

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

Fokusa dziļuma atkarība no apertūras diametra un subjekta vecuma

BAKALaura DARBS

Autore: **Anete Paušus**
Stud. apl. ap07056
Darba vadītāja: lektore MSc Evita Kassaliete

RĪGA 2010

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, datorsalikumā uz 32 lapaspusēm. Tas satur 14 attēlus, 7 tabulas, 13 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: izpētīt zīlītes diametra, objekta izmēra un subjekta vecuma ietekmi uz acs fokusa dziļumu.

Metodika: fokusa dziļums tika mērīts, izmantojot Badāla lēcu sistēmas principu, nosakot fokusēšanas kļūdas apjomu, pie kura pacients ievēro pirmo tikko pamanāmo apmiglojumu. Tika izmantotas 3 izmēru zīlītes, 2 izmēru objekti. Subjekti pēc vecuma tika sadalīti 2 grupās.

Secinājumi: iegūtie rezultāti parāda, ka fokusa dziļuma pieaugums, samazinoties zīlītes izmēram, izmantojot šo iekārtu, ir statistiski nozīmīgs. Daļai subjektu fokusa dziļums pie lielāka objekta noteikti bija lielāks nekā pie mazāka, bet daļai nebija noteiktas tendences. Fokusa dziļuma pieaugums gados vecākiem cilvēkiem salīdzinājumā ar jauniem subjektiem netika pierādīts kā statistiski nozīmīgs, kaut arī vidējās fokusa dziļuma vērtības bija lielākas.

Atslēgas vārdi: fokusa dziļums, apertūra, Badāla lēcu sistēma

ABSTRACT

Bachelor work is written on 32 pages by computer in Latvian. It contains 14 figures, 7 tables. There are 13 references to literature.

Aim: to investigate dependence of depth of focus on aperture diameter, object's size and subject's age.

Methods: Badal lens system was used to measure the depth of focus (DOF). It was defined as the range of focusing errors for which subject perceive just noticeable blur. 3 different sizes of pupils and 2 sizes of objects were used in the experiment. Subjects were divided by age in 2 groups.

Conclusions: results show that increase of DOF was statistically significant as pupil size decreased. For half of subjects DOF was significantly larger when there were used larger object. For other subjects there were not significant tendency. Increase of DOF for older subjects was not statistically proven, although mean DOF for group of older subjects was larger than for younger subjects.

Key words: depth of focus, aperture, Badal lens system

Saturs

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS APSKATS	2
1.1. Fokusa dziļums	2
1.1.1. Fokusa dziļuma definīcija	2
1.1.2. Faktori, kas ietekmē fokusa dziļumu.....	4
1.2. Fokusa dziļuma mērīšanas metodes.....	10
1.3. Fokusa dziļums un subjekta novecošanās.....	13
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	15
2.1. Darba mērķis un uzdevumi	15
2.2. Subjekti	15
2.3. Iekārtas raksturojums	17
2.4. Metode	20
2.5. Rezultāti un to analīze.....	21
2.5.1. Eksperimenta iekārta	21
2.5.2. Zīlītes diametrs un fokusa dziļums.....	21
2.5.3. Objekta izmērs un fokusa dziļums	24
2.5.4. Subjektu vecums un fokusa dziļums	26
SECINĀJUMI	29
NOBEIGUMS	30
PATEICĪBAS	31
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	32

IEVADS

Fokusa dziļums ir nozīmīga optiska parādība acī. Tā kā fokusa dziļums tiek definēts kā fokusēšanas kļūdas apjoms, pie kura attēls joprojām subjektam šķiet skaidrs un ass, tad tas nozīmē, ka, pateicoties šai optiskajai īpašībai, iespējams skaidri saredzēt objektus par tad, ja stari nav ideāli fokusēti uz tīklenes. Šis ir nozīmīgs ieguvums gadījumos, kad acij ir neliela refrakcijas kļūda vai, piemēram, iztrūkstoša akomodācijas darbība.

Fokusa dziļumu visvairāk ietekmē zīlītes diametrs – jo mazāka zīlīte, jo lielāks fokusa dziļums. Vēl iepriekš veiktos pētījumos ir minēts, ka fokusa dziļumu ietekmē arī acs optisko vidu īpašības, aberācijas, redzes uztveres īpašības (redzes asums un kontrastjutība), kā arī objekta īpašības (izmērs, kontrasts, spožums).

Tiek pieņemts, ka fokusa dziļums ir palielināts gados vecākiem cilvēkiem, kuriem presbiopijas gadījumā bez akomodācijas darbības, skatoties caur konkrēta aditīva briļļu lēcām, izdodas tekstu lasīt noteiktā attāluma diapazonā, nevis noteiktā attālumā, kas atbilst briļļu stiprumam. Šāda īpašība tiek skaidrota ar miozi, kas saistīta ar subjekta acu novecošanos. Zīlīte ir šaurāka kā jaunam subjektam identiskos apgaismojuma apstākļos.

Šī bakalaura darba mērķis ir novērtēt efektu, kādu uz fokusa dziļumu atstāj zīlītes izmērs, objekta izmērs un subjekta vecums. Zīlītes izmēra ietekme jau iepriekš ir pierādīta, taču šajā gadījumā uzdevums ir pārbaudīt, vai arī ar šim eksperimentam radīto iekārtu šāda sakarība izpildās. Tiks novērtēta arī objekta izmēra ietekme.

Aktuālākais uzdevums ir izpētīt subjekta vecuma ietekmi uz fokusa dziļumu. Viens no uzdevumiem ir pārbaudīt, vai fokusa dziļums gados vecākiem subjektiem ir lielāks par fokusa dziļumu jaunam subjektam pat tad, ja abiem subjektiem ir vienāda izmēra zīlītes, tātad izslēdzot miozes ietekmi. Šāda faktora izpēte ļautu spriest par citiem faktoriem, kas ietekmē gados vecāka cilvēka redzes uztveri.

Lai izpildītu bakalaura darba mērķi un uzdevumus, tiks būvēta iekārta fokusa dziļuma mērīšanai atkarībā no dažādiem to ietekmējošiem faktoriem – tiks izmantoti dažādi zīlīšu izmēri un objektu izmēri.

1. LITERATŪRAS APSKATS

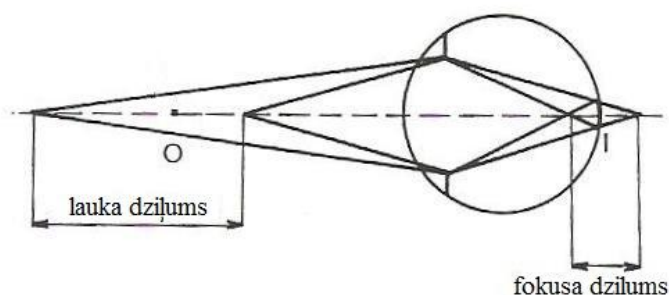
1.1. Fokusa dziļums

1.1.1. Fokusa dziļuma definīcija

Fokusa dziļums ir īpašība, kas nozīmīgi ietekmē kā iekārtu (piemēram, fotoaparātu) tā cilvēku un dzīvnieku acu optisko sniegumu. Šo parādību var novērot dabā praktiski, piemēram, tāds dzīvnieks kā žurka var skaidri saredzēt objektus 10 m līdz 10 cm attālumam bez akomodācijas mehānisma, vai arī attiecībā uz cilvēka redzi – kā presbiops bez tuvuma korekcijas, izmantojot *pinhole* apertūru, spēj lasīt avīzi. Minētajos piemēros acs optiskās spējas tiek uzlabotas, izmantojot fokusa dziļumu.[1]

Lai izprastu fokusa dziļuma jēdzienu, var pielietot dažādas definīcijas un skaidrojumus. Būtiski ir arī atšķirt jēdzienus „fokusa dziļums” un „lauka dziļums”, kas savā starpā ir cieši saistīti (skatīt 1.1. att.). Fokusa dziļums var tikt skaidrots kā attālums, kādā objekta attēls var tikt fokusēts pirms un aiz fokālā punkta (cilvēka acs gadījumā – tīklenes), neizraisot attēla asuma samazinājumu, kas pārsniegtu noteiktu, subjektam pieņemamu apjomu. Pie kam šis skaidrojums attiecas uz noteiktu optiskās sistēmas uzstādījumu vai arī acs gadījumā – uz noteiktu un nemainīgu akomodācijas stāvokli.

Lauka dziļumu iespējams skaidrot kā attālumu, kādā objekts var tikt pārvietots attiecībā pret optisku iekārtu ar noteiktiem uzstādījumiem vai noteiktā akomodācijas stāvoklī esošu aci, neizraisot attēla asuma samazinājumu, kas pārsniegtu noteiktu, subjektam pieņemamu līmeni.[2]



1.1. att. Fokusa dziļuma un lauka dziļuma ģeometriskā shēma [2]

Redzes zinātnē šos jēdzienus biežāk skaidro nevis ar attāluma izmaiņu, bet verģences izmaiņu. Šādā gadījumā fokusa dziļumu var definēt kā verģences izmaiņas diapazonu, kurā fokusēšanas kļūda neizraisa nozīmīgu un nepieņemamu tīklenes attēla kvalitātes pasliktināšanos.[3] Respektīvi, fokusa dziļums ir fokusēšanas kļūdas apjoms dioptrijās, pie

kura mērķa attēls šķiet esam ar tādu pašu skaidrību, asumu, kontrastu un formu, kā optimāli fokusēts attēls.

Fokusa dziļums ir nozīmīga īpašība, jo tas ietekmē to, cik precīzi ir refrakcijas stāvokļa mērījumi ar subjektīvām metodēm. Piemēram, pacienta refrakcijas noteikšanas vai akomodācijas amplitūdas mērījumu ticamība ir atkarīga no tā, cik precīzi ir pacienta lēmumi par optotipu asumu. Liels fokusa dziļums (tātad uztverei ir pieņemama liela fokusēšanas kļūda) samazina refrakcijas mērījumu ticamību un šķietami palielina akomodācijas amplitūdas mērījumu rezultātu.[4]

Fokusa dziļums ietekmē arī optisko instrumentu īpašības – attāluma amplitūdu, kādā mērķis ir skaidri redzams, piemēram, izmantojot palielināmos stiklus, mikroskopus un teleskopus. Šādām optiskajām ierīcēm iespējams tuvināti aprēķināt lauka dziļumu, kas savukārt ir atkarīgs no novērotāja acs fokusa dziļuma:

$$\Delta l_m = \Delta L / (16M^2),$$

kur Δl_m – objekta attāluma izmaiņa, ΔL - novērotāja acs fokusa dziļums, M – palielinājums.[3]

1.1.2. Faktori, kas ietekmē fokusa dziļumu

Daudz un dažādi parametri, savstarpēji iedarbojoties, nosaka fokusa dziļuma lielumu. Apkārtējās vides apstākļi, novērojamā objekta īpašības, acs optiskās īpašības nosaka to, cik augsta kvalitāte būs attēlam uz tīklenes. Savukārt tīklenes attēla kvalitātes pazeminājums defokusa dēļ ietekmē fokusa dziļumu.

Defokusa apjoms nosaka tīklenes attēla kvalitāti. Defokusu rada apkārtējās vides un acs iekšējie faktori. Attēla fokusēšana uz tīklenes ir galvenokārt atkarīga no acs refrakcijas un akomodācijas kļūdām. Bez šiem faktoriem defokusa apjomu ietekmē difrakcija, dažādas aberācijas un gaismas izkliede acī. Difrakciju un aberācijas ietekmē acs zīlītes darbība.[5]

Visus faktoros iespējams iedalīt šādās grupās:

- 1) Acs optiskās īpašības (zīlītes diametrs, akomodācija, monohromatiskās un hromatiskās aberācijas, difrakcija);
- 2) Redzes uztveres īpašības (fotoreceptoru izmērs un ganglionāro šūnu blīvums, redzes asums un kontrastjutība, redzes ceļu saslimšanas);
- 3) Objekta īpašības (spožums, detaļu izmērs, kontrasts).[3]

Turpmāk šajā nodaļā tiks atsevišķi raksturoti šie faktori, kas, viens otru ietekmējot, nosaka fokusa dziļuma lielumu.

1.1.2.1. Defokuss

Defokuss ir galvenais kritērijs, kurš nosaka sliekšni, zem kura detektors nekonstatē izmaiņas vai virs kura kvalitātes pazeminājums ir uztverei nepieņemams. Respektīvi, detektoram ir defokusa sliekšņa līmenis, zem kura attēls tiek uztverts kā nemainīgi fokusēts. Konkrēta detektora fokusa dziļuma ietvaros izmaiņas nebūs novērojamas.[6] Tā kā defokusētas sistēmas gadījumā punkta attēls nebūs ideāli fokusēts un ass punkts, bet neskaidrs, izplūdis disks, tad detektora jutību noteiks tā elementu lielums. Ja izplūduma diska diametrs būs mazāks par detektora uztverošo elementu, tad sistēma nespēs pamanīt defokusu. Apmiglojums tiks pamanīts, tiklīdz izplūduma diska izmērs pārklās vismaz 2 detektora elementus. Šāds vienkāršots defokusa skaidrojums pieņemts sistēmai bez aberācijām un difrakcijas, tāpēc, to izmantojot, nevar precīzi paredzēt acs fokusa dziļumu, taču tas dod vispārīgu priekšstatu par defokusa ietekmi uz fokusa dziļumu.[3]

Lai noteiktu fokusa dziļuma skaitlisko vērtību saistībā ar defokusa apjomu, iespējams vadīties pēc dažādiem kritērijiem lēmuma pieņemšanai. Šie kritēriji ir atkarīgi no dažādiem

optiskiem, neirāliem un psiholoģiskiem faktoriem. Tātad fokusa dziļuma skaitlisko vērtību var noteikt, vērtējot fokusēšanas kļūdas apjomu, kurā:

- 1) nav uztverams mērķa apmiglojums;
- 2) redzes asums vai kontrastjutība nepazeminās zem konkrēta līmeņa;
- 3) netiek pamanītas kontrasta izmaiņas mērķim, kas atrodas longitudinālā un sinusoidālā kustībā (mērķis tiek tuvināts un attālināts no acs līdz izvīrze no viduspunkta sasniedz līmeni, kad tiek pamanīta kontrasta izmaiņa);
- 4) nemainās akomodācijas atbilde;
- 5) attēls uz tīklenes tiek degradēts zemāk par noteiktu līmeni vai vairāk par noteiktu apjomu.[3]

1.1.2.2. Acs optiskās īpašības

Gaismas īpašības un acs uzbūve nosaka to, ka uz tīklenes nevar tikt veidots ideāli fokusēts attēls. Vienmēr pastāv jau iepriekš minētais defokusa apjoms. Jebkura objekta attēls uz tīklenes ir mazliet neskaidrs, jo attēls tiek kropļots dažādu optisku faktoru dēļ. Cilvēka uztvere tomēr nodrošina to, ka par spīti šim apmiglojumam attēls tiek apstrādāts un uztverts kā ass un skaidrs.[5]

Difrakcijas dēļ apaļā apertūrā punkta attēls ir Airī disks. Difrakcijas efektu acī ietekmē zīlītes diametrs. Šī Airī diska leņķiskais izmērs radiānos acī ir nosakāms pēc šādas formulas:

$$\omega = 2,44\lambda / D,$$

kur ω - gaismas viļņa garums un D – zīlītes diametrs.[7] Tādēļ difrakcija samazinās, palielinoties zīlītes diametram un samazinoties viļņa garumam.

Pretēji difrakcijai **monohromatiskās aberācijas** radītais efekts palielinās līdz ar zīlītes diametra palielināšanos. Aberācijas galvenokārt rodas dažādu individuālu acs ārējo un iekšējo virsmu asimetriju dēļ. Interesanta sakarība saista radzenes un lēcas virsmu liekumus. Bieži vien aberācijas, ko rada lēca, kompensē tās, ko rada radzenes asimetrija.

Tā kā atšķiras gaismas laušanas indeksi dažādām acs vidēm, tad attēla kvalitāti ietekmē arī **hromatiskā aberācija**. Lielāko efektu rada longitudinālā hromatiskā aberācija, kuras gadījumā rodas situācija, ka īsie redzamās gaismas viļņu garumi lūst pirms tīklenes (acs ir miopiska attiecībā pret zilās gaismas spektru), taču garie viļņu garumi šķietami lūst aiz tīklenes (acs ir hipermetropiska attiecībā pret sarkanās gaismas spektru).

Gaismas izkliede acī ir novērojama tāpēc, ka neviena optiskā vide acī nav ideāli caurspīdīga. Šāda izkliede ir salīdzinoši maz ievērojama jaunu subjektu acīs, taču, pieaugot

vecumam, gaismas izkliede acs lēcā pieaug, tādējādi izraisot subjektīvi jūtamā efektu. Īpaši spēcīgi gaismas izkliedi acī var izjust, braucot automašīnā diennakts tumšajā laikā.[5]

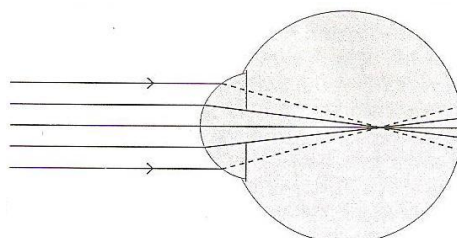
1.1.2.3. Zīlītes izmērs

Kā jau iepriekš minēts, zīlītes darbība gan cilvēka acī, gan optiskā iekārtā ietekmē fokusa dziļumu, jo tās izmērs ietekmē citas optiskās īpašības.

Galvenie faktori, kas ietekmē zīlītes diametra izmaiņas ir gaismas daudzums apkārtējā vidē un neirāli refleksi, kurus realizē parasimpatiskā (zīlītes sašaurināšanās) un simpatiskā (zīlītes paplašināšanās) nervu sistēma. Šīs nervu sistēmas daļas attiecīgi ietekmē zīlītes sfinkteri (sašaurinātājmuskuli) un dilatatoru (paplašinātājmuskuli). Zīlītes izmēru ietekmē arī citi faktori – emocionālais stāvoklis, zāļu vielas un organisma pārmaiņas novecojot.[5]

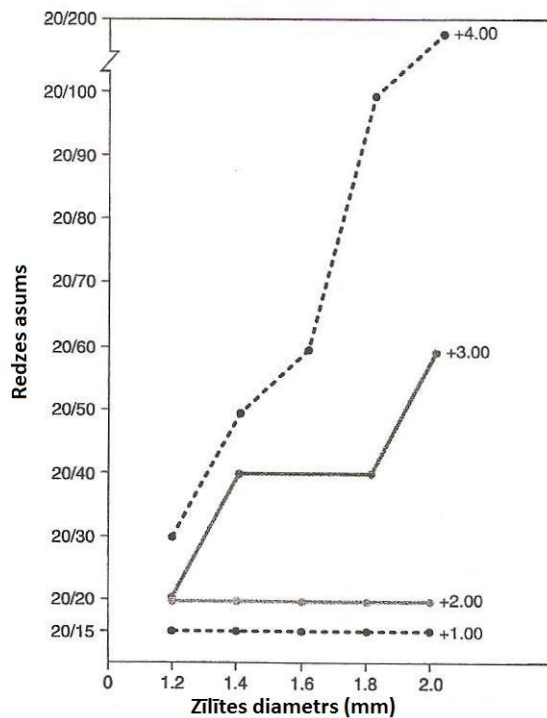
Zīlīte kalpo kā apretūra acī, kas ietekmē tās optiskās īpašības. Zīlītes diametra izmaiņas ietekmē gaismas daudzumu, kas nonāk uz tīklenes, difrakcijas efektus, optiskās aberācijas. Mainot šos parametrus, zīlītes diametrs arī ietekmē fokusa dziļumu.

Kā jau iepriekš minēts, samazinoties zīlītes izmēram, samazinās attēla izplūdums uz tīklenes. 1.2. attēlā shematiski parādīts, kā samazināts zīlītes izmērs ietekmē staru gaitu un attēla veidošanos uz tīklenes.



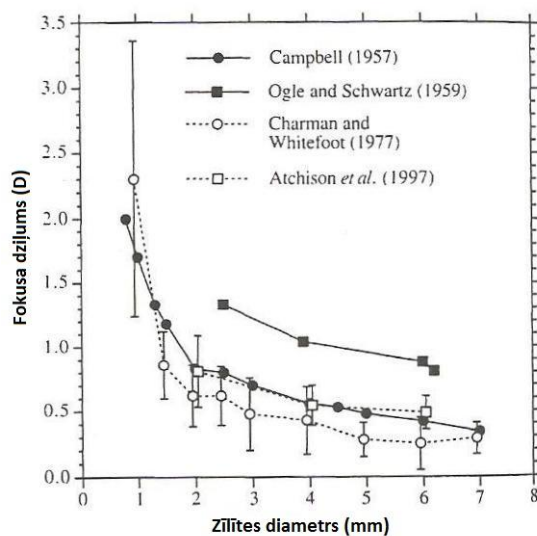
1.2. att. Zīlītes izmērs un izplūduma diska izmērs [5]

Zīlītes izmēra samazinājums palīdz iegūt skaidrāku attēlu pat tad, ja pastāv nekoriģēta fokusēšanas kļūda. Piemēram, dabā šādu īpašību var novērot, kad nekoriģēts miops pacients samiedz acis, tādējādi iegūstot skaidrāku attēlu uz tīklenes.[5] 1.3. attēlā redzami pētījumu rezultāti, kuros pacientiem tika mērīts redzes asums, acs priekšā pieliekot apmiglojošu lēcu un maksimālu apertūru, kuras izmērs tika mainīts amplitūdā no 1 līdz 2 mm. Iespējams salīdzināt, cik strauji pie attiecīga zīlītes izmēra izmaiņas redzes asums skatoties caur lēcām, kuru stiprums ir no +1 līdz +4 D. Piemēram, subjekts var sasniegt redzes asumu 20/40 (0,5), skatoties caur +3 D stipru lēcu, izmantojot apretūru, kuras diametrs ir 1,8 mm, taču, skatoties caur +2 D apmiglojošu lēcu, redzes asums saglabājas 20/20 (1,0), ja zīlīte nav lielāka par 2 mm.[1]



1.3. att. Redzes asuma atkarība no zīlītes diametra, izmantojot dažādas apmīglojošās lēcas [1]

Tātad, kā iepriekš minēts, ja zīlīte ietekmē attēla kvalitāti uz tīklenes, tad pastāv sakarība starp zīlītes diametru un fokusa dziļumu. Ir veikti dažādi pētījumi, lai noskaidrotu, kāda ir šī sakarība attiecībā uz cilvēka aci. 1.4. attēlā redzams vairāku pētījumu rezultātu apkopojums. Šajos eksperimentos ar dažādām metodēm ir mainīta vergence gaismai, kas nāk no mērķa, un izdarīts mērījums pie stāvokļa, kad pacients tikko pamana, ka mērķis ir izplūdis.

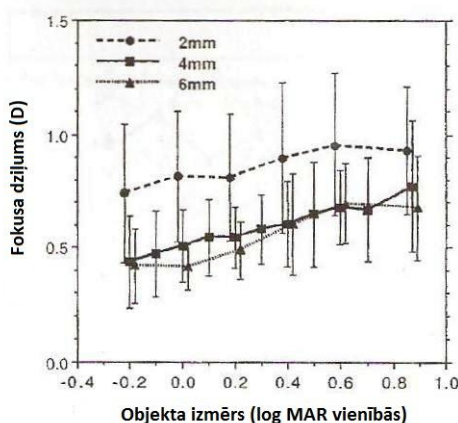


1.4. att. Fokusa dziļums atkarībā no zīlītes diametra [3]

Redzams, ka pieaugot zīlītes diametram samazinās fokusa dziļums, pie tam – jo mazāka zīlīte, jo straujām tas notiek. Savā starpā eksperimentu rezultāti atšķiras, jo izmantotas dažādas metodes fokusa dziļuma noteikšanai.

1.1.2.4. Objekta izmērs

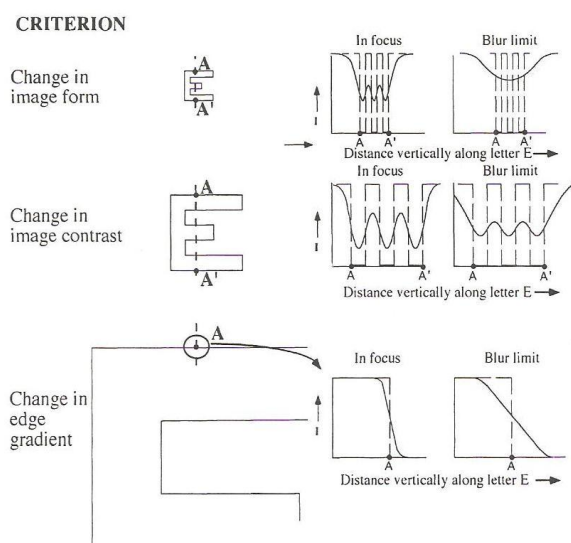
Atchison et al. ir veicis eksperimentus, kuros izpētīts, kā fokusa dziļums mainās pie dažāda izmēra objektiem. 1997. gadā veiktajā pētījumā tika izmantoti 11 optotipi (E burti), kuru izmērs mainījās amplitūdā no -0,2 log MAR vienībām (atbilstoši decimālajai sistēmai redzes asums 1,6) līdz 0,7 log MAR vienībām (redzes asums 0,2). 1.5. attēlā apkopoti redzami šī eksperimenta rezultāti.



1.5. att. Fokusa dziļums atkarībā no objekta izmēra un zīlītes diametra [4]

Šajā grafikā vienlaicīgi parādīti eksperimenta rezultāti ar dažāda izmēra zīlītēm un dažāda izmēra objektiem. Analizējot rezultātus, var secināt, ka palielinoties objekta izmēram, palielinās arī fokusa dziļums.[4]

Šādas izmaiņas fokusa dziļumā pie dažāda izmēra optotipiem var izskaidrot, analizējot to, kā defokuss ietekmē dažāda izmēra optotipus. Jo mazāka ir objekta telpiskā frekvence, respektīvi, jo šaurākas ir līnijas, kas veido objektu, jo mazāks defokusa līmenis būs nepieciešams, lai defokusa radītais izplūdums padarītu līnijas neizšķiramas.[3] Attēlā 1.6. redzams, kā atšķiras defokusa ietekme uz dažādās telpiskās frekvences objektiem.

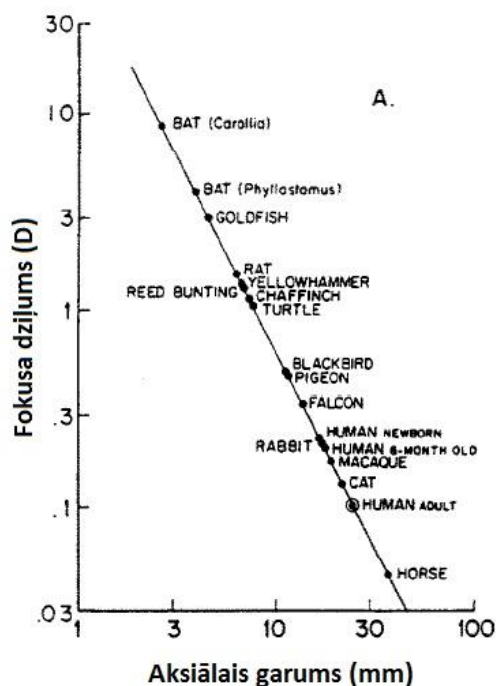


1.6. att. Modelis, pēc kura subjekts nosaka tikko uztveramo apmieglojumu optotipiem [3]

Modelī redzams, ka objektiem ar mazu telpisko frekvenci, tikko pamanāmo apmieglojumu subjekts nosaka, vadoties pēc objekta formas izmaiņas. Ja objekta telpiskā frekvence ir lielāka, tad tikko manāmā apmieglojuma sliekšnis tiek noteikts, pamanot izmaiņas objekta kontrastā. Lieliem objektiem subjekts apmieglojumu nosaka, vērtējot izmaiņu tieši uz objekta detaļas robežas.

1.1.2.5. Acs aksiālais garums

Green et al. ir pētījuši, kā atšķiras fokusa dziļums dažāda izmēra acīm. Pētījumā salīdzināti dažādi dzīvnieki, kuru acs garumi atšķiras. Lai varētu salīdzināt fokusa dziļumu dažādu sugu dzīvnieku acīs, tika pieņemts, ka punkta izplūduma diska diametrs, kas nepieciešams, lai uztvertu fokusēšanas kļūdu visās acīs ir vienāds. Dabā tā, protams, nav, taču šajā gadījumā netiek ņemti vērā neirāli faktori.[8] 1.7. attēlā redzams. Kā mainās fokusa dziļums atkarībā no acs aksiālā garuma.



1.7. att. Fokusa dziļums atkarībā no acs aksiālā garuma [8]

1.7. attēls demonstrē, ka, ja visu acu apmieglojuma jutība būtu tāda pati kā cilvēka acij, tad fokusa dziļums būtu apgriezti proporcionāls acs garuma kvadrātam.[8]

1.2. Fokusa dziļuma mērīšanas metodes

Vadoties pēc fokusa dziļuma definīcijas un skaidrojumiem (ieskats dots 1.1.1 nodaļā), iespējams izstrādāt dažādas metodes, kā noteikt fokusa dziļuma skaitlisko vērtību pacientiem. Tā kā fokusa dziļums tiek definēts kā fokusēšanas kļūdas apjoms, pie kura subjekts attēlu uztver tik pat skaidru kā optimāli fokusētu attēlu, tad fokusa dziļuma noteikšana ir cieši saistīta ar apmiglojuma uztveri.[4] Vadoties pēc šāda kritērija, dažādos pētījumos ir izstrādātas un izmantotas atšķirīgas metodes, kā noteikt fokusa dziļumu subjekta acī. Šajā nodaļā turpmāk tiks dots ieskats metodēs, kādas izmantotas dažādos fokusa dziļuma pētījumos.

Campbell fokusa dziļumu savos pētījumos noteicis, izmantojot fiksējamo objektu pārvietošanu telpā. Eksperimentā tika izmatotas 3 stikla plāksnes, uz kurām bija izvietoti melni punkti (izmērs 10 loka minūtes). Plāksnes tika novietotas viena otrai priekšā pret subjektu. Vidējā plāksne, kas atradās 50 cm attālumā bija fiksēta, taču priekšējā un mugurējā bija pārvietošanas. Pacientam, skatoties uz vidējās plāksnes punktiem, bija jātuvina priekšējā un aizmugurējā plāksne vidējai, līdz punkti uz visām plāksnēm izskatījās vienādi aci un skaidri. Šajā pētījumā akomodācija netika ietekmēta. Vidējais rezultāts pacientu grupai (7 subjekti) bija $\pm 0,44$ D.[4]

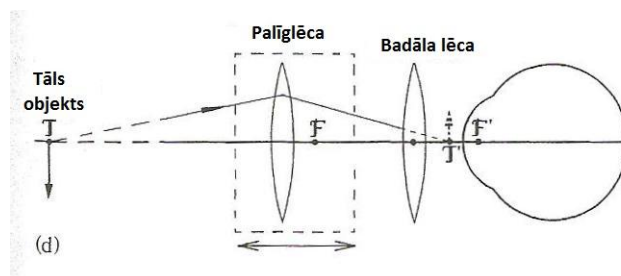
Oshima pētījumā izmantoja optisku sistēmu, caur kuru skatoties, pacients objektu vēroja caur diviem kanāliem. Objekta augšējā daļā attēls netika izmainīts, taču apakšējā daļā optiskais kanāls tika saīsināts vai pagarināts, līdz pirmo reizi pacients pamanīja, ka objekta apakšējā daļa ir kļuvusi miglaināka. Šī pētījuma rezultāti uzrādīja subjektiem ļoti mazu fokusa dziļumu – tikai $\pm 0,05$ D. Tas varētu būt noticis tādēļ, ka šajā mērījumā pacients izdarījis lēmumus saistībā ar Vernjē asumu, nevis vērtējis apmiglojumu.[4]

Šie abi pētījumi ir veikti salīdzinoši sen – pagājušā gadsimta 50-to gadu beigās. Pētījumos, kas tuvāki mūsdienām, tiek izmantotas optiskas sistēmas, kas maina gaismas verģenci, kas nonāk uz tīklenes pacienta acī. Piemēram, pēc šāda principa izveidotu Badāla lēcu sistēmu savos pētījumos izmanto *Atchison* et al.

Badāla lēcu sistēmas pamatā ir optometra princips. Optometrs ir ierīce, ar kuras palīdzību iespējams subjektīvi (pacientam pašam jāpieņem lēmums par attēla asumu) mērīt refrakcijas kļūdas. Vienkāršākais optometrs sastāv no pārvietoājama mērķa un vienas pozitīvas lēcas. Attēla verģence ir atkarīga no mērķa novietojuma. Pacients, skatoties cauri lēcai, tuvina mērķi, līdz no sākotnēji miglaina mērķa attēla tiek pirmo reizi iegūts ass attēls. Pozīcija, kādā pacients pēc šādas instrukcijas novieto mērķi, norāda to, kāda ir acs refrakcijas kļūda. Emetropiskas acs gadījumā (pie atslābinātas akomodācijas) mērķis tiks novietots optometra

lēcas priekšējā fokusā. Hipermetropijas gadījumā pacients mērķi novietos tālāk par lēcas priekšējo fokusu. Miopijas gadījumā pacients mērķi novietos lēcai tuvāk par fokālo punktu.[3]

1.8. attēlā redzama viena no Badāla sistēmas variācijām.



1.8. att. Badāla lēcu sistēma [3]

Ja Badāla lēcu sistēmā ir arī papildus lēca, kā redzams 1.8. attēlā, tad tas dod priekšrocības šai optiskajai sistēmai. Tuvs objekts (kāds nepieciešams vienkāršākajā optometra variantā) tiek aizvietots ar tālu esošu objektu, jo papildu lēca Badāla lēcai kā mērķi rada virtuālu objektu. Šādā veidā tiek palielināts negatīvo vergēncu diapazons, tiek palielināta telpiskā izšķirtspēja, kā arī tiek novērsta proksimālā akomodācija.

Šāda veida optometra radīto vergenci var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$Q = -F - F^2(1 - dF_a)/F_a,$$

kur Q – vergence (D), F – Badāla lēcas stiprums (D), F_a - palīglēcas stiprums (D), d – attālums starp lēcām (m). Savukārt šādas sistēmas radīto palielinājumu tuvināti var aprēķināt pēc šādas formulas (gadījumā, kad attālums no acs līdz objektam ir pietiekami liels – vismaz 8 metri):

$$M = -F/F_a,$$

kur M – palielinājums, F – Badāla lēcas stiprums (D), F_a - palīglēcas stiprums (D). Ja attālums līdz objektam samazinās, tad pieaug atšķirība starp palielinājumu atšķirības pie dažādiem attālumiem starp optometra lēcām. 1.1. tabulā redzams, kā mainās palielinājumi atkarībā no tā, cik tālu no pacienta acs atrodas objekts, ja sistēma sastāv no +5 D un -6 D lēcas.[9]

1.1. tabula

Palielinājumi un vergences pie dažādiem attālumiem starp objektu un aci [9]

Attālums no objekta līdz acij	d=0		d=0,20 m	
	H	Q (D)	H	Q (D)
3,0 m	0,843	-1,07	0,904	3,92
6,0 m	0,838	-0,95	0,867	4,05
8,6 m	0,837	-0,91	0,857	4,08
∞	0,833	-0,83	0,833	4,17

Lai palielinājuma kļūda būtu mazāka nekā 5 % un vergences kļūda mazāka par 0,12 D, attālumam starp pacienta aci un objektu jābūt vismaz 6 m. [9]

Fokusa dziļuma pētījumos var veiksmīgi pielietot šādu optometra principu. Ar lēcu sistēmas palīdzību tiek mainīta gaismas vergence, līdz ar to – arī attēla kvalitāte uz pacienta acs tīklenes. Pacients pats pārvieto palīglēcu un novieto kādā konkrētā pozīcijā, kas atbilst dotajiem norādījumiem. Šādā veidā var mērīt ne tikai tieši fokusa dziļumu, kas atbilst tikko manāmajam apmīglojumam, bet arī citas pozīcijas. Piemēram, *Atchison* et al. 2005. gadā veicis pētījumu, kurā noteicis limitus pamanāmajam, traucējošajam un nepieņemtajam apmīglojumam. Eksperimentā, izmantojot Badāla lēcu sistēmu, pacientam bija jāizmaina lēcu pozīcija, lai attiecīgi nonāktu līdz katram no iepriekš minētajiem stāvokļiem. Eksperiments tika veikts, izmantojot 3 dažādu izmēru apertūras acs priekšā un dažāda izmēra objektus. Pacienti tika instruēti, pārvietojot palīglēcu, atrast skaidrāko attēlu (visasāko, kādu iespējams iestādīt), tikko manāmo apmīglojumu (pirmo reizi pamanītas izmaiņas burtu asumā), tikko traucējošo apmīglojumu (pirmo reizi apmīglojums sāk traucēt uztveri, taču joprojām iespējams burtus salasīt) un tikko nepieņemamo apmīglojumu (apmīglojuma līmenis, kuru grūti pieņemt, ir grūtības izlasīt tekstu). Eksperimenta rezultātā tika iegūts, ka pamanāmā apmīglojuma līmenis tika sasniegts pie $\pm 0,33$ D, $\pm 0,30$ D un $\pm 0,28$ D attiecīgi izmantojot 3 mm, 4 mm un 6 mm zīlītes. Traucējošā un nepieņemamā apmīglojuma līmenis tika sasniegts attiecīgi pie 1,6-1,8 un 2,1-2,5 reizu lielākām vergences izmaiņām nekā pamanāmais apmīglojums.[10]

Fokusa dziļuma pētījumos var izmantot arī objektīvas metodes. Piemēram, *Vasudevan* et al. 2005. gadā veiktajā pētījumā izmantota iekārta *Power Refractor II*, ar kuru tika objektīvi vērtēta pacienta acs akomodācijas darbība eksperimenta laikā. Šajā eksperimentā tika iegūts, ka vidējais objektīvi noteiktais fokusa dziļums ir robežās no ± 46 D līdz $\pm 0,81$ D, vidēji ± 61 D.[11]

1.3. Fokusa dziļums un subjekta novecošanās

Cilvēkam novecojot arī acīs tāpat kā visā organismā notiek pārmaiņas. Ar novecošanos saistītās pārmaiņas tiek uzskatītas par normālām un paredzamām, tās neuzskata par patoloģiskiem stāvokļiem. Šajā apakšnodaļā tiks dots ieskats pārmaiņās, kas noris acīs, cilvēkam novecojot, kā arī aprakstīti iespējamie iemesli, kas var palielināt fokusa dziļumu gados vecākiem cilvēkiem salīdzinājumā ar jaunu subjektu.

Kopumā par pārmaiņu ietekmi var spriest pēc pacienta redzes spējām, piemēram, lai salīdzinātu dažādas vecuma grupas, kā salīdzināmo faktoru var lietot redzes asumu. Pēc *Weymouth* un *Hirsch* datiem vecuma grupā no 40 līdz 44 gadiem 93,5 % pacientu koriģētais redzes asums ir 1,0 vai labāks, taču vecuma grupā no 70 līdz 74 gadiem tikai 41,9 % pacientu koriģētais redzes asums ir 1,0 vai labāks un 56,1 % pacientu redzes asums ir 0,5 un labāks.

Cilvēka acī novecošanās process dažādi ietekmē dažādas acs daļas un uztveri. Pārmaiņas acs radzenē ir saistītas ar radzenes liekuma izmaiņām. Mainās izliektākā radzenes meridiāna virziens. Novecojot izmainās arī acs priekšējā kamera. Pēc *Weale* datiem priekšējās kameras dziļums samazinās no vidēji 3,6 mm 20 gadu vecumā līdz vidēji 3,0 mm 70 gadu vecumā, šīs pārmaiņas izraisa acs lēcas augšana.

Viena no vispamanāmākajām izmaiņām skar varavīksneni. Gados vecākiem subjektiem raksturīga senilā mioze. Senilās miozes gadījumā zīlītes izmērs ir samazināts, kā arī novecojot arvien samazinās zīlītes diametra atšķirības starp gaismas adaptācijas un tumsas adaptācijas stāvokļiem. Šīs miozes rezultātā samazinās apgaismojuma daudzums uz tīklenes, kā arī tiek samazināts izplūduma diska (skatīt nodaļu 1.1.2.1.) izmērs, ja acs neatrodas ideāli fokusētā stāvoklī pret doto fiksācijas objektu. Šādā veidā var šķietami tikt samazināts refraktīvās kļūdas lielums vai arī pārvērtēts akomodācijas lielums.

Acs lēca, cilvēkam novecojoties, arī mainās. Acs lēca aug visu dzīves laiku, tādējādi kļūstot arvien biezāka. Mainās arī lēcas satura caurspīdīgums – lēcas saturs kļūst arvien dzeltenīgāks. Tādējādi lēcā tiek absorbēts arvien lielāks gaismas daudzums.

Izmaiņas skar arī redzi saistībā ar neirālo darbību. No šāda viedokļa var vērtēt ar dažādiem testiem nosakāmus redzes parametrus un īpašības – redzes asumu, redzeslauka izmēru un formu, binokulārās funkcijas, krāsu uztveri. Taču domājot par fokusa dziļumu, viens no iespējamiem faktoriem, kas var ietekmēt tā izmaiņas ir kontrastjutība. Pēc *Sekuler* un *Hutmann* datiem vecāka gada gājuma pacientu kontrastjutība pie zemām telpiskajām frekvencēm (zem 4 cikliem uz grādu) ir apmēram tikai viena trešdaļa no jauna pacienta kontrastjutības. Tomēr *Sekuler* vēlāk veiktos pētījumos, kuros rūpīgāk tika sekots līdzī labākās korekcijas piemeklēšanai un tam, lai eksperimenta subjektiem nebūtu nekādu

saslimšanu, kas ietekmētu rezultātu, tika noskaidrots, ka vecākiem pacientiem kontrastjutība pārsvarā ir samazināta pie vidējām un augstām telpiskajām frekvencēm un ka kopējās kontrastjutības līknes pīķis ir samazināts, un tas ir pārvirzīts uz zemo frekvenču pusi.[12]

Ir veikti pētījumi arī saistībā ar aberāciju izmaiņām acī, pacientam novecojot. Tā kā aberāciju apjoms ietekmē tīklenes attēla kvalitāti, tad tas ir nozīmīgs faktors arī saistībā ar fokusa dziļumu. *Jenkins* savos pētījumos salīdzinot pacientus vecuma amplitūdā no 2 līdz 60 gadiem secināja, ka, palielinoties pacienta vecumam, palielinās pozitīvās sfēriskās aberācijas apjoms. *Artal et al.* un *Guirao et al.* savos pētījumos noskaidroja, ka vecākiem pacientiem pie jebkāda zīlītes izmēra ir zemāka tīklenes attēla kvalitāte. [3]

Elliott et al. 2007. gadā veica pētījumu, kura mērķis bija pētīt novecošanos un adaptāciju pie apmieglojuma. Šajā pētījumā pacientiem bija jāadaptējas apmieglotam attēlam (tika izmantotas dabas materiālu fotogrāfijas), un pēc tam jāiestāda labākā fokusa pozīcija. Pētījuma rezultāti parādīja, ka gados vecāko pacientu grupā vidēji par labākā fokusa pozīciju tika atzīta pozīcija, kurā attēls joprojām bija mazliet apmieglots. [13]

Tāpat kopumā var secināt, ka fokusa dziļumu var ietekmēt pārmaiņas organismā, kas noris tam novecojot. Fokusa dziļumu var ietekmēt kā optiski faktori tā neirāli adaptācijas faktori.

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis: izpētīt zīlītes diametra, objekta izmēra un subjekta vecuma ietekmi uz acs fokusa dziļumu.

Darba uzdevumi:

1. uzbūvēt iekārtu, ar ko nomērīt subjektu acs fokusa dziļumu;
2. novērtēt, kā zīlītes diametrs ietekmē fokusa dziļumu;
3. novērtēt, kā objekta izmērs ietekmē fokusa dziļumu;
4. novērtēt, kā subjekta vecums ietekmē fokusa dziļumu.

2.2. Subjekti

Eksperimentā kopumā piedalījās 9 subjekti, kuri tika sadalīti 2 grupās – jauni subjekti jeb „nepresbiopi” un gados vecāki subjekti jeb „presbiopi”. No subjektiem 7 bija sievietes, 2 bija vīrieši. „Nepresbiopu” grupā eksperimentā piedalījās 6 subjekti, kuru vecums bija robežās no 21 līdz 32 gadiem, vidējais vecums 23 gadi. „Presbiopu” grupā bija 3 subjekti, kuru vecums bija robežās no 61 līdz 66 gadiem, vidējais vecums 64 gadi. Tabulā 2.1. redzams subjektus raksturojošo parametru apkopojums.

2.1. tabula

Subjektu raksturojums

N.p.k.	Subjekts	Vecums (gados)	Grupa	Labās acs korekcija
1.	A	21	Nepresbiops	+1,0 D sph
2.	B	21	Nepresbiops	+0,25 D sph -0,50 D cyl x 100
3.	C	22	Nepresbiops	+1,25 D sph
4.	D	32	Nepresbiops	+1,0 D sph +0,25 D cyl x 95
5.	E	22	Nepresbiops	pl D sph +0,75 D cyl x 30
6.	F	24	Nepresbiops	pl D sph +0,75 D cyl x 30
7.	G	61	Presbiops	+0,25 D sph
8.	H	66	Presbiops	pl D sph +1,0 x 160
9.	I	64	Presbiops	-1,0 D sph -0,50 D cyl x 90

Subjekti tika izvēlēti tā, lai pacienta refrakcija būtu pēc iespējas tuvāka emetropijai. Tas tika darīts tādēļ, lai pēc iespējas novērstu liela stipruma korekcijas lēcu ietekmi uz attēla kvalitāti. Subjektiem netika konstatētas nekādas acu saslimšanas, kas varētu ietekmēt

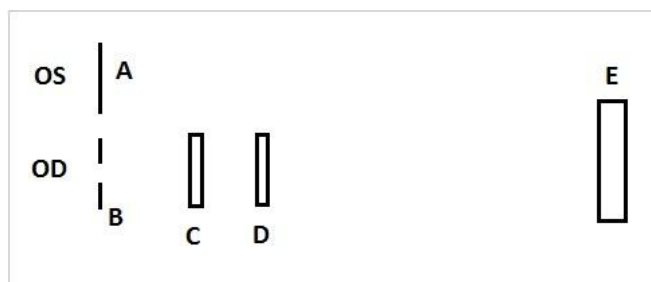
eksperimenta rezultātus. Kvalificēts optometrists visiem pacientiem piemeklēja labāko korekciju. Korekcija tika noteikta tikai labajai subjekta acij, jo eksperimenta gaitā fokusa dziļums tika mērīts vienai acij.

Visiem pacientiem pirms eksperimenta veikšanas tika veikta cikloplēģija, lai paplašinātu zīlīti un nodrošinātu akomodācijas atslābināšanu. „Nepresbiopu” grupas pacientiem cikloplēģijai tika lietots medikaments *Cyclogyl 0,1%*. Savukārt „presbiopu” grupai tika lietots medikaments *Mydriacyl 0,5%*, lai efekts būtu īsāks un tādā veidā tiktu samazināta akūtas glaukomas lēkmes iespējamība. „Presbiopu” grupas subjektu acu stāvokli pirms eksperimenta novērtēja oftalmologs – spraugas lampā tika novērtēts priekšējās kameras dziļums, pirms un pēc eksperimenta tika novērtēts acs spiediens ar *Air-puff* metodi.

2.3. Iekārtas raksturojums

Pirmais darba uzdevums bija izveidot iekārtu, ar ko mērīts subjekta acs fokusa dziļumu. Šim nolūkam tika izmantots Badāla lēcu sistēmas (skatīt 1.2. apakšnodaļu) princips, ar kuru pakāpeniski mainīt gaismas vergenci, kas nonāk uz pacienta tīklenes.

Eksperimenta iekārtas shēma redzama 2.1. attēlā.



2.1. att. Eksperimenta iekārtas shēma.

Apzīmējumi: A – oklūderis, B – apertūra, C - +5,0 D lēca, D - -6,0 D lēca, E - ekrāns

Subjekta galvas pozīcija tika fiksēta ar pieres un zoda balsta palīdzību. Labajai acij nepieciešamās korekcijas lēcas un attiecīgajā eksperimenta daļā nepieciešamā apertūra tika ievietota provē rāmī, kreisās acs priekšā atradās oklūderis. Attālums no subjekta sejas līdz lēcu sistēmai bija 15 cm. Lēcu sistēma sastāvēja no +5,0 D lēcas, kas bija fiksēta vienā pozīcijā un -6,0 D lēcas, kura bija pārvietojama. Lēcas atradās uz vienas optiskās ass. -6,0 D lēcu bija iespējams pārvietot, griežot pogu. Tādā veidā tika nodrošināta lēna un vienmērīga lēcas pozīcijas maiņa. Poga atradās tuvu subjektam, lai būtu ērti mainīt lēcas novietojumu un izdarīt pietiekami daudzus lēcas pozīcijas regulējumus, lai pieņemtu lēmumu par attēla kvalitāti. Ekrāns, uz kura tika rādīti optotipi, atradās 5,1 m attālumā no subjekta.

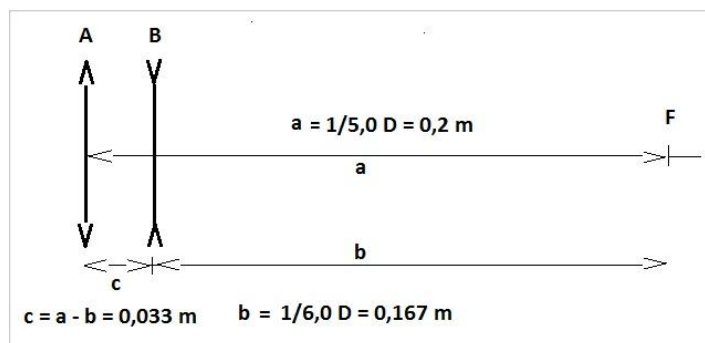
Eksperimenta iekārtas fotogrāfija redzama 2.2. attēlā.



2.2. att. Lēcu sistēma eksperimenta veikšanai

Tā kā fokusa dziļums tiek definēts kā tīklenes attēla fokusēšanas kļūda, kuras ietvaros subjekts iegūto attēlu novērtē kā tik pat skaidru un asu kā optimāli fokusētu attēlu (skatīt 1.1.1. apakšnodaļu), tad šī bakalaura darba eksperimenta veikšanai tika uzbūvēta šī iekārta un izstrādāta metodika, lai atbilstu šai fokusa dziļuma definīcijai.

Lai apmiglotu attēlu uz eksperimenta dalībnieka tīklenes, ar eksperimenta iekārtas palīdzību tika izmainīta vergence, gaismai, kas nonāk subjekta acī. Vergences izmaiņa tika panākta ar negatīvās lēcas pārvietošanu optiskajā sistēmā. Lēcu sistēmas optiskā shēma attēlota 2.3. attēlā.

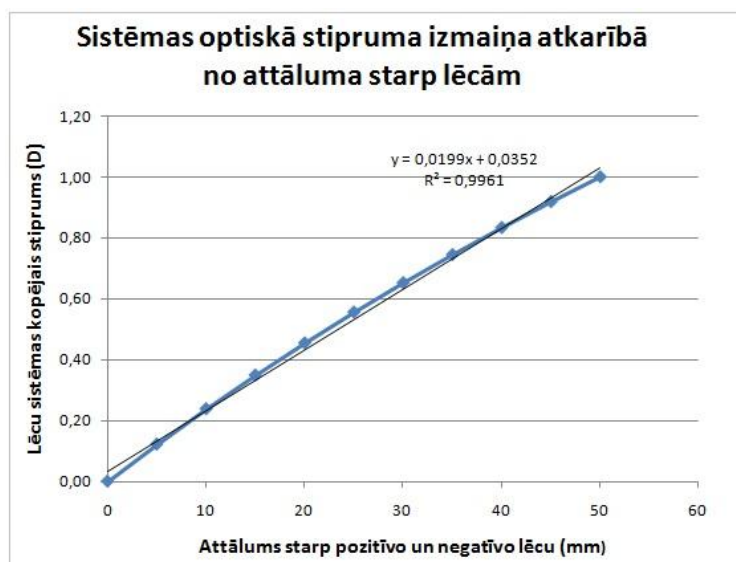


2.3. att. Lēcu sistēmas optiskā shēma.

Apzīmējumi: A - +5,0 D lēca, B - -6,0 D lēca, a – A lēcas fokusa attālums, b – B lēcas fokusa attālums, c – attālums starp lēcām, kad abu lēcu fokusi ir vienā punktā F

Negatīvā lēca veidoja šķietamu attēlu savā sekundārajā fokusā, kas kalpoja par objektu pozitīvajai lēcai. Abu lēcu kopējais stiprums bija 0,0 D, kad attālums starp abām lēcām bija 3,3 cm, jo šādā situācijā pozitīvās lēcas primārais fokuss un negatīvās lēcas sekundārais fokuss atradās vienā punktā. Kad negatīvā lēca tika attālināta no pozitīvās lēcas, arī tās veidotais šķietamais objekta attēls attālinājās no pozitīvās lēcas. Šādā veidā diverģence stariem, kas krīt uz pozitīvo lēcu, šīs lēcas plaknē samazinās. Tā rezultātā stari, kas iziet cauri lēcai vairs nav paralēli kā tas bija sākotnējā pozīcijā, bet konverģējoši. Jo vairāk tiek attālināta lēca, jo konverģējošāki tie kļūst. Šāda veida lēcu darbība nodrošina pakāpenisku subjekta tīklenes attēla apmieglošanu.

Attālums, kādā negatīvā lēca bija pārvietota, tika nolasīts no milimetru skalas, kas atradās uz eksperimenta iekārtas. Mērījumu nolasīšanas precizitāte bija 1mm. Taču aprakstot mērījumu no vergences izmaiņas viedokļa, mērījums tika veikts ar 0,02 D precizitāti. Šajā gadījumā tika pieņemts, ka mērījuma precizitāte dioptrijās, kas atbilst 1 mm ir konstanta visā negatīvās lēcas pārvietošanas diapazonā. Šāds pieņēmums tika izdarīts pamatojoties uz to, ka visā negatīvās lēcas iespējamajā pārvietošanas diapazonā dioptriju izmaiņa atkarībā no attāluma mainās lineāri. 2.4. attēlā redzams, ka lēcu sistēmas optiskā stiprums mainās lineāri attiecībā pret lēcas pārvietošanu.



2.4. att. Lēcu sistēmas optiskā stipruma izmaiņa atkarībā no attāluma starp lēcām

Kopumā negatīvā lēca bija pārvietojama 8,4 cm amplitūdā – no pozīcijas, kad abas lēcas bija maksimāli tuvu līdz maksimālam attālumam starp lēcām. Attiecīgi pret punktu, kurā sistēmas kopējais stiprums bija 0,0 D, verģences izmaiņas amplitūda bija no -0,49 D līdz +1,24 D.

Formula, pēc kuras tika pārrēķināts negatīvās lēcas pārvietojums verģences izmaiņā bija 1.2. nodaļā minētās formulas pārveidojums:

$$Q = F - (1/(p+(1/F))),$$

kur Q – verģences izmaiņa, F – Badāla lēcas stiprums, kas šajā gadījumā ir +5,0 D, p – negatīvās lēcas pārvietojums metros no sākuma pozīcijas. 1/F šajā gadījumā bija 0,2 m.

2.4. Metode

Lai mērījumu rezultātā iegūtu nepieciešamos datus, tika izstrādāta metodika šī eksperimenta veikšanai. Katrs subjekts pirms piedalīšanās eksperimentā tika informēts par eksperimenta norisi. Tika veikti arī izmēģinājuma mērījumi, lai subjektam tiktu nodrošināts neliels treniņš eksperimenta izpildē pirms īstā eksperimenta.

Kopumā eksperiments tika sadalīts divās daļās – pirmā eksperimenta daļa tika veikta, par objektu izmantojot Landolta gredzenu, kura izmērs atbilda redzes asumam 0,1. Otrā daļa tika veikta, izmantojot tāda paša veida optotipu, kas atbilst redzes asumam 0,4. Optotipu kontrasts uz eksperimentā izmantotā ekrāna bija 99% (melni Landolta gredzeni uz balta fona). Mērījumi ar katru no šiem objektiem tika izdarīti, izmantojot 3 dažādu izmēru apertūras – 2,5 mm, 3,5 mm un 5 mm. Izmantojot katru no šīm apertūrām, tika veikti 10 mērījumi, kuros subjektam bija jāatrod fokusa dziļuma robeža - fokusēšanas izmaiņa, pie kuras attēls joprojām šķiet tik pat skaidrs kā ideāli fokusēts attēls. Lai sasniegtu šo mērķi, visiem subjektiem tika dota sekojoša instrukcija:

- pirmajā mērījuma solī vienmērīgi attālināt palīglēcu no pozīcijas, kad attēls ir ideāli ass, līdz attēls pirmo reizi samiglojas;
- otrajā mērījuma solī vienmērīgi tuvināt palīglēcu no pozīcijas, kad attēls ir pavisam izplūdis, līdz attēls pirmo reizi kļūst skaidrs.

Par fokusa dziļuma robežu tika pieņemta vidus pozīcija starp abiem šiem mērījumiem.

Nedaudz atšķirās instrukcijas precizēšana atkarībā no tā, kāda izmēra objekts tika lietots. Izmantojot lielāko objektu ar izmēru, kas atbilst redzes asumam 0,1, apmiglojuma sliedzīna noteikšanai, subjekts tika instruēts vērot tieši Landolta gredzena malu skaidrību vietā, kur objektam ir izgriezums. Izmantojot mazāko objektu, kas atbilst redzes asumam 0,4, subjekts tika instruēts vērot visa objekta kontūru. Šādas atšķirības instrukcijā tika ieviestas, jo atšķirīga izmēra objektiem mainās kritēriji, kā tiem tiek novērtēts apmiglojums. Šie kritēriji tika skaidroti literatūras pārskata 1.1.2.4. apakšnodaļā.

2.5. Rezultāti un to analīze

2.5.1. Eksperimenta iekārta

Tā kā šī eksperimenta metodika tika balstīta uz tīklenes attēla apmiglojuma panākšanu, palielinot optiskās sistēmas kopējo stiprumu pozitīvā virzienā, palīglēcu attālinot no Badāla lēcas, tad šādā veidā subjekts nosaka vienu fokusa dziļuma robežu. Šajā gadījumā staru fokusēšanās punkts tiek pārvietots arvien tālāk pirms tīklenes. Eksperimentā izmantotās iekārtas tehniskie parametri neļauj pilnībā izpētīt otru fokusa dziļuma robežu, kad stari, kas krīt uz tīklenes, tiktu padarīti arvien diverģējošāki, līdz subjekts pamanītu pirmo apmiglojumu. Izmantojot +5,0 D un -6,0 D lēcas, kuru diametrs ir 65 mm, lēcu biezums neļauj tās pietiekami tuvu savietot, lai palielinātu sistēmas kopējo negatīvo stiprumu. Šī iemesla dēļ nepieciešams definēt šajā pētījumā rezultātus – šajā gadījumā zīlītes izmēra, objekta izmēra un subjekta vecuma ietekme uz fokusa dziļumu tiks vērtēta, analizējot pusi no kopējās fokusa dziļuma vērtības. Lai salīdzinātu šī pētījuma rezultātus ar citu zinātnieku iepriekš veiktiem pētījumiem, šajā eksperimentā iegūtie gala rezultāti tiks uz pusi palielināti, lai spriestu par kopējo fokusa dziļuma lielumu. Šāds pieņēmums tiks balstīts uz to, ka apmiglojuma apjoms, ko rada fokusa pārbīdīšana par noteiktu un vienādu attālumu uz vienu un otru pusi no tīklenes, ir vienāds abās šajās pozīcijās.

2.5.2. Zīlītes diametrs un fokusa dziļums

2.2. tabulā redzams visu subjektu datu apkopojums – fokusa dziļums dioptrijās pie dažāda izmēra zīlītēm un pie dažāda izmēra objektiem.

2.2. tabula

Visu subjektu fokusa dziļuma lielumi dioptrijās pie dažāda izmēra zīlītēm

Pacients	visus 0,1			visus 0,4		
	5 mm zīlīte	3,5 mm zīlīte	2,5 mm zīlīte	5 mm zīlīte	3,5 mm zīlīte	2,5 mm zīlīte
A	0,17	0,20	0,22	0,17	0,21	0,28
B	0,33	0,44	0,68	0,32	0,34	0,42
C	0,34	0,37	0,47	0,26	0,33	0,55
D	0,38	0,40	0,42	0,13	0,31	0,36
E	0,69	0,77	0,90	0,48	0,50	0,56
F	0,44	0,53	0,54	0,39	0,47	0,61
G	0,30	0,47	0,55	0,40	0,49	0,50
H	0,40	0,51	0,57	0,33	0,41	0,46
I	0,68	0,73	0,77	0,55	0,56	0,69
vidējā vērtība	0,41	0,49	0,57	0,34	0,40	0,49
Standartnovirze	0,17	0,18	0,20	0,14	0,11	0,13

Apstrādājot visu 9 subjektu datus nācās secināt, ka izkliede starp subjektu individuālajām vidējām fokusa dziļuma vērtībām pie dažāda izmēra zīlītēm ir ļoti liela. Piemēram, pie 5 mm zīlītes fokusa dziļums starp subjektiem variēja no 0,13 D līdz 0,69 D, pie 3,5 mm zīlītes fokusa dziļums variēja no 0,20 D līdz 0,77 D, un pie 2,5 mm zīlītes fokusa dziļums variēja no 0,22 D līdz 0,90 D. Standartnovirze starp mērījumiem pie jebkuras zīlītes pārsniedza 20 % no kopējā fokusa dziļuma. Šīs nozīmīgās individuālo datu izkliedes dēļ bija apgrūtināta tieši zīlītes izmēra efekta novērtēšana uz fokusa dziļumu.

Lai būtu iespējams novērtēt zīlītes diametra izmaiņas ietekmi uz fokusa dziļumu, katra subjekta lielākā fokusa dziļuma vērtība tika pieņemta par 100 % vērtību un tika vērtēts procentuālais pieaugums fokusa dziļumam, samazinoties zīlītes izmēram. Veicot šādu pārrēķinu, tika iegūti dati, kas apkopoti 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Fokusa dziļuma procentuālās izmaiņas pie dažāda diametra zīlītēm

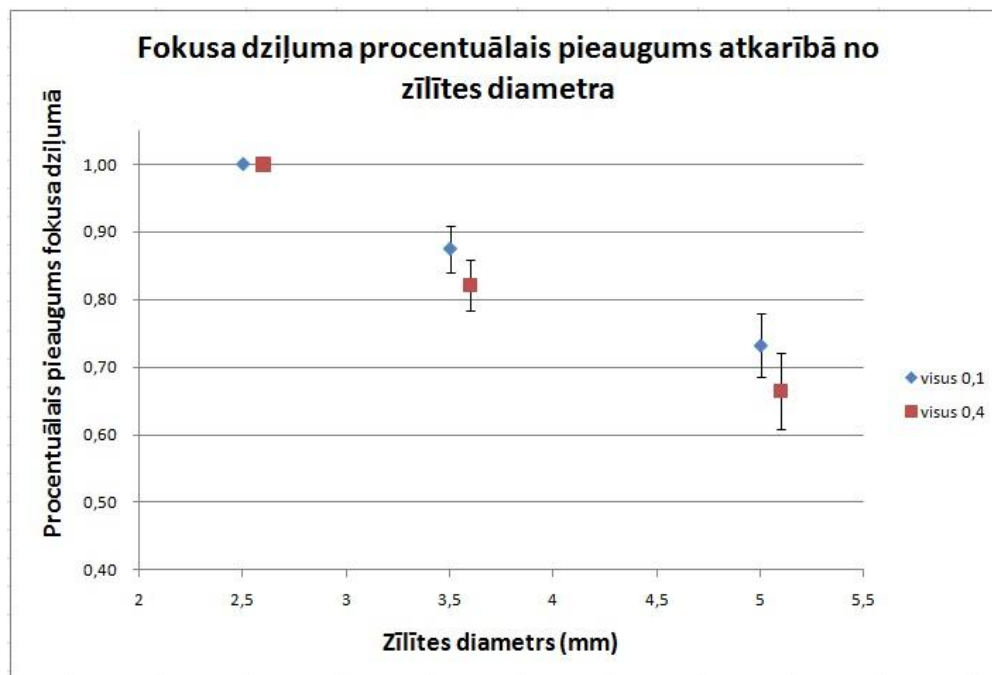
Pacients	visus 0,1			visus 0,4		
	5 mm zīlīte	3,5 mm zīlīte	2,5 mm zīlīte	5 mm zīlīte	3,5 mm zīlīte	2,5 mm zīlīte
A	77%	93%	100%	60%	75%	100%
B	49%	65%	100%	75%	81%	100%
C	72%	79%	100%	47%	60%	100%
D	90%	96%	100%	35%	86%	100%
E	77%	86%	100%	86%	90%	100%
F	83%	99%	100%	63%	77%	100%
G	54%	86%	100%	80%	99%	100%
H	69%	88%	100%	71%	89%	100%
I	88%	94%	100%	80%	82%	100%
vidējā vērtība	73%	88%	100%	66%	82%	100%
Standartnovirze	14%	10%	0%	17%	11%	0%

2.3. tabulā apkopoti visu subjektu rezultāti pie 3 veidu zīlītēm. Redzams, ka fokusa dziļums, skatoties caur zīlīti, kuras diametrs ir 3,5 mm ir aptuveni 88% ±8% no fokusa dziļuma pie 2,5 mm zīlītes. Savukārt fokusa dziļums pie 5 mm zīlītes ir vidēji 73 % ±10% no fokusa dziļuma pie 2,5 mm zīlītes, skatoties uz objektu, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,1. Tas nozīmē, ka procentuālais pieaugums fokusa dziļumā, salīdzinot datus ar 5 mm zīlīti un 3,5 mm zīlīti, ir vidēji 14 % ± 6%, un procentuālais pieaugums, salīdzinot datus ar 3,5 mm zīlīti un 2,5 mm zīlīti, ir 12 % ± 8%, subjektam skatoties uz šo pašu objektu.

Ja eksperimentā tiek izmantots objekts, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,4, tad rezultāti parāda, ka fokusa dziļums pie 3,5 mm zīlītes ir 82 % ±8% no fokusa dziļuma apjoma pie 2,5 mm zīlītes, un fokusa dziļums pie 5 mm zīlītes ir tikai vidēji 66 % ±12% no fokusa dziļuma apjoma pie 2,5 mm zīlītes. Procentuālais pieaugums fokusa dziļumam starp

5mm zīlīti un 3,5 mm zīlīti, skatoties uz objektu, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,4, ir vidēji 16 % ±11%, savukārt starp 3,5 mm zīlīti un 2,5 mm zīlīti tas ir vidēji 18 % ±9%.

2.5. attēlā redzamajā grafikā ir vizuāli parādīts fokusa dziļuma procentuālais pieaugums pie minētajiem 3 zīlīšu izmēriem.



2.5. att. Fokusa dziļuma procentuālais pieaugums

Attēlā uzskatāmi parādīts, ka fokusa dziļums pieaug, samazinoties zīlītes diametram. Tātad ar iekārtu, kas uzbūvēta šī eksperimenta veikšanai, apstiprinās jau iepriekš veiktos pētījumos iegūtie rezultāti. Ja statistisko analīzi ar t-testa palīdzību veica tiešajām fokusa dziļuma vērtībām visiem subjektiem, tad izkliede starp subjektiem bija tik liela, ka atšķirība fokusa dziļumā starp 5 mm, 3,5 mm un 2,5 mm zīlītēm nebija statistiski nozīmīga. Taču salīdzinot fokusa dziļuma vērtības pieaugumu individuāli katram subjektam un pieņemot, ka fokusa dziļuma vērtība, kas iegūta, skatoties caur 2,5 mm zīlīti, ir 100%, atšķirība fokusa dziļumam pie dažāda izmēra zīlītēm ir statistiski nozīmīga (P vērtība t-testā, salīdzinot fokusa dziļuma vērtības procentuālo pieaugumu starp visu veidu zīlītēm un objektu izmēriem jebkurā kombinācijā bija <0,05).

2.5.3. Objekta izmērs un fokusa dziļums

Līdzīga situācija datu izkliedē starp subjektiem vērojama arī, salīdzinot datus, kas iegūti, izmantojot objektu, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,1 un objektam, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,4.

Tabulā 2.2. salīdzināmi arī dati, kas raksturo fokusa dziļumu pie abu veidu objektiem, kas tika izmantoti eksperimentā. Vidējās vērtības norāda uz to, ka fokusa dziļums ir lielāks pie objekta, kura izmērs atbilst redzes asumam 0,1, tas ir, pie lielāka objekta nekā mazāka. Pie visu 3 izmēru zīlītēm vidējo vērtību starpība ir vidēji 0,08 D. Taču pielietojot statistisko datu analīzi, datu izkliedes dēļ atšķirības nav statistiski nozīmīgas.

Tā kā datu izkliedes dēļ nebija iespējams izmantot reālās fokusa dziļuma vērtības pie dažāda izmēra objektiem, tad arī objekta izmēra efekta novērtēšanai datu apstrādē tika izmantotas relatīvas vienības – fokusa dziļuma vērtību procentuālais pieaugums, salīdzinot mērījumus, kad tika izmantots objekts ar izmēru visus 0,1, ar mērījumiem, kad tika izmantots objekts ar izmēru visus 0,4. Respektīvi, tika aprēķināts, par cik procentiem pieaug fokusa dziļuma vērtība, eksperimentā izmantojot lielāku objektu (atbilst redzes asumam 0,1) maza objekta vietā (atbilst redzes asumam 0,4). Salīdzinot fokusa dziļuma procentuālo pieaugumu, visus subjektus bija iespējams sadalīt 2 grupās. Vienā grupā tika iekļauti 5 subjekti, kuriem fokusa dziļums pie lielāka objekta ir noteikti lielāks par fokusa dziļumu pie mazāka objekta, tātad efekts ir novērojams. Otrā grupā tika iekļauti 4 subjekti, kuriem fokusa dziļums pie visu veidu zīlītēm nebija noteikti lielāks pie lielāka objekta nekā mazāka. Šīs grupas subjektiem tendence nebija noteikta – fokusa dziļums dažos mērījumos bija lielāks, skatoties uz lielāku objektu, dažos lielāks, skatoties uz mazāku objektu.

2.4. tabulā redzams pirmās grupas subjektu (kam novērojams efekts) rezultātu apkopojums.

2.4. tabula

Pirmās grupas fokusa dziļuma procentuālais pieaugums, salīdzinot rezultātus pie objektiem ar izmēru, kas atbilst redzes asumam 0,1 un 0,4

Pacients	5 mm	3,5 mm	2,5 mm
B	4%	23%	38%
D	66%	22%	13%
E	31%	35%	38%
H	17%	18%	19%
I	19%	22%	11%
vidēji	27%	24%	24%
Standart- kļūda	11%	3%	6%

Tabulā attēlots, procentuālais fokusa dziļuma pieaugums, skatoties caur visu 3 veidu zīlītēm. Analizējot tabulā redzamos rezultātus, var secināt, ka fokusa dziļums, eksperimentā izmantojot objektu, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,1, vidēji ir par 25 % ±8% lielāks nekā tad, ja tiek izmantots objekts, kura izmērs atbilst redzes asumam 0,4.

Analizējot šos datus, var izdarīt arī secinājumus par fokusa dziļuma procentuālo pieaugumu atkarībā no zīlītes diametra. Šajā gadījumā nav nozīmes zīlītes diametram, jo fokusa dziļuma pieaugums ir vienmērīgs pie visu 3 veidu zīlītēm.

Otras grupas subjektu rezultāti apkopoti 2.5. tabulā. Šajā tabulā attēlotas fokusa dziļuma izmaiņas dioptrijās – par cik pieaug fokusa dziļuma vērtība izmantojot lielāku objektu.

2.5. tabula
Otrās grupas fokusa dziļuma izmaiņas dioptrijās, salīdzinot rezultātus pie objektiem ar izmēru, kas atbilst redzes asumam 0,1 un 0,4

Pacients	Zīlītes diametrs		
	5 mm	3,5 mm	2,5 mm
A	-0,00	-0,01	-0,07
C	0,08	0,05	-0,08
F	0,06	0,06	-0,08
G	-0,10	-0,02	0,05
vidēji	0,01	0,02	-0,04
standart- klūda	0,08	0,04	0,06

Tabulā attēlotie rezultāti parāda, ka šīs grupas subjektiem nav statistiski nozīmīgas fokusa dziļuma izmaiņas, skatoties uz viena vai otra veida objektu. Fokusa dziļuma starpība ir negatīva tādā gadījumā, ja fokusa dziļums konkrētajā mērījumā ir bijis lielāks, skatoties uz objektu, kura leņķiskais izmērs atbilst redzes asumam 0,4.

Statistiskajā analīzē pielietojot t-testu, tika noskaidrot, ka atšķirība starp šo abu grupu rezultātiem ir statistiski nozīmīga ($p < 0,05$). Šo rezultātu atšķirību nozīmīgums ir iemesls, kādēļ subjekti tika sadalīti divās grupās, lai pētītu objekta izmēra ietekmi uz fokusa dziļumu.

2.5.4. Subjektu vecums un fokusa dziļums

Trešais darba uzdevums bija novērtēt, kā subjekta vecums ietekmē fokusa dziļumu. Lai novērtētu šī faktora ietekmi subjekti tika sadalīti divās grupās – „presbiopos” un „nepresbiopos”. Sīkāku subjektu aprakstu skatīt 2.2. nodaļā. „Presbiopu” grupā bija 3 subjekti, „nepresbiopu” grupā bija 6 subjekti.

2.6. tabulā attēlots visu fokusa dziļuma vērtību apkopojums abām vecuma grupām pie dažāda izmēra zīlītēm un dažāda izmēra objektiem.

2.6. tabula

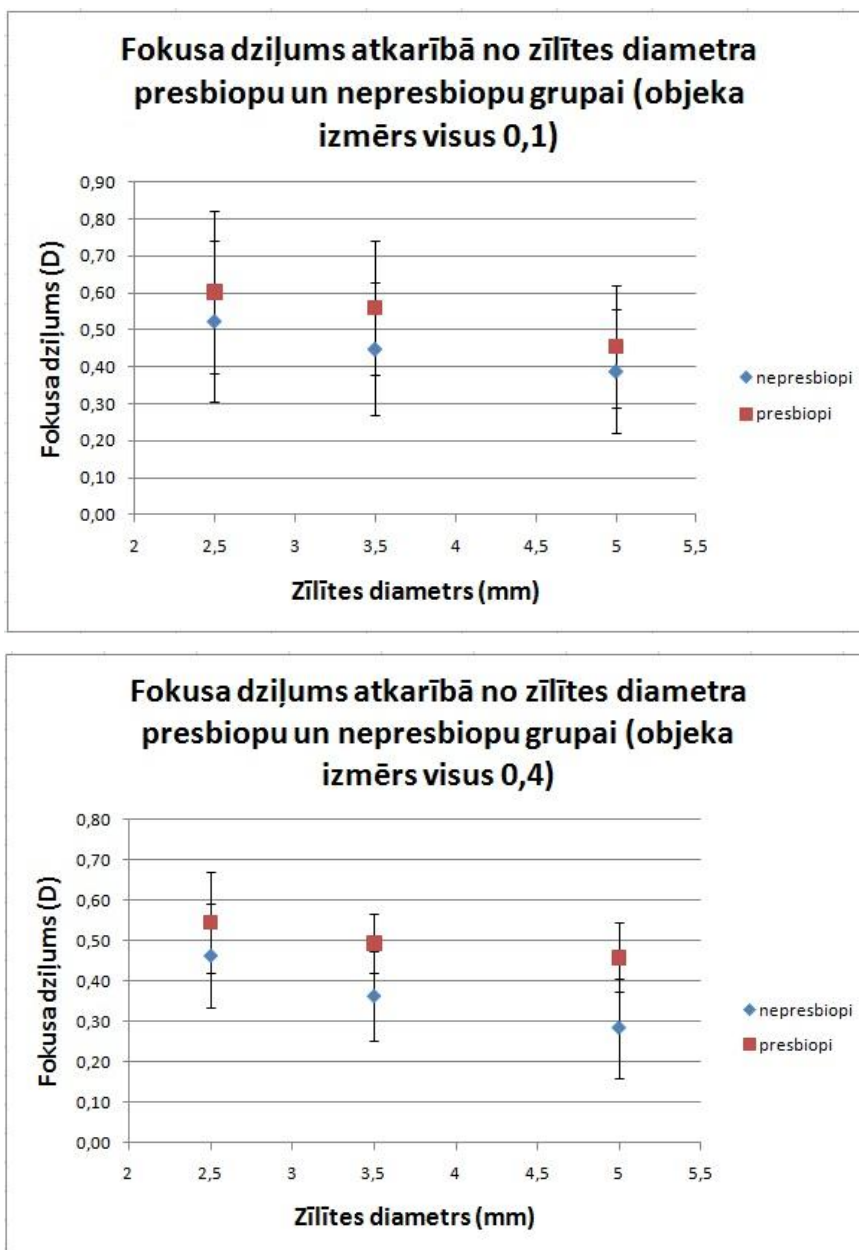
Fokusa dziļums abām vecuma grupām atkarībā no zīlītes diametra un objekta izmēra

	nepresbiopi	presbiopi	nepresbiopi	presbiopi
	visus 0,1		visus 0,4	
5 mm	0,17	0,30	0,17	0,40
	0,33	0,39	0,32	0,42
	0,34	0,68	0,26	0,56
	0,38		0,13	
	0,67		0,45	
	0,45		0,39	
vidēji	0,39	0,46	0,28	0,46
standartnovirze	0,17	0,20	0,12	0,09
3,5 mm	0,20	0,47	0,21	0,49
	0,44	0,49	0,34	0,42
	0,37	0,73	0,33	0,57
	0,40		0,31	
	0,74		0,51	
	0,53		0,47	
vidēji	0,45	0,56	0,36	0,49
standartnovirze	0,18	0,14	0,11	0,07
2,5 mm	0,22	0,55	0,28	0,50
	0,68	0,49	0,42	0,45
	0,47	0,77	0,56	0,69
	0,41		0,36	
	0,85		0,55	
	0,52		0,61	
vidēji	0,52	0,60	0,46	0,55
standartnovirze	0,22	0,15	0,13	0,13

Tabulā atspoguļotas vidējās vērtības pie 3 veidu zīlītēm un 2 izmēru objektiem. Analizējot datus pēc vidējām vērtībām, redzams, ka fokusa dziļums vidēji ir lielāks „presbiopu” grupā. Procentuāli „presbiopu” grupā fokusa dziļums ir lielāks vidēji par 16% ±2% pie objekta, kura izmērs atbilst redzes asumam 0,1, un lielāks vidēji par 26% ±7% pie objekta, kura izmērs atbilst redzes asumam 0,4.

Statistiski apstiprināt nozīmīgu atšķirību starp abām subjektu grupām nevar, jo izkliede fokusa dziļuma vērtībās subjektu starpā ir pārāk liela.

2.6. attēlā redzams grafisks abu vecuma grupu fokusa dziļuma salīdzinājums, izmantojot objektus, kuru izmēri atbilst redzes asumam 0,1 un 0,4.



2.6. att. Fokusa dziļums atkarībā no subjekta vecuma, zīlītes diametra un objekta izmēra

Analizējot arī šos grafikus, var secināt, ka vidējās vērtības liecina par to, ka fokusa dziļums ir lielāks „presbiopu” grupas subjektiem, taču iegūto rezultātu standartnovirzes savā starpā pārklājas, tādējādi neļaujot viennozīmīgi rezultātu atšķirību starp šīm divām izlasēm novērtēt kā statistiski nozīmīgu.

Iemesls tam, ka atšķirība starp vecuma grupām nav statistiski nozīmīga, varētu būt eksperimenta dalībnieku nelielais skaits. Lielā datu izkliede varētu būt skaidrojama ar to, ka šī eksperimenta datu iegūšanai tika lietota regulējamā stimula metode, kura ir daudz neprecīzāka par piespiedu izvēles metodi psihofizikālu datu iegūšanai. Tika novērots, ka subjekti, veicot eksperimentu, vadījās pēc atšķirīgiem kritērijiem, kaut arī visiem tika dota vienāda

instrukcija. Daži subjekti apmiglojuma sliekšni atrada ātrāk, kā arī sistēmas stiprumu izmainīja straujāk kā citi subjekti. Starp subjektiem atšķīrās arī apmiglojuma izmaiņas diapazons, kurā ir grūti nofiksēt brīdi, kurā jāpieņem lēmums par to, kas ir „tikko pamanāms apmiglojums” un kas ir „pirmais skaidrais attēls”. Ņemot vērā visus šos faktorus var secināt, ka subjektu skaits bija pārāk mazs, lai fokusa dziļuma atšķirību starp abām subjektu grupām nosauktu par statistiski nozīmīgu. Šāda eksperimenta veikšanai būtu nepieciešams daudz lielāks subjektu skaits, lai rezultātos fokusa dziļuma izmaiņa būtu pietiekami nozīmīga, lai secinātu, ka fokusa dziļums vecāka gada gājuma pacientiem ir lielāks.

SECINĀJUMI

1. Eksperimenta veikšanai tika uzbūvēta iekārta fokusa dziļuma mērīšanai. Vergences izmaiņas diapazons, ko iespējams panākt ar šo iekārtu, ir no $-0,49$ D līdz $+1,24$ D ar precizitāti $0,02$ D.

2. Mērot fokusa dziļumu ar šim eksperimentam būvēto iekārtu, tāpat kā citur literatūrā minētajos datos izpildās sakarība, ka fokusa dziļums palielinās, samazinoties zīlītes diametram. Fokusa dziļums, skatoties caur $2,5$ mm zīlīti procentuāli ir par $30\% \pm 8\%$ lielāks nekā skatoties caur 5 mm zīlīti – attiecīgi par $15\% \pm 6\%$ lielāks, skatoties caur $3,5$ mm zīlīti nekā caur 5 mm zīlīti un par $15\% \pm 5\%$ lielāks, skatoties caur $2,5$ mm zīlīti nekā caur $3,5$ mm zīlīti.

3. Objekta izmēra ietekme uz fokusa dziļumu netika pierādīta kā statistiski nozīmīga, taču, sadalot subjektus 2 grupās – tādos, kam fokusa dziļums noteikti ir lielāks, skatoties uz lielāku objektu (izmērs atbilst redzes asumam $0,1$) nekā uz mazāku (izmērs atbilst redzes asumam $0,4$), un tādos, kam nav vērojama nekāda tendence, var secināt, ka pirmajai subjektu grupai fokusa dziļums pie lielāka objekta ir vidēji par $25\% \pm 8\%$ lielāks, skatoties uz lielāku objektu nekā mazāku.

4. Analizējot datus un sadalot subjektus divās grupās – „presbiopos” un „nepresbiopos”, tika novērots, ka datu izkliede subjektu starpā ir pārāk liela, lai fokusa dziļuma atšķirības starp šīm abām grupām uzskatītu par statistiski nozīmīgām, kaut arī vidējā fokusa dziļuma vērtība „presbiopu” grupā bija lielāka.

5. Lielākās problēmas datu apstrādē sagādā rezultātu izkliede subjektu starpā, tādēļ, lai pārliecinošāk novērtētu visu eksperimentā izmantoto faktoru ietekmi uz fokusa dziļumu, nepieciešams daudz lielāks subjektu skaits.

NOBEIGUMS

Pieredze, kas tika gūta, izstrādājot šo bakalaura darbu, ir ļoti vērtīga. Tika izpildīti darba mērķi – uzbūvēta iekārta un ar to mērīts fokusa dziļums saistībā ar to ietekmējošiem faktoriem.

Izstrādājot šo bakalaura darbu tika secināts, ka eksperimenta metodika – kad subjektam pašam jāiergulē sistēmas pozīcija, kad tiek sasniegts pirmais objekta apmiglojums, pieļauj lielu datu izkliedi un tādējādi apgrūtina dažādu faktoru radīto efektu ietekmi uz fokusa dziļumu. Rezultātus ietekmē katra subjekta individuālā uztvere un precizitāte, ar kādu uzdevums tika izpildīts, kaut arī apmācība eksperimenta veikšanā visiem subjektiem tika sniegta vienāda.

Lai iegūtu precīzākus datus, būtu nepieciešams eksperimentā iesaistīt daudz lielāku subjektu skaitu, kā arī vēlams metodikā ieviest piespiedu izvēles testa elementus.

Tēma, kas skar gados vecāku subjektu uztveri ir ļoti aktuāla, tāpēc darbu būtu ieteicams turpināt, dziļāk izpētot faktorus, kas tieši ietekmē šādu subjektu uztveri un apmiglojuma adaptāciju, tādējādi palielinot fokusa dziļumu.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt vislielāko pateicību darba vadītājai Evitai Kassalietei, par piedāvāto bakalaura darba ideju un lielo atbalstu tā izstrādē. Izsaku arī lielu pateicību Gatim Ikauniekam par praktiskiem padomiem un atbalstu eksperimenta veikšanā un kopējā problēmas izpētē. Pateicos Lilitai Apsītei par palīdzību eksperimenta dalībnieku redzes pārbaudēs. Pateicos arī Ivaram Lācim, Jānim Dzenim un Jānim Fridrihsonam par sniegtajiem padomiem, kas daudz palīdzēja darba izstrādē. Paldies Vismantam Zaulam un Ernestam Šītam par palīdzību tehnisko problēmu risināšanā.

Liels paldies visiem eksperimenta dalībniekiem, kas veltīja savu laiku, lai šis pētījums tiktu veikts.

Paldies draugiem un ģimenei par emocionālo atbalstu.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. **Kaufman, P. L., Alm, A.** *Adler's Physiology of the Eye: Clinical Application* (10th edition). Mosby, 2003, p. 179-187.
2. **Millodot, M.** *Dictionary of Optometry and Visual Science* (6th edition). Butterworth Heinemann, 2006, p. 78.
3. **Atchison, D. A., Smith, G.** *Optics of the Human Eye*. Butterworth Heinemann, 2002, p. 213-220.
4. **Atchison, D. A., Charman, N., Woods, R. L.** Subjective Depth-of-Focus of the Eye. *Optometry and Vision Science*, 1997, N 7, vol. 74, p. 511-520.
5. **Rosenfield, M., Logan, N., Edwards, K.** *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management* (2nd edition). Butterworth Heinemann, 2009, p. 8-14.
6. **Smith, G., Atchison, D. A.** *The eye and visual optical instruments*. Cambridge University Press, 1997, p. 225-238.
7. **Rabbetts, R. B.** *Bennett & Rabbetts' Clinical Visual Optics*. Butterworth Heinemann, 2004, p. 21-27.
8. **Green, D. G., Powers, M. K., Banks, M. S.** Depth of focus, eye size and visual acuity. *Vision Research*, 1980, vol. 20, p. 827-835.
9. **Atchison, D. A., Bradley, A., Thibos, L. N., Smith, G.** Useful Variations of the Badal Optometer. *Optometry and Vision Science*, 1995, N 4, vol. 72, p. 279-284.
10. **Atchison, D. A., Fisher, S. W., Pedersen, C. A., Ridall, P. G.** Noticeable, troublesome and objectionable limits of blur. *Vision Research*, 2005, vol. 45, p. 1967-1974.
11. **Vasudevan, B., Ciuffreda, K. J., Wang, B.** An objective technique to measure the depth-of-focus in free space. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2006, N 8, vol. 244, p. 930-937.
12. **Rosenbloom, A. A., Morgan, M. W.** *Vision and Aging*. Butterworth Heinemann, 1993, p. 178-196.
13. **Elliott, S. L., Hardy, J. L., Webster, M. A., Werner, J. S.** Aging and blur adaption. *Journal of Vision*, 2007, N 6, vol. 7, article 8. Pieejams internetā: www.journalofvision.org

Bakalaura darbs „Fokusa dziļuma atkarība no apertūras diametra un subjekta vecuma”
izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

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

Autore: Anete Paušus

Stud. apl. ap07056

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Evita Kassaliete, M.Sc.

Recenzents: Māris Ozoliņš, Dr.phys.

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____ .

Metodiķe: Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

11.06.2010. prot. Nr. _____ , vērtējums _____

Komisijas sekretārs: Pēteris Cikmačs, Dr.phys.