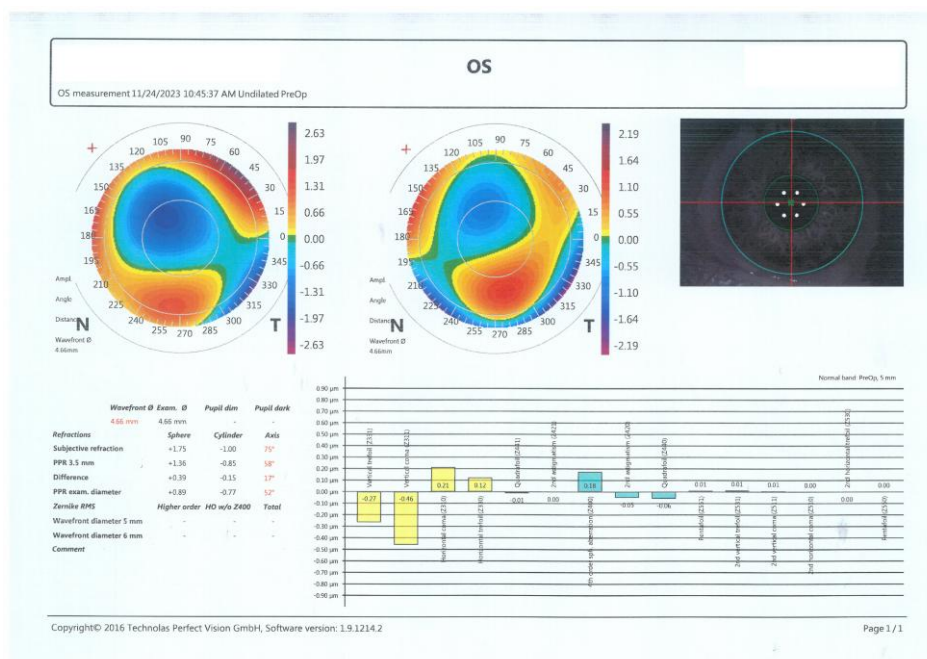


Slika 28. Postoperativni wavefront nalaz desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija anonimizovan nalaz.

Na narednoj kontroli, zbog subjektivno slabijeg vida na daljinu, utvrđena je rezidualna hipermetropna refrakcija. Uz korekciju +1.00 DS na desnom oku (OD) i +1.75 DS na levom oku (OS), vidna oštrina (VO) iznosila je 0,8 na oba oka. Nalaz pokazuje prisustvo rezidualne refraktivne greške nakon Supracor tretmana.

Zbog rezidualne refraktivne greške i subjektivno slabijeg vida na daljinu, u daljem toku izvršena je dodatna SupraCor procedura na oba oka. Sedmog postoperativnog dana nekorrigovana vidna oštrina (VO) iznosila je 0,8 na oba oka, uz uredan nalaz prednjeg segmenta i flap in situ.

Na kontroli 15.12.2023.godine na desnom oku (OD) nekorrigovana vidna oštrina (VO) iznosila je 0,8, dok je uz korekciju od -0,5 DS dostizala 1,0. Na levom oku (OS) nekorrigovana vidna oštrina iznosila je 1,0. Nalaz prednjeg i zadnjeg segmenta bio je uredan.



Slika 29. Postoperativni wavefront nalaz levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija anonimizovan nalaz.

6.4. Iregularna rožnjača i primena korekcije kontaktnim sočivima

6.4.1 Anamneza

Pacijentkinja je pre približno 20 godina podvrgnuta bilateralnoj radijalnoj keratotomiji (RK) radi korekcije refraktivne greške (miopije). U kasnijem postoperativnom periodu razvila se izražena iregularnost rožnjače/postoperativne kornealne ektazije, zbog čega je za postizanje odgovarajućeg kvaliteta vida bila potrebna korekcija gas-propusnim (GP) kontaktnim sočivima.

Na pregled je došla sa oskudnom prethodnom medicinskom dokumentacijom, i postojećom korekcijom gas-propusnim (GP) kontaktnim sočivima. Detaljni podaci o preoperativnoj refrakciji i ranom postoperativnom toku nisu bili dostupni. Aktuelni kornealni nalaz ukazivao je na izraženu iregularnost rožnjače, zbog čega je izvršena procena postojeće korekcije kontaktnih sočiva i ponovno fitovanje GP kontaktnih sočiva.

6.4.2 Refrakcija i vidna oštrina

Kao smernica za dalju optometrijsku procenu bili su dostupni parametri gas propusnih (GP) kontaktnih sočiva sa kojima je pacijentkinja došla na pregled, kao i aktuelna refrakcija, dok detaljnija prethodna dokumentacija nije bila dostupna. Kontaktna sočiva koja je imala bila su GP: CLD: 785 8.3 -3.50 i CLS: 750 9.4 -3.00.

Biomikroskopskom procenom položaja i kretanja postojećih GP kontaktnih sočiva uočeno je da pri temporalnom pogledu oba sočiva pokazuju izraženiju decentraciju, pri čemu deo sočiva ostaje u predelu limbusa i prelazi na bulbarnu konjuktivu. Ovakav položaj i dinamika sočiva ukazivali su na neadekvatan fit postojeće kontaktne korekcije.

U cilju poboljšanja centracije, stabilnosti i odnosa sočiva prema iregularnoj površini rožnjače izvršena je promena bazne krivine i ukupnog dijametra GP kontaktnih sočiva.

Probna sočiva - GP: TLD: 780 9.6 -3.00 i dodatom sfernom korekcijom -0.25, postignuta je vidna oštrina 1,0; TLS: 770 9.6 -3.00 i dodatom sfernom korekcijom -2.50, postignuta je vidna oštrina 0,9

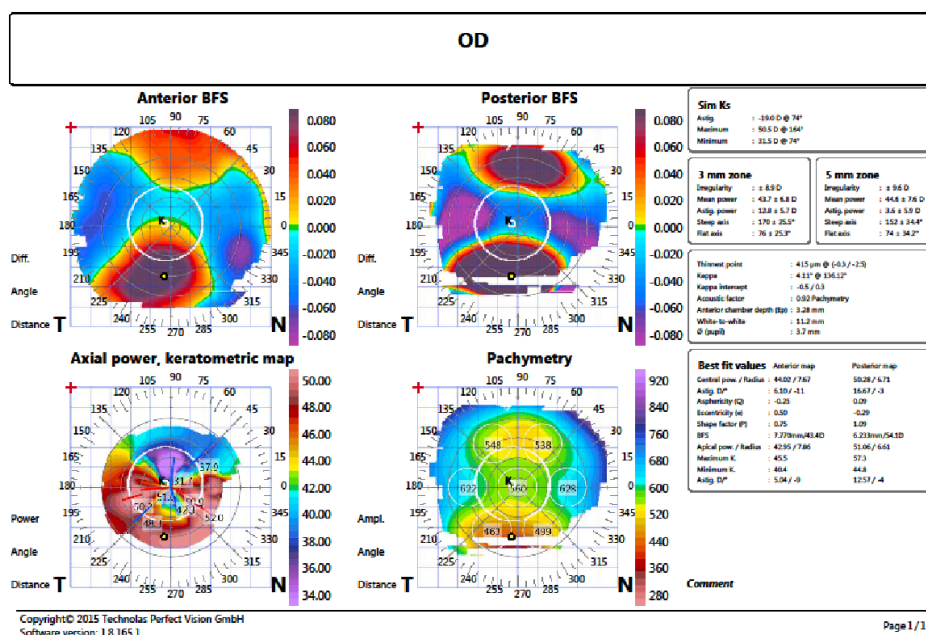
Nakon dodatne procene morfologije rožnjače na osnovu kornealnog nalaza, izvršeno je i probno fitovanje GP kontaktnih sočiva Rose K dizajna. Ovim sočivima postignuto je određeno poboljšanje subjektivnog komfora, ali bez značajnog poboljšanja vidne oštine u odnosu na prethodna GP kontaktna sočiva.

6.4.3 Kornealna topografija/tomografija

U cilju detaljnije procene morfologije rožnjače urađena je kornealna analiza Orbscan sistemom, koja je omogućila prikaz prednje i zadnje površine rožnjače, keratometrijskih parametara i pahimetrijske distribucije.

Desno oko (OD)

Nalaz pokazuje izrazito iregularnu morfologiju rožnjače, sa značajnim razlikama u zakrivljenosti pojedinih meridijana. Simulirane keratometrijske vrednosti pokazuju maksimalnu vrednost od 50,5D i minimalnu od 31,5 D, uz Sim K astigmatizam od 19,0 D, što ukazuje na veoma izraženu iregularnost prednje kornealne površine. Najtanja tačka rožnjače iznosi 415µm i nalazi se inferiorno u odnosu na centar. Izražena iregularnost prisutna je i u centralnoj zoni, sa vrednošću od +/- 8,9 D u zoni od 3 mm i +/-9,6 D u zoni od 5 mm (slika 30).



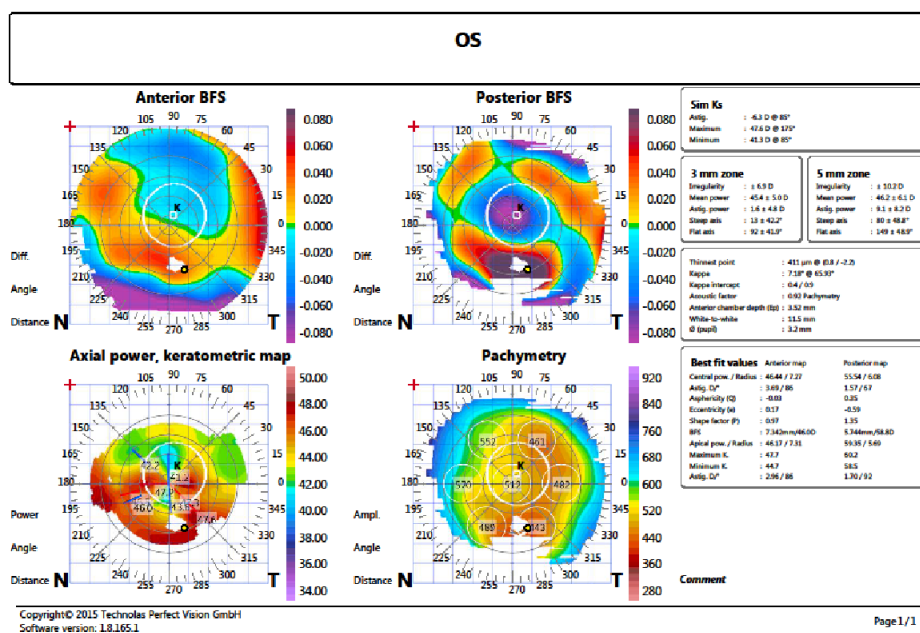
Slika 30. Postoperativni topografsko-tomografski nalaz rožnjače desnog oka (OD). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz.

Analiza zadnje površine rožnjače takođe pokazuje izraženu nepravilnost. Na posteriornom nalazu registrovane su maksimalna keratometrijska vrednost od 57,3 D i minimalna od 44,8 D, uz astigmatiku razliku od 12,57 D, što dodatno potvrđuje kompleksnu iregularnu morfologiju rožnjače.

Levo oko (OS)

Nalaz pokazuje izraženu iregularnost kornealne površine, sa značajnim razlikama u zakrivljenosti pojedinih meridijana. Simulirane keratometrijske vrednosti pokazuju maksimalnu vrednost od 47,6 D i minimalnu od 41,3 D, uz Sim K astigmatizam od 6,3 D. Najtanja tačka rožnjače iznosi 411µm i nalazi se inferiorno u odnosu na centar. Iregularnost u centralnoj zoni iznosi +/- 6,9 D u zoni od 3 mm, dok se u zoni od 5 mm povećava na +/- 10,2 D, što ukazuje na izraženu nepravilnost kornealne površine.

Analiza zadnje površine rožnjače pokazuje izraženu nepravilnost, što zajedno sa nalazom prednje površine i pahimetrijskom distribucijom potvrđuje prisustvo izrazito iregularne, postoperativno izmenjene morfologije rožnjače (slika 31).



Slika 31. Postoperativni topografsko-tomografski nalaz rožnjače levog oka (OS). Izvor: Klinička dokumentacija, anonimizovan nalaz.

6.4.4 Wavefront analiza

Kod prikazane pacijentkinje wavefront nalaz nije bio dostupan za analizu. S obzirom na izraženu iregularnost kornealne površine utvrđenu topografsko-tomografskom analizom, aberometrijski nalaz bi predstavljao značajnu dopunu u proceni optičkog kvaliteta oka i kvantifikaciji aberacija višeg reda. Međutim, u ovom kliničkom slučaju zaključci su zasnovani na dostupnom kornealnom nalazu, proceni vidne oštine i kliničkoj evaluaciji korekcije kontaktnim sočivima.

6.4.5 Integrirana interpretacija nalaza

Interpretacijom anamnestičkih podataka, kliničkog pregleda i topografsko-tomografskih nalaza uočavaju se izražene postoperativne promene morfologije rožnjače nakon ranije izvedene radijalne keratotomije. Na oba oka prisutna je značajna iregularnost kornealne površine, uz izražene razlike u zakrivljenosti pojedinih meridijana i smanjenu debljinu rožnjače. Promene su asimetrične između dva oka, pri čemu je na desnom oku posebno izražena keratometrijska iregularnost.

Ovakva morfologija rožnjače može objasniti ograničenu mogućnost postizanja odgovarajućeg kvaliteta vida klasičnom sferocilindričnom korekcijom i potrebu za primenom GP kontaktnih sočiva. Rigidna prednja površina GP sočiva u kombinaciji sa suznim slojem između sočiva i rožnjače, omogućava delimičnu neutralizaciju optičkog efekta iregularne prednje kornealne površine.

Postignuta vidna oština sa GP korekcijom pokazuje da odgovarajuće fitovanje može omogućiti funkcionalno značajno poboljšanje vida uprkos izraženim morfološkim promenama rožnjače. Istovremeno, razlike između dva oka i različit odgovor na isprobane parametre kontaktnih sočiva ukazuju na potrebu za individualnim pristupom pri izboru dizajna, bazne krivine i dijametra sočiva.

6.4.6 Optometrijski zaključak i postupak

Na osnovu topografsko-tomografskog nalaza i izražene iregularnosti rožnjače izvršena je ponovna procena kontaktne korekcije i probno fitovanje GP kontaktnih sočiva Rose K dizajna. Pri izboru početnih parametara uzete su u obzir keratometrijske i topografske vrednosti, kao i zakrivljenost rožnjače u centralnoj zoni od 3 mm, nakon čega je izbor parametara dodatno prilagođavan prema kliničkoj proceni fita.

Probna sočiva – Rose K:

Na desnom oku probano je Rose K sočivo bazne krivine (B.C.) 750, dijametra 8.7 mm i snage -2.00 D. Uz dodatnu sfernu korekciju od -3.00 D postignuta je vidna oština 0,8.

Na levom oku isprobano je više baznih krivina (B.C. 670, 710, 720) pri dijametru 8.7 mm, ali ni sa jednom od isprobanih varijanti nije postignuta vidna oština bolja od 0,3.

U odnosu na prethodnu GP korekciju, Rose K sočiva omogućila su nešto bolji subjektivni komfor, ali bez poboljšane vidne oštine (VO). Dobijeni rezultat ukazuje da kod izrazito iregularne, postoperativno izmenjene rožnjače izbor korekcije kontaktnim sočivima ne treba zasnivati isključivo na keratometrijskim i topografskim parametrima, već je neophodna individualna procena položaja, centriranosti, pokretljivosti i komfora sočiva, uz istovremenu procenu postignute vidne oštine.

S obzirom na to da probna Rose K sočiva nisu omogućila poboljšanje vidne oštine u odnosu na postojeću korekciju, pacijentkinja je nastavila da koristi prethodna klasična GP kontaktna sočiva, sa kojima je postizala bolji funkcionalni vid. Pacijentkinji je savetovan kontrolni oftalmološki pregled radi dalje procene stanja rožnjače i preporuke za dalji tok praćenja.

7. Diskusija

Prikazani klinički slučajevi ukazuju na značaj integrisanog pristupa u proceni optičkih i morfoloških karakteristika oka. Analiza refrakcije i vidne oštine, zajedno sa kornealnom topografijom i tomografijom, i kada je bila dostupna, wavefront analizom, omogućila je sveobuhvatnije sagledavanje funkcionalnog i anatomskog statusa oka kod pacijenata sa različitim kliničkim indikacijama.

Iako se prikazani slučajevi razlikuju prema početnom refraktivnom i kornealnom statusu, vrsti sprovedenog postupka i krajnjem funkcionalnom rezultatu, zajedničko im je da se pojedinačni dijagnostički parametri ne mogu posmatrati izolovano. Refraktivni nalaz i vidna oština pružaju informacije o funkcionalnom ishodu, dok topografsko–tomografska analiza omogućava procenu morfologije rožnjače. Wavefront analiza u slučajevima u kojima je bila dostupna dodatno je omogućila procenu promena optičkog kvaliteta oka i aberometrijskog profila.

Kod pacijentkinje nakon FemtoLASIK procedure za korekciju visoke miopije postignuta je nekorigovana vidna oština (VO) 1,0 na oba oka, uz uredan položaj flapa i stabilan postoperativni topografski nalaz. Ovakav rezultat pokazuje podudarnost dobrog funkcionalnog ishoda sa urednim postoperativnim morfološkim nalazom rožnjače. Nasuprot tome, kod pacijenta nakon Supracor tretmana postoperativni tok bio je složeniji, sa pojavom rezidualne refraktivne greške i potrebom za dodatnim zahvatom. Ova dva slučaja pokazuju da uredno izvedena refraktivna hirurška procedura ne podrazumeva nužno isti refraktivni i funkcionalni tok kod svakog pacijenta.

Poseban značaj serijskog praćenja morfoloških i funkcionalnih promena rožnjače uočava se kod pacijenta sa keratokonusom. Poređenjem nalaza iz 2023. i 2026.godine dokumentovana je progresija ektatičkog procesa na oba oka, izraženija na levom oku. Morfološke promene bile su praćene smanjenjem najbolje postignute vidne oštine, što pokazuje da u proceni progresije keratokonusa objektivne topografsko–tomografske parametre treba posmatrati zajedno sa funkcionalnim nalazom.

Ovaj slučaj istovremeno ukazuje na značaj redovnih kontrolnih pregleda kod pacijenata sa keratokonusom. Serijsko poređenje nalaza omogućava prepoznavanje promena tokom vremena i pravovremeno donošenje odluke o daljem terapijskom postupku. U prikazanom slučaju dokumentovana progresija, naročito na levom oku, predstavljala je osnov za upućivanje pacijenta oftalmologu radi detaljne procene i razmatranja indikacije corneal cross-linking (CXL) procedure.

Drugačiji klinički problem prikazan je kod pacijentkinje sa izraženom iregularnošću rožnjače nakon ranije bilateralne radijalne keratotomije (RK). U ovom slučaju cilj optometrijskog postupka nije bio procena ishoda savremene refraktivne hirurgije niti praćenje progresije primarne ektazije, već pronalaženje odgovarajućeg načina optičke rehabilitacije kod izrazito izmenjene kornealne površine.

Primena gas-propusnih kontaktnih sočiva omogućila je poboljšanje funkcionalnog vida, ali je izbor odgovarajućeg dizajna zahtevao individualnu procenu odnosa između kvaliteta vida, naleganja sočiva i subjektivnog komfora. Probom Rose K gas-propusnih kontaktnih sočiva postignut je bolji komfor, ali ne i bolja vidna oštrina u odnosu na klasična gas-propusna (GP) sočiva. Na desnom oku postignuta je vidna oštrina (VO) 0,8, dok se na levom oku ni promenama bazne krivine i veličine sočiva nije mogla postići vidna oštrina (VO) veća od 0,3. Ovakav nalaz pokazuje da anatomske prilagođeniji ili subjektivno komforniji dizajn sočiva ne mora istovremeno obezbediti i najbolji funkcionalni rezultat.

Ovaj slučaj dodatno naglašava značaj povezivanja kornealne topografije i keratometrijskih podataka sa procenom fluoresceinskog obrasca, stabilnosti sočiva, vidne oštine i subjektivnog odgovora pacijenta. Kod iregularnih rožnjača izbor korekcije kontaktnim sočivima zato predstavlja individualizovan proces u kojem se optimalno rešenje određuje na osnovu ukupnog kliničkog i funkcionalnog nalaza, a ne samo pojedinačnih parametara.

Refraktivna hirurgija

Nalazi prikazanih pacijenata nakon refraktivne hirurgije u skladu su sa činjenicom da se uspeh refraktivne procedure ne može procenjivati isključivo na osnovu postignute vidne oštine i rezidualne refraktivne greške. Promena oblika LASIK i PRK procedura mogu biti praćene promenama aberometrijskog profila, posebno aberacija višeg reda (HOA), koje mogu uticati na kvalitet vida i kod pacijenata sa dobrom visokokontrastranom vidnom oštrinom [16-19]. Oshika i sar. pokazali su povezanost obima refraktivne korekcije sa promenama kornealnih aberacija višeg reda nakon LASIK procedure [17], dok su Mrochen i sar. Ukazivali na značaj wavefront analize u proceni optičkog ishoda nakon refraktivne hirurgije [18]. Zbog toga povezivanje refraktivnog nalaza, topografsko-tomografskih parametara i wavefront analize omogućavaju potpuniju procenu postoperativnog rezultata nego posmatranje pojedinačnog parametra.

Keratokonus i longitudinalno praćenje

Prikazani slučaj progresije keratokonusa dodatno potvrđuje značaj integrisane i longitudinalne procene rožnjače. Savremena procena ektatičnih promena ne zasniva se samo na anteriornoj zakrivljenosti ili vrednosti Kmax, već uključuje analizu posteriozne površine, pahimetrijskog profila, položaja najtanje tačke i drugih tomografskih pokazatelja [4,7,9,32,33]. Posebno je značajno poređenje nalaza istog pacijenta tokom vremena, jer progresija može biti izražena kroz promene više međusobno povezanih morfoloških parametara. U prikazanom slučaju istovremene promene keratometrijskih i pahimetrijskih parametara, praćene smanjenjem najbolje korigovane vidne oštine, pokazuju značaj povezivanja objektivnih morfoloških nalaza sa funkcionalnim statusom pacijenta.

Iregularna rožnjača i GP kontaktne sočiva

Rezultati kod pacijentkinje sa iregularnom rožnjačom nakon radijalne keratotomije mogu se posmatrati i u kontekstu poznatog optičkog efekta rigidnih gas-propusnih kontaktnih sočiva. Rigidna prednja površina sočiva i suzni sloj između sočiva i rožnjače mogu delimično neutralisati optički efekat iregularne anteriorne kornealne površine i time poboljšati funkcionalni vid. Istraživanja kod iregularnih, posebno keratokoničnih rožnjača pokazala su da korekcija GP kontaktnim sočivima može značajno smanjiti deo wavefront aberacija, ali da rezidualne aberacije mogu ostati prisutne i ograničavati maksimalni kvalitet vida [22,23,39-41]. To je značajno i za prikazani slučaj, u kojem promena dizajna i parametara sočiva nije dovela do podjednakog poboljšanja vidne oštine na oba oka. Nalaz potvrđuje da izbor korekcije kontaktnim sočivima kod izrazito iregularne rožnjače treba zasnivati na kombinaciji kornealne morfologije, objektivne procene fita, postignute vidne oštine i subjektivnog komfora pacijenta

Posmatrani zajedno, prikazani klinički slučajevi pokazuju da procena optičkog kvaliteta oka zahteva povezivanje različitih dijagnostičkih i funkcionalnih parametara. Refrakcija i vidna oština predstavljaju osnovu procene funkcionalnog vida, dok kornealna topografija i tomografija omogućavaju detaljniju analizu morfologije rožnjače i njenih promena tokom vremena ili nakon hirurškog zahvata.

Wavefront analiza, kada je dostupna, pruža dodatne informacije o aberacijama optičkog sistema koje se ne mogu u potpunosti sagledati standardnom refraktivnom procenom.

Klinički značaj ovakvog integrisanog pristupa posebno dolazi do izražaja pri poređenju preoperativnih i postoperativnih nalaza, praćenju progresivnih kornealnih promena i proceni mogućnosti optičke rehabilitacije iregularne rožnjače. Prikazani slučajevi pokazuju da dobar funkcionalni rezultat treba posmatrati zajedno sa stabilnošću i morfologijom rožnjače, dok odstupanje između subjektivnog kvaliteta vida, vidne oštine i objektivnih nalaza može ukazati na potrebu za dodatnom analizom ili prilagođavanjem daljeg postupka.

Posebnu vrednost u kliničkoj praksi ima longitudinalno praćenje, odnosno poređenje nalaza istog pacijenta tokom vremena. Takav pristup omogućava procenu stabilnosti rezultata nakon refraktivne hirurgije, prepoznavanje progresije ektaičkih promena i objektivnije donošenje odluka o daljem terapijskom ili optometrijskom postupku.

Na osnovu prikazanih slučajeva može se zaključiti da nijedna pojedinačna dijagnostička metoda ne pruža potpunu procenu optičkog i funkcionalnog statusa oka. Najveću kliničku vrednost ima njihovo međusobno povezivanje i tumačenje u kontekstu anamneze, refraktivnog statusa, vidne oštine i potreba konkretnog pacijenta. Takav pristup omogućava individualizovanu procenu i predstavlja značajan deo savremene optometrijske prakse.

8. Zaključak

Savremena optometrijska procena podrazumeva povezivanje subjektivnih i objektivnih metoda ispitivanja kako bi se dobila što potpunija slika optičkog i funkcionalnog statusa oka. Standardna refrakcija i određivanje vidne oštine predstavljaju osnovu kliničke procene, dok kornealna topografija i tomografija, kao i wavefront analiza, omogućavaju detaljnije sagledavanje morfoloških i optičkih karakteristika oka.

Wavefront analiza pruža dodatne informacije o aberacijama optičkog sistema koje se ne mogu u potpunosti proceniti standardnim refraktivnim metodama. Njena klinička vrednost posebno dolazi do izražaja kada se nalazi tumače zajedno sa refrakcijom, vidnom oštrinom i topografsko-tomografskim parametrima, naročito u proceni pacijenata pre i nakon refraktivnih hirurških procedura.

Prikazani klinički slučajevi pokazali su različite mogućnosti primene integrisanog dijagnostičkog pristupa: od procene i praćenja rezultata refraktivne hirurgije, preko dokumentovanja progresije keratokonusa, od optičke rehabilitacije izrazito iregularne rožnjače kontaktnim sočivima. Istovremeno, pokazano je da dobar anatomske ili pojedinačni dijagnostički nalaz ne mora uvek biti praćen podjednako dobrim funkcionalnim rezultatom, zbog čega je neophodno sagledavanje pacijenata i njegovih nalaza u celini.

Poseban značaj ima praćenje promena tokom vremena, jer poređenje serijskih nalaza omogućava procenu stabilnosti postoperativnog rezultata, pravovremeno prepoznavanje progresivnih kornealnih promena i upućivanje pacijenta na dodatnu oftalmološku evaluaciju kada je ona indikovana.

Na osnovu prikazanih kliničkih slučajeva može se zaključiti da najveća vrednost savremene optometrijske procene ne proizilazi iz primene pojedinačne dijagnostičke metode, već iz integracije refraktivnih, funkcionalnih, topografsko-tomografskih i aberometrijskih podataka. Njihovo zajedničko tumačenje omogućava potpuniju i individualizovanu procenu pacijenata, pravovremeno prepoznavanje nalaza koji zahtevaju dodatnu oftalmološku evaluaciju i optimalan izbor optičke korekcije u okviru optometrijske prakse.

9. Literatura

- [1] Klyce SD. Computer-assisted corneal topography. High-resolution graphic presentation and analysis of keratoscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25(12):1426–1435. PMID: 6511226.
- [2] Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol.* 1998;42(4):297–319. doi:10.1016/S0039-6257(97)00119-7.
- [3] Belin MW, Khachikian SS. An introduction to understanding elevation-based topography: how elevation data are displayed – a review. *Clin Exp Ophthalmol.* 2009;37(1):14–29. doi:10.1111/j.1442-9071.2008.01821.x.
- [4] Belin MW, Ambrósio R Jr. Scheimpflug imaging for keratoconus and ectatic disease. *Indian J Ophthalmol.* 2013;61(8):401–406. doi:10.4103/0301-4738.116059.
- [5] Fan R, Chan TCY, Prakash G, Jhanji V. Applications of corneal topography and tomography: a review. *Clin Exp Ophthalmol.* 2018;46(2):133–146. doi:10.1111/ceo.13136.
- [6] Rabinowitz YS, Rasheed K. KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 1999;25(10):1327–1335. doi:10.1016/S0886-3350(99)00195-9.
- [7] Ambrósio R Jr, Caiado ALC, Guerra FP, Louzada R, Sinha RA, Luz A, Dupps WJ Jr, Belin MW. Novel pachymetric parameters based on corneal tomography for diagnosing keratoconus. *J Refract Surg.* 2011;27(10):753–758. doi:10.3928/1081597X-20110721-01.
- [8] Ferreira-Mendes J, Lopes BT, Faria-Correia F, Salomão MQ, Rodrigues-Barros S, Ambrósio R Jr. Enhanced ectasia detection using corneal tomography and biomechanics. *Am J Ophthalmol.* 2019;197:7–16. doi:10.1016/j.ajo.2018.08.054.
- [9] Gomes JAP, Tan D, Rapuano CJ, Belin MW, Ambrósio R Jr, Guell JL, Malecaze F, Nishida K, Sangwan VS; Group of Panelists for the Global Delphi Panel of Keratoconus and Ectatic Diseases. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea.* 2015;34(4):359–369. doi:10.1097/ICO.0000000000000408.
- [10] Villavicencio OF, Gilani F, Henriquez MA, Izquierdo L Jr, Ambrósio R Jr, Belin MW. Independent population validation of the Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia Display: implications for keratoconus studies and screening. *Int J Kerat Ect Cor Dis.* 2014;3(1):1–8. doi:10.5005/jp-journals-10025-1069.
- [11] Randleman JB, Russell B, Ward MA, Thompson KP, Stulting RD. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology.* 2003;110(2):267–275. doi:10.1016/S0161-6420(02)01727-X.

- [12] Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann–Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1994;11(7):1949–1957. doi:10.1364/JOSAA.11.001949.
- [13] Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, Webb R; VSIA Standards Taskforce Members. Standards for reporting the optical aberrations of eyes. *J Refract Surg.* 2002;18(5):S652–S660. doi:10.3928/1081-597X-20020901-30.
- [14] Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29(8):1487–1495. doi:10.1016/S0886-3350(03)00334-1.
- [15] Porter J, Guirao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2001;18(8):1793–1803. doi:10.1364/JOSAA.18.001793.
- [16] Marcos S. Aberrations and visual performance following standard laser vision correction. *J Refract Surg.* 2001;17(5):S596–S601. doi:10.3928/1081-597X-20010901-19.
- [17] Oshika T, Miyata K, Tokunaga T, Samejima T, Amano S, Tanaka S, Hirohara Y, Mihashi T, Maeda N, Fujikado T. Higher order wavefront aberrations of cornea and magnitude of refractive correction in laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology.* 2002;109(6):1154–1158. doi:10.1016/S0161-6420(02)01028-X.
- [18] Mrochen M, Kaemmerer M, Seiler T. Clinical results of wavefront-guided laser in situ keratomileusis 3 months after surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2001;27(2):201–207. doi:10.1016/S0886-3350(00)00827-0.
- [19] Chalita MR, Krueger RR. Correlation of aberrations with visual acuity and symptoms. *Ophthalmol Clin North Am.* 2004;17(2):135–142. doi:10.1016/j.ohc.2004.02.008.
- [20] Netto MV, Ambrósio R Jr, Shen TT, Wilson SE. Wavefront analysis in normal refractive surgery candidates. *J Refract Surg.* 2005;21(4):332–338. doi:10.3928/1081-597X-20050701-06.
- [21] Kanellopoulos AJ. Topography-modified refraction (TMR): adjustment of treated cylinder amount and axis to the topography versus standard clinical refraction in myopic topography-guided LASIK. *Clin Ophthalmol.* 2016;10:2213–2221. doi:10.2147/OPTH.S122345.
- [22] Marsack JD, Parker KE, Pesudovs K, Donnelly WJ 3rd, Applegate RA. Uncorrected wavefront error and visual performance during RGP wear in keratoconus. *Optom Vis Sci.* 2007;84(6):463–470. doi:10.1097/OPX.0b013e31802e64f0.
- [23] Jinabhai A, Charman WN, O'Donnell C, Radhakrishnan H. Optical quality for keratoconic eyes with conventional RGP lens and simulated, customised contact lens corrections: a comparison. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32(3):200–212. doi:10.1111/j.1475-1313.2012.00904.x.

- [24] Sabesan R, Yoon G. Visual performance after correcting higher order aberrations in keratoconic eyes. *J Vis.* 2009;9(5):6.1–10. doi:10.1167/9.5.6.
- [25] Rabbetts RB. Bennett and Rabbetts' Clinical Visual Optics. 4th ed. Butterworth-Heinemann Elsevier; 2007. ISBN 978-0-7506-8874-1.
- [26] Mijatović Z. Optički i optometrijski instrumenti. Novi Sad; 2009.
- [27] Olsen T. On the calculation of power from curvature of the cornea. *Br J Ophthalmol.* 1986;70(2):152–154. doi:10.1136/bjo.70.2.152.
- [28] Efron N, ed. Contact Lens Practice. 3rd ed. Elsevier; 2018.
- [29] Topcon Healthcare. KR-800/KR-800A Auto Kerato-Refractometer. Technical/product documentation.
- [30] Oliveira CM, Ribeiro C, Franco S. Corneal imaging with slit-scanning and Scheimpflug imaging techniques. *Clin Exp Optom.* 2011;94(1):33–42. doi:10.1111/j.1444-0938.2010.00509.x.
- [31] Ramos JLB, Li Y, Huang D. Clinical and research applications of anterior segment optical coherence tomography – a review. *Clin Exp Ophthalmol.* 2009;37(1):81–89. doi:10.1111/j.1442-9071.2008.01823.x.
- [32] Gomes JAP, Hafezi F, Ambrósio R Jr, Henriquez MA, Campos M, Kinoshita S, et al.; Panelists for the Global Consensus on Keratoconus and Ectatic Diseases – Edition 2. Global Consensus on Keratoconus and Ectatic Diseases—Edition 2. *Cornea.* 2026;45(7):888–908. doi:10.1097/ICO.0000000000004170.
- [33] Lopes BT, Belin MW, Henriquez MA, Izquierdo L Jr, Kohnen T, Ambrósio R Jr. Enhancing corneal ectasia susceptibility detection: analysis of a new algorithm (BAD-D v4). *Sci Rep.* 2024;14:30226. doi:10.1038/s41598-024-81809-w.
- [34] Feng Y, Yu J, Wang Q. Meta-analysis of wavefront-guided vs. wavefront-optimized LASIK for myopia. *Optom Vis Sci.* 2011;88(12):1463–1469. doi:10.1097/OPX.0b013e3182333a50.
- [35] Cheng SM, Tu RX, Li X, Zhang JS, Tian Z, Zha ZW, Ruan KW, Yu AY. Topography-guided versus wavefront-optimized LASIK for myopia with and without astigmatism: a meta-analysis. *J Refract Surg.* 2021;37(10):707–714. doi:10.3928/1081597X-20210709-01.
- [36] Jahadi Hosseini SHR, Abtahi SMB, Khalili MR. Comparison of higher order aberrations after wavefront-guided LASIK and PRK: one year follow-up results. *J Ophthalmic Vis Res.* 2016;11(4):350–357. doi:10.4103/2008-322X.194069.
- [37] Heidari Z, Mohammadpour M, Hashemi H, Jafarzadehpur E, Moghaddasi A, Yaseri M, Fotouhi A. Early diagnosis of subclinical keratoconus by wavefront parameters using Scheimpflug, Placido and Hartmann–Shack based devices. *Int Ophthalmol.* 2020;40(7):1659–1671. doi:10.1007/s10792-020-01334-3.

[38] Moreira Fernandes V, McGlone C, Fernandez KB, Rocha KM. Update on topography and tomography for refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2026;37(4):267–274. doi:10.1097/ICU.0000000000001226.

[39] Swartz G, Alam K, Gentle A, Downie LE. Impact of contact lens correction on wavefront aberrations and vision quality in keratoconus. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2025;45(7):1811–1828. doi:10.1111/opo.70037.

[40] Negishi K, Kumanomido T, Utsumi Y, Tsubota K. Effect of higher-order aberrations on visual function in keratoconic eyes with a rigid gas permeable contact lens. *Am J Ophthalmol*. 2007;144(6):924–929. doi:10.1016/j.ajo.2007.08.004.

[41] Nakagawa T, Maeda N, Kosaki R, Hori Y, Inoue T, Saika M, Mihashi T. Higher-order aberrations due to the posterior corneal surface in patients with keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009;50(6):2660–2665. doi:10.1167/iovs.08-2754.

[42] Hashemi H, Beiranvand A, Khabazkhoob M, Fotouhi A. Corneal topography patterns in the Tehran eye study: warning about the high prevalence of patterns with a skewed radial axis. *Middle East Afr J Ophthalmol*. 2014;21(1):72-76. doi:10.4103/0974-9233.124107.

[43] Chen A., Lin B., Lin S. How to interpret corneal topography: 5 clinical uses. EyeGuru. Dostupno na: <https://eyeguru.org/essentials/corneal-topography/>

[44] Pajić B. Aberacije višeg reda i njihova klinička relevantnost. Edukativni materijal

[45] Bădescu SV, Barac R, Schmitzer S, Tataru C. The influence of optical aberrations in refractive surgery. *Rom J Ophthalmol*. 2015;59(4):217-222.

[46] Spalton DJ, Hitchings RA, Hunter PA. *Atlas of Clinical Ophthalmology*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Mosby; 2005.

[47] Drishti Eye Hospital. Topography. Dostupno na: <https://indoredrishti.wordpress.com/topography/>

[48] Kanclerz P, Khoramnia R, Wang X. Current Developments in Corneal Topography and Tomography. *Diagnostics*. 2021.;11 (8):1466. <https://doi.org/10.3390/diagnostics> 11081466

Biografija kandidata



Livija Temunović se od 1993. godine profesionalno bavi poslovima iz oblasti optometrije, sa posebnim interesovanjem za kontaktna i naočalna sočiva, kao i savremene metode korekcije vida.

Svoje prvo visokoškolsko obrazovanje završila je na Fakultetu fizičkog vaspitanja, a potom diplomirala na studijskom programu Optometrija Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu, gde je danas angažovana kao predavač na predmetu Kontaktna sočiva.

Značajan deo profesionalnog iskustva stekla je kroz dugogodišnji rad sa majkom, dr Gizelom Temunović, oftalmologom i specijalistom za kontaktna sočiva. Ovaj rad omogućio joj je da razvije sistematičan pristup optometrijskim pregledima, praktične veštine u oblasti kontaktologije i posebno razumevanje individualnih potreba pacijenata.

Posедуje sertifikat Hoya Faculty iz oblasti progresivnih i multifokalnih naočalnih sočiva, a od 2011. godine sarađuje sa japanskom kompanijom Hoya kao stručni konsultant i predavač u Srbiji.

Tokom višedecenijskog profesionalnog rada kontinuirano se stručno usavršava, piše stručne radove i održava predavanja namenjena studentima i kolegama. Posebnu pažnju posvećuje povezivanju teorijskog znanja sa praktičnim iskustvom i prenošenju stručnih informacija na jasan, jednostavan i razumljiv način.

U svom radu neguje individualan i partnerski pristup, smatrajući da su stručno znanje, razumevanje i međusobno poverenje osnova kvalitetne brige o vidu.

	UNIVERZITET U NOVOM SADU PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET 21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 3
	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<i>Redni broj:</i> RBR	
<i>Identifikacioni broj:</i> IBR	
<i>Tip dokumentacije:</i> TD	Monografska publikacija
<i>Tip zapisa:</i> TZ	Elektronski materijal
<i>Vrsta rada:</i> VR	Master rad
<i>Autor:</i> AU	Livija Temunović
<i>Mentor:</i> MN	dr Željka Cvejić
<i>Naslov rada:</i> NR	Primena wavefront analize i kornealne topografije u savremenoj optometrijskoj praksi
<i>Jezik publikacije:</i> JP	srpski (latinica)
<i>Jezik izvoda:</i> JI	srpski/engleski
<i>Zemlja publikovanja:</i> ZP	Republika Srbija
<i>Uže geografsko područje:</i> UGP	Vojvodina
<i>Godina:</i> GO	2026.
<i>Izdavač:</i> IZ	Autorski reprint
<i>Mesto i adresa:</i> MA	Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3

<i>Fizički opis rada:</i> FO	broj poglavlja 8/ strana 53/ literarnih navoda 48/ tabela 2 / slika 31/ grafika0 / priloga0]
<i>Naučna oblast:</i> NO	Fizika, Optometrija
<i>Naučna disciplina:</i> ND	Optometrija
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i> PO	wavefront analiza; kornealna topografija; tomografija; optometrija; refraktivna hirurgija; kontaktne sočiva
UDK	
<i>Čuva se:</i> ČU	Biblioteka Departmana za fiziku, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad
<i>Važna napomena:</i> VN	nema
<i>Izvod:</i> IZ	Rad razmatra komplementarnu primenu kornealne topografije, tomografije i wavefront aberometrije u savremenoj optometrijskoj praksi. Kroz kliničke slučajeve prikazana je njihova uloga u proceni rožnjače, praćenju nakon refraktivne hirurgije, prepoznavanju suspektne kornealne promene i fitovanju kontaktnih sočiva.
<i>Datum prihvatanja teme:</i> DP	September 2026.
<i>Datum odbrane:</i> DO	20.10.2026.
<i>Članovi komisije:</i> KO	
<i>Predsednik:</i>	dr Mirjana Šiljegović, vanredni profesor, Katedra za opštu fiziku i metodiku nastave fizike
<i>Član:</i>	dr Lazar Gavanski, vanredni profesor, Katedra za fizičku elektroniku
<i>Član, mentor:</i>	dr Željka Cvejić, redovni profesor, Katedra za opštu fiziku i metodiku nastave fizike

	UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF SCIENCES 21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 3
	KEY WORDS DOCUMENTATION

<i>Accession number:</i> ANO	
<i>Identification number:</i> INO	
<i>Document type:</i> DT	Monograph publication
<i>Type of record:</i> TR	Electronic material
<i>Content code:</i> CC	Master thesis
<i>Author:</i> AU	Livija Temunović
<i>Mentor/comentor:</i> MN	Željka Cvejić, PhD
<i>Title:</i> TI	Application of Wavefront Analysis and Corneal Topography in Contemporary Optometric Practice
<i>Language of text:</i> LT	Serbian (Latin script)
<i>Language of abstract:</i> LA	Serbian/English
<i>Country of publication:</i> CP	Republic of Serbia
<i>Locality of publication:</i> LP	Vojvodina
<i>Publication year:</i> PY	2026
<i>Publisher:</i> PU	Author's reprint
<i>Publication place:</i> PP	Faculty of Sciences, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3
<i>Physical description:</i>	Chapters 8 / pages 53 / references 48 / tables 2 / figures 31 / graphs 0 / appendices 0

PD	
<i>Scientific field:</i> SF	Physics / Optometry
<i>Scientific discipline:</i> SD	Optometry
<i>Subject/ Key words:</i> SKW UC	wavefront analysis; corneal topography; tomography; optometry; refractive surgery; contact lenses
<i>Universal Decimal Classification:</i> UDC	
<i>Holding data:</i> HD	Library of Department of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad
<i>Note:</i> N	none
<i>Abstract:</i> AB	This thesis examines the complementary roles of corneal topography, tomography and wavefront aberrometry in contemporary optometric practice. Clinical cases illustrate their use in corneal assessment, postoperative refractive surgery follow-up, recognition of suspicious corneal findings and contact lens fitting.
<i>Accepted by the Scientific Board:</i> ASB	September 2026.
<i>Defended on:</i> DE	20.10.2026.
<i>Thesis defend board:</i> DB	
<i>President:</i>	Mirjana Šiljegović, PhD, Associate Professor, Department of General Physics and Methodology of Physics Teaching
<i>Member:</i>	Lazar Gavanski, PhD, Associate Professor, Department of Physical Electronics
<i>Member, supervisor:</i>	Željka Cvejić, PhD, Full Professor, Department of General Physics and Methodology of Physics Teaching

