

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

**SUBJEKTĪVO UN OBJEKTĪVO  
AKOMODĀCIJAS NOVĒRTĒŠANAS METOŽU  
REZULTĀTU SALĪDZINĀJUMS**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Vita Štokmane**

Studenta apliecības Nr. vs17049

Darba vadītājs: zin.asistente, Prof.mag. Karola Panke

RĪGA 2019

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbs uzrakstīts latviešu valodā uz 66 lapaspusēm, kuru skaitā ir 22 attēli, 11 tabulas un 58 literatūras atsauces.

**Pētījuma mērķis:** salīdzināt subjektīvo un objektīvo akomodācijas novērtēšanas metožu rezultātus.

**Metode:** refrakcijas korekcijas, pozitīvo un negatīvo akomodācijas rezervju un akomodācijas viegluma mērījumi tika veikti 12 emetropiem pētījuma dalībniekiem. Akomodācijas testi veikti gan binokulāros, gan arī monokulāros apstākļos.

**Secinājumi:** ar objektīvo metodi iegūtie rezultāti ir salīdzināmi ar subjektīvo, klīnisko metožu rezultātiem un sniedz vēl papildus informāciju arī par akomodācijas atbildes dinamisko komponenti.

**Atslēgvārdi:** akomodācija, subjektīvie un objektīvie akomodācijas mērījumi, akomodācijas mikrofluktuācijas, *Power Ref*

## ABSTRACT

Master thesis is written in Latvian on 66 pages and contains 22 images, 11 tables and 58 reference sources.

**Aim:** to compare the subjective and objective accommodation evaluation results.

**Method:** the measurements of the refraction correction, positive and negative relative accommodation were obtained for 12 emmetropic subjects. The accommodation tests were performed under binocular and monocular conditions.

**Conclusions:** the results obtained with the objective methods are comparable to the results of the subjective, clinical methods and provide additional information on the dynamic component of the accommodation response.

**Keywords:** accommodation, subjective and objective accommodation measurements, accommodation microfluctuations, *Power Ref*

# SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS .....	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS .....	2
1.1. Subjektīvo un objektīvo metožu pielietojums redzes funkciju izvērtēšanā .....	2
1.2. Subjektīvie akomodācijas mērījumi.....	3
1.2.1. Akomodācijas amplitūda .....	3
1.2.1.1. <i>Push-up</i> .....	4
1.2.1.2. <i>Push-down un Push-down līdz atpazīšanai</i> .....	4
1.2.1.3. <i>Mīnus lēcu metode</i> .....	5
1.2.1.4. <i>Dinamiskā retinoskopija</i> .....	6
1.2.2. Akomodācijas rezerves.....	7
1.2.3. Akomodācijas vieglums .....	9
1.2.4. Subjektīvo akomodācijas testu trūkumi un kļūdu rašanās iemesli .....	9
1.3. Objektīvie akomodācijas mērījumi — līdzšinējie pētījumi .....	12
1.3.1. Objektīvo metožu pielietojums akomodācijas amplitūdas noteikšanā .....	13
1.3.2. Akomodācijas atpazīšanas noteikšana ar objektīvajām metodēm.....	19
1.3.3. Tikai ar objektīvajām metodēm izmērāmie akomodācijas parametri.....	21
1.3.4. Fotorefrakcijas metode .....	23
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA .....	25
2.1. Pētījuma dalībnieki .....	25
2.2. Izmantotais aprīkojums .....	25
2.3. Metodikas izstrāde .....	26
2.4. Pētījuma gaita .....	29
2.5. Datu apstrāde .....	31
2.6. Datu analīze un rezultāti .....	33
2.6.1. Subjektīvajās un objektīvajās metodēs iegūtās gala vērtības .....	35
2.6.2. Akomodācijas darbības objektīvo mērījumu salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos .....	40
2.6.3. Akomodācijas mikrofluktuācijas objektīvo mērījumu gadījumā .....	47

2.6.4. Akomodācijas darbības salīdzinājums starp abām acīm objektīvo mērījumu gadījumā.....	51
2.7. Diskusija .....	56
SECINĀJUMI.....	59
NOBEIGUMS .....	60
PATEICĪBAS.....	61
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	62
1. PIELIKUMS .....	67

## IEVADS

Akomodācijas darbības novērtējumu iespējams veikt gan ar subjektīvajām, gan ar objektīvajām metodēm, tomēr ir jāņem vērā, ka abām no tām ir savas priekšrocības un trūkumi. Akomodācijas funkciju mērījumiem ir praktiska nozīme, lai diagnosticētu akomodācijas darbības traucējumus, latentu hipermetropiju, presbiopiju, kā arī nākotnē, visticamāk, ka akomodācijas funkciju precīzas noteikšanas nozīme pieaugs, jo arvien vairāk palielināsies nepieciešamība novērtēt intraokulāro akomodatīvo lēcu pielietojumu. Jāakcentē, ka pētījums ir inovatīvs, jo līdz šim šāda veida akomodācijas rezultātu izpēte nav veikta, un šī maģistra darba ietvaros ir radīta jauna metodoloģija, kas testēta, lai pārliecinātos, vai pētītās akomodācijas funkcijas varētu nomērīt objektīvi.

Maģistra darbā pētītā problēma – vai objektīvo akomodācijas darbības novērtējuma rezultāti atšķiras no rezultātiem, kas iegūti ar objektīvajām metodēm? Darba mērķis – salīdzināt akomodācijas darbības rezultātus, kas iegūti ar subjektīvajām un objektīvajām akomodācijas darbības novērtēšanas metodēm, objektīvo metožu gadījumā neizmantojot jau gatavu datu apstrādes modeli, bet cenšoties to izstrādāt pilnīgi no jauna.

Darba uzdevumi ietver noskaidrošanu, vai jaunās metodikas modelis ir derīgs, lai:

- 1) salīdzinātu akomodācijas mērījumu rezultātus, kas iegūti ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm;
- 2) salīdzinātu monokulāri un binokulāri noteiktās akomodācijas mērījumu vērtības;
- 3) novērtētu akomodācijas svārstības;
- 4) noskaidrotu, vai akomodācijas darbība ir vienāda starp abām acīm.

Savā veidā viens no darba uzdevumiem ir arī bijis izšķirties par veidu, kā analizēt iegūtos objektīvos datus. Subjektīvo datu gadījumā datu analīzi var balstīt, pamatojoties uz vispārpieņemtām normas vērtībām, savukārt objektīvo mērījumu gadījumā, ņemot vērā, ka iepriekš šāda veida pētījumi nav veikti, tika pieņemts lēmums veikt analīzi, pamatojoties uz datu kvalitatīvo raksturu, tos iedalot pamatgrupās atkarībā no grafiskā attēlojuma.

Subjektīvo metožu pamatā, kā zināms, ir uzticēšanās pacienta atbildei, pieņemot, ka akomodācija tiek atslābināta vai simulēta atkarībā no pievienotā pozitīvo vai negatīvo lēcu stipruma, savukārt šajā darbā izmantotā objektīvā metodoloģija ļauj iegūt papildus informāciju par to, kāda ir patiesā akomodācijas atbilde katrā no mērījumiem. Objektīvo akomodācijas mērījumu iegūšanai izmantota iekārta *Power Ref 3–plusoptiX R09*, tomēr ir jānorāda, ka arī objektīvā metode ietver subjektīvo komponenti, tas ir, pētījuma dalībnieka atbildi.

## 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

Kā zināms, mūsdienās tuvuma redzes slodze lielākoties ir būtiski atšķirīga no tā, kāda tā bija pirms dažiem gadu desmitiem — mūsdienās laikrakstu lasīšanu nomainījušas jaunākās ziņas, kas izlasāmas ar viedtālruņu palīdzību, un grāmatu vietā daudzi biežāk izvēlas planšetdatorus. Šīs minētās elektroniskās ierīces ar relatīvi mazajiem ekrāniem mainījušas arī nepieciešamo akomodācijas lielumu — jāakomodē vairāk, jo nereti cilvēki viedierīces izmanto tuvumā, kas ir mazāks par 40 cm, piemēram, vidējais attālums, kādā tiek aplūkots viedtālruņa ekrāns, ir 36,2 cm (*Babekova et al.*, 2011). Tā kā akomodācijas darbībai ir tieša saistība ar astenopiskajām sūdzībām, kas pastiprināti novērojamas pastāvīgajiem viedierīču lietotājiem (*Agarwal et al.*, 2013; *Blehm et al.*, 2005; *Rosenfield*, 2011), tad svarīgi ir precīzs akomodācijas darbības novērtējums. Lai novērtētu akomodācijas atbildes precizitāti, kad tiek izmantotas minētās elektroniskās ierīces, mērījumi ir jāveic ļoti rūpīgi, jo nereti cilvēki tās pietuvina tik cieši acīm, ka akomodācijai jāstrādā maksimālajā līmenī (*Burns et al.*, 2014).

### 1.1. Subjektīvo un objektīvo metožu pielietojums redzes funkciju izvērtēšanā

Subjektīvās un objektīvās mērījumu metodes atšķiras ar to, pēc kā tiek spriests par kādu izmērāmu lielumu. Subjektīvo metožu laikā mērījumu rezultāti ir atkarīgi no eksperimenta dalībnieka atbildēm vai eksperimenta veicēja interpretācijas par kādu kvalitatīvi vai kvantitatīvi nosakāmu lielumu, savukārt, objektīvo metožu gadījumā rezultāts nav atkarīgs no eksperimenta dalībnieka atbildes vai no eksperimenta veicēja novērojumiem par mērāmo lielumu. Vēsturiski pirmās ir bijušas subjektīvās metodes, bet, attīstoties tehnoloģijām, ievērojami paplašinājušās iespējas veikt objektīvos mērījumus.

Objektīvajām redzes funkciju novērtēšanas metodēm redzes zinātnē ir vairākas priekšrocības, salīdzinājumā ar subjektīvajām, piemēram, mērījumu veikšana ar tām notiek ātrāk, tām ir laba atkārtotamība, nav nepieciešama pacienta subjektīvā atbilde, līdz ar to tās ir pielietojamas arī tad, ja komunikācija ar pacientu ir apgrūtināta (nerunājoši pacienti, svešvalodās runājoši klienti). Tomēr ir jāņem vērā, ka objektīvajām metodēm ir arī trūkumi, piemēram, nav iespējams novērtēt, vai pacients ir apmierināts ar refrakcijas kļūdas korekciju, turklāt iekārtas, ar kurām iespējams veikt objektīvos mērījumus, ir salīdzinoši dārgas.

Akomodācijas funkciju novērtējums ietver akomodācijas amplitūdas, akomodācijas rezervju, akomodācijas viegluma un akomodācijas atbildes (atpalikšanas) mērījumus.

Turpmākajā tekstā uzmanība pievērsta akomodācijas darbības mērījumiem ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm.

## 1.2. Subjektīvie akomodācijas mērījumi

Subjektīvo akomodācijas mērījumu laikā rezultāti balstās uz dalībnieka subjektīvo neskaidra attēla interpretāciju. Vairāki līdz šim veiktie pētījumi parāda, ka subjektīvie testi vairākumā gadījumu uzrāda lielākus akomodācijas atbildes rezultātus, nekā objektīvās metodes (*Wold et al.*, 2003; *Ostrin & Glasser*, 2004). Iemesls, kāpēc tā ir, aplūkots turpmākajā tekstā.

### 1.2.1. Akomodācijas amplitūda

Akomodācijas amplitūda ir akomodācijas lielums, kas izteikts dioptrijās (D), un ir acs optiskā stipruma maksimālais pieaugums, mainot skatu no tāluma uz tuvumu (*Burns et al.*, 2014; *Rosenfield*, 2009), jeb, citiem vārdiem sakot, akomodācijas amplitūda ir acs akomodācijas maksimālā spēja mainīt acs optisko stiprumu.

Ar gadiem akomodācijas amplitūda samazinās. Kā norādījis *Rosenfield* (2009), visplašāk zināmos pētījumus par šo tēmu ir veikuši *Donders* (1864) un *Duane* (1912), savukārt vienādojumus, kā aprēķināt akomodācijas amplitūdu normas atkarībā no vecuma piedāvājis *Hofstetter* (1994):

- minimālā akomodācijas amplitūda =  $15 - 0,25 \times \text{vecums}$ ;
- vidējā akomodācijas amplitūda =  $18,5 - 0,3 \times \text{vecums}$ ;
- maksimālā akomodācijas amplitūda =  $25 - 0,4 \times \text{vecums}$ .

Ikdienas optometrista praksē visvairāk, tiek izmantota minimālās akomodācijas amplitūdas aprēķina formula. Izmantojot pacienta vecumu, teorētiskais akomodācijas amplitūdas aprēķina rezultāts tiek salīdzināts ar reālo akomodācijas amplitūdas vērtību.

Pirms veikt pārskatu par subjektīvajām akomodācijas mērījumu metodēm, ir jāņem vērā, ka ar subjektīvajām metodēm iegūtos akomodācijas amplitūdas rezultātus ietekmē fokusa dziļums (*Wold et al.*, 2003). Var izšķirt divus gadījumus — ja mērījumi tiek veikti jaunam cilvēkam, tas ir, cilvēkam, kuram darbojas akomodācija, un cilvēkam ar presbiopiju. Pirmajā gadījumā, pietuvinot objektu acīm, notiks izmaiņu kopums, kas zināms kā tuvuma triāde, tas ir, konverģences, akomodācijas sasprindzināšanās un zīlīšu sašaurināšanās process — šī pēdējā faktora dēļ fokusa dziļums pieaugs (*Glasser*, 2006).

Savukārt, ja cilvēkam pilnībā nav akomodācijas (absolūtam presbiopam vai cilvēkam ar neakomodatīva tipa IOL), teorētiski akomodācijas atbildes mērījumu rezultātam vajadzētu būt vienādam ar nulli, tomēr, izmantojot subjektīvās metodes, nereti var konstatēt, ka tā nav (*Glasser, 2006; Ostrin & Glasser, 2004*). Lai gan nenotiek akomodācijas process, tomēr konverģence un zīlīšu sašaurināšanās joprojām darbojas, tātad palielinās arī fokusa dziļums un kādā noteiktā attāluma amplitūdā šķiet, ka attēls nekļūst miglaināks — šķiet, ka tas atrodas acs fokusā, kamēr tas nešķērso fokusa dziļuma robežas (*Wang & Ciuffreda, 2006*). Tātad gadījumā, ja darbojas akomodācija, to, cik tuvu atradīsies konkrētā cilvēka skaidras redzes tuvuma punkts, ietekmēs gan akomodācija, gan arī pseidoakomodācija, tas ir, fokusa dziļums. Tas arī ir galvenais subjektīvo akomodācijas amplitūdas novērtējuma metožu trūkums — nav iespējams izšķirt, vai tiešām ir noticis acs optiskā stipruma pieaugums (īstā akomodācija) vai arī attēls vēl šķiet uztverts kā skaidrs zīlītes sašaurināšanās un to pavadošā fokusa dziļuma pieauguma dēļ (pseidoakomodācija) (*Glasser, 2006*). Akomodācijas darbību subjektīvi iespējams novērtēt ar piecām metodēm, kas īsumā aprakstītas zemāk.

#### **1.2.1.1. Push-up**

*Push-up* metode tiek izmantota ļoti plaši, var apgalvot — kopumā tā ir visbiežāk izmantotā metode optometristu ikdienas praksē, lai noteiktu akomodācijas amplitūdu. Lai izmantotu šo metodi, sākumā jāatrod pacienta labākā subjektīvā redzes korekcija tālumā. Kad tas izdarīts, ar šo korekciju pacientam dod uzdevumu aplūkot izolētu optotipu vai citu objektu ar smalkām, izšķīramām detaļām, kas tiek pietuvināts acīm ne pārāk ātrā tempā. Pacienta uzdevums ir pateikt brīdi, kad aplūkojamais attēls ir kļuvis neskaidrs, miglains (*Glasser, 2006; Rosenfield, 2009*). Jānorāda, ka parasti šo mērījumu veic monokulāri — tiek noteikts attālums līdz vadošajai acij tuvumā. Ja pacientam tālumā ir emetropija, tad akomodācijas amplitūdu izsaka dioptrijās, iegūstot apgriezto lielumu izmērītajam attālumam, izteiktam metros (*Rosenfield, 2009*). Lai atvieglotu uzdevuma veikšanu, tiek izmantots speciāls mērinstruments — RAF lineāls (*Burns et al., 2014*).

#### **1.2.1.2. Push-down un Push-down līdz atpazīšanai**

*Push-down* ir *Push-up* variants. *Turner* (1958), kas pirmais aprakstījis šo metodi, norādīja, ka testa objekts ar kādām smalkām detaļām atšķirībā no *Push-up* metodes tiek attālināts no acs, kamēr pacients norāda, ka to spēj saskatīt skaidri. Savukārt *Push-down līdz atpazīšanai* ir ļoti līdzīga metode augstāk aprakstītajai *Push-down* metodei. Arī šī veida

mērījums veicams, monokulāros apstākļos ar pilno tāluma korekciju. Fiksācijas objekts sākumā tiek novietots ļoti tuvu acīm un tad pakāpeniski attālināts, līdz optotipi kļūst skaidri salasāmi. Lai iegūtu akomodācijas amplitūdas lielumu, attiecīgais attālums līdz acij (vai līdz briļļu plaknei) tiek izteikts dioptrijās. Labāk, ja šo procedūru var atkārtot divreiz, lai varētu iegūt abu mērījumu vidējo un virs fikācijas objekta nodrošināt gaismas avotu (*Mathebula et al.*, 2018). Atšķirība no iepriekš aprakstītās *Push-down* metodes ir tā, ka pacientam ir ne vien jāsaskata aplūkojamais objekts kā skaidrs, bet arī jāatpazīst. Patiesībā pacientam tas varētu šķist pat vienkāršāks uzdevums, jo pateikt, kurā mirklī aplūkojamais objekts ir skaidrs, nav tik vienkārši, kā konstatēt, kurā mirklī iespējams pateikt, kas tieši par objektu tas ir (piemēram, kāds konkrēts optotips). Augstāk aprakstītās metodes (*Push-up*, *Push-down* un *Push-down līdz atpazīšanai*) visas var izmantot gan monokulāros, gan arī binokulāros apstākļos (*Burns et al.*, 2014; *Mathebula et al.*, 2018), tikai jāpievērš uzmanība rezultātu normām, kas var atšķirties atkarībā no tā, vai mērījums veikts, izmantojot tikai vienu vai arī abas acis.

Īpašu vērību piesaista *León et al.* (2012) un *León et al.* (2016) pielietotā modificētā *Push-down* metode. Pie tāluma korekcijas tika pievienotas negatīvā stipruma lēcas (jauniem eksperimenta dalībniekiem, kuriem skaidras redzes tuvuma punkta atrašanās vieta bija sagaidāma ļoti tuvu acīm) vai pozitīvā stipruma provas lēcas (presbiopijas vecuma dalībniekiem). Papildus provas lēcas tika pievienotas ar mērķi pacienta tuvuma punktu pārvietot attālumā, kas nebūtu nedz pārlietu tuvu, nedz arī pārlietu tālu. Tas tika darīts nolūkā saglabāt visiem dalībniekiem apmēram vienādu pietuvināmās testa kartes optotipu leņķisko izmēru uz tīklenes, kā arī padarīt attiecīgo tuvuma punkta attālumu vieglāk izmērāmu. Papildus pievienojamo lēcu stiprums tika izvēlēts tā, lai eksperimenta dalībnieks spētu izšķirt testa mērķi 66 cm attālumā. Sākumā akomodācijas mērķis tika novietots ļoti tuvu pie acīm — tādā attālumā, lai tas būtu miglains. Tad dalībniekam tika lūgts no sevis attālināt testa karti un to apturēt attālumā, kurā burti varēja tikt skaidri saskatīti. Akomodācijas amplitūda tika aprēķināta kā apgrieztais lielums attiecīgajam attālumam no pacienta briļļu plaknes, atņemot papildus pievienoto provas lēcu stiprumu.

### **1.2.1.3. Mīnus lēcu metode**

Akomodācijas saspridzinājumu panāk, nevis pietuvinot aplūkojamo attēlu, bet gan pieliekot negatīva stipruma provas lēcas, fikācijas objektam atrodoties konstantā attālumā (parasti 40 cm, kas atbilst 2,50 D). Uzdevums tāpat, kā iepriekšējās metodēs, ir saglabāt aplūkojamo attēlu skaidru ar maksimāli negatīvāko provas lēcu stiprumu, kas tiek pievienots tāluma korekcijai. Akomodācijas amplitūdu iegūst, pie 2,50 D pieskaitot pievienotās

negatīvās lēcas stipruma moduli (*Rosenfield, 2009; Mathebula et al., 2018*). Kā norāda *Rosenfield (2009)* un *Burns et al. (2014)*, metode izmantojama tikai monokulāri, lai izslēgtu vergences ietekmi uz iegūtajiem rezultātiem.

#### **1.2.1.4. Dinamiskā retinoskopija**

Ikdienas praksē akomodācijas mērījumus, kā jau tas minēts augstāk, var noteikt ar piecām metodēm: *Push-up, Push-down, Push-down līdz atpazīšanai*, mīnus lēcu metodi un dinamisko retinoskopiju. Tikai viena no nosauktajām metodēm ir daļēji objektīva, tas ir, dinamiskā retinoskopija (*Burns et al., 2014*), kuras laikā optometrists spriež par pacienta refrakciju tuvumā, balstoties uz gaismas refleksa virzienu un slīpumu. Metodes daļēji objektīvā rakstura dēļ to var izmantot arī tad, ja saziņa ar pacientu kaut kādu iemeslu dēļ nav iespējama (*Woodhouse et al., 1993*).

Kā raksta *Burns et al. (2014)*, lai veiktu dinamisko retinoskopiju, ir jāizraisa akomodācijas darbība. Parasti to panāk ar negatīvo lēcu metodi (*MEM* gadījumā), kamēr optometrists ar skiaskopa palīdzību cenšas iegūt neitralizācijas situāciju. *MEM* dinamiskās akomodācijas gadījumā nepieciešamība pievienot negatīva stipruma lēcas, lai iegūtu neitralizācijas stāvokli, liecina par pastiprinātu akomodācijas darbību (*over-accommodation*), savukārt pozitīva stipruma proves lēcu pielietojums norāda uz nepietiekamu akomodācijas darbību (*under-accommodation*) (*Antona et al., 2009*). *Nott* metodes gadījumā akomodācijas atpalikšanas lielums tiek novērtēts atkarībā no tā, kādā attālumā jāatrodas retinoskopam no pacienta, lai iegūtu neitralizācijas situāciju. *Antona et al. (2009)*, veicot pētījumu par dažādu akomodācijas atbildes testu atkārtojamību, secināja, ka no četriem pētījumā pielietotajiem testiem (*Nott* dinamiskā retinoskopija, *MEM* dinamiskā retinoskopija, binokulārais krustoto cilindru tests un autorefraktometrija) vislabākā atkārtojamība ir *Nott* dinamiskajai retinoskopijai, kas gan, kā jau norādīts iepriekš, nav pilnībā objektīva akomodācijas atbildes novērtēšanas metode, bet tikai daļēji objektīva (*Burns et al., 2014*), jo mērījumu rezultāts ir atkarīgs no tā, kā optometrists interpretē neitralizācijas refleksu.

Gan ar *MEM*, gan arī ar *Nott* dinamisko retinoskopiju tiek noteikts akomodācijas atpalikšanas lielums. Dinamiskās retinoskopijas atbildi var ietekmēt dažādi akomodācijas un vergences sistēmas darbības traucējumi, piemēram, akomodācijas atpalikšanas lielumu, kā norāda *Whitefoot & Charman (1992)*, var ietekmēt tuvuma heteroforija — ezoforijas gadījumā akomodācijas atpalikšana, ja tās noteikšanā tiek izmantota dinamiskā retinoskopija, ir lielāka, nekā eksoforijas gadījumā. To var izskaidrot ar lielāku konverģences pieprasījumu eksoforijas gadījumā, kas stimulē konverģences akomodāciju, līdz ar to neitralizācijas iegūšanai

nepieciešams pievienot vājāka stipruma proves lēcu, nekā tas būtu ezoforijas gadījumā. Jānorāda, ka bez *MEM* un *Nott* pastāv vēl arī citi dinamiskās retinoskopijas veidi, ar kuru palīdzību iespējams noteikt akomodācijas atpalikšanu, kā, piemēram, *Bell* retinoskopija, *BCC* (binokulāri krustoto cilindru) retinoskopija un *Cross* retinoskopija (*Locke & Somers*, 1989).

Savukārt akomodācijas amplitūdu var noteikt ar modificētu dinamiskās retinoskopijas variantu, ko savā pētījumā aprakstījuši *Mathebula et al.* (2018). Tests tika veikts ar pilno tāluma refrakcijas korekciju monokulāros apstākļos, aptumšotā telpā, vienlaikus nodrošinot tuvuma tabulas apgaismojumu, kas piestiprināta pie retinoskopa, kas novietots 40 cm attālumā no eksperimenta dalībnieka acs, kura uzdevums bija skaļā balsī lasīt redzamo tekstu. Novērojot līdz kustību, retinoskops tika attālināts no dalībnieka acs, līdz tika iegūta neitralizācijas situācija, un šis attālums tika nomērīts ar mērlenti. Lai iegūtu akomodācijas amplitūdas rezultātu, tika aprēķināts apgrieztais skaitlis attiecīgajam attālumam.

*León et al.* (2016), salīdzinot akomodācijas amplitūdu 1298 pētījuma dalībniekiem vecumā no 5 līdz 60 gadiem, kas iegūta, mērījumus veicot ar dinamiskās retinoskopijas palīdzību, ar mīnus lēcu metodi un modificēto *Push-down* (šī metode aprakstīta augstāk), secināja, ka ar dinamisko retinoskopiju iegūtās akomodācijas amplitūdas vērtības ( $6,15 \pm 3,06$  D) bija statistiski nozīmīgi mazākas ( $p < 0,01$ ), nekā tās, kas iegūtas ar abām pārējām metodēm ( $9,08 \pm 4,24$  D ar modificēto *Push-down* metodi un  $8,04 \pm 3,87$  D ar negatīvo lēcu metodi). Autoru kolektīvs to skaidrojis ar dinamiskās retinoskopijas daļēji objektīvo raksturu — šajā metodē dalībnieka atbilde par attēla skaidrumu netiek prasīta, tādēļ tiek novērstas kļūdas, kas varētu rasties fokusa dziļuma dēļ (*León et al.*, 2012; *León et al.* 2016). Vēl dinamiskās retinoskopijas pielietojumam akomodācijas darbības noteikšanā ir tādas priekšrocības, kā, piemēram, retinoskopa salīdzinoši zemās izmaksas un plašā pieejamība redzes aprūpes speciālistiem (*León et al.*, 2012; *León et al.*, 2016). Minētās metodes trūkumi aprakstīti šīs sadaļas nobeigumā.

### 1.2.2. Akomodācijas rezerves

Izšķir pozitīvās akomodācijas rezerves (PAR) un negatīvās akomodācijas rezerves (NAR). Kā norāda *Yekta et al.* (2017), veicot akomodācijas rezervju mērījumus, svarīgi ir ievērot pareizu pārbaudes secību, tas ir, sākumā ir veicami NAR mērījumi un tad — PAR noteikšana. Šāda pārbaudes secība ir nepieciešama, lai lieki nestimulētu akomodācijas darbību un tādējādi iespēju robežās izvairītos no iespējamajām mērījumu kļūdām. NAR un PAR vērtības var palīdzēt, lai spriestu gan par akomodācijas, gan arī par vergēnces sistēmas darbību (*Yekta et al.*, 2017).

Minētie Irānas zinātnieki analizējuši 382 studentu (vidējais vecums  $23 \pm 4$  gadi) vairāku redzes parametru savstarpējo saistību. Tika noteikti aizklāšanas testa rezultāti, kas iegūti tālumā (6 m) un tuvumā (40 cm), NAR un PAR vērtības, akomodācijas vieglums monokulāros un binokulāros apstākļos, konverģences tuvuma punkta attālums, kā stimulu izmantojot optotipu, kas par vienu rindu lielāks, nekā labākais koriģētais redze asums (lai noteiktu akomodācijas amplitūdas vērtību) un dalībnieku vecums. Interesanti, ka PAR lielums sievietēm bija augstāks, nekā vīriešiem ( $p < 0,01$ ), lai gan salīdzinot NAR vērtības starp vīriešiem un sievietēm, netika atklāta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,483$ ). Zinātnieku kolektīvs to skaidrojis ar iespējami sievietēm raksturīgu aktīvāku akomodācijas darbību, kam ir saistība ar vēlāku presbiopijas sākumu (*Yekta et al.*, 2017), lai gan šim apgalvojumam nav anatomiska pamata.

Hipermetropajiem eksperimenta dalībniekiem vidējā NAR vērtība bijusi statistiski nozīmīgi augstāka, nekā dalībnieku grupai ar miopiju ( $p < 0,01$ ), turpretim miopiskajai dalībnieku izlasei bijis augstāks vidējais PAR lielums ( $p < 0,01$ ) (*Yekta et al.*, 2017). To varētu skaidrot ar nepilnīgi izkoriģētu ametropiju, uz ko norāda dalībnieku monokulārās subjektīvās refrakcijas gala precizēšanas balstīšana uz duohromā testa atradnēm (*Yekta et al.*, 2017). Kā jau minēts augstāk tekstā, akomodācijas amplitūda ar gadiem samazinās, tādēļ likumsakarīgi, ka PAR vērtības dalībniekiem, kuru vecums pārsniedz 30 gadus, bijušas zemākas ( $1,55 \pm 1,04$  D), nekā studentiem, kuru vecums bijis mazāks par 20 gadiem ( $3,00 \pm 0,72$  D) (*Yekta et al.*, 2017).

Pētot akomodācijas rezervju saistību ar binokulārās redzes traucējumiem, *Garcia et al.*, 2002) secināja, ka zemas PAR vai NAR vērtības nav saistītas ar binokulārās redzes traucējumiem (šo traucējumu skaitā netika iekļauta šķielēšana). Jānorāda, ka, ņemot vērā citu autoru darbus, zems PAR vai NAR var liecināt par vergences un akomodācijas traucējumiem (piemēram, kā norāda *Jang & Park* (2015)  $PAR \leq 1,25$  ir viens no kritērijiem, kas norāda uz konverģences ekscesu vai akomodācijas nepietiekamību, savukārt  $NAR \leq 1,50$  ir viens no rādītājiem konverģences nepietiekamībai). Atgriežoties pie *Garcia et al.* (2002) pētījuma, veicot mērījumus 69 dalībniekiem (40 sievietēm un 29 vīriešiem) vecumā no 13 līdz 35 gadiem (vidējais vecums  $21 \pm 5$  gadi), tika noskaidrots, ka akomodācijas ekscess korelēja ar augstu PAR ( $\geq 3,50$  D), bet ne ar augstu NAR ( $\geq 2,50$  D) vērtību. Šajā pētījumā kā akomodācijas rezervju normas tika pieņemtas *Scheiman & Wick* (1994) ieteiktās vērtības, tas ir, pazemināts PAR, ja tā vērtība ir  $\leq 1,25$  D, un paaugstināts, ja  $PAR \geq 3,50$  D, savukārt NAR par pazeminātu tika uzskatīts, ja tas bija  $\leq 1,50$  D, un paaugstināts, ja  $NAR \geq 2,50$  D. Netika konstatēts, ka ārpus normas esošām NAR vērtībām būtu statistiski nozīmīga saistība ar kādu noteiktu binokulārās redzes traucējumu, savukārt paaugstinātas PAR vērtības tika novērotas

tādu traucējumu gadījumos, kā jau minētais akomodācijas ekscess, kā arī konverģences nepietiekamība, kas kombinēta ar akomodācijas ekscesu, un tiem pacientiem, kuriem bija konverģences ekscess vienlaikus ar akomodācijas ekscesu — autoru kolektīvs norādījis, ka augstas PAR vērtības ir ļoti raksturīgs rādītājs minētajiem redzes traucējumiem.

### 1.2.3. Akomodācijas vieglums

*Radhakrishnan et al.* (2007), pētot akomodācijas vieglumu nelielai studentu grupai ( $n = 20$ ; vecumā no 20 līdz 35 gadiem), no kuras puse dalībnieku bija ar emetropu refrakciju (SE robežās no pl līdz  $+0,25$  D), un puse — ar miopisku refrakciju (SE diapazonā no  $-0,75$  D līdz  $-6,62$  D), nonāca pie secinājuma, ka, lai gan dalībnieki ar miopisko refrakciju tika emetropizēti ar mīksto sfērisko kontaktlēcu palīdzību (atlieku astigmātisms tika koriģēts ar proves lēcu palīdzību), tomēr tālumā akomodācijas viegluma rezultāti šai grupai bija statistiski nozīmīgi zemāki ( $p < 0,05$ ), nekā dalībnieku grupai ar emetropiju, savukārt rezultāti tuvumā starp abām refrakcijas grupām nebija statistiski nozīmīgi atšķirīgi ( $p > 0,05$ ). Jānorāda, ka akomodācijas viegluma mērījumi gan tālumā (6 m), gan arī tuvumā (40 cm) tika veikti monokulāros apstākļos ar subjektīvajām metodēm. Kā zināms, parasti akomodācijas vieglums tiek noteikts, izmantojot  $\pm 2,00$  D lēcu fliperi tuvumā (0,40 m), kur  $+2,00$  D lēcas atslābina akomodāciju tuvumā, bet  $-2,00$  D lēcas to sasprindzina, savukārt minēto autoru kolektīvs papildus vēl pielietoja pl/ $-2,00$  D lēcu fliperi mērījumiem tālumā (6 m), ar planum lēcām akomodācijas darbību neietekmējot (akomodāciju atslābinot, uzlūkojot objektus bezgalībā), bet ar  $-2,00$  D lēcām akomodāciju sasprindzinot. Atšķirība starp abām metodēm ir saistīta ar to, ka, skatoties tālumā, akomodācija jau ir atslābināta, līdz ar to nav nepieciešams pievienot pozitīva stipruma lēcas, lai to atslābinātu, turklāt pozitīva stipruma lēcu pielietojums šādā gadījumā radītu neskaidru attēlu, savukārt, fiksējot objektus tuvumā, akomodācija ir saspringsusi, tāpēc pozitīvā stipruma lēcu pielietojums to atslābina, vienlaikus neradot neskaidru attēlu, ja vien nav kādi akomodācijas darbības traucējumi. Minēto zinātnieku atklājums par refrakcijas ietekmi uz akomodācijas viegluma rezultātiem ir atbilstošs arī agrāk veikto pētījumu atradnēm (*O'leary & Allen*; 2001; *Allen & O'Leary*; 2006).

### 1.2.4. Subjektīvo akomodācijas testu trūkumi un kļūdu rašanās iemesli

Kā norāda *Mathebula et al.* (2018), ar *Push-up* un *Push-down* metodēm iegūtā akomodācijas amplitūda ir lielāka, nekā tā ir patiesībā, savukārt, izmantojot mīnus lēcu metodi, iegūtais akomodācijas amplitūdas lielums var būt mazāks, nekā tas ir patiesībā.

Pēdējā gadījumā tas skaidrojams ar to, ka mīnus lēcu metodē fiksācijas objekta novietojums paliek nemainīgs, bet negatīvā lēcu stipruma dēļ fiksācijas objekta attēls ir samazināts, līdz ar to, palielinot negatīvo lēcu stiprumu, kļūst aizvien sarežģītāk fiksācijas objektu izšķirt kā skaidru.

Nosakot akomodācijas amplitūdas lielumu ar modificētu dinamiskās retinoskopijas palīdzību, ir jāpatur prātā, ka iegūto rezultātu ietekmē arī akomodācijas atpalikšana, tādēļ ar šo metodi ir grūti novērtēt akomodācijas amplitūdas patieso lielumu. Turklāt dinamiskās retinoskopijas veikšanai nepieciešams ilgāks laiks, ja salīdzina ar objektīvajām metodēm, kā arī iegūtais rezultāts ir ļoti atkarīgs no optometrista prasmēm noteikt neitralizācijas situāciju un no retinoskopējamās acs optiskajām vidēm (radzenes, lēcas un stiklveida ķermeņa caurspīdīguma) (*León et al. (2016)*).

Nenoliedzami, akomodācijas amplitūdas mērījumiem ir ļoti praktiska nozīme, tas ir, šī parametra lielums var palīdzēt diagnosticēt presbiopiju un latentu hipermetropiju. Nākotnē, visticamāk, ka akomodācijas amplitūdas noteikšanai būs aizvien lielāka nozīme, jo arvien vairāk tiks izmantotas akomodatīvās intraokulārās lēcas (IOL), līdz ar to būs nepieciešams noteikt, cik sekmīgs ir to pielietojums (*Burns et al., 2014; Wold et al., 2003*). Tomēr *Win-Hall et al. (2007)* apgalvojuši, ka subjektīvie akomodācijas novērtēšanas testi, kā *Push-up* un dinamiskā retinoskopija nav piemēroti, lai precīzi veiktu akomodācijas mērījumus ar nolūku spriest, vai un kā akomodācijas funkcijas var tikt atjaunotas presbiopiem, implantējot IOLs, tādēļ ir nepieciešams pielietot objektīvās akomodācijas novērtēšanas metodes.

Subjektīvajām akomodācijas novērtēšanas metodēm, kā norādījis *Burns et al. (2014)*, var izšķirt vairākus kļūdu rašanās iemeslus (skat. 1.1. tab.). Pirmkārt, tas ir fokusa dziļums, kas traucē izdarīt precīzus secinājumus par akomodācijas darbību. Fokusa dziļums ir maksimālais defokusa lielums, kas neizraisa subjektīvu attēla samigļošanu (*Cufflin et al., 2007*). Fokusa dziļums traucē pacientam noteikt brīdi, kad attēls samigļojas. Galvenie faktori, kas ietekmē fokusa dziļumu, ir zīlītes lielums, apgaismojums un optotipu leņķiskais izmērs. Tieši fokusa dziļums, kas kļūst lielāks, notiekot miozes procesam, varētu izskaidrot, kāpēc *Ostrin & Glasser (2004)* ar *Push-up* metodi ieguvuši augstākus akomodācijas amplitūdas rezultātus, nekā ar četrām pārējām pētījumā izmantotajām akomodācijas amplitūdas lieluma noteikšanas metodēm. Kā norāda *Burns et al. (2014)*, galvenie veidi, kā samazināt fokusa dziļuma ietekmi uz iegūtajiem akomodācijas rezultātiem, ir pietiekami laba, konstanta apgaismojuma nodrošināšana un testa attālumam atbilstošu optotipu izmantošana (jo tuvāk ir optotips, jo mazākam tam jābūt, lai uz tīklenes visu laiku tiktu nodrošināts vienāds optotipu leņķiskais izmērs). Līdz šim šo metodi pielietojuši, piemēram, *Allen & O'Leary (2006)*.

Kā otrs galvenais kļūdu avots *Burns et al.* (2014) zinātniskajā rakstā minēts reakcijas laiks, kas patiesībā sastāv no četriem reakcijas laikiem: nepieciešamais laiks, lai pacients pamanītu attēla samiglošanos, lai par to ziņotu skaļi, kā arī laiks, lai optometrists vai eksperimenta veicējs šo atbildi piefiksētu un apturētu mērķa objekta kustību. Lai samazinātu šo kļūdu, būtu nepieciešams samazināt ātrumu, ar kādu tiek pārvietots mērķa attēls, bet tas, savukārt, apgrūtina samiglošanās brīža noteikšanu. Reakcijas laiks ir kļūdu avots visās tajās metodēs, kurās notiek testa objekta kustība, kā arī negatīvo lēcu metodē, ja proves lēcas tiek nomainītas ļoti ātri. Trīs citi kļūdu avoti, kas var tikt samazināti, ir mērītāja neobjektivitāte, anomālās proksimālās norādes un dinamiskajai retinoskopijai raksturīgās kļūdas. Ar mērītāja neobjektivitāti tiek saprasta situācija, kad pārbaudītājs savu zināšanu dēļ sagaida, kādā attālumā pacients varētu ziņot par attēla samiglošanos vai arī varētu tikt novērota neitralizācijas situācija, ja tiek pielietota dinamiskā retinoskopija. Kā tas redzams 1.1. tabulā, galvenokārt šī kļūda ietekmē rezultātus, kas iegūti ar tādām metodēm, kā *Push-up*, *Push-down* un *Push-down līdz atpazīšanai*. Divi kļūdu veidi, kas var tikt novērsti pilnībā, ir mērījumu atskaites punkts un instrumentu kļūdas. Mērījumu atskaites punkts visos mērījumos ir jāizvēlas viens un tas pats — nedrīkst vienā mēģinājumā mērīt no brillu plaknes, bet citā — no radzenes plaknes, jo, lai gan metriskajās vienībās atšķirība nebūtu liela, tomēr atšķirība, pārrēķinot dioptrijās, būtu ievērojama. Instrumenta kļūda galvenokārt tiek attiecināta uz RAF lineālu — ja ar to tiek veikti mērījumi, svarīgi, ka RAF lineāls tiek turēts paralēli grīdai, nevis slīpi. Ar anomālām proksimālajām norādēm tiek saprasts psiholoģiskais faktors, kas ietekmē akomodāciju — jo tuvāk ir objekts, jo vairāk acs tiecas akomodēt. Šis kļūdu veids, kā tas atzīmēts 1.1. tabulā, būtiski ietekmē rezultātus, kas iegūti ar negatīvo lēcu metodi, jo var uzskatīt, ka testa apstākļi ir nedabīgi — attēls, lai gan kļūst mazāks, bet nepietuvinās acīm, tādēļ iegūtie akomodācijas amplitūdas rezultāti nereti ir mazāki, nekā ar citām metodēm. Tiesa, rezultātus ietekmē arī tas, ka negatīvo lēcu metodē attēls kļūst aizvien mazāks, bet, attēlam samazinoties, ir grūtāk noteikt samiglošanās brīdi.

### 1.1. tabula

Akomodācijas amplitūdas noteikšanai paredzēto klīnisko metožu kļūdu avoti. Autoru kolektīvs novērtējis aptuveno relatīvo kļūdas lielumu ar „\*”, ja tā tiek uzskatīta kā maznozīmīga, ar „\*\*” — ja kļūda uzskatāma par vidēji nozīmīgu, un ar „\*\*\*” — ja attiecīgā kļūda, pēc autoru domām, mērījumu rezultātus ietekmē ļoti būtiski. Ar „—” atzīmēts, ja attiecīgā kļūda kādai metodei neeksistē (*Burns et al.*, 2014)

Kļūdu avots	Mērījumu metode					Komentāri
	<i>Push-up</i>	<i>Push-down</i>	<i>Push-down līdz atpazīšanai</i>	Negatīvo lēcu metode	Dinamiskā retinoskopija	
Fokusa dziļums	**	**	***	*	—	Galvenais kļūdu avots
Reakcijas laiks	**	***	**	*	—	Galvenais kļūdu avots
Mērījumu atskaites punkts	**	**	**	—	**	Kļūda var tikt novērsta
Instrumenta kļūda	***	***	***	—	**	Kļūda var tikt novērsta
Mērītāja neobjektivitāte	***	***	***	*	**	Kļūda var tikt samazināta
Dinamiskajai retinoskopijai raksturīgās kļūdas	—	—	—	—	**	Kļūda var tikt samazināta
Anomālas proksimālās norādes	—	—	—	***	*	Kļūda var tikt samazināta

Vēl jānorāda, ka, nosakot akomodācijas atpalikšanu, subjektīvo metožu (*MEM* un *Nott* dinamiskā retinoskopija) trūkums, atšķirībā no objektīvajām metodēm, ir to sliktā atkārtotamība. *León et al.* (2016) definējuši, ka ar subjektīvajām metodēm tiek noteikts tuvākais attālums, kurā pacients atbild, ka redz skaidri, savukārt ar objektīvajām metodēm, kas aprakstītas nākamajā apakšnodaļā, ir iespējams noteikt patieso acs optiskā stipruma pieauguma lielumu.

### 1.3. Objektīvie akomodācijas mērījumi — līdzšinējie pētījumi

Objektīvo metožu izmantošanas gadījumā maksimāli tiek novērsta kļūdas, kas varētu rasties akomodācijas mērījumu procesā redzes speciālista dēļ, kā arī, atšķirībā no pacienta subjektīvās atbildes, objektīvo metožu gadījumā atbildi neietekmē pacienta vērtējums par attēla samiglošanos — netiek ņemts vērā fokusa dziļums (*Wold et al.*, 2003). Ja cilvēkam darbojas akomodācija, tad jo tuvāk tiek pietuvināts fiksācijas objekts, jo lielāku acs optisko stiprumu uzrāda instruments, ar ko tiek noteikta akomodācijas atbilde (*Glasser*, 2006). Līdz šim zinātniskajos pētījumos objektīvie akomodācijas mērījumi iegūti, izmantojot auorefraktometrus (*Ostrin & Glasser*, 2004; *Win-Hall et al.*, 2007; *Win-Hall & Glasser*, 2008), refraktometrus (*Ostrin & Glasser*, 2004; *Win-Hall et al.*, 2007) un aberometrus (*Win-Hall & Glasser*, 2008).

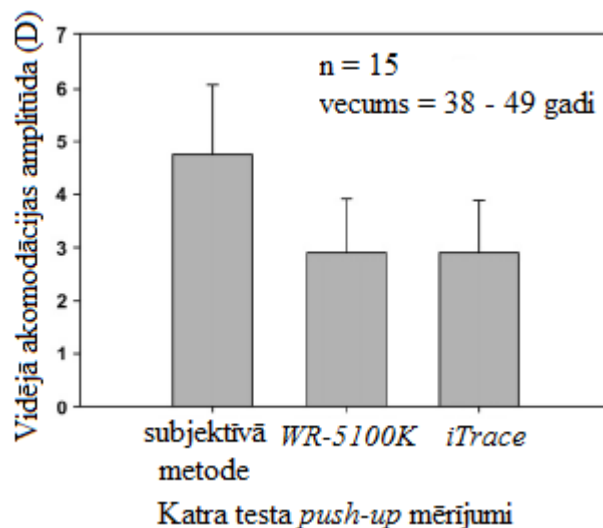
Viena no visplašāk izmantotajām iekārtām objektīvo mērījumu iegūšanai ir Hartingera autorefraktometrs, kura darbības pamatā ir Šeineru princips (*Ostrin & Glasser, 2004*), tas ir, ja divi gaismas stari sasniedz tīkleni emetropiskā acī, tie veido vienu attēlu – punktu, savukārt hipermetropiskā acī abi gaismas stari krustojas pirms tīkienes, bet miopiskā acī – aiz tīkienes. Hartingera autorefraktometrs sniedz iespēju izdarīt mērījumus, ja zīlītes diametrs ir tikai 1-2 mm (*Fincham, 1937*), līdz ar to mērījumus var veikt ilgstoši pēc farmakoloģiskas akomodācijas stimulēšanas, pielietojot pilokarpīnu (*Ostrin & Glasser, 2004*). Farmakoloģiska akomodācijas stimulācija tiek veikta, lai novērstu konverģences darbības ietekmi uz iegūtajiem rezultātiem, kā tas parasti būtu gribai pakļautās akomodācijas gadījumā. Sīkāk pilokarpīna pielietošana akomodācijas mērījumu veikšanā ir aprakstīta 1.3.1. sadaļā. Akomodācijas sasprindzināšanos var izraisīt arī bez medikamentozas iejaukšanas, papildus pievienojot negatīvā stipruma lēcas (aprakstīts 1.3.1. sadaļā), kā arī objektīvi akomodācijas amplitūdu iespējams noteikt, ar autorefraktometru izmērot acs refrakciju, maksimāli pietuvinot fiksācijas objektu.

### **1.3.1. Objektīvo metožu pielietojums akomodācijas amplitūdas noteikšanā**

Piemēram, *Win-Hall & Glasser (2008)* veiktā pētījuma ietvaros 15 pre-presbiobiem dalībniekiem vecumā no 38 līdz 49 gadiem ( $41 \pm 3$ ) tika veikti akomodācijas amplitūdas mērījumi. Galvenais secinājums – akomodācijas mērījumu rezultāti bija tikpat kā vienādi, izmantojot objektīvās akomodācijas amplitūdas noteikšanas iekārtas – *iTrace* aberometru vai autorefraktometru *WR-5100K*, tomēr bija statistiski nozīmīgi zemāki rezultāti, salīdzinot ar subjektīvajā *Push-up* akomodācijas amplitūdas noteikšanas metodē iegūtajiem. Lai izvairītos no briļļu radītajiem optiskajiem efektiem, visiem dalībniekiem nepieciešamā redzes korekcija tika veikta, izmantojot mīkstās kontaktlēcas. Minētajā pētījumā, lai nodrošinātu pietiekami lielu zīlīšu izmēru, objektīvo akomodācijas mērījumu laikā telpā tika samazināts apgaismojums līdz 0,1 lx, savukārt subjektīvie *Push-up* mērījumi iegūti, telpā ieslēdzot gaismu un uz tuvuma tabulu vēl raidot galda lampas apgaismojumu. Iemesls, kādēļ testa karte tiek apgaismota, ir tendence acīm akomodēt pastiprināti (*over-accommodate*), ja apgaismojums ir vājš, līdzīgi kā tas ir nakts miopijas gadījumā (*Locke & Somers, 1989*). Tomēr vājā apgaismojumā var tikt novērots arī pretējs process, tas ir, akomodācijas atpalikšanas palielināšanās. Kā skaidro *Charman (1996)*, samazinoties apgaismojuma līmenim, redzes sistēma zaudē jutību attiecībā pret augstākajām telpiskajām frekvencēm, līdz ar to zaudējot spēju izšķirt smalkas detaļas. Rezultātā pieaug fokusa dziļums un līdz ar to

samazinās akomodācijas atbildes precizitāte, kas, pēc autora teiktā, nozīmē, ka pieaug akomodācijas atpalikšana, salīdzinot ar fotopiskiem apstākļiem.

Atgriežoties pie iepriekš aprakstītā pētījuma, visi mērījumi veikti monokulāros apstākļos. Dalībnieku vidējā akomodācijas amplitūda, noteikta ar subjektīvo *Push-up* metodi ( $4,76 \pm 1,32$  D), bija ievērojami lielāka, nekā ar autorefraktometru ( $2,91 \pm 1,01$  D) un ar aberometru ( $2,90 \pm 0,99$  D) iegūtā akomodācijas amplitūdas vērtība. Lai gan pēc iegūtajiem rezultātiem ir redzams, ka akomodācijas mērījumu rezultāti būtiski neatšķīrās atkarībā no izmantotās iekārtas — *iTrace* aberometra vai autorefraktometra *WR-5100K*, tomēr ar subjektīvo metodi iegūtā vidējā akomodācijas amplitūdas vērtība acīmredzami bija lielāka (skat. 1.1. att.), nekā ar objektīvajām metodēm iegūtie rezultāti (visiem šīs grupas dalībniekiem  $p < 0,01$ ).



**1.1. att.** Vidējie akomodācijas amplitūdas mērijumi pre-presbiopo dalībnieku ( $n = 15$ ) grupai, kas iegūti ar subjektīvo *Push-up* metodi un ar objektīvajām metodēm: *WR-5100K* autorefraktometru un *iTrace* aberometru. Kļūdu stabiņi reprezentē  $\pm 1$  SD (Win-Hall & Glasser, 2008).

Ņemot vērā augstāk aprakstītā pētījuma atradnes, sagaidāms, ka šī maģistra darba ietvaros veiktajā pētījumā dalībnieku subjektīvā akomodācijas amplitūda būs salīdzinoši lielāka, nekā ar objektīvajām metodēm izmērītā, tomēr jāņem vērā, ka atšķirīgu rezultātu iegūšanu varētu ietekmēt tas, ka iepriekš aprakstītajā pētījumā dalībnieku vecums bija atbilstošs pre-presbiopijai, savukārt šī maģistra darba eksperimentālajā daļā sagaidāms, ka pārsvarā piedalīsies gados jaunāki dalībnieki, kā arī apgaismojuma līmeņi abos pētījumos ir atšķirīgi.

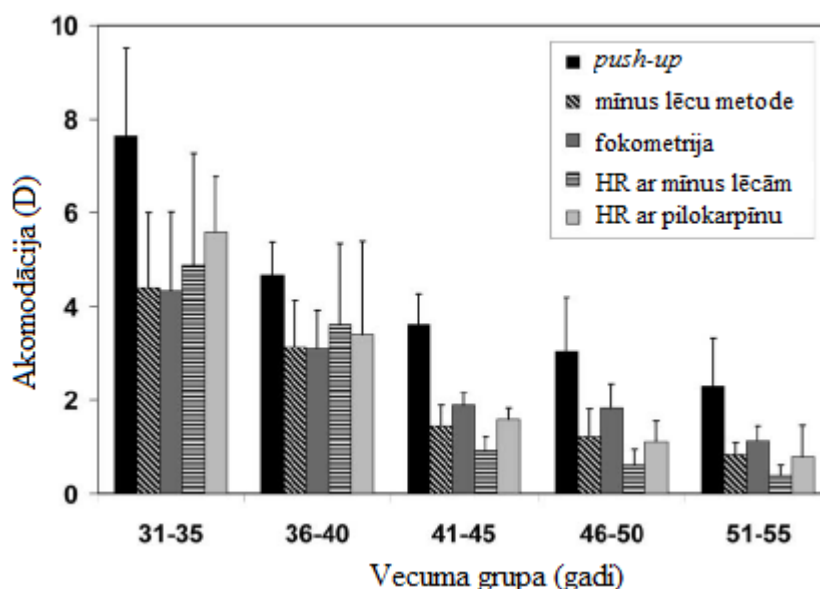
Līdzīgus rezultātus ieguvuši arī *Ostrin & Glasser* (2004), salīdzinot subjektīvo un objektīvo akomodācijas mērijumu rezultātus. Izlasei, kas sastāvēja no 31 brīvprātīgā dalībnieka vecumā no 31 līdz 53 gadiem (pre-presbiopi un presbiopi dalībnieki), tika salīdzināti piecu akomodācijas testu iznākumi. Subjektīvās metodes ietvēra *Push-up*, mīnus lēcu metodi un fokometra<sup>1</sup> izmantošanu, bet objektīvās — mērijumus ar Hartingera refraktometru, kurā akomodācijas darbību panāca ar negatīvām lēcām un pilokarpīna 6 % pilieniem. Pilokarpīns ir parasimpatomimētiķis, kas zīlītes sašaurinātājmuskulī un ciliārajā muskulī stimulē holīnērgiskos receptorus, izraisot miozi un akomodācijas sasprindzināšanos. Akomodācijas amplitūdas noteikšana, izmantojot pilokarpīnu, minēto autoru eksperimentā: sākumā ar autorefraktometru tika veikts pamata refrakcijas mērijums, tad labajā acī tika iepilināts viens piliens 2,5 % fenilefrīna hidrohlorīda, kas izraisīja zīlītes paplašināšanos un kreisajā acī tika iepilināts viens piliens 1 %

<sup>1</sup> Fokometrs – aparāts optisko lēcu un lēcu sistēmu fokālo punktu un atstatumu noteikšanai. <http://www.tezaurs.lv/#/sv/fokometrs>

ciklopentolāta hidrohlorīda, kas izraisīja zīlītes paplašināšanos un cikloplēģiju; pēc 30 min notika otrais refrakcijas mērījums ar autorefraktometru un labajā acī iepilināts viens piliens proparakaīna un viens piliens 6 % pilokarpīna hidrohlorīda. Proparakaīns ir anestēziķis un atvieglo pilokarpīna hidrohlorīda difūziju cauri radzenei, savukārt pilokarpīna hidrohlorīds stimulē akomodāciju. Nākamās stundas laikā ik pēc 5 min tika veikti refrakcijas un zīlītes diametra mērījumi abās acīs, pētījuma dalībniekam skatoties uz optotipu tabulu tālumā ar aci, kas tajā brīdī netika mērīta. Maksimālā akomodācija tika novērota 25 min pēc pilokarpīna iepilināšanas.

Otrs objektīvais veids, kā noteikt akomodācijas amplitūdu, bija negatīvo lēcu pievienošana. Sākumā tika iegūta labākā subjektīvā refrakcijas korekcija un nomērīta labās acs pamata refrakcija tālumā, tad kreisās acs priekšā speciālā lēcu turētājā tika ievietotas negatīvā stipruma lēcas, pētījuma dalībniekam skatoties tālumā uz optotipu tabulu un vienlaikus mērot akomodācijas atbildi labajā acī. Katram pievienotajam negatīvo lēcu stiprumam ar Hartingera autorefraktometru tika iegūti trīs secīgi mērījumi, lai varētu aprēķināt vidējās vērtības katram pievienoto lēcu solim un izveidot akomodācijas atbildes līkni, kas vizuāli palīdzētu gūt priekšstatu par maksimālo akomodācijas amplitūdu katrā dalībniekam. Mērījumi tika pārtraukti, kad pētījuma dalībnieks ziņoja, ka ar pievienoto lēcu nespēj skaidri saskatīt tālumā redzamo optotipu tabulu vai līdz trīs secīgu lēcu stipruma pievienošana neizraisīja tālāku objektīvi izmērītās refrakcijas pieaugumu.

Arī šajā pētījumā tika iegūts, ka vislielākie akomodācijas amplitūdas rezultāti ir, mērot ar subjektīvo *Push-up* metodi visās vecuma grupās. Salīdzinot akomodācijas amplitūdas mērījumus, izmantojot Hartingera refraktometru kopā ar negatīvajām proves lēcām un subjektīvās metodes, tika atklāts, ka subjektīvo un objektīvo akomodācijas amplitūdas mērījumu rezultātu salīdzināmība daļēji ir atkarīga no dalībnieku vecuma. Divas no subjektīvajām metodēm (negatīvo lēcu metode un fokometrija) uzrādījušas lielākus akomodācijas amplitūdas rādījumus, salīdzinot ar rezultātiem, kas iegūti ar Hartingera refraktometru to dalībnieku vidū, kuriem bijusi salīdzinoši zemāka akomodācijas amplitūda, tas ir, vidējā gada gājuma dalībniekiem, savukārt abas šīs minētās metodes pielietojot salīdzinoši jaunāko dalībnieku vidū (līdz 40 gadiem), iegūtie akomodācijas amplitūdas rezultāti ir mazāki, nekā ar objektīvajām metodēm (skat. 1.2. att.).

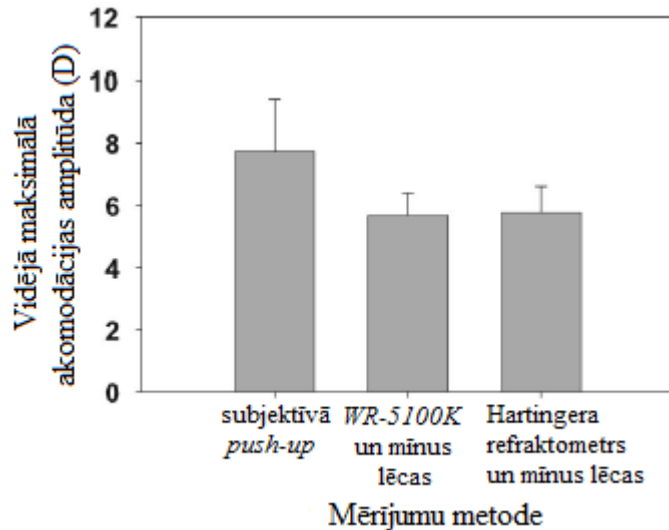


1.2. att. Vidējās akomodācijas amplitūdas un SD dažādām vecuma grupām, pielietojot atšķirīgas mērīšanas metodes (Ostrin & Glasser, 2004).

Visticamākos akomodācijas amplitūdas mērījumus, kā norāda Ostrin & Glasser (2004), iespējams iegūt, izmantojot objektīvās metodes (Hartingera refraktometru) un izraisot akomodācijas darbību vai nu ar mīnus lēcām vai arī, iepilinot acīs 6 % pilokarpīna hidrohlorīda (tas, kā noteikta akomodācijas amplitūda, izmantojot šo farmakoloģisko metodi, aprakstīts šīs sadaļas sākumā), turklāt iegūtie rezultāti ar šīm divām metodēm ir diezgan līdzīgi, tomēr jānorāda, ka pirmā metode bijusi efektīvāka jaunākiem pacientiem, bet otrā metode – gados vidējo cilvēku izlasei. Interesanti, ka augstākas akomodācijas atbildes, izmantojot pilokarpīnu, bija acīm ar gaišu varavīksneni, salīdzinot ar acīm, kurām bija tumšas krāsas varavīksnēnes.

Tas, ka subjektīvā *Push-up* metode pārvērtē akomodācijas amplitūdu, apstiprinājies arī Win-Hall et al. (2007) eksperimentā. Akomodācijas novērtējumam minētajā pētījumā tika izmantotas divas objektīvās akomodācijas novērtēšanas metodes: *Grand Seiko WR-5100K* autorefraktometrs un Hartingera refraktometrs (akomodācijas stimulēšanai izmantojot negatīvo lēcu metodi un *Push-up*), un viena subjektīvā metode: *Push-up*. Pētījuma dalībnieki bija 22 gados jauni cilvēki, t.i., vecumā no 21 līdz 30 gadiem.

Ar subjektīvo *Push-up* metodi noteiktā akomodācijas amplitūda ( $7,74 \pm 0,36$  D) bija lielāka, nekā ar objektīvajām metodēm iegūtie rezultāti ( $5,77 \pm 0,18$  D ar Hartingera refraktometru un  $5,67 \pm 0,15$  D ar autorefraktometru *WR-5100K*). Salīdzinot vidējo maksimālo akomodācijas amplitūdu, kas tika iegūta, izmantojot negatīvā stipruma provē lēcas, netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,9903$ ) starp iegūtajiem rezultātiem ar abām minētajām iekārtām (skat. 1.3. att.).



**1.3. att.** Visu 22 dalībnieku vidējā akomodācijas amplitūda, kas noteikta ar subjektīvo *Push-up* metodi un ar divām objektīvajām metodēm — autorefraktometru *WR-5100K* un Hartingera refraktometru, pielietojot negatīvās provē lēcas. Kļūdu stabiņi reprezentē standartkļūdas (Win-Hall et al., 2007).

Savukārt otrās metodes (ja akomodācijas stimulēšanai izmantota *Push-up* metode) ierobežojums, izmantojot objektīvo mērijumu iekārtas — autorefraktometrā *WR-5100K* bija neiespējami pietuvināt testa objektu tuvāk par attālumu, kas atbilda 5 D, tādējādi, izmantojot šajā metodē akomodācijas stimulu, kas atbilda 5 D, iegūtie rezultāti ar Hartingera refraktometru bija  $4,13 \pm 0,09$  D un ar *WR-5100K*  $4,68 \pm 0,10$  D. Tika secināts, ka izmantojot kā akomodācijas stimulus objektīvajās metodēs *Push-up*, ir statistiski nozīmīga atšķirība ( $p < 0,01$ ) starp rezultātiem ar abām automatizētajām mēriekārtām. Turklāt ir interesanti, ka, salīdzinot rezultātus, kas iegūti ar *Push-up* akomodācijas stimulu, kas atbilda 5 D, un negatīvo lēcu metodē izmantojot -5 D akomodācijas stimulu, lielākas akomodācijas amplitūdas iegūtas ar pirmo minēto metodi (attiecīgi ar Hartingera refraktometru  $4,13 \pm 0,09$  D, bet ar *WR-5100K*  $4,68 \pm 0,10$  D, un negatīvo lēcu metodē — ar Hartingera refraktometru  $4,07 \pm 0,09$  D, bet ar *WR-5100K*:  $4,05 \pm 0,09$  D) (Win-Hal et al., 2007). Secināms, ka, pat izmantojot akomodācijas amplitūdas novērtējumam objektīvās metodes, lielākus rezultātus joprojām sasniedz, ja akomodācijas stimulēšanai šajās iekārtās izmanto *Push-up*, turklāt autofrefraktometra *WR-5100K* gadījumā atšķirība ir bijusi statistiski būtiska ( $p < 0,01$ ), iespējamais izskaidrojums varētu būt minētā autorefraktometra lielāka precizitāte, salīdzinot ar tā priekšgājēju — Hartingera refraktometru.

Minētā pētījuma nozīmīgs trūkums bijis tas, ka *WR-5100K* iekārtas parametri neatļāva nomērīt tuvākus *Push-up* stimulus par 5 D (atbilst 20 cm) — tā kā pētījuma dalībnieki bijuši gados jauni cilvēki (sākot no 21 gada vecuma), turklāt ar subjektīvo *Push-up* metodi un kā

akomodācijas stimulu izmantojot negatīvās lēcas objektīvajās metodēs, tikušas iegūtas lielākas akomodācijas amplitūdas par 5 D, tad labāku rezultātu salīdzināmību varētu iegūt, ja arī objektīvajās metodēs izmantotu *Push-up* stimulu neierobežotā tuvumā (*Win-Hall et al.*, 2007).

### 1.3.2. Akomodācijas atpalikšanas noteikšana ar objektīvajām metodēm

*Anderson et al.* (2009), cenšoties atrast sakarību starp akomodācijas atpalikšanu un vecumu, pētījumā iekļāva 101 dalībnieku vecumā no 3 līdz 40 gadiem, un nonāca pie secinājuma, ka akomodācijas atpalikšanas lielumam ir cieša saistība ar maksimālo akomodācijas amplitūdu, kas attiecīgi saistīta ar dalībnieka vecumu, kā arī tika konstatēts, ka akomodācijas precizitāte uzlabojas skolas gados. Šis pēdējais secinājums tika izdarīts, pamatojoties uz pētnieku atklājumu, ka, ja akomodācijas pieprasījums atbilda 3 D, tad akomodācijas atpalikšana vecuma grupā no 3 līdz 24 gadiem samazinājās par -0,034 D katru gadu. Piemēram, 3 gadu vecumā, aplūkojot akomodācijas stimulu, kas atbilda 3 D, paredzamā akomodācijas atpalikšana atbilda 1,16 D, savukārt 20 gadu vecumā attiecīgi 0,59 D. Kā norādīts minēto autoru pētījumā, vecuma grupa no 3 līdz 20 gadiem izrādīja īpašu interesi, jo citu autoru iepriekš veiktajos pētījumos noskaidrots, ka bērniem un jauniešiem šajā vecuma grupā ir līdzīgas maksimālās akomodācijas amplitūdas, nosakot ar negatīvo lēcu metodi (*Anderson et al.*, 2008).

Augstāk minētais zinātniskās publikācijas autoru kolektīvs gan uzsvēris, ka binokulāros apstākļos iegūtie rezultāti, iespējams, varētu būt atšķirīgi. Tika iegūti objektīvie akomodācijas mērījumi monokulāros apstākļos, izmantojot *Grand Seiko* autorefraktometru, akomodācijas stimulam atrodoties 33,3 cm attālumā, un akomodācijas stimulēšanas nolūkos pievienojot negatīvā stipruma lēcas no -1,00 D līdz -4,00 D ar soli 1,00 D). Katram eksperimenta dalībniekam, pievienojot negatīvā stipruma probes lēcas, tika noteikta arī akomodācijas amplitūda. Visiem dalībniekiem kopumā tika novērots, ka akomodācijas atpalikšana palielinājās līdz ar pieaugošu akomodācijas pieprasījumu. Vislielākais akomodācijas atpalikšanas pieaugums tika konstatēts tad, ja akomodācijas pieprasījuma lielums bija līdzvērtīgs dalībnieka akomodācijas amplitūdai.

Salīdzinot akomodācijas atpalikšanu, kas noteikta ar divām dinamiskās retinoskopijas metodēm (*Nott* un *MEM*) un ar autorefraktometru *Grand Seiko WR-5100K* iegūtajiem rezultātiem, *Manny et al.* (2009) nonāca pie secinājuma, ka nedz viena, nedz arī otra subjektīvā akomodācijas atpalikšanas noteikšanas metode (ne *Nott*, ne *MEM*) neuzrādīja tik augstu jutību un specifitāti, kāda bija rezultātiem, kas iegūti ar autorefraktometru. Minētajā

pētījumā piedalījās 168 skolēni vecumā no 8 līdz 12 gadiem, kuriem bija zemas pakāpes miopija (no -0,50 D līdz -3,00 D, mērījumi veikti bez cikloplēģijas). Nosakot akomodācijas atpalikšanu, izmantojot autorefraktometru, tika konstatēts, ka 69 % pētījumā iesaistīto bērnu akomodācijas atpalikšanas lielums pārsniedza 1,00 D, bet, izmantojot *MEM* dinamisko retinoskopiju, tika noteikts, ka akomodācijas atpalikšanas lielums pārsniedza 1,00 D tikai 39 % no bērnu kopējā skaita, savukārt, izmantojot *Nott* dinamisko retinoskopiju, tie bija 21 % bērnu. Tātad, pieņemot, ka autorefraktometrijas metodes jutība (patiesi pozitīva rezultāta varbūtība) bija 100 %, tad *MEM* jutība bija 57 % un *Nott* jutība bija vēl sliktāka, tas ir, 30 %. Salīdzinot visu trīs metožu specifitāti (patiesi negatīva rezultāta varbūtību), un pieņemot, ka autorefraktometrijas specifitāte bija 100 %, *MEM* metodes specifitāte bija 63 % un *Nott* metodei tā bija 81 %. Cik ticami ir iegūtie rezultāti? Autoru kolektīvs norādījis, ka atšķirības rezultātos varēja ietekmēt arī tas, ka dinamiskās retinoskopijas laikā bērnu kognitīvā līdzdalība bija ievērojami lielāka (bērnam bija jālasa redzamais teksts skaļi), nekā autorefraktometrijas veikšanas laikā. Atsaucoties uz *Kruger* (1980) veikto pētījumu, *Manny et al.* (2009) pievērš uzmanību faktam, ka apstākļos, kuros nepieciešama lielāka kognitīvā iesaiste, arī akomodācijas lielums ir lielāks, no kā izriet, ka akomodācijas atpalikšana ir mazāka — tas varētu labi izskaidrot, kāpēc ar dinamisko retinoskopiju iegūtie rezultāti ir mazāki, nekā ar autorefraktometru izmērītās akomodācijas atpalikšanas vērtības. Kā vēl vienu skaidrojumu zinātnieku komanda min faktu, ka dinamiskā retinoskopija ir subjektīva metode — dinamiskās retinoskopijas veicējus varēja ietekmēt vispārpieņemtās zināšanas, ka skolas vecuma bērniem akomodācijas atpalikšana ir neliela, piemēram, ja mērķis atbilst akomodācijas pieprasījumam, kas ir 3,00 D, bet bērna akomodācijas atpalikšana ir 1,50 D, tad retinoskopētājam, ja tiek izmantota *Nott* metode, būtu jāatbīdās 33 cm pirms akomodācijas mērķa — eksaminētājam varētu būt grūti akceptēt, ka šis attālums ir tik liels, līdz ar to kā rezultāts varētu tikt interpretēts mazāks attālums. Vēl viens iemesls rezultātu atšķirībās ir akomodācijas fluktuācijas — izmantojot autorefraktometru, netiek ņemts vērā, kurā brīdī veikt mērījumu, savukārt dinamiskās retinoskopijas gadījumā, ja optometrists novēro lielu akomodācijas atpalikšanu vai akomodācijas svārstības, viņš var lūgt bērnam uz akomodācijas mērķi skatīties uzmanīgāk, tādējādi iegūstot mazākus akomodācijas atpalikšanas mērījumu rezultātus.

*Seidemann & Schaeffel* (2003), izmantojot ekscentrisko infrasarkanās gaismas fotorefrakcijas metodi (*Power Refractor*), noteica akomodācijas atpalikšanu monokulāros un binokulāros apstākļos, akomodācijas mērķim atrodoties attālumos, kas atbilda akomodācijas pieprasījumiem 1,5 D, 2 D, 3 D, 4 D un 5 D. Veicot mērījumus nelielai studentu izlasei ( $n = 10$ , vecumā no 20 līdz 38 gadiem), un salīdzinot iegūtos rezultātus ar tiem, kas tika

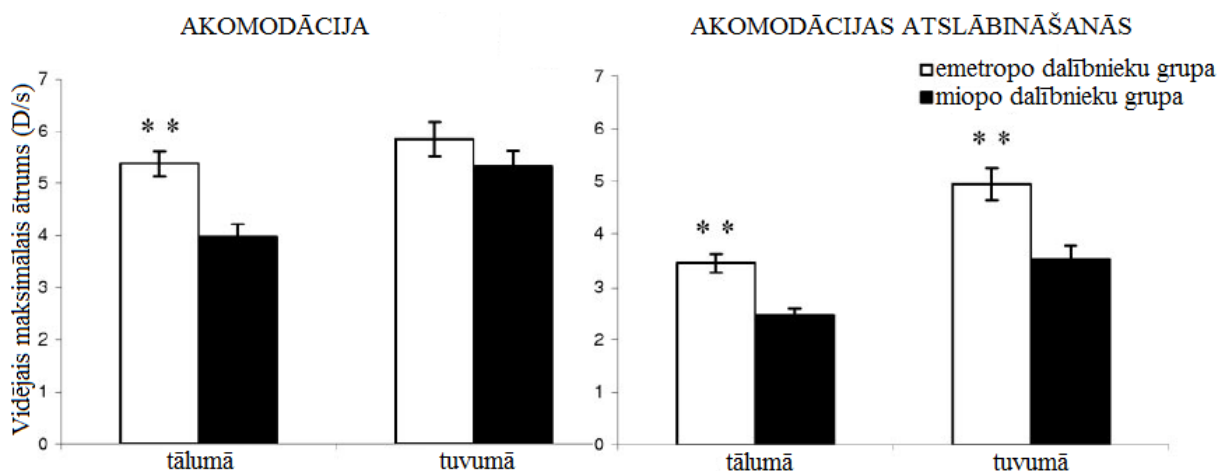
aprakstīti līdz laikam, kad tika veikts šis pētījums, tika secināts, ka iegūtie dati nebija statistiski nozīmīgi atšķirīgi no tiem rezultātiem, kas iegūti ar *Canon R-1* autorefraktometru. Tika arī noskaidrots, ka akomodācijas atpalikšana, kas noteikta binokulāri, bija mazāka, nekā tā, kas noteikta monokulāri — tātad akomodācijas darbība ir precīzāka, abām acīm esot atvērtām, tomēr statistiski nozīmīga atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti monokulāros un binokulāros apstākļos, bija tikai tad, ja akomodācijas mērķis atradās attālumā, kur akomodācijas pieprasījums bija diezgan liels, tas ir, 5,00 D.

*Antona et al.* (2009) norāda, ka ar objektīvo akomodācijas atbildes novērtēšanas metodi (šajā gadījumā ar autorefraktometru *Shin-Nippon SRW-5000*) iegūtie rezultāti ir atkarīgi no lēcām, kas pielietotas eksperimenta dalībnieku ametropijas koriģēšanā. Autoru kolektīvs skaidro, ka zemā rezultātu atkārtojamība, izmantojot autorefraktometru, saistīta ar to, ka neviens no autorefraktometriem nav izstrādāts tā, lai veiktajos aprēķinos tiktu ņemti vērā ametropiju koriģējošo briļļu lēcu stiprumi un *vertex* attālums. Arī pāris gadus agrākā pētījumā, ko veikuši *Kimura et al.* (2007), pētot 25 acu, kurām veikta cikloplēģija, akomodācijas atpalikšanu, tika secināts, ka autorefraktometra pielietošanas gadījumā ir jāņem vērā sistemātiskās mērījumu kļūdas, tas ir, ja mērījumi tiek veikti ar briļļu korekciju, kas precīzi neatbilst ametropijas lielumam, tad akomodācijas atpalikšanas mērījumu rezultāti var būt nepatiesi zemi jeb akomodācijas atbilde nepatiesi augsta, sevišķi, ja briļļu korekcijā miopija nav izkoriģēta pilnīgi vai hipermetropijas korekcija ir par stipru, turklāt mērījumu kļūda palielinās līdz ar neizkoriģētās miopijas lielumu.

### **1.3.3. Tikai ar objektīvajām metodēm izmērāmie akomodācijas parametri**

Ir akomodācijas parametri, kurus var nomērīt tikai ar objektīvajām metodēm, tas ir, akomodācijas atbildes latence (*accommodative response latency*), paātrinājums (*accommodative acceleration*), maksimālais ātrums (*peak velocity*) un kopējais atbildes laiks (*overall response time*). Viens no svarīgākajiem akomodācijas darbību raksturojošajiem parametriem ir maksimālais ātrums. Jau iepriekš tekstā aprakstītajā *Radhakrishnan et al.* (2007) pētījumā, kurā tika mērīts akomodācijas vieglums ar subjektīvo un objektīvo metodi (ar fotorefraktoru *Power Refractor, Multichannel Systems*, kas akomodācijas viegluma mērījumu laikā veica dinamiskos refrakcijas kļūdas mērījumus), tika secināts, ka maksimālais akomodācijas ātrums emetro po dalībnieku grupai tālumā (6,0 m) bijis statistiski nozīmīgi lielāks ( $p < 0,01$ ), nekā miopo dalībnieku grupai. Tuvumā (0,4 m) šāda tendence novērota netika ( $p = 0,23$ ). Interesanti, ka akomodācijas atslābināšanās maksimālais ātrums miopo

dalībnieku grupai bija mazāks ne vien tūlumā ( $p < 0,01$ ), bet arī tuvumā ( $p < 0,01$ ). Uzskatāmi attiecīgās ātruma vērtības attēlotas zemāk esošajā 1.4. attēlā.



**1.4. att.** Vidējās maksimālās ātruma vērtības akomodācijas un akomodācijas atslābināšanās gadījumā tuvumā un tūlumā. Ar baltajiem stabiņiem attēloti emetropo dalībnieku grupas rezultāti, bet ar melnajiem stabiņiem — miopo dalībnieku grupas mērījumu vidējās vērtības. Kļūdu stabiņi attēlo  $\pm 1$  SD. Ar „\*\*” attēlota statistiski nozīmīga atšķirība starp abām refrakcijas grupām ( $p \leq 0,05$ ).

Spriežot pēc *Labhishetty et al.* (2019) pētījuma rezultātiem, lai precīzi novērtētu akomodācijas ātrumu (D/s), nepieciešams izmantot fotorefraktometru, kas veic rezultātu pierakstu ar frekvenci vismaz 10 Hz, bet akomodācijas darbības paātrinājuma ( $D/s^2$ ) noteikšanai jāizmanto iekārta ar vismaz 70 Hz frekvenci, pretējā gadījumā minētie akomodācijas parametri tiek noteikti kā nepatiesi zemi ( $p > 0,5$ ). *Schor & Bharadwaj* (2006), pētot dinamiskās akomodācijas darbību, secinājuši, ka maksimālajam akomodācijas ātrumam ir raksturīgi pieaugt līdz ar akomodācijas atbildes lielumu (D), turpretim maksimālais akomodācijas atslābināšanās ātrums no akomodācijas atslābināšanās atbildes lieluma, kas izteikts dioptrijas, nav atkarīgs.

Minētie zinātnieki atklājuši arī, ka maksimālais akomodācijas paātrinājums (*peak acceleration*) gan akomodācijas, gan akomodācijas atslābināšanās gadījumā nav atkarīgs no akomodācijas atbildes lieluma. Savukārt, pētot maksimālā paātrinājuma un sākotnējās akomodācijas stāvokli, zinātnieku kolektīvs secināja, ka akomodācijas gadījumā maksimālais akomodācijas paātrinājums nav atkarīgs no sākotnējā akomodācijas stāvokļa, bet akomodācijas atslābināšanās gadījumā maksimālais akomodācijas paātrinājums pieaug lineāri sākotnējam akomodācijas sasprindzinājumam.

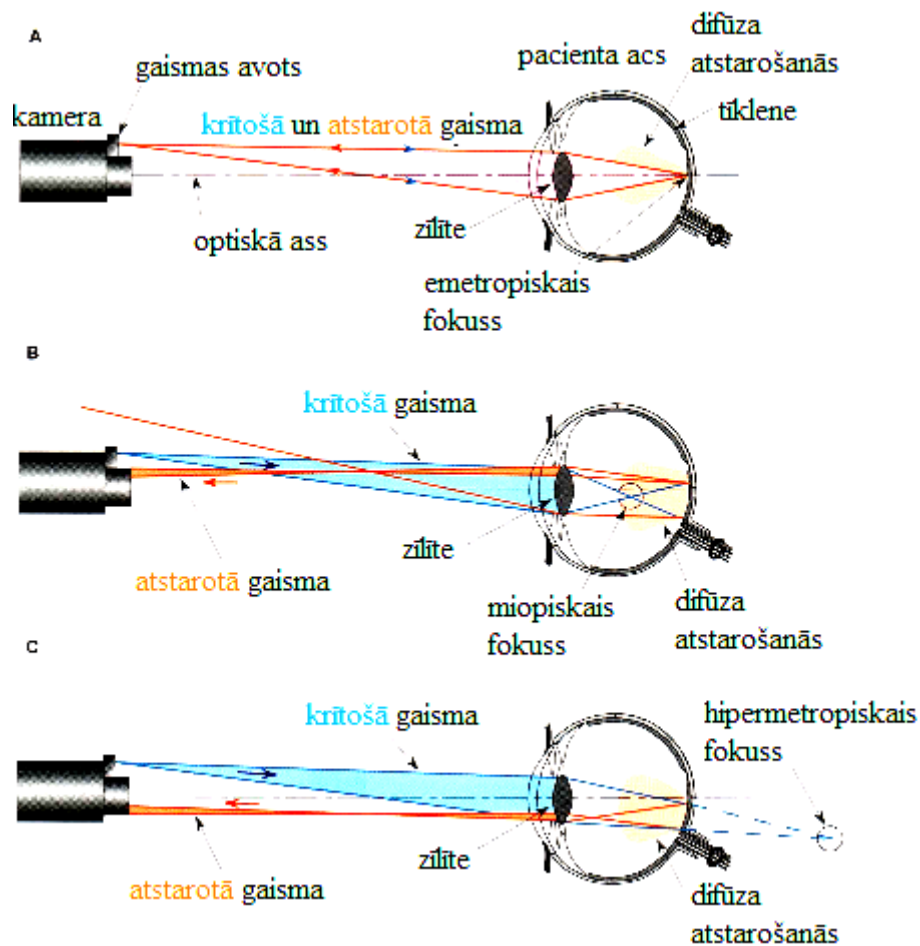
Vēl divi parametri, kurus ir iespējams noteikt, izmantojot objektīvās akomodācijas mērījumu metodes, ir akomodācijas atbildes latence un kopējais akomodācijas atbildes laiks.

Akomodācijas atbildes latence jeb reakcijas laiks ir brīdis no stimula izmaiņām līdz atbildes reakcijas sākumam (*Heron et al.*, 2001). Vidēji akomodācijas un akomodācijas atslābināšanās atbildes latence ir 200-500 ms (*Kasthurirangan et al.*, 2003). Savukārt kopējais akomodācijas atbildes laiks ir laika intervāls, kurā notiek akomodācijas izmaiņas no tās sākotnējā stāvokļa līdz mērījuma beigu stāvoklim (*Heron et al.*, 2001).

Vēl viens tikai ar objektīvajām metodēm attēlojamais parametrs ir akomodācijas mikrofluktuācijas. Tās raksturo akomodācijas aparāta sasprindzināšanās spēju stabilitāti. Kā norāda *Monticone & Menozzi* (2011), ja skatiens tiek fiksēts uz nekustīgu objektu, akomodācijas stāvoklis nav pilnīgi nemainīgs, bet gan novērojamas akomodācijas svārstības apmēram 1,00 D amplitūdā. Šīs akomodācijas svārstības sauc par akomodācijas mikrofluktuācijām.

#### **1.3.4. Fotorefrakcijas metode**

Ekscentriskā fotorefrakcijas metode tika izgudrota 1979. gadā (*Kaakinen & Tommila*). Pretstatā izotropiskajai fotorefrakcijas metodei, kad acī raidītais gaismas avots atrodas uz vienas optiskās ass ar kameru un aci, un kurā nepieciešams iegūt vairākus mērījumus dažādos attālumos no acs (*Cole*, 1991), ekscentriskās fotorefrakcijas metodes gadījumā gaismas kūlis acī tiek raidīts ekscentriski attiecībā pret kameras lēcu (*Cole*, 1991; *Howland*, 2009). Kā tas ir redzams zemāk esošajā 1.5. attēlā, lai noteiktu acs refrakcijas stāvokli, eksperimenta dalībniekam tiek lūgts skatīties uz gaismas avotu. Acī raidītais gaismas avots atrodas netālu no kameras lēcas, no tā izejošā gaisma atstarojas no pacienta tīklenes un nonāk atpakaļ gaismas avotā, tiekot ierakstīta ar blakus esošās video kameras palīdzību. Ja acs ir ametropa, atstarotā gaisma diverģēs pietiekami daudz, lai to uztvertu kameras lēca un iegūtajā attēlā būtu novērojams pusloks, kura atrašanās vieta atkarīga no ametropijas veida, savukārt, ja acs ir emetropa, tad atstarotā gaisma pilnībā atgriežas gaismas avotā, bez staru diverģences, tāpēc kamerā nenonāk izkliedētie stari un iegūtajā attēlā puse pusmēness attēls netiek novērots. Šajā metodē ir iespējams noteikt ne vien acs refrakciju, bet arī skata virzienu, jo, fokusējot kameru uz eksperimenta dalībnieka zīlīti, vienlaikus ar refrakcijas mērījumu tiek nofotografēts arī pirmais Purkinjē attēls (*Howland*, 2009).



**1.5. att.** Gaismas avots un kamera atrodas ļoti tuvu. Gaisma nonāk acī, kas skatās uz gaismas avotu. Pēc atstarošanās no tīklenes gaisma nonāk atpakaļ gaismas avotā un, ja atstarotie stari ir veidojuši izkliedētu gaismas kūli, to fiksē kamera. Miopijas gadījumā (B) iegūtajā attēlā veidosies pusloks, kas būs vienā pusē ar gaismas avotu, bet hipermetropijas gadījumā (C) attēlā redzamais pusloks būs pretējā pusē gaismas avotam. Emmetropijas gadījumā (A) pusloks iegūtajā attēlā neveidojas.

Augstāk aprakstītās metodes trūkums bija gaismas avota raidīšana acī, kas izraisīja zīlītes sašaurināšanos. Lai novērstu šo problēmu, tika izgudrota infrasarkanās gaismas fotorefrakcijas metode. Raidot acī infrasarkanos starus, pacients netiek apžilbināts, un mērījumus var veikt, neizraisot zīlītes izmēra maiņu. Līdz šim tikuši pielietoti tādi infrasarkanās gaismas fotorefraktori, kā *Topcon PR-1000*, *Tomey ViVa*, un *Power Refractor* (Howland, 2009). Attīstoties digitālajām kamerām, fotorefrakcijas mērījumus iespējams veikt aizvien ātrāk un ar lielāku precizitāti, turklāt, izmantojot fotorefrakciju, ir iespējams veikt ne vien refrakcijas stāvokļa un akomodācijas darbības novērtējumu, bet arī spriest par acs aberācijām (Chen et al., 2008).

## 2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

### 2.1. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā piedalījās 12 dalībnieki (desmit sievietes un divi vīrieši) vecumā no 20 līdz 36 gadiem (vidējais vecums  $26 \pm 4$  gadi). Tāds dalībnieku vecums izvēlēts, jo sagaidāmais akomodācijas amplitūdas lielums pēc Duanes-Hofstetera formulas šajā vecuma grupā pārsniedz 6 D, kas ir lielāks par presbiopijai raksturīgo akomodācijas amplitūdas lielumu. Pirms pētījuma veikšanas katrs dalībnieks tika iepazīstināts ar tā norisi, ar savu parakstu apstiprinot, ka piekrīt piedalīties pētījumā un atļauj iegūtos datus izmantot tālākai apstrādei. Pētījums veikts Latvijas Universitātes Dabaszinātņu centrā – Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas redzes ergonomikas laboratorijā. Pētījuma norise saskaņota ar LU EKMI Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Pētījumā izvēlēto dalībnieku refrakcijas stāvoklis bija emetropija, t.i., labākajā subjektīvajā korekcijā iegūtais  $SE > -0,50 D$  un  $\leq +0,50 D$  (Goh & Lam, 1994; Hepsen et al., 2001; Morgan et al., 2010). Visu 12 pētījuma dalībnieku refrakcijas vidējais sfēriskais ekvivalents labajai acij bija  $-0,06 \pm 0,36 D$  un kreisajai acij  $+0,04 \pm 0,34 D$ . Labākais koriģētais redzes asums katram no dalībniekiem monokulāros apstākļos tālumā bija vismaz  $1,2^{-2}$  decimālās vienības un tuvumā – vismaz  $1,0^{-1}$  decimālās vienības.

Vienam no dalībniekiem bijusi LASIK operācija (dalībniekam Nr.6). Spriežot pēc labākās piemeklētās korekcijas datiem, šī dalībnieka izslēgšanai no emetropo dalībnieku grupas nebija nekāda pamata. Dati par katra dalībnieka labākās subjektīvās korekcijas lielumu un redzes asumu gan binokulāros, gan monokulāros apstākļos tālumā un tuvumā sniegti 1. pielikumā. Visi pētījuma dalībnieki noliedza, ka pētījuma veikšanas laikā slimotu ar kādu acu slimību.

### 2.2. Izmantotais aprīkojums

Akomodācijas mērījumiem (gan subjektīvajiem, gan arī objektīvajiem) izmantotais stimuls bija 5 x 5 burtu matrica, kas atbilda redzes asumam 0,8. Viena burta augstums bija 1 mm, kas testa attālumā 40 cm atbilda 0,14 grādiem. 5 x 5 burtu matricas kopējais izmērs bija 8 mm, kas atbilda 1,15 grādiem. Tāluma stimula parametri bija 14 x 14 cm; tas attēlots uz 17 x 17 cm liela melna kvadrāta. Tāluma stimuls atradās 7,0 m attālumā no pētījuma dalībnieka, līdz ar to tā leņķiskais izmērs atbilda 1,15 grādiem (savukārt melnais

kvadrāts atbilda 1,39 grādiem). Veicot mērījumus tālumā, dalībnieks tika instruēts skatīties tāluma stimula centrā.

Objektīvie akomodācijas mērījumi tika iegūti, izmantojot autorefraktometru (*HUVITZ HRK-1 Auto Ref/Keratometer*) un iekārtu *Power Ref 3–plusoptiX R09*, ar kuru ir iespējams noteikt dinamisko refrakciju amplitūdā no +5,00 D līdz -7,00 D ar precizitāti līdz 0,01 D. Lai ar minēto iekārtu varētu iegūt mērījumus, dalībnieka zīlītes lielumam jābūt 4,0-8,0 mm, mērījumus iespējams iegūt ar 0,1 mm precizitāti. *Power Ref* mērījumu pieraksta reakcijas laiks ir 0,02 s (frekvence 50 Hz). Lai iegūtu rezultātus, ierīces kamerai jāatrodas  $1,00 \pm 0,05$  m attālumā no pētījuma dalībnieka acīm. Iekārta iegūst informāciju par refrakciju, balstoties uz dinamiskās fotoskiaskopijas principa, vienlaikus iegūstot informāciju par abām acīm. *Power Ref* optimālai darbībai nepieciešamā temperatūra ir no +10°C līdz +35°C un vajadzīgais gaisa mitrums ir 20-80 % (*Plusoptix GmbH*, 2016).

### 2.3. Metodikas izstrāde

Šī pētījuma ietvaros būtiskākais izaicinājums bija metodikas izstrāde objektīvo akomodācijas darbību raksturojošo mērījumu ieguvei un datu apstrādei. Arī objektīvās, tāpat kā subjektīvās jeb klīniskās metodes gadījumā, veicot proves lēcu nomaiņu, tika ņemta vērā dalībnieka subjektīvā atbilde par to, vai akomodācijas stimulš ir vai nav skaidri saskatāms, tādēļ korektāk to būtu nepieciešams dēvēt par „daļēji objektīvo metodi”, tomēr šī pētījuma ietvaros nebija iespējams uzlabot metodes objektivitāti, tāpēc turpmāk, lai uzsvērtu šīs metodes daļēji objektīvo dabu, atšķirībā no klīniskajām metodēm, kas ir viennozīmīgi subjektīvās, tā dēvēta par „objektīvo metodi”. Objektīvās metodes priekšrocība ir iespēja spriest no iegūtajiem datiem par akomodācijas stāvokli, neņemot vērā dalībnieka tā brīža mutisko interpretāciju par to, vai attiecīgais akomodācijas stimulš ir bijis skaidri saskatāms. Atspoguļojot objektīvās metodes datus grafiskā veidā, iespējams veikt iegūto datu kvalitatīvo analīzi. Svarīgi norādīt, ka šis pētījums ir bijis mēģinājums atveidot subjektīvos jeb klīniskos akomodācijas testus ar objektīvajām metodēm, pirmais etaps turpmākai metodikas pilnveidei.

Veicot akomodācijas mērījumus, tika izšķirta binokulārā un monokulārā situācija – binokulārās skatīšanās gadījumā tika noteiktas negatīvās un pozitīvās relatīvās akomodācijas rezerves (turpmāka apzīmētas kā NRA rezerves un PRA rezerves), savukārt monokulārās skatīšanās gadījumā – negatīvās un pozitīvās akomodācijas rezerves (turpmāk tekstā kā NA rezerves un PA rezerves). Šī pētījuma viens no metodikas izstrādes pamatprincipiem bija vēlme atdalīt situāciju, kad iesaistīta gan vergence, gan arī akomodācija (binokulārās skatīšanās gadījumā), un situāciju, kad iegūtie rezultāti bija atkarīgi tikai no akomodācijas

darbības (monokulārās skatīšanās gadījumā). PRA rezervju mērījumi monokulāros apstākļos jeb PA rezerves vienlaikus ir arī akomodācijas amplitūdas noteikšana ar negatīvu lēcu palīdzību, tomēr šī pētījuma ietvaros šis mērījums tiek izmantots, lai izšķirtu akomodācijas atbildi no akomodācijas relatīvo rezervju mērījumiem, kad iesaistās arī vergences darbība. Arī klīnisko metožu gadījumā, ja PRA vai NRA mērījuma rezultāti neatbilst normai, tipiska procedūra ir monokulārais PA vai NA rezervju mērījums, tādēļ arīdzan šī pētījuma izstrādē tika iekļauti attiecīgie mērījumi. Monokulāros apstākļos subjektīvās metodes gadījumā mērījumi iegūti tikai kreisajai acij, jo tā tas darīts arī objektīvās metodes gadījumā. Veicot objektīvos mērījumus, lēcu nomaina, ņemot vērā pētījuma dalībnieka pozīciju pie mērījumu iekārtas, parocīgāk bija veicama kreisajai acij, un teorētiski tika sagaidīts, ka akomodācija darbosies labajā un kreisajā acī vienādi.

Sākotnēji, apstrādājot objektīvos datus, tika pamanīts, ka tie grafiski tiek attēloti neatbilstoši pievienotajam lēcu stiprumam. Meklējot kļūdu cēloni, tika saprasts, ka nepieciešama katra pētījuma dalībnieka datu apstrāde, ņemot vērā individuālos objektīvi nomērītos tāluma refrakcijas datus katram pieliktajam lēcu solim, jo, lai gan visu pētījuma dalībnieku refrakcijas stāvoklis atbilda emetropijai, tomēr katra dalībnieka individuālie refrakcijas dati bija nedaudz atšķirīgi, turklāt katra dalībnieka refrakcijas dati, kas raksturoja akomodācijas atbildi katram pievienoto lēcu solim, arī bija dažādi. Tika noteiktas katra dalībnieka individuālās refrakcijas vērtības, kas atbilst ikvienam pielikto lēcu solim tālumā, lai pārrēķinu rezultātā iegūtu refrakcijas patiesās vērtības tuvumā atbilstoši tam, kā katra dalībnieka akomodācijas sistēma reaģē uz katru no pievienotajiem lēcu stiprumiem. Piemēram, ja tiek pievienota +1,00 D lēca pie labākās subjektīvās refrakcijas korekcijas, dalībniekam skatoties tālumā, katram dalībniekam akomodācijas reakcija uz šo pievienoto proves lēcas stiprumu būs atšķirīga — tā var būt gan lielāka, gan arī mazāka, kas ietekmēs arī akomodācijas atbildi tuvumā, ja tiek pievienota +1,00 D lēca. Akomodācijas atbilde aprēķināta pēc 2.1. formulas.

## 2.1. formula

$$X = Y - Z, \text{ kur}$$

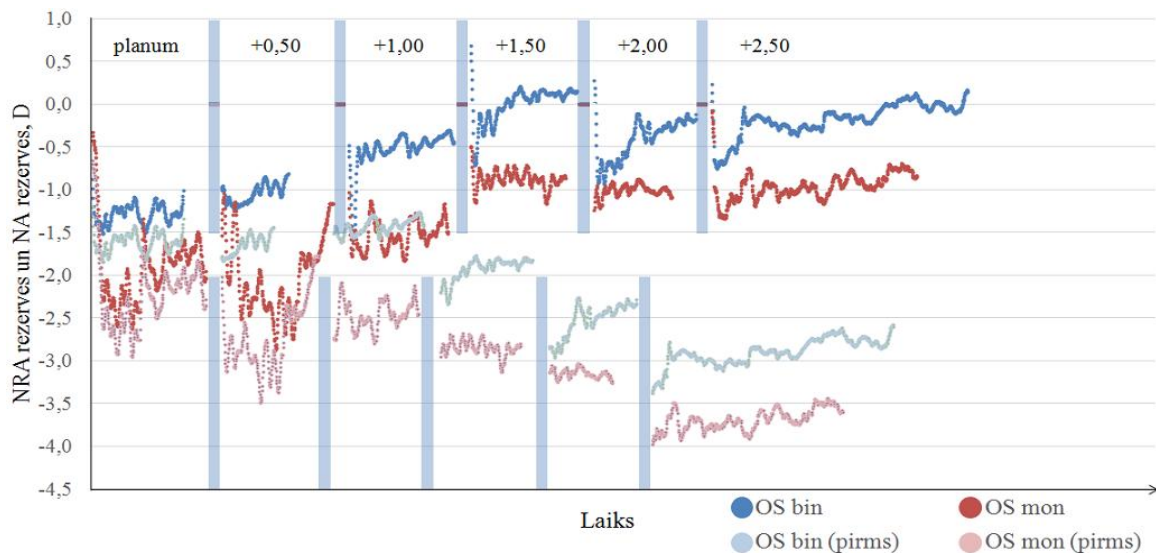
Y – ir akomodācijas vērtība, pievienojot konkrētu lēcu, dalībniekam skatoties tuvumā,

Z – akomodācijas vērtība, pievienojot konkrētu lēcu, dalībniekam skatoties tālumā,

X – akomodācijas atbilde.

Tālāk attēlots piemērs, kā mainījās sakarība, ja tika ievērotas dalībnieka individuālās akomodācijas reakcijas katram lēcu solim tālumā. Piemēram, dalībniekam Nr.4., veicot

objektīvo NRA rezervju un NA rezervju mērījumu, lai salīdzinātu akomodācijas atbildi binokulāros un monokulāros apstākļos, pirms otrās pētījuma sesijas iegūtie rezultāti attēloti zemāk esošajā 2.1. attēlā (datus atspoguļojošās līknes zilā un sarkanā krāsā). Var redzēt, ka gan binokulāro, gan monokulāro datu līkne attēlo situāciju, kad akomodācija saspringst, kas ir pretrunā mērījuma būtībai. (Turpmāk grafikos ar zilajiem stabiņiem atdalīti brīži, kad tika veikta provē lēcu nomainīšana. Katra grafika posma augšējā daļā attēlots, caur kādu pievienoto lēcu pie tāluma korekcijas dalībnieks skatījies.) Sākotnēji, lai izprastu problēmas cēloni, vienam no dalībniekiem (dalībniekam Nr.1) tika veikti mērījumi ar kontaktlēcām, kas atbilda pievienoto lēcu stiprumam +1,50 D un -3,50 D, un, tika noskaidrots, ka rezultāti ir tādi paši, kā ar pievienotajām provē lēcām, tādējādi tika izslēgts, ka neloģisko rezultātu iemesls būtu pievienoto provē lēcu faktors. Tika meklēts cits iemesls iegūto datu neatbilstībai sagaidāmajiem rezultātiem. Ņemot vērā citu autoru pētījumumus, kuros norādīts datu normalizēšanas nozīmīgums atbilstoši individuālajām akomodācijas atbildēm katram pievienoto lēcu solim (*Bharadwaj et al.*, 2013; *Sravani et al.*, 2015), tā tika veikta arī šī pētījuma ietvaros. Pēc otrās mērījumu sesijas, kad tika iegūtas individuālās akomodācijas vērtības katram pievienotajam lēcu solim, dalībnieka Nr.4 grafiks atspoguļoja akomodācijas atslābināšanos, kā tam arī jābūt. Zemāk attēlotajā 2.1. attēlā redzams, kā, veicot aprēķinus pēc 2.1. formulas, rezultātu attēlojuma izmaiņu radījušas otrajā mērījumu sesijā iegūtās akomodācijas atbildes (datus atspoguļojošās līknes gaiši zilā un rozā krāsā).



**2.1. att.** Dalībnieka Nr.4 NRA rezervju un NA rezervju mērījuma datus atspoguļojošās līknes, neizmantojot datus no otrās mērījumu sesijas (līknes gaiši zilā un rozā krāsā) un izmantojot individuālos datus no otrās mērījumu sesijas (līknes zilā un sarkanā krāsā). Negatīvās vērtības pie y ass norāda uz akomodācijas atbildi. Pirmais solis bez pievienotām papildus lēcām (planum) – tā kā akomodācijas stimulā atrodās 40 cm attālumā, tad sagaidāmā akomodācijas atbilde bija negatīva, tas ir, -2,50 D. Pievienojot +2,50 D lēcas, sagaidāms, ka akomodācija pilnībā tiek atslābināta, šī tendence arī redzama no datu līknēm, kas iegūtas pēc otrās mērījumu sesijas. Kā redzams grafikā, jo lielāks ir pievienotās lēcas stiprums, jo izteiktāka atšķirība starp sākotnējām datu līknēm un tām, kas iegūtas, ņemot vērā individuālos akomodācijas datus katram lēcu solim tālumā.

Visi pētījuma dalībnieki pēc vairākām dienām piedalījās otrajā eksperimenta sesijā, kurā katram iegūti dati par refrakciju tālumā lēcu amplitūdā no -5,00 D līdz +3,00 D ar soli 0,50 D, izņemot vienu dalībnieku (Nr.7), kuram mērījumu amplitūda bija no -5,00 D līdz +3,50 D, jo šim dalībniekam kreisajai acij monokulāri noteiktās NA rezerves bija +3,50 D. Pirms šo mērījumu veikšanas pētījuma dalībnieki tika brīdināti, ka, pievienojot provē lēcas, nebūs iespējams redzēt skaidri, bet, neskatoties uz to, jāturpina skatīties tāluma stimula centrā. Katram dalībniekam pētījuma pirmā daļa aizņēma apmēram pusotru līdz divas stundas un otrā daļa – apmēram vienu stundu.

## 2.4. Pētījuma gaita

Visiem dalībniekiem sākumā tika veikti autorefraktometrijas mērījumi un piemeklēta labākā subjektīvā korekcija, lai noteiktu refrakcijas stāvokli (t.i., lai pārlicinātos, vai pētījuma dalībnieka refrakcija atbilst maģistra darbā izvēlētās emetropijas amplitūdas lielumam, kas bija  $> -0,50$  D un  $\leq +0,50$  D). Pēc tam katram dalībniekam tika noskaidrots

redzes raksturs tālumā, izmantojot Vorsa testu un pārbaudīts, vai nav tropija ar vienpusējo aizklāšanas testu tālumā un tuvumā, un laika taupīšanas nolūkos pieņemt, ja redzes raksturs tālumā ir binokulārs un nav heterotropijas, tad arī tuvumā tas ir binokulārs. Visu dalībnieku redzes raksturs bija binokulārs, līdz ar to visiem 12 pētījuma dalībniekiem varēja veikt PRA un NRA rezervju mērījumus, kā arī mēģināt veikt binokulāro AV mērījumu, jo binokulārā redze tuvumā ir nepieciešamais priekšnoteikums minēto mērījumu veikšanai.

Turpinājumā uzmanība tika pievērsta akomodācijas funkciju pārbaudei, pielietojot subjektīvos akomodācijas testus 40 cm attālumā. Katram dalībniekam tika noteikta motorā vadošā acs tuvumā, izmantojot testu ar punktu uz spogulīša. Vadošās acs noskaidrošana bija svarīga, lai spriestu, vai tai ir raksturīga binokulāros apstākļos iegūto rezultātu tendences atšķirība no otras acs. Visi turpmākie mērījumi, izņemot akomodācijas amplitūdu, tika veikti gan monokulāros, gan arī binokulāros apstākļos. Ar subjektīvo metodi tika noteiktas NRA rezerves binokulāros apstākļos un NA rezerves monokulāros apstākļos, kam sekoja PRA rezervju binokulāros apstākļos un PA rezervju monokulāros apstākļos pārbaude un, izmantojot  $\pm 2,00$  D proves lēcas, tika nomērīts akomodācijas vieglums (ciklu skaits vienas minūtes laikā). Ar RAF lineālu, izmantojot *Push-up* metodi, monokulāros apstākļos tika noteikta akomodācijas amplitūda.

Pēc subjektīvo akomodācijas testu veikšanas sekoja objektīvie akomodācijas mērījumi. Arī šajā gadījumā visi testi tika veikti 40 cm testa attālumā. Veicot akomodācijas rezervju noteikšanu (gan NRA rezervju un NA rezervju, gan arī PRA rezervju un PA rezervju gadījumā), izmantotas proves lēcas ar soli 0,50 D. Pētījuma dalībnieks pirms eksperimenta veikšanas tika instruēts ziņot par skaidru attēlu. Līdzko dalībnieks pateica, ka redz skaidri, eksperimenta vadītājs sāka skaitīt līdz pieci, šajā laikā (apmēram 5 s) Power Ref iekārta ierakstīja dalībnieka akomodācijas atbilžu datus. Kad eksperimenta vadītājs pateica „pieci”, dalībniekam bija jāaizver acis ciet. Kamēr dalībnieka acis bija aizvērtas, eksperimenta vadītājs veica pielikto lēcu nomaiņu. Tiklīdz tas bija izdarīts, dalībniekam tika pateikts, ka acis jāatver. Atkal tika sagaidīta eksperimenta dalībnieka atbilde par skaidru attēlu, eksperimenta vadītājs noskaitīja līdz pieci, dalībnieks aizvēra acis ciet, un eksperimenta veicējs nomainīja proves lēcas. Ja dalībnieks nevarēja saskatīt skaidru attēlu pat pēc 10 s, turpmāka lēcu nomaiņa vairs netika veikta un kā rezultāts tika pierakstīts pēdējais lēcu lielums, ar ko dalībnieks vēl spēja ieraudzīt skaidru attēlu laikā, kas mazāks par 10 s.

Objektīvajiem akomodācijas viegluma mērījumiem tāpat, kā subjektīvā AV noteikšanas gadījumā, izmantotas  $\pm 2,00$  D proves lēcas. Dalībnieki, kuriem nebija iespējams veikt akomodācijas viegluma mērījumus ar attiecīgo lēcu stiprumu, tika izslēgti no tālākās AV mērījumu analīzes. Tas darīts nolūkā iegūt vienmērīgāku mērījumu ainu, jo šī maģistra darba

mērķis nav analizēt akomodācijas darbības traucējumus. Pirms eksperimenta veikšanas, līdzīgi kā subjektīvās metodes gadījumā, dalībnieka uzdevums bija paziņot par skaidru attēlu. Mērot AV, eksperimenta dalībnieks tika lūgts aizvērt acis, tajā laikā eksperimenta vadītājs pielika +2,00 D proves lēcas (tās tika atstātas proves rāmī visu AV mērījuma laiku). Dalībnieks tika lūgts atvērt acis. Līdzko dalībnieks paziņoja, ka redzamais attēls ir saskatāms skaidri, viņa uzdevums bija acis aizvērt. Šajā laikā eksperimenta veicējs pievienoja -4,00 D proves lēcas un pateica, ka dalībnieks drīkst acis atvērt. Pēc tam, kad eksperimenta dalībnieks atkal ziņoja par skaidra attēla saskatīšanu, viņš aizvēra acis. Šajā laikā eksperimenta veicējs izņēma -4,00 D lēcas no proves rāmja un lūdza dalībniekam acis atvērt. Šādā veidā eksperiments tika veikts līdz brīdim, kamēr tika sasniegts ar subjektīvo AV noteikšanas metodi nomērītais ciklu skaits vai arī eksperimenta dalībnieks ziņoja, ka nespēj attēlu saskatīt skaidri. Diemžēl teorētiski plānoto AA novērtēšanu ar objektīvo metodi nebija iespējams veikt, jo to neatļāva iekārtas spoguļu novietojuma specifika.

## 2.5. Datu apstrāde

Datu apstrāde veikta, izmantojot datorprogrammu *Microsoft Office Excel 2007* un Vilkoksona-Manna-Vitnija testu (*Wilcoxon-Mann-Whitney Test Calculator*)<sup>2</sup> jeb *Mann-Whitney U-test*, kura darbības princips pamatojas uz *Wilcoxon rank-sum* testu (*Marx et al.*, 2016). Šī statistikas testa galvenā priekšrocība ir tas, ka tā ir neparametriskā metode; šo testu ir iespējams pielietot ne vien situācijās, kad datu skaits katrā grupā atšķiras, bet tas sniedz arī iespēju salīdzināt gan savstarpēji atkarīgas, gan arī neatkarīgas izlases. Refrakcijas datu salīdzināšanai, kas iegūti ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm, izmantots Frīdmana tests (*The Friedman Test for Repeated-Measures*)<sup>3</sup>, kas ir neparametriskais tests – alternatīva viena faktora ANOVA testam, ja ir veikti atkārtoti mērījumi; pielietota Bonferroni korekcija (*Bonferroni Correction Calculator*)<sup>4</sup>, Vilkoksona tests (*Wilcoxon Signed-Ranks Test Calculator*)<sup>5</sup>, kas ir neparametriskais tests, kas pielietojams, ja datu skaits abās grupās ir

---

<sup>2</sup> Marx et al. (2016). *Wilcoxon-Mann-Whitney Test Calculator*. Pieejams: <https://ccb-compute2.cs.uni-saarland.de/wtest/>

<sup>3</sup> Stangroom J. (2019). *The Friedman Test for Repeated-Measures*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/friedman/default.aspx>

<sup>4</sup> *Bonferroni Correction Calculator*. Pieejams: <https://www.easycalculation.com/statistics/bonferroni-correction-calculator.php>

<sup>5</sup> Stangroom J. (2019). *Wilcoxon Signed-Ranks Test Calculator*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/signedranks/default2.aspx>

vienāds, kā arī izmantota Pearson korelāciju analīze (*Pearson Correlation Coefficient Calculator*)<sup>6</sup>.

Objektīvi iegūto datu apstrāde bija ļoti apjomīga, jo iekārta 10 s laikā ļauj iegūt līdz pat 500 objektīvajiem refrakcijas mērījumiem. Tie mērījumi, kas iegūti tālumā (dati par refrakciju), katrs bija 10 s ilgs, savukārt tuvumā veiktie mērījumi (PAR, NAR, AV) bija krietni ilgāki, līdz ar to arī apstrādājamo datu daudzums – daudz lielāks. Lai no iekārtas ierakstītajiem rezultātiem tālāk tiktu apstrādāti tikai derīgie mērījumi, sākumā ikviena dalībnieka mērījumu failā bija jāizdzēš visas rindas, kurās iekārta nebija uztvērusi zīlīti, tas ir, visas tās *Excel* failu rindas, kurās zīlītes vērtība bija „0”. Šādas rindas bija tās, ko iekārta uztvērusi, kad:

- pētījuma dalībnieka acis bija aizvērtas, jo bija jāveic proves lēcu nomaiņa NRA un PRA rezervju, NA un PA rezervju, kā arī AV mērījumu iegūšanai;
- dalībnieka mirkšķināšanu brīžos, kas notikuši mērījumu laikā,
- brīžos, kad zīlītes diametrs bijis par mazu (< 4 mm) vai par lielu (> 8 mm),
- citu iemeslu dēļ (piemēram, kad zīlītes uztveršanu traucējuši atspīdumi no lēcu virsmām).

Apjomīgā datu apstrāde bija iemesls, kāpēc pētījumā piedalījās tikai 12 dalībnieki.

Objektīvo datu turpmākajai apstrādei katram pētījuma dalībniekam tika iegūts fails, kurā jāatlasa derīgie mērījumi ar rezultātiem par:

- 1) nekoriģēto redzes asumu, skatoties binokulāri tālumā (labajai un kreisajai acij),
- 2) koriģēto redzes asumu, skatoties binokulāri tālumā (labajai un kreisajai acij),
- 3) koriģēto redzes asumu labajai acij, skatoties monokulāri tālumā,
- 4) koriģēto redzes asumu kreisajai acij, skatoties monokulāri tālumā,
- 5) individuālo akomodācijas atbildi labajai acij, skatoties tālumā ar pievienotām pozitīvā stipruma lēcām no +0,50 D līdz +3,00 D ar soli 0,50 D (6 faili); individuālie datu normalizācijai nepieciešamie mērījumi tālumā uzrādīja, ka iekārta *Power Ref* katram pievienotajam lēcu solim ikvienam no pētījuma dalībniekiem ieguva nedaudz citādu rezultātu, tāpēc bija nepieciešama akomodācijas darbību objektīvi raksturojošo datu (NRA un NA rezervju, PRA un PA rezervju, kā arī AV) koriģēšana, izmantojot noskaidrotās individuālās akomodācijas atbildes katram pievienoto lēcu solim,
- 6) individuālo akomodācijas atbildi kreisajai acij, skatoties tālumā ar pievienotām pozitīvā stipruma lēcām no +0,50 D līdz +3,00 D ar soli 0,50 D (6 faili),

---

<sup>6</sup> Stangroom J. (2019). *Pearson Correlation Coefficient Calculator*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/pearson/default2.aspx>

- 7) individuālo akomodācijas atbildi labajai acij, skatoties tālumā ar pievienotām negatīvā stipruma lēcām no -0,50 D līdz -5,00 D ar soli 0,50 D (10 faili),
- 8) individuālo akomodācijas atbildi kreisajai acij, skatoties tālumā ar pievienotām pozitīvā stipruma lēcām no -0,50 D līdz -5,00 D ar soli 0,50 D (10 faili),
- 9) NRA rezervju mērījums, skatoties binokulāros apstākļos (labajai un kreisajai acij),
- 10) NA rezervju mērījums kreisajai acij, skatoties monokulāros apstākļos,
- 11) PRA rezervju mērījums, skatoties binokulāros apstākļos (labajai un kreisajai acij),
- 12) PA rezervju mērījums kreisajai acij, skatoties monokulāros apstākļos,
- 13) AV mērījums, skatoties binokulāros apstākļos (labajai un kreisajai acij),
- 14) AV mērījums kreisajai acij, skatoties monokulāros apstākļos,

Tātad katram no 12 pētījuma dalībniekiem, ja bija iespējams veikt visus nepieciešamos mērījumus, tālākai datu apstrādei tika iegūti 47 faili, izņemot vienu dalībnieku, kuram tika iegūti 48 faili, jo bija nepieciešami dati par akomodācijas atbildi tālumā kreisajai acij ne vien ar +3,00 D stipru lēcu, bet arī ar +3,50 D pievienoto lēcu. Četriem dalībniekiem nebija iespējams veikt AV objektīvos mērījums binokulāros apstākļos un četriem – monokulāros apstākļos, tāpēc kopējais tālākai apstrādei iegūto objektīvo datu failu skaits bija 553 faili. Šajos failos tika izdzēstas visas rindas, kurās iekārta nebija uztvērusi zīlīti, tika aprēķinātas vidējās vērtības un standartdeviācijas. Failos, kuros atspoguļoti akomodācijas parametru mērījumi tuvumā, tika veikti aprēķini, katru iegūto iekārtas nomērīto vērtību pārveidojot atbilstoši konkrētā pētījuma dalībnieka akomodācijas atbildei tālumā attiecīgajam proves lēcas stiprumam.

## 2.6. Datu analīze un rezultāti

Jau sākotnēji jānorāda, ka visa datu analīze ir pamatā kvalitatīva, nevis kvantitatīva, ņemot vērā pētījuma inovatīvo raksturu un nelielo dalībnieku skaitu. Lai gan sākotnēji bija iecerēts spriest par dalībnieku nekoriģēto refrakcijas stāvokli, izmantojot autorefraktometrijas datus (*HUVITZ HRK-1 Auto Ref/Keratometer*), kas ir objektīvā metode, tomēr šis nodoms nebija pareizs. Tā kā pētījuma dalībnieki bija gados jauni cilvēki, kuriem labi darbojas akomodācija, lielākoties ar autorefraktometru iegūtie refrakcijas dati bija krietni miopiskāki par tiem, kas noteikti ar subjektīvo refrakcijas korekcijas metodi. Visu dalībnieku nekoriģētās refrakcijas autorefraktometrijas un ar iekārtu *Power Ref* iegūtie dati attēloti zemāk esošajā 2.1. tabulā. Jānorāda, ka iekārta *Power Ref* iegūst tikai datus par sfērisko ekvivalentu, tāpēc,

lai veiktu korektāku iegūto datu salīdzinājumu, katram dalībniekam gan autorefraktometrijas dati, gan arī subjektīvā korekcija pārveidota sfēriskā ekvivalenta formā.

Izmantojot Frīdmana testu (*The Friedman Test for Repeated-Measures*), ir atklāta statistiski nozīmīga atšķirība starp visu trīs testu rezultātiem ( $p < 0,01$ ), tātad vismaz viens pāris no trim salīdzināmajām refrakcijas datu kopām ir savstarpēji statistiski atšķirīgs, un, lai to noskaidrotu, izmantots Vilkoksona tests. Pirms minētā testa veikšanas, pielietota Bonferroni korekcija, lai atrastu koriģēto kritisko vērtību (būtiskuma līmeni), kas ir 0,002 (jo sākotnējais būtiskuma līmenis bija 0,05 un  $n = 24$ ). Izmantojot Vilkoksona testu un, ņemot vērā Bonferroni korekcijas datus, nav atklāta statistiski nozīmīga atšķirība refrakcijas rezultātos starp *Power Ref* un autorefraktometra datiem ( $p = 0,01$ ), nedz arī starp *Power Ref* datiem un labāko subjektīvo korekciju ( $p = 0,08$ ), savukārt ir demonstrējama autorefraktometra un labākās subjektīvās korekcijas datu statistiski būtiska atšķirība ( $p < 0,002$ ).

Visi iegūtie dati par refrakciju savstarpēji salīdzināti, arī izmantojot Pearson korelāciju analīzi. Korelāciju analīze parāda, vai starp attiecīgajiem diviem mainīgajiem pastāv saistība (t.i., vai, mainoties vienam mainīgajam, izmainās arī otrs). Analizējot refrakcijas rezultātus, kas iegūti ar iekārtu *Power Ref* un autorefraktometru, nav atklāta savstarpēja korelācija jeb starp iegūtajiem datiem ar abām objektīvajām refrakcijas noteikšanas metodēm nepastāv saistība ( $r = 0,06$ ;  $p = 0,78$ ). Līdzīgi arī starp autorefraktometra datiem un labāko subjektīvo korekciju starp abām šīm metodēm nav atklāta savstarpēja saistība, jo koeficients  $r = -0,03$ ;  $p = 0,90$ . Turpretim, savstarpēji salīdzinot *Power Ref* un labākās subjektīvās korekcijas datus, konstatēta vidēji cieša korelācija:  $r = 0,63$ ;  $p < 0,01$ , tas ir, korelācijas koeficients ir skaitlis, kas pēc moduļa iekļaujas robežās no 0,4 līdz 0,7. Tas nozīmē, ka starp datiem, kas iegūti ar abām metodēm, pastāv saistība.

Abos gadījumos secināms, ka objektīvās tāluma refrakcijas noteikšanas metodes tomēr nevar aizstāt subjektīvo refrakcijas korekcijas novērtējumu, jo, lai gan ar iekārtu *Power Ref* noteiktās refrakcijas vērtības, salīdzinot ar pētījumā izmantotā autorefraktometra datiem, ir atbilstošākas labākajai subjektīvajai korekcijai, tomēr pilnībā ar to nesakrīt.

## 2.1. tabula

Dati par katra dalībnieka objektīvās refrakcijas sfērisko ekvivalentu, kas noteikts ar objektīvajām refrakcijas pārbaudes metodēm – autorefraktometru (*HUVITZ HRK-1*) un *Power Ref*, un labāko subjektīvo korekciju

Nr.	objektīvās metodes (SE), D				labākā subjektīvā korekcija (SE), D	
	autorefraktometrijas dati		<i>Power Ref 3 – plusoptiX R09</i>			
	od	os	od	os	od	os
1	-3,38	-3,38	+0,25	-0,08	+0,50	+0,50
2	+ 0,25	+0,13	+0,45	-0,05	+0,50	+0,50
3	-0,63	-0,50	-0,61	-0,74	-0,50	-0,25
4	-0,88	-0,38	-0,61	-0,74	-0,50	-0,50
5	-0,63	-0,63	-0,71	-0,24	-0,25	pl.
6	-0,50	-0,63	-0,42	-0,59	-0,25	-0,25
7	pl.	+0,13	+0,86	+0,87	pl.	+0,38
8	+0,25	+0,63	+0,03	-0,05	+0,25	+0,25
9	-0,50	-0,88	+0,06	-0,39	pl.	-0,38
10	+0,13	+0,13	+0,16	-0,04	pl.	+0,25
11	-2,00	-1,63	+0,15	+0,17	-0,50	pl.
12	-1,38	-1,00	-0,18	+0,03	pl.	pl.

### 2.6.1. Subjektīvajās un objektīvajās metodēs iegūtās gala vērtības

Salīdzinot binokulāros apstākļos katrai pievienotajai lēcai atbilstošās NRA rezervju vērtības, kas noteiktas ar subjektīvo metodi, un objektīvajās metodēs noteiktās gala vērtības (būtībā abu metožu subjektīvās gala vērtības), veicot Vilksoksona-Manna-Vitnija testu, būtiska atšķirība starp rezultātiem nav demonstrējama ( $p = 0,26$ ). Ar subjektīvo metodi iegūtā NRA rezervju vidējā vērtība binokulāros apstākļos bijusi  $+2,31 \pm 0,36$  D, bet ar objektīvo metodi iegūtā gala vērtība bija  $+2,50 \pm 0,48$  D. Nav arī demonstrējama statistiski būtiska atšķirība ( $p = 0,38$ ) starp gala vērtībām, kas iegūtas monokulāros apstākļos (os) ar subjektīvo un objektīvo metodi, veicot NA rezervju mērījumus. Monokulāros apstākļos ar subjektīvo metodi iegūtā vidējā NA gala rezervju vērtība bija  $+2,35 \pm 0,41$  D, bet ar objektīvo metodi attiecīgi  $+2,54 \pm 0,54$  D. Tas, ka dažiem dalībniekiem nedaudz atšķiras ar subjektīvo un objektīvo metodi noteiktās NRA un NA gala rezervju vērtības, varētu būt skaidrojams ar to, ka dažos gadījumos dalībnieki sniedza nepārliecinošas atbildes par to, ar kuru lēcu vēl spējuši saskatīt akomodācijas stimulu skaidri vismaz 3 s.

Dalībniekam Nr.7 monokulāri noteiktās NA rezerves (os) bija vislielākās, t.i.,  $+3,50$  D. Tas liecina par nepilnīgi izkorigētu hipermetropijas lielumu. Jāatzīst, ka tā tas tiešām varētu

būt, jo šis bija vienīgais dalībnieks no 12 pētījumā iesaistītajiem, kuriem sākotnēji netika noteikta subjektīvā korekcija, bet gan izmantota nesēn izrakstītā briļļu korekcija tālūmam, uzticoties tajā norādītajiem lēcu stiprumiem. Zemāk esošajā 2.2. tabulā attēlotas katra pētījuma dalībnieka NRA rezervju un NA rezervju gala vērtības binokulāros un monokulāros apstākļos, kas iegūtas ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm.

## 2.2. tabula

Dati par katra dalībnieka NRA rezervju un NA rezervju gala vērtību rezultātiem, iegūtiem ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm

Nr.	subjektīvie mērījumi		objektīvie mērījumi	
	NRA rezerves bin	NA rezerves mon (os)	NRA rezerves bin	NA rezerves mon (os)
1	+2,00	+2,00	+1,50	+2,00
2	+1,50	+1,50	+2,00	+1,50
3	+2,00	+2,50	+2,50	+2,50
4	+2,50	+2,75	+2,50	+2,50
5	+2,50	+2,50	+3,00	+3,00
6	+2,50	+2,50	+2,50	+2,50
7	+2,50	+3,00	+3,00	+3,50
8	+2,50	+2,50	+2,50	+3,00
9	+2,50	+2,50	+3,00	+3,00
10	+2,75	+2,50	+2,50	+2,50
11	+2,50	+2,00	+3,00	+2,00
12	+2,00	+2,00	+2,00	+2,50
<b>vidējais (n = 12)</b>	<b>+2,31 ± 0,36</b>	<b>+2,35 ± 0,41</b>	<b>+2,50 ± 0,48</b>	<b>+2,54 ± 0,54</b>

Jānorāda, ka NRA rezervju lielumu ietekmē ne vien akomodācijas spējas pielāgoties mazākam akomodācijas pieprasījumam, bet arī konverģentās fūzijas spējas. Objektīvās metodes priekšrocība ir akomodācijas stimula konstants attālums no pētījuma dalībnieka, kas ļauj izvairīties no nepatiesi lieliem NRA rezervju rezultātiem, jo subjektīvo akomodācijas rezervju mērīšanas laikā pacientam ir tendence pietuvināt akomodācijas stimulu (Švede u.c., 2008). Tomēr konkrētajā pētījumā subjektīvi iegūtie NRA rezervju gala rezultāti ir pat nedaudz mazāki, nekā ar objektīvo metodi noteiktie (lai gan ne statistiski nozīmīgi), kas liecina, ka arī subjektīvo mērījumu veikšanas laikā dalībnieki nav samazinājuši skatīšanās attālumu.

Izmantojot salīdzināšanai Vilksona-Manna-Vitnija testu, arī subjektīvo un objektīvo metožu PRA gala rezervju vērtību gadījumā nav demonstrējama statistiski nozīmīga atšķirība starp noteiktajiem rezultātiem binokulāros apstākļos (labajai acij  $p = 0,07$  un kreisajai acij

$p = 0,09$ ). Kā tas redzams zemāk esošajā 2.3. tabulā, dalībniekam Nr. 11, nosakot objektīvos PRA rezervju gala rezultātus, iegūti derīgi rezultāti labajai acij līdz pieliktajai lēcai -2,50 D, bet kreisajai acij – līdz lēcai -3,00 D, tāpēc arī binokulāri iegūto PRA rezervju salīdzinājumam statistiskie dati ir atsevišķi izšķirti od un os (divas p vērtības). Savukārt monokulāros apstākļos ir novērojama statistiski nozīmīga atšķirība starp subjektīvajiem PA rezervju rezultātiem un iegūtajām objektīvo metožu gala vērtībām ( $p < 0,01$ ). Šie apgalvojumi gan būtu jāizvērtē kritiski. Kā redzams zemāk esošajā 2.3. tabulā, vairākiem dalībnieku objektīvās PRA rezervju gala vērtības un trešdaļai dalībnieku PA gala rezervju vērtības nav noteikuši akomodācijas darbības ierobežojumi, bet gan iekārtas spēja ierakstīt rezultātus (atzīmēts ar „\*\*”), tādēļ veikt subjektīvo rezultātu un ar objektīvo metodi noteikto gala vērtību salīdzinājumu tomēr būtu nekorekti. Objektīvo mērījumu gadījumā mērījumu amplitūdu noteica zīlītes lielums, kas samazinājies tuvuma triādes dēļ. Ja akomodācijas pieprasījums ir ļoti liels, iekārtas ierobežojumu dēļ nav iespējams iegūt derīgus datus turpmākajai apstrādei.

### 2.3. tabula

Dati par katra dalībnieka PRA rezervju un PA rezervju gala vērtību rezultātiem, iegūtiem ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm

Nr.	subjektīvie mērījumi		objektīvie mērījumi	
	PRA rezerves bin	PA rezerves mon (os)	PRA rezerves bin	PA rezerves mon (os)
1	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
2	-3,00	-5,00	-2,50	-2,50
3	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
4	-5,00	-5,00	-4,50**	-5,00
5	-4,50	-5,00	-3,00**	-5,00
6	-3,50	-5,00	-2,00**	-1,50**
7	-4,00	-4,50	-3,50**	-4,50
8	-5,00	-5,00	-3,50**	-4,00**
9	-2,50	-5,00	-2,00	-3,50
10	-4,50	-5,00	-4,00**	-3,00**
11	-5,00	-5,00	od: -2,50** un os: -3,00**	-5,00
12	-2,50	-5,00	-1,50**	-1,00**
<b>vidējais (n = 12)</b>	<b>-4,13 ± 1,00</b>	<b>-4,96 ± 0,14</b>	<b>Od: -3,25 ± 1,20 Os: -3,29 ± 1,18</b>	<b>-3,75 ± 1,45</b>

\*\*tālāk par mazu zīlīte, lai iekārta uztvertu rezultātus

Veicot akomodācijas viegluma mērījumus, gan subjektīvo, gan arī objektīvo mērījumu apstākļos tika ņemta vērā subjektīvā atbilde, bet objektīvo mērījumu gadījumā tas notika tikai

tādā mērā, lai saprastu, kad ir nepieciešama proves lēcu nomaiņa. Atšķirībā no subjektīvās metodes, kad, ja, pieliekot kādu noteiktu lēcu, pētījuma dalībnieks atbild, ka redz skaidri, tiek uzskatīts, ka tā tiešām ir, tad objektīvās metodes gadījumā ir iespējams pārlicināties, kas patiesībā notiek ar akomodācijas darbību. Piemēram, ja tiek pielikta +2,50 D lēca un subjektīvās metodes laikā dalībnieks apgalvo, ka redz skaidri 40 cm attālumā esošu tekstu, tiek pieņemts, ka akomodācija ir pilnībā atslābināta. Pārlicināties, vai tā tiešām ir, var aplūkojot objektīvās metodes laikā iegūto grafiku, tas ir, pārbaudot, vai akomodācijas atbildi atspoguļojošā līkne tuvojas nulles atzīmei.

Subjektīvie akomodācijas viegluma rezultāti gan binokulāros, gan arī monokulāros apstākļos iegūti desmit pētījuma dalībniekiem, savukārt objektīvie akomodācijas viegluma mērījumi iegūti astoņiem pētījuma dalībniekiem. Veicot objektīvos mērījumus diviem no dalībniekiem netika mēģināts veikt akomodācijas viegluma mērījumu, jo, jau nosakot subjektīvo akomodācijas vieglumu ar  $\pm 2,00$  D lēcām, to nevarēja izdarīt, bet vēl diviem dalībniekiem objektīvo akomodācijas viegluma mērījumu laikā radās grūtības noteikt binokulāro AV un diviem — monokulāro AV (dalībnieki Nr.9 un Nr.12, kuriem subjektīvais binokulārais AV bija attiecīgi 5 c/min un 3,5 c/min, ziņoja par nepārejošu miglošanos, mēģinot veikt objektīvos mērījumus, savukārt dalībniekam Nr.10 bija pārāk maza zīlīte un dalībniekam Nr.12 neizdevās veikt mērījumu nepārejošas miglošanās dēļ). Salīdzinot iegūtos rezultātus, netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība nedz starp subjektīvo un objektīvo metožu AV gala vērtībām binokulāros apstākļos ( $p = 0,98$ ), nedz arī tiem mērījumu rezultātiem, kas iegūti monokulāros apstākļos ( $p = 0,75$ ). Zemāk esošajā 2.4. tabulā sniegtas ziņas par katra dalībnieka rezultātiem un vidējām AV gala vērtībām starp dalībnieku grupām ar iegūtajiem datiem, lai gan būtībā abos gadījumos gala vērtības ir subjektīvi noteiktas.

## 2.4. tabula

Dati par katra dalībnieka AV gala vērtībām, kas noteiktas ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm

Nr.	subjektīvie mērījumi		objektīvie mērījumi	
	AV bin	AV mon (os)	AV bin	AV mon (os)
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	16	17	16	17
4	6	17	6	17
5	8	13	8	13
6	7	24	7	24
7	15	16	7	3
8	16	18	8	15
9	5	12	—	12
10	13	13	10	—
11	5	3	5	3
12	3,5	9	—	—
<b>vidējais (n = 12)</b>	<b>9,45 ± 4,99</b>	<b>14,2 ± 5,67</b>	<b>8,38 ± 3,42</b>	<b>13,0 ± 7,15</b>

Kā norādīts arī augstāk, veicot AV mērījumus, gan subjektīvās, gan arī objektīvās metodes gadījumā pētījuma dalībnieks pats sniedza atbildi, bet objektīvās metodes gadījumā šī atbilde tika ņemta vērā tikai tik lielā mērā, lai nomainītu lēcas. Šajā gadījumā šis bija mēģinājums testēt AV mērījumu pārneses iespējas no klīniskās metodes uz objektīvo metodi. Līdzīgi, kā NRA, NA, PRA un PA rezervju gadījumā, arī AV mērījumu laikā ar iekārtu *Power Ref* tika ierakstīti rezultāti, kas raksturoja akomodācijas atbildes objektīvā veidā. Iespējams, nākotnē, varētu tikt izstrādāts tehnisks risinājums, kā AV mērījumu laikā automatizēt lēcu nomaiņu un ciklu skaitu noteikt no *Power Ref* datiem, bet pagaidām šādas iespējas nav pieejamas.

Arī, salīdzinot iegūtās AV vērtības, kas noteiktas subjektīvi binokulāros un monokulāros apstākļos, lai gan vidējais binokulāri iegūtais rezultāts bija mazāks ( $9,45 \pm 4,99$  c/min), nekā monokulāri iegūtais ( $14,2 \pm 5,67$  c/min), lielo standartklūdu dēļ netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,07$ ). Tāpat arī, salīdzinot objektīvās metodes AV gala vērtības binokulāros un monokulāros apstākļos, netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,18$ ) un vidējās vērtības attiecīgi  $8,38 \pm 3,42$  c/min un  $13,0 \pm 7,15$  c/min. Tomēr iegūtie rezultāti uzlūkojami kritiski, jo lielās atšķirības radījuši dalībnieka Nr.7 rezultāti, kas subjektīvo un objektīvo mērījumu gadījumā bijuši ļoti atšķirīgi gan monokulāros, gan arī binokulāros apstākļos, kā arī dalībnieka Nr.8 subjektīvie rezultāti un

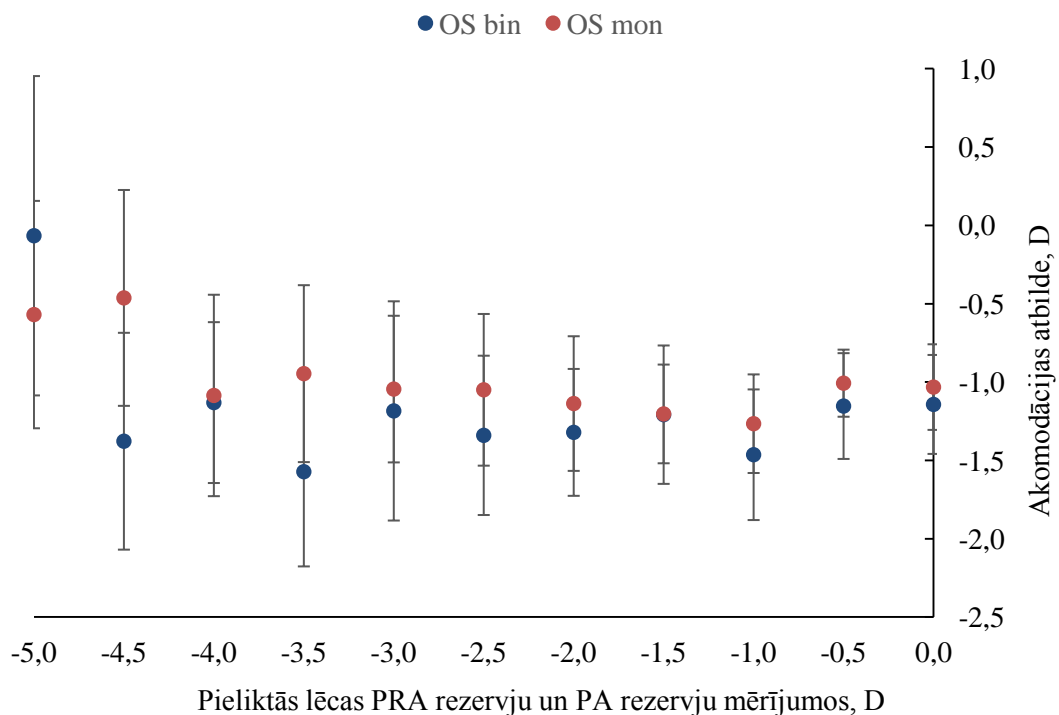
objektīvās metodes AV gala vērtības binokulāros apstākļos. Nav izskaidrojuma, kādēļ tā bijis, jo gan testa attālums, gan akomodācijas stimulš bijis praktiski tas pats.

## **2.6.2. Akomodācijas darbības objektīvo mērījumu salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos**

Tā kā monokulāros apstākļos rezultātus ietekmē tikai akomodācijas darbība, bet binokulāros mērījumu apstākļos rezultātus ietekmē gan verģences, gan arī akomodācijas darbība (*Jiang et al.*, 2007), tad normas gadījumā akomodācijas atbilde precīzāka sagaidāma binokulāro apstākļu gadījumā, jo verģence stabilizē akomodācijas darbību.

### ***2.6.2.1. PRA rezervju un PA rezervju salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos***

Kā tas redzams zemāk esošajā 2.2. attēlā, objektīvie mērījumi, pievienojot proves lēcas, lai noteiktu PRA rezerves un PA rezerves, apstiprina augstāk minēto apgalvojumu, izņemot pēdējo lēcu soli, tas ir, rezultātu ar pievienotām -5,00 D, tomēr, ņemot vērā, ka, izdarot mērījumu binokulāros apstākļos, mērījumus ar lēcu soli -5,00 D izdevies iegūt tikai 17 % dalībnieku no kopskaita, tad šis rezultāts jāuzlūko kritiski.



**2.2. att.** Objektīvā PAR un PA rezervju mērījuma binokulāri un monokulāri noteiktās vidējās vērtības un to SD. Praktiski iegūtais atbilst teorētiski sagaidāmajam, tas ir, akomodācijas darbība precīzāka novērojama binokulāros apstākļos.

Veicot statistisko salīdzinājumu starp objektīvo akomodācijas atbilžu vērtībām, kas iegūtas, nosakot PRA rezerves binokulāros apstākļos un PA rezerves monokulāros apstākļos, konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,01$ ) un, pat ja netiek ņemts vērā pēdējais mērījums ar  $-5,00$  D lēcām procentuāli mazā dalībnieku skaita dēļ, kuriem izdevās iegūt rezultātus, joprojām atšķirība starp akomodācijas rezervju vērtībām paliek statistiski nozīmīga ( $p = 0,01$ ). Atšķirība starp binokulāri un monokulāri iegūtajiem mērījumiem kļūst statistiski nenozīmīga tikai tad, ja netiek ņemti vērā visi rezultāti, kas iegūti mazāk par 75 % (ieskaitot) pētījuma dalībnieku. Zemāk esošajā 2.5. tabulā attēlotas vidējās akomodācijas atbildes vērtības katram lēcu solim PRA rezervju un PA rezervju mērījumos un procentuālais dalībnieku skaits no visiem ( $n = 12$ ), kuriem ar katru lēcu iegūti rezultāti. Piemēram, ar  $-0,50$  D pievienoto lēcu tika iegūti rezultāti visiem 12 dalībniekiem gan binokulāros, gan arī monokulāros apstākļos, tāpēc 2.5. tabulā pretim lēcu solim  $-0,50$  D ir 100%. Savukārt, pievienojot lēcu  $-2,50$  D, binokulāros apstākļos tika iegūti rezultāti 9 dalībniekiem, tāpēc pretim lēcu solim  $-2,50$  D ir 75%. Procentuālais iegūto rezultātu attēlojums ir svarīgs arī tādēļ, lai spriestu par objektīvās metodes ierobežojumiem, kas ir saistīti ar zīlītes izmēriem.

Jānorāda, ka PRA rezervju lielumu ietekmē diverģentās fūzijas spējas (Švede u.c., 2008), kas šajā pētījumā netika pētītas. Vidējās vērtības 2.5. tabulā ir iegūtas no visu 12 pētījuma dalībnieku mērījuma laikā iegūtajām vidējām akomodācijas atbildes vērtībām, pieliekot konkrēto lēcu. Piemēram, pirmajā tabulas rindā esošā os bin vērtība -1,14 D ir iegūta, izrēķinot vidējo vērtību no katra dalībnieka akomodācijas atbildes 5 s laikā jeb kopumā no 3155 akomodācijas atbildi raksturojošajiem datiem (274 + 268 + 318 + 362 + 239 + 259 + 265 + 286 + 253 + 251 + 147 + 233), tas ir, bez pievienotām papildus lēcām (solis planum) dalībniekam Nr.1 tika iegūti 274 mērījumi par akomodācijas atbildi 5 s laikā no *Power Ref* iekārtas sniegtajiem datiem, no kuriem tika aprēķināta vidējā vērtība, dalībniekam Nr.2 tika iegūti 268 dati, utt. Tādējādi vidējā vērtība -1,14 D raksturo vidējo atbildi konkrētajam lēcu solim (planum).

**2.5. tabula**

PRA un PA rezervju objektīvi iegūto rezultātu salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos

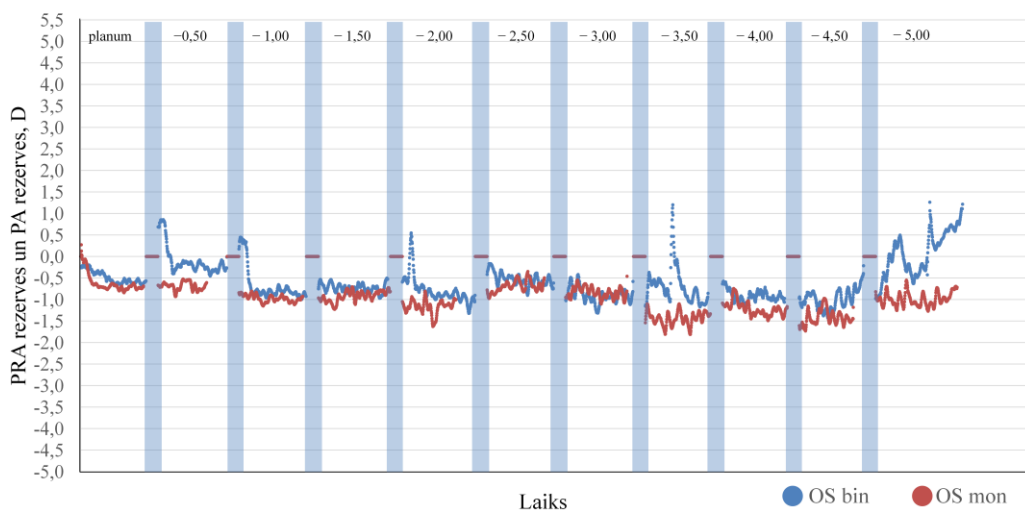
lēca	vidējā vērtība, D		dalībnieki, kuriem ar attiecīgo lēcu iegūti rezultāti, %	
	os bin	os mon	os bin	os mon
0,00	-1,14	-1,03	100	100
-0,50	-1,15	-1,01	100	100
-1,00	-1,46	-1,26	100	100
-1,50	-1,21	-1,20	100	83
-2,00	-1,32	-1,14	84	83
-2,50	-1,34	-1,05	75	83
-3,00	-1,18	-1,04	67	75
-3,50	-1,57	-0,95	50	67
-4,00	-1,13	-1,08	25	58
-4,50	-1,38	-0,46	25	50
-5,00	-0,07	-0,57	17	42

Tā kā objektīvo datu analīze ir vairāk kvalitatīva, nevis kvantitatīva, tad šī pētījuma ietvaros PRA rezervju un PA rezervju mērījuma gadījumā piedāvāju iegūtos rezultātus trīs raksturojošās situācijas:

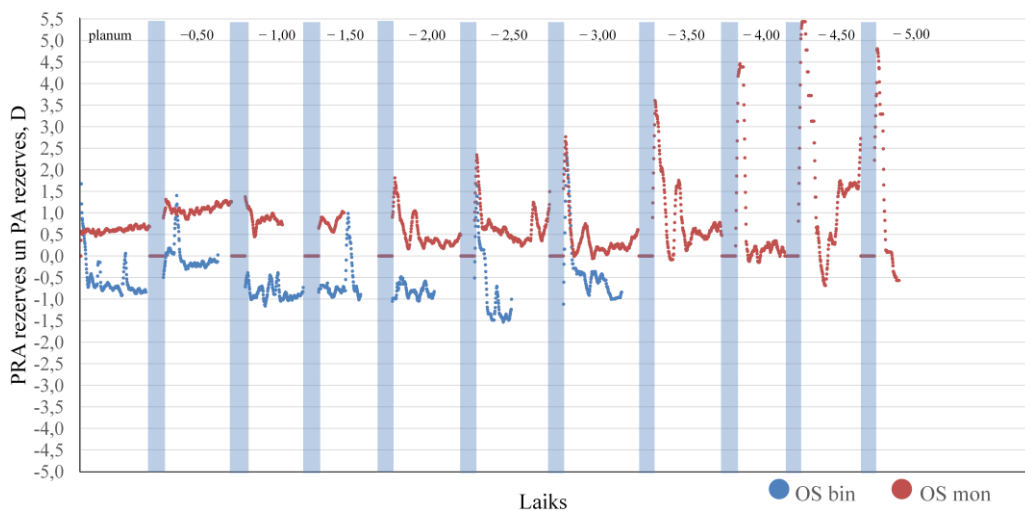
- 1) starp iegūtajām akomodācijas atbildēm binokulāros un monokulāros mērījumu apstākļos nav novērojamas uzskatāmas atšķirības (kā piemēru skat. dalībnieka Nr.1 rezultātus 2.3. att.),
- 2) akomodācijas atbildēm binokulāros un monokulāros mērījumu apstākļos novērojamas izteiktas atšķirības (piemēram, dalībniekam Nr.5, skat. 2.4. att.),

3) atšķirība starp akomodācijas atbildi binokulāros un monokulāros apstākļos ar laiku kļūst izteiktāka (piemēram, dalībniekam Nr.3; skat. 2.5. att.).

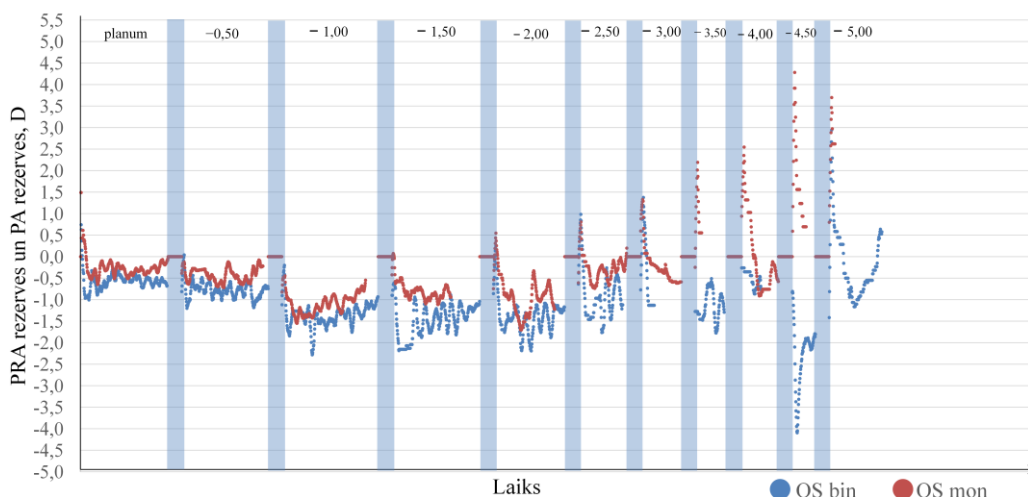
Jānorāda, ka minētais iedalījums ir iespējams arī atšķirīgā veidā, tomēr, ņemot vērā datu kvalitatīvo raksturu, šoreiz piedāvāts tieši šāds datu analīzes variants.



**2.3. att.** Dalībnieka Nr.1. PRA rezervju un PA rezervju rezultātu attēlojums. Nav ļoti izteiktu atšķirību starp akomodācijas darbību binokulāros un monokulāros mērījumu apstākļos.



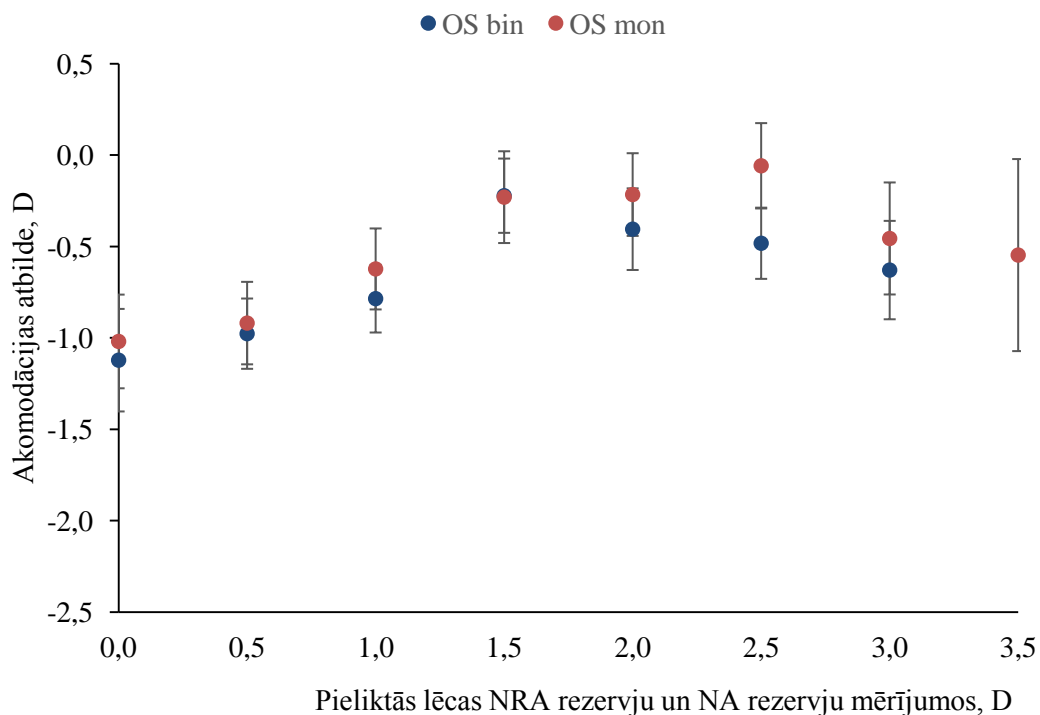
**2.4. att.** Dalībnieka Nr.5 PRA rezervju un PA rezervju rezultātu attēlojums. Ir izteiktas atšķirības starp rezultātiem, kas iegūti binokulāros un monokulāros mērījumu apstākļos.



**2.5. att.** Dalībnieka Nr.3. PRA rezervju un PA rezervju rezultātu attēlojums. Atšķirības starp rezultātiem, kas iegūti binokulāros un monokulāros mērījumu apstākļos, ar laiku kļūst izteiktākas.

### 2.6.2.1. NRA rezervju un NA rezervju salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos

Spriežot pēc zemāk esošā 2.6. att., novērota tendence akomodācijas atslābināšanās spējai būt nedaudz labākai monokulāros apstākļos, tomēr statistiski nozīmīga atšķirība, izmantojot Vilksona-Manna-Vitnija testu, nav demonstrējama ( $p = 0,41$ ). Mērījums ar +3,50 D probes lēcu monokulāros apstākļos iegūts tikai vienam pētījuma dalībniekam, kuram, kā jau iepriekš aprakstīts, nebija pilnībā izkorigēta hipermetropija kreisajā acī, spriežot arī pēc noteiktās nekorigētās refrakcijas ar *Power Ref* iekārtu.



**2.6. att.** Objektīvā binokulāros apstākļos noteikto NRA rezervju un monokulāros apstākļos noteikto NA rezervju rezultātu un to SD attēlojums. Negatīvās vērtības pie y ass ir tāpēc, ka akomodācijas stimuls atrodas 40 cm attālumā, kurā akomodācijas sagaidāmā atbilde ir -2,50 D.

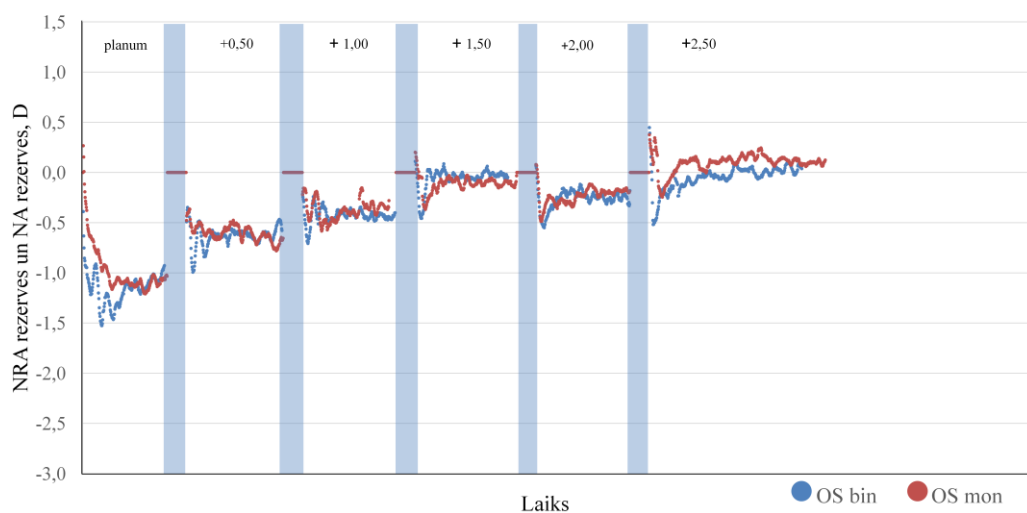
Atšķirībā no PRA rezervju un PA rezervju mērījumiem, derīgi NRA rezervju un NA rezervju mērījumi ir iegūti lielākam dalībnieku procentuālajam skaitam, piemēram, normas NRA rezervju un NA rezervju vērtība, tas ir, rezultāts ar pievienotām +2,50 D proves lēcām, iegūts 75 % pētījuma dalībnieku gan monokulāros, gan arī binokulāros pētījuma apstākļos (skat. zemāk esošo 2.6. tabulu). Secināms, ka NRA rezervju un NA rezervju mērījumu pārnese uz objektīvo metodoloģiju ir daudzsolāka, jo to iespējams veikt lielākam dalībnieku skaitam.

## 2.6. tabula

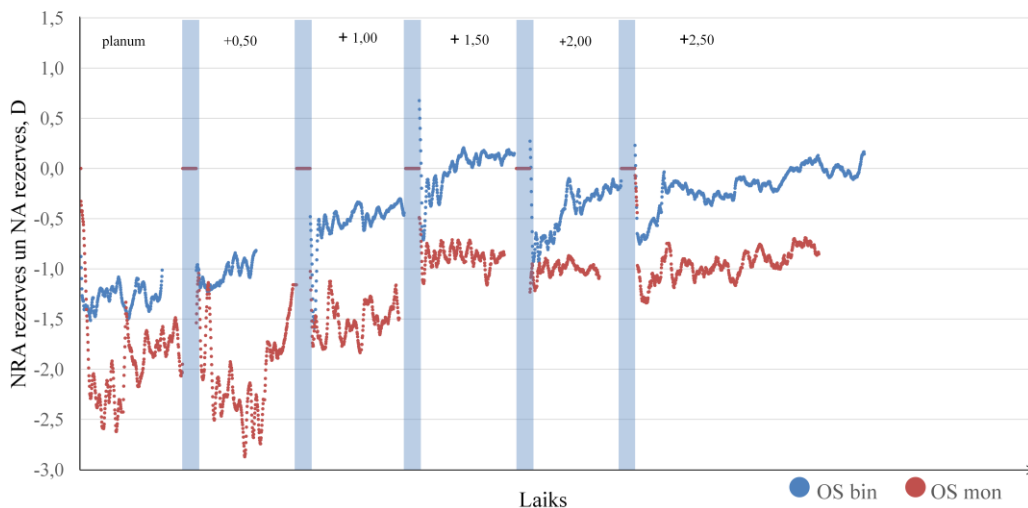
NRA un NA rezervju objektīvi iegūto rezultātu salīdzinājums binokulāros un monokulāros apstākļos

lēca	vidējā vērtība, D		dalībnieki, kuriem ar attiecīgo lēcu iegūti rezultāti, %	
	OS bin	OS mon	OS bin	OS mon
planum	-1,12	-1,02	100	100
+0,50	-0,98	-0,92	100	100
+1,00	-0,78	-0,62	100	100
+1,50	-0,22	-0,23	100	100
+2,00	-0,40	-0,22	92	92
+2,50	-0,48	-0,06	75	75
+3,00	-0,63	-0,46	33	33
+3,50		-0,55	0	8

Kvalitatīvajā analizē var izšķirt divas iegūtos rezultātus raksturojošās situācijas: dalībnieki, kuriem NRA rezervju un NA rezervju mērījuma laikā akomodācijas atbilde binokulāros un monokulāros apstākļos ir bijusi apmēram vienāda (piemēram, dalībniekam Nr.10, kura rezultāti attēloti 2.7. att.) un dalībnieki, kuriem binokulārā un monokulārā akomodācijas atbilde uzskatāmi atšķīrusies (piemēram, dalībniekam Nr.4, skat. zemāk esošo 2.8. att.).



**2.7. att.** Dalībnieka Nr.10 NRA rezervju un NA rezervju mērījuma rezultātu attēlojums. Binokulāros un monokulāros apstākļos akomodācijas atbilde bijusi ļoti līdzīga.



**2.8. att.** Dalībnieka Nr.4 NRA rezervju un NA rezervju mērījuma rezultātu attēlojums. Redzams, ka akomodācijas atbilde binokulāros un monokulāros apstākļos bijusi atšķirīga.

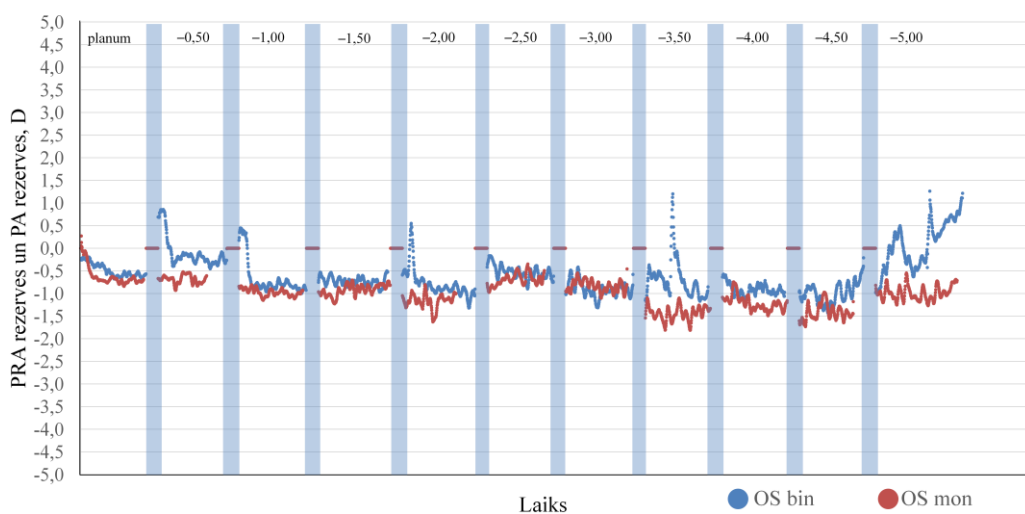
### 2.6.3. Akomodācijas mikrofluktuācijas objektīvo mērījumu gadījumā

Akomodācijas mikrofluktuācijas iespējams raksturot ar objektīvi ievāktu datu standartdeviāciju (SD) – jo lielāka datu SD, jo akomodācijas mikrofluktuācijas novērojamas lielākā amplitūdā. Piemēram, dalībniekiem Nr. 1, 3, 4, 8 un 11 ir klīniski vienādas subjektīvi noteiktās PRA rezerves un PA rezerves (gan binokulāros, gan monokulāros apstākļos -5,00 D), tomēr tas nenozīmē, ka visiem šiem dalībniekiem akomodācija darbojas vienādi. No visiem šiem pieciem pētījuma dalībniekiem dalībnieka Nr.4 PRA rezervju un PA rezervju monokulāros mērījumu apstākļos raksturojošās standartdeviācijas ir vislielākās, bet dalībniekam Nr.1 – vismazākās (skat. 2.7. tabulu). Jānorāda, ka pārējiem pētījuma dalībniekiem PRA rezerves un PA rezerves bija atšķirīgas, tāpēc nebūtu korekti tās savstarpēji salīdzināt.

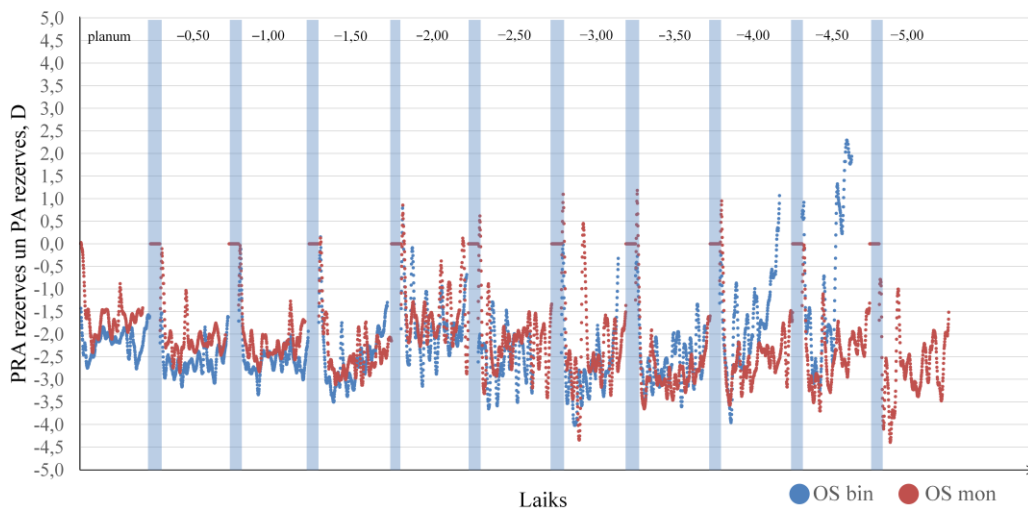
Objektīvi nomērītais vidējais mikrofluktuāciju lielums pieciem dalībniekiem ar klīniski vienādām PRA rezervju un PA rezervju vērtībām  
(PA rezerves = -5,00 D; PRA rezerves = -5,00 D)

dalībnieks	mikrofluktuācijas, D	
	bin (os)	mon (os)
1	0,27	0,14
3	0,46	0,48
4	0,71	0,66
8	0,35	0,35
11	0,36	0,25

Tas nozīmē, ka vismazākās akomodācijas mikrofluktuācijas ir dalībniekam Nr.1, bet dalībniekam Nr.4 akomodācijas mikrofluktuācijas ir vislielākās. To demonstrē zemāk attēlotais 2.9. att. un 2.10. att. Objektīvo akomodācijas mērījumu priekšrocība ir uzskatāma iegūto datu svārstību analīzes iespējamība.

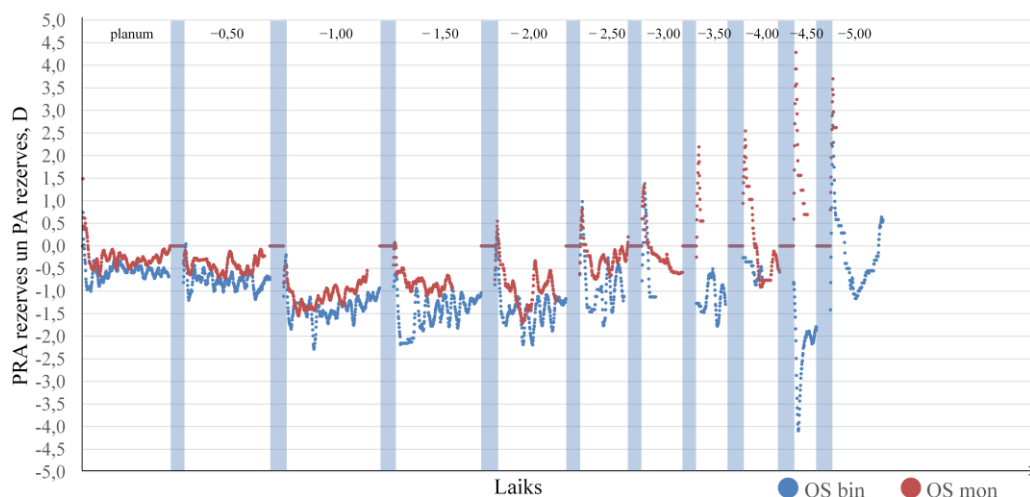


**2.9. att.** Dalībnieka Nr.1 PRA rezervju un PA rezervju rezultāti. Vismazākās akomodācijas mikrofluktuācijas – vismazākā vidējā SD.



**2.10. att.** Dalībnieka Nr.4 PRA rezervju un PA rezervju rezultāti. Vislielākās akomodācijas mikrofluktuācijas – vislielākā SD.

Ir arī gadījumi, kad akomodācijas mikrofluktuācijas, nosakot akomodācijas rezerves, pieaug līdz ar pievienoto provē lēcu stiprumu, kā tas bijis dalībnieka Nr.3 gadījumā (skat. 2.11. att.). Šī grafika pirmais posms, kad dalībnieks skatās uz tuvuma akomodācijas stimulu tikai ar tāluma korekciju (arī visu citu dalībnieku akomodācijas rezervju individuālo grafiku pirmie posmi) ļauj spriest par akomodācijas atpalikšanu. Kā zināms, aplūkojot redzes stimulu tuvumā, akomodācijas atbilde ir mazāka, nekā akomodācijas pieprasījums, t.s., akomodācijas atpalikšana (*Jiang et al., 2007*). Tā kā akomodācijas stimuls atradās 40 cm attālumā no pētījuma dalībnieka, tad akomodācijas darbību attēlojošā zemāk esošā grafika pirmais solis (planum) atbilst akomodācijas pieprasījumam 2,50 D. Tā kā akomodācijas atbilde bijusi tikai apmēram 0,75 D līdz 1,00 D, tad akomodācijas atpalikšana sasniegusi apmēram pusotru dioptriju.



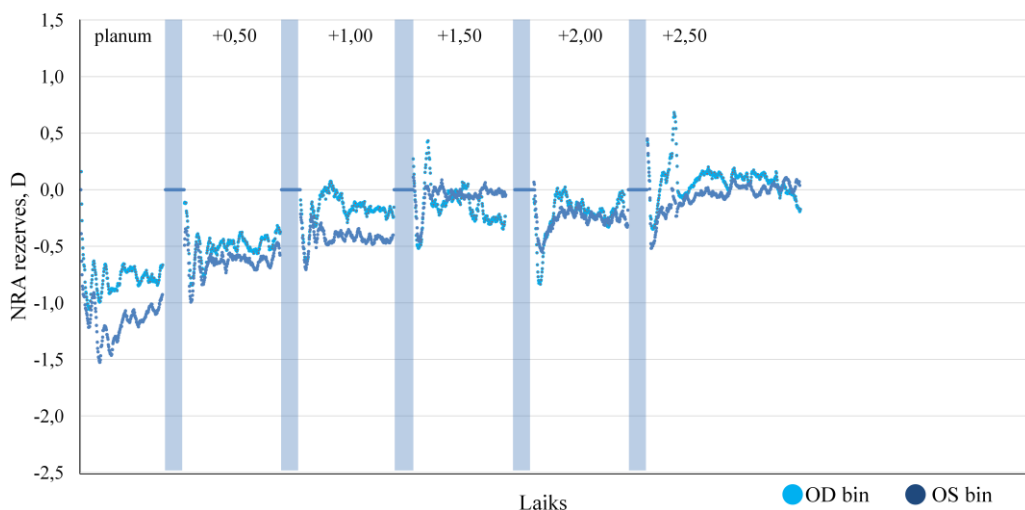
**2.11. att.** Dalībnieka Nr.3 PRA rezervju un PA rezervju rezultāti. Akomodācijas mikrofluktuācijas pieaug līdz ar PRA rezervju un PA rezervju noteikšanā izmantotā probes lēcu stipruma pieaugumu.

Visiem dalībniekiem kopumā, salīdzinot akomodācijas mikrofluktuācijas monokulāros un binokulāros apstākļos katrā no akomodācijas rezervju gadījumiem, izmantojot Vilkoksona-Manna-Vitnija testu, nav demonstrējama statistiski nozīmīga atšķirība – mikrofluktuācijas PRA rezervju un PA rezervju gadījumā: binokulāros apstākļos, salīdzinot labās un kreisās acs akomodācijas mikrofluktuācijas,  $p = 0,89$ ; salīdzinot akomodācijas mikrofluktuācijas kreisajai acij binokulāros un monokulāros apstākļos,  $p = 0,49$ , bet mikrofluktuācijas NRA rezervju un NA rezervju gadījumā: binokulāros apstākļos akomodācijas mikrofluktuāciju salīdzinājumu starp abām acīm raksturo  $p = 0,33$ , savukārt, salīdzinot kreisās acs akomodācijas mikrofluktuācijas binokulāros un monokulāros apstākļos,  $p = 0,08$ . Salīdzinot, vai akomodācijas mikrofluktuācijas ir statistiski atšķirīgas akomodācijas atslābšanas (NRA rezervju un NA rezervju) un saspringšanas (PRA rezervju un PA rezervju) fāzē, atklāts, ka visos trīs gadījumos pastāv statistiski nozīmīga atšķirība – salīdzinot akomodācijas mikrofluktuācijas raksturojošos datus binokulāros apstākļos (NRA un PRA rezervēm) labajai acij:  $p < 0,01$ ; salīdzinot akomodācijas mikrofluktuācijas raksturojošos datus binokulāros apstākļos (NRA un PRA rezervēm) kreisajai acij:  $p < 0,01$ ; salīdzinot akomodācijas mikrofluktuācijas raksturojošos datus monokulāros apstākļos (NA un PA rezervēm) kreisajai acij:  $p = 0,01$ .

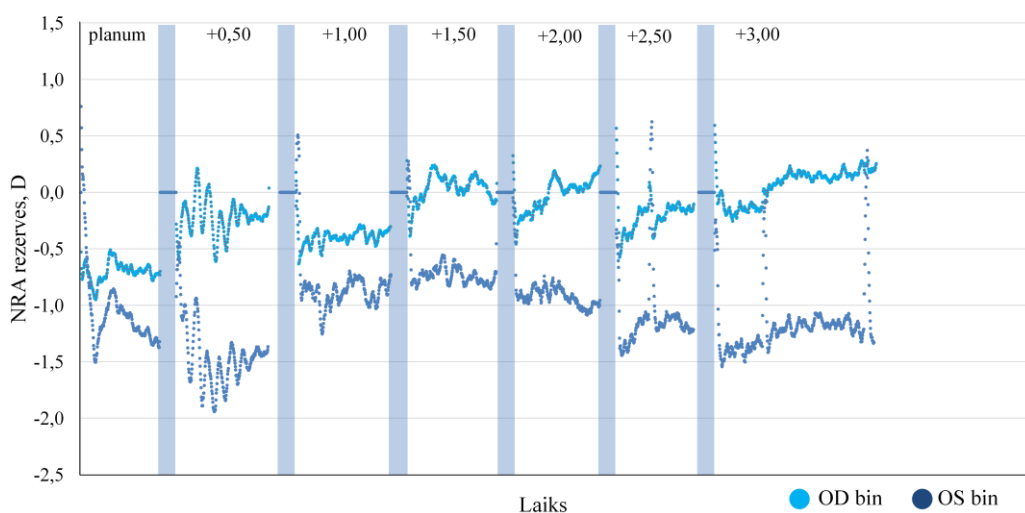
## 2.6.4. Akomodācijas darbības salīdzinājums starp abām acīm objektīvo mērījumu gadījumā

### 2.6.4.1. NRA rezervju salīdzinājums starp abām acīm

Zemāk esošajā 2.12. att. un 2.13. att. ir redzami divi gadījumi, kādos var iedalīt visus dalībnieku NRA rezervju rezultātus, tas ir, situācija, kad akomodācijas atbilde starp labo un kreiso aci ir diezgan līdzīga – atšķirības ir minimālas (2.13. att.) un situācija, kad akomodācijas atbilde starp acīm ir izteikti atšķirīga (2.14. att.). Jebkurā gadījumā var novērot, ka neliela atšķirība akomodācijas atbildē tomēr pastāv. Iespējams, ka viens no iemesliem, kādēļ radusies šāda iegūto datu nesakritība, ir saistīts ar binokulārā balansa neveikšanu, nosakot labāko subjektīvo korekciju.



**2.12. att.** Dalībnieka Nr.10 NRA rezervju rezultāti. Akomodācijas atbilde labajai un kreisajai acij ir līdzīga.



**2.13. att.** Dalībnieka Nr.9 NRA rezervju rezultāti. Redzams, ka akomodācijas atbilde labajai un kreisajai acij ir izteikti atšķirīga.

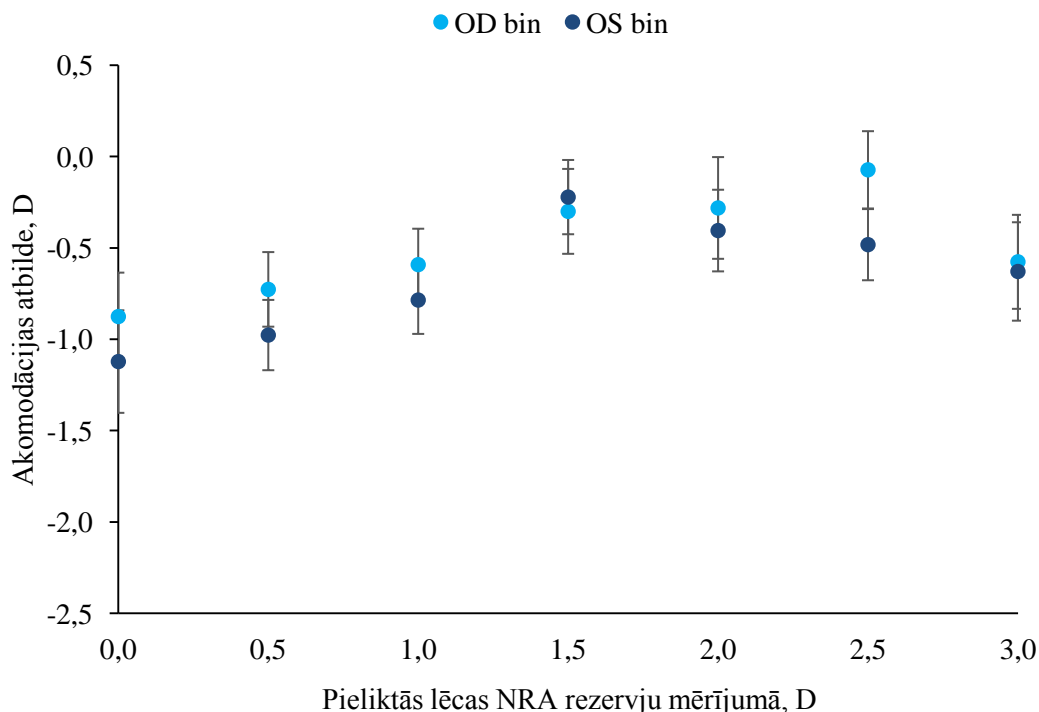
NRA rezervju mērījumu atšķirību starp abām acīm var redzēt zemāk esošajā 2.8. tabulā. Vislielākā atšķirība akomodācijas atbildē starp labo un kreiso aci bijusi, pievienojot +2,50 D stipras probes lēcas. Savukārt rezultātu, kas iegūts ar +3,00 D pievienotām lēcām, jāuzlūko kritiski, jo šis rezultāts iegūts tikai 33 % dalībnieku, turklāt norāda uz neizkorigētu hipermetropiju vai akomodācijas stimula pietuvinātu attālumu, jo 40 cm attālumā akomodācija pie pilnībā izkorigētas tāluma refrakcijas nespēj atslābināties vairāk par +2,50 D.

**2.8. tabula**

NRA rezervju objektīvi iegūto rezultātu salīdzinājums binokulāros apstākļos

lēca	vidējā vērtība visiem dalībniekiem, D		atšķirība starp od un os akomodācijas atbildi, D	dalībnieki, kuriem ar attiecīgo lēcu iegūti rezultāti, %	
	od bin	os bin		od bin	os bin
planum	-0,88	-1,12	0,25	100	100
+0,50	-0,73	-0,98	0,25	100	100
+1,00	-0,59	-0,78	0,19	100	100
+1,50	-0,30	-0,22	-0,08	100	100
+2,00	-0,28	-0,40	0,12	92	92
+2,50	-0,07	-0,48	0,41	75	75
+3,00	-0,58	-0,63	0,05	33	33

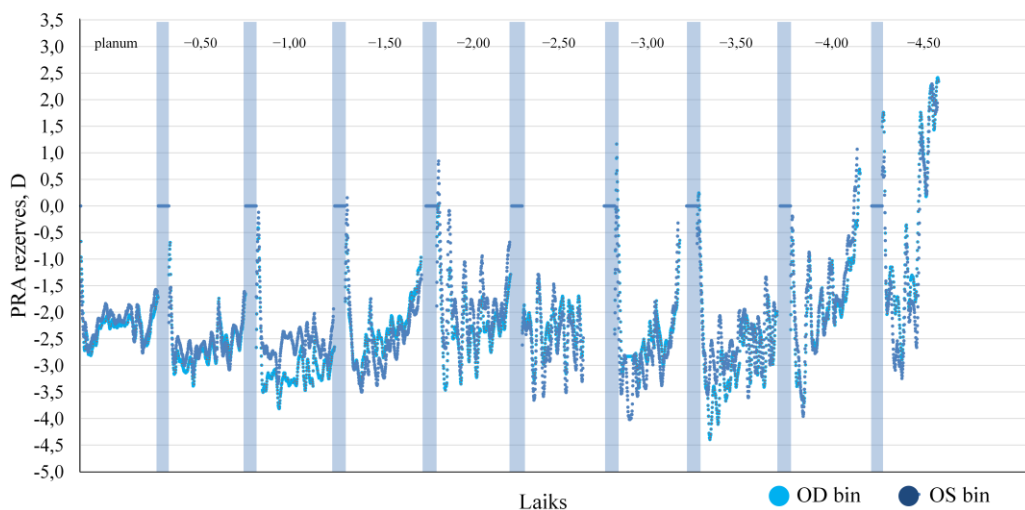
Lai gan sākotnēji, uzlūkojot NRA rezervju grafiskos rezultātus, vizuāli rodas iespaids, ka labākas atslābināšanās spējas vairumam pētījuma dalībnieku ir labajai acij, par ko liecina arī kopējās vidējās vērtības (skat. 2.14. att.), tomēr statistiskā analīze, izmantojot Vilksona-Manna-Vitnija testu, parāda, ka šīs atšķirības nav būtiskas ( $p = 0,38$ ).



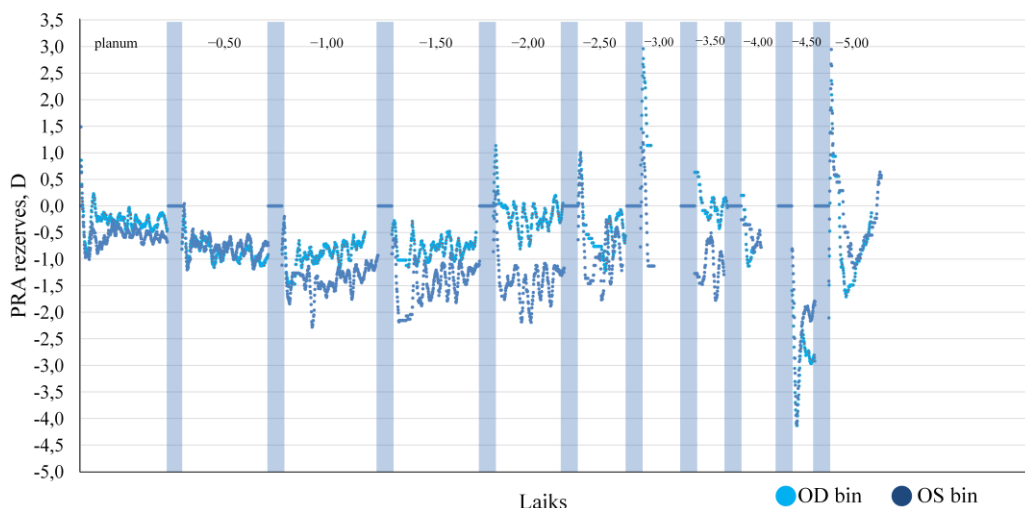
**2.14. att.** Objektīvā NRA rezervju mērījuma labās un kreisās acs vidējās vērtības un to SD.

#### **2.5.4.2. PRA rezervju salīdzinājums starp abām acīm**

Līdzīgi, kā NRA rezervju, arī PRA rezervju gadījumā var izšķirt divas dalībnieku grupas – tie, kuriem akomodācijas atbilde labajā un kreisajā acī nav bijusi uzskatāmi atšķirīga (kā piemēru skat. 2.15. att.) un tie, kuriem, nosakot akomodācijas rezerves, akomodācijas atbilde ir bijusi uzskatāmi atšķirīga (piemērs 2.16. att.). Ņemot vērā šī darba inovatīvo raksturu, piedāvāts datu iedalījums pamatgrupās, neizslēdzot iespēju šāda veida pētījumos nākotnē izšķirt arī smalkāku datu sadalījumu.

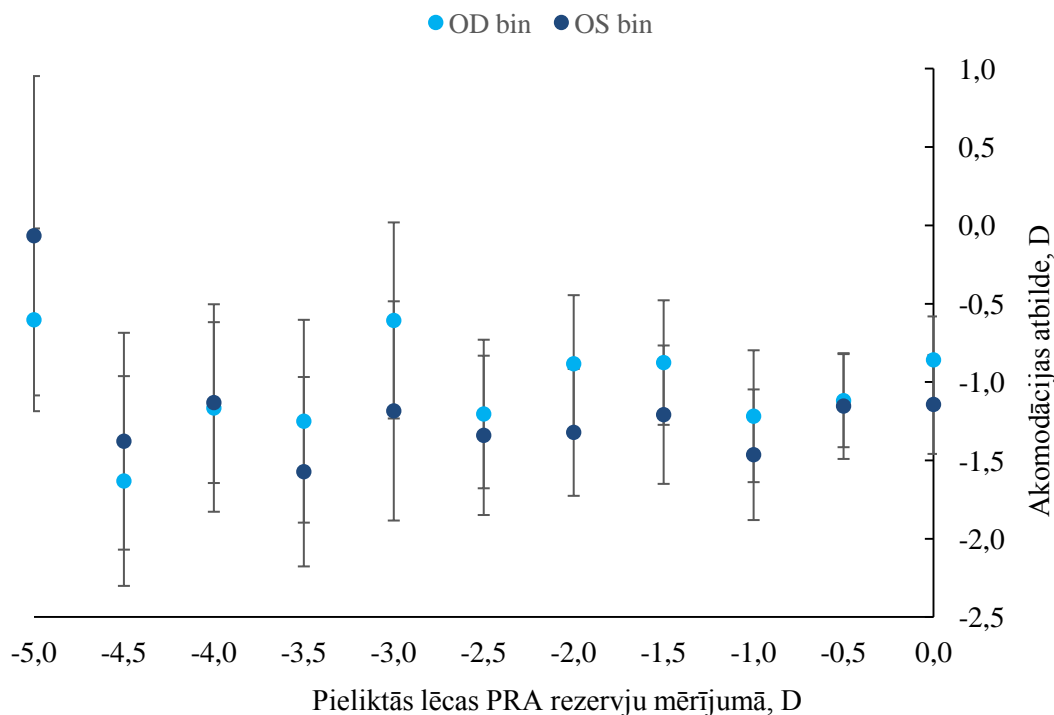


**2.15. att.** Dalībnieka Nr.4 PRA rezervju rezultātu attēlojums. Labās un kreisās acs akomodācijas atbilde ir līdzīga.



**2.16. att.** Dalībnieka Nr.3 PRA rezervju rezultātu attēlojums. Labās un kreisās acs akomodācijas atbilde ir uzskatāmi atšķirīga.

Salīdzinot ar Vilkoksona-Manna-Vitnija testu visu dalībnieku kopējās vidējās akomodācijas atbildes starp abām acīm, būtiska atšķirība nav demonstrējama ( $p = 0,93$ ), lai gan, uzlūkojot 2.17. att., vizuāli rodas iespaids, ka vairāk akomodējusi kreisā acs. Arī PRA rezervju gadījumā pēdējie grafika posmi jāuzlūko kritiski, jo *Power Ref* iekārta reģistrējusi akomodācijas rezervju novērtējuma pēdējos soļus tikai nelielam procentam pētījuma dalībnieku (skat. 2.9. tabulu).



2.17. att. Objektīvā PRA rezervju mērijuma labās un kreisās acs vidējās vērtības un to SD.

## 2.9. tabula

PRA rezervju mērijumi binokulāros apstākļos

lēca	vidējā vērtība visiem dalībniekiem, D		atšķirība starp od un os akomodācijas atbildi, D	dalībnieki, kuriem ar attiecīgo lēcu iegūti rezultāti, %	
	od bin	os bin		od bin	OS bin
0,00	-0,86	-1,14	0,28	100	100
-0,50	-1,12	-1,15	0,03	100	100
-1,00	-1,22	-1,46	0,25	100	100
-1,50	-0,87	-1,21	0,33	100	100
-2,00	-0,88	-1,32	0,44	83	83
-2,50	-1,20	-1,34	0,14	75	75
-3,00	-0,61	-1,18	0,58	58	67
-3,50	-1,25	-1,57	0,32	50	50
-4,00	-1,16	-1,13	-0,03	33	33
-4,50	-1,63	-1,38	-0,25	25	25
-5,00	-0,60	-0,07	-0,54	17	17

Līdzīgi, kā *Anderson et al.* (2009) pētījumā, kas objektīvo akomodācijas mērijumu iegūšanai izmantoja *Grand Seiko* autorefraktometru, var novērot, ka visu dalībnieku kopējā akomodācijas atpaukšana palielinājusies līdz ar pieaugošo akomodācijas pieprasījumu (skat. 2.10. tabulu), tas ir, pievienojot pieaugoša stipruma negatīvās provas lēcas, starpība starp akomodācijas pieprasījumu un akomodācijas atbildi ir palielinājusies gan binokulāros,

gan arī monokulāros pētījuma apstākļos, bet maģistra darba ietvaros šī tendence novērojama, sākot no pievienotām -1,50 D lēcām. Un, līdzīgi kā *Seidemann & Schaeffel* (2003) pētījumā, kas tika veikts, izmantojot ekscentrisko infrasarkanās gaismas fotorefrakcijas metodi (*Power Refractor*), arī mūsu pētījumā apstiprinājās, ka akomodācijas atbilde ir precīzāka, ja akomodācija darbojas binokulāros apstākļos, tas ir, akomodācijas atpalikšana binokulāros apstākļos bijusi mazāka, nekā monokulāros apstākļos (skat. 2.10. tabulas datus par kreisās acs akomodācijas atpalikšanu), bet nav demonstrējama statistiski nozīmīga atšķirība (salīdzinot kreisās acs datus,  $p = 0,75$ ). Salīdzinot akomodācijas atbildi, kas konstatēta, pievienojot negatīvā stipruma lēcas binokulāros un monokulāros apstākļos, akomodācijas atbildē atklāta statistiski nozīmīga ( $p = 0,01$ ) atšķirība, kas ir loģiski, jo binokulāros skatīšanās apstākļos iesaistīta ir ne vien akomodācija, bet arī vergēnces darbība.

**2.10. tabula**

Akomodācijas atpalikšana atkarībā no pievienoto lēcu stipruma

lēca	od bin	akomodācijas atpalikšana (od bin)	os bin	akomodācijas atpalikšana (os bin)	os mon	akomodācijas atpalikšana (os mon)
planum	-0,86	-0,86	-1,14	-1,14	-1,03	-1,03
-0,50	-1,12	-0,62	-1,15	-0,65	-1,01	-0,51
-1,00	-1,22	-0,22	-1,46	-0,46	-1,26	-0,26
-1,50	-0,87	<b>0,63</b>	-1,21	<b>0,29</b>	-1,2	<b>0,3</b>
-2,00	-0,88	<b>1,12</b>	-1,32	<b>0,68</b>	-1,14	<b>0,86</b>
-2,50	-1,20	<b>1,30</b>	-1,34	<b>1,16</b>	-1,05	<b>1,45</b>
-3,00	-0,61	<b>2,39</b>	-1,18	<b>1,82</b>	-1,04	<b>1,96</b>
-3,50	-1,25	<b>2,25</b>	-1,57	<b>1,93</b>	-0,95	<b>2,55</b>
-4,00	-1,16	<b>2,84</b>	-1,13	<b>2,87</b>	-1,08	<b>2,92</b>
-4,50	-1,63	<b>2,87</b>	-1,38	<b>3,12</b>	-0,46	<b>4,04</b>
-5,00	-0,60	<b>4,40</b>	-0,07	<b>4,93</b>	-0,57	<b>4,43</b>

## 2.7. Diskusija

Līdz šim tikpat kā nav bijis pētījumu, kas objektīvajiem akomodācijas mērījumiem izmantotu iekārtu *Power Ref 3 – plusoptiX R09*, tādēļ ir iespējams salīdzināt šajā darbā iegūtos subjektīvos un objektīvos akomodācijas mērījumus tikai ar pētījumu rezultātiem, kuros objektīvo akomodācijas mērījumu iegūšanai izmantotas citas iekārtas. Turklāt, tā kā tika izstrādāta jauna metodoloģija, tad salīdzināšana ar citu pētījumu rezultātiem ir ierobežota un ir veikta iespēju robežās, turpmākajā izklāstā koncentrējoties uz iespējamo pētījuma kļūdu avotu apskatu.

Šim pētījumam bija vairāki ierobežojumi. Pētījumā piedalījās ļoti neliels skaits dalībnieku ( $n = 12$ ), bija problēmas ar proves rāmīša stabilitu, nemainīgu novietojumu, kā arī pētījuma beigās radās aizdomas par akomodācijas stimula neprecīzi vienāda slīpuma novietojumu no acīm. Teorētiski nav sagaidāmas atšķirības abu acu akomodācijā. Tomēr mērījumu rezultātus varēja ietekmēt gadījuma kļūdas, kā, piemēram, akomodācijas stimula novietojums – ja tas atradies nedaudz tuvāk vienai no acīm, tas varētu būt iemesls, kāpēc akomodācijas atbilde šai acij bijusi spēcīgāka, nekā otrai. Arī proves rāmīša novietojums, vienai no tā kājiņām esot vairāk pievilkta (*vertex* distancei atšķiroties labajai un kreisajai acij), varēja radīt iegūto rezultātu kļūdu. Pēdējais kļūdu avots varētu būt diezgan ticams, jo, tā kā kreisās acs pusē proves rāmītis bija vaļīgāks, tad, mainot proves lēcas šai acij, proves rāmīša attālums varēja kļūt lielāks, nekā labajā pusē. Lai gan, mainot lēcas, tika sekots līdzīgai proves rāmīša pozīcijai, tomēr nevar izslēgt, ka notikusi tā pozīcijas izmaiņa.

Kā vēl viens iespējamais akomodācijas atšķirību skaidrojums varētu būt vadošā acs, piemēram, *Ibi* (1997) secināja, ka kopumā vadošajai motorajai acij, salīdzinot ar nevadošo aci, bija novērojamas izmaiņas miopiskās refrakcijas virzienā, skatoties tuvumā, ja skats tika mainīts no tāluma uz tuvumu, kā arī tālumā, mainot skatu no tuvās skatīšanās distances uz tālo. Astoņiem no šī pētījuma divpadsmit dalībniekiem motorā vadošā acs tuvumā bija od, bet trim – os, bet, veicot datu kvalitatīvo analīzi, netika novērota iegūto rezultātu saistība ar vadošo aci. Iespējams, lai korektāk spriestu par rezultātiem, bija nepieciešams noteikt arī sensoro vadošo aci tuvumā.

Lielai daļai dalībnieku nebija iespējams iegūt objektīvo PRA rezervju un PA rezervju rezultātus pilnā akomodācijas rezervju amplitūdā mazo zīlīšu dēļ, turklāt ar objektīvo metodi netika iegūts akomodācijas amplitūdas mērījums (šajā pētījumā iegūtais PA rezervju mērījums netika izmantots kā akomodācijas amplitūdas mērījums). Vēl viens pētījuma trūkums bija tas, ka, lai gan subjektīvo un objektīvo mērījumu laikā telpā bija ieslēgts apgaismojums, tomēr subjektīvo mērījumu laikā, pētījuma dalībniekam atrodoties redzes pārbaudes krēslā, tuvuma akomodācijas stimuls tika apgaismots vēl pastiprināti no augstāk esošās stāvlampas optometrista darba vietā, savukārt objektīvo akomodācijas mērījumu laikā akomodācijas stimuls, pretēji, piemēram, *Win-Hall & Glasser* (2008) pētījuma apstākļiem, netika papildus apgaismots, lai neveicinātu vēl izteiktāku zīlītes sašaurināšanos. Samazinātais apgaismojums varēja veicināt neprecīzāku akomodācijas atbildi (*Charman*, 1996; *Locke & Somers*, 1989). Nosakot subjektīvo un objektīvo akomodācijas atbildi, izmantotais akomodācijas stimuls, lai gan atbilda tam pašam redzes asumam, tomēr nebija tas pats – subjektīvajiem akomodācijas mērījumiem izmantotais akomodācijas stimuls atradās tuvuma

redzes pārbaudes tabulā, savukārt objektīvajiem akomodācijas mērījumiem izmantotais akomodācijas stimuluss tika printēts, līdz ar to tā vizuālā kvalitāte bija nedaudz sliktāka.

Šī pētījuma rezultātu ticamības uzlabošanai būtu nepieciešams lielāks skaits pētījumā iesaistīto dalībnieku, kā arī turpmākajos pētījumos būtu jāgarantē proves rāmīša vienāds un nemainīgs *vertex* attālums no abām acīm. Būtu jānodrošina arī ļoti precīzs akomodācijas stimula novietojums, tam atrodoties identiskā attālumā no abām acīm. Tā kā, veicot šo pētījumu, vairākiem dalībniekiem radās grūtības noteikt objektīvo PRA rezervju un PA rezervju lielumu pārāk mazu zīlīšu dēļ, tad nākotnē būtu ieteicams objektīvajiem akomodācijas mērījumiem izmantot iekārtu, ar kuru iespējams iegūt rezultātus arī tad, ja zīlītes lielums ir mazāks par 4 mm, it sevišķi tādēļ, ka tuvuma akomodācijas stimulam turpmākajos pētījumos jātiek apgaismotam arī objektīvo mērījumu laikā. Nākotnē objektīvajiem akomodācijas mērījumiem būtu lietderīgi izveidot tādu pētījuma dalībnieka atrašanās vietu attiecībā pret kameru, kas atļautu veikt arī ticamus akomodācijas amplitūdas mērījumus, diemžēl šī pētījuma ietvaros tas nebija iespējams, kas ir liels šī pētījuma trūkums, jo ir daudz pētījumu, kas līdz šim ir salīdzinājuši akomodācijas amplitūdu, kas noteikta ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm, līdz ar to būtu lietderīgi salīdzināt, kāda sakarība ir starp subjektīvi noteikto akomodācijas amplitūdu un to, kas iegūta ar iekārtu *Power Ref.* Turklāt turpmāko pētījumu laikā būtu nepieciešams iegūt visus akomodācijas monokulāros rezultātus abām acīm, nevis tikai vienai no tām, un tuvuma akomodācijas mērījumiem būtu nepieciešams noteikt arī vadošo sensoro aci, ne tikai motoro, jo būtu interesanti salīdzināt, kā akomodācijas darbību ietekmējusi vadošā motorā un sensorā acs.

## SECINĀJUMI

1. Akomodācijas mērījumu gala vērtības, kas iegūtas ar subjektīvajām un objektīvajām metodēm – NRA rezervju un NA rezervju, kā arī AV gadījumā nav demonstrējama statistiski nozīmīga atšķirība (NRA rezervēm binokulāros apstākļos  $p = 0,26$ , NA rezervēm monokulāros apstākļos  $p = 0,38$ ; AV binokulāros apstākļos  $p = 0,98$ , monokulāros apstākļos  $p = 0,75$ ), bet PRA rezervju un PA rezervju subjektīvie rezultāti nav salīdzināmi ar objektīvajiem, jo mērījumu amplitūdu noteikuši iekārtas ierobežojumi (zīlītes lielums).

2. Objektīvo mērījumu priekšrocība ir sniegtā iespēja attēlot akomodācijas mikrofluktuācijas, kas var būtiski atšķirties pat vienādu akomodācijas rezervju gadījumā;

3. Salīdzinot akomodācijas atbildi binokulāros un monokulāros apstākļos, PRA rezervju un PA rezervju gadījumā precīzāka akomodācijas atbilde bijusi binokulāros apstākļos (mazāka akomodācijas atpalikšana) ( $p = 0,01$ ), bet NRA rezervju un NA rezervju gadījumā starp akomodācijas atbildēm binokulāros un monokulāros apstākļos nav konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ( $p = 0,41$ ).

4. Salīdzinot akomodācijas atbildi starp abām acīm, tā nav statistiski būtiska nedz PRA rezervju gadījumā ( $p = 0,93$ ), nedz arī NRA rezervju gadījumā ( $p = 0,38$ ).

5. Klīnisko akomodācijas testu pārnese uz objektīvo metodi ir veiksmīgāk realizējama NRA rezervju un NA rezervju gadījumā, jo to ir iespējams veikt lielākam dalībnieku skaitam.

6. Analizējot datus kvalitatīvi, tos iespējams iedalīt pamatgrupās atkarībā no to grafiskā attēlojuma – vai salīdzināmie dati ir savstarpēji izteikti atšķirīgi vai līdzīgi, vai arī to atšķirība ar laiku palielinās.

## NOBEIGUMS

Maģistra darba sākumā izvirzītais mērķis – salīdzināt akomodācijas darbības rezultātus, kas iegūti ar subjektīvajām un objektīvajām akomodācijas darbības novērtēšanas metodēm, – veiksmīgi īstenots. Noskaidrots, ka subjektīvie un objektīvie NRA rezervju un NA rezervju gala rezultāti, kā arī AV rezultāti, nav statistiski būtiski atšķirīgi. Tas pats attiecināms arī uz PRA rezervju un PA rezervju gala rezultātiem, bet šo rezervju mērījumu gadījumā rezultāti jāuzlūko kritiski, jo iegūtos rezultātus noteikuši iekārtas ierobežojumi ierakstīt zīlīti.

Šī pētījuma unikalitāte ir akomodācijas darbības pētīšana, izmantojot iekārtu *Power Ref 3 – plusoptiX R09*, līdz ar to šis pētījums ir papildinājums līdzšinējai akomodācijas darbības izpētei, izmantojot subjektīvās un objektīvās metodes, bet līdz šim nebijušā veidā. Iegūto rezultātu praktiskais pielietojums ir iespēja analizēt objektīvās metodes gala vērtības un akomodācijas mikrofluktuāciju izvērtēšana. Tomēr, pielietojot objektīvās metodes akomodācijas darbības izvērtēšanai, jāreķinās arī ar zināmiem iekārtas specifiskas ierobežojumiem, sevišķi nosakot PRA rezervju un PA rezervju vērtības. Savukārt pozitīvi vērtējams, ka iegūtie rezultāti nav pretrunā literatūras apskatā aplūkotajiem, tas ir, precīzāka akomodācijas atbilde konstatēta binokulāros apstākļos.

Šī pētījuma novitāte bija jaunas metodikas izstrāde akomodācijas darbības izpētes jomā. Jānorāda, ka šajā darbā piedāvātais datu analīzes modelis ar laiku var tikt uzlabots un papildināts, veicot datu analīzi smalkākās grupās. Prezentētie dati var tikt izmantoti turpmākajos akomodācijas pētījumos, bet jāakcentē, ka tie nespēj aizstāt klīniskajos pētījumos iegūtos datus, jo vairumā gadījumu mērījumu amplitūda bijusi atkarīga no ar akomodācijas darbību nesaistītiem faktoriem, tas ir, ar iekārtas specifiku. Nākotnes pētnieku uzdevums būtu uzlabot metodes objektivitāti, vairāk automatizējot mērījumu procesu, lai novērstu nepieciešamību ņemt vērā pētījuma dalībnieku subjektīvās atbildes mērījumu gaitā. Lai gan reprezentētajai metodei ir nepieciešama pilnveidošana, kopumā ir secināms, ka jaunās metodikas modelis ir derīgs, lai veiktu objektīvo metožu rezultātu salīdzinājumu ar subjektīvajās metodēs iegūtajiem rezultātiem.

## **PATEICĪBAS**

Sirsnīgs paldies darba vadītājai Karolai Pankei! Maģistra darba tapšanas laikā vienmēr ļoti laicīgi saņēmu ieteikumus un padomus, kā rīkoties tālāk. Paldies par veltīto laiku! Brīžos, kad šķita, ka man neizdosies tikt galā, vienmēr sekoja iedrošinājums turpināt iesākto, turklāt man ļoti patika darba vadītājas pozitīvā attieksme.

Paldies visiem 12 pētījuma dalībniekiem, kuri veltīja savu brīvo laiku, lai piedalītos abās laikietilpīgajās pētījuma sesijās! Īpašs paldies manai kursa biedrenei Annai par palīdzību tehniski veikt eksperimentu! Paldies visiem pasniedzējiem par sniegtajām zināšanām šo piecu gadu laikā, lai šī maģistra darba izstrāde būtu iespējama! Paldies Optometrijas un redzes zinātnes nodaļai par iespēju izmantot telpas un nepieciešamo aprīkojumu pētījuma vajadzībām!

Paldies arī manai ģimenei par atbalstu visa mācību procesa laikā un it īpaši šī darba tapšanas posmā!

Pētījumu atbalstīja Latvijas Universitāte un SIA „Mikrotīkls” ziedojums projektam Nr. 2184 „Redzes ergonomikas pētījumu vides attīstība”, ko administrē Latvijas Universitātes fonds.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Agarwal, S., Goel, D., & Sharma, A. (2013). Evaluation of the factors which contribute to the ocular complaints in computer users. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 7(2), 331.
- Allen, P. M., & O'Leary, D. J. (2006). Accommodation functions: co-dependency and relationship to refractive error. *Vision Research*, 46(4), 491-505.
- Anderson, H. A., Glasser, A., Stuebing, K. K., & Manny, R. E. (2009). Minus lens stimulated accommodative lag as a function of age. *Optometry and Vision Science*, 86(6), 685.
- Anderson, H. A., Hentz, G., Glasser, A., Stuebing, K. K., & Manny, R. E. (2008). Minus-lens-stimulated accommodative amplitude decreases sigmoidally with age: a study of objectively measured accommodative amplitudes from age 3. *Investigative ophthalmology & visual science*, 49(7), 2919-2926.
- Antona, B., Sanchez, I., Barrio, A., Barra, F., & Gonzalez, E. (2009). Intra-examiner repeatability and agreement in accommodative response measurements. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 29(6), 606-614.
- Bharadwaj, S. R., Sravani, N. G., Little, J. A., Narasaiah, A., Wong, V., Woodburn, R., & Candy, T. R. (2013). Empirical variability in the calibration of slope-based eccentric photorefractometry. *JOSA A*, 30(5), 923-931.
- Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., & Yee, R. W. (2005). Computer vision syndrome: a review. *Survey of ophthalmology*, 50(3), 253-262.
- Bonferroni Correction Calculator.* Pieejams:  
<https://www.easycalculation.com/statistics/bonferroni-correction-calculator.php>
- Burns, D. H., Evans, B. W., & Allen, P. M. (2014). Clinical measurement of amplitude of accommodation: A review. *Optometry in Practice*, 15(3), 75-85.
- Charman, W. N. (1996). Night myopia and driving. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 16(6), 474-485.
- Chen, Y. L., Shi, L., Tan, B., Lewis, J. W. L., & Wang, M. (2008). Analysis of high-order aberrations in low-cost photorefractometry. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 49(13), 983-983.
- Cole, T. (1991). Multimeridian photorefractometry—a technique for the detection of visual defects in infants and preverbal children. *Johns Hopkins APL Technical digest*, 12(2), 166-175.
- Cufflin, M. P., Mankowska, A., & Mallen, E. A. (2007). Effect of blur adaptation on blur sensitivity and discrimination in emmetropes and myopes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(6), 2932–2939.

- Fincham, E. F. (1937). The coincidence optometer. *Proceedings of the Physical Society*, 49(5), 456.
- Garcia, A., Cacho, P., & Lara, F. (2002). Evaluating relative accommodations in general binocular dysfunctions. *Optometry and Vision Science*, 79(12), 779-787.
- Glasser, A. (2006). Accommodation: mechanism and measurement. *Ophthalmology Clinics of North America*, 19(1), 1-12.
- Goh, W. S., & Lam, C. S. (1994). Changes in refractive trends and optical components of Hong Kong Chinese aged 19–39 years. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14(4), 378-382.
- Hepsen, I. F., Evereklioglu, C., & Bayramlar, H. (2001). The effect of reading and near-work on the development of myopia in emmetropic boys: a prospective, controlled, three-year follow-up study. *Vision research*, 41(19), 2511-2520.
- Heron, G., Charman, W. N., & Schor, C. (2001). Dynamics of the accommodation response to abrupt changes in target vergence as a function of age. *Vision research*, 41(4), 507-519.
- Howland, H. C. (2009). Photorefraction of eyes: history and future prospects. *Optometry and Vision Science*, 86(6), 603-606.
- Ibi, K. (1997). Characteristics of dynamic accommodation responses: comparison between the dominant and non-dominant eyes. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(1), 44-54.
- Jang, J. U., & Park, I. J. (2015). Prevalence of general binocular dysfunctions among rural schoolchildren in South Korea. *Taiwan journal of ophthalmology*, 5(4), 177-181.
- Jiang, B. C., Tea, Y. C., & O'Donnell, D. (2007). Changes in accommodative and vergence responses when viewing through near addition lenses. *Optometry-Journal of the American Optometric Association*, 78(3), 129-134.
- Kaakinen, K., & Tommila, V. (1979). A clinical study on the detection of strabismus, anisometropia or ametropia of children by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes. *Acta ophthalmologica*, 57(4), 600-611.
- Kasthurirangan, S., Vilupuru, A. S., & Glasser, A. (2003). Amplitude dependent accommodative dynamics in humans. *Vision research*, 43(27), 2945-2956.
- Kimura, S., Hasebe, S., & Ohtsuki, H. (2007). Systematic measurement errors involved in over-refraction using an autorefractor (Grand-Seiko WV-500): is measurement of accommodative lag through spectacle lenses valid?. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 27(3), 281-286.
- Kruger, P. B. (1980). The effect of cognitive demand on accommodation. *Am J Optom Physiol Opt*, 57(7), 440-445.

- Labhishetty, V., Bobier, W. R., & Lakshminarayanan, V. (2019). Is 25 Hz enough to accurately measure a dynamic change in the ocular accommodation?. *Journal of optometry*, *12*(1), 22-29.
- León, A. Á., Medrano, S. M., & Rosenfield, M. (2012). A comparison of the reliability of dynamic retinoscopy and subjective measurements of amplitude of accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *32*(2), 133-141.
- León, A., Estrada, J. M., & Rosenfield, M. (2016). Age and the amplitude of accommodation measured using dynamic retinoscopy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *36*(1), 5-12.
- Locke, L. C., & Somers, W. (1989). A comparison study of dynamic retinoscopy techniques. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, *66*(8), 540-544.
- Manny, R. E., Chandler, D. L., Scheiman, M. M., Gwiazda, J. E., Cotter, S. A., Everett, D. F., ... & Marsh-Tootle, W. (2009). Accommodative lag by autorefraction and two dynamic retinoscopy methods. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, *86*(3), 233-243.
- Marx, A., Backes, C., Meese, E., Lenhof, H. P., & Keller, A. (2016). EDISON-WMW: exact dynamic programming solution of the Wilcoxon–Mann–Whitney test. *Genomics, proteomics & bioinformatics*, *14*(1), 55-61. Pieejams: <https://ccb-compute2.cs.uni-saarland.de/wtest/>
- Mathebula, S. D., Ntsoane, M. D., Makgaba, N. T., & Landela, K. L. (2018). Comparison of the amplitude of accommodation determined subjectively and objectively in South African university students. *African Vision and Eye Health*, *77*(1), 1-10.
- Monticone, P. P., & Menozzi, M. (2011). A review on methods used to record and analyze microfluctuations of the accommodation in the human eye. *Journal of the European Optical Society-Rapid publications*, 6.
- Morgan, I. G., Rose, K. A., Ellwein, L. B., & Refractive Error Study in Children Survey Group. (2010). Is emmetropia the natural endpoint for human refractive development? An analysis of population-based data from the refractive error study in children (RESC). *Acta ophthalmologica*, *88*(8), 877-884.
- O'leary, D. J., & Allen, P. M. (2001). Facility of accommodation in myopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *21*(5), 352-355.
- Ostrin, L. A., & Glasser, A. (2004). Accommodation measurements in a prepresbyopic and presbyopic population. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, *30*(7), 1435-1444.

- Plusoptix GmbH (2016). *Power Ref - plusoptiX R09, Binocular Pupillometer – plusoptiX P09: Instruction Manual*, 30.
- Radhakrishnan, H., Allen, P. M., & Charman, W. N. (2007). Dynamics of accommodative facility in myopes. *Investigative ophthalmology & visual science*, 48(9), 4375-4382.
- Rosenfield, M. (2009). Clinical assessment of accommodation. *Optometry: science, techniques and clinical management*, 2, 229-40.
- Rosenfield, M. (2011). Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(5), 502-515.
- Scheiman M, Wick B. *Clinical Management of Binocular Vision*: Philadelphia: Lippincott, 1994.
- Schor, C. M., & Bharadwaj, S. R. (2006). Pulse-step models of control strategies for dynamic ocular accommodation and disaccommodation. *Vision research*, 46(1-2), 242-258.
- Seidemann, A., & Schaeffel, F. (2003). An evaluation of the lag of accommodation using photorefractometry. *Vision Research*, 43(4), 419-430.
- Sravani, N. G., Nilagiri, V. K., & Bharadwaj, S. R. (2015). Photorefractometry estimates of refractive power varies with the ethnic origin of human eyes. *Scientific reports*, 5, 7976.
- Stangroom J. (2019). *Pearson Correlation Coefficient Calculator*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/pearson/default2.aspx>
- Stangroom J. (2019). *The Friedman Test for Repeated-Measures*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/friedman/default.aspx>
- Stangroom J. (2019). *Wilcoxon Signed-Ranks Test Calculator*. Pieejams: <https://www.socscistatistics.com/tests/signedranks/default2.aspx>
- Švede, A., Krūmiņa, G., & Fridrihsons, J. (2008). Pamatizmeklēšanas metodes optometrijā. *LU Akadēmiskais apgāds*, 41-44.
- Turner, M. J. (1958). Observations on the normal subjective amplitude of accommodation. *The British journal of physiological optics*, 15(2), 70-100. (Citēts pēc Burns, D. H., Evans, B. W., & Allen, P. M. (2014). Clinical measurement of amplitude of accommodation: A review. *Optometry in Practice*, 15(3), 75-85.)
- Wang, B., & Ciuffreda, K. J. (2006). Depth-of-focus of the human eye: theory and clinical implications. *Survey of ophthalmology*, 51(1), 75-85.
- Whitefoot, H., & Charman, W. N. (1992). Dynamic retinoscopy and accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12(1), 8-17.
- Win-Hall, D. M., & Glasser, A. (2008). Objective accommodation measurements in presbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 34(5), 774-784.

- Win-Hall, D. M., Ostrin, L. A., Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2007). Objective accommodation measurement with the Grand Seiko and Hartinger coincidence refractometer. *Optometry and vision science*, *84*(9), 879-887.
- Wold, J. E., Hu, A., Chen, S., & Glasser, A. (2003). Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, *29*(10), 1878-1888.
- Woodhouse, J. M., Meades, J. S., Leat, S. J., & Saunders, K. J. (1993). Reduced accommodation in children with Down syndrome. *Investigative ophthalmology & visual science*, *34*(7), 2382-2387.
- Yekta, A., Hashemi, H., Khabazkhoob, M., Ostadimoghaddam, H., Ghasemi-moghaddam, S., Jafarzadehpur, E., & Shokrollahzadeh, F. (2017). The distribution of negative and positive relative accommodation and their relationship with binocular and refractive indices in a young population. *Journal of current ophthalmology*, *29*(3), 204-209.

# 1. PIELIKUMS

Pētījuma dalībnieku labākā subjektīvā korekcija un redzes asums

Nr.	labākā subjektīvā korekcija		redzes asums tālumā			redzes asums tuvumā		
	od	os	od	os	ou	od	os	ou
1	+0,50 Dsf.	+0,50 Dsf.	1,2	1,2	1,2 <sup>+1</sup>	1,0	1,0	1,0
2	+0,75 DSf. -0,50 DCil. x 180°	+0,75 DSf. -0,50 DCil. x 180°	1,2 <sup>-1</sup>	1,2 <sup>-1</sup>	1,5 <sup>-1</sup>	1,0	1,0	1,0
3	-0,50 Dsf.	-0,25 Dsf.	1,2 <sup>-2</sup>	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
4	-0,50 Dsf.	-0,50 Dsf.	1,2	1,2 <sup>+2</sup>	1,2 <sup>+2</sup>	1,0	1,0	1,0
5	-0,25 Dsf.	pl.	1,2 <sup>-2</sup>	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
6	-0,25 Dsf.	pl. -0,50 DCil. x 180°	1,2 <sup>-2</sup>	1,2 <sup>-2</sup>	1,2	1,0	1,0	1,0
7	+0,25 DSf. -0,50 DCil. x 90°	+0,50 DSf. -0,25 DCil. x 140°	1,5 <sup>-2</sup>	1,2	1,5 <sup>-1</sup>	1,0	1,0	1,0
8	+0,50 DSf. -0,50 DCil. x 175°	+0,50 DSf. -0,50 DCil. x 170°	1,2 <sup>+2</sup>	1,2 <sup>+2</sup>	1,2 <sup>+2</sup>	1,0	1,0 <sup>-1</sup>	1,0
9	pl.	-0,25 DSf. -0,25 DCil. x 90°	1,2	1,2	1,5 <sup>-1</sup>	1,0	1,0	1,0
10	pl.	+0,25 Dsf.	1,2 <sup>+2</sup>	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
11	-0,50 Dsf.	pl.	1,5 <sup>-1</sup>	1,2 <sup>+1</sup>	1,5	1,0	1,0	1,0
12	pl.	pl.	1,2 <sup>-1</sup>	1,2 <sup>-1</sup>	1,2 <sup>-1</sup>	1,0	1,0	1,0

Maģistra darbs „Subjektīvo un objektīvo akomodācijas novērtēšanas metožu rezultātu salīdzinājums” 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: Vita Štokmane Stud.apl.Nr. vs17049

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: zin. asistente, Prof.mag. Karola Panke

Recenzente: lektore, Mg.sc. Ilze Ceple

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē

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

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_