

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**OPTISKĀS KOHERENCES TOMOGRĀFIJAS
PIELIETOJUMS RADZENES PARAMETRU
NOVĒRTĒŠANĀ
BAKALAURA DARBS**

Autore: **Aija Tolstoja**

Studenta apliecības nr. at16044

Darba vadītāja: M.Sc. Inese Petroviča

RĪGA 2019

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 35 lapaspusēm. Tas satur 20 attēlus, 4 tabulas, un 39 atsauces uz literatūras avotiem.

Mērķis: Salīdzināt radzenes parametrus dalībniekiem dažādās vecuma grupās.

Metode: Tika veikti radzenes biezuma un radzenes epitēlija biezuma mērījumi 6 mm diametrā, izmantojot optiskās koherences tomogrāfu Topcon Maestro 3D. Mērījumu precizitātes salīdzināšanai radzenes centrālais biezums tika mērīts ar bezkontakta optisko pahimetru Topcon TRK-1P.

Rezultāti: Radzenes biezums ir atšķirīgs centrā un virzienā uz perifēriju. Radzene ir biežāka nazālajā pusē (N, S, IN, SN) un plānāka temporālajā pusē (T, I, IT, ST). Radzenes epitēlija biezums centrā ir būtiski atšķirīgs no epitēlija biezuma dažādos punktos perifērijā 6 mm diametrā visās vecuma grupās. Ir korelācijas starp radzenes biezumu dažādos radzenes punktos un dalībnieku vecumu. Radzenes epitēlija biezuma sadalījums ir būtiski atšķirīgs attiecībā pret dalībnieku vecumu.

Atslēgas vārdi: optiskās koherences tomogrāfija, acs priekšējais segments, radzenes biezums, radzenes epitēlijs.

ABSTRACT

The bachelor thesis is written in Latvian on 35 pages. It contains 20 figures, 4 tables, and 39 bibliographic sources.

Purpose: To compare corneal parameters of participants in different age groups.

Method: 6 mm diameter corneal thickness and corneal epithelium measurements were performed using Topcon Maestro 3D optical coherence tomography. To compare the accuracy of the measurements, the central corneal thickness was measured with a non-contact optical pachymetry Topcon TRK-1P.

Results: Corneal thickness is different in transmission and towards the periphery. The cornea is thicker on the nasal side (N, S, IN, SN) and thinner on the temporal side (T, I, IT, ST). The thickness of the corneal epithelium in the center is significantly different from the thickness of the epithelium at various periphelar points in all age groups. There is correlation between corneal thickness at different points and the age of the participants. The thickness of the corneal epithelium is significantly different regarding to the age of participants.

Key words: optical coherence tomography, eye anterior segment, corneal thickness, corneal epithelium.

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

Acs priekšējā segmenta optiskās koherences tomogrāfija – AS-OCT

Apakšējais kvadrants – I

Augšējais kvadrants - S

Apakšējais-nazālais kvadrants – IN

Augšējais-nazālais kvadrants - SN

Apakšējais-temporālais kvadrants – IT

Augšējais-temporālais kvadrants - ST

Centrālais kvadrants – C

Epitēlija biezums – ET

Epitēlija biezuma vidējās vērtībās - ET_{vid}

Kreisā acs – KA

Labā acs - LA

Nazālais kvadrants - N

Optiskās koherences tomogrāfija – OCT

Radzenes biezums – RT

Radzenes biezuma vidējās vērtībās - RT_{vid}

Temporālais kvadrants – T

SATURS

| | |
|---|----|
| IEVADS | 1 |
| 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS | 2 |
| 1.1. Optiskās koherences tomogrāfija..... | 2 |
| 1.1.1. Acs priekšējā segmenta OCT | 2 |
| 1.2. OCT darbības princips..... | 3 |
| 1.3. OCT veidi | 4 |
| 1.3.1. Laika domēna OCT | 4 |
| 1.3.2. Frekvences domēna OCT | 5 |
| 1.4. Veselīgas radzenes anatomija un strukturālie raksturlielumi | 7 |
| 1.5. Ar vecumu saistītās izmaiņas radzenes parametros..... | 12 |
| 1.5.1. Vecuma radītās izmaiņas radzenes biezumā | 13 |
| 1.5.2. Citi radzenes biezuma ietekmējoši faktori | 13 |
| 1.5.3. Radzenes epitēlija izmaiņas, pieaugot vecumam | 14 |
| 1.6. OCT pielietojums radzenes novērtēšanai | 15 |
| 1.6.1. Radzenes slimības | 16 |
| 1.6.2. Acs virsmas bojājumi | 17 |
| 2. PĒTĪJUMA DAĻA | 18 |
| 2.1. Dalībnieki | 18 |
| 2.2. Metodes apraksts | 19 |
| 2.3. Rezultāti un to analīze | 20 |
| 2.3.1. Radzenes biezuma mērījumi dažādās vecuma grupās | 20 |
| 2.3.1.1. OCT un bezkontakta optiskā pahimetra salīdzinājums | 25 |
| 2.3.2. Radzenes epitēlija biezuma mērījumi dažādās vecuma grupās ar OCT | 26 |
| SECINĀJUMI | 29 |
| NOBEIGUMS | 30 |
| PATEICĪBAS | 31 |
| IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI | 32 |

IEVADS

Cilvēkam fiziski novecojot un gadu skaitam pieaugot, noveco arī orgāni, audi un citas ķermeņa struktūras, tajā skaitā arī acis - acu struktūrās novērojamas izmaiņas. Šī darba ietvaros tiks apskatīta acs priekšējā daļa – radzene. Kā zināms radzene ir viena no svarīgākajām redzes sistēmas komponentēm. Acs priekšējās virsmas un radzenes audu novecošana ir nozīmīgs faktors daudzu slimību un sindromu attīstības sākumam. Relatīvi nelielas izmaiņas tās struktūrās un parametros var būtiski ietekmēt redzes asumu. Ar vecumu saistīta acs struktūru izmaiņas, kas ir nepamanītas un neārstētas var izraisīt, piemēram, radzenes apduļķošanos, redzes asuma pasliktināšanos.

Lai veiksmīgi fiksētu radzenes parametrus, tiks izmantota optiskās koherences tomogrāfija. Radzenes izmaiņu diagnostika bieži ir apgrūtināta, un to agrāk galvenokārt veica ar spraugas lampas izmeklējumiem, kas ir ierobežojoša, salīdzinot ar optiskās koherences tomogrāfiju (OCT). OCT ļauj reālā laikā attēlot visus radzenes slāņus - epitēliju, Boumena membrānu, stromu, Descemeta membrānu un endotēliju.

Darba mērķis: Salīdzināt radzenes parametrus dalībniekiem piecās vecuma grupās.

Darba uzdevumi:

1. Noteikt radzenes biezuma kartes 6 mm diametrā cilvēkiem piecās dažādās vecuma grupās abām acīm, izmantojot OCT.
2. Veikt radzenes centrālo biezuma mērījumus dalībniekiem piecās dažādās vecuma grupās abām acīm, izmantojot bezkontakta pahimetru, salīdzināt iegūtos rezultātus ar OCT datiem.
3. Noteikt radzenes epitēlija biezuma kartes 6 mm diametrā cilvēkiem piecās dažādās vecuma grupās abām acīm, izmantojot OCT.

Pētījuma hipotēzes:

1. Radzenes centrālais biezums nemainās, pieaugot vecumam
2. Radzenes epitēlija biezums un biezuma irregularitāte palielinās, pieaugot cilvēka vecumam.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Optiskās koherences tomogrāfija

Optiskās koherences tomogrāfija, kuru pirmo reizi aprakstīja (*Huang, et al., 1991*) ir bezkontakta attēlveidošanas tehnoloģija, kas dod iespēju iegūt detalizētus šķērsriezuma attēlus (tomogrāfiju), izmantojot zemas koherences interferometriju. Tā ir relatīvi nesen izstrādāta, neinvazīva iekārta.

Ņemot vērā faktu, ka kopš tehnoloģijas ieviešanas ir pagājis salīdzinoši īss laika periods, lai metode kļūtu labi pārzināta, OCT jau tagad ir kļuvusi atzītu un pieprasītu sastāvdaļu mūsdienu redzes pārbaudē. OCT priekšrocība ir augstā izšķirtspēja, kas ir viskvalitatīvākā no citām pašlaik pieejamām izmeklēšanas metodēm, piemēram, ultrasonogrāfijas, magnētiskās rezonanses vai datortomogrāfijas. Metode tehniski ir līdzīga ultraskaņas metodei, bet balstīta nevis uz skaņas, bet infrasarkanās gaismas atstarošanu (*Stamper, et al., 2006*). Šī attēlu iegūšanas metode ļauj iegūt audu šķērsriezuma attēlus ar izšķirtspēju līdz 1-15 μm (*Serruys, et al., 2007*). Tas ir daudz precīzāks raksturlielums nekā jau pieminētajām citām attēlu iegūšanas metodēm, tādējādi ļauj iegūt attēlu un veikt izmeklējumus bez tradicionālās audu parauga ņemšanas no objekta. “Izmeklēšanas dziļums gaismu absorbējošos audos ir aptuveni 1 mm, izmantojot 800 nm gaismas viļņu avotu, bet to var palielināt līdz 2-3 mm, izmantojot apmēram 1300 nm infrasarkanās gaismas avotu” (*Laganovska, 2008*).

1.1.1. Acs priekšējā segmenta OCT

OCT, kas sākotnēji tika izstrādāts acs mugurējā segmenta apskatei un attēlveidošanai, vēlāk tika sistemātiski papildināts, lai attēlotu acs priekšējo segmentu. Priekšējā acu segmenta attēlveidošana, izmantojot 830 nm gaismas viļņa garumu OCT, pirmo reizi tika demonstrēta 1994. gadā (*Izatt, et al., 1994*). Tomēr ar šo infrasarkanās gaismas avotu, tā caurlaidība tika bloķēta radzenes un sklēras pārējas vietā, tādā veidā liedzot iegūt priekšējās kameras kakta leņķi. Pēc tam, 2000. gadā, acs priekšējā segmenta OCT, kura gaismas avots spēj tikt caur radzenes – sklēras krustojumam, attēlveidošanas tika panākta, mainot gaismas viļņa garumu no 830 nm līdz 1310 nm. 2005. gadā tika izlaists pirmais tirgū pieejamais priekšējā segmenta OCT.

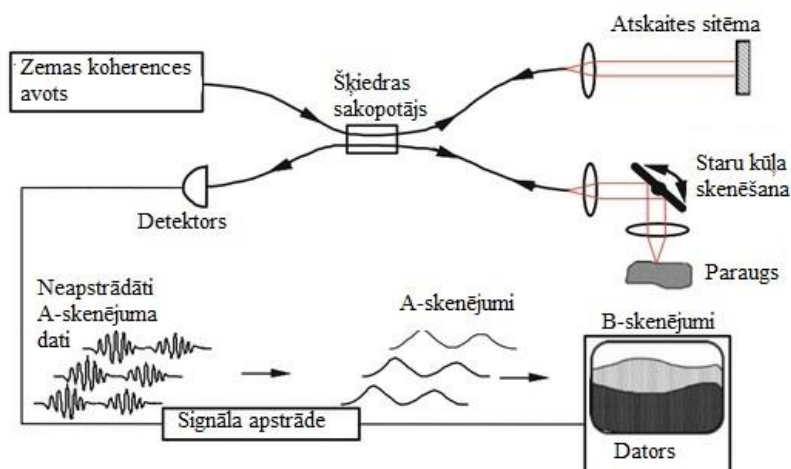
Sakarā ar AS-OCT attīstību, šobrīd tā tiek izmantota, lai analizētu acs priekšējā segmenta, piemēram, radzenes struktūras ļoti daudzās pasaules valstīs (*Radhakrishnan, et al., 2001*). Ar AS-

OCT palīdzību var izvērtēt varavīksneni, lēcu, priekšējās kameras kaktu, un galvenokārt radzeni un tās slāņus (Laganovska, 2008), kuri tiks apskatīti šī darba pētnieciskajā daļā.

1.2. OCT darbības princips

Tā kā OCT izmanto gaismas signālu, līdz ar to tiek analizētas audu optiskās īpašības, OCT rada šķērsriezuma attēlus, kas atkarīgi no atpakaļatstarotās vai atpakaļizkliedētās gaismas no dažādā dziļumā esošām struktūrām. Tā kā gaismas signālam, lai nokļūtu līdz dziļākajiem audu slāņiem, jāiet cauri seklākajiem, attēlā var veidoties signāla izdzišanas efekts. Gaismai, iedarbojoties uz dažādiem audiem, var būt vairākas iespējas – tā var tikt pārvadīta, absorbēta, izkliedēta. Ja gaisma tiek pārvadīta, tad tā nemainīta nokļūst līdz dziļākajiem audu slāņiem; ja tā tiek absorbēta, kā tas notiek, jastaru kūļa priekšā ir melanīns vai hemoglobīns, tad lielākā daļa gaismas tiek “dzēsta”, salīdzinot ar sākotnējo staru kūli. Izkliedēšana notiek pašos audos (intracelulārās struktūrās). Šādā veidā gaisma tiek izkliedēta visos virzienos; ja tā tiek atstarota par 180 grādiem, to sauc par atpakaļizkliedēto gaismu. Gaismas atpakaļatsarošana notiek no dažādu homogēnu materiālu robežas, kam ir dažādi refrakcijas raksturlielumi (Laganovska, 2008).

1.1. attēlā ir parādīta vispārēja OCT sistēmas shēma.



1.1. attēls. Vispārēja OCT sistēmas shēma (Izatt & Choma, 2008)

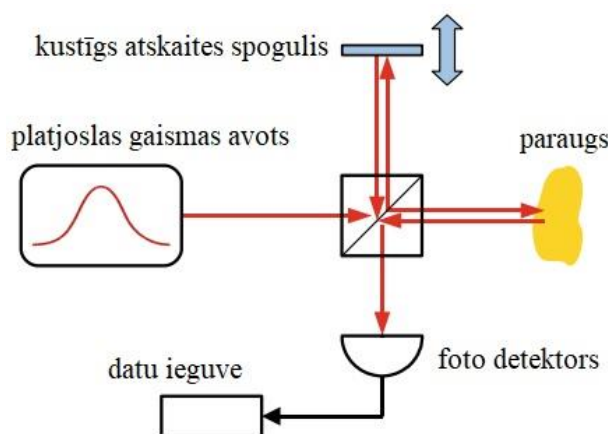
Caur optisko šķiedru uz šķiedras sakopotāju tiek vadīta izstarotā gaisma no zemas koherences avota (parasti tā ir infrasarkanā starojuma superluminiscējošā diode). Tā rezultātā puse no gaismas nonāk acī, bet otra puse nonāk atskaites sistēmā. Gaisma, kas tiek izkliedēta vai

atstarota no acs tiek novadīta atpakaļ uz šķiedras sakopotāju, kur tā savienojas ar atskaites sistēmas atstaroto gaismu. Šie abi gaismas staru kūļi interferē uz detektora virsmas. Veidojas rezultējošais interferences signāls (no optiskā materiāla un atskaites spoguļa). Tā kā ir tādi rezultējošie interferences signāli gan no priekšējās materiāla virsmas, gan no dziļākiem slāņiem, tad var izveidot atstarošanās profilu ap aksiālo asi. Tie ir A-skenējumi. A-skenējumu ir ļoti daudz, tos summē pa horizontālo asi, veidojot 3D un divdimensionālus attēlus, ko sauc par B-skenējumiem (Marschall, et al., 2011).

1.3. OCT veidi

1.3.1. Laika domēna OCT

Laika domēna OCT izmanto viena punkta skenēšanu. Platjoslas gaismas avots, parasti zemas koherences superluminiscējoša diode vai lāzers, tiek sadalīts divos ceļos ar optisko sadalītāju. Puse gaismas tiek atpakaļ atstarota no atskaites spoguļa, kas ceļo kontrolētā kustības virzienā, ļaujot atskaites sistēmas atstarotajai gaismai veikt noteiktu ceļa garumu. Otra daļa gaismas tiek novirzīta uz paraugu un tiek atpakaļ atstarota no parauga iekšējās struktūras, kas rada interferences modeļus ar atskaites gaismu, tādējādi veidojot A skenējumus un sniedz informāciju par dažādu struktūru atrašanās vietu un dziļumu paraugā.



1.2. attēls. Laika domēna OCT shēma (Marschall, et al., 2011)

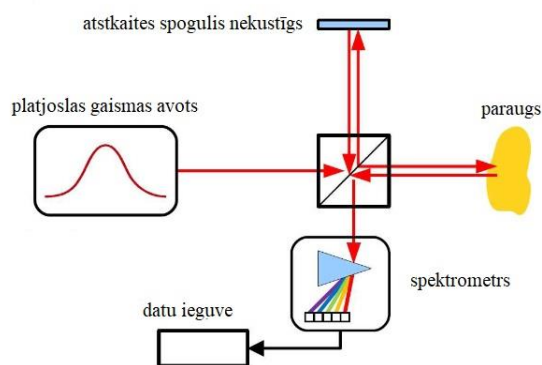
Tā kā gaisma tiek uzraidīta optiskās vides slāņiem un daļa uz atskaites sistēmu, tad lai reģistrētu nākamo slāni, atskaites spogulis arī tiek pabīdīts nedaudz uz priekšu. Skat. 1.5. att., kur attēlota laika domēna OCT shēma (Marschall, et al., 2011).

1.3.2. Frekvences domēna OCT

Atšķirībā no laika domēna OCT, frekvences domēna OCT izmanto pilna lauka skenēšanu. Interferometra vietā tiek lietots spektrometrs vai detektoru kopas. Frekvences domēna OCT atskaites sistēma ir nekustīga, jo reģistrē interferometra spektrālo atbildi. To var izdarīt divējādi:

- Spektrālā domēna OCT

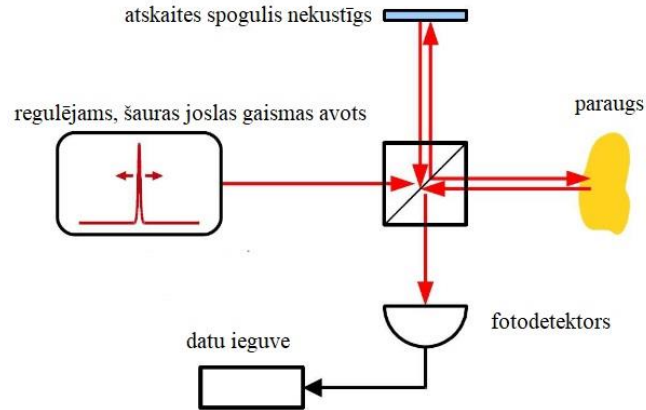
Interferometru apgaismo ar zemu koherences gaismu un atdala spektrālās komponentes ar spektrometru.



1.3. attēls. Spektrālā domēna OCT shēma (Marschall, et al., 2011)

- Swept avota OCT (SS-OCT)

Interferometru apgaismo regulējamu zemas koherences gaismu (šauras joslas regulējams gaismas avots) secīgi ar dažādām optiskajām frekvencēm un reģistrē interferences rezultātu ar foto detektoru. Gaismas avota princips sekojošs – ar šauras joslas gaismas avotu secīgi mainot optisko frekvenci pāriet pāri platai joslai (Marschall, et al. 2011).



1.4. attēls. Swept avota OCT shēma (Marschall, et al., 2011)

1.1. tabula

Dažu komerciāli pieejamo acs priekšējā segmenta OCT salīdzinājums (Yanoff & Duker, 2018)

| Veidi | Laika domēna | | Frekvences domēna | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------|--------------------|-----------------|
| | | | Spektrālā domēna (Furjē) | | | Swept avota | |
| Nosauk. | Visante | Heidelberg Slit lamp OCT | Cirrus | Spectralis | 3-D OCT | Triton | Plex Elite 9000 |
| Ražotāji | Carl Zeiss | Heidelberg Engineering | Carl Zeiss | Heidelberg Engineering | Topcon | Topcon | Carl Zeiss |
| Viļņa garums (nm) | 1310 | 1310 | 840 | 820 | 850 | 1050 | 1060 |
| Dziļums (mm) | 6 | 7 | 2 | 1,9 | 3-6 | 12 | 3 |
| Izšķirtspēja (µm) | 18x60 | 25x20-100 | 5x15 | 3,9x14 | 6x20 | 2,6x20 | 5,5x20 |
| Attēla uzņemšanas ātrums | 2000 | 200 | 27000-68000 | 40000 | 50000 | 100000 | 100000 |
| Gaismas avots | Staru kūlis | | Platjoslas gaismas avoti | | | Swept avota lāzers | |

Kamēr laika domēna OCT mērījumos gaismas atsaucis tiek iegūtas secīgi ar atskaites spoguļa pakāpenisku kustību, frekvences OCT gaismas atbalss parādās vienlaicīgi no visiem asu dziļumiem un tiek fiksēti kā modulācijas avota spektrā ar visām vienlaicīgi uztvertajām spektrālajām komponentēm. Galvenā atšķirība starp šīm divām tehnoloģijām ir tā, ka atskaites sistēmai frekvences domēna OCT sistēmā ir statisks spogulis, bet laika domēna OCT šis spogulis pārvietojas kopā ar skenēšanu (*Popescu, et al., 2011*).

1.4. Veselīgas radzenes anatomija un strukturālie raksturlielumi

Radzenes forma normā ir irregulāra t.i. diametrs un biezums ir atšķirīgs dažādos virzienos. Tās horizontālais diametrs vidēji ir 11,5-12,0 mm, savukārt vertikālais diametrs vidēji 10,5 mm. Liekuma rādiuss vizbiežāk ir 7 mm vai vairāk.

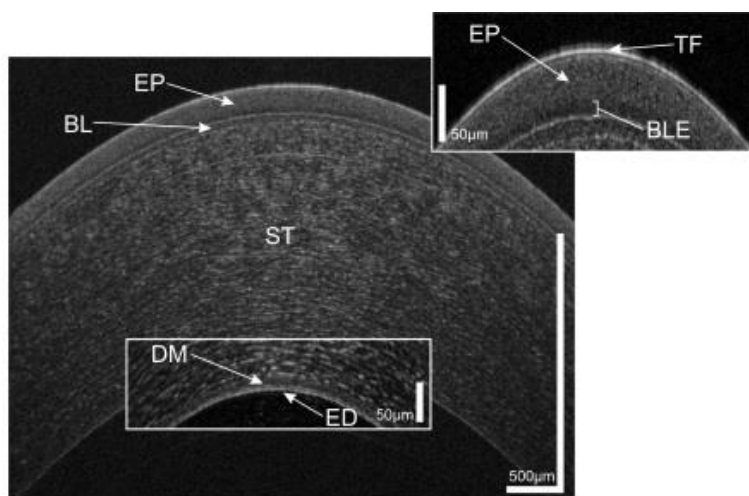
Radzenes diametrs ir lielākais attālums starp diviem punktiem uz radzenes malām un klīniski svarīgi ir gan horizontālie, gan vertikālie izmēri. Horizontālais radzenes diametrs ir attālums starp nazālo un temporālo limba malu, bet vertikālais radzenes diametrs ir no augšējās līdz apakšējai limba malai. Daudzu iemeslu dēļ radzenes diametrs ir klīniski svarīgs. Piemēram, ir svarīgi nodrošināt, ka mīksto kontaktlēcu kopējais diametrs ir pietiekams, lai radzene būtu pilnīgi pārklāta. Turklāt radzenes diametra mērīšana ir svarīga, lai precīzi diagnosticētu tādas slimības kā mikroradzene, megaradzene un radzenes distrofijas (*Iyamu & Osuobeni, 2012*).

Radzenes priekšējais liekuma rādiuss ir saistīts ar radzenes priekšējās virsmas formu un ir viens no svarīgākajiem mērījumiem, ko izmanto, lai raksturotu radzenes optiskās īpašības. Klīniskajā praksē parasti tiek izmērītas gan horizontālais, gan vertikālais priekšējais liekuma rādiuss. Normā radzenei ir mazāks rādiuss vertikālajā meridiānā salīdzinājumā ar horizontālo meridiānu. Priekšējā izliekuma rādiusam izteikta nozīme ir svarīga kontaktlēcu pielaiķošanai, radzenes refrakcijas operācijai, kā arī diagnostikai un radzenes patoloģisko stāvokļu, piemēram, keratokonusa, ārstēšanai (*Iyamu & Osuobeni, 2012*).

Centrālais radzenes biezums un tā mērījums ir svarīgi daudzās acu aprūpes procedūrās, piemēram, tonometrija un refraktīvajā ķirurģijā. Šo autoru (*Mercieca, et al., 2007*) pētījums liecina, ka radzenes centrālais biezums būtiski ietekmē izmērīto intraokulāro spiedienu un līdz ar to arī glaukomas klasifikāciju. Radzenes centrālais biezums, kas ir mazāks par normu, rādīs zemāku intraokulāro spiedienu, savukārt biezāks radzenes centrālais biezums par vidējo, uzrādīs augstāku intraokulāro spiedienu.

Cilvēka radzene sastāv no 5 slāņiem. Papildus pieciem slāņiem radzenes virsma ir pārklāta ar asaru slāni. Vissvarīgākā asaru slāņa funkcija ir pasargāt radzenes epitēliju. Asaru slānis sastāv vēl no trīs atsvišķiem slāņiem – lipīdu slānis, ūdens slānis un mucīna slānis (Agarwal, *et al.*, 2006).

1.5. attēls parāda veselīgas cilvēka radzenes šķēzgriezuma attēlu iegūtu ar OCT. Ir redzami visi galvenie radzenes slāņi - epitēlijs (EP), Boumena slānis (BL), stroma (ST), Descemē membrāna (DM) un endotēlijs (ED). Ir saskatāms arī asaru slānis (TF), ko neiekļauj kā radzenes slāni, taču tas gan anatomiski, gan funkcionāli tiek saistīts ar radzeni. Attēlā asaru slānis ir redzams kā visvairāk gaismu atstarojošais slānis, jo tā ir visgaišāk saskatāmā vieta. Tāpat redzams, ka vieta starp epitēliju un Boumena slāni rāda zemāku atstarojumu, jo šī vieta tomogrammā ir tumšāka. (Werkmeister, *et al.*, 2017).



1.5. attēls. Radzenes centrālās zonas OCT attēls (Werkmeister, *et al.*, 2017).

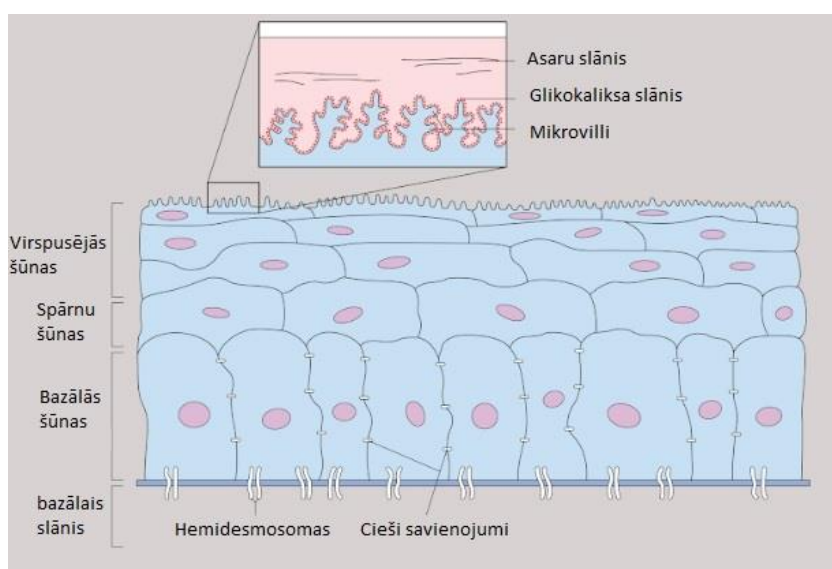
- Epitēlijs

Radzenes epitēlija virsma ir pirmā barjera starp aci un ārējo vidi. Kā ārējais slānis, kas aptver acs priekšpusi, radzenes epitēlijs ne tikai darbojas kā barjera, kas bloķē svešķermeņu nokļūšanu dziļākajos slāņos, bet arī spēlē nozīmīgu lomu augstas optiskās kvalitātes uzturēšanā. Tas ir nekeratinizējošs, vairāku šūnu kārtu slānis - sastāv no 5 slāņiem. Tas ir 50-60 μm biezs. Epitēlija šūnu slāņi, kas atrodas virspusē, sastāv no plakanveida šūnām, taču dziļākie šūnu slāņi sastāv no kubiska vai cilindriskā veida šūnām. Starp virsējo un dziļāko epitēlija šūnu slāņiem atrodas šūnu slāņi, kas šķērgriezumā atgādina spārnus, tāpēc šos slāņus dēvē par spārnu šūnu slāņiem.

Radzenes epitēlijs sastāda apmēram 5% (0,05mm) no kopējā radzenes biezuma un kopā ar asaru slāni veido gludu radzenes virsmu.

Epitēlija šūnu ciešais novietojums pateicoties desmosomām novērš iespējamību, ka asaru šķidrums varētu nokļūt dziļāk acī, savukārt pateicoties hemidesmosomām epitēlija šūnas ir cieši savienotas ar epitējas bazālo slāni. Ja rodas hemidesmosomu anormālījas, tas var novest pie epitēlija atdalīšanās, kas tālāk noved pie radzenes erozijām.

Uz radzenes epitēlija augšējās virsmas ir izaugumi – *microvilli* (latviski tiek saukts par skropstiņepitēliju) – šie izaugumi ir apņemti ar glikokaliksu, kas stabilizē asaru slāni. 1.6. att. parāda shematisku radzenes epitēlija šķērsriezumu, kurā var aplūkot visu iepriekš aprakstīto epitēlija šūnu izvietojumu un izskatu (Yanoff & Duker, 2018).



1.6.attēls. Shematisks radzenes epitēlija šķērsriezums (Yanoff & Duker, 2018)

Dziļākais radzenes epitēlija šūnu slānis ir bazālais slānis, kas sastāv no vienas šūnas slāņa un ir aptuveni 20 um biezs.

Radzenes epitēlija šūnas atjaunojas ik pēc 7-10 dienām. Limbā atrodas radzenes epitēlija cilmes šūnas, kas ir svarīgas radzenes epitēlija homeostāzei. Sākot no limba, kas ir pāreja starp sklēru un radzeni, cilmes šūnas sāk asimetriski dalīties, kā rezultātā tās pārveidojas, pārvietojas uz centrālo radzenes daļu un kļūst par centrālās radzenes bazālajām šūnām. Šīs šūnas tālāk

diferencējas un migrē uz radzenes virsmu, kļūstot par spārnū un virspusējām radzenes epitēlija šūnām (*Yanoff & Duker, 2018*).

Radzenes epitēlijam ir daudzas svarīgas funkcijas, tā bojājumi vai slimības var radīt nopietnas sekas. Piemēram, radzenes epitēlija bojājuma gadījumā, mikroorganismi var iekļūt radzenes dziļākajos slāņos, stromas ūdens saturs var samazināties, tā uzbriest un var rasties apduļķojums, čūlas un rētas, kā rezultātā visa acs kļūst neaizsargāta pret infekciju. Pēc bojājumiem epitēlijā, var būt izveidojušies virsmas nelīdzenumi un mazinājies radzenes caurspīdīgums.

Lai nodrošinātu tīklenes asu attēla veidošanos, radzenes virsmai jābūt ļoti gludai. Virsmas gludumu palīdz nodrošināt arī asaru plēve (*Dohlman, 1971*).

- Boumena membrāna

Starp epitēliju un stromas slāņiem atrodas priekšējā limitējošā membrāna - Boumena membrāna. Tā sastāv no I un V tipa kolagēnā, kā arī proteoglikāniem. Boumena membrānā ir daudz poru, caur kurām iet nervu sakopojumi. Boumena membrānas biezums samazinās ar vecumu, un tas neatjaunojas, piemēram, pēc traumas. Ja Boumena membrānu tomēr ir skāris kāds mehānisms spēks un tā ir taumēta, veidosies rētas. Pastāv uzskats, ka Boumena membrāna veidojas radzenes attīstības sākumā mijiedarbojoties radzenes epitēlija šūnām un keratocītiem stromā. Galvenā Boumena membrānas funkcija ir radzenes formas saglabāšana un tās neizmainīšana (*Yanoff & Duker, 2018*).

- Stroma

Radzenes stroma spēlē vairākas svarīgas lomas acī. No optiskā viedokļa stroma ir ļoti svarīga ar savu ūdens saturu, jo tai ir jāapvieno gandrīz perfekta redzamas gaismas pārraide ar precīzu formu, lai fokusētu ienākošo gaismu tālāk uz tīklenes. Turklāt mehāniski tai ir jābūt pietiekami stingrai, lai aizsargātu acs dziļākās struktūras. Radzenes struktūras un caurspīdīguma pamatprincipi ir zināmi jau kādu laiku, bet pēdējos gados ir veikti dziļāki pētījumi, ka stromas struktūra ir daudz sarežģītāka nekā iepriekš domāja. Keratocīti stromā ražo dažādus šūnu produktus, tostarp augšanas faktoru/citokīnus, ekstracelulārās matricas (ECM) komponentus un kināzes. Šie produkti nodrošina normālu radzenes attīstību un homeostāzi. Augšanas faktoru/citokīnu veidošanās stromā veicina arī brūču dzīšanu (*Zhang, et al., 2017*).

Radzenes stroma veido apmēram 80-85% no visa radzenes biezuma un nodrošina tādās radzenes īpašības kā stabilitāti un caurspīdīgumu. Stroma izveidojas apmēram septītajā grūtniecības nedēļā pēc primitīvā endotēlija izveidošanas. Stromai raksturīga īpašība ir caurspīdīgums, kas tiek nodrošināts pateicoties no stromas šķiedru un ekstracelulārā matricā precīzas

struktūras un organizācijas. Kolagēna šķiedras ir izvietotas paralēlos saišķos, kuras sauc par fibrillām. Šīs fibrillas ir sakārtotas slāņos vai lamellās. Cilvēka acs stromā var izšķirt 200-250 lamellas. Fibrilās pārsvarā ir I tipa kolagēns. Stromā ir arī VI tipa kolagēns un XII tipa kolagēns.

- Descemeta membrāna

Descemeta membrāna ir elastīga, 7 μ bieza radzenes daļa. Tā sastāv no IV tipa kolagēna. Descemeta membrāna sāk attīstīties auglim 8 grūtniecības nedēļā. Endotēlija šūnas nepārtraukti sekretē Descemeta membrānu. Apmēram 3 μ Descemeta membrānas attīstās pirms piedzimšanas. Atlikusī daļa līdz normālam biežumam, kāds raksturīgs cilvēkam, attīstās pēc piedzimšanas. Descemeta membrāna var sasniegt līdz aptuveni 10 μ biežumam, cilvēka vecumam pieaugot.

- Endotēlijs

Endotēlijs ir apmēram 5 μ bieza vienslāņaina struktūra radzenē. Endotēlija šūnas ir sešstūrainas un metaboliski aktīvas. Endotēlijā ir sūknis, kas regulē ūdens saturu, kā arī endotēlijam ir vielmaiņas funkcija – tas nodrošina pārējos radzenes slāņus ar barības vielām. Atsevišķas šūnas saplacinās laika gaitā un stabilizējas apmēram 4 μ biežumā - šāds endotēlija biežums raksturīgs, sasniedzot pilngadības vecumu.

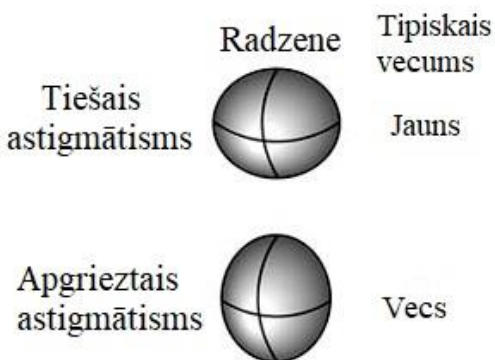
Endotēlija šūnas nedalās un neairojas dzīves laikā, tomēr cilvēki ir dzimuši ar ievērojamu endotēlija šūnu skaita rezervi. Šūnu blīvums dzimšanas brīdī ir aptuveni 3500 šūnas / mm², bet šis skaitlis pakāpeniski samazinās dzīves laikā - aptuveni 0,6% gadā. Ar endoteliālo šūnu skaitu zem 500 šūnām / mm² var būt radzenes tūskas attīstības risks.

Endotēlija šūnu morfoloģija (lielums un forma) korelē ar sūkņa funkciju. Endoteliālo šūnu palielinājums (polimegātisms) un endoteliālo šūnu formas dažādība (pleomorfisms) samazina radzenes caurspīdību (*Yanoff & Duker, 2018*).

1.5. Ar vecumu saistītās izmaiņas radzenes parametros

Radzenei novecojot, notiek dažādas izmaiņas tās struktūrās un parametros. Radzenes endotēlija šūnas ir svarīgas radzenes caurspīdīguma uzturēšanai, jo tās nodrošina barjeras funkciju un uzsūc ūdeni, kas var uzkrāties radzenes stomā no acs priekšējās kameras. Cilvēki piedzimst ar noteiktu skaitu radzenes endotēlija šūnu, un šis skaits pakāpeniski samazinās ar vecumu. Atlikušās endotēlija šūnas palielinās, lai segtu jau zaudēto endotēlija šūnu daudzumu ar novecošanu. Tā kā endoteliālās šūnas nedalās un nevairojas, šūnu zudums, ko izraisa vecums vai slimība, nevar tikt apturēts. Tā rezultātā šķidrums uzkrāšanās izraisa radzenes tūsku un radzenes caurspīdīguma zudumu. (Hashemian, et al., 2006) pierādīja, ka radzenes endotēlija šūnu blīvums samazināšanās notiek līdz 60 gadu vecumam, taču pašu atlikušo šūnu izmērs palielinās. Pagaidām vēl nav vienprātības zinātniekiem par to, vai radzenes endotēlijs un radzenes kopējais biezums ir savstarpēji atkarīgi viens no otra.

Cilvēka vecumam pieaugot, bieži novērojamas arī izmaiņas radzenes izliekumā dažādos meridiānos, kas izraisa arī izmaiņas acs refrakcijā. Vecākiem cilvēkiem parasti novēro apgriezto astigmātismu, bet jaunākiem tiešo astigmātismu. Tiešā astigmātisma gadījumā radzenes vertikālais meridiāns ir stiprāks un izliektāks nekā horizontālais meridiāns, tādēļ pacientiem ir grūti atšķirt mērķus ar horizontālām līnijām, piemēram, burtus, E vai F. Apgrieztā astigmātisma gadījumā horizontālais meridiāns ir stiprāks un izliektāks nekā vertikālais, tādēļ pacientiem ir grūti izšķirt vertikāli orientētus objektus (skat. 1.7. attēlu).



1.7.attēls. Radzenes astigmātisma veids atbilstoši cilvēka vecumam¹

¹ Riordan-Eva, P. (2002). *Chapter 20: Optics & Refraction*. Pieejams: http://www.oculist.net/others/ebook/generalophthal/server-java/arknoid/amed/vaughan/co_chapters/ch020/ch020_print_chapter.html

Tādēļ iestājoties presbiopijas vecumam un vispār cilvēkam novecojot, ir ieteikts īpaši sekot līdzi regulārām redzes pārbaudēm, kuras laikā tiek apskatītas arī acs struktūru stāvoklis un fiksētas izmaiņas, ja tādas ir. Citas radzenes pārmaiņas ietver radzenes caurspīdīguma un radzenes jutības samazināšanos (*Salvi, et al., 2006*).

1.5.1. Vecuma radītās izmaiņas radzenes biezumā

Daudzu pētījumu rezultāti par šo divu faktoru korelāciju ir dažāda. Daži pētījumu autori nenovēro nekādu korelāciju, vai novēro vāju korelāciju starp šiem parametriem, kamēr citi tomēr novēro radzenes biezuma samazināšanos, pieaugot vecumam. Vecuma ietekmi uz radzenes biezumu izmaiņām pētnieki skaidro dažādos veidos.

Atsaucoties uz teoriju, kas balstīta uz histoloģiskiem pētījumiem, vecāku cilvēku radzenes ir plānākas, jo samazinās keratocītu blīvums stromā un iespējams kolagēna šķiedru zudums, kā arī vecāki cilvēki tiešā nozīmē ilgāku laiku ir pakļauti ārējiem vides faktoriem, kas var ietekmēt radzenes struktūras (*Patel, et al., 2009*).

(*Galauskas, et al., 2014*) veica pētījumā 1650 dalībniekiem (vecumā no 18 – 89 gadiem) izmantojot ultraskaņas pahimetriju. Tika iegūta vāja korelācija starp centrālo radzenes biezumu un vecumu, norādot, ka vecākiem cilvēkiem novērojams plānāks radzenes biezums. Arī (*Lin, 2007*) izmantoja ultraskaņas pahimetrijas metodi radzenes centrālā biezuma mērīšanai un no veiktajiem mērījumiem arī secināja, ka vecumam pieaugot, radzenes biezums samazinās.

Viens no visplašāk šajā nozarē veiktajiem pētījumiem ar 5158 dalībniekiem, ko veica (*Prasad, et al., 2011*) parādīja, ka populācijas vidējais radzenes biezums ir aptuveni 544 μm un nenovēroja būtisku korelāciju ar vecumu, kā arī sfērisko ekvivalentu.

1.5.2. Citi radzenes biezuma ietekmējoši faktori

Pētījumi rāda, ka vidējās radzenes biezuma vērtības dažādās populācijās visā pasaulē ir atšķirīgas. Ir dati par atšķirībām centrālajā radzenes biezumā starp dažādām etniskām grupām. Vidējās radzenes biezuma vērtības kaukāziešu rases pārstāvjiem (*Nemesure, et al., 2003*) veiktajā pētījumā bija 545 μm, kā arī citos pieejamajos pētījumos šīs rases pārstāvjiem, populācijas vidējais radzenes biezums bija robežās no 520–579 μm. Savukārt pētījumi, kuros piedalījušies, piemēram, Amerikas āfrikāņi uzrādīja rezultātus, ka radzenes biezuma vērtības ir plānākas nekā kaukāziešiem (*La Rosa, et al., 2001*), bet mongoloidās rases pārstāvjiem – biezākas (*Foster, et al., 1998*).

Daži pieejamo pētījumu autori secina, ka radzenes biezumu būtiski ietekmē dzimums, kamēr citi šo sakarību noliedz. (*Cho & Lam, 1999*) pētījumā tika atrasta negatīva korelācija starp centrālo radzenes biezumu un vecumu sievietēm. Viņi secināja, ka lielais sieviešu un mazais vīriešu skaits vecāka gadagājuma cilvēku grupā noveda pie šādu rezultātu iegūšanas. Ja vīriešu un sieviešu skaits būtu bijis sabalansēts, iespējams būtu novērojama līdzīga tendence arī vīriešu dzimuma grupā.

Nav skaidras atbildes par to, kāpēc daudzos pētījumos ir iegūti rezultāti, ka sievietēm ir plānākas radzenes nekā vīriešiem. Iespējams, ka to var attiecināt uz hormonālām izmaiņām sievietes organismā. (*Goldich, et al., 2011*) veiktajā pētījumā tika pierādīts, ka radzenes biezums ir viszemākais sievietēm menstruālā cikla sākumā un visaugstākais beigās un ovulācijas laikā. Turklāt (*Keskin, et al., 2009*) secināja, ka radzenes biezums bija plānāks sievietēm pēc menopauzes periodā, nekā sievietēm, kurām vēl nav menopauze.

1.5.3. Radzenes epitēlija izmaiņas, pieaugot vecumam

Kā minēts 1.5.2. apakšnodaļā, daudzi demogrāfiskie un etniskie faktori ir saistīti ar radzenes biezumu, un šie faktori tāpat var ietekmēt arī radzenes epitēliju. Līdzīgi kā par radzenes biezumu, tā arī par epitēlija biezumu korelāciju ar vecumu ir atšķirīgi pētījuma rezultāti.

(*Yang, et al., 2014*) pētījumā veica radzenes epitēlija biezuma mērījumus 180 cilvēkiem, izmantojot acs priekšējā segmenta optiskās koherences tomogrāfiju. Iegūtie rezultāti parādīja, ka perifērajā daļā radzenes epitēlijs, īpaši nazālajā un temporālajā daļā, cilvēkam novecojot, kļūva plānāks, savukārt centrālais epitēlija biezums palika nemainīgs. (*Kim, et al, 2016*) veica līdzīgu pētījumu, ņemot vērā arī dalībnieku dzimumu, un ieguva rezultātus, ka centrālās, vidējās perifērijas un perifērijas radzenes epitēlija biezuma vērtības būtiski atšķirās starp vīriešiem un sievietēm. Pētījuma rezultāti rāda, ka augšējās (*superior*) un apakšējās (*inferior*) radzenes epitēlija biezuma atšķirības bija nozīmīgas visās vecuma un dzimuma grupās, taču nazālās un temporālās daļas atšķirības ne vienmēr bija statistiski nozīmīgas. Centrālo radzenes epitēlija biezumu mērījumos nebija statistiski nozīmīga atšķirība, salīdzinot visas vecuma grupas. Statistiski nozīmīga atšķirība radzenes epitēlija mērījumos, pieaugot dalībnieku vecumam grupās, bija tieši perifērajām un vidus perifērajām radzenes epitēlija zonām. Iegūtie rezultāti parādīja, ka vecumam pieaugot, šajās perifērajās zonās epitēlijs paliek plānāks.

Savukārt (*Kanellopoulos & Asimellis, 2013*) savā pētījumā veica radzenes epitēlija topogrāfisko karšu salīdzinājumu dažādās vecuma grupās, izmantojot acs priekšējā segmenta OCT dalībniekiem ar veselām radzenēm. Tika iegūti rezultāti, ka vecāka gada gājuma cilvēkiem

radzenes epitēlija topogrāfiskās kartes skaitliskās vērtības pieaug, respektīvi, epitēlija vērtības ir biežākas vecākiem dalībniekiem, nekā jaunākiem.

Kā vienu no iespējamajiem skaidrojumiem, kāpēc dažādos pētījumos tiek iegūti tik atšķirīgi rezultāti gan radzenes, gan radzenes epitēlija mērījumiem ir nekontrolētu traucējošu faktoru esamība, kas ietekmē radzenes biezumu vai pašus mērījumus, kuri nav fiksēti – iespējams, pētījumā piedalās dalībnieki ar 1.5.2. apakšnodaļā minēto citu faktoru ietekmi uz radzenes biezumu. Arī iespējams, ka nav veikta pilnīga dalībnieku atlase pēc kritērijiem, kas atbilst cilvēka veselai radzenei. Kā minēts iepriekš, tad vīriešiem bieži novērojamas biežākas radzenes nekā sievietēm – pie šāda rezultāta var novest arī neproporcionāls dalībnieku dzimuma sadalījums vecuma grupās (*Kim, et al., 2016*). Atšķirības pētījumos varētu būt saistītas arī ar citiem faktoriem, tostarp atšķirību instrumentu kalibrēšanā un mērījumu metodēs. Citos pētījumos ir pierādīta mērījumu atšķirība. Piemēram, (*Wells, et al., 2013*) ziņoja par atšķirību līdz pat 30 μm, veicot atkārtotus mērījumus, izmantojot dažādus instrumentus.

1.6. OCT pielietojums radzenes novērtēšanai

Priekšējā segmenta apskate ir viena no svarīgākajām lietām, kura jāprot veikt redzes aprūpes speciālistam. AS-OCT attēlveidošana ļauj optometriem dokumentēt izmaiņas priekšējās daļas anatomijā. Priekšējā segmenta, piemēram, priekšējās kameras kakta leņķa atvērums, varavīksnenes, lēcas, radzenes un konjunktīvas apskate sniedz būtiskus norādījumus par atbilstošiem klīniskiem terapeitiskajiem lēmumiem attiecīgos acs slimību gadījumos.

OCT veiksmīgi tiek pielietots bezkontakta radzenes biezuma noteikšanai, kas iekļauj informāciju arī par epitēlija biezumu un tiks izmantots arī šī darba pētnieciskajā daļā. Taču pētījumos ir pieejama informācija, ka OCT biezuma mērījumos tiek iekļauts arī asaru slānis, kas var variēt robežās no 2 – 7 μm (*Azartash, et al., 2011*).

1.6.1. Radzenes slimības

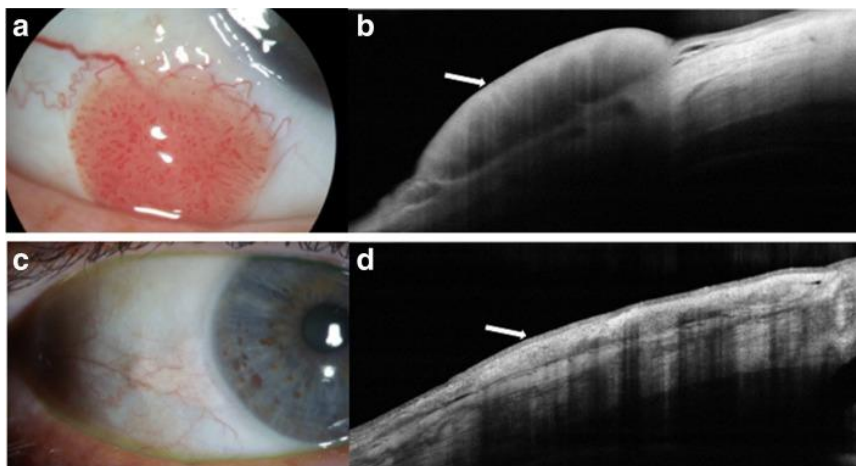
OCT ir sevišķi svarīga ķirurģiskās procedūrās (radzenes transplantācijas gadījumos, kataraktas operācijās, radzenes keratoplastikā - it īpaši pacientu uzraudzībai pēc operācijas). Parametri, kas tiek fiksēti un uzraudzīti ķirurģijas gadījumos: radzenes biezums, radzenes bojājumu dziļumu, ieskaitot distrofijas, radzenes iekaisuma pazīmes, nogulsnes radzenē u.c. (*Mittanamalli & Raul, 2018*).

AS-OCT var izmantot, lai attēlotu radzenes distrofiskās un deģeneratīvās saslimšanas un citās radzenes saslimšanas gadījumos kā, piemēram, keratokonus. Vidēji izteikta vai progresējoša keratokonusa klīniskā diagnoze nav tik sarežģīta raksturīgā topogrāfiskā modeļa un klasisko klīnisko pazīmju dēļ. Toties normāls labākais koriģētais redzes asums un minimālas keratokonusa klīniskās pazīmes var radīt sarežģījumus slimības agrīnai diagnostikai, tādēļ keratokonusa diagnoze, kas balstīta uz precīziem radzenes biezuma mērījumiem, ko nodrošina OCT, var sniegt būtisku informāciju (*Li, et al., 2006*).

OCT ir mikronu līmeņa augsta izšķirtspēja un var precīzi noteikt normālas, pēc operācijas, kā arī necaurredzamas radzenes biezumu, kas var palīdzēt tādos gadījumos kā radzenes mikrobu keratīts. Radzenes infiltrātu kā tas ir mikrobu keratīta gadījumā, kas bieži tiek novērota kā lielu gaismas atstarošanas radzenes stromā, var diagnosticēt ar AS-OCT. Atkārtotu AS-OCT attēlu iegūšana visā slimības gaitā var kontrolēt radzenes biezuma izmaiņas, jo īpaši radzenes biezuma izmaiņas pa apgabaliem un rētošanos, kas rezultēsies kā izteiktas stromas atstarojuma zonas (*Konstantopoulos, et al., 2008*).

1.6.2. Acs virsmas bojājumi

AS OCT ir palīdzējis ļaundabīgu konjunktīvas un radzenes patoloģiju diagnosticēšanā un ārstēšanā. Acs virsmas neoplāzija ir viena no tādām patoloģijām, kas ir diagnosticējamas ar AS-OCT. Klīniski tas var būt kā papilārs, želejveidīgs, necaurredzams bojājums. Iepriekš diagnoze tradicionāli tika veikta ar audu biopsiju un histopatoloģiskām analīzēm. Tomēr ar AS-OCT parādīšanos ir aprakstītas atšķirīgas diagnostikas īpašības, kas atvieglo diagnostiku ar neinvazīvu metodi. Acs virsmas neoplāzijai ir raksturīgs epitēlija bojājums. Pēc veiksmīgas diagnostikas un medicīniskās terapijas vai ķirurģiskas iejaukšanās var izārstēt šo bojājumu (1.8. att.) (Thomas, et al., 2014).



1.8.attēls. Spraugas lampas un OCT iegūtie attēli acs virsmas bojājuma gadījumā. a – spraugas lampas attēls pirms ārstēšanas, b – OCT attēls pirms ārstēšanas, c – spraugas lampas attēls pēc ārstēšanas, d – OCT attēls pēc ārstēšanas. (Thomas, et al., 2014)

Turklāt AS-OCT spēj diagnosticēt slimības, kas bieži vien netiek pareizi novērtētas ar spraugas lampas izmeklējumiem. AS-OCT kalpo kā spēcīgs palīgs neinvazīvai diagnostikai un to var izmantot, lai noteiktu nepieciešamību ārstēšanas uzsākšanai, kā arī slimības gaitas uzraudzībai.

2. PĒTĪJUMA DAĻA

2.1. Dalībnieki

Pētījumā piedalījās 111 dalībnieki, no kuriem tālākai datu analīzei tika izmantoti mērījumu rezultāti no 102 dalībniekiem. Visiem dalībniekiem tika veikta acs priekšējās daļas apskate ar biomikroskopa palīdzību, ko veica sertificēts optometrists, kā rezultātā no kopējā pētījuma dalībnieku skaita tika izslēgti dalībnieki ar neveselām radzenēm, piemēram, dalībnieki ar radzenes distrofijām, rētam, vai citām radzenes saslimšanām, kā arī dalībnieki pēc radzenes operācijām. Datu analīzei tika izslēgti arī nekvalitatīvi iegūti mērījumi dalībnieka acu mirkšķināšanas dēļ.

102 dalībniekiem ar veselām radzenēm radzenes biezuma mērījumi tika veikti 202 acīm, epitēlija biezuma mērījumi tika veikti 200 acīm. Šie dalībnieki tika sadalīti piecās vecuma grupās (skat. 2.1. tabulu).

2.1. tabula. Dalībnieku sadalījums un veikto mērījumu skaits pa grupām

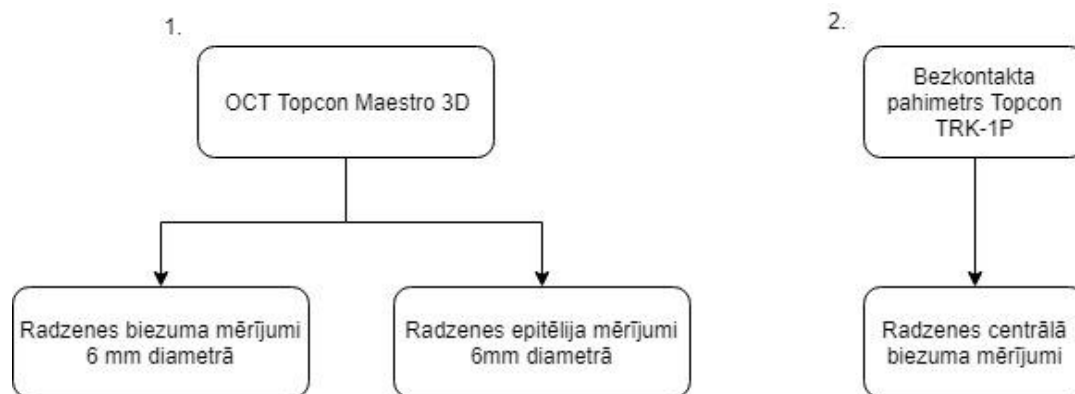
| | 1.grupa (<18 gadi) | 2.grupa (18-29gadi) | 3.grupa (30-44 gadi) | 4.grupa (45-59 gadi) | 5. grupa (>60 gadi) |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Dalībnieku skaits | 20 | 20 | 21 | 21 | 20 |
| Vidējais vecums (gadi) | 12 ± 4 | 21 ± 5 | 40 ± 4 | 51 ± 4 | 67 ± 5 |
| Veiktie mērījumi RT | 19 labās un 20 kreisās acis | 20 labās un 20 kreisās acis | 21 labā un 20 kreisās acis | 21 labā un 21 kreisā acs | 20 labās acis un 20 kreisās acis |
| Veiktie mērījumi ET | 19 labās un 20 kreisās acis | 20 labās un 20 kreisās acis | 21 labā un 20 kreisās acis | 20 labās un 20 kreisās acis | 21 labās acis un 20 kreisās acis |

2.2. Metodes apraksts

Dalībniekiem piecās vecuma grupās tika fiksētas radzenes biezuma un radzenes epitēlija biezuma vērtības. Pētījuma mērījumu veikšanai tika izmantoti divi instrumenti:

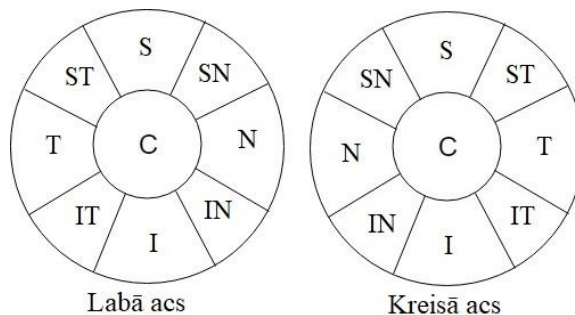
1. Optiskās koherences tomogrāfs Topcon Maestro 3D: 840 nm SLD, aksiālā izšķirtspēja 6 μm (digitālā izšķirtspēja 2,5 μm), laterālā izšķirtspēja 20 μm un skenēšanas ātrums 50 000 A-skenējumi/sekundē;
2. Bezkontakta optiskais pahimētrs Topcon TRK 1-P, mērījumu diapazons no 400 μm līdz 750 μm .

Atbilstoši pieejamiem instrumentiem visās vecuma grupās dalībnieku abām acīm tika reģistrēti sekojoši mērījumi (skat. 2.1. attēlu).



2.1.attēls. Veikto mērījumu veids atbilstoši pētījumā izmantotajiem instrumentiem

Radzenes biezuma (RT) un radzenes epitēlija biezuma (ET) vērtības ar OCT tika fiksētas sekojošos punktos 6 mm diametra laukumā: C (*central*), N (*nasal*), T (*temporal*), S (*superior*), I (*inferior*), IN (*inferio-nasal*), ST (*superio-temporal*) IT (*inferio-temporal*), IN (*inferio-nasal*). (skat. 2.2. attēlu).



2.2. attēls. Vizuāla interpretācija radzenes biezuma un radzenes epitēlija biezuma mērījumiem ar OCT 6 mm diametrā dažādos punktos

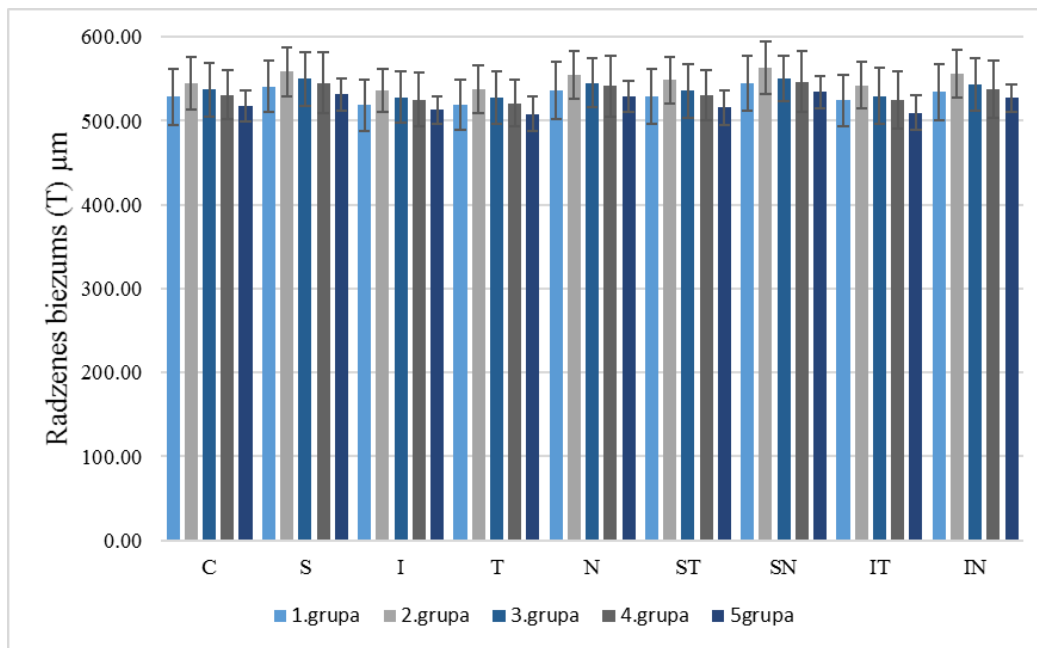
Katrs mērijums tika veikts trīs reizes. No katriem trīs mērijumiem katrai no acīm tika aprēķināta vidējā vērtība un standartnovirze visos punktos. Kā arī, lai analizētu datus tika noteikta katram dalībniekam RT_{vid} – radzenes biezuma vidējā vērtība no RT_C un $RT_{virzieni}$. Abas mērijumu metodes tika savstarpēji salīdzinātas.

Tika analizētas radzenes biezuma un radzenes epitēlija biezuma izmaiņas pa vecuma grupām.

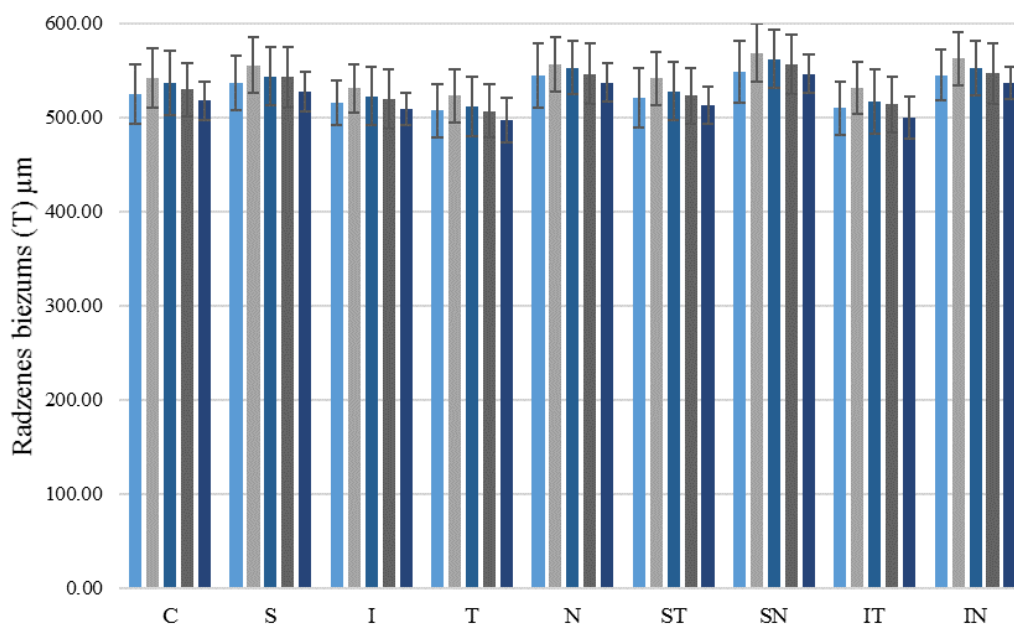
2.3. Rezultāti un to analīze

2.3.1. Radzenes biezuma mērijumi dažādās vecuma grupās

Ar OCT iegūtie radzenes biezuma (RT) mērijumu rezultāti skaitliskās vērtībās dažādās vietās piecās vecuma grupās labajai un kreisajai acij atspoguļoti attēlos 2.3. un 2.4.



2.3. attēls. LA RT sadalījums 6 mm diametrā pa vecuma grupām ar OCT dažādos virzienos.



2.4. attēls. KA RT sadalījums 6 mm diametrā pa vecuma grupām ar OCT dažādos virzienos.

Pirmkārt tika analizēts, vai radzenes biezums centrā RT C ir atšķirīgs no radzenes biezuma virzienā uz perifēriju RT_{virz.} Lai analizētu radzenes biezuma izmaiņas tika izmantota dispersijas analīze ANOVA. Tā kā tiek salīdzinātas RT C un RT_{virz.} vidējās vērtībās vienam dalībniekam, tad analīzei izmantoja ANOVA viena faktora metodi.

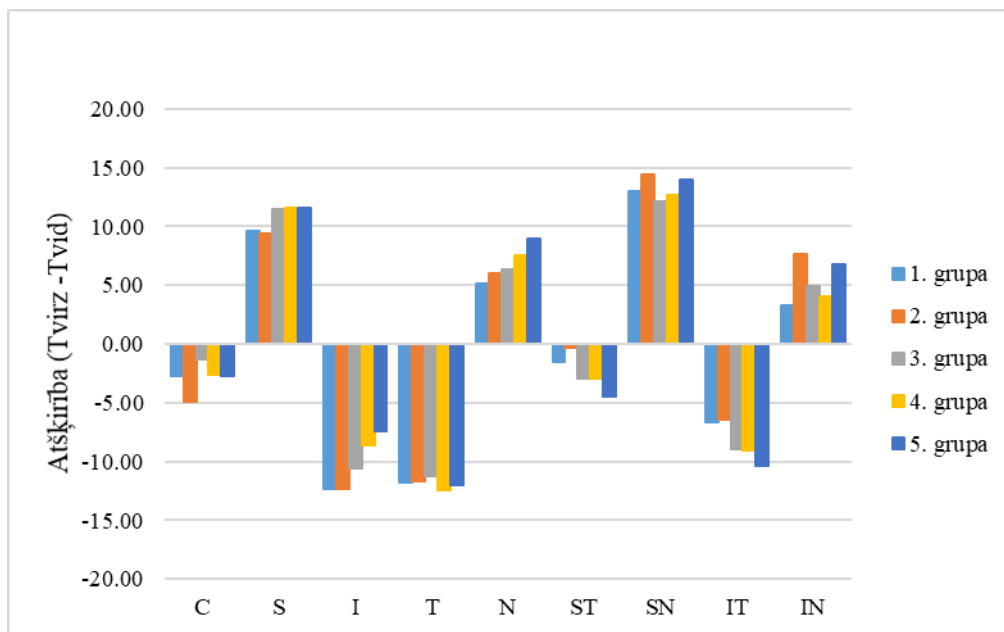
ANOVA viena faktora analīze visām grupām kopumā parādīja, ka LA un KA $F > F_{krit}$, līdz ar to nulles hipotēze tiek noraidīta. Secināts, ka vismaz vienas grupas kopas vidējās vērtības ir būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$). Tā kā ANOVA analīze neprāda tieši kurā vietā ir atšķirība, tad tika veikts t-Tests RT C un RT_{virz.} Tā kā tiek salīdzinātas RT C un RT_{virz.} vidējās vērtībās viena dalībnieka ietvaros, tad tika izmantots pāru t-Tests atkarīgām paraugkopām.

Pāru t-Tests visām grupām kopumā parādīja, ka:

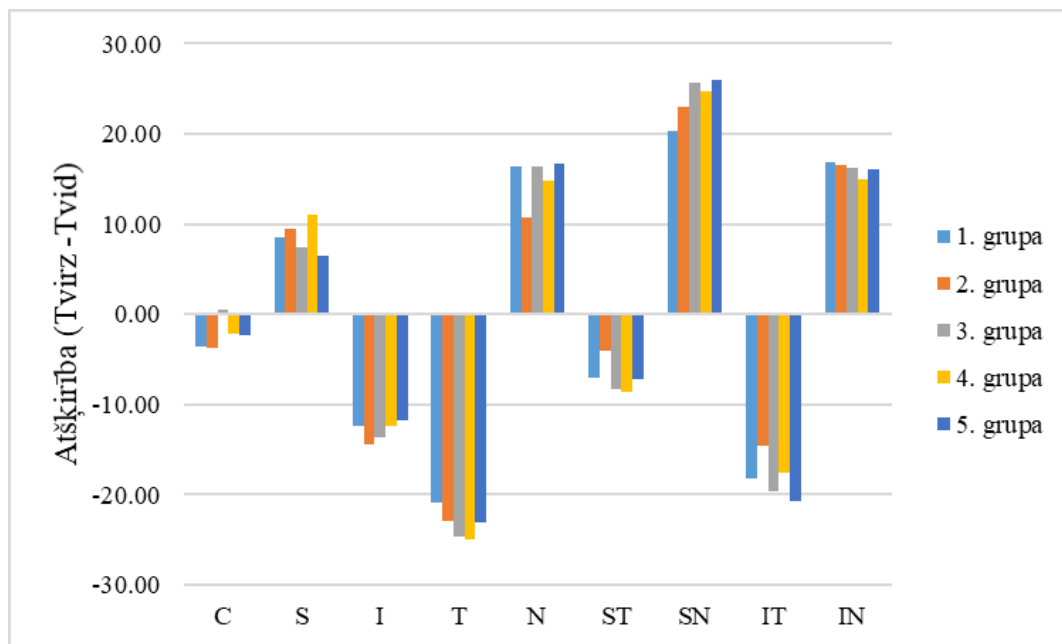
- LA nulles hipotēze ($H: -t_{krit} < t_{fakt} > t_{krit} \neq 0$) nevar tikt noraidīta radzenes biezuma vidējām vērtībām virzienos S, N, SN, IN. Šajos virzienos vidējās vērtības nav būtiski atšķirīgas no RT C vidējām vērtībām. Nulles hipotēze var tikt noraidīta RT vidējām vērtībām virzienos I, T, ST, IT. Šajos virzienos RT vidējās vērtības ir atšķirīgas no RT C vidējām vērtībām un atšķirība ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$), izņemot virzienu ST ($p > 0,05$).

- KA nulles hipotēze ($H: -t_{krit} < t_{fakt} > t_{krit} \neq 0$) nevar tikt noraidīta RT vidējām vērtībām virzienos S, N, SN, IN. Šajos virzienos vidējās vērtības nav būtiski atšķirīgas no RT C vidējām vērtībām. Nulles hipotēze var tikt noraidīta RT vidējām vērtībām virzienos I, T, ST, IT. Šajos virzienos RT vidējās vērtības ir atšķirīgas no RT C vidējām vērtībām un atšķirība ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$).

Lai varētu izanalizēt radzenes biezuma profilu (sabiezē vai plāninās dažādos virzienos), tika aprēķināta radzenes biezuma vidējā vērtība (RT_{vid}) katram dalībniekam, un noteikta atšķirība no vidējā biezuma radzenes centrā un dažādos virzienos ($RT C - RT_{vid}$, $RT_{virz.} - RT_{vid}$) (skat. 2.5.attēlu). Radzenes biezums centrā visās grupās bija nedaudz mazāks kā RT_{vid} . gan labajai, gan kreisajai acij. Saskaņā ar augstāk minēto datu analīzi (pāru t-Tests), atšķirība visos virzienos ir nozīmīga ($p < 0,05$).



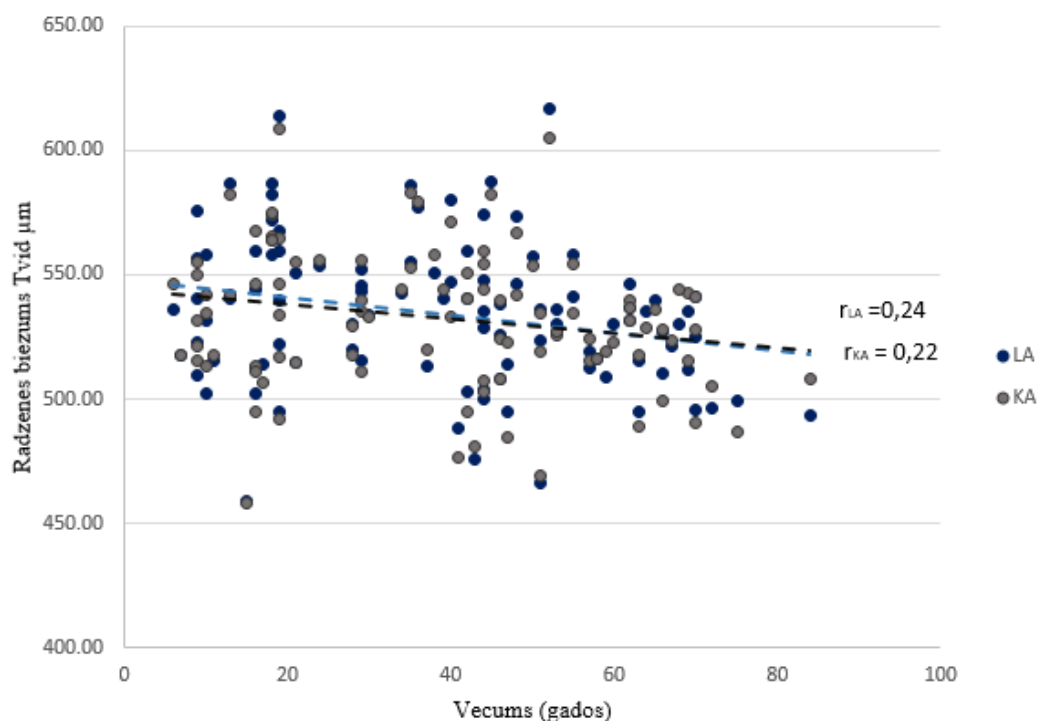
2.5.attēls. Labās acs radzenes biezuma $T_{virzieni}$ atšķirības no vidējā radzenes biezuma T_{vid} visā mērījumu diapazonā un sadalījumā pa dalībnieku grupām.



2.6. attēls. Kreisās acs radzenes biezuma $T_{virzieni}$ atšķirības no vidējā radzenes biezuma T_{vid} visā mērījumu diapazonā un sadalījumā pa dalībnieku grupām.

Apskatot 2.5. un 2.6. attēlu var redzēt, ka abām acīm radzenes biezums ir lielāks nazālajā pusē (virzienos N, S, SN, IN), bet mazāks temporālajā pusē (virzienos T, I, IT, ST).

Otrkārt tika analizēts, vai ir radzenes biezums mainās atkarībā no vecuma. Datu analīzei tika izmantota lineārā pāru regresijas metode. Determinācijas koeficients R^2 parāda cik procentuāli RT_{vid} izkliede (y ass) izskaidrojama ar vecuma lineāro ietekmi (x ass). Analīzes rezultāti abām acīm attēloti grafikā (2.7. attēls).



2.7.attēls. Radzenes vidējā biežuma T_{vid} un vecuma attiecība.

Labās acs regresijas koeficients ir 0,06 (6,00%) un kreisās acs regresijas koeficients ir 0,05 (4,60%). Korelācijas koeficients radzenes biežuma vidējām vērtībām T_{vid} un dalībnieku vecumam labai acij bija -0,24 un kreisai acij -0,22. Atbilstoši datu analīzei, redzams, ka radzenes biežumam T ir tendence samazināties, pieaugot dalībnieku vecumam.

Tika iegūti ļoti zemi regresijas koeficienti un zemi korelācijas koeficienti, bet korelācija ir statistiski nozīmīga. Datu analīzei tika izmantots biostatistikas korelācijas koeficienta noteiktā kritiskā vērtība $r = 0,165$, kas atbilst pie dalībnieku skaita $N = 100$ (Glantz, 1994).

Korelācijas koeficienti dalībnieku vecumam un RT_C , RT_{virz} tika aprēķināti abām acīm visos virzienos. Tie attēloti 2.1. tabulā.

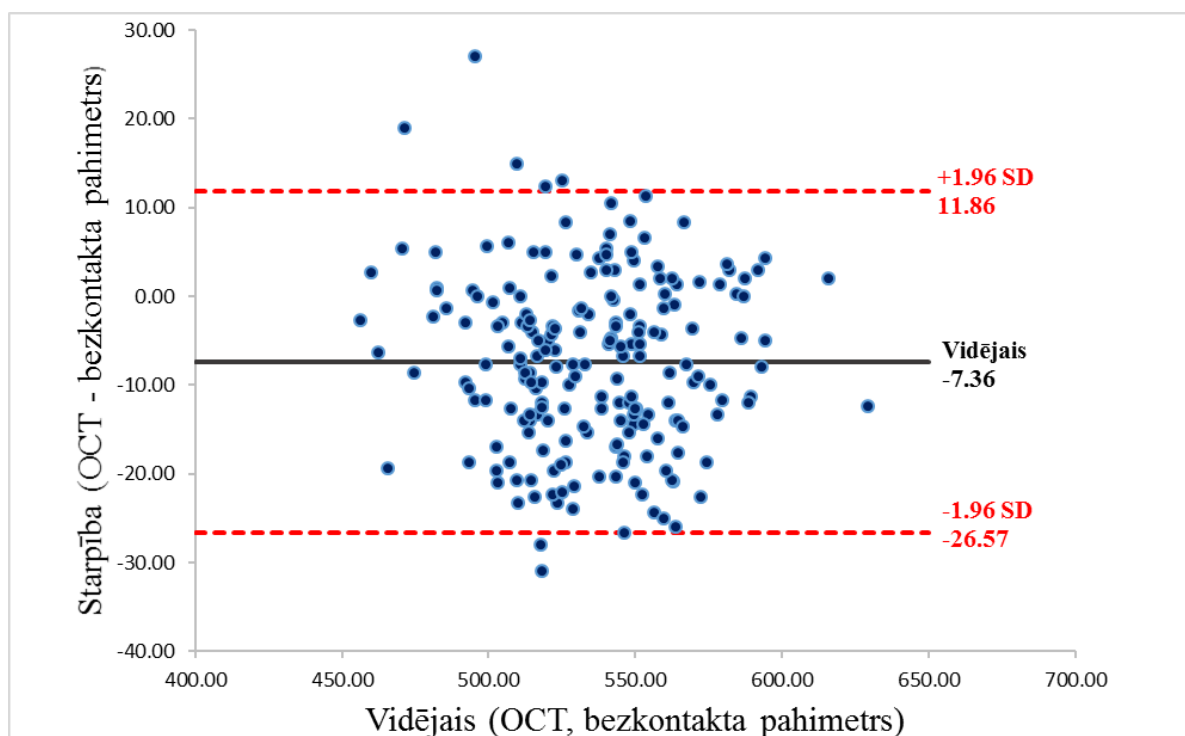
2.1.tabula. Korelācijas koeficienti dalībnieku vecumam un RT

| | T_{vid} | C | S | I | T | N | ST | SN | IT | IN |
|----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LA | -0,24 | -0,23 | -0,21 | -0,18 | -0,26 | -0,20 | -0,29 | -0,24 | -0,29 | -0,22 |
| KA | -0,22 | -0,18 | -0,22 | -0,20 | -0,24 | -0,17 | -0,24 | -0,13 | -0,25 | -0,21 |

2.3.1.1. OCT un bezkontakta optiskā pahimetra salīdzinājums

Mērījumu metožu salīdzināšanai tika izmantots *Bland-Altman* tests. *Bland-Altman* tests tiek izmantots, lai aprakstītu sakarību starp diviem kvantitatīviem mērījumiem, kas iegūti atšķirīgos veidos. Metode ir izveidota, lai kvantitatīvi noteiktu divu mērījumu sakarību, nosakot mērījumu diapozona robežlīnijas. Šīs robežlīnijas tiek aprēķinātas, izmantojot vidējo un standarta deviāciju starp diviem mērījumiem.

Iegūtais grafiks ir izkliedes punktu diagramma, kurā uz *y* ass attēlo starpību starp diviem pārī veiktajiem mērījumiem (A-B) (šajā pētījumā tā ir atšķirība starp OCT un bezkontakta pahimetriju) un *x* ass atspoguļo šo mērījumu vidējās vērtības $((A + B) / 2)$. Citiem vārdiem sakot, abu pāru mērījumu atšķirība ir attēlota pret abu mērījumu vidējām vērtībām. Horizontāla līnija tiek novilkta vidējai atšķirībai starp metodēm un tiek nodefinētas atbilstības robežlīnijas: $\pm 1,96$ reizināts ar standarta deviāciju starp abiem mērījumu metožu mērījumiem. (skat. 2.8. att.).

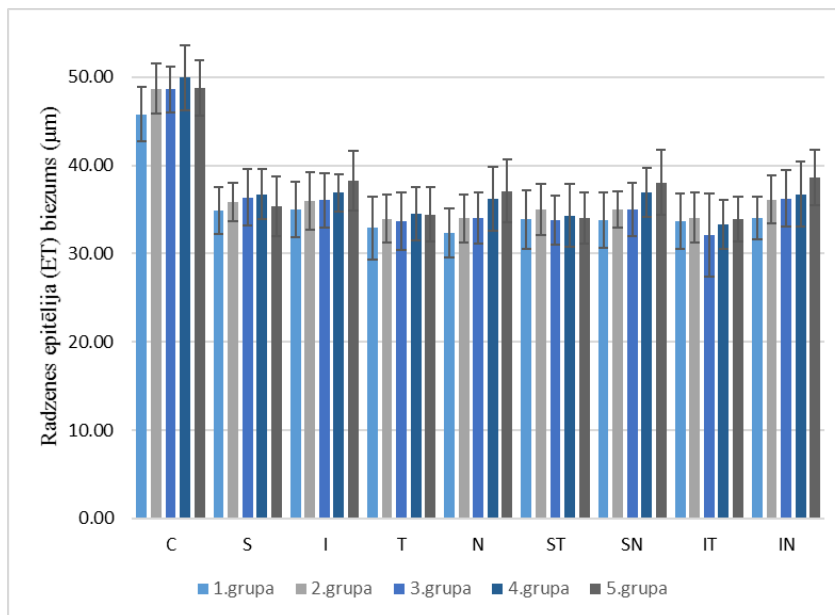


2.8.attēls. *Bland – Altman* apgabals. Radzenes centrālā biezuma (RT C) mērījumu metožu (OCT un bezkontakta pahimetra) salīdzinājums (kopā LA un KA).

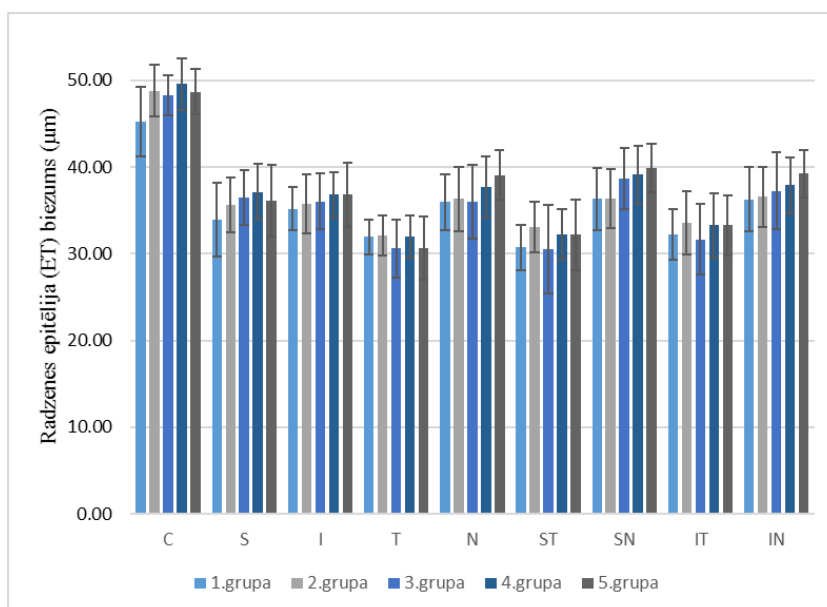
Abas mērījumu metodes ir salīdzināmas un principā aizvietojamas, jo lielākais īpatsvars no visu mērījumu kopējā skaita iekļaujas nodefinētajā atbilstības robežlīniju diapozonā.

2.3.2. Radzenes epitēlija biezuma mērījumi dažādās vecuma grupās ar OCT

Ar OCT iegūtie radzenes epitēlija biezuma mērījumu rezultāti skaitliskās vērtībās dažādās vietās piecās vecuma grupās labajai un kreisajai acij atspoguļoti grafiski 2.9. un 2.10. attēlā.

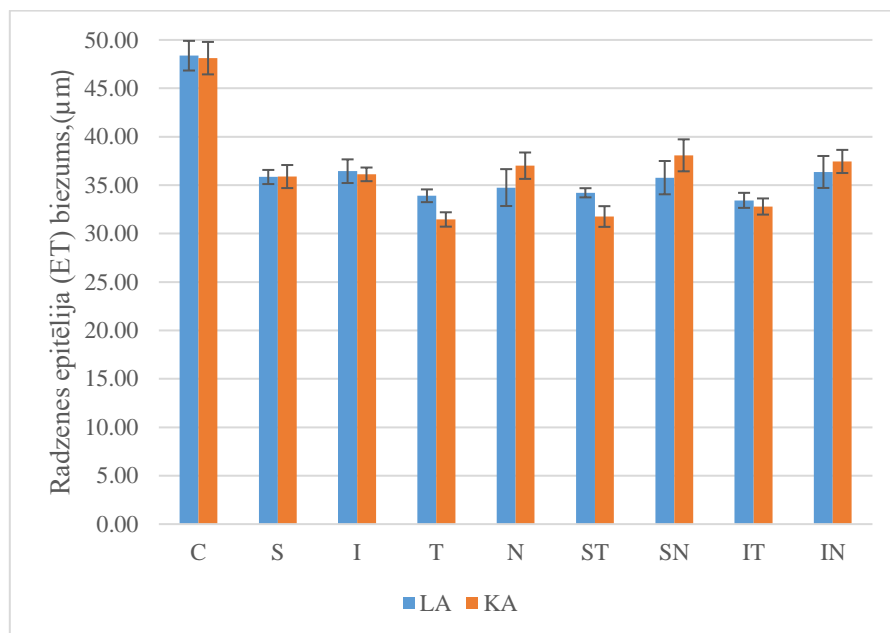


2.9. attēls. Labās acs radzenes epitēlija biezums dažādos virzienos pa vecuma grupām.



2.10. attēls. Kreisās acs radzenes epitēlija biezums dažādos virzienos pa vecuma grupām

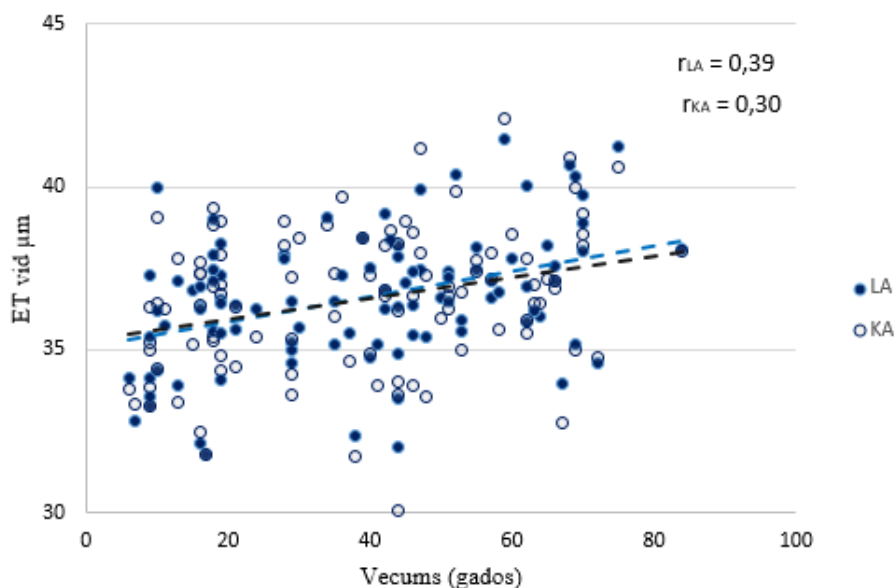
Apskatot 2.9. un 2.10. attēlu, var redzēt, ka radzenes epitēlija biezums ir biezāks centrā un plānāks virzienos S, I, T, N, ST, SN, IT, IN un atšķirība ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$) (pāru t-Tests).



2.11. attēls. Radzenes epitēlija biezuma vidējās vērtības (μm) visām vecuma grupām dažādos radzenes punktos 6 mm diametrā

Dispersijas analīze ANOVA (labai un kreisai acij) parādīja, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība starp radzenes epitēlija biezumu centrā un radzenes epitēlija biezumu pārējos punktos visās vecuma grupās ($p < 0,05$), kā arī ir statistiski nozīmīga atšķirība radzenes epitēlija biezuma mērījumiem atkarībā no dalībnieku vecuma.

Regresijas metode tika izmantota, lai analizētu epitēlija biezuma ET_{vid} izmaiņas attiecībā pret dalībnieku vecumu. Datu analīze parādīja, ka vidējais epitēlija biezums 6 mm diametrā ET_{vid} ir atkarīgs no dalībnieku vecuma, ET_{vid} ir tendence palielināties, pieaugot dalībnieku vecumam (skat. 2.12. attēlu).



2.12. attēls. Radzenes epitēlija vidējā biezuma (6 mm diametrā) ET_{vid} un dalībnieku vecuma attiecība

Kā redzams 2.12. attēlā, tad regresijas koeficienti ir ļoti zemi, labai acij regresijas koeficients bija 0,15 un korelācijas koeficients bija 0,39, kreisai acij regresijas koeficients ir 0,09 un korelācijas koeficients aprēķināts 0,30.

Apskatot 2.12. attēlu, redzams, ka radzenes epitēlija biezumam ir tendence palielināties, pieaugot dalībnieku vecumam.

Tika iegūti ļoti zemi regresijas koeficienti un zemi korelācijas koeficienti, bet korelācijas koeficienti labajai acij ir statistiski nozīmīgi virzienos I, N, SN, IN, kreisajai acij C, S, I, T, N, SN, IN. Labajai acij netika atrasta korelācija virzienos C, S, T, ST, IT, bet kreisajai acij virzienos ST un IT. Datu analīzei tika izmantots biostatistikas korelācijas koeficienta noteiktā kritiskā vērtība $r = 0,165$, kas atbilst pie dalībnieku skaita $N = 100$ (Glantz, 1994).

Korelācijas koeficienti abām acīm ET_{vid} , ET_{virz} un dalībnieku vecumam attēloti 2.2. tabulā.

2.2.tabula Korelācijas koeficienti dalībnieku vecumam un ET

| | ET_{vid} | C | S | I | T | N | ST | SN | IT | IN |
|----|------------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| LA | 0,39 | -0,12 | 0,12 | 0,32 | 0,14 | 0,44 | -0,05 | 0,47 | -0,05 | 0,42 |
| KA | 0,30 | 0,32 | 0,22 | 0,18 | -0,17 | 0,31 | 0,05 | 0,39 | 0,06 | 0,25 |

Kā redzams 2.2. tabulā, korelācijas koeficienti ir atšķirīgi abām acīm, kas liecina par to, ka epitēlija profila sadalījums ir nevienmērīgs.

SECINĀJUMI

1. Radzenes biezums ir atšķirīgs centrā un virzienā uz perifēriju visās vecuma grupās. Radzene ir biežāka nazālajā pusē (N, S, IN, SN) un plānāka temporālajā pusē (T, I, IT, ST).
2. Dalībnieku vecums ietekmē radzenes biezumu – vecumam pieaugot, radzenes biezums samazinās.
3. Radzenes biezuma mērījumu metodes (OCT un bezkontakta optiskā pahimetrija) ir salīdzināmas.
4. Radzenes epitēlija biezums centrā ir būtiski atšķirīgs no epitēlija biezuma visos virzienos uz perifēriju visās vecuma grupās gan labai, gan kreisai acij. Radzenes epitēlija biezums ir biežāks centrā un plānāks visos virzienos S, I, T, N, ST, SN, IT, IN. Atšķirība ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$).
5. Dalībnieku vecums ietekmē radzenes epitēlija biezumu – vecumam pieaugot, radzenes epitēlija biezums palielinās.

NOBEIGUMS

Pētījuma veikšanā bija daži ierobežojumi. Kā tika minēts literatūras pārskatā, tad OCT biežuma mērījumos iekļauj arī asaru plēvītes slāni, kas netiek skaitīts kā daļa no radzenes. Šāds ierobežojums varēja uzrādīt nepatiesas radzenes biežuma vērtības. Lai veiksmīgi veiktu mērījumus ir nepieciešama laba komunikācija, dalībnieku ir jāinstruē nemirkšināt acis, kamēr notiek mērījums. Dažkārt tika iegūti nekvalitatīvi mērījumi pacienta pārlietu mirkšķināšanas dēļ – tādus gadījumos bija nepieciešams iepilināt acs mitrinošo pilienu, kas nodrošina gan pacienta komfortu, gan labāku OCT skenējuma kvalitāti. Tika izmantoti *Hylo Care* acs mitrinošie pilieni.

Pētījuma mērķis un uzdevumi tika izpildīti. Pirmā izvirzītā hipotēze neapstiprinājās, jo pētījuma iegūtie rezultāti parādīja, ka, vecumam pieaugot, radzenes kopējais biežums samazinās, kas saskan ar dažu no literatūras pārskatā minētajiem pētījumiem.

Otrā izvirzītā hipotēze apstiprinājās, jo pētījuma iegūtie rezultāti parādīja, ka radzenes epitēlijs kļūst biežāks un neregulārāks – dalībnieku vecuma un epitēlija biežuma koreālcijas koeficienti dažādos virzienos bija ļoti atšķirīgi.

Pētījumu vajadzētu turpināt un veiksmīgākai pētījuma izstrādei, būtu nepieciešams lielāks dalībnieku skaits un būtu vērtīgi sadalīt dalībniekus ne tikai pēc vecuma, bet arī pēc dzimuma un etniskās piederības.

PATEICĪBAS

Bakalaura darbs tapis Erasmus+ prakses ietvaros, tāpēc izsaku lielu paldies atlas komisijai par iespēju doties izstrādāt darba pētniecisko daļu Norvēģijā, uzņēmumā Istad Ur & Optikk AS. Paldies visiem pasniedzējiem, kas bija iesaistīti un ļoti atsaucīgi, lai es varētu laicīgi sakārtot nepieciešamās formalitātes, lai dotos uz praksi. Liels paldies uzņēmuma puses vadītājam par tehnisko nodrošinājumu un darbiniekiem par laipno uzņemšanu, piedalīšanos pētījumā un pēdējo vajadzīgo dalībnieku atrašanu.

Vislielākais paldies, protams, manai bakalaura darba vadītājai M.Sc. Inesei Petrovičai par uzņemšanu, sniegto palīdzību, atsaucību, vērtīgiem padomiem un paskaidrojumiem visā bakalaura darba tapšanas laikā. Paldies Dr.phys. Aigai Švedei par sniegtajiem padomiem veiksmīgai bakalaura darba strukturēšanai un datu analīzes ieteikumiem.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

- Agarwal, A., Agarwal, S., Apins, N., Avalos-Urzu, G., Belleza, G., Belin, M. W., Zornek, J. (2006). *Corneal topography in the wavefront era*. (M. Wang, Ed.) Nashville: SLACK incorporated.
- Azartash, K., Kwan, J., Paugh, J., Nguyen, A., Jester, J., & Gratton, E. (2011). Pre-corneal tear film thickness in humans measured with a novel technique. *Mol Vis*, 17, 756-767.
- Cho, P., & Lam, C. (1999). Factors affecting the central corneal thickness of Hong Kong-Chinese. *Curr Eye Res*, 18, 368–374.
- Dohlman, C. H. (1971). The function of the corneal epithelium in health and disease. *Investigative ophthalmology and vision science*, 10(6), 387-402.
- Foster, P. J., Alsbirk, P. H., Munkhbayar, D., & Uranchimeg, D. J. (1998). Central corneal thickness and intraocular pressure in a Mongolian population. *Ophthalmology*, 105(6), 969-973.
- Galauskas, S., Juodkaite, G., & Tutkuvienė, J. (2014). Age-related changes in central corneal thickness in normal eyes among the adult Lithuanian population. *Clinical investigations in aging*, 9, 1145-1551.
- Glantz, S. A. (1994). *Primer of biostatistics*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Goldich, Y., Barkana, Y., & Pras, E. (2011). Variations in corneal biomechanical parameters and central corneal thickness during the menstrual cycle. *J Cataract Refract Surg*, 37(8), 1507–1511.
- Hashemian, M. N., Moghimi, S., Fard, M. A., Fallah, M. R., & Mansouri, M. R. (2006). Corneal endothelial cell density and morphology in normal Iranian eyes. *BMC Ophthalmol*, 6, 9-10.
- Huang, D., Swanson, E. A., Lin, P. C., Schuman, S. J., Stinson, G. W., Chang, W., . . . Fujimoto, G. J. (1991). Optical coherence tomography. *Science*, 254(5035), 1178-1181.
- Iyamu, E., & Osuobeni, E. (2012). Age, gender, corneal diameter, corneal curvature and central thickness in Nigerians with normal intra ocular pressure. *J Optom*, 5, 87-97.
- Izatt, J. A., & Choma, M. A. (2008). *Theory of Optical Coherence Tomography*. (W. Drexler, & J. G. Fujimoto, Eds.) Springer, Berlin, Heidelberg.

- Izatt, J. A., Hee, M. R., Swanson, E. A., Lin, C. P., D, H., Schuman, J. S., . . . Fujimoto, J. G. (1994). Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*, *112*(12), 1584-1589.
- Kanellopoulos, A. J., & Asimellis, G. (2013). In vivo three-dimensional corneal epithelium imaging in normal eyes by anterior-segment optical coherence tomography: A clinical reference study. *Cornea*, *32*(11).
- Keskin, N., Canturk, S., Aydin, S., Saygili, H., & Ozgün, C. (2009). An objective method to determine corneal changes during menopause. *Clin Exp Obstet Gynecol*, *36*(8), 176-178.
- Kim, B. J., Ryu, I.-H., & Kim, S. W. (2016). Age-related differences in corneal epithelial thickness measurements with anterior segment optical coherence tomography. *Journal of ophthalmology*, *60*(5), 357-364.
- Konstantopoulus, A., Kuo, J., Anderson, D., & Hossain, P. (2008). Assessment of the use of anterior segment optical coherence tomography in microbial keratitis. *Am J Ophthalm*, *146*(4), 534-542.
- La Rosa, F. A., Gross, R. L., & Orengo-Nania, S. (2001). Central corneal thickness of Caucasians and African Americans in glaucomatous and non glaucomatous populations. *Arch Ophthalmol*, *119*(1), 23-27.
- Laganovska, G. (Ed.). (2008). *Acu slimības*. Rīga, Latvija: SIA "Nacionālais apgāds".
- Li, Y., Shekhar, R., & Huang, D. (2006). Corneal pachymetry mapping with high speed optical coherence tomography. *Ophthalmology*, *113*(5), 792-799.
- Lin, N. (2007). Central corneal thickness (CCT) decreases with age. *Investigative Ophthalmology & Vision Science*, *48*(13), 4332.
- Marschall, S., Sander, B., Mogensen, M., Jørgensen, T. M., & Andersen, P. E. (2011). Optical coherence tomography - current technology and applications in clinical and biomedical research. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *400*(9), 2699-2720.
- Mercieca, K., Odogu, V., Fiebai, B., Arowolo, O., & Chukwuka, F. (2007). Comparing central corneal thickness in sub-Saharan cohort to African Americans and Afro Carribeans. *Cornea*, *26*(5), 557-560.

- Mittanamalli, S. S., & Raul, M. (2018). Anterior segment optical coherence tomography for evaluation of cornea and ocular surface. *Indian journal of ophthalmology*, 66(3), 367-372.
- Namba, H., Sugano, A., Nishi, K., Murakami, T., Nishitsuka, K., Konta, T., . . . Yamashita, H. (2018). Age-related variations in corneal geometry and their association with astigmatism The Yamagata Study (Funagata). *Medicine*(97:43(e12894)), 1-6. doi:10.1097/MD.00000000000012894
- Nemesure, B., Wu, S., Hennis, A., & Leske, C. (2003). Corneal thickness and intraocular pressure in the Barbados eye studies. *Arch Ophthalmol*, 121(2), 240-244.
- Patel, H. Y., Patel, D. V., & McGhee, C. N. (2009). Identifying relationships between tomography-derived corneal thickness, curvature, and diameter and in vivo confocal microscopic assessment of the endothelium in healthy corneas of young adults. *Eye*, 23(2), 270-278.
- Popescu, D. P., Choo-Smith, L. P., Flueraru, C., Mao, Y., Chang, S., Disano, J., . . . Sow, G. M. (2011). Optical coherence tomography: fundamental principles, instrumental designs and biomedical applications. *Biophysical reviews*, 3(3), 155-169.
- Prasad, A., Fry, K., & Hersh, P. S. (2011). Relationship of age and refraction to central corneal thickness. *Cornea*, 30(5), 553-555.
- Radhakrishnan, S., Rollins, A. M., Yazdanfar, S., Westphal, V., Bardenstein, D. S., & Izzat, A. J. (2001). Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310nm. *Arch Ophthalmol*, 119(8), 1179-1185.
- Salvi, S. M., Akhtar, S., & Currie, Z. (2006). Ageing changes in eye. *Postgraduate Medical Journal*, 82(971), 581-587.
- Serruys, W., Hector, M.-G., & Regar, E. (2007). From Postmortem Characterization to the In Vivo Detection of Thin-Capped Fibroatheromas: The Missing Link Toward Percutaneous Treatment. *Journal of the American College of Cardiology*, 50(10), 950-951.
- Stamper, D., Weissman, J., & Berzinski, M. (2006). Plaque Characterization With Optical Coherence Tomography. *Journal of the American College of Cardiology*, 47(8), 69-70.
- Thomas, J. B., Galor, A., Nanji, A. A., Sayyad, A. F., Wang, J., Dubovy, R. S., . . . Karp, L. K. (2014). Ultra high-resolution anterior segment optical coherence tomography in the

- diagnosis and management of ocular surface squamous neoplasia. *Ocular surface*, 12(1), 46-58.
- Wells, M., Wu, N., Kokkinakis, J., & Sutton, G. (2013). Correlation of central corneal thickness measurements using Topcon TRK-1P, Zeiss Visante AS-OCT and DGH Pachmate 55 handheld ultrasonic pachymeter. *Clin Exp Optom*, 96, 385-387.
- Werkmeister, M. R., Sapeta, S., Schmidl, D., Garhofer, G., Schmidinger, G., Santos, D., . . . Shcmetterer, L. (2017). Ultrahigh-resolution OCT imaging of the cornea. *Biomedical Optics Express*, 8(2), 1228.
- Yang, Y., Hong, J., Deng, S. X., & Xu, J. (2014). Age-related changes in human corneal epithelial thickness measured with anterior segment optical coherence tomography. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 55(8), 5032-5038.
- Yanoff, M., & Duker, J. S. (2018). *Ophthalmology* (5th ed.). (J. J. Augsburger, J. J. Dutton, S. E. Rosen, T. D. Azar, H. M. Goldstein, A. A. Sadun, . . . L. J. Wiggs, Eds.) Elsevier Book Aid International.
- Zhang, L., Anderson, C. M., & Liu, C. Y. (2017). The role of corneal stroma: A potential nutritional source for the cornea. *Journal of nature and science*, 3(8), 428.

Bakalaura darbs “Optiskās koherenes tomogrāfijas pielietojums radzenes parametru novērtēšanā” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un izsniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors:

Aija Tolstoja

Stud.apl.nr. at16044

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: M.Sc. Inese Petroviča

Recenzents: Prof.mag. Zane Jansone

Darbs iesniegts optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. Protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____