

ŠIAULIŲ UNIVERSITETO
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO
FIZIKOS KATEDRA

Edita Litvinienė
Optometrijos specialybės IV kurso studentė

**DIDESNIO LŪŽIO RODIKLIO PLONINTŲ LĘŠIŲ SUKELIAMAI
NEPAGEIDAUJAMI EFEKTAI**

**ADVERSE EFFECTS CAUSED BY THIN LENSES WITH HIGHER REFRACTIVE
INDEX**

BAKALAURO DARBAS

Darbo vadovas
lekt. dr. Ž. Norgėla

Šiauliai, 2013

„Tvirtinu, jog darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota ir paruošta naudojant literatūros sąrašę pateiktus informacinius šaltinius bei savo tyrimų duomenis“

Darbo autorės _____
(vardas, pavardė, parašas)

ANOTACIJA

Darbo tema: didesnio lūžio rodiklio plonintų lęšių sukeliama nepageidaujama efektai.

Šiame darbe analizuojami didesnio lūžio rodiklio lęšių įtaka, akinių lęšių nešiotojams. Išnagrinėta mokslinės literatūros lęšių ir jų esamų aberacijų klausimais. Išanalizuota didesnio lūžio rodiklio plonintų lęšių, sferinių ir asferinių optinės charakteristikos. Išsiaiškinta kokių refrakcijos ydų turintys klientai netoleruoja labiausiai didesnio lūžio rodiklio plonintų lęšių. Pateikti tyrimo grafikai ir jų analizė bei išvados.

Tyrimo dalyvavo 90 respondentų. Tiriamieji suskirstyti pagal amžių, išsilavinimą, refrakcijos ydas bei nešiojamus akinių lęšius (plonintus ar neplonintus, sferinius ar asferinius).

Analizuojant šio darbo temą, pastebėta, kad ši problema susijusi su akinių lęšių nepageidaujama efektais, analizuojama mažai.

Gauti tyrimo rezultatai rodo, kad didesnio lūžio rodiklio ploninti lęšiai, ypač asferiniai sukelia nepageidaujamus efektus. Tuos vaizdo iškraipymus labiau pajaučia tie klientai, kurie turi toliaregystės (hipermetropijos) refrakcijos ydas. Esant vidutinio laipsnio (nuo ± 3.0 D iki ± 6.0 D) ir didesnio laipsnio miopijai (nuo ± 6.0 D ir daugiau), klientai nori lengvesnių ir plonesnių akinių lęšių. Todėl užsisako didesnio lūžio rodiklio asferinius akinių lęšius, kurie esant didesnėms dioptrijoms nedidina akių ir yra žymiai plonesni bei lengvesni. Tačiau tokie akinių lęšiai ne visada pateisina laukiamus lūkesčius.

Asferinius lęšius užsisakė 30 respondentų: 22 žmonės buvo su trumparegystės (miopijos) refrakcijos yda, iš kurių nepageidaujamus vaizdo efektus ir kitus nepatogumus patyrė 7 respondentai. 15 žmonių buvo su toliaregystės refrakcijos yda, iš kurių net 8 respondentai patyrė vaizdo iškraipymus (aberacijas) bei kitus nepageidaujamus vaizdo efektus.

Iš tyrimo galima teigti, jog gamintojų rekomenduojami didesnio lūžio rodiklio asferiniai lęšiai yra labiau teoriškai turintys privalumų, nei praktiškai.

ABSTRACT

Title of the work: Adverse effect caused by thin lenses with higher refractive index.

In this work, effect of lenses with higher refractive index for glasses wearers is analysed. Scientific literature in field of lenses and current aberration in them is examined. Optical characteristics of thin lenses with higher refractive index both spherical and aspherical are investigated. It has been find out what kind of refractive defects have clients who do not tolerate thin lenses with higher refractive index. Graphs of the research, their analysis and conclusions are presented.

The research involved 90 respondents. Participants of the research were divided according to age, education, refractive defects and eyeglass lenses worn (thin or non-thin, spherical or aspherical).

While analysing the topic of the work, it was noticed that this problem, related with adverse effect of glasses, is analysed a little.

The results of research shows that thin lenses with higher refractive index and especially aspherical ones cause adverse effects. Image distortions are felt by these clients who have refraction defects of long-sightedness (hypermetropia). At moderate (from ± 3.0 to ± 6.0 D D) and higher degree of myopia (from ± 6.0 D, and more), clients want lighter, thinner eyeglass lenses. Therefore, they order aspherical eyeglass lenses with higher refractive index, which consisting higher dioptres do not increase eye and are much thinner and lighter. Unfortunately these kind of eyeglass lenses do not always justify expectations. Aspherical lenses was ordered by 30 respondents: 22 persons had refraction defects of near-sightedness (myopia) and 7 of them experienced adverse effects of image and other disadvantages. 15 persons had refraction defects of long-sightedness and even 8 of respondents experienced visual distortions (aberrations) and other adverse visual effects.

According to results of the research, it might be maintained that aspherical lenses with higher refractive index recommended by manufacturers have more advantages in theory than in practice.

TURINYS

LENTELĖS	6
PAVEIKSLAI	7
ĮVADAS	9
I. LITERATŪROS ANALIZĖ	11
1.1. Lėšiai	11
1.1.1. Aberacijos	13
1.1.2. Sferinė aberacija	14
1.1.3. Chromatinė aberacija.....	16
1.1.4. Distorsija.....	17
1.2. Abės skaičius, jo priklausomybė nuo lūžio rodiklio	18
1.3. Lėšių medžiagos	20
1.3.1. Lėšiai iš medžiagos su padidintu lūžio rodikliu	21
1.3.2. Lėšių su padidintu lūžio rodikliu privalumai ir trūkumai fizikiniu aspektu	24
II. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	27
2.1. Tyrimo metodika	27
2.2. Tyrimo rezultatų analizė	27
IŠVADOS	34
LITERATŪRA	35
PRIEDAI	38

LENTELĒS

1 lentelē. Abēs skaičiaus priklausomybē nuo lūžio rodiklio	21
2 lentelē. Šviesos atspindējimo priklausomybē nuo lūžio rodiklio	22

PAVEIKSLAI

1. a – glaudžiamieji lęšiai; b – sklaidomieji lęšiai	11
2. Plonojo lęšio brėžinys	12
3. Lęšio pagrindinės sąvokos: O – lęšio optinis centras; O_1 O_2 – pagrindinė optinė ašis; B_1 B_2 – šalutinė optinė ašis; F – pagrindinis lęšio	12
4. Lygiagretaus spindulių pluošto lūžimas glaudžiamajame (a) ir sklaidomajame (b) lęšiuose....	13
5. Idealus spindulių prasiskverbimas optinėje sistemoje	14
6. Sferinė (a) ir chromatinė (b) aberacija	14
7. Sferinės aberacijos vaizdas nuotraukoje	15
8. Chromatinė aberacija pagal bangos ilgį	16
9. Chromatinės aberacijos pasireiškimas nuotraukoje.....	17
10. Distorsijos pagalvės ir statinės formos	18
11. Distorsija pagalvės formo nuotraukoje.....	18
12. Abė skaičiaus priklausomybė nuo lūžio rodiklio	19
13. A- normalus regėjimo laukas; B- su plusiniu lęšiu; C- su minusiniu lęšiu	20
14. Aukšto lūžio rodiklio įtaka lęšio storiui(dešinėje plonintas, kairėje pusėje neplonintas).....	22
15. Asferinis lęšis (dešinėje) ir sferinis lęšis (kairėje)	23
16. Sferinis ir asferinis lęšis	23
17. Asferinis lęšis (dešinėje) ir sferinis lęšis (kairėje)	24
18. Asferinių lęšių paviršiai	24
19. Respondentų pasiskirstymas pagal amžių.....	27
20. Respondentų pasiskirstymas pagal išsilavinimą	28
21. Respondentų pasiskirstymas pagal refrakcijos ydas	28
22. Respondentų dioptrijos su miopine refrakcijos yda.....	29
23. Respondentų dioptrijos su hipermetropine refrakcijos yda	29
24. Respondentų užsakymas plonintų ir neplonintų lęšių.....	30
25. Respondentų lęšiai pagal lūžio rodiklį.....	31
26. Respondentų asferinių lęšių pasirinkimas pagal refrakcijos ydas	31

27. Sferinių ir asferinių lęšių įtaka vaizdai	32
28. Jaučiami nepatogumai nešiojant asferinius lęšius	33

IVADAS

Šiuo metu lęšiams naudojamų stiklų ir plastikų pasirinkimas labai platus. Naudojamų medžiagų lūžio rodiklis nuo 1.5 (1.61, 1.67) iki 1.74. Medžiagų su didesniu lūžio rodikliu panaudojimas leidžia esant didesnėms dioptrijoms išploninti lęšius. Kad ploninimas būtų efektyvesnis ir akinių lęšiai būtų ne tik plonesni, bet ir lengvesni bei suteiktų estetinį vaizdą, pacientams rekomenduojami asferiniai lęšiai. Tokie akinių lęšiai pranašesni už sferinius savo plokštesne forma, kuri leidžia tinkamai išploninti didesnių dioptrijų akinių lęšius (pav. Nuo $\pm 4.0D$ iki $\pm 18.0 D$).

Kiekvienam, kuris nešioja akinius, ypač didelių dioptrijų, pravartu žinoti apie akinių lęšių naujų ploninimo technologijų galimybes. Nes akinių optinės savybės labia priklauso nuo to, iš kokios medžiagos ir kokio lūžio rodiklio yra pagaminti akinių lęšiai.

Tačiau pasitaiko kai pacientai nejaučia kokybiško vaizdo matymo, ne tik be akinių lęšių, bet ir su jais. Taip nutinka, kai akys netoleruoja didesnio lūžio rodiklio asferinių lęšių.

Aktualumas: Optikos klientai turintys didesnes dioptrijas ir norintys nešioti estetiškus akinius, kad nesimatytų stori stiklai, dažniausiai renkasi didesnio lūžio rodiklio lęšius. Tačiau pasitaiko nepageidaujami vaizdo iškraipymai, kurie susiję su plonintais stiklais. Todėl labai aktualu išsiaiškinti nuo ko tai priklauso.

Problema: Akinių nešiotojai, kurie pasirenka didesnio lūžio rodiklio lęšius, kartais skundžiasi jaučiantys diskomfortą. Todėl labai svarbu išsiaiškinti optikos klientų nusiskundimus akinių lęšiais.

Tikslas - įvertinti didesnio lūžio rodiklio lęšių nepageidaujamus efektus.

Uždaviniai:

1. Teoriškai apžvelgti optinių sistemų aberacijas (iškraipymus).
2. Išanalizuoti plonintus, asferinius lęšius.
3. Pateikti didesnio lūžio rodiklio privalumus ir trūkumus.
4. Atlikti tyrimą ir įvertinti didesnio lūžio rodiklio nepageidaujamus efektus.

Tyrimo objektas: „Žemaitijos optikos centras“ įsikūrusios Mažeikių mieste, klientai naudojantys didesnio lūžio rodiklio lęšius.

Tyrimo metodai: literatūros loginė analizė, anketinė apklausa, anketinių duomenų rezultatų susistemimas, grafinis vaizdavimas.

Prognozuojami rezultatai: Analizuojant plonintų lęšių įtaką regėjimo kokybei tikimasi išsiaiškinti kokius nepageidaujamus efektus sukelia, ir ar tai priklauso nuo refrakcijos ydos tipo.

Raktiniai žodžiai: akinių lęšiai, didesnio lūžio rodiklis, ploninti lęšiai, aberacijos.

I. LITERATŪROS ANALIZĖ

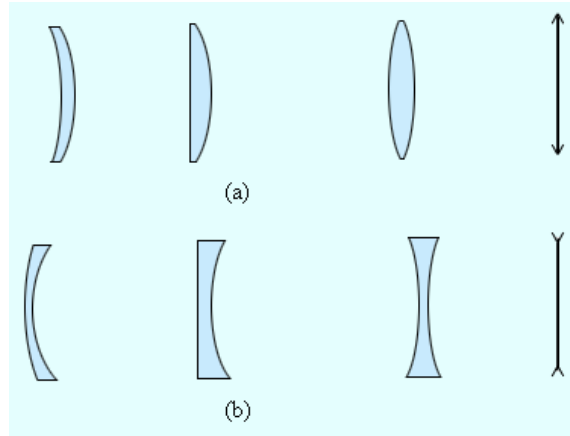
1.1. Lėšiai

Manoma, kad pirmą kartą lėšiai buvo panaudoti XIII amžiaus pabaigoje. *Lėšiu* vadinamas šviesai skaidrus kūnas, dar vadinamas sferiniu lėšiu, kai jį riboja du sferiniai paviršiai arba vienas plokščias, o kitas sferinis. Lėšis pagamintas iš medžiagos, kurios lūžio rodiklis n , kur lėšio paviršių kreivumo spinduliai r_1 r_2 ir iš abiejų pusių yra oras (arba tuštuma), kurio lūžio rodiklis artimas vienetui. [1]

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

kur n – medžiaga, iš kurios pagamintas lėšis, lūžio rodiklis; R_1 , R_2 – lėšio paviršių kreivumo spinduliai.

Lėšiai pagal formą ir spindulių eigą pro juos skirstomi į glaudžiamuosius ir sklaidomuosius. Glaudžiamieji lėšiai per vidurį yra storesni negu kraštuose, o sklaidomieji lėšiai per vidurį yra plonesni negu kraštuose (1 pav.) [2].



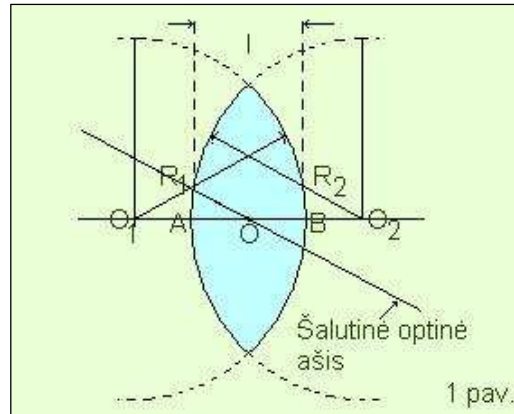
1 pav. a – glaudžiamieji lėšiai; b – sklaidomieji lėšiai [2]

Lėšiai, kurių storis yra mažas, palyginus su juos ribojančių paviršių kreivumo spinduliais R_1 bei R_2 , vadinami *plonaisiais* (2 pav.) [3]

Lėšio židinio nuotolį galima apskaičiuoti pagal plonojo lėšio formulę:

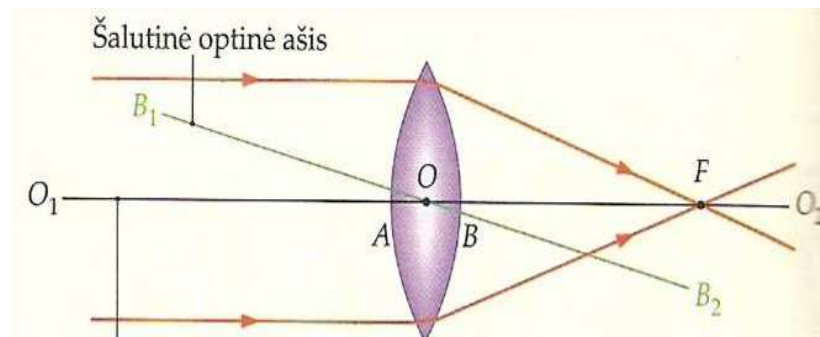
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad (2)$$

čia d – daikto atstumas iki lęšio, o f – atstumas nuo lęšio iki atvaizdo, F – židinio nuotolis. Jei daiktas yra labai toli nuo lęšio, tai laikoma, kad atstumas artėja į begalybę ($d \rightarrow \infty$), o dydis $\frac{1}{d} \rightarrow 0$.



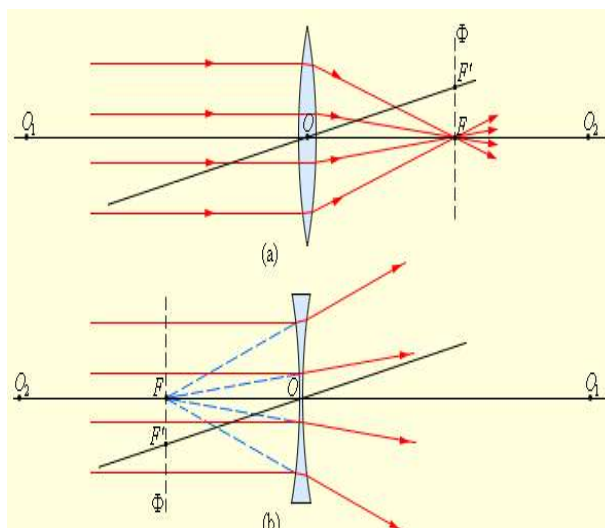
2 pav. Plonojo lęšio brėžinys.

Plonojo lęšio taškai A ir B – sferinių segmentų viršūnės – yra taip arti vienas kito, kad juos galima laikyti vienu tašku. Tai lęšio optinis centras O (3 pav.)



3 pav. Lęšio pagrindinės sąvokos: O – lęšio optinis centras; O_1 O_2 – pagrindinė optinė ašis; B_1 B_2 – šalutinė optinė ašis; F – pagrindinis lęšio židiny [3]

Per lęšio sferinių paviršių centrus einanti tiesė O_1 O_2 vadinama pagrindine optine ašimi. Plonojo lęšio pagrindinė optinė ašis eina per optinį centrą. Bet kuri kita tiesė B_1 B_2 einanti per optinį centrą, vadinama šalutine optine ašimi. Pagrindinei optinei ašiai lygiagretūs spinduliai, praėję pro glaudžiamąjį lęšį, susikerta taške, kuris vadinamas pagrindiniu lęšio židiniu F (4 pav.). Plonasis lęšis turi du pagrindinius židinius, kurie yra išsidėstę pagrindinėje optinėje ašyje simetriškai nuo lęšio.



4 pav. Lygiagretais spindulių pluošto lūžimas glaudžiamajame (a) ir sklaidomajame (b) lęšiuose [2]

Plokštuma, einanti per lęšio pagrindinį židinį ir statmena pagrindinei optinei ašiai, vadinama židinio plokštuma. Lygiagretūs spinduliai nukreipti skirtingais kampais į pagrindinę optinę ašį, lūžę lęšyje, susikerta skirtinguose taškuose, tačiau šie taškai yra židinio plokštumoje. Atstumas tarp lęšio optinio centro ir pagrindinio židinio, vadinamas židinio nuotoliu ir žymimas raide F . Glaudžiamąjo lęšio židiniai yra teigiami ($F > 0$), o sklaidomąjo – neigiami ($F < 0$).

Dydis, atvirkščias lęšio židinio nuotoliui, vadinamas lęšio laužiamąja geba (D).

Laužiamoji geba matuojama dioptrijomis (D). Šito mato vienetas yra vieno metro židinio tolio lęšio laužiamoji geba ore. [4] [5]

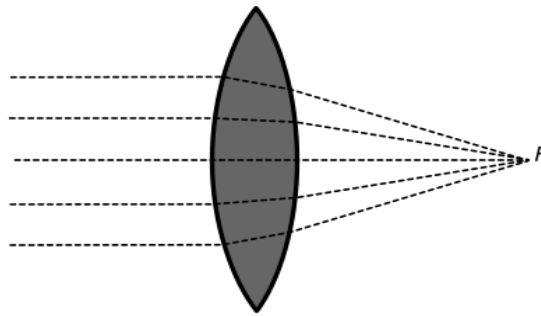
$$[D] = 1 \text{ m}^{-1} = 1 \text{ D.}$$

1.1.1. Aberacijos

Aberacija □ [lot. aberration- nukrypimas] [7]. Optinė sistema yra ideali ties optine ašimi arba arčiausiai jos, bet toliau nuo šios srities ideali nebūna, objektai nėra tik taškai, tai erdviniai kūnai, o tai daugiau ar mažiau iškraipo vaizdą, kadangi objekto dalys nevienodai padidinamos. Taip pasireiškia lęšių ir optinių sistemų ydos. Praktiniam naudojimui optinė sistema turi sukurti atvaizdus dideliame erdvės plote, t. y. turėti didelį regėjimo lauką, o atvaizdo netapatumas daiktui, t. y. jo defektai, atsiradę dėl spindulio nuokrypio nuo tos krypties, kuria jis turėtų sklirti idealioje optinėje sistemoje, vadinamas *aberacija*. [5]

Dėl aberacijų daiktų erdvės taškai vaizduojami sudėtingos struktūros dėmelėmis, todėl pažeidžiamas daikto ir jo atvaizdo atitikimas.[1] Kenčia vaizdo kokybė, trūksta ryškumo, iškreipimai lęšio kraštuose, spalvų trikdžiai.

Optinių sistemų aberacijos skirstomos: į monochromatines ir chromatinės aberacijas. Šiame darbe nagrinėsime monochromatinėms aberacijoms priklausančią sferinę aberaciją ir chrominę aberaciją bei distorsiją. Prieš nagrinėjant šias aberacijas, pirmiausia pažvelkime į spindulių sklaidimą idealioje optinėje sistemoje (5 pav.) [8]

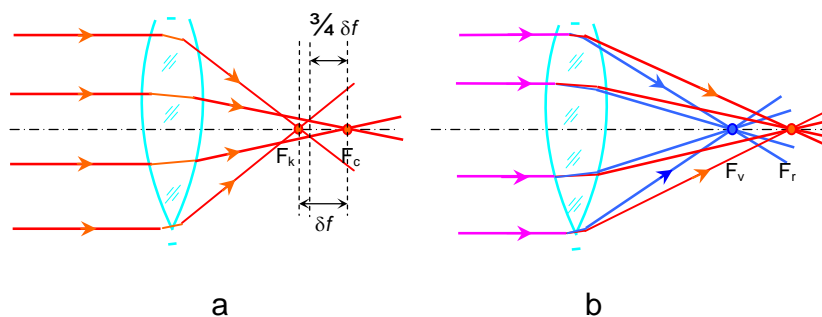


5 pav. Spindulių sklaidimas idealioje optinėje sistemoje. [8]

Iš 5 paveikslo matome kaip visi spinduliai susikerta viename taške F , tačiau esant kuriai nors aberacijų rūšiai, spinduliai nesusikerta viename taške.

1.1.2. Sferinė aberacija

Dėl sferinės aberacijos glaudžiamieji lęšiai kraštinius spindulius fokusuoja arčiau to židinio, kurį suformuoja centriniai spinduliai (6 pav.) [9] Todėl vietoje to, kad visi spinduliai būtų nukreipti taškinį židinį, jie išdalijami į mažą vaizdo susidarymo sritį. Antroji bėda, kad spinduliai nekonverguodami į tikslų židinio tašką, mažina vaizdo kokybiškumą.[5]



6 pav. Sferinė (a) ir chromatinė (b) aberacija [9]



7 pav. Sferinės aberacijos pasireiškimas nuotraukoje. [8]

Sferinės aberacijos nukrypimai lengvai matomi nuotraukoje, kur vaizdas lengvai išsiliejęs Žmogaus akyje sferinė aberacija šalinama dėl tam tikros akies sandaros ypatybių:

- Priešakinis ragenos paviršius (jos centrinė dalis) yra plokštesnis nei jos pakraščiuose, todėl veikia kaip paviršius, naikinantis sferinę aberaciją;
- Rainelė veikia taip:
 1. mažina sferinę aberaciją, kai vyzdys susitraukęs;
 2. regėjimo aštrumo sumažėjimas dėl sferinės aberacijos atsiranda kuomet vyzdys yra išsiplėtęs;
- Akies lęšiukas (1.43) turi didesnę lūžio rodiklį, todėl ašinė zona turi didesnę laužiamąją galią nei pakraščiuose;
- Tinklainės kūgeliai jautriau reaguoja į šviesą, kuri patenka į akis paraksialiai (spinduliai, kurie su optine ašimi sudaro menką kampą) nei šviesa, kuri patenka įstrižai per periferinę rageną. Šis kūgelių receptorių kryptinis jautrumas riboja liekamosios sferinės aberacijos vizualinius efektus akyje [10].

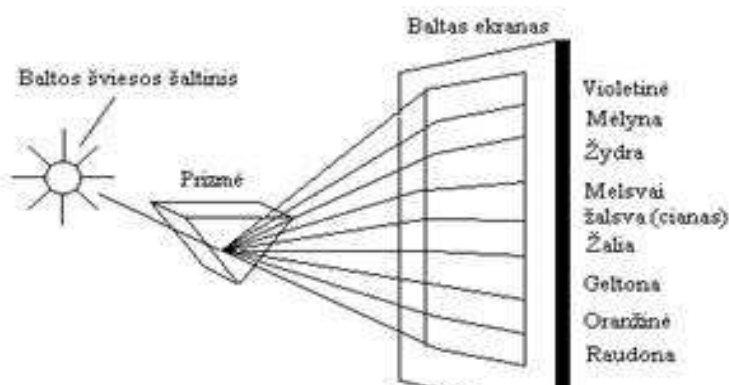
Sumažinti sferinei aberacijai nešiojant akinius, patartina įprastinius lęšius pakeisti asferiniais akinių lęšiais (dėl savo plokščios formos atrodo estetiškiau). Taip pat sferinę aberaciją galima mažinti parenkant sudėtingesnę laužiamųjų paviršių formą.

1.1.3. Chromatinė aberacija

Kita lęšio aberacija be sferinės aberacijos ir distorcijos yra chromatinė aberacija. Baltoji šviesa dėl dispersijos reiškinių sukuria atvaizdą, sudarytą iš daugelio vienas su kitu nesutampančių monochromatinių atvaizdų, atvaizdas yra spalvotas, ši sistemos yda vadinama chromatine aberacija [1].

Akių fokusavimo galia yra skirtinga, nes akies terpės turi skirtingo lūžio rodiklį, skirtingiems bangų ilgiams. Mėlyni spinduliai atnešami į židinį, kuris yra priekyje raudonos šviesos židinio (6 pav. b) [11].

Kaip sumažinti arba pašalinti chromatinę aberaciją XVIII amžiuje pirmasis pasiūlė John Dollond, naudodamas dviejų skirtingų tipų stiklo derinį. Chromatinė aberacija viena iš labiausiai paplitusių optinės sistemos defektų, nes lęšis laužia įvairių spalvų, esančių baltos spalvos šviesos kitu kampu priklausomai nuo bangos ilgio (8 pav.) [12][13].



8 pav. Chromatinė aberacija pagal bangos ilgius

Praeidami pro akinių lęšio kraštą spinduliai yra laužiami nevienodai ir susidaro šviesos spektras (panašiai, kaip vaivorykštė). Chromatinės aberacijos būna violetinės (pupurinės), žalsvos (žalsvai mėlynos), raudonos (9 pav.). Mėlyni spinduliai labiau nukrypsta nei raudonieji(6 pav., b)



9 pav. Chromatinės aberacijos pasireiškimas nuotraukoje

Didesnių chromatinių aberacijų atsiradimo galimybes didina švytėjimo efektas (kai taškas gauna per didelį šviesos srautą ir išsilieja į aplinkinius taškus). Tokiu būdu prarandamos smulkios vaizdo detalės taškų išsiliejimo vietose.

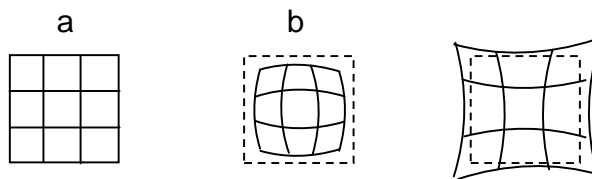
Chromatinės aberacijos sumažinimui reikia:

- Pakeisti lęšio medžiagas su aukštos Abės skaičiaus verte;
- Kad būtų tiksli optinio centro vieta kartu su monokuliariai vyzdžio distancija ir jo aukštis mažame rėmelyje; Kai akiniai blogai centruoti, gali pasireikšti nekokybiškas regėjimas, ypač didelio laipsnio trumparegystę. [10]
- Antirefleksinė danga;
- Geriausias sprendimas chromatinės aberacijos mažinimui yra achromatiniai lęšiai, kurie gaminami iš skirtingų stiklo rūšių. (vienas mažos dispersijos, kitas aukštos dispersijos).

1.1.4. Distorsija

Kai atvaizdo dalių ilginis didinimas nevienodas, sutrinka geometrinis daikto ir atvaizdo panašumas. Tokios rūšies aberacijos vadinamos *distorsija* (Šalna V. A. (2004). Kai ilginis didinimas didėja tostant nuo optinės ašies, kvadrato atvaizdas įgauna „pagalvėlės formą“. Taip gaunama kai pluoštelį ribojanti diafragma yra už lęšio. Jei diafragma yra prieš lęšį, didinimas atvaizdų lauko kraštuose mažesnis negu centre ir kvadrato atvaizdas įgauna „statinaitės formą“ (Bhootra A. K. (2009).

Dviejų lęšių sistemoje įdėjus diafragmą tarp lęšių galima beveik panaikinti distorsiją. Distorsija nepakeičia atvaizdo ryškio (10 pav.) [3]. Kaip atrodo realus vaizdas esant „pagalvės“ formos – distorsijai, matome (11 pav.)



10 pav. Atvaizdai esant distorsijai (*a* – objektas, *b* – „statinės“ forma, *c* – „pagalvės“ forma)



11 pav. Distorsija „pagalvės“ formos nuotraukoje [8]

Distorsijos sumažinimui ar jos panaikinimui vietoj sferinių lęšių rekomenduojami asferiniai, kaip ir sferinės aberacijos atveju. Kai žmogus nešioja akinius, su kuriais jaučia vaizdo iškreipimus, ypač tai būdinga turint nuo ± 4.0 D. Pamažu žmogaus smegenys pradeda ignoruoti nepageidaujamus efektus ir stengiasi priimti gaunamą informaciją. Tačiau žmogus greičiau pavargsta, jaučiasi nervingas, kamuoja galvos skausmai.

1.2. Abės skaičius, jo priklausomybė nuo lūžio rodiklio

Abės skaičių pirmasis pateikė vokiečių fizikos profesorius Ernst Abbe. *Abės skaičius*, tai koeficientas apibūdinantis indekso priklausomybę nuo bangos ilgio [14].

Abės skaičius susieja skaidrios medžiagos lūžio rodiklį su chromatinės aberacijos kiekybiniu pasireiškimu.

Abės skaičius išreiškiamas kaip nuokrypio kampas δ_n santykis su vidutiniu spindulių dispersijos kampas δ_{FC} . Jo matematinė išraiška:

$$v_d = \frac{\delta_n}{\delta_{FC}},$$

arba

$$v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (4)$$

čia n_d – lūžio rodiklis geltonajai helio d linijai (bangos ilgis 587.56 nm);

n_F – lūžio rodiklis mėlynajai vandenilio F linijai (bangos ilgis 486.13 nm);

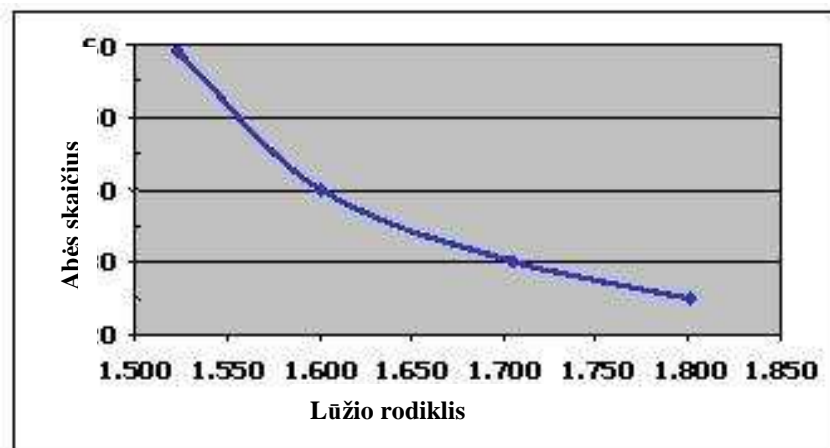
n_C – lūžio rodiklis raudonajai vandenilio C linijai (bangos ilgis 656.27 nm).

Pvz. $n_d=1.5$ $n_F=1.55$; $n_C=1.45$

$$v_d = (1.5 - 1)/(1.55 - 1.45) = 0.5/0.1 = 5 \quad [15]$$

Kuo didesnis lūžio rodiklis, tuo mažesnis Abės skaičius. Mažas Abės skaičius reiškia, kad lūžio rodiklis labai priklauso nuo bangos ilgio t.y. stipriai pasireiškia chromatinė aberacija, o didesnis Abės skaičius užtikrina geresnes lęšio savybes (12 pav.) [16][17].

Todėl, norint užtikrinti, kad lęšio pakraščiuose susidaranti spalvos neįtakotų periferinio matymo, Abės skaičius neturi būti mažesnis nei 30 [16].



12 pav. Abės skaičiaus priklausomybė nuo lūžio rodiklio.[17]

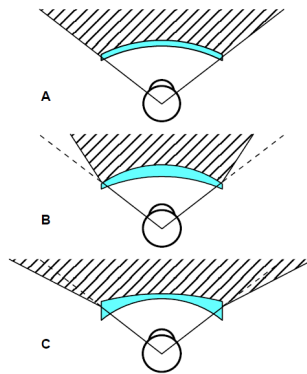
Abės skaičius klasifikuojamas:

- mažos sklaidos $V \geq 45$;
- vidutinės sklaidos $V \geq 39 \square 45$;
- aukštos sklaidos $V \square 39$. [18]

Didesnio lūžio rodiklio plastikas taip pat turi mažesnę Abės vertę ($32 \square 42$) ir todėl pasitaiko problemų su chromatinėmis aberacijomis, kuriomis skundžiasi klientai [19].

Gludžiamieji lęšiai lauko periferijoje susiaurina regos lauką, o sklaidomieji regos lauką išplečia (13 pav.).

Kai klientui juda akis kartais akinių pakraščiuose susidaro prizmės, žmogus mato spalvinius pakraščius. Norint panaikinti chromatinės aberacijas reikalingi dubletai, t. y. pagaminami sujungiant du lęšius iš skirtingų lūžio rodiklių [20].



13 pav. A- normalus regėjimo laukas; B- su plusiniu lęšiu; C- su minusiniu lęšiu[10]

1.3.Lęšių medžiagos

Iš pradžių akinių lęšiai buvo gaminami iš brangių kvarco kristalų. Šiandien to atsisakyta ir naudojamos labiau modernios bei nebrangios medžiagos, bei suskirstyta į dvi grupes: organinės medžiagos (plastikas) ir mineralinės medžiagos (stiklas) [20].

Stikliniai lęšiai: vis dar plačiai naudojami akinių gamyboje, nes stiklas pasižymi geromis optinėmis savybėmis bei atspariausias subraižymui.

Plastikiniai lęšiai: pagrindinis plastmasinių lęšių privalumas yra tas, kad jie sveria du kartus mažiau nei tokie pat stikliniai lęšiai. Ypač didelio indekso plastmasės lęšiai yra labai ploni ir lengvi, todėl jie geriau tinka, kai reikia koreguoti didelių dioptrijų refrakcijos ydas, pavyzdžiui, didelio laipsnio trumparegystę ar toliaregystę. Tačiau plastmasė lengviau braižosi ir labiau sugeria bei atspindi šviesos spindulius, todėl būtina speciali apsauga nuo refleksijos bei danga nuo subraižymų [21].

Organinės medžiagos gali būti klasifikuojamos į termoreaktyviosios arba termoplastinės medžiagos. Dauguma akinių pagaminta iš alilo diglycol karbonato, termoreaktyvioji plastikinių lęšių medžiaga PG-39. Anksčiau 1940 metais buvo išrasta CR-39 medžiaga kaip rišiklis ir šiuo

metu yra laikomas „standartu“ pagal kurį lyginamos kitos medžiagos. Labiausiai paplitusi termoplastinė medžiaga yra polikarbonatas, kuris buvo išrastas 1950 metais “General Electric“. Polikarbonatas žinomas dėl savo išskirtinės savybės atsparumo smūgiams [20].

1.3.1. Lęšiai iš medžiagos su padidintu lūžio rodikliu

Šviesa greitis didžiausias vakuume ir mažesnis kitose terpėse. Lūžio rodiklis yra apibrėžiamas kaip šviesos greitis vakuume, padalintas iš šviesos greičio toje aplinkoje [1].

Lūžio rodiklis = šviesos greitis vakuume / šviesos greitis aplinkoje.

$$\text{Lūžio rodiklio formulė: } n = c/v, \text{ kur} \quad (5)$$

čia n – lęšio lūžio rodiklis, c – šviesa, v – greitis.

Nuo lūžio rodiklio priklauso spindulio pereinančio iš vienos terpės į kitą laužimo kampas.

Pagal n lęšiai skirstomi:

- Standartinio lūžio rodiklio $n \leq 1.53$
- Vidutinio lūžio rodiklio $1.53 < n < 1.60$
- Aukšto lūžio rodiklio $n \geq 1.60$

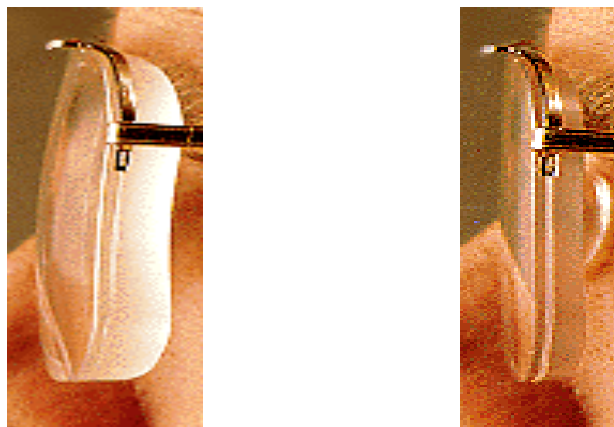
Lūžio rodiklis labai svarbus parametras gaminant lęšius. Iš (1) formulės matyti, kad lęšio laužiamoji geba priklauso ne tik nuo paviršių kreivumo spindulių, bet ir nuo lūžio rodiklio. Gaminant lęšius su didele laužiamąja geba optimaliau panaudoti medžiagas su didesniu lūžio rodikliu. Tada lęšio paviršių kreivumo spinduliai gali būti didesni. Reiškia lęšio paviršiai yra plokštesni, o patys lęšiai plonesni (lengvesni) (14 pav.). Įvairių medžiagų, naudojamų akinių lęšių gamyboje, Abės skaičiaus priklausomybė nuo lūžio rodiklio pateikta (1 lentelė.) [14][20].

1 lentelė

Abės skaičiaus priklausomybė nuo lūžio rodiklio [22]

Medžiaga	Lūžio rodiklis	Abės skaičius	Tankis, kg/m ³
CR-39	1.499	58	1.32
Polikarbonatas	1.586	30	1.20
Stiklas	1.523	59	2.54
1.6 stiklas	1.601	40	2.62
1.8 stiklas	1.805	25	3.37

Tačiau naudojant medžiagas su didesniu lūžio rodikliu atsiranda šalutiniai nepageidaujami efektai. Kuo didesnis lūžio rodiklis, tuo didesnė šviesos dalis atsispindi nuo paviršių. (2 lentelė) (Bhootra A. K(2009)).Atsiranda nepageidaujami atspindžiai, mažėja akinių pralaidumas - akiniai praleidžia mažiau šviesos. Šalinant nepageidaujamus atspindžius veiksmingai naudojama antirefleksinė danga.



14 pav. Aukšto lūžio rodiklio įtaka lęšio storiui (dešinėje plonintas, kairėje pusėje neplonintas) [25]

2 lentelė

Šviesos atspindėjimo priklausomybė nuo lūžio rodiklio [22]

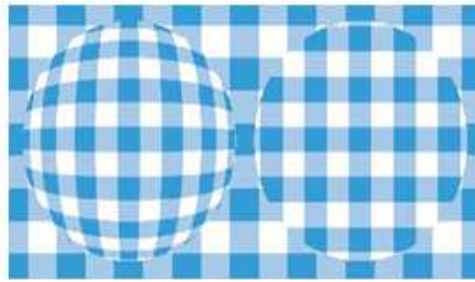
<i>Lūžio rodiklis</i>	<i>Šviesos atspindėjimas, %</i>
1.5	7.8 %
1.6	10.4%
1.7	12.3%
1.8	15.7%
1.9	18.3%

Pacientai, kurių didelės galios lęšiai, dėl lęšių lengvumo ir estetiško vaizdo rekomenduojama naudoti didesnio lūžio rodiklio lęšius, nes jie ir plonesni (13 pav.) [24].

Organinis stiklas laužia spindulius mažiau (lūžio rodiklis 1.49 □ 1.56), tai mineralinės medžiagos laužia daugiau (lūžio rodiklis 1.52 □ 1.9) [19].

Didesnio lūžio rodiklio lęšiai yra nuo 1.6 iki 1.74. Populiariausi ploninti lęšiai yra 1.6, lūžio rodiklio ir 1.67 lūžio rodiklio. Tačiau ploninti lęšiai gali būti ne tik sferiniai, bet ir asferiniai, kurie skiriasi savo plokštesniu dizainu ir lengvumu [24].

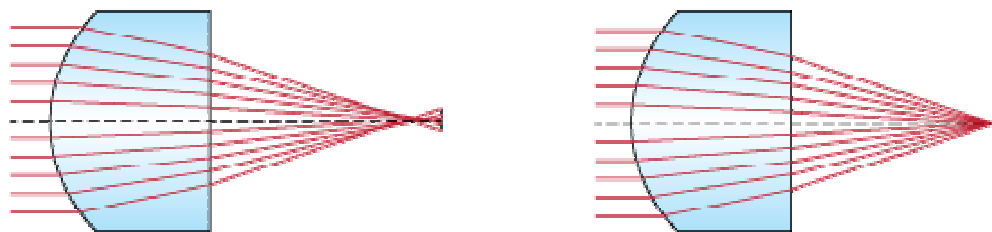
Sferiniai lęšiai esant didelėms dioptrijoms, sukelia padidintų (plusiniai lęšiai) ar pamažintų (minusiniai lęšiai) akių vaizdą, daiktai atrodo didesni ir arčiau nei jie yra ištikrųjų (15 pav.)



15 pav. Asferinio (dešinėje) ir sferinio (kairėje) lęšių palyginimas [2]

Asferiniai lęšiai sumažina arba pašalina šiuos iškraipymus, tuo pačiu suteikdami geresnį periferinį matymą. Todėl asferiniai lęšiai sumažina nepageidaujamus didinimo ir mažinimo poveikį [26].

Pagal šviesos spindulių konvergenciją puikiai matomi sferinis ir asferinis lęšis (16 pav.)



16 pav. Sferinis ir asferinis lęšis [27]

Pagal asferinių lęšių sukurtą technologiją, galima pašalinti sferinę aberaciją ir sumažinti kitas optines aberacijas bei suteikti estetinę išvaizdą. Asferiniai lęšiai yra kai vienas ar abu paviršiai ne sferinius paviršius formos, tai reiškia gali būti toroidinis arba cilindro formos. Toks paviršius yra tas, kuris gaminamas sukant elipsę apie jos pagrindinį skersmenį. Todėl asferiniai lęšiai yra sudėtingesni nei sferiniai, jiems būtinas tikslus akinių centravimas ir prie jų akinių nešiotojui.

reikia kartais tiesiog priprasti. Tačiau pripratus prie asferinio lęšio, galima palyginti puikų regėjimo vaizdą.[29] (17 pav.)



17 pav. Asferinis lęšis (dešinėje), sferinis lęšis (kairėje)[10]

1.3.2.Lęšių su padidintu lūžio rodikliu privalumai ir trūkumai fizikiniu aspektu

Akinių nešiotojai, kurių dioptrijos yra vidutinio arba didesnio laipsnio, pirkdami naujus akinius tikisi ir estetiškos išvaizdos bei lengvesnių lęšių. Norint pagaminti tokios pačios laužiamosios galios tačiau plonesnį lęšį, su didesnio paviršių kreivumo spinduliais gali būti , reikia naudoti didesnio lūžio rodiklio medžiagas. Siekiant pašalinti aberacijas lęšiai dažnai gaminami asferiniai. Tačiau yra tokių lęšių privalumų ir trūkumų.

Plonintų 1.74 lūžio rodiklio lęšių privalumai ir trūkumai:

- 50% plonesnis už neplonintą lęšį;
- dėl asferinio dizaino šonuose yra mažiau iškraipymų;
- asferiniai lęšiai yra plokštesni, todėl rėmelyje atrodo estetiškiau.
- dėl medžiagos trapumo lęšiai nemontuojami į orinius (varžtukinius) rėmelius. [30]

Plonintų lęšių 1.6 lūžio rodiklio privalumai ir trūkumai:

- Šie lęšiai gaminami iš naujos kartos plastiko, kuris pasižymi lengvumu ir tvirtumu, sunkiai skilinėja;
- 30% plonesnis už neplonintus lęšius;
- Ypač atsparūs lūžiams □ rekomenduojama dėti į rėmelius su valu;
- 100% apsauga nuo UV;
- Mažesnė matoma vaivorykštė lęšio kraštuose; [17]

Plonintų lęšių 1.67 lūžio rodiklio privalumai ir trūkumai:

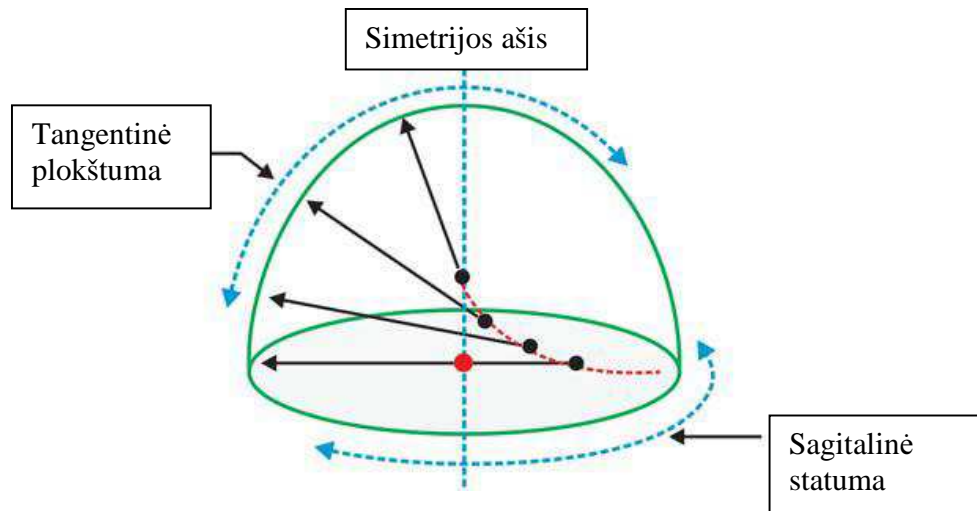
- Ypač tinkantis aukštesnio laipsnio toliaregystei ar trumparegystei koreguoti;
- lęšio storiui prilygsta 1,7 lūžio rodiklio stiklo lęšiams, tačiau 2,5 karto lengvesni;
- net aukštų dioptrijų lęšiai yra lengvi;
- gali būti dedamas į visų tipų rėmelius.[21]

Šiai dienai aukšto lūžio rodiklio stiklas iš švino oksido pakeičiamas titano oksidu, todėl išsaugo aukštus rodiklius ir taip sumažina stiklo tankį (Bhootra A. K (2009). Didesnio lūžio rodiklio lęšiai yra asferinio dizaino, kurių kreivė pamažu kinta nuo objektyvo centro iki periferijos objektyvo [19][30][31].

Asferinių lęšių privalumai:

- pašalina įstrižą astigmatizmą;
- esant didelioms dioptrijoms sumažina akių didinimą;
- didesnis regėjimo laukas;
- žymiai mažesnis lęšio storis;
- lengvesnis už sferinį lęšį;
- sumažina sferinius iškraipymus ;
- estetiškesnis vaizdas.

Trimačiai asferiniai paviršiai gaminami, ne apvaliomis kreivėmis apie simetrijos ašį, o elipse. Centrinis paviršiaus išlinkimas arba viršūnės išlinkimas yra beveik sferinis, priekinė kreivės vertė. Galima pastebėti besikeičiančius spindulių išlinkimus tangentinėje plokštumoje ir sagitalinėje lęšio statumoje. Šis paviršinis yra suprojektuotas, kad neutralizuotų įžambų astigmatizmą, kai akinių nešiotų žvilgsnis toli nuo lęšio centro (18 pav.) [10]



18 pav. Asferinių lęšių paviršiai[10]

Bet akinių lęšiai su didesniu lūžio rodikliu daliai klientų, sukelia nepatogumus, t.y. jaučiami įvairūs vaizdo iškreipymai. Teoriškai asferiniai lęšiai yra daug tobulesnės technologijos ir sukurti kaip tik aberacijų (iškreipimų) šalinimui. Gamintojai taip pat rekomenduoja kuo dažniau akinių nešiotojams pakeisti sferinius lęšius į asferinius, tačiau apie galimus pašalinius efektus kalbama mažai.

Literatūroje apie asferinių lęšių sudėtingumą užsimenama, jog labai svarbu tiksliai nustatyti paciento optinį centrą. Tikslus akinių centravimas padeda išvengti prizminių efektų, kurie sukelia nepatogumus akinių nešiotojui. Tačiau ir atlikus taisyklingą akinių centravimą, ne visada paciento akys toleruoja didesnio lūžio asferinius lęšius.

II. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

2.1. Tyrimo metodika

Darbo tikslas: Įvertinti didesnio lūžio rodiklio lęšių nepageidaujamus efektus.

Darbo objektas: „Žemaitijos optikos centras“ įsikūrusios Mažeikių mieste, klientai naudojančys didesnio lūžio rodiklio lęšius.

Siekiant išsiaiškinti didesnio lūžio rodiklio plonintų lęšių tariamai sukeltus nepageidaujamus efektus, „Žemaitijos optikos centras“ optikoje buvo atliktas empirinis tyrimas. Empirinio tyrimo duomenims surinkti buvo pasirinktas anketavimo metodas.

Klausimynas buvo sudarytas iš 11 klausimų (1 priedas), dalį jų sudarė socialiniai klausimai, kuriais buvo siekiama išsiaiškinti respondentų lytį, amžių, išsilavinimą. Kita dalis klausimų skirta nustatyti respondentų refrakcijos ydas; lūžio rodiklio pasirinkimą; patirtų nepageidaujamų efektų nešiojant plonintus akinų lęšius.

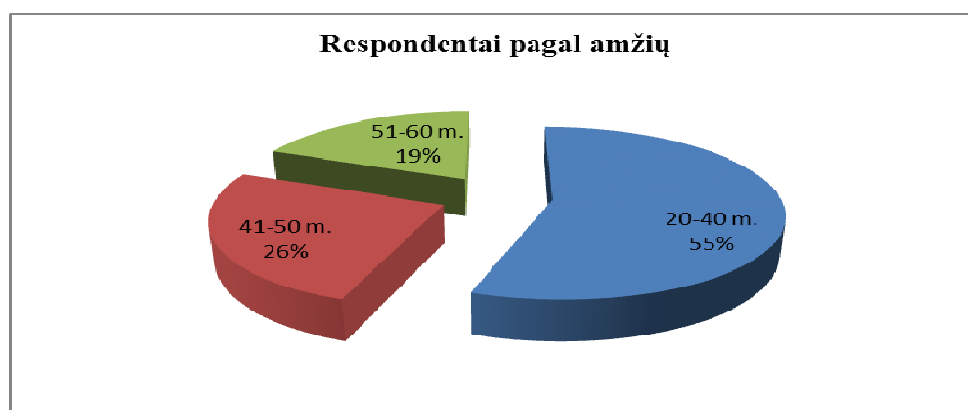
Tyrimo metu buvo apklausta 90 „Žemaitijos optikos centras“ klientų, kurie užsisakė akinius su padidinto lūžio rodiklio lęšiais.

Gautų tyrimo duomenų statistiniam apdorojimui buvo pasirinkta Exelio skaičiuoklė, kuri suteikia galimybes palyginti duomenis ir vaizdžiai perteiki rezultatus grafikų, histogramų pavidalu.

2.2. Tyrimo rezultatų analizė

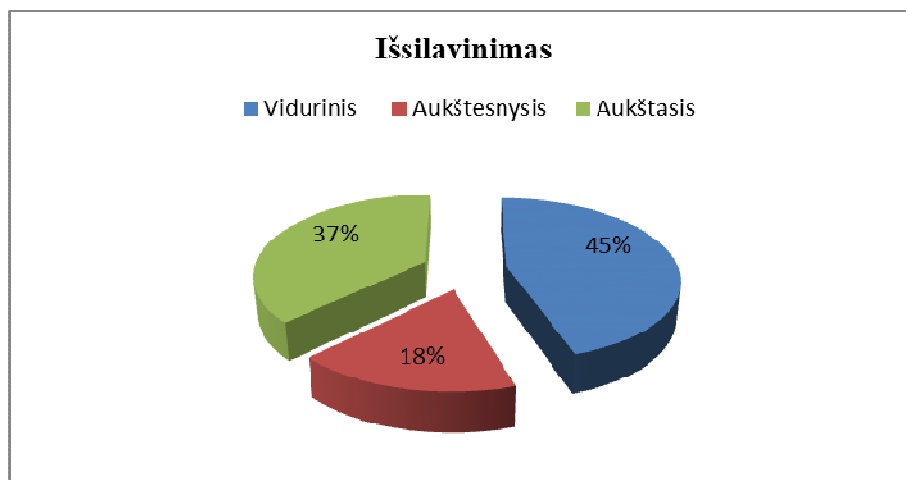
Tyrimo metu apklausta 90 „Žemaitijos optikos centras“ klientų: 28 vyrai ir 62 moterys.

Respondentų pasiskirstymas amžiaus grupėmis pavaizduotas (19 pav.)



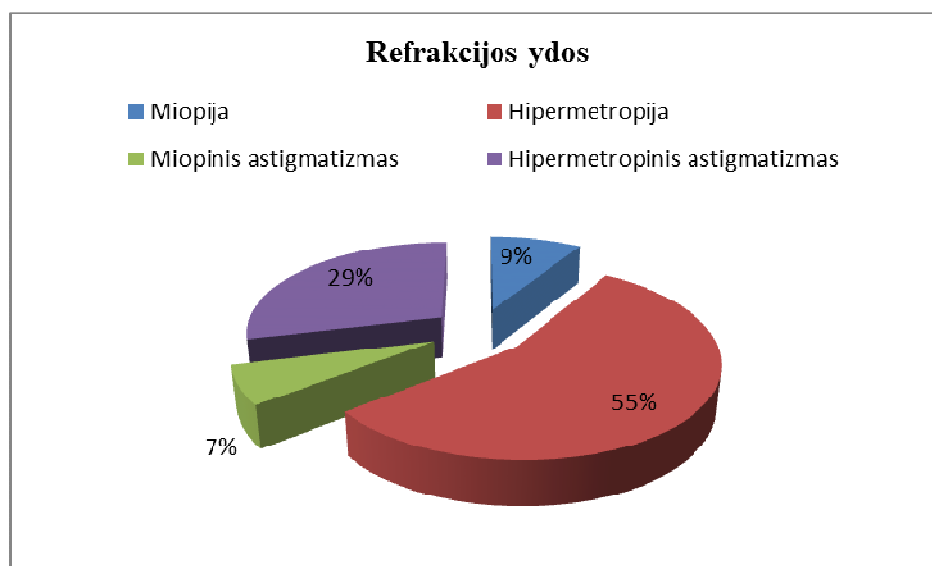
19 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal amžių

Didžiausias skaičius, net 45% respondentų turėjo tik vidurinį išsilavinimą, aukštąjį išsilavinimą 37% ir aukštesnįjį 18% respondentų (20 pav.).



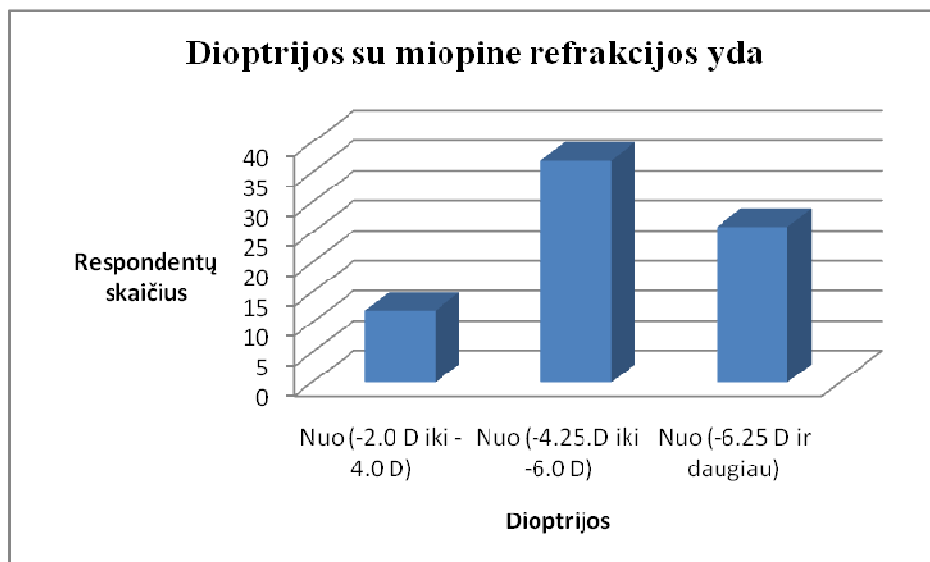
20 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal išsilavinimą

Išanalizavus anketinius duomenis, nustatyta, kad mūsų tyrime dažniau pasitaikė refrakcijos yda yra □ miopija, 75 klientai (55%) bei miopinis astigmatizmas 26 klientai (29%) (21 pav.). Kitos refrakcijos ydos retesnės – hipermetropija, 15 klientų (9%) iš jų hipermetropinis astigmatizmas 6 klientai (7%).



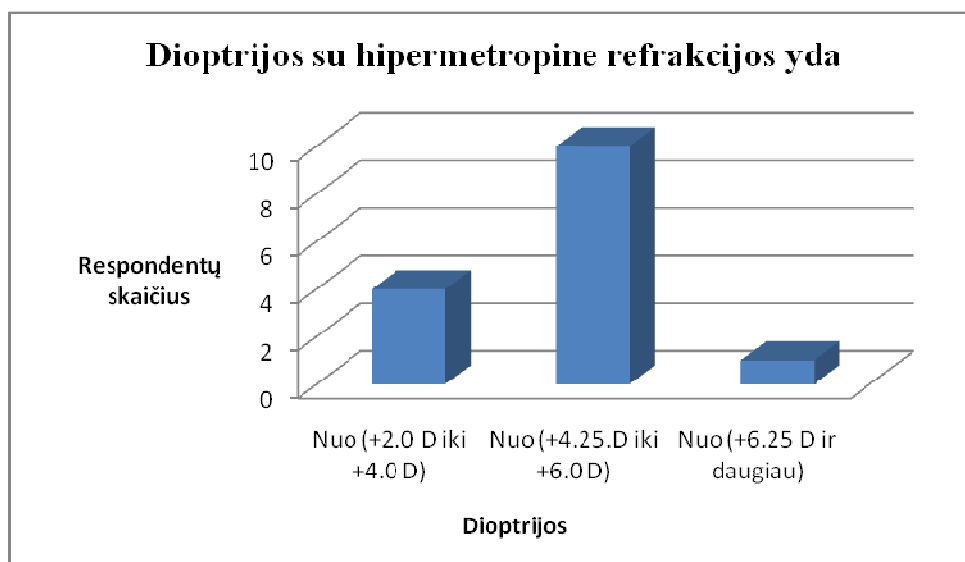
21 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal refrakcijos ydas

Skiriami trys toliaregystės laipsniai: silpna (iki 2,0 D), vidutinė (iki 5,0 D) ir didelė toliaregystė (daugiau kaip 5,0 D). (22 pav.). Trumparegystės laipsniai: silpna (iki 3,0 D), vidutinė (iki 6,0 D) ir stipri (virš 6,0 D) (23 pav.)



22 pav. Respondentų dioptrijos su miopine refrakcijos yda.

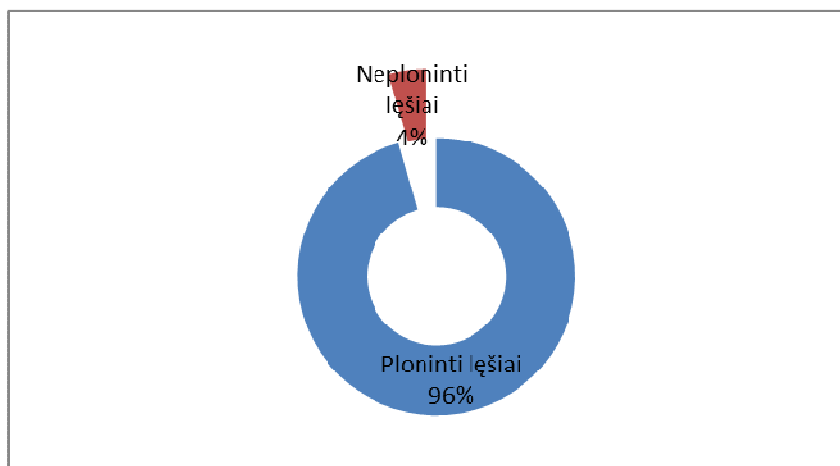
Respondentų su miopine refrakcijos yda nuo (-2.0D iki 4.0 D) buvo 15, nuo (-4.25 D iki 6.0 D)- 37 žmonės ir nuo (-6.0 D ir daugiau) buvo 26.



23 pav. Respondentų dioptrijos su hipermetropine refrakcijos yda.

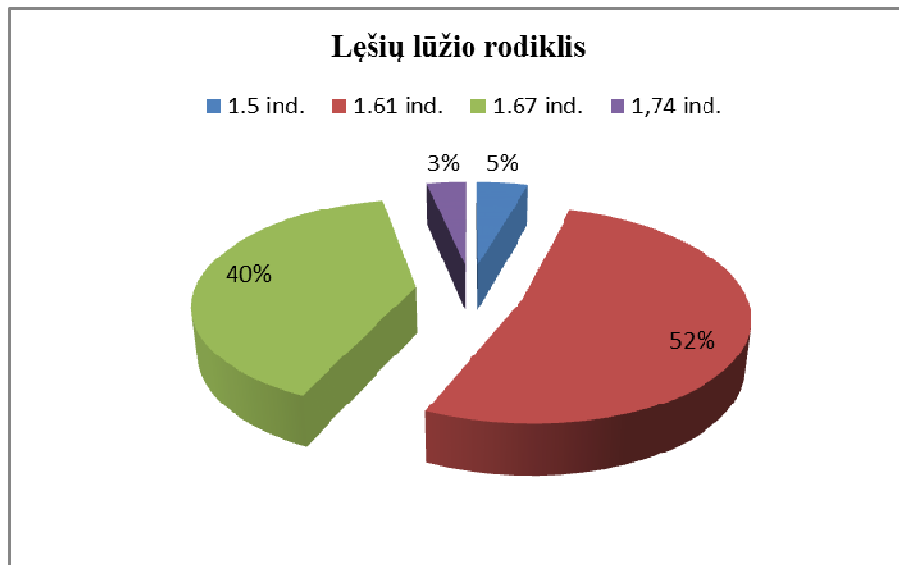
Respondentų su hipermetropijos refrakcijos yda nuo (+2.0 D iki +4.0 D) buvo 4, nuo (+4.25 D iki + 6.0 D) - 10 žmonių ir su dioptrijomis nuo (+6.25 D ir daugiau) - 1 žmogus.

Taip pat pagal gautus anketinius duomenis iš (24 pav.)matyti, jog respondentai linkę užsisakyti labiau plonintus (1.6; 1.67; ir 1.74 lūžio rodiklio.) akinių lęšius nei neplonintus (1.5 lūžio rodiklio). Toks respondentų pasirinkimas rodo, kad akinių lęšiai svarbu ne tik geram matymui, bet ir estetiškam vaizdui.



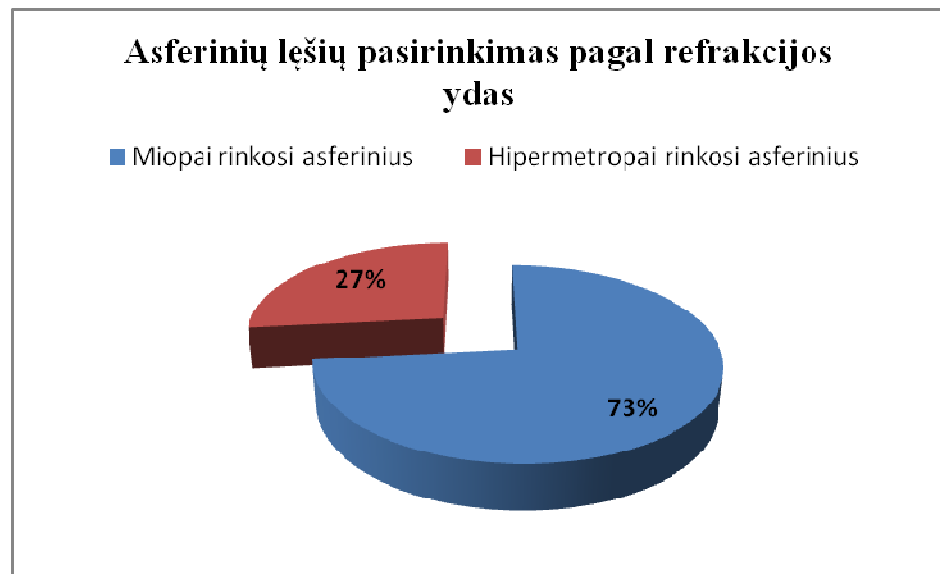
24 pav. Respondentų užsisakymas plonintų ir neplonintų lęšių

Analizuojant kokio lūžio rodiklio stiklus nešioja respondentai (25 pav.), paaiškėjo, kad 1.5 lūžio rodiklio, neplonintų lęšių pageidavimas mažas, tik 4 klientai (3 %). Taip pat mažai užsakomas ir labai aukšto lūžio rodiklio 1.74, nes įtakoja jų nemaža kaina tik □ 3 klientai (5 %). Populiariausi ploninti lęšiai yra 1.61 lūžio rodiklio □ 47 klientai (52 %), ir lęšiai su 1.67 lūžio rodiklio □ 36 klientai (40 %).



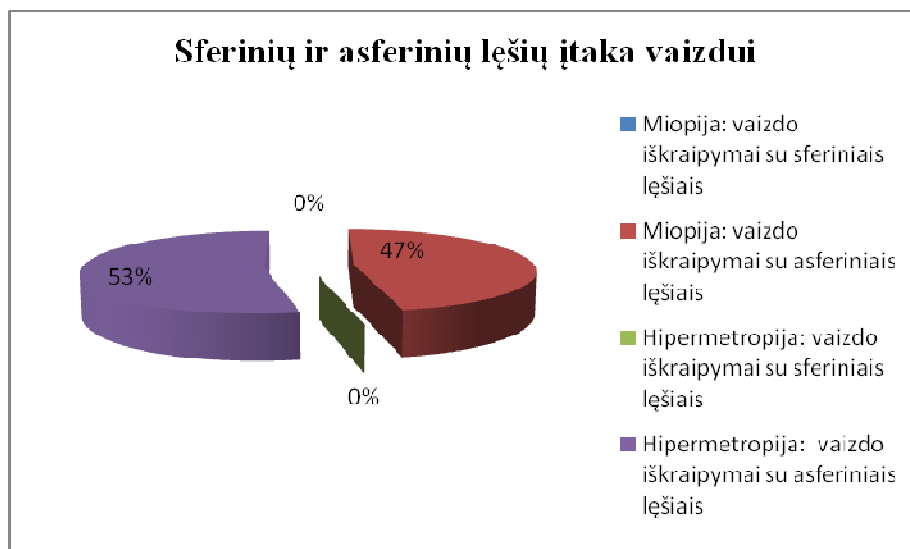
25pav. Respondentų lęšiai pagal lūžio rodiklį

Respondentų užsakomi akinių lęšiai dar skirstomi ne tik pagal lūžio rodiklį, bet ir pagal tai, ar jie asferiniai, ar sferiniai lęšiai. Iš 90 apklaustųjų net 30 žmonių pasirinko asferinius lęšius. Iš jų 22 (73 %) buvo turintys miopinę refrakcijos ydą ir 8 (27 %) hipermetropinę refrakcijos ydą. (26 pav.)



26 pav. Respondentų asferinių lęšių pasirinkimas pagal refrakcijos ydas.

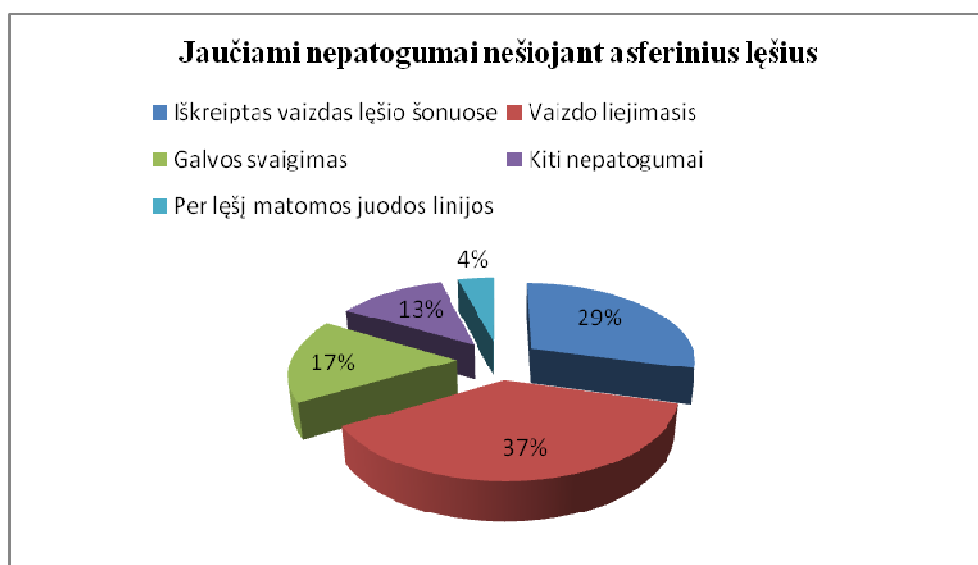
Respondentai, kurie užsisakė sferinius akinių lęšius, jokių vaizdo iškreipimų nepatyrė. Tačiau su asferiniais akinių lęšiais net 53 % žmonių su toliaregystės refrakcijos yda, pajuto nepatogumus. Taip pat trumparegystės refrakcijos ydas turintys respondentai 47% , patyrė vaizdo iškreipimus (27 pav.)



27 pav. Sferinių ir asferinių lęšių įtaka vaizdui.

Respondentai, kurie užsisakė didesnio lūžio rodiklio asferinius lęšius, pagal anketinių duomenų apibendrinimą, matyti, kad akinių nešiotojai patiria įvairius nepatogumus ir diskomfortą. Pagrindiniai įvardinti nepatogumai buvo, jog liejosi vaizdas, išsikreipia vaizdas akinių lęšių šonuose, galvos svaigimas, per lęšį matomos juodos linijos bei kt., nepatogumai.

Dažniausiai pasireiškiantis nepageidaujamas asferinių lęšių, tai vaizdo liejimasis, net 37% respondentų tai nurodė savo apklausos anketose. Antrasis dažniau pasitaikantis nepatogumas buvo įvardijamas – iškreiptas vaizdas akinių lęšių šonuose (29 %). Galvos svaigimą su asferiniais lęšiais pajuto 17 % respondentų. Apie kitus nemalonus pojūčius pritarė 13 % žmonių ir 1 žmogus užsidėjęs akinius per lęšius matė juodas linijas(28 pav.)



28 pav. Jaučiami nepatogumai nešiojant asferinius lęšius.

Iš 90 apklaustų respondentų išsiaiškinta, jog dažniausiai plonintų lęšių sukeltus nepatogumus jaučia klientai turintys hipermetropijos ir hipermetropinio astigmatizmo refrakcijos ydas. Iš 15 hipermetropijos refrakcijos ydą turinčių klientų, net 8 žmonėms, iš kurių 6 respondentai turėjo hipermetropinį astigmatizmą pajuto vaizdo iškraipymų efektus, įsigyjant asferinius akinių lęšius, nepaisant lūžio rodiklio (1.61; 1.67). O klientai, kurie užsisakė (1.61; 1.67) su sferiniais lęšiais, jokių matymo nepatogumų nepajuto.

IŠVADOS

Iš literatūros analizės paaiškėjo, kad plonintų lęšių su didesniu lūžio rodikliu naudojimas turi tiek privalumų, tiek trūkumų:

1. Didesnio lūžio rodiklio lęšiai turi didesnę Abės skaičių, reiškia stipriau pasireiškia chromatinės aberacijos;
2. Stipriau pasireiškia sferinės aberacijos;
3. Tačiau didesnio lūžio rodiklio lęšiai yra lengvesni ir plonesni.
4. Asferiniai lęšiai gali sumažinti sferines aberacijas, nes šviesos sklidimas yra efektyvesnis.

Atlikus respondentų anketinę apklausą, gauti tyrimo rezultatai rodo, kad didesnio lūžio rodiklio ploninti lęšiai, ypač asferiniai sukelia nepageidaujamus efektus. Respondentai su miopijos refrakcijos ydomis, kurie užsisakė asferinius lęšius (22 žmonės), iš kurių 7 jautė nemalonus vaizdo iškraipymus. Tačiau vaizdo iškraipymus labiau pajautė tie klientai, kurie turėjo hipermetropijos (toliaregystės) refrakcijos ydas (iš 15 respondentų, net 8 žmonės).

Kaip nepageidaujamus efektus su asferiniais lęšiais respondentai įvardijo vaizdo liejimąsi net 37%, iškreiptas vaizdas akinių lęšių šonuose (29 %). Galvos svaigimą su asferiniais lęšiais pajuto 17 % respondentų. Apie kitus nemalonus pojūčius pratarė 13 % žmonių ir 1 žmogus užsidėjęs akinius per lęšius matė juodas linijas

Iš tyrimo galima teigti, jog gamintojų rekomenduojami didesnio lūžio rodiklio asferiniai lęšiai yra labiau teoriškai turintys privalumų nei praktiškai.

LITERATŪRA

1. Šalna V. A. (2004). *Geometrinės optikos ir fotometrijos pagrindai*. Vilnius. Fizikos olimpas. ISBN 9986-778-03-4. 17-20 psl.
2. Геометрическая оптика. Тонкие линзы. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
<http://www.physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph3/theory.htm>
[12](#)
3. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-04-08]. Prieiga per internetą:
<http://www.freewebs.com/opfizika/optika/pusl2.htm>
4. Plonieji lęšiai. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą:
http://www.ik.su.lt/~mariusbm/optika/teorija/plonieji_lesiai.htm
5. Blužienė A., Jašinskas V. Akių ligų vadovas. (2005). Šiauliai. ISBN 9986-552-20-6. 60-63psl.
6. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: <http://apc.ktu.lt/wp-content/uploads/2012/04/%C5%BDmogaus-akies-optika.doc>
7. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
<http://www.zodynas.lt/tarptautiniu-zodziu/A/aberacija>
8. Бородин С. Что такое абберации? (2011). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: http://lens-club.ru/articles/item/c_15.html
9. *Optinių sistemų ydos*. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą:
<http://www.bfsk.ff.vu.lt/optika/OL2.doc>
10. Bhootra A. K. (2009). *Ophthalmic Lenses JAYPEE BROTHERS*. B Optom, DOS, FAO, FOAI FCLI (Aligarh), ICLEP (Hyderabad) Diploma in Sportvision (UK) Optometrist and Ocularist Kolkata, West Bengal, India. ISBN 978-81-8448-604-9. 57, 58, 62, 180 psl.
11. Meister D. Chromatic Aberration. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: http://www.opticampus.com/cecourse.php?url=chromatic_aberration/
12. Faubert J., Ph.D. *The influence of optical distortions and transverse chromatic aberrations on motion parallax and stereopsis in natural and artificial environments*. ISBN 3-540-43549-2 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 378 psl.
13. Abramowitz M., Spring K.R., Davidson M. W. *Optical aberrations*. Olympus America, Inc., Two Corporate Center Drive., Melville, New York, 11747. Scientific Consultant, Lusby, Maryland, 20657. National High Magnetic Field Laboratory, 1800 East Paul Dirac

- Dr., The Florida State University, Tallahassee, Florida, 32310. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą: <http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/opticalaberrations.html>
14. Fesmire B. Abbe number What is it? (2008). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: http://www.ecpmag.com/1webmagazine/2008/08aug/content/through_the_lens/abbe-number.asp
15. Optical Glass. *HOYA CORPORATION USA OPTICS DIVISION*. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.hoyaoptics.com/pdf/OpticalGlass.pdf>
16. Abbe number. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.zeiss.de/4125680f0053a38d/Contents-Frame/c0ae89ceb5ab1072c12568d500495eb5>
17. Refractive Index, Abbe Value and Dispersion Formula. (2009-2012). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: http://www.pmoptics.com/refractive_index_abbe_value.html
18. Lens materials. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: http://www.empireoptical.org/downloadable%20files/reference/lens_info/Lens%20Material%20Explanation.pdf
19. Eyeglass Lens Materials. Great Lens Materials are Available to Make Lenses Thinner, Lighter and Shatter Resistant. (2012). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.mastereyeassociates.com/eyeglasses-glasses-spectacles-lenses/eyeglass-lens-materials/>
20. Meister D., Sheedy J. E. (1999-2010). *Introduction to ophthalmic optics*. Carl Zeiss Vision. 101, 102, 110, 111 psl.
21. Stipriai plonintas asferinis plastikas su AR. (2006). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą: http://www.optio.lt/lt/ypac_stipriai_plonintas_plastikas
22. Dėst. Bagdzevičiaus paskaitų konspektai. 6-7psl.
23. Refrakcijos indeksas. (2008). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą: <http://www.lasik.lt/refrakcijos-indeksas.html>
24. Ploninti akinių lęšiai. (2013). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą: <http://www.optisima.lt/node/46>
25. Drs. Newman. Lens materials. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą: <http://newmanblackstock.com/eye-care-information/52-len-materials>

26. G. Heiting, OD. Aspheric Lenses for Better Vision and Appearance. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
<http://www.allaboutvision.com/lenses/aspheric-lenses.htm>
27. All About Aspheric Lenses. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-04-08]. Prieiga per internetą:
<http://www.edmundoptics.com/learning-and-support/technical/learning-center/application-notes/optics/all-about-aspheric-lenses/?&pagenum=2>
28. Dr.Hughes E. (2012-09-21). *Continuing education & training*. Aspheric Lens. 46-48 psl.
<http://www.greatwalloptical.com.hk/optical.page/asphericlens.html>
29. [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
http://www.optometry.co.uk/uploads/exams/articles/cet_21_september_2012_hughes.pdf
30. Mo-Jolie.(2005). *Continuing Education and Training*. Materials for spectacle lenses
Optical and mechanical performance. January28. 26-31 psl.
31. Spectacle world. (2012). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
<http://www.spectacleworld.co.za/products09.htm>
32. Choosing Eyeglass Lenses: By Material. (2000-2012). [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-27]. Prieiga per internetą:
<http://www.refractivessource.com/patients/alternatives/glasses/lenses-material.htm>

PRIEDAI