

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

**AUGSTĀKO KĀRTU ABERĀCIJAS DAŽĀDĀS  
KERATOKONUSA PAKĀPĒS**

BAKALaura DARBS

Autors: **Anete Kancāne - Zustere**

Studenta apl.nr. ak11205

Darba vadītāja: doktorante, Prof. mag. Sanita Līduma

RĪGA 2019

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs uzrakstīts latviešu valodā uz 32 lapaspusēm. Tas satur 17 attēlus, 4 tabulas un 39 atsauces uz literatūras avotiem.

**Darba mērķis:** noskaidrot, kuras augstākās kārtas aberācijas keratokonusa pacientiem tiek ietekmētas un vai dažādās keratokonusa pakāpēs ir atšķirības aberāciju lielumā.

**Dalībnieki:** 206 dalībnieki vecumā no 20 līdz 45 gadiem, ar un bez diagnosticēta keratokonusa.

**Metode:** Ar datorizētu topogrāfu iegūti radzenes dati un aberāciju lielumi, kas salīdzināti ar kontroles grupas rezultātiem.

**Rezultāti:** Augstākās kārtas aberācijas keratokonusa gadījumā un tā pakāpēs mainās, dominējot vertikālajai komai. Redzes asums vāji korelē ar aberāciju lielumu.

**Atslēgvārdi:** Keratokonuss, augstākās kārtas aberācijas, vertikālā koma, redzes asums

## **ABSTRACT**

The bachelor paper is written in latvian on 32 pages. It contains 17 pictures, 4 tables and 39 references.

**Purpose:** Determine which higher – order aberrations in keratoconus patients are affected and are there any differences of magnitude of aberrations in different stages of keratoconus.

**Subjects:** 206 participants, 20 to 45 years old, with and without diagnosed keratoconus.

**Method:** With computerized topographer obtained corneal measurements and the magnitude of aberrations, and compared with results from control group.

**Results:** Higher - order aberrations in keratoconus and its stages changes, dominating vertical coma. The vision acuity has weak correlation with aberrations.

**Key words:** Keratoconus, higher – order aberrations, vertical coma, vision acuity

# SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	2
1.1. Keratokonuss	2
1.1.1. Keratokonusa etioloģija un patoloģija	2
1.1.2. Keratokonusam raksturīgās pazīmes un diagnostika	3
1.1.3. Keratokonusa klasifikācija	5
1.1.4. Keratokonusa ārstēšanas iespējas	8
1.2. Aberācijas cilvēka acī	9
1.2.1. Aberāciju klasificēšana	10
1.2.2. Augstāko kārtu aberācijas radzenēs ar un bez keratokonusa	12
2. PĒTĪJUMA DAĻA	14
2.1. Pētījuma dalībnieki	14
2.2. Metodika	14
2.3. Rezultāti un to analīze	16
2.3.1. Kontroles un keratokonusa grupu salīdzinājums	16
2.3.2. Augstāko kārtu aberāciju salīdzinājums 6 un 8 mm lielos radzenes apgabalos	19
2.3.3. Vertikālās komas salīdzinājums	20
2.3.4. Sfērisko aberāciju salīdzinājums	22
2.3.5. Horizontālās komas salīdzinājums	25
2.3.6. Vertikālās sekundārās komas salīdzinājums	27
2.3.7. Vertikālā sekundārā astigmātisma salīdzinājums	29
2.3.8. Korelācija starp radzenes vidējo optisko stiprumu, augstākās kārtas aberācijām un redzes asumu keratokonusa grupā	31
SECINĀJUMI	33
NOBEIGUMS	34
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	35

## IEVADS

Keratokonuss ir viena no izplatītākajām acs radzenes deģeneratīvajām slimībām, kas izpaužas kā radzenes formas izmaiņas, tāpēc pakāpeniski pasliktinās redze, parasti abās acīs. Šī slimība ir bīstama, jo neārstēta var radīt redzes zudumu, bet neizteikto simptomu dēļ agrīnajā slimības stadijā pacienti pie ārsta vēršas novēloti. Arī pārbaudēs agrīnās stadijās ir salīdzinoši grūtāk atklāt iespējamo slimību.

Izmainītās radzenes dēļ keratokonusam raksturīgas augstāko kārtu aberācijas, kas ietekmē redzes kvalitāti. Pretēji, cilvēkiem ar radzenēm bez patoloģijas parasti raksturīgas zemākas kārtas aberācijas. Keratokonusam raksturīgākās augstākās kārtas aberācijas ir komas. Šādu aberāciju diagnosticēšana var palīdzēt noteikt slimību tās agrīnajās stadijās, laicīgāk uzsākot ārstēšanu, kā arī var palīdzēt keratokonusa pakāpju klasificēšanai.

Šī darba mērķis ir noskaidrot, kuras augstākās kārtas aberācijas keratokonusa pacientiem tiek ietekmētas un vai dažādās keratokonusa pakāpēs ir atšķirības aberāciju lielumā. Mērķa izpildei izvirzīti šādi darba uzdevumi:

1. izanalizēt pacientu topogrāfijas datus, nolasīt augstākās kārtas aberācijas lielumus,
2. noskaidrot, kuras ir dominējošās augstākās kārtas aberācijas pacientiem ar keratokonusu, salīdzinot ar kontroles grupas pacientiem,
3. noskaidrot, vai dominējošo augstākās kārtas aberāciju lielumi atšķiras dažādās keratokonusa stadijās un aberācijas ir izmantojamas keratokonusa diagnostikā.

Darba hipotēze – keratokonusa pacientiem esošo aberāciju lielums palielinās, pieaugot slimības smaguma pakāpei.

Mērījumi pētījumam tika iegūti no pacientu radzenes topogrāfijas datiem, kas iegūti ar *Allegro Oculyzer* topogrāfu. Pētījuma dalībnieki, abu dzimumu pacienti vecumā no 20 līdz 45 gadiem, sadalīti divās grupās: keratokonusa pacientu grupa un kontroles grupa ar radzenēm bez patoloģijas, katrā 103 dalībnieki. Mērījumi veikti abu grupu dalībniekiem, topogrāfijā iegūstot aberāciju lielumus. Pacienti pēc rezultātiem tika iedalīti kategorijās, analizējot, kuras aberācijas dažādās pakāpēs atšķiras, kuras nē. Tāpat izvērtēti aberāciju lielumi atkarībā no keratokonusa novietojuma un aberāciju korelācija ar redzes asumu. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar kontroles grupas rezultātiem.

## 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

Cilvēka acī bez patoloģijas pazīmēm ir raksturīgas zemas pakāpes aberācijas, kā defokuss un astigmātisms – attēla kropļojumi, kas ietekmē redzes funkciju kvalitāti. Ja to radītās izmaiņas rada diskomfortu un ietekmē dzīves kvalitāti, zemākās kārtas aberācijas iespējams koriģēt ar dažādiem līdzekļiem, kā briļļu korekciju un kontaktlēcām. Augstākās kārtas aberācijas izpaužas cilvēkiem ar izmaiņām radzenē, kā dēļ attēls uz tīklenes ir tik stipri deformēts, ka tas nopietni ietekmē cilvēka redzes kvalitāti. Zemākās augstākās kārtas aberācijas var koriģēt ar refraktīvās ķirurģijas palīdzību, taču bieži vien tā tiek palielinātas augstākās kārtas aberācijas (*Liang & Williams, 1997*).

Dažādu radzenes distrofiju ietekmē kā keratokonus un keratoglobuss, mainoties radzenes parametriem – biezumam un formai, mainās arī tās spēja lauzt gaismas starus tā, lai uz tīklenes esošais attēls būtu skaidrs un saprotams. Keratokonus ir radzenes formas izmaiņu izraisīta patoloģija, kā rezultātā mainās arī cilvēka acs refraktīvās spējas. Keratokonusam raksturīgas augstāko kārtu aberācijas.

### 1.1. Keratokonus

#### 1.1.1. Keratokonusa etioloģija un patoloģija

Keratokonus ir radzenes distrofijas veids, ko izraisa tās novājināšanās. Iemesli tam vēl aizvien nav konkrēti noskaidroti, taču ir zināms, ka izmaiņas bioķīmijas procesi radzenē, padarot radzenes šķiedras vieglāk deformējamās. Novājinātā radzene kļūst mīkstāka un vairs nespēj noturēt acs iekšējo spiedienu, kas deformē radzenes formu (*Meek et al., 2005*). Keratokonusam raksturīga radzenes centrālās daļas plānināšanās, tās formai mainoties no kupolveidīgas uz konusveidīgu. Keratokonus parasti skar abas acis, bet visbiežāk tas ir asimetrisks, jo sākotnēji parādās vienā acī un tikai vēlāk otrā, kā dēļ acīs var būt dažādu smaguma pakāpju keratokonus. Tas ir lēni progresējošs un noris bez iekaisuma (*Ou & Ta, 2008*).

Keratokonus pirmo reizi aprakstīts 19. gadsimta vidū un tiek uzskatīts par vienu no visbiežāk sastopamajām radzenes distrofijām. Tas attīstās visu rasu un dzimumu pārstāvjiem, ar nelielu pārsvaru sievietes vidū (*Levin & Albert, 2010*). Keratokonus parasti sāk izpausties pusaudžu gados, kad radzene sāk plānināties un izvelvēties, tas noved pie iregulāra astigmātisma. Process parasti turpina progresēt līdz 30 – 40 gadu vecumam, kad tas apstājas.

Keratokonus visbiežāk skar aptuveni 2/3 radzenes, tas parasti izvietojas zem radzenes centrālās daļas. Sākotnēji pacientam ir vai nu sfēriska radzene, vai regulārs radzenes astigmātisms. Progresijas gaitā koniskā izvirzījuma rajonā var parādīties rētas un krokas. Tas rada lielas refraktīvā stipruma atšķirības radzenē dažādos virzienos, var izpausties augsts iregulārais astigmātisms (*Krachmer et al., 1984*). Tā kā progresijas ātrums var būt dažāds, slimības smaguma pakāpe, tai apstājoties progresijā, var svārstīties no

viegla iregulāra astigmātisma līdz smagam stāvoklim ar ļoti plānu radzeni, konusveida izvirzījumu un rētošanos.

Iemesli, kādēļ rodas keratokonuss, vēl aizvien nav pilnībā izpēti, taču tiek pieļauts, ka gan ģenētiskie, gan vides faktori ietekmē keratokonusa veidošanos. Pirmreizējo slimības cēloni izzināt ir sarežģīti, jo bieži vien pacienti pie speciālista vēršas tad, kad radzenē jau ir sākušas notikt nopietnas izmaiņas. Iedzimtības faktors keratokonusa izcelsmē nav apstiprināts, jo lielākajā daļā slimības gadījumu keratokonuss neparādās ģimenes anamnēzē. Tiek uzskatīts, ka iespēja keratokonusam iedzimt ir mazāka par 10 % (*Krachmer et al.*, 1984). Pārējos gadījumos, kad keratokonuss izpaužas vairāk nekā vienam ģimenes loceklim, iemesls, visticamāk, ir ar vidi vai ieradumiem saistīts. Ir zināmi faktori, kas var veicināt keratokonusa veidošanos, piemēram, ilgstoša nepareizu kontaktlēcņu lietošana un acu berzēšana (*Bawazeer*, 2000). Tāpēc slimības gadījumos ne vienmēr iespējams izsvērt, vai tā radusies iedzimtības vai, piemēram, ilgstošas nepareizu kontaktlēcņu nēsāšanas, vai abu iemeslu dēļ, ja konstatēts, ka pacients lēcas ilgstoši lietojis.

Iespējams, vides ietekme uz keratokonusa veidošanos ir nozīmīgāka, nekā iedzimtības faktors. Keratokonuss vairāk raksturīgāks sausam un aukstam klimatam. Tāpat sava loma keratokonusa etioloģijā varētu būt ultravioletās gaismas radītā reaktīvā skābekļa un atopijas – iedzimtas, pastiprinātas jutības pret dažādiem ārējās vides faktoriem, kā putekšņi un putekļi, dēļ (*Sinjab*, 2012). Keratokonuss tiek saistīts ar dažādām sistēmiskām slimībām, piemēram, Ēlera – Danla sindromu, Dauna sindromu, Marfāna sindromu, atopisku dermatītu un Vernala slimību (*Laganovska*, 2008).

Pārmērīga acu berzēšana un kontaktlēcņu nēsāšana var radīt vieglas, hroniskas radzenes traumas, kas var būt etioloģiski faktori keratokonusa izveidē. Pastāv arī uzskats, ka pārmērīga acu berzēšana kā iemesls keratokonusa izveidei ir izplatītāka cilvēkiem ar atopiskām slimībām. Ņemot vērā, ka nav iespējams novērtēt, vai pacients ir sācis berzēt acis pirms vai pēc keratokonusa izveides, cik bieža un spēcīga ir acu berzēšana, iespējams, nekad jautājums par acu berzēšanu kā nopietnu iemeslu keratokonusa attīstībā netiks atbildēts (*Kennedy et al.*, 1986). Pētot atopiju, kā keratokonusu veicinošu faktoru, secināts, ka visticamāk tā ir sekundārs iemesls, jo palielinātā jutība pret alergēnu izraisa pastiprinātu niezi, kā dēļ tiek biežāk berzētas acis (*Bawazeer*, 2000).

### **1.1.2. Keratokonusam raksturīgās pazīmes un diagnostika**

Simptomi var būt ļoti dažādi un daļēji ir atkarīgi arī no slimības stadijas. Sākumstadijā var pat nebūt nekādu simptomu, kas apgrūtinātu slimības diagnosticēšanu standarta redzes pārbaudēs. Redzes speciālists var atklāt radzenes izmaiņas, ja nav citu redzamu iemeslu problēmām izkorģēt jauna, pieauguša cilvēka redzes asumu (*Rabinowitz*, 1998). Klīniskās keratokonusa izpausmes ir atkarīgas no slimības smaguma

pakāpes. Agras slimības stadijas ir sarežģīti diagnosticēt, jo vēl nav novērojami izteikti slimības simptomi. Šādas slimības pakāpes dēvē par *forme fruste* keratokonusu un subklīnisku keratokonusu, kas nozīmē, ka keratokonusa attīstība pacientiem ar slimībai raksturīgām pazīmēm ir iespējama. Slimībai progresējot, pasliktinās redzes kvalitāte, parādās pieaugoša miopija ar astigmātismu, līdz ar to vēlākās stadijās slimību diagnosticēt ir vieglāk.

Keratokonusa agrīnai diagnosticēšanai izmanto uz Plačido diska principa balstītu radzenes videokeratogrāfiju. Paralēli videokeratogrāfijai agrīnai diagnostikai izmanto skiaskopiju, kurā var novērtēt iregulāro astigmātismu. Ar spraugas lampu iespējams saskatīt radzenes augstākās vietas plānināšanos un radzenes izliekšanos, parasti, zem zīlītes centra. Mērenu un progresējošu keratokonusu var diagnosticēt, piemēram, ar retinoskopiju, biomikroskopiju, pahimetriju un topogrāfiju. Tiešajā oftalmoskopijā novērojams "eļļas piliena" reflekss. Ar biomikroskopijas palīdzību iespējams diagnosticēt vertikālas, dziļas, stromālas līnijas – Fogta strijas, kas pazūd, kad tiek izdarīts spiediens uz keratokonusa izvirzījumu (Kanski, 2016). Sākotnējā stadijā keratokonuss nav ar acīm saredzams, bet vēlākās stadijās, pacientam skatoties lejup, var novērot konusveidīgu izvirzījumu radzenē. Ja normālā radzenē tās centrālais biezums un liekums ir vienmērīgi, tad radzenē ar keratokonusu līdzās koniskajam radzenes izvirzījumam, parādās radzenes stromas plānināšanās centrā un tā rajonā, Boumena slāņa plīsumi, kas rodas vājo kolagēna šķiedru dēļ, un Flešera riņķi - dzelzs depoziiti epitēlijā, kas daļēji vai pilnībā apņem konusa pamatni (Rabinowitz, 1998). Keratokonusā novērojami arī palielināti radzenes nervi un radzenes endoteliālā refleksa paaugstināta intensitāte, savukārt, keratometrijā uzrāda pieaugošu astigmātismu. Munsona zīme, kas ir V - veida apakšējā plakstiņa izliekšanās deformētās radzenes dēļ skatoties lejup, un Rizuti zīme, kas ir spožs gaismas atstarojums no limba nazālās daļas, kad gaisma tiek spīdināta no temporālās puses, arī var palīdzēt diagnosticēt keratokonusu tā progresējošajās stadijās (Rabinowitz, 1998). Smagā slimības stadijā var būt akūta tūska radzenē, ja plīst radzenes dziļākie slāņi, ļaujot šķidrumsam iesūkties stromā. Tūsku var pavadīt sāpes, fotofobija un neskaidra redze. Plīsumi parasti sadzīst 6 - 10 nedēļu laikā, taču pēc tiem var attīstīties stromālā rētošanās (Kanski, 2016).

Pētījumā par priekšējās virsmas sklērālo un radzenes biezumu keratokonusa pacientiem, kur rezultāti tika salīdzināti ar kontroles grupu, kas abas bija aptuveni pielīdzinātas gan pēc vecuma, gan dzimuma, tika secināts, ka lielāka plānināšanās parādījās centrālajā radzenes daļā, taču mazākā mērā tā novērojama arī perifērajā daļā. Plānākajā radzenes vietā keratokonusa grupā tās biezums vidēji bija aptuveni  $447,8 \mu\text{m} \pm 57,8$ , salīdzinoši kontroles grupā  $550,5 \mu\text{m} \pm 35,5$ . Keratokonusa gadījumā radzenes biezums samazinās salīdzinoši vienādi visos kvadrantos - temporāli, laterāli, uz augšu un uz leju. Ja kontroles grupā radzene visbiezākā bija augšējā kvadrantā, tam sekojot nazālajai un apakšējai daļai, tad arī keratokonusa grupā pēc radzenes biezuma samazināšanās šī sakarība nemainījās. Taču sklērālajā daļā

saplāninājums ir neievērojams, lielas atšķirības starp abām grupām netiek novērotas. Sievietēm gan ir novērojams lielāks sklērālās daļas saplāninājums salīdzinājumā ar vīriešiem. Tiek uzskatīts, ka, tā kā gan radzene, gan sklēra embrionālajā periodā ir cēlušās no mezenhīmas, abu galvenais kolagēna tips ir pirmais tips, tāpēc var spekulēt, ka līdzīgas plāninošas izmaiņas noris kā radzenē, tā sklērā (*Schlatter et al.*, 2015). *Meek et al.* pētījumā par izmaiņām kolagēna izvietojumā un orientācijā keratokoniskām radzenēm novēroja kolagēna lamellu pozīciju maiņu, kas noved pie radzenes plānināšanās. Tas nozīmē, ka anormālas izmaiņas kolagēnu šķiedru izvietojumā var izraisīt mehāniski novājinātu radzeni, tai ļaujot acs iekšējā spiediena rezultātā izliekties konusa formā (*Meek et al.*, 2005).

Radzenes formas izmaiņu dēļ novērojamā redzes miglošanās un tās traucējumi progresē palielinoties miopijai ar astigmātismu. Sākotnējā formā redzes izmaiņas var koriģēt ar brillu vai cieto kontaktlēcu palīdzību (*Rabinowitz*, 1998). Vēlākās slimības stadijās optiskā korekcija vairs nav efektīva, tad ārstēšanai var izmantot ķirurģiskas operācijas. Var parādīties arī traucēta nakts redze, gaismas izkliede un acu piepūles izraisītas galvassāpes.

### **1.1.3. Keratokonusa klasifikācija**

Keratokonusa klasifikācijai visbiežāk tiek izmantota Amslera – Krumeiha izveidotā četru pakāpju sistēma, kas ir viena no senākajām un vēl aizvien plaši izmantotām sistēmām. Tā tiek balstīta uz refrakcijas lielumu, radzenes centrālo keratometriju, radzenes caurspīdīgumu un tās biezuma mērījumiem. Šai klasifikācijā gan netiek izmantoti topogrāfiskie mērījumi. Vērtējot pakāpi tiek ņemts vērā lielākā konusa izliekuma stāvums: viegls (< 48 D); progresējošs (48 – 54 D) un smags (> 54 D) (*Kanski*, 2016). Tāpat vērtētas tiek morfoloģiskās izcēluma īpašības, tas var būt mazs izcēlums (aptuveni 5 mm), ovāls – lielāks, novietots zem radzenes centra un bieži var būt nokarājies, globuss, kas ir globusveida un ietekmē vairāk nekā 75% radzenes. Svarīgs aspekts ir radzenes biezums tās plānākajā vietā, kas ir no viegla (> 506 μm) līdz progresējošam stāvoklim (< 446 μm). 1.1. tabulā apkopoti galvenie radzenes parametri keratokonusa klasificēšanai slimībai raksturīgajās pakāpēs.

**1.1. tabula** Keratokonusa pakāpēm raksturīgie parametri<sup>1</sup>

	Miopija/ astigmātisms	Vidējā centrālā K vērtība	Radzenes biezums	Piezīmes
I pakāpe	≤ 5,00 D	≤ 48,00 D		Fogta līnijas, tipiska topogrāfija
II pakāpe	5,00 - 8,00 D	≤ 53,00 D	≥ 400 μm	Nav radzenes rētošanās
III pakāpe	8,01 - 10,00 D	> 53,00D	200 – 400 μm	Nav radzenes rētošanās
IV pakāpe	Nevar nomērīt	> 55,0D	≤ 200 μm	Centrālās radzenes rētošanās

*Kamiya et al.* pētījumā par radzenes parametru izmantošanu keratokonusa klasificēšanā secināja, ka efektīvs parametrs keratokonusa diagnosticēšanai varētu būt aizmugurējo un priekšējo radzenes virsmu pacēlumu atšķirība, kas īpaši nozīmīga varētu būt agrās slimības stadijās (*Kamiya et al.*, 2013). *Ishii et al.* arī izvirzīja hipotēzi, ka radzenes pacēlumu atšķirība korelē ar keratokonusa smaguma indeksu, līdz ar to radzenes augstuma mērījumus varētu izmantot arī slimības smaguma pakāpes diagnosticēšanai (*Ishii et al.*, 2012).

*Pinero et al.* pētīja atšķirības starp priekšējo un aizmugurējo radzenes virsmu formām dažādās keratokonusa grupās. Pacientus viņš iedalīja kontroles grupā bez patoloģijas, subklīniskajā – ar iespējamu keratokonusu, un I – mērenā, un II – progresējošā, pakāpes keratokonusā. Līdzīgs iedalījums atrodams arī citu pētnieku darbos. Tika konstatēts, ka abās virsmās novērojamas izmaiņas, ja salīdzina klīniskā keratokonusa pacientu radzenes ar radzenēm bez patoloģiskām izmaiņām. Taču starp subklīnisko keratokonusu un kontroles grupu bez patoloģijas lielas atšķirības netika konstatētas. Līdz ar to būtu nepieciešama padziļināta šī parametra atbilstības keratokonusa klasificēšanai izvērtēšana. Tika secināts, ka, nozīmīgas atšķirības neesamība starp subklīnisko un kontroles grupu, vienlaicīgi arī apstiprina subklīniskā keratokonusa definīciju ar nozīmi, ka vēl nav novērojamas izteiktas pārmaiņas radzenes parametros šīs grupas pacientiem.

Tāpat tika secināts, ka pirmās radzenes izmaiņas varētu notikt nevis centrāli, bet gan perifērijā. Taču subklīniskā keratokonusa grupā, atšķirībā no kontroles grupas, novērojams radzenes astigmātisma

<sup>1</sup>Krumeich, J.H., Kezirian, G. M. (2009) Circular Keratotomy to Reduce Astigmatism and Improve Vision in Stage I and II Keratoconus. *Journal of refractive surgery*, 25(4), 357 - 365



Priekšējā, paracentrālā konusa gadījumā slīpums topogrāfijas kartē parādīsies priekšējā kvadrantā. Perifērais keratokonuss ir biežāk sastopams, šādā gadījumā konusa topogrāfiskajā kartē parādās izteikta asimetrija. To raksturo tauriņveida (arī, propellera veida) topogrāfiskais raksts. Ja abi “tauriņa” spārni ir simetriski, tas norāda uz radzenes astigmātismu. Centrālā konusa gadījumā stāvuma topogrāfiskā aina ir centrāla, apaļa, lielākais radzenes slīpums novērojams tuvu radzenes centram. Asimetrija nav tik izteikta un nav perifērajam konusam raksturīgā topogrāfiskā aina, līdz ar to, tas var apgrūtināt centrālā keratokonusa diagnosticēšanu (*Sinjab*, 2012).

#### 1.1.4. Keratokonusa ārstēšanas iespējas

Keratokonusa ārstēšanai izmanto dažādas neķirurģiskas un ķirurģiskas metodes. To, kuru izmantot, nosaka slimības pakāpe un progresija. Primāri ārstēšanai izmanto kontaktlēcas, intrakorneālos radzenes riņķus, keratoplastiku un kolagēna kroslinkingu. Operācijas tiek izmantotas tiem pacientiem, kam vairs nevar palīdzēt ar kontaktlēcām un tiem, kuriem ar kontaktlēcū korekciju tāpat nav sasniedzams vajadzīgais redzes asums (*Khattak et al.*, 2015), (*Colin & Velou*, 2003).

Keratoplastika – radzenes transplantācija, kurā bojātie audi tiek aizstāti ar veselīgiem, ir visbiežāk izmantotā ķirurģiskā keratokonusa ārstēšanas metode, kas ir ļoti noderīga smagos slimību gadījumos. Tai ir augsta efektivitāte, ar augstām transplantāta izdzīvošanas iespējām un zemu komplikāciju risku. Keratokonusa smaguma pakāpe neietekmē operācijas iznākumu, tāpēc tā tiek uzskatīta par piemērotu visos saslimšanas posmos (*Javadi et al.*, 2005). Keratoplastika saistīta ar redzes asuma uzlabošanu, lai arī var palikt neliels astigmātisms un anizotropija. Optimāla redzes asuma iegūšanai jāizmanto kontaktlēcas (*Kanski*, 2016), (*Al-Mohaimed*, 2013).

Viena no jaunākajām keratokonusa ārstēšanas metodēm ir radzenes kolagēna kroslinkings. Šai procedūrā tiek izmantoti riboflavīna pilieni, paralēli keratokonusa skarto aci apstrādājot ar ultravioletajiem-A stariem. Ar šīs terapijas palīdzību iespējams stiprināt radzenes mehānisko stingrību (*Lichtinger et al.*, 2015). Šī procedūra var stabilizēt vai pat apturēt keratokonusa progresiju. Pētījumos secināts, ka gadu pēc operācijas radzeņu keratometrijas datus vērojams samazinājums par vidēji 1 dioptriju. Pēc kroslinkinga operācijas var būt epitēlija bojājumi, kas radušies operācijas laikā un sadzīst nedēļas laikā pēc tās, un viegla radzenes miglošanās. pēc operācijas turpina notikt radzenes plānināšanās (*Khattak et al.*, 2015). Šo procedūru parasti izmanto jau pēc tam, kad ir konstatēta slimības progresija. To var apvienot ar intrakorneālā riņķa segmenta ievietošanu.

Vēl viena izplatīta keratokonusa ārstēšanas metode ir intrakorneālās plāksnītes (riņķa) ievietošana. Šī metode ir relatīvi droša un tās realizācijai tiek izmantots lāzers vai arī kanāls plāksnītes ievietošanai tiek izveidots mehāniski. Plāksnīte tiek ievietota ar mērķi izmainīt radzenes priekšējo virsmu, nodrošinot

radzenes izvelvējuma un astigmātisma samazinājumu, tādējādi iegūstot vidējus redzes uzlabojumus. Taču pilnīgai redzes korekcijai nepieciešams izmantot kontaktlēcas (Kanski, 2016), (Colin et al., 2000). Haddad et al. pētījumā par intrakorneālajiem riņķu segmentiem secināja, ka aptuveni gada laikā pēc operācijas veikšanas pacienta redzes parametri uzlabojas. Keratokonusa pacientiem uzlabojas refrakcijas un topogrāfijas rezultāti un, lai arī nav pierādījumu, ka šī procedūra aptur keratokonusa progresiju, tā noteikti attālina nepieciešamību izmantot radzenes transplantāciju (Haddad et al., 2012), (Colin et al., 2000).

## 1.2. Aberācijas cilvēka acī

Visas cilvēka acs optiskās sistēmas komponentes piedalās objekta attēla veidošanā. Radzenes, lēcas, priekšējās kameras šķidruma un stiklveida ķermeņa caurspīdība un viendabība ir nozīmīgs faktors attēla kvalitātes nodrošināšanā. Ja šīs optiskās komponentes nav viendabīgas, caur tām ejošie gaismas stari tiek deformēti tā, ka neveidojas skaidrs objekta attēls un šo optisko defektu sauc par aberācijām (Millodot, 2009).

Ja radzene un lēca ir bez novirzēm no normas, tad acī nonākusī gaisma tiek pārveidota sfēriskā viļņu frontē, uz tīklenes radot asu objekta attēlu. Tā kā viļņu frontes deformāciju var ietekmēt kā virsma, no kuras gaisma atstarojas, tā vide, kurai tā iet cauri, aberācijas acī galvenokārt rodas radzenes priekšējās un aizmugurējās virsmas un lēcas kļūdu kombināciju dēļ. Ņemot vērā refraktīvo indeksu atšķirību starp gaisu un radzeni, tiek uzskatīts, ka tieši radzenes priekšējā virsma visvairāk ietekmē aberāciju veidošanos. Šādā acī, piemēram, keratokonusa gadījumā, radzenes nestandarta izliekuma dēļ rodas novirzes no nepieciešamās sfēriskās viļņu frontes un attēls uz tīklenes veidojas miglains un deformēts. Acī aberācijas izpaužas gan kā vienkāršs defokuss, gan ļoti izkropļoti gaismas viļņi (Bennett & Rabbetts, 1984), (Rosenblum & Christensen, 1976).

Redzes zinātnē viļņu frontes kļūdu analizēšanai tiek izmantoti uz Zernikes aberāciju teoriju balstītie Zernikes polinomi (*Zernike polynomials*), kuriem katram ir savs atbilstošs koeficients. Zernikes polinomi apraksta cilvēka acs aberācijas, polinomu koeficienta lielums nosaka konkrētās aberācijas nozīmi kopējā aberāciju ainā. Normālā acī aberācijas ir zemas, līdz ar to netiek novērotas ar aberācijām saistītās redzes problēmas. Savukārt, keratokonusa gadījumā novēro ievērojami palielinātu augstāko kārtu aberāciju rādītājus, īpaši, vertikālās komas, iregulārā astigmātisma un sfērisko aberāciju veidā. Aberācijas pieaug, palielinoties zīlītes izmēram, un tām ir tendence būt simetriskām spoguļveidā abās acīs (Wang et al., 2003).

Maeda et al. savā pētījumā norāda, ka galvenais kopējo okulāro augstāko kārtu aberāciju paaugstināšanās iemesls ir radzenes aberāciju palielināšanās. Tika secināts, ka visvairāk augstāko kārtu aberācijas ietekmē tieši radzenes priekšējā virsma (Maeda et al., 2002). Taču keratokonusā izmaiņas

notiek ne tikai priekšējā radzenes virsmā, bet arī aizmugurējā, tāpēc var uzskatīt, ka arī aizmugurējai radzenes virsmai ir ietekme uz aberāciju veidošanos.

### 1.2.1. Aberāciju klasificēšana

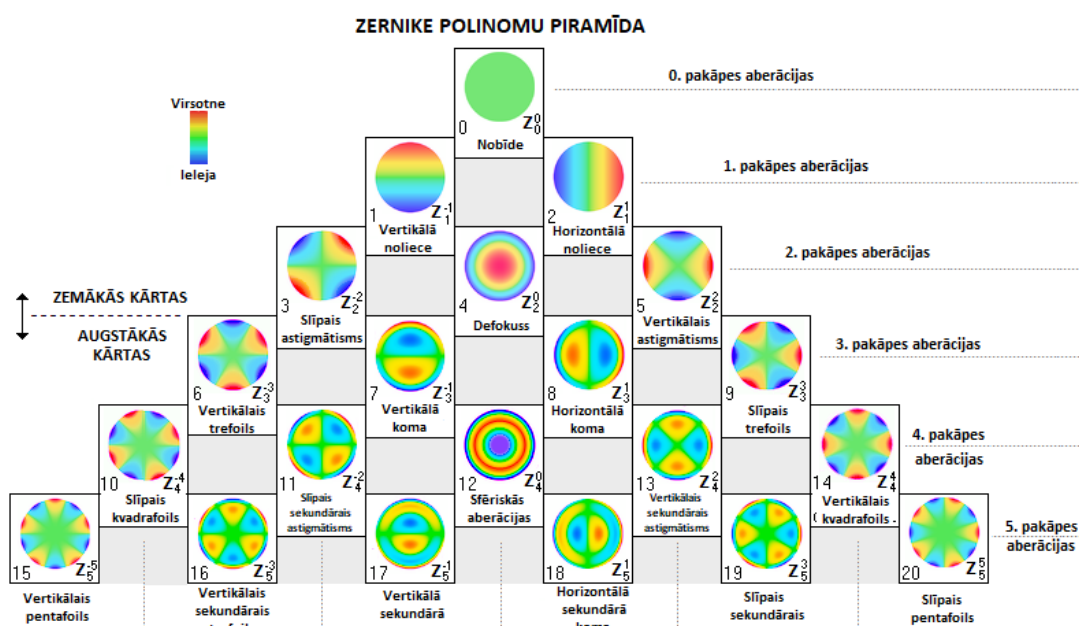
Aberācijas iedalās hromatiskās un monohromatiskās aberācijās. Hromatiskās aberācijas iedalās longitudinālajās un transversālajās hromatiskajās aberācijās. Tās izraisa polihromatiskā – vairāku gaismas viļņu, starojuma izplatīšanās ātruma atšķirības ceļojot tai caur vidi – īsākie viļņu garumi ceļo lēnāk, nekā garie gaismas viļņu garumi. Longitudinālās hromatiskās aberācijas ir optiskās sistēmas defekts, kas rodas dažādu gaismas viļņu nevienādās laušanas dēļ. Neakomodētā acī zilā gaisma fokusējas pirms tīklenes, bet sarkanā gaisma – aiz tīklenes, tādēļ gar optisko asi rodas izstiepts attēls. Transversālās hromatiskās aberācijas ir objekta palielinājuma atšķirības (*Millodot, 2009*). Hromatiskās aberācijas ietekmē attiecība starp materiāla refraktīvā indeksa atšķirībām un caur vidi ejošās gaismas viļņu garumiem. Pastāv uzskats, ka, lai arī normāli cilvēks neievēro hromatiskās aberācijas, tās tiek uzskatītas par akomodāciju veicinošu stimulu (*Schwartz, 2013*).

Monohromātiskās aberācijas rodas viena gaismas viļņa garuma dēļ. Ir piecas monohromātiskās aberācijas: sfēriskās aberācijas, koma, lauka izliekums, slīpais astigmātisms un distorsija (*Millodot, 2009*). Tās var spēcīgi ietekmēt uz tīklenes fokusētā attēla kvalitāti, neļaujot izšķirt attēla detaļas. Šis aspekts traucē arī tīklenes un citu aizmugurējo acs daļu novērtēšanai, ko šādā situācijā nākas skatīties caur nepilnīgu pacienta acs optisko sistēmu, kā dēļ speciālistam ir ierobežotas iespējas izšķirt iespējamu slimību detaļas. Iespējams, mazinot aberācijas acī, būtu iespējams ātrāk, tas ir, pirms izmaiņas ir tik nopietnas, ka redzamas cauri aberācijām, diagnosticēt konkrētas acu slimības (*Schwartz, 2013*).

*Liang et al.* pētījumā par adaptīvās optikas lietderību monohromātisko aberāciju korekcijā secināja, ka, kompensējot optiskās aberācijas, iespējams acs aizmugurējās struktūras apskatīt krietni labākā kvalitātē (*Liang et al., 1997*). Monohromātiskās aberācijas ir saistāmas ar konkrētiem viļņu garumiem un okulāro struktūru formām. Tās arī ir augstāko kārtu aberācijas, kas nozīmīgi ietekmē redzi un nav koriģējamas ar sferocilindriskām lēcām vai standarta refraktīvajām operācijām. No monohromātiskajām aberācijām visbiežāk sastopamās ir sfēriskās aberācijas un vertikālā vai horizontālā koma.

Aberācijas var iedalīt arī zemas un augstas pakāpes aberācijās. Attēlā 1.3. redzams aberāciju iedalījums pakāpēs. Zemas pakāpes aberācijas iedalās nulles, pirmajā un otrajā pakāpē. Nulles aberācijas ir aksiālā simetrija un saplacināta viļņu fronte, pirmās pakāpes – lineāras aberācijas, kas var izpausties kā prizmas, bet otrās pakāpes aberācijas ir sfēriskais defokuss un astigmātisms (*Jinabhai et al., 2009*). Aberācijas, sākot ar otro pakāpi, samazina iegūtā attēla kvalitāti. Defokuss ir sfēriskas, refraktīvas kļūdas,

kurās izpaužas kā miglains redze, bet astigmātisms un astigmātisms slīpās asīs rada objektu dubultošanu (Gupta, 2009). Šie aberāciju veidi ir koriģējami ar standarta metodēm – brillu un kontaktlēcņu korekciju.



1.3. att. Zernike polinomu piramīda - aberāciju iedalījums zemākās un augstākās kārtas aberācijās<sup>3</sup>

Savukārt, augstāko pakāpju aberācijas, kurās iegūtā viļņu fronte pēc struktūras ir sarežģītāka, iedalās trešās, ceturtais un piektās pakāpes aberācijās. Trešās pakāpes aberācijas ir horizontālā, vertikālā komas un trīslapiņu (trefoils) aberācijas (eliptiskā koma) ar bāzi gar x vai y asi. Komā viļņu fronte ir asimetriska, jo gaisma krīt leņķī pret optisko asi. Tas rada attēlam gaistošas robežas, radot “komētas” efektu. Vizizplatītākā ir vertikālā koma. Koma rodas centrālās un paracentrālās asimetrijas radzenē dēļ un redzes korekcijā ietekmē acs astigmātiskās komponentes lielumu (Millodot, 2009).

Ceturtais pakāpes aberācijas ir sfēriskās aberācijas, kas rodas gaismai fokusējoties dažādos punktos, kad tā iziet cauri sfēriskai virsmai. Sfēriskās aberācijas parasti rada izmaiņas perifērajā redzē un redzes korekcijā ietekmē korekcijas sfēriskās komponentes lielumu. Fokusa punkti atkarīgi no gaismas krišanas attiecīgi uz radzenes centrālo vai perifēro daļu. Sfēriskajām aberācijām viļņu fronte centrā ap zīlīti ir sfēriska, bet perifērijā stari noliecas vairāk. Līdz ar to uz sfērisku virsmu krītošie paralēlie gaismas stari pēc iziešanas cauri virsmai nefokusējas vienā punktā. Tiek ietekmēta attēla kvalitāte un asums, ap objektiem rodas oreoli, kas īpaši traucējoši ir naktī pie palielinātas acs zīlītes. Pie ceturtais pakāpes pieder arī četrslapiņu (kvadrafoils) aberācijas un sekundārais astigmātisms. Piektās pakāpes aberācijas ir nozīmīgas ļoti paplašinātās zīlītēs un izpaužas kā piecslapiņu (pentafoils) aberācijas, sekundārās četrslapiņu aberācijas un

<sup>3</sup>Sacek, V., *Monochromatic eye aberrations*. Pieejams: [https://www.telescope-optics.net/monochromatic\\_eye\\_aberrations.htm](https://www.telescope-optics.net/monochromatic_eye_aberrations.htm)

sekundārā koma (*Jinabhai et al.*, 2009). Augstāko pakāpju aberācijas korigējamās izmantojot pamatā lāzerķirurģijas metodes.

### 1.2.2. Augstāko kārtu aberācijas radzenēs ar un bez keratokonusa

Augstākās pakāpes aberācijām normālā populācijā ir tendence samazināties, pieaugot aberāciju pakāpei. *Mirzajani et al.* pētījumā vērtēja augstāko kārtu aberācijas normālās radzeņu topogrāfijās, izmantojot Pentacam sistēmu. Pētījumā iesaistītie cilvēki tika sadalīti grupās balstoties uz Bogana un viņa kolēģu aprakstītajiem topogrāfiju rakstiem: apaļa, ovāla, simetrisks tauriņš, asimetrisks tauriņš un iregulārs. Šai pētījumā tika apstiprināts, ka ir sakarība starp radzenes topogrāfisko rakstu un radzenes astigmātismu, tāpat ir sakarība starp radzenes topogrāfisko rakstu un augstākās kārtas aberācijām. Pētījumā pierādīja, ka augstākās kārtas aberācijas (sākot no trešās pakāpes) vairāk izpaužas asimetriskā tauriņa rakstā un iregulārajā rakstā. Keratokonusā izplatītākā aberācija – komas aberācijas, šai pētījumā ievērojami vairāk tika atklātas asimetriskā tauriņa topogrāfiskajā kartē. Savukārt, iregulārās topogrāfijas kartēs vairāk izteiktas bija sfēriskās aberācijas, tāpat arī trefoilu un kvadrafoilu aberācijas. *Mirzajani et al.* izteica hipotēzi, ka radzenes topogrāfisko karti iespējams izmantot augstāko kārtu aberāciju prognozēšanai. Piemēram, cilvēkam ar iregulāro topogrāfisko rakstu varētu būt augstāka sfērisko aberāciju iespēja, līdz ar to, pēc refraktīvās ķirurģijas, kur ir lielāka iespēja attīstīties sfēriskajām aberācijām, šiem pacientiem varētu būt lielāks komplikāciju risks (*Mirzajani et al.*, 2016).

Pētot iespēju izmantot radzenes priekšējās virsmas radītās aberācijas agrīnai keratokonusa diagnosticēšanai, *Buhren et al.* norādīja uz radzenes priekšējās virsmas aberāciju lielumu atšķirību starp agrīna keratokonusa un kontroles grupām. Tika secināts, ka šīs izmaiņas var kalpot kā norāde par iespējamu keratokonusu agrīnā stadijā. Šajā pētījumā kā dominējošā aberācija tiek minēta vertikālā koma un tiek secināts, ka visagrīnākās izmaiņas radzenē keratokonusa gadījumā drīzāk ir vertikāla asimetrija (*Buhren et al.*, 2006). *Pinero et al.* veica pētījumu par priekšējās un aizmugurējās radzenes virsmas aberāciju izvērtēšanu ar Pentacam sistēmu. Tika atklāts, ka lielākas izmaiņas keratokonusa gadījumā priekšējā radzenes virsmā pirmajā un otrajā slimības pakāpē, salīdzinot ar kontroles grupu, notiek augstākās kārtas komas aberācijās. Tāpat tika atklāta sfērisko aberāciju samazināšanās, kas tiek saistīta ar radzenes priekšējās virsmas konusa veidošanos (*Pinero et al.*, 2009).

*Oshika et al.* pētījumā par normālu radzenes aberāciju izmaiņām līdz ar pacienta vecuma pieaugumu secināja, ka vecuma ietekme uz aberāciju pieaugumu var atšķirties zīlītes izmēra dēļ. 3 mm lielai zīlītei nav novērojama būtiska korelācija starp vecumu un komas aberācijām, taču jau 7 mm lielai zīlītei korelācija kļūst statistiski nozīmīga. Līdz ar to komas aberācijas pieaug līdz ar vecumu. Taču sfēriskām aberācijām šāda korelācija netika novērota. Tātad līdz ar vecumu radzene kļūst mazāk

simetriska, taču radzenes izliekuma centrāli perifērā attiecība paliek nemainīga. Tāpat tika secināts, ka gados jaunākiem cilvēkiem aberāciju pieaugums, mainoties zīlītes izmēram no 3 uz 7 mm, bija mazāks, kā vecāka gada gājuma cilvēkiem (*Oshika et al.*, 1999). *Wang et al.* pētījumā arī apstiprinājās sakarība par aberāciju pieaugumu līdz ar vecumu, bet šajā pētījumā atklājās arī fakts, ka priekšējās radzenes aberācijas atšķirās starp dažādiem pētniecībā iesaistītajiem cilvēkiem. Pētījuma autori izteica hipotēzi, ka šī iemesla dēļ ne vienmēr aberācijas koriģējošas ķirurģiskas iejaukšanās var dot pozitīvu rezultātu (*Wang et al.*, 2003).

Kādā citā pētījumā *Oshika et al.* pat atklāja, ka komas aberācijas korelē ar redzes kontrastjutību – tā krītas. Aberācijas nevar uzskatīt par vienīgo iemeslu kontrasjutības līmeņa krišanai, to iespaido arī citi faktori, kā tīklene un redzes trakti smadzenēs, taču aberācijas uzskatāmas par daļu iemesla kontrastjutības krišanai (*Oshika et al.*, 2006). *Applegate et al.* pētījumā, kā otrās līdz ceturtās pakāpes aberācijas ietekmē redzes kvalitāti, secināja, ka ne visas aberācijas vienlīdz spēcīgi ietekmē kontrastredzi, kā arī to, ka koma samazina kontrastredzi vairāk, nekā trefoili, tāpat kā sfēriskās aberācijas un sekundārais astigmātisms samazina vairāk, nekā kvadrafoili (*Applegate et al.*, 2002).

*Alio & Shabayek* pētījumā par radzenes augstākās kārtas aberācijām secināja, ka keratokonusā radzenes plānināšanās izsauc radzenes formas maiņas, kas rada augstākās kārtas optiskās aberācijas. Konuss gaismu izkropļo, parasti ierosinot komas aberācijas, trefoilus un sfēriskās aberācijas. Visbiežāk sastopamās aberācijas ir negatīva vertikālā koma, ko izraisa tipiska radzenes plānināšanās tās priekšējā temporālajā daļā. Salīdzinot ar vertikālo komu, sfēriskās aberācijas ir minimālas. Pētot radzenes augstāko kārtu aberācijas, kas var palīdzēt keratokonusa klasificēšanā, viņš secināja, ka augstāko kārtu aberācijas keratokonusa pacientiem ir ievērojami biežāk izplatītas, nekā pacientiem ar normālām radzenēm, un tās parasti rodas radzenes priekšējās virsmas dēļ (*Alio & Shabayek*, 2006).

*Gobbe & Guillon* pētījumā par radzenes aberāciju mērījumiem keratokonusa atklāšanai, pētījuma dalībnieki bija sadalīti trīs grupās: kontroles grupa, iespējams keratokonuss un diagnosticēts keratokonuss. Lielāks aberāciju pieaugums bija novērojams iespējamā keratokonusa un diagnosticētā keratokonusa grupās, salīdzinot ar kontroles grupu. Tika atklāts, ka trefoili, vertikālā koma un sfēriskās aberācijas uzrādīja ievērojamu atšķirību kontroles grupā un grupā ar iespējamu keratokonusu. Aberāciju lielumi acīs ar keratokonusu pretstatā acīm bez patoloģijas bija ievērojami lielāki dažāda izmēra zīlītēm – augstāko kārtu aberāciju smagums pieauga līdz ar zīlītes izmēra palielināšanos. Autori izteica minējumu, ka labākus rezultātus keratokonusa diagnosticēšanā varētu iegūt, veicot pārbaudes ar paplašinātām zīlītēm. Augstāko kārtu aberāciju iespaids uz redzes kvalitāti palielinājās līdz ar apgaismojuma samazinājumu un tika novērots, ka vertikālā koma un sfēriskās aberācijas ir statistiski lielākas keratokonusa grupā un korelēja ar redzes kvalitāti (*Gobbe & Guillon*, 2005).

## 2. PĒTĪJUMA DAĻA

### 2.1. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā izmantoti “Dr. Lūkina acu klīnikā” iegūtie dati par kopumā 206 pacientiem. Pacienti tika sadalīti divās grupās – keratokonusa un kontroles grupās, katrā 103 dalībnieki. Pētījumā izmantoti gan vīriešu, gan sieviešu dati vecumā no 20 līdz 45 gadiem. Keratokonusa grupā izvēlēti (33 sievietes, 70 vīrieši; vidējais vecums grupā:  $35,4 \pm 5,8$  gadi) dalībnieki ar keratokonusu no pirmās līdz trešajai tā attīstības pakāpei, bet kontroles grupas (72 sievietes, 31 vīrieši; vidējais vecums grupā:  $34,3 \pm 5,7$  gadi) dalībniekiem nav keratokonusam raksturīgās pazīmes un radzene ir pēc iespējas sfēriskāka. Keratokonusa grupas dalībnieku atlases kritēriji bija dzidras optiskās vides, sešu mēnešu laikā pirms iegūtajiem datiem nav veikta kroslinkinga ārstēšana un novērtētais keratokonuss ir no pirmās līdz trešajai pakāpei. Ceturtās pakāpes keratokonusa pacienti netika iekļauti pētījumā, jo tādā gadījumā jau var būt tādas nopietnas izmaiņas optiskajā sistēmā kā radzenes rētošanās un necaurspīdīgums keratokonusa virsotnes reģionā. Kontroles grupā izvēlēti tādi dalībnieki, kam ir dzidras optiskās vides un pēc iespējas sfēriskāka radzenes priekšējā virsma. Par radzenes sfēriskuma kritēriju izvēlēti radzenes priekšējās virsmas topogrāfijas mērījumi, kur izvērtēts radzenes centrālās daļas stiprums dioptrijās 3 mm diametrā. Par pieļaujamu radzenes stipruma atšķirību tika pieņemta vienas dioptrijas (1 D) stipruma atšķirība galvenajos meridiānos.

### 2.2. Metodika

Abu grupu dalībnieku acu optiskajām vidēm bija jābūt dzidrām, tāpēc to dzidrums tika novērtēts ar biomikroskopa palīdzību. Subjektīvi noteikts dalībnieku redzes asums un refrakcija. Attēlā 2.1. redzams Alcon firmas datorizētais topogrāfs *Allegro Oculyzer*, kas balstīts uz Pentacam tehnoloģiju, izmantojot rotējošu trīsdimensionālu Šeimpfluga (Scheimpflug) kameru. Ar topogrāfu tika iegūti radzenes priekšējās virsmas dati. Keratokonusa grupai tika analizēti priekšējās virsmas optiskie stiprumi astigmātisma izvērtēšanai, pahimetrijas mērījumi, keratokonusa pakāpe, keratokonusa virsotnes novietojums un radzenes priekšējās virsmas radītās augstākās kārtas trešās līdz piektās pakāpes aberācijas, īpaši literatūrā dominējošās vertikālā koma un sfēriskās aberācijas.



**2.1. att.** Alcon firmas *Allegro Oculyzer* datorizētais topogrāfs, ar kādu tika veikti radzenes priekšējās virsmas topogrāfiskie mērījumi. Topogrāfs balstīts uz Šeimfluga (Scheimpflug) principu, diagnosticējot un izvērtējot keratokonusa iespējamību<sup>4</sup>

Iegūtie dati par aberāciju lielumu tika analizēti, ņemot vērā datorizētās programmas aprēķinātos indeksus. Analizēšanai izmantotais statistikas paņēmieni ir aberāciju mērījumu mediānas un vidējās vērtības ar standartnovirzi izvērtēšana. Keratokonusa novietojums tika atzīmēts kā centrāls, ja tā virsotne atrodas 3 mm diametrā radzenes centrālajā daļā vai perifērs, ja virsotne atrodas ārpus 3 mm diametra. Kontroles grupai tika analizēti pahimetrijas mērījumi un radzenes priekšējās virsmas radītās aberācijas.

Abām grupām aberāciju lielumi izvērtēti pie divu lielumu radzenes apgabaliem – 6 un 8 mm diametrā, ar mērķi izvērtēt radzenes perifērijas ietekmi uz aberāciju lielumu. Statistikas testi tika veikti *R – Studio* datorprogrammā. Tajos izmantoti augstāko kārtu trešās līdz piektās pakāpes aberāciju vektoriālie lielumi. *Wilcoxon Signed – Rank* tests atkarīgiem datiem izmantots statistisko atšķirību starp abiem radzenes apgabalu izmēriem kā kontroles, tā keratokonusa grupā izvērtēšanai. Ar *Mann – Whitney U* testu neatkarīgiem datiem tika novērtēta statistiskā atšķirība radzenes priekšējās virsmas augstākās kārtas trešās līdz piektās pakāpes aberāciju vektoriālajiem lielumiem ar mērķi noteikt dominējošās aberācijas keratokonusa grupā. Tāpat tika novērtēti augstāko kārtu aberāciju lielumi kontroles grupā, abās grupās iegūtie rezultāti savstarpēji salīdzināti.

Keratokonusa grupas pacienti tika sīkāk sadalīti pēc slimības attīstības pakāpēm – I, II un III pakāpes keratokonus, kādas noteica *Allegro Oculyzer* datorizētais topogrāfs. Topogrāfs pakāpju noteikšanā balstās uz klasiskajiem Amslera standartiem, pakāpes tiek graduētas balstoties uz radzenes topogrāfijas rezultātiem, ne klīniskiem izmeklējumiem. Katrā pakāpē atsevišķi analizēts keratokonusa virsotnes novietojums, pahimetrijas rādījumi un aberāciju, īpaši dominējošo aberāciju – vertikālās komas un sfērisko aberāciju lielumi, novērtējot to mediānas un vidējās vērtības ar standartnovirzēm. Aberāciju lielumu

---

<sup>4</sup> Alcon. A Novartis Division. Pieejams: <https://www.wavelight.de/node/14621#ui-id-1=1>

atšķirības starp keratokonusa pakāpēm salīdzinātas, izmantojot *Mann – Whitney U* testu neatkarīgiem datiem.

## 2.3. Rezultāti un to analīze

Ar mērķi noskaidrot, kuras aberācijas, keratokonusam attīstoties, pieaug un dominē, darbā tika analizētas augstākās kārtas trešās līdz piektās pakāpes aberācijas. Dati iegūti par aberācijām divu izmēru radzenes apgabalā – 6 un 8 mm diametrā. Keratokonusa grupas aberāciju lielumi tika salīdzināti ar kontroles grupā iegūtajiem rezultātiem.

### 2.3.1. Kontroles un keratokonusa grupu salīdzinājums

Tabulā 2.1. apkopoti salīdzinošie dati starp kontroles un keratokonusa grupu, kura sadalīta sīkāk pēc slimības pakāpēm. Radzenes plānākās vietas biezums, salīdzinot ar kontroles grupu, keratokonusa grupā un arī atsevišķi pakāpēs, slimībai progresējot, samazinās. Tāpat, pieaugot keratokonusa pakāpei, vērojams redzes asuma samazinājums. Savukārt, aplūkojot vidējo radzenes optisko stiprumu, līdz ar keratokonusa progresiju, novērojams vērtības pieaugums. Pētījumā keratokonusa grupā apkopoti dati par 31 dalībnieku ar pirmās pakāpes, 22 dalībnieku ar otrās pakāpes un 50 dalībnieku ar trešās pakāpes keratokonusu. 2.1. tabulā attēloti dati arī par procentuālo keratokonusa virsotnes novietojumu atsevišķi katrā no trim keratokonusa pakāpēm.

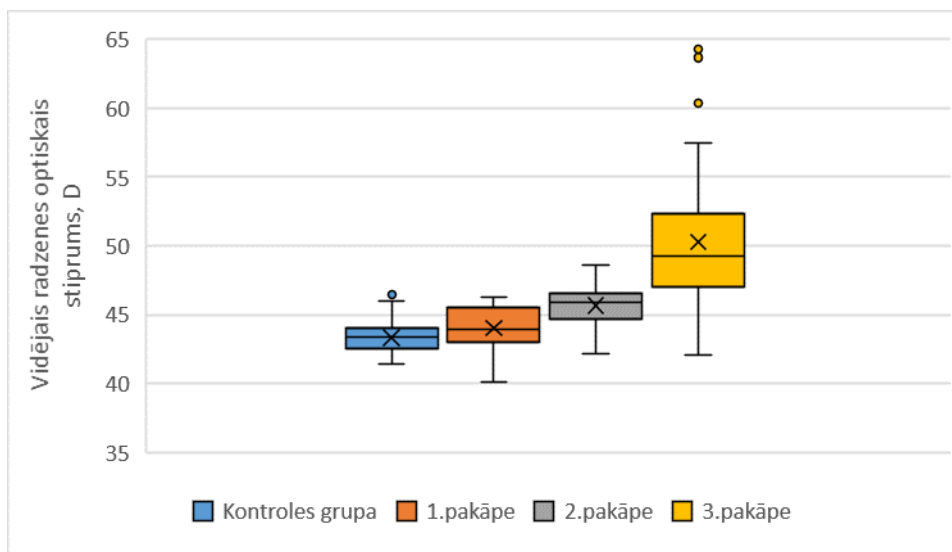
2.1. tabula Kontroles un keratokonusa grupu raksturojošo mērījumu izmaiņas

	Perifērs	Centrāls	Pahimetrija, $\mu\text{m}$	Redzes asums	Vidējā K vērtība, D
Kontroles grupa	-	-	556,03 $\pm$ 32,69	1,0 $\pm$ 0,1	43,35 $\pm$ 1,06
1.pakāpe	65%	35%	493,74 $\pm$ 37,67	0,8 $\pm$ 0,2	44,02 $\pm$ 1,66
2.pakāpe	55%	45%	477,45 $\pm$ 36,19	0,7 $\pm$ 0,2	45,66 $\pm$ 1,80
3.pakāpe	36%	64%	439,52 $\pm$ 51,32	0,5 $\pm$ 0,2	50,27 $\pm$ 4,80

Gan kontroles, gan keratokonusa grupām tika novērtēts un savstarpēji salīdzināts vidējais radzenes optiskais stiprums tās centrā. Kontroles grupas radzenes optiskā stipruma vidējā vērtība (43,35  $\pm$  1,06 D) ir mazāka, nekā keratokonusa grupā (47,35  $\pm$  4,53 D). *Mann – Whitney U* tests neatkarīgiem datiem norāda, ka radzenes optiskā stipruma vidējā vērtība keratokonusa grupā (Mdn = 46,24 D) ir lielāka, nekā kontroles grupā (Mdn = 43,38 D), ( $U = 8678,5$ ,  $p < 0,0001$ ), tātad vidējā radzenes optiskā stipruma pieaugums keratokonusa grupā ir statistiski nozīmīgs.

Radzenes vidējā optiskā stipruma vērtība tika salīdzināta arī kontroles grupai ar keratokonusu visās trīs pakāpēs. Kā redzams attēlā 2.2., radzenes optiskā stipruma vidējā vērtība un mediāna pieaug līdz ar keratokonusa pakāpes pieaugumu. *Mann – Whitney U* tests, salīdzinot kontroles grupu ar katru keratokonusa grupu atsevišķi, norāda uz statistiski būtisku atšķirību visās trīs pakāpēs (pirmā pakāpe (Mdn

= 43,93 D,  $U = 1126,5$ ,  $p = 0,0132$ ), otrā pakāpe (Mdn = 45,86 D,  $U = 339$ ,  $p < 0,0001$ ) un trešā pakāpe (Mdn = 49,27 D,  $U = 259$ ,  $p < 0,0001$ ). Tātad, progresējot keratokonusam, arī vidējā radzenes optiskā stipruma vērtība turpina būtiski pieaug.



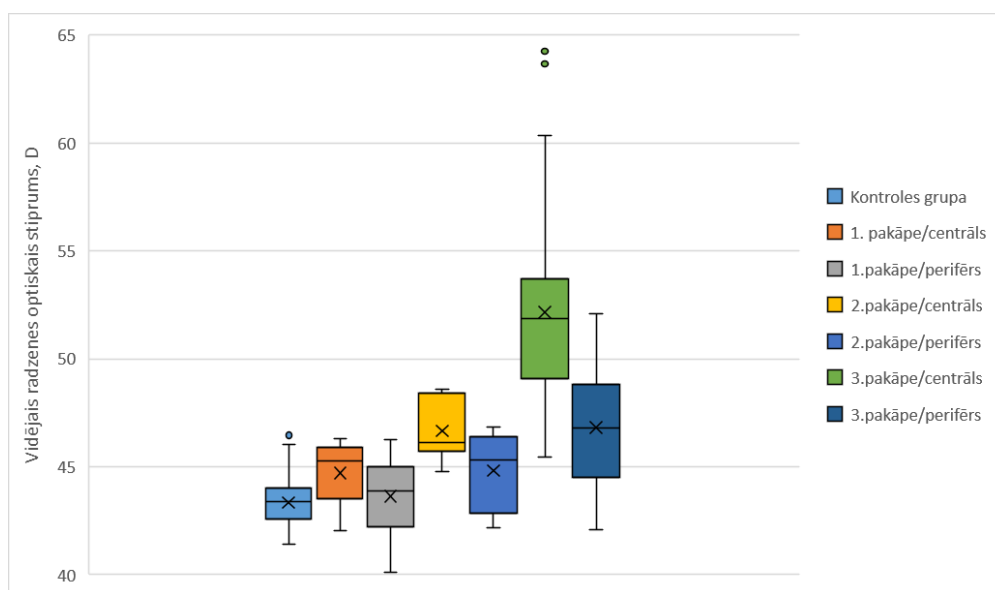
**2.2.att.** Vidējā radzenes optiskā stipruma salīdzinājums starp kontroles grupu un trim keratokonusa pakāpēm

Tika salīdzināti arī kontroles grupas rezultāti ar vidējām radzenes optiskā stipruma vērtībām centrālā un perifērā keratokonusa gadījumā. Keratokonusa grupā centrāls tas bija 53 dalībniekiem, bet 50 dalībniekiem – perifēri novietots. Centrālā keratokonusa gadījumā radzenes optiskā stipruma vidējā vērtība ( $49,53 \pm 4,92$  D) ir lielāka, nekā perifēri ( $45,03 \pm 2,51$  D) novietotai keratokonusa virsotnei. *Mann – Whitney U* tests, salīdzinot kontroles grupu ar centrālā (Mdn = 48,44 D) un perifērā (Mdn = 45,13 D) keratokonusa grupām, norādīja uz statistiski būtisku atšķirību gan centrālā keratokonusa gadījumā ( $U = 272,5$ ,  $p < 0,0001$ ), gan perifēra keratokonusa gadījumā ( $U = 1452$ ,  $p < 0,0001$ ). Tātad keratokonusa novietojums centrā vidējo radzenes optisko stiprumu ietekmē vairāk, nekā perifērijā novietots.

Izdalot keratokonusa novietojumu katrā no keratokonusa pakāpēm, iegūtie dati arī tika salīdzināti ar kontroles grupas rezultātiem. Attēlā 2.3. redzams vidējā radzenes optiskā stipruma pieaugums gan centrāli, gan perifēri novietotam keratokonusam, pieaugot slimības smaguma pakāpei. Centrāli novietotam pirmās pakāpes keratokonusam (Mdn = 45,25 D) vidējais radzenes optiskais stiprums ir mazāks, nekā otrās (Mdn = 46,10 D) un trešās (Mdn = 51,85 D) pakāpes keratokonusam. *Mann – Whitney U* tests centrāli novietotam keratokonusam norāda uz statistiski būtisku atšķirību visās pakāpēs (pirmā pakāpe:  $U = 248,5$ ,  $p = 0,0023$ ; otrā pakāpe:  $U = 19$ ,  $p < 0,0001$ ; trešā pakāpe:  $U = 5$ ,  $p < 0,0001$ ). Savukārt, perifēri novietotam keratokonusam tests uzrāda statistiski būtisku atšķirību otrajā (Mdn = 45,33 D) un trešajā pakāpē (Mdn = 46,79 D), tās salīdzinot ar kontroles grupas rezultātiem (otrā pakāpe:  $U = 320$ ,  $p = 0,0065$ , trešā pakāpe:  $U = 254$ ,  $p < 0,0001$ ). Statistiski būtiska atšķirība netika novērota pirmās pakāpes perifēri novietotam keratokonusam (Mdn = 43,89 D) salīdzinājumā ar kontroles grupu ( $U = 878$ ,  $p =$

0,2991). Perifēri novietots keratokonus radzenes optiskās spējas, līdz ar to arī redzes kvalitāti, izmaina mazāk, nekā centrāli novietots.

Tika salīdzināts vidējais radzenes optiskais stiprums centrāli un perifēri novietota keratokonusa grupās atsevišķi katrā no keratokonusa pakāpēm. *Mann – Whitney U* tests neatkarīgiem datiem uzrādīja statistiski nebūtisku atšķirību starp pirmās pakāpes centrālo un perifēro keratokonusu ( $U = 150$ ,  $p = 0,1028$ ), taču otrās ( $U = 91$ ,  $p = 0,0426$ ) un trešās ( $U = 452$ ,  $p < 0,0001$ ) pakāpes keratokonusā šī atšķirība ir statistiski nozīmīga. Pirmās pakāpes keratokonusā tā virsotnes novietojums nebūtiski izmaina radzeni. Savukārt, otrās un trešās pakāpes keratokonusā tā virsotnes novietojums statistiski būtiski ietekmē radzeni, līdz ar to arī redzes kvalitāti.



**Att. 2.3.** Vidējā radzenes optiskā stipruma salīdzinājums starp kontrolē un keratokonusa pakāpju grupām

Keratokonusa gadījumā novērojamas literatūrā un citos pētījumos aprakstītās pazīmes – notiek izmaiņas radzenes formā, vidējais radzenes optiskais stiprums palielinās, vienlaicīgi notiekot radzenes plānināšanās procesiem. Statistiskajā analizē novērots, ka keratokonusa virsotnes novietojums centrā vidējo radzenes optisko stiprumu ietekmē vairāk un ātrāk, nekā perifērijā novietots keratokonus. Centrāli novietota keratokonusa virsotnes gadījumā vidējais radzenes optiskais stiprums tiek ietekmēts visās keratokonusa pakāpēs, taču perifēri novietota keratokonusa virsotne radzeni būtiski sāk ietekmēt tikai sākot ar otro keratokonusa slimības pakāpi. Keratokonusa pirmajā pakāpē nav novērojamas izteikti būtiskas izmaiņas radzenē. Ievērojamākas pazīmes parādās sākot ar otro keratokonusa pakāpi, kad ir novērojama arī statistiski būtiska atšķirība starp centrāli un perifēri novietotu keratokonusu. Paralēli šiem procesiem notiek arī redzes asuma samazināšanās, kas vērojama arī keratokonusam progresējot līdz trešajai slimības pakāpei.

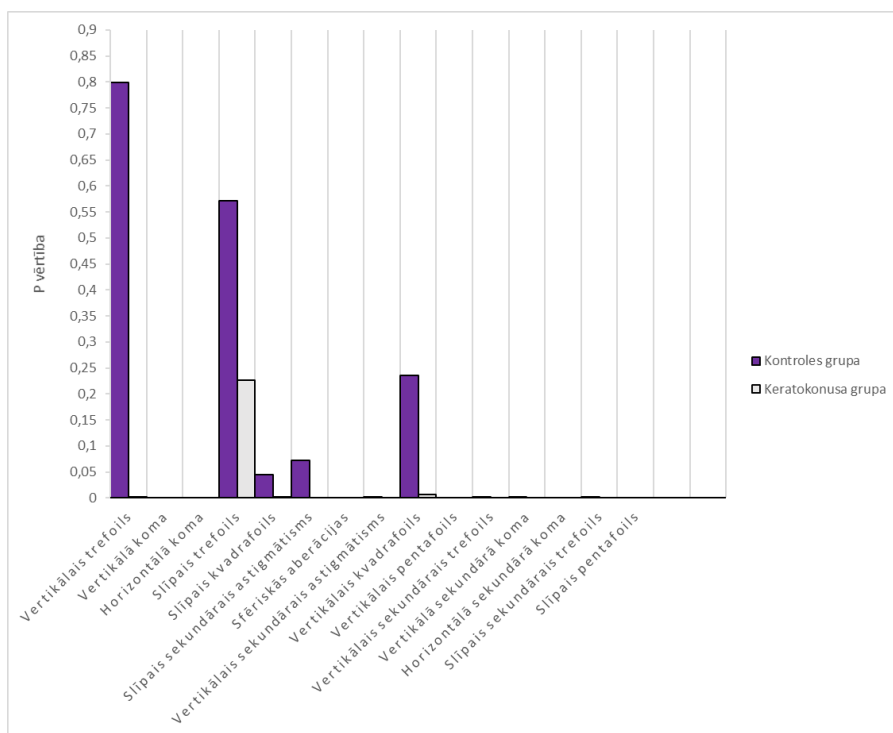
### 2.3.2. Augstāko kārtu aberāciju salīdzinājums 6 un 8 mm lielos radzenes apgabalos

Augstāko kārtu trešās līdz piektās pakāpes aberāciju lielumi tika novērtēti pie 6 un 8 mm lieliem radzenes centrālajiem apgabaliem. Ar mērķi noskaidrot, kuras augstākās kārtas aberācijas izmaiņas keratokonusa gadījumā, izmantojot *Mann – Whitney U* testu neatkarīgiem datiem, tika salīdzinātas aberāciju izmaiņas starp kontroles un keratokonusa grupām gan 6, gan 8 mm lielos radzenes apgabalos.

*Mann – Whitney U* tests, salīdzinot kontroles un keratokonusa grupu 6 mm lielā radzenes apgabalā, uzrādīja statistiski būtisku atšķirību visās augstākās kārtas trešās līdz piektās pakāpes aberācijās, izņemot sfēriskās aberācijas. Sfēriskajām aberācijām mediāna kontroles grupā ( $Mdn = 0,521$ ) ir lielāka, nekā keratokonusa grupā ( $Mdn = 0,484$ ) un šī atšķirība ir statistiski nebūtiska ( $U = 4776, p = 0,2171$ ). Savukārt, 8 mm lielā radzenes apgabalā statistiski būtiska atšķirība vērojama visās apskatītajās augstākās kārtas aberācijās ( $p < 0,0001$ ). Var uzskatīt, ka keratokonusa iespaidā radušos radzenes izmaiņu dēļ keratokonusa pacientiem statistiski būtiski pieaug radzenes priekšējās virsmas radītās augstākās kārtas aberācijas.

Ņemot vērā statistiski būtisko atšķirību lielākajā daļā augstāko kārtu aberāciju lielumos starp kontroles un keratokonusa grupām, izmantojot *Wilcoxon Signed - Rang* testu atkarīgiem datiem, tika salīdzināti aberāciju lielumi abās grupās divos radzenes apgabala izmēros – 6 un 8 mm diametrā. Attēlā 2.3. attēlotas *Wilcoxon Signed – Rang* testā iegūtās P vērtības šīm aberācijām statistiskās atšķirības starp diviem radzenes apgabaliem noteikšanai. Kontroles grupā, salīdzinot aberāciju lielumus starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem, statistiski nebūtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī vērojama četrām aberācijām – vertikālais ( $Z = 2600, p = 0,7987$ ) un slīpais trefoils ( $Z = 2743, p = 0,5716$ ), slīpais sekundārais astigmātisms ( $Z = 2131, p = 0,0722$ ) un vertikālais kvadrafoils ( $Z = 2316,5, p = 0,235$ ). Šajos gadījumos radzenes apgabala izmērs neietekmē aberācijas lielumus kontroles grupā. Savukārt keratokonusa grupā statistiski nebūtiska atšķirība starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem vērojama tikai vienas aberācijas – slīpā trefoila ( $Z = 2310,5, p = 0,2273$ ) gadījumā.

Pieaugot aplūkojamajam radzenes apgabalam, izmaiņas arī augstāko kārtu aberāciju lielumi gan kontroles, gan keratokonusa grupās. Šo izmaiņu dēļ, tālākai aberāciju analizēšanai izmantoti dati par 8 mm lielu radzenes apgabalu. Tas darīts arī ar mērķi izanalizēt plašāku radzenes apgabalu, lai vairāk novērtētu perifērijas ietekmi pacientiem ar perifēri novietotu keratokonusa virsotni, kam nopietnākas radzenes izmaiņas notiek tieši tās perifērijā. Tālākai analīzei izvēlētas aberācijas, kurām vērojamas būtiskākās atšķirības starp kontroles un keratokonusa grupām.



**2.3. att.** Augstākās kārtas trešās līdz piektās pakāpes aberāciju lielumu salīdzinājums, kas iegūti 6 un 8 mm lielos radzenes apgabalos. Aberāciju lielumi salīdzināti kontroles un keratokonusa grupās,  $\alpha=0,05$  līmenī kontroles grupā statistiski nenozīmīga atšķirība vērojama četrām aberācijām, keratokonusa grupai – vienai aberācijai

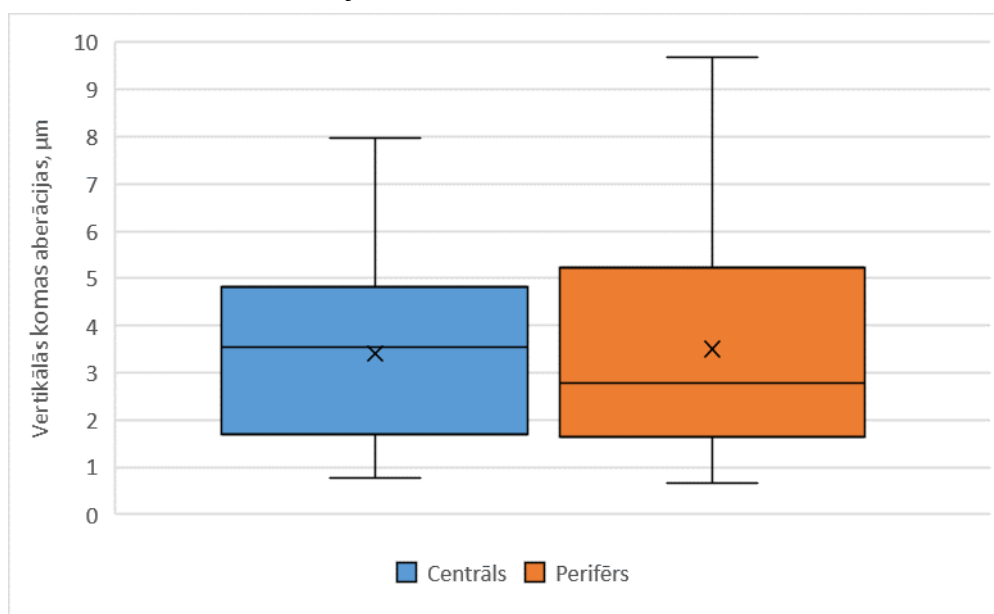
### 2.3.3. Vertikālās komas salīdzinājums

Literatūrā kā dominējošā augstākās kārtas aberācija, kas visvairāk mainās un iespaido redzes kvalitāti, minēta vertikālā koma. Arī šajā pētījumā vertikālajā komā vērojams pieaugums gan salīdzinot tās vērtības starp kontroles un keratokonusa grupām, gan pieaugot apskatītajam radzenes apgabalam, tāpēc tika sīkāk apskatīts šīs aberācijas lielumu statistiskais pieaugums.

Kontroles grupai vertikālajai komai 6 mm radzenes apgabalā mediāna ( $Mdn = 0,07$ ) ir mazāka, nekā 8 mm radzenes apgabalā ( $Mdn = 0,15$ ). *Wilcoxon Signed-Rang* tests atkarīgiem datiem liecina, ka vertikālajai komai starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem kontroles grupā ir statistiski būtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī,  $Z = 658$ ,  $p < 0,0001$ . Keratokonusa grupā vertikālajai komai 6 mm radzenes apgabalā ( $Mdn = 2,44$ ) mediāna ir mazāka, nekā 8 mm ( $Mdn = 2,99$ ) apgabalā. *Wilcoxon Signed - Rang* tests atkarīgiem datiem norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību  $\alpha = 0,05$  līmenī starp abu izmēru radzenes apgabaliem vertikālajai komai,  $Z = 342$ ,  $p < 0,0001$ . Tātad vertikālās komas lielums, apskatot lielāka diametra radzenes apgabalu, perifērijas ietekmē gan normā, gan keratokonusa gadījumā palielinās. Līdz ar to tālākai statistiskai analīzei un ar mērķi noteikt perifērijas ietekmi uz aberāciju pieaugumu tika izmantoti dati par 8 mm diametrā radzenes apgabalā novērotajiem aberāciju lielumiem. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka vertikālā koma 8 mm diametra radzenes reģionā kontroles grupā ( $Mdn = 0,15$ ) ir

ievērojami mazāka, nekā vertikālā koma keratokonusa grupā (Mdn = 2,99),  $U = 10608$ ,  $p < 0,0001$ , tādā vertikālajai komai vērojams statistiski būtisks pieaugums keratokonusa grupā.

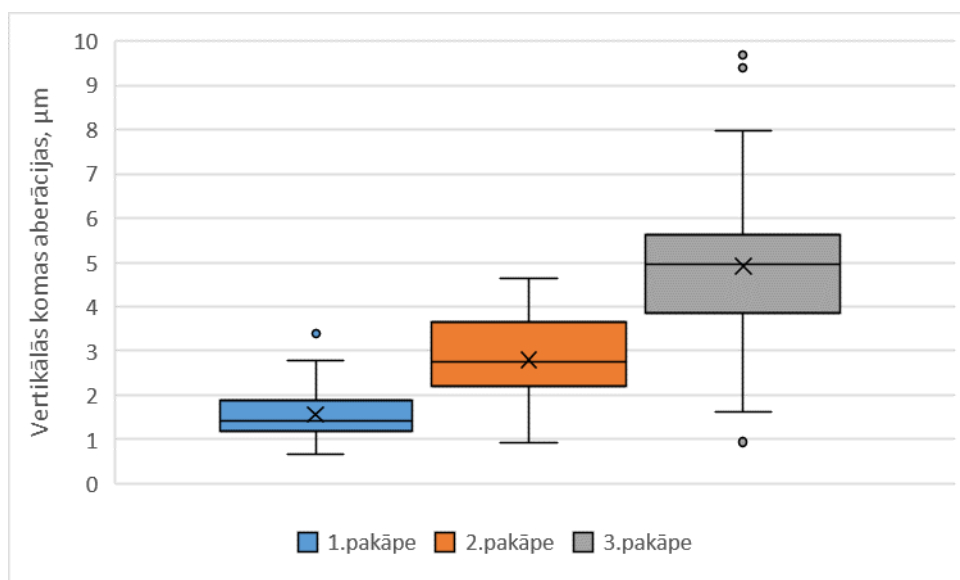
Attēlā 2.4. attēlots vertikālās komas mediānas un vidējās vērtības salīdzinājums starp centrāli un perifēri novietotu keratokonusu. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka centrāli novietota keratokonusa (Mdn = 3,53) gadījumā vertikālā koma ir statistiski nebūtiski lielāka, nekā perifēri novietota keratokonusa gadījumā (Mdn = 2,79),  $U = 1289$ ,  $p = 0,8148$ . Vertikālās komas gadījumā keratokonusa virsotnes novietojums būtiski neietekmē aberāciju lielumu.



**2.4.att.** Vertikālās komas salīdzinājums starp centrāli un perifēri novietotu keratokonusu

Kā attēlots 2.5. attēlā, salīdzinot vertikālās komas mediānas un vidējās vērtības starp pakāpēm, pieaugot keratokonusa pakāpei, vērojams vertikālās komas pieaugums. Savstarpēji salīdzinot visas trīs keratokonusa pakāpes (pirmā pakāpe: Mdn = 1,40; otrā: Mdn = 2,75; trešā: Mdn = 4,95), *Mann – Whitney U* tests norāda uz statistiski būtisku atšķirību visos keratokonusa pakāpju pāros ( $p < 0,0001$ ).

Vertikālās komas pieaugums, progresējot keratokonusam, saskan arī ar iepriekš novēroto vertikālās komas statistiski būtisko pieaugumu starp kontroles un keratokonusa grupu. Lai arī vertikālo komu ietekmē apskatītā apgabala radzenes reģions, to neietekmē keratokonusa virsotnes novietojums – nav būtiskas atšķirības starp perifēru un centrālu keratokonusu. Vertikālās komas būtiskais pieaugums starp visām aberācijām skaidrojams ar komai raksturīgo centrālo un paracentrālo radzenes asimetriju tieši tās apakšējā daļā.



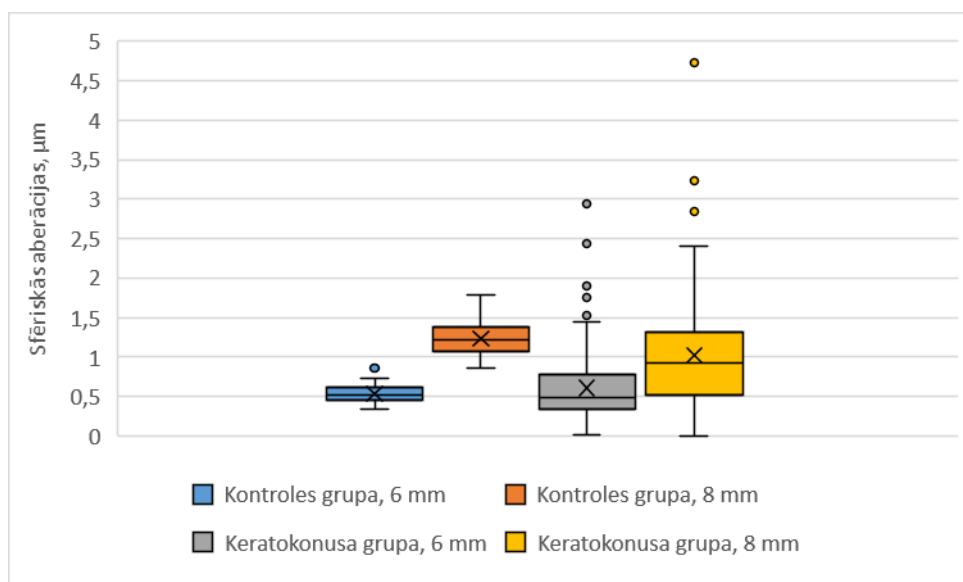
2.5.att. Vertikālās komas salīdzinājums starp keratokonusa pakāpēm

### 2.3.4. Sfērisko aberāciju salīdzinājums

Literatūrā kā otra dominējošā aberācija keratokonusa gadījumā minēta sfēriskās aberācijas. Kontroles grupā, apskatot sfērisko aberāciju lielumus, mediāna 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,52) ir mazāka, nekā 8 mm (Mdn = 1,22) apgabalā. *Wilcoxon Signed-Rang* tests atkarīgiem datiem liecina, ka sfēriskajām aberācijām starp 6 un 8 mm diametrā radzenes apgabaliem kontroles grupā ir statistiski būtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī,  $Z = 0$ ,  $p < 0,0001$ . Aberāciju lielums, apskatot lielāka diametra radzenes apgabalu, perifērijas ietekmē normā palielinās. Savukārt keratokonusa grupā sfērisko aberāciju mediāna 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,48) ir mazāka, nekā 8 mm (Mdn = 0,92). Arī keratokonusa grupā *Wilcoxon Signed - Rang* tests atkarīgiem datiem norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību  $\alpha = 0,05$  līmenī starp abu izmēru radzenes apgabaliem sfēriskajām aberācijām,  $Z = 407$ ,  $p < 0,0001$ . Tātad abās grupās, pieaugot apskatāmajam radzenes apgabala izmēram, vērojams statistiski būtisks palielinājums radzenes priekšējās virsmas radītajām sfēriskajām aberācijām.

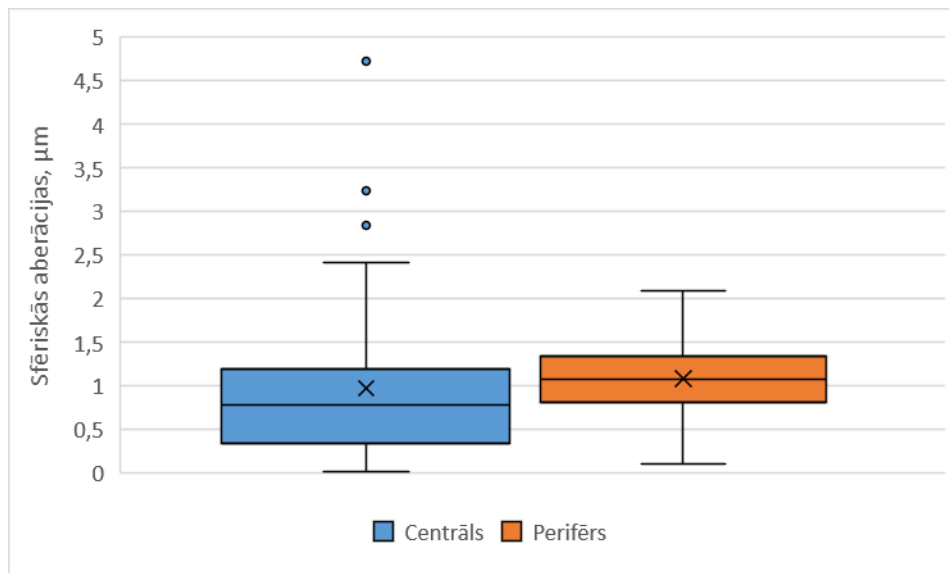
Sfērisko aberāciju mērījumu salīdzinājums starp kontroles un keratokonusa grupām abos radzenes apgabalos redzams attēlā 2.6.. 6 mm diametra radzenes apgabalā lielāka vidējā vērtība ir keratokonusa grupā, bet lielāka mediāna – kontroles grupā. Kā iepriekš minēts, tikai sfēriskajām aberācijām 6 mm radzenes reģionā netika noteikta statistiski būtiska atšķirība starp kontroles un keratokonusa grupām. Savukārt, 8 mm diametrā sfēriskajām aberācijām gan vidējā vērtība, gan mediāna ir lielāka kontroles grupā. *Mann – Whitney U* tests 8 mm radzenes apgabalā norāda, ka sfēriskajām aberācijām kontroles grupā (vidējā vērtība = 1,23, SD = 0,20, Mdn = 1,22) ir statistiski būtiski lielākas vērtības, nekā keratokonusa grupā (vidējā vērtība = 1,02, SD = 0,75, Mdn = 0,92),  $U = 3325,5$ ,  $p < 0,0001$ . Tātad palielinoties radzenes apgabalam, statistiski būtiski izmainās arī sfēriskās aberācijas. Savukārt to vidējā

vērtība un mediāna keratokonusa grupā, salīdzinot ar kontroles grupu 8 mm apgabalā, samazinās. Līdzīgus rezultātus ar sfērisko aberāciju samazinājumu ieguva arī *Pinero et al.* pētījumā par augstāko kārtu aberācijām keratokonusa gadījumā, saistot to ar konusa veidošanās procesiem (*Pinero et al., 2009*). Acīmredzot, cilvēkiem bez keratokonusa pazīmēm normā ir lielākas sfēriskās aberācijas, pie kā redzes sistēma ir spējusi adaptēties.



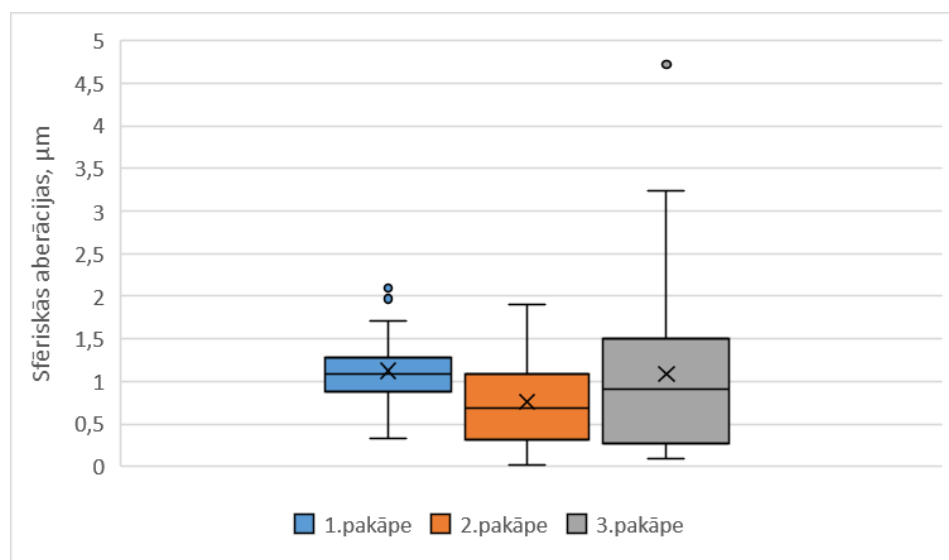
**2.6. att.** Sfērisko aberāciju salīdzinājums kontroles un keratokonusa grupā divos apskatītajos radzenes apgabalos – 6 un 8 mm diametrā

Apskatot sfērisko aberāciju mainību atkarībā no keratokonusa virsotnes novietojuma attēlā 2.7., mediāna centrāli novietotas keratokonusa virsotnes gadījumā ir mazāka (Mdn = 0,78), nekā perifērā keratokonusa gadījumā (Mdn = 1,08). *Mann – Whitney U* tests norāda, ka perifēri novietotam keratokonusam sfēriskās aberācijas ir statistiski būtiski lielākas, nekā centrāli novietotam keratokonusam,  $U = 1647$ ,  $p = 0,0339$ . Tātad keratokonusa virsotnes novietojums perifērijā ietekmē sfērisko aberāciju lielumu.



**2.7.att.** Sfērisko aberāciju salīdzinājums starp centrāli un perifēri novietotu keratokonusu

Salīdzinot sfērisko aberāciju mainīgumu, kā redzams attēlā 2.8., starp trim keratokonusa pakāpēm, vērojama nevienmērīga aberāciju lielumu mainība. Ņemot vērā iepriekš aprakstīto statistiski būtisko atšķirību sfēriskajām aberācijām starp kontroles un keratokonusa grupām, sagaidāms rezultāts sfērisko aberāciju lielumos, salīdzinot otro un trešo pakāpi, arī būtu aberāciju lieluma samazināšanās. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka pirmās pakāpes (Mdn = 1,08) keratokonusam sfēriskajām aberācijām vērtības ir lielākas, nekā otrās pakāpes keratokonusam (Mdn = 0,69),  $U = 503,5$ ,  $p = 0,0035$ . Starp otro – trešo (Mdn = 0,92) pakāpi un pirmo – trešo pakāpi netiek novērota statistiski būtiska atšķirība (attiecīgi:  $U = 463$ ,  $p = 0,2903$ ;  $U = 904,5$ ,  $p = 0,21$ ).



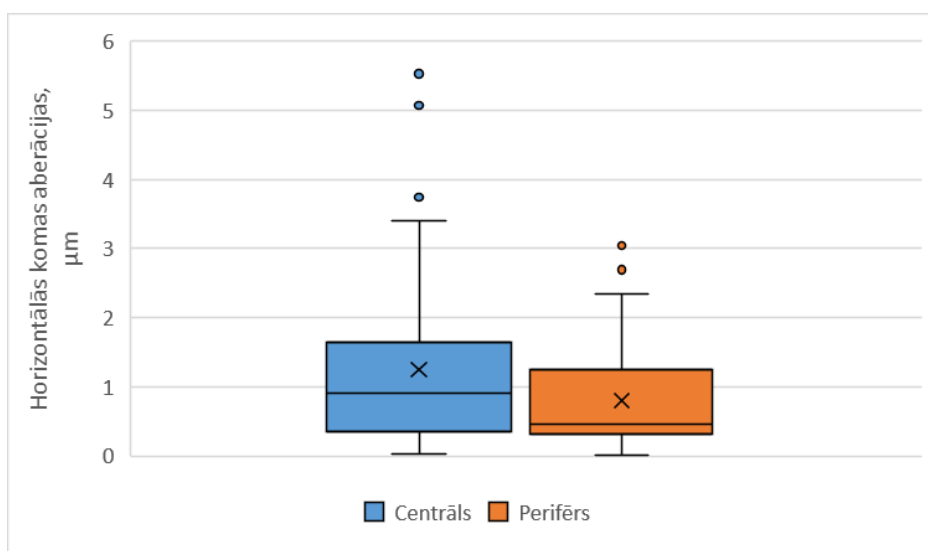
**2.8.att.** Sfērisko aberāciju salīdzinājums starp trim keratokonusa pakāpēm

Lai arī starp pirmo un otro keratokonusa pakāpi ir vērojama aberāciju lielumu statistiski būtiska atšķirība, sfēriskās aberācijas, progresējot keratokonusa, caurmērā starp visām keratokonusa pakāpēm mainās maz. Arī *Alio & Shabayek* pētījumā par radzenes augstākās kārtas aberācijām keratokonusā secina, ka sfēriskās aberācijas, salīdzinot ar vertikālo komu, mainās minimāli (*Alio & Shabayek*, 2006). Ņemot vērā to, ka normā tās pat ir lielākas, kā keratokonusa grupā, iespējams, traucējošāks efekts ir sfērisko aberāciju samazināšanās ilgtermiņā slimības progresijas laikā. Ņemot vērā sfēriskās aberācijas vidējās vērtības un mediānas svārstīgumu, šādas nevienmērīgas izmaiņas varētu būt skaidrojamas ar faktu, ka trešās pakāpes keratokonusa grupā vērojama liela datu izkliede, kā arī starp grupām ir nevienmērīgs pacientu sadalījums.

### 2.3.5. Horizontālās komas salīdzinājums

Literatūrā kā būtiski mainīgas aberācijas tiek atzīmētas komas aberācijas. Pētījumā tika papildus analizēta arī horizontālā koma. Kontroles grupai mediāna horizontālajai komai 6 mm radzenes apgabalā ( $Mdn = 0,08$ ) ir mazāka, nekā 8 mm radzenes apgabalā ( $Mdn = 0,18$ ). *Wilcoxon Signed-Rang* tests atkarīgiem datiem liecina, ka horizontālajai komai starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem kontroles grupā ir statistiski būtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī,  $Z = 297$ ,  $p < 0,0001$ . Keratokonusa grupā horizontālajai komai 6 mm radzenes apgabalā ( $Mdn = 0,45$ ) mediāna ir mazāka, nekā 8 mm ( $Mdn = 0,69$ ) apgabalā. *Wilcoxon Signed - Rang* tests norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību  $\alpha = 0,05$  līmenī starp abu izmēru radzenes apgabaliem horizontālajai komai arī keratokonusa grupā,  $Z = 620$ ,  $p < 0,0001$ . Horizontālās komas lielumu abās grupās ietekmē apskatāmā radzenes apgabala izmērs. Izvērtējot horizontālo komu 8 mm diametra radzenes reģionā, kontroles grupas mediāna ( $Mdn = 0,18$ ) ir mazāka, nekā keratokonusa grupā ( $Mdn = 0,69$ ). *Mann – Whitney U* tests norāda, ka kontroles grupā horizontālā koma ir mazāka, nekā keratokonusa grupā,  $U = 8858$ ,  $p < 0,0001$ . Horizontālajai komai vērojams statistiski būtisks pieaugums keratokonusa grupā.

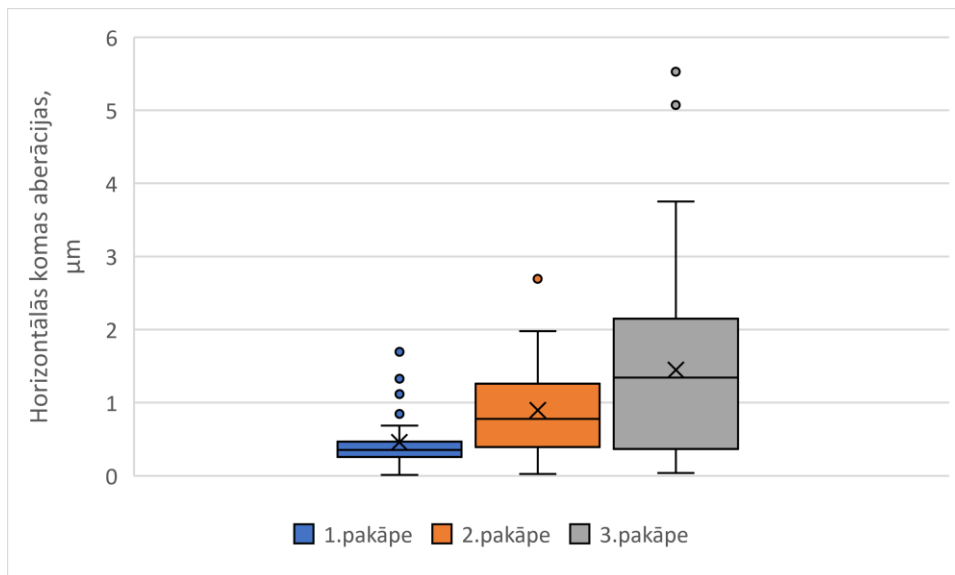
Attēlā 2.9. atainotas centrāli un perifēri novietotu keratokonusa virsotņu horizontālās komas vērtības. Centrāli novietotas keratokonusa virsotnes gadījumā horizontālās komas vidējā vērtība, tāpat kā mediāna, ir lielāka, nekā perifērā keratokonusa gadījumā. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka centrāli novietota keratokonusa gadījumā horizontālās komas vērtības ir ( $Mdn = 0,92$ ) statistiski nebūtiski lielākas, nekā perifēri novietota keratokonusa gadījumā ( $Mdn = 0,46$ ),  $U = 1581,5$ ,  $p = 0,0912$ . Tātad horizontālās komas gadījumā, līdzīgi kā vertikālajai komai, keratokonusa virsotnes novietojums būtiski neietekmē aberāciju lielumu.



**2.9. att.** Horizontālās komas salīdzinājums centrālā un perifērā keratokonusa gadījumā

Salīdzinot horizontālās komas izmaiņas katrā no pakāpēm atkarībā no keratokonusa virsotnes novietojuma, statistiski būtiska atšķirība vērojama tikai pirmajā pakāpē. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka centrāli novietota pirmās pakāpes keratokonusa gadījumā horizontālā koma (Mdn = 0,29) ir statistiski būtiski mazāka, nekā perifērā keratokonusa gadījumā (Mdn = 0,40),  $U = 45,5$ ,  $p = 0,0172$ . Otrajā un trešajā pakāpē nav statistiski būtiska atšķirība starp centrāli un perifēri novietotu keratokonusu.

Kā redzams attēlā 2.10., salīdzinot horizontālās komas vērtības starp pakāpēm, pieaugot keratokonusa pakāpei, vērojams horizontālās komas pieaugums. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka horizontālās komas vērtības pirmajā pakāpē (Mdn = 0,35) ir statistiski būtiski mazākas, nekā otrajā pakāpē (Mdn = 0,78),  $U = 91$ ,  $p = 0,0257$  un trešajā pakāpē (Mdn = 1,34),  $U = 79$ ,  $p = 0,0079$ . Savukārt, starp otro un trešo pakāpi horizontālajai komai nav statistiski būtiska atšķirība. Tas iespējams saistīts ar nevienmērīgo pacientu sadalījumu starp grupām, kā arī lielo datu izkliedi. Horizontālās komas lielums pieaug, keratokonusu salīdzinot ar kontroles grupu un tam progresējot, taču, ņemot vērā nebūtiskās izmaiņas aberāciju lielumā analizējot keratokonusa novietojumu, var uzskatīt, ka konusa virsotnes novietojums būtiski neietekmē horizontālās komas pieaugumu.



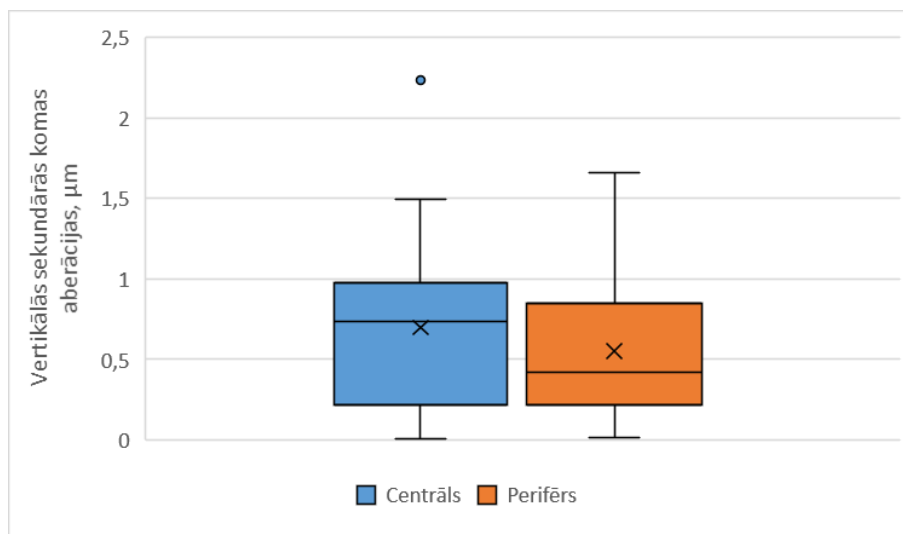
2.10. att. Horizontālās komas salīdzinājums starp trim keratokonusa pakāpēm.

### 2.3.6. Vertikālās sekundārās komas salīdzinājums

Kontroles grupai mediāna vertikālajai sekundārajai komai 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,02) ir mazāka, nekā 8 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,03). *Wilcoxon Signed-Rang* tests atkarīgiem datiem liecina, ka vertikālajai sekundārajai komai starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem kontroles grupā ir statistiski būtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī,  $Z = 1134$ ,  $p < 0,0001$ . Keratokonusa grupā 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,27) mediāna ir mazāka, nekā 8 mm (Mdn = 0,57) apgabalā. *Wilcoxon Signed - Rang* tests norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību  $\alpha = 0,05$  līmenī arī keratokonusa grupā,  $Z = 174$ ,  $p < 0,0001$ . Arī vertikālās sekundārās komas lielums gan normā, gan keratokonusa gadījumā perifērijā palielinās. Izvērtējot vertikālo sekundāro komu 8 mm diametra radzenes apgabalā, kontroles grupas mediāna (Mdn = 0,03) ir ievērojami mazāka, nekā keratokonusa grupas vertikālās sekundārās komas mediāna (Mdn = 0,57). *Mann – Whitney U* tests norāda, ka kontroles grupas vertikālā sekundārā koma ir statistiski būtiski mazāka, nekā keratokonusa grupā,  $U = 10\ 245$ ,  $p < 0,0001$ , norādot uz statistiski būtisku šīs aberācijas pieaugumu keratokonusa grupā.

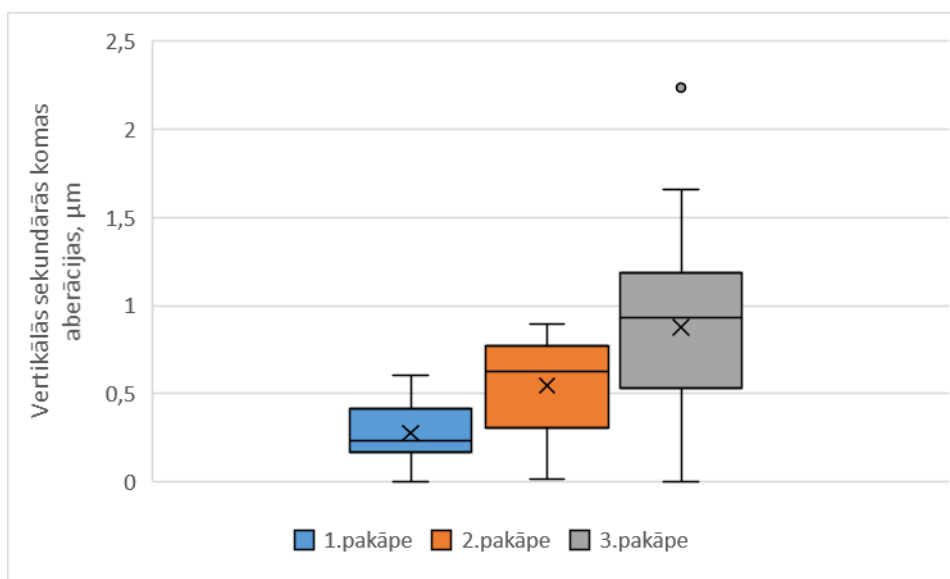
Centrāli novietotas keratokonusa virsotnes gadījumā, kā redzams attēlā 2.11., vertikālās sekundārās komas vidējā vērtība un mediāna ir lielākas, nekā perifērā keratokonusa gadījumā. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka centrāli novietota keratokonusa gadījumā vertikālā sekundārā koma (Mdn = 0,74) ir statistiski nebūtiski lielāka, nekā perifēri novietota keratokonusa gadījumā (Mdn = 0,42),  $U = 1540,5$ ,  $p = 0,1560$ . Salīdzinot vertikālās sekundārās komas izmaiņas katrā no pakāpēm atkarībā no keratokonusa virsotnes novietojuma, ar *Mann – Whitney U* testu iegūta statistiski būtiska atšķirība tikai otrajā keratokonusa pakāpē. Centrāli novietota otrās pakāpes keratokonusa gadījumā vertikālā sekundārā koma (Mdn = 0,73) ir statistiski būtiski lielāka, nekā perifērā keratokonusa gadījumā (Mdn = 0,34),  $U = 95$ ,  $p =$

0,0206. Ņemot vērā nebūtiskās izmaiņas datus par aberācijām atkarībā no keratokonusa novietojuma, vertikālās sekundārās komas, līdzīgi kā vertikālās un horizontālās komas gadījumā keratokonusa virsotnes novietojums būtiski neietekmē aberāciju lielumu.



**2.11. att.** Vertikālās sekundārās komas salīdzinājums centrāla un perifēra keratokonusa gadījumā

Savukārt, salīdzinot vertikālās sekundārās komas vērtības starp pakāpēm, kā redzams attēlā 2.12., pieaugot keratokonusa pakāpei, vērojams vertikālās sekundārās komas pieaugums. Savstarpēji salīdzinot visas trīs keratokonusa pakāpes, *Mann–Whitney U* tests norāda uz statistiski būtisku atšķirību starp visām keratokonusa pakāpēm: starp pirmo (Mdn = 0,23) un otro pakāpi (Mdn = 0,63),  $U = 50,5$ ,  $p = 0,0005$ , starp otro un trešo (Mdn = 0,93),  $U = 91$ ,  $p = 0,0244$  un starp pirmo un trešo pakāpi  $U = 41,5$ ,  $p = 0,0002$ . Vertikālās sekundārās komas lielums pieaug keratokonusa gadījumā, tāpat tas pieaug, progresējot keratokonusam, taču, līdzīgi kā citās komas aberācijās, to neietekmē konusa novietojums.

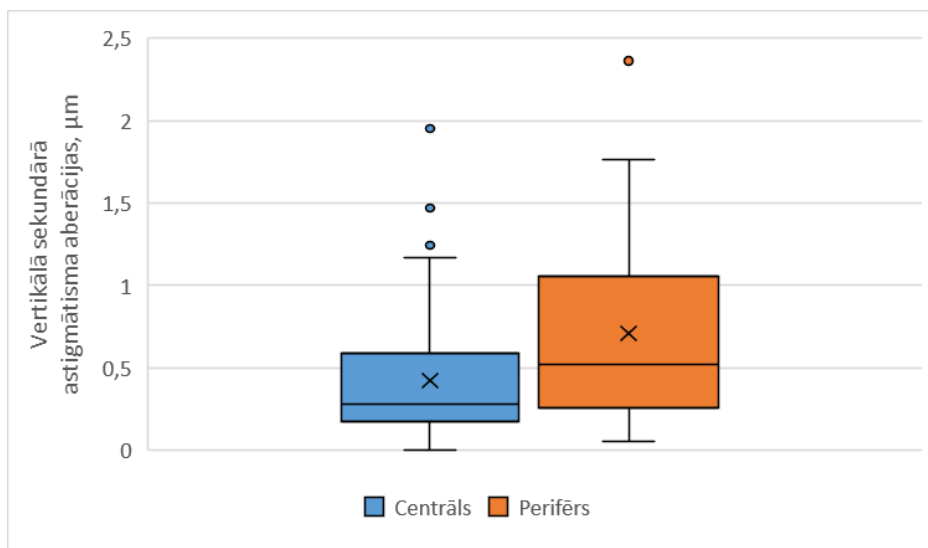


**2.12. att.** Vertikālās sekundārās komas salīdzinājums katrā no keratokonusa pakāpēm

### 2.3.7. Vertikālā sekundārā astigmātisma salīdzinājums

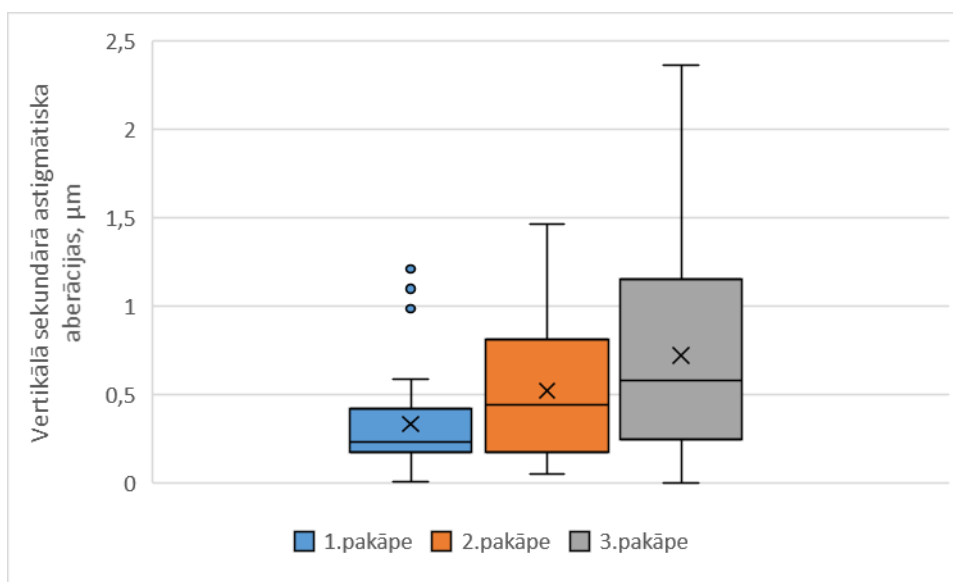
Tika aplūkots arī vertikālais sekundārais astigmātisms, kuram kontroles grupā mediāna 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,05) ir mazāka, nekā 8 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,08). *Wilcoxon Signed-Rang* tests atkarīgiem datiem liecina, ka vertikālajam sekundārajam astigmātsimam starp 6 un 8 mm lieliem radzenes apgabaliem kontroles grupā ir statistiski būtiska atšķirība  $\alpha = 0,05$  līmenī,  $Z = 1547,5$ ,  $p = 0,0002$ . Keratokonusa grupā vertikālajam sekundārajam astigmātsimam 6 mm radzenes apgabalā (Mdn = 0,24) mediāna ir mazāka, nekā 8 mm (Mdn = 0,40) apgabalā. *Wilcoxon Signed - Rang* tests norāda šai aberācijai uz statistiski nozīmīgu atšķirību  $\alpha = 0,05$  līmenī starp abu izmēru radzenes apgabaliem,  $Z = 431,5$ ,  $p < 0,0001$ . Vertikālā sekundārā astigmātisma lielums perifērijas ietekmē gan normā, gan keratokonusa gadījumā palielinās. Izvērtējot vertikālo sekundāro astigmātismu 8 mm diametra radzenes apgabalā, kontroles grupas mediāna (Mdn = 0,08) ir mazāka, nekā keratokonusa grupā (Mdn = 0,40). *Mann – Whitney U* tests norāda, ka kontroles grupai vertikālais sekundārais astigmātisms ir statistiski būtiski mazāks, nekā keratokonusa grupā,  $U = 9394,5$ ,  $p < 0,0001$ , tātad šai aberācijai vērojams statistiski būtisks pieaugums keratokonusa grupā.

Attēlā 2.13. attēlotas centrāli un perifēri novietotu keratokonusu vidējās vērtības un mediānas. Centrāli novietotas keratokonusa virsotnes gadījumā vertikālā sekundārā astigmātisma vidējā vērtība ir mazāka, nekā perifērā keratokonusa gadījumā. *Mann – Whitney U* tests norāda, ka centrāli novietota keratokonusa gadījumā vertikālais sekundārais astigmātisms (Mdn = 0,28) ir statistiski būtiski mazāks, nekā perifērā keratokonusa gadījumā (Mdn = 0,52),  $U = 881$ ,  $p = 0,0034$ . *Mann – Whitney U* tests, salīdzinot vertikālā sekundārā astigmātisma lielumu katrā no pakāpēm atsevišķi, uzrādīja statistiski būtisku atšķirību trešajā keratokonusa pakāpē. Centrāli novietota trešās pakāpes keratokonusa gadījumā vertikālais sekundārais astigmātisms (Mdn = 0,34) ir statistiski būtiski mazāks, nekā perifērā keratokonusa gadījumā (Mdn = 1,12),  $U = 50$ ,  $p = 0,0002$ . Vertikālā sekundārā astigmātisma gadījumā keratokonusa virsotnes novietojums perifērijā būtiski ietekmē aberāciju lielumu.



**2.13. att.** Vertikālā sekundārā astigmātisma salīdzinājums centrāli un perifēri novietotā keratokonusā

Attēlā 2.14. salīdzinātas vertikālā sekundārā astigmātisma vērtības starp pakāpēm. Pieaugot keratokonusa pakāpei, vērojams vertikālā sekundārā astigmātisma pieaugums. Savstarpēji salīdzinot visas trīs keratokonusa pakāpes, *Mann – Whitney U* tests norāda, ka pirmās pakāpes keratokonusā vertikālais sekundārais astigmātisms (Mdn = 0,23) ir statistiski būtiski mazāks, nekā trešās pakāpes keratokonusā (Mdn = 0,58),  $U = , p = 0,0354$ . Izvērtējot aberācijas lieluma pieauguma ātrumu, jo atšķirība redzama tikai starp pirmo un trešo pakāpi, vertikālais sekundārais astigmātisms keratokonusa gadījumā pieaug lēnām. Ņemot vērā arī faktu, ka keratokonusa virsotnes novietojums ietekmē aberāciju lielumu tikai trešajā pakāpē, var pieņemt, ka vertikālais sekundārais astigmātisms redzes kvalitāti ietekmē tikai vēlākās slimības stadijās un agrīnā diagnostikā nav noderīgs.



**2.14. att.** Vertikālā sekundārā astigmātisma salīdzinājums dažādās keratokonusa pakāpēs

### 2.3.8. Korelācija starp radzenes vidējo optisko stiprumu, augstākās kārtas aberācijām un redzes asumu keratokonusa grupā

Aberāciju un radzenes vidējā optiskā stipruma korelācijas ar redzes asumu noteikšanai tika izmantota *MS Excel Data Analysis* funkcija *Correlation*. Korelācija starp radzenes vidējo optisko stiprumu un redzes asumu ir vidēji spēcīga ( $|r| = 0,60$ ). Augstākās kārtas aberācijām korelācija tika noteikta gan 6, gan 8 mm lielos radzenes apgabalos. 2.2. tabulā apkopoti rezultāti par tām aberācijām, kurām novērota augstākā korelācija ar redzes asumu. Kā redzams tabulā, kopumā lielāka korelācija starp aberācijām un redzes asumu vērojama 6 mm lielā radzenes apgabalā. Lielākās korelācijas, kas ir vistuvāk vidēji spēcīgai korelācijai ( $0,50 < |r| < 0,80$ ), iegūtas piecām augstākās kārtas aberācijām 6 mm apgabalā, savukārt 8 mm lielā radzenes apgabalā, tikai četrām aberācijām – sfēriskajām aberācijām 8 mm apgabalā korelācija starp aberācijas lielumu un redzes asumu ir vāja ( $|r| = 0,13$ ). Ņemot vērā to, ka sfēriskajām aberācijām lielums pieaug, apskatot lielāku radzenes apgabalu, taču pie lielāka radzenes apgabala vērojama vāja korelācija ar redzes asumu, var secināt, ka sfēriskās aberācijas nav primāri nozīmīgas redzes asuma ietekmēšanā. Vertikālās un horizontālās komas korelāciju ar redzes asumu būtiski neietekmē apskatāmais radzenes apgabals. Lielākas korelācijas izmaiņas starp abiem radzenes apgabaliem vērojamas vertikālajai un horizontālajai sekundārajām komām.

**2.2.tabula** Augstākās korelāciju vērtības starp aberācijām un redzes asumu

Aberācija	$ r $ , 6 mm	$ r $ , 8 mm
Vertikālā koma	0,41	0,40
Horizontālā koma	0,41	0,41
Vertikālā sekundārā koma	0,43	0,39
Horizontālā sekundārā koma	0,41	0,45
Sfēriskās aberācijas	0,37	0,13

Analizējot aberācijas 6 mm lielā radzenes apgabalā dažādās keratokonusa pakāpēs un virsotnes novietojumos, iegūtas pat tuvu spēcīgai korelācijas. Augstākā korelācija tika iegūta pirmās pakāpes centrāli novietota keratokonusa vertikālajam sekundārajam astigmātismam ( $|r| = 0,74$ ) un otrās pakāpes centrāli novietota keratokonusa slīpajam sekundārajam astigmātismam ( $|r| = 0,67$ ). Kā redzams 2.2. tabulā, 8 mm diametrā skatoties visā grupā gan horizontālajai komai, gan vertikālajai sekundārajai komai korelācija ir tuvu vidēji spēcīgai, attiecīgi  $|r| = 0,41$  un  $|r| = 0,39$ . 8 mm lielā radzenes apgabalā lielākās korelācijas iegūtas otrās pakāpes centrāli novietotam slīpajam sekundārajam astigmātismam ( $|r| = 0,65$ ) un trešās pakāpes perifēri novietotai horizontālajai komai ( $|r| = 0,54$ ).

Tabulā 2.3. attēlotas atsevišķi dominējošo aberāciju lielumu korelācijas ar redzes asumu 8 mm lielā radzenes apgabalā. Salīdzinot dominējošās aberācijas – vertikālo komu ( $|r| = 0,40$ ) un sfēriskās aberācijas ( $|r| = 0,13$ ) ar redzes asumu visā keratokonusa grupā, lielāka, lai arī tāpat vāja, korelācija uzrādās vertikālās

komas gadījumā, kas saskan arī ar iepriekš secināto faktu, ka vertikālā koma keratokonusā pieaug stipri vairāk, nekā sfēriskās aberācijas.

Vāja korelācija ( $|r| < 0,50$ ) vērojama keratokonusa grupu sadalot sīkāk pēc pakāpēm un aplūkojot katras pakāpes aberāciju lielumu korelāciju ar redzes asumu. Līdzīgi, salīdzinot aberāciju lielumu ar redzes asumu visās trīs pakāpēs atsevišķi centrāla un perifēra keratokonusa gadījumā arī vērojama vāja korelācija ( $|r| < 0,50$ ). Vistuvāk vidēji ciešai korelācijai tests uzrādīja sakarību trešajā pakāpē sfēriskajām aberācijām centrālā keratokonusa un vertikālajai komai perifērā keratokonusa gadījumā. Caurmērā labāka korelācija ar redzes asumu vērojama tieši centrālā keratokonusa gadījumā, tas skaidrojams ar faktu, ka perifērs keratokonuss atrodas tālāk no radzenes centra, līdz ar to redzes asumu ietekmē mazāk.

**2.3.tabula** Dominējošo aberāciju korelācija ar redzes asumu trīs keratokonusa pakāpēs

Keratokonusa pakāpe/ Korelācija	1. pakāpe	2. pakāpe	3. pakāpe
Sfēr.aber./redzes asums	0,28	-0,07	-0,29
Vert.koma/redzes asums	-0,01	-0,08	0,18
Centrāls: Sfēr.aber./Redzes asums	0,39	-0,35	-0,47
Perifērs: Sfēr.aber./Redzes asums	0,01	-0,03	0,41
Centrāls: Vert.koma/Redzes asums	-0,23	0,08	-0,26
Perifērs: Vert.koma/Redzes asums	-0,24	-0,21	0,46

## SECINĀJUMI

1. Rezultāti apstiprina darbā izvirzīto hipotēzi, ka keratokonusa progresijas gadījumā pieaug augstākās kārtas aberācijas, ar izņēmumu sfēriskajās aberācijās, kas keratokonusa gadījumā samazinās.
2. Keratokonusa pacientiem pieaug radzenes vidējais optiskais stiprums, bet samazinās redzes asums un radzenes biezums. Kontroles grupas radzenes vidējais optiskais stiprums ir  $43,35 \pm 1,06$  D, savukārt keratokonusa grupā tas palielinās no  $44,02 \pm 1,66$  D līdz  $50,27 \pm 4,80$  D III pakāpes keratokonusa pacientiem. Pieaugot radzenes vidējam optiskajam stiprumam, samazinās redzes asums no  $0,8 \pm 0,2$  līdz  $0,5 \pm 0,2$  III pakāpes keratokonusa pacientiem. Vērojama vidēji spēcīga ( $r = 0,60$ ) korelācija starp radzenes vidējo optisko stiprumu un redzes asumu. Radzenes biezums kontroles grupā ir  $556,03 \pm 32,69$   $\mu\text{m}$ , bet keratokonusa pacientiem tas samazinās no vidēji  $493,74 \pm 37,67$   $\mu\text{m}$  līdz vidēji  $439,52 \pm 51,32$   $\mu\text{m}$  III pakāpes keratokonusa pacientiem
3. Augstāko kārtu aberācijas, pieaugot apskatāmajam radzenes apgabalam, keratokonusa pacientiem statistiski būtiski palielinās ( $p < 0,0001$ ).
4. Nozīmīgākais aberāciju pieaugums vērojams vertikālajā un horizontālajā komā, vertikālajā sekundārajā komā un vertikālajā sekundārajā astigmātismā. Sfēriskajām aberācijām vērojams samazinājums. Vertikālās komas vidējā vērtība 8 mm lielā radzenes apgabalā keratokonusa pacientiem ( $3,45 \pm 2,02$ ), salīdzinot ar kontroles grupu ( $0,17 \pm 0,14$ ), pieauga visstraujāk un izmaiņas ir statistiski būtiskas ( $p < 0,0001$ ), pārējās dominējošās aberācijas mainās mazāk.
5. Radzenes formas izvēlēšanās rada augstāko kārtu aberācijas un samazina redzes asumu. Radzenes vidējam optiskajam stiprumam ir vidēji spēcīga korelācija ar redzes asumu ( $|r| = 0,60$ ). Taču dominējošajām aberācijām ar redzes asumu ir vāja korelācija ( $|r| < 0,50$ ). Spēcīgāk to ietekmē sekundārais astigmātisms, aberācijas mazākā radzenes reģionā un centrāli novietots keratokonuss (centrāls vertikālais sekundārais astigmātisms ( $|r| = 0,74$ ), centrāls slīpais sekundārais astigmātisms ( $|r| = 0,67$ )).

## NOBEIGUMS

Keratokonuss ir radzenes deģeneratīva slimība, kuras rezultātā izmainās radzenes forma, veicinot augstāko kārtu aberāciju pieaugumu. Savukārt aberāciju pieaugums ietekmē redzes kvalitāti. Tās agrīna diagnosticēšana un ārstēšana var palīdzēt uzlabot ārstēšanas rezultātus. Keratokonusa agrīna diagnostika ir apgrūtināta neizteikto simptomu dēļ, kā dēļ cilvēks pie redzes speciālista bieži vien vēršas novēloti. Keratokonusa diagnostikā noderīgi ir analizēt tādus radzeni raksturojošus lielumus kā pahimetrijas, radzenes vidējā optiskā stipruma mērījumus un augstāko kārtu aberāciju lielumus. Analizējot šo aspektu izmaiņas, var iegūt pēc iespējas pilnīgāku keratokonusa pacienta vispārīgo raksturojumu. Tas redzes speciālistam dod iespēju ātrāk novērtēt izmaiņas radzenē, kas varētu liecināt par keratokonusa attīstību.

Keratokonusa gadījumā vērojama radzenes izvelvēšanās, vidējā optiskā stipruma pieaugums, tās plānināšanās un redzes asuma samazināšanās. Redzes asumu ietekmē radzenes izvelvēšanās, kur vērojama vidēji spēcīga korelācija. Tā samazinājumam nav izteiktas korelācijas ar augstāko kārtu aberāciju pieaugumu, kas vērojams keratokonusa gadījumā. Tādēļ var uzskatīt, ka tas nav primārs aspekts redzes kvalitātes analizēšanā keratokonusa pacientiem, atšķirībā no kontrastredzes, kuras korelācija ar aberācijām apskatīta citu pētnieku darbos, secinot, ka aberācijas ietekmē kontrastredzi, bet ne visas vienlīdz spēcīgi (*Applegate et al., 2002*), (*Oshika et al., 2006*). Līdzīgi kā citu autoru pētījumos (*Pinero et al., 2009*), (*Alio & Shabayek, 2006*), (*Buhren et al., 2006*) slimībai progresējot, ir vērojams augstāko kārtu aberāciju pieaugums. Dominējošā aberācija keratokonusa gadījumā ir vertikālā koma, kas skaidrojama ar faktu, ka keratokonusam parasti raksturīga asimetrija radzenes apakšējā daļā. Citas augstākās kārtas aberācijas izmantojamas kā papildinājums keratokonusa diagnostikā. Agrīnāk iespējams diagnosticēt centrāli novietotu keratokonusu, kas ietekmē redzes kvalitāti būtiskāk, nekā perifēri novietots keratokonuss. Tas skaidrojams ar faktu, ka perifērs keratokonuss atrodas tālāk no radzenes centra, līdz ar to redzes asumu ietekmē mazāk. Palielinoties apskatāmajam radzenes apgabalam, pieaug arī aberāciju lielumi, taču perifēri novietota keratokonusa diagnostikā tam ir maza nozīme, jo dominējošajās komas aberācijās keratokonusa novietojums neietekmē to lielumu.

Pētījumu iespējams uzlabot, apzinot lielāku keratokonusa pacientu daudzumu, tos sadalot līdzīgās grupās pēc vecuma, dzimuma un skaita pa pakāpēm. Tā kā citos pētījumos atklāta korelācija starp aberāciju lielumiem un kontrastredzi, būtu vērtīgi pētījumā aplūkot arī kontrastredzes mērījumus (*Applegate et al., 2002*), (*Oshika et al., 2006*). Veicot regulāru pētījumā iesaistīto pacientu skrīningu, vērojot keratokonusa radīto efektu izmaiņas laika gaitā, varētu analizēt keratokonusa attīstību. Tas palīdzētu keratokonusa agrīnai diagnostikai un laicīgi sāktai slimības kontrolei.

## IZMANTOTĀ LITERĀTŪRA

- Alio, J. L., & Shabayek, M. H. (2006). Corneal higher order aberrations: a method to grade keratoconus. *Journal of Refractive Surgery*, 22(6), 539-545.
- Al – Mohaimeed, M. M. (2013). Penetrating keratoplasty for keratoconus: visual and graft survival outcomes. *International Journal of Health Sciences*, 7(1), 57 - 63.
- Applegate, R. A., Sarver, E. J., & Khemsara, V. (2002). Are all aberrations equal? *Journal of Refractive Surgery*, 18(5), 556 - 562.
- Bawazeer, A. M., Hodge, W. G., & Lorimer, B. (2000). Atopy and keratoconus: a multivariate analysis. *British Journal of Ophthalmology*, 84(8), 834 - 836.
- Bennett, A. G., & Rabbetts, R. (1984). *Clinical visual optics*. Butterworths.
- Bühren, J. K., Kuhne, C., & Kohnen, T. (2006). Defining subclinical keratoconus using corneal first – surface higher – order aberrations. *American Journal of Ophthalmology*, 143(3), 381 - 389.
- Colin, J. C., Cochener, B., Savary, G., & Malet, F. (2000). Correcting keratoconus with intracorneal rings. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 26(8), 1117 - 1122.
- Colin, J. V., & Velou, S. (2003). Current surgical options for keratoconus. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 29(2), 379 -386.
- Gobbe, M. G., & Guillon, M. (2005). Corneal wavefront aberration measurements to detect keratoconus patients. *Contact Lens and Anterior Eye*, 28(2), 57-66.
- Gupta, A. K. (2009). *Clinical ophthalmology: contemporary perspectives* (9th ed.). Elsevier.
- Haddad, W. F., Fadlallah, A., Dirani, A., El Rami, H., Fahd, D., Khanafer, D., & Fahed, S. (2012). Comparison of 2 types of intrastromal corneal ring segments for keratoconus. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 38(7), 1214-1221.
- Ishii, R. K., Kamiya, K., Igarashi, A., Shimizu, K., Utsumi, Y., & Kumanomido, T. (2012). Correlation of corneal elevation with severity of keratoconus by means of anterior and posterior topographic analysis. *Cornea*, 31(3), 253-258.
- Javadi, M. A., Motlagh, B. F., Jafarinasab, M. R., Rabbanikhah, Z., Anissan, A., Souri, H., & Yazdani, S. (2005). Outcomes of penetrating keratoplasty in keratoconus. *Cornea*, 24(8), 941 - 946.
- Jinabhai, A. O., Radhakrishnan, H., & O'Donnell, C. (2009). Higher – order aberrations in keratoconus. *Optometry in Practice*, 10, 141-160.
- Kamiya, K. I., Ishii, R., Shimizu, K., & Igarashi, A. (2013). Evaluation of corneal elevation, pachymetry and keratometry in keratoconic eyes with respect to the stage of Amsler – Krumeich classification. *British Journal of Ophthalmology*, 98(4).
- Kanski, J. (2016). *Kanski's clinical ophthalmology. A systematic approach* (8th ed.). Elsevier.

- Kennedy, R. B., Bourne, W. M., & Dyer, J. A. (1986). A 48-year clinical and epidemiologic study of keratoconus. *American Journal of Ophthalmology*, *101*(3), 267-273.
- Khattak, A. N., Nakhli, F. R., & Cheema, H. R. (2015). Corneal collagen crosslinking for progressive keratoconus in Saudi Arabia: one-year controlled clinical trial analysis. *Saudi Journal of Ophthalmology*, *29*, 249 - 254.
- Krachmer, J. F., Feder, R. S., & Belin, M. W. (1984). Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Survey of Ophthalmology*, *28*(4), 293 - 322.
- Laganovska, G. (2008). *Acu slimības*. Nacionālais apgāds.
- Levin, L. A. (2010). *Ocular disease. Mechanisms and management*. Elsevier.
- Liang, J. W. & Williams, D. R. (1997). Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *Journal of the Optical Society of America*, *14*(11), 2873 - 2883.
- Liang, J. W., Williams, D. R., & Miller, D. T. (1997). Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics. *Journal of the Optical Society of America*, *14*(11), 2884-2892.
- Lichtinger, A., Bottos, K. M., Bernabe – Ko, J., Roch – Levecq, A. – K., Purcell, T. L., & Schanzlin, D. J. (2015). Ex vivo human cornea rigidity after UVA/riboflavin induced cross-linking. *Revista Mexicana de Oftalmologia*, *89*(4), 230 - 236.
- Maeda, N., Fujikado, T., Kuroda, T., Mihashi, T., Hirohara, Y., Nishida, K., Watanabe, H., & Tano, Y. (2002). Wavefront aberrations measured with Hartmann - Shack sensor in patients with keratoconus. *American Academy of Ophthalmology*, *109*(11), 1996-2003.
- Meek, K. M., Tuft, S. J., Huang, Y., Gill, P. S., Hayes, S., Newton, R. H., & Bron, A. J. (2005). Changes in collagen orientation and distribution in keratoconus corneas. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *46*(6), 1948-1956.
- Millodot, M. (2009). *Dictionary of optometry and visual science* (7nd ed.). London: Elsevier.
- Mirzajani, A., Aghataheri, S., Ghoreishi, M., Jafarzadepour, E., & Mohammedinia, M. (2016). Evaluation of corneal higher order aberrations in normal topographic patterns. *Journal of Current Ophthalmology*, *28*(2), 75-80.
- Oshika, T., Klyce, S. D., Applegate, R. A., & Howland, H. C. (1999). Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *40*(7), 1351-1355.
- Oshika, T., Okamoto, C., Samejima, T., Tokunaga, T., & Miyata, K. (2006). Contrast sensitivity function and ocular higher – order wavefront aberrations in normal human eyes. *American Academy of Ophthalmology*, *113*(10), 1807-1812.

- Ou, J. I. & Ta, C. N. (2008). Keratoconus and pellucid marginal degeneration. Etiology and clinical presentations of irregular astigmatism. In M. Wang (ed.), *Irregular astigmatism: diagnosis and treatment* (pp. 320). Thorofare, NY: Slack Incorporated.
- Pinero, D. P., Alio, J. L., Aleson, A., Escaf, M., & Miranda, M. (2009). Pentacam posterior and anterior corneal aberrations in normal and keratoconic eyes. *Clinical and Experimental Optometry*, 92(3), 297 - 303.
- Pinero, D. P., Alio, J. L., Aleson, A, Escaf, M., & Miranda, M. (2010). Corneal volume, pachymetry and correlation of anterior and posterior corneal shape in subclinical and different stages of clinical keratoconus. *Journal of Cataract Refractive Surgery*, 36(5), 814-825.
- Rabinowitz, Y. S. (1998). Keratoconus. *Survey of Ophthalmology*, 42(4), 297-319.
- Rosenblum, W. M. & Chirstensen, J. L. (1976). III objective and subjective spherical aberration measurements of the human eye. *Progress in Optics*, 69 - 91.
- Schlatter, B., Beck, M., Frueh, B. E., Tappeiner, C., & Zinkernagel, M. (2015). Evaluation of scleral and corneal thickness in keratoconus patients. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 41(5), 1073-1080.
- Schwartz, S. H. (2013). *Geometrical and visual optics: a clinical introduction* (2nd ed.). Mcgraw-hill education.
- Sinjab, M. M. (2012). *Corneal topography in clinical practise (Pentacam system). Basic & clinical interpretation.* (2nd ed.). New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.
- Wang, L., Dai, E., Koch, D. D., & Nathoo, A. (2003). Optical aberrations of the human anterior cornea. *Journal of Cararact and Refractive Surgery*, 29(8), 1514-1521.

Bakalaura darbs „Augstāko kārtu aberācijas dažādās keratokonusa pakāpēs” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

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

Autors: Anete Kancāne – Zusters  
Stud.apl.nr. ak11205

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai  
Vadītāja: doktorante, Prof.mag. Sanita Līduma

Recenzents: lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā \_\_\_\_\_  
Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_. protokola Nr. \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_