

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**ZĪLĪTES REAKCIJA DAŽĀDU APGAISMOJUMU
IETEKMĒ**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Agnese Kiršteine**

Studenta apliecības Nr.: ak09518

Darba vadītājs: docents, Dr.phys. Sergejs Fomins

RĪGA 2015

ANOTĀCIJA

Maģistra darbs uzrakstīts latviešu valodā, datorrakstā uz 37 lappusēm. Tas satur 2 tabulas, 1 formulu, 22 attēlus, 3 pielikumus 28 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: Noteikt zīlītes diametra izmaiņas divu dažādu ikdienā izmantotu apgaismojumu ietekmē.

Pētījumā piedalījās 13 dalībnieki, kuriem tika veikts zīlītes diametra izmaiņu pieraksts divu ikdienā izmantotu apgaismojumu ietekmē pie divām dažādām frekvencēm.

Rezultāti: Aizklājējs ar cirkulāru apertūru modulē sinusoidālu gaismu. Zīlītes atbildes reakcija dažādu apgaismojumu ietekmē ir atšķirīga, LED spuldzes izmantošana provocē vidēji mazāku zīlītes diametru kā luminiscentā spuldze.

Atslēgas vārdi: zīlītes diametrs, LED, luminiscentis apgaismojums, sinusoidāli modulēta gaisma.

ABSTRACT

The Master Thesis „Pupillary light reflex under various illumination conditions” is written in Latvian on 37 printed pages. It contains 2 tables, 1 formula, 22 images, 3 additions and 28 references to other papers.

The aim: To establish pupil diameter changes in two various daily used illumination conditions.

13 participants took part in the work, pupil diameters were measured under two daily used illuminations in two different spatial frequencies.

Results: Cover with circular aperture modulates sinusoidal light. Pupillary light reflex differs using different illuminations, using LED instigate in average smaller pupil diameter compared to luminescent light.

Key words: pupil diameter, LED, luminescent light, sinusoidal modulated light.

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	2
1.1.Zīlītes inervācija	2
1.2.Zīlītes reakcija uz redzamo gaismu	6
1.3.Zīlītes izmērs dažādu apgaismojuma veidu ietekmē	7
1.4.Melanopsīna ganglionārās šūnas	9
1.5.Zīlītes izmēra raksturojošs matemātiskais modelis	11
1.6. Pupilometrija	12
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	14
2.1. Metodes apraksts	14
2.2. Mērījuma gaita.....	16
2.3.Datu apstrāde	17
2.5.Datu analīze un rezultāti	19
2.6.Diskusija.....	26
SECINĀJUMI	28
NOBEIGUMS	29
PATEICĪBA	30
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS AVOTI	31
PIELIKUMI.....	34
1.pielikums. Rediģēts datu masīvs	34
2.pielikums. Zīlītes diametra vidējās svārstības LED un luminiscentai spuldzei	35
3.pielikums. Furjē frekvenču sadalījums vienam cilvēkiem.	37

IEVADS

Zīlīte ir atvēruma varavīksnenē. Tās pamata uzdevums ir regulēt acī ieejošās un uz tīklenes nonākošās gaismas daudzumu. Pirmie zīlītes izmēra pieraksti tika veikti jau vairāk kā pirms 50 gadiem un kopš tā laika ir veikti vairāki būtiski pētījumi, kas parāda, ka zīlītes izmēra izmaiņas ir ne tikai ar gaismas daudzuma maiņu saistītas. Zīlīte ir arī marķieris neiroloģisku un kognitīvu procesu raksturošanai. Pēdējā desmitgadē ir pierādīts, ka arī zīlītes gaismas reakcija nav tik vienkārša kā sākotnēji tas tika domāts. Ir atklāts jauns fotopigments – melanopsīns. Ir atklāts, ka līdzīgi kā jau zināmie fotopigmenti, arī melanopsīna spektrālā jutība ir konkrētā diapazonā, tomēr, atšķirībā no jau klasiski zināmajiem fotopigmentiem, melanopsīns neiesaistās klasiskajā attēla veidošanas procesā. Tā ietekme uz redzi, kopējo zīlītes gaismas reakciju un organisma diennakts ritma regulēšanu vēl ir aktīvā izpētes procesa stadijā. Balstoties uz jaunākajiem atklājumiem, ir izvirzīta hipotēze, ka dažāda veida ikdienā izmantotie apgaismojumi rada atšķirīgu zīlītes atbildes reakciju un kā galvenais tā ietekmējošais faktors ir tīklenes ganglionārajās šūnās atrastais melanopsīns. Līdz ar to, šī darba uzdevums ir noskaidrot, kā mainās zīlītes atbildes reakcija dažādu ikdienā izmantoto apgaismojumu ietekmē.

Latvijas Universitātes Fizikas un matemātikas fakultātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā ar ESF projekta „Redzes pārslodzes fizioloģijas pētījumi un redzes stresa diagnostikas metodikas izstrāde” (2013/0021/1DP/1. 1. 1.2.0/13/APIA/VIAA/001) atbalstu ir izveidota moderna iekārta zīlītes diametra mērīšanai reālā laikā.

Darba uzdevumi:

1. Noteikt zīlītes diametra izmaiņas pie diviem ikdienā izmantotiem apgaismojumiem.
2. Noskaidrot, vai pastāv statistiski nozīmīga atšķirība zīlītes diametra svārstību amplitūdās starp LED un luminiscentajām spuldzēm.
3. Noskaidrot atšķirības signāla frekvencēs, veicot zīlītes atbildes frekvenču analīzi.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Zīlītes inervācija

Zīlīte ir atvērums varavīksnenē, kas regulē uz tīklenes nonākušās gaismas daudzumu. Zīlītes izmērs atstāj būtisku ietekmi un redzes funkcijām. [1] Galvenās zīlītes funkcijas ir:

- Acī ienākošās gaismas daudzuma regulācija;
- Fokusa dziļuma nodrošināšana – mioze pie skata tuvumā rada mazas apertūras (*pinhole*) efektu, tādā veidā samazinot refrakcijas kļūdu un palielinot fokusa dziļumu;
- Optisko aberāciju mazināšana – mazina lēcas un radzenes radītās aberācijas, ierobežojot gaismas staru iekļūšanu acī. [2]

Tās izmērs mainās ne tikai no apkārt esošās gaismas daudzuma, bet arī no vairākiem būtiskiem nevizuāliem stimuliem, to skaitā domām un emocijām. Zīlīšu izmaiņas ietver arī kognitīvos mehānismus, piemēram, papildus noslogojot atmiņu, liekot cilvēkam atcerēties ciparu rindu, atmiņas noslogojums korelē ar zīlītes izmēru – noslogota atmiņa rada zīlītes paplašināšanos. Cilvēkam esot nogurušam pēc ilgstošas koncentrēšanās, vai arī vienkārši esot miegainam, zīlīte fluktuē ievērojami vairāk, tomēr tās vidējais diametrs graduāli samazinās [3] Zemāk norādītajā tabulā (skatīt 1.1.tabulu) ir apkopoti faktori, kas var ietekmēt zīlītes izmēru, kā arī atbilstošo zīlītes reakciju – paplašināšanos, sašaurināšanos un *hippus*. *Hippus* (no grieķu valodas *hippos* – zirgs) – neatkarīga, ritmiska, bet neregulāra zīlītes sašaurināšanās un paplašināšanās frekvencē, kas mazāka par 0,04Hz.

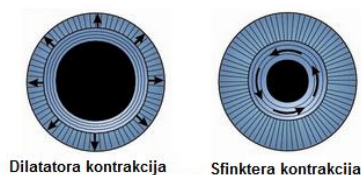
1.1.tabula

Faktori, kas ietekmē zīlītes diametru.[4]

Reakcijas avots	Zīlītes atbildes reakcijas apraksts
1. Gaismas reflekss	Sašaurinās palielinoties gaismas intensitāti, bet paplašinās intensitātei samazinoties
2. Tumsas reflekss	Momentāna paplašināšanās izslēdzot gaismu
3. Sadraudzības reakcija	Vienas acs stimulācija ietekmē abas acis
4. Tuvuma reflekss	Zīlīte sašaurinās pietuvinot objektu
5. Plakstu aizvēršanās reflekss	Momentāna zīlītes sašaurināšanās, kam seko paplašināšanās

6. Vecums	Zīlītes diametrs samazinās, pieaugot vecumam
7. Pierašana	Zīlītes diametrs samazinās, kontrakcijas ātrums palielinās, refleksa lielums samazinās
8. Nogurums	Diametrs samazinās, amplitūda un frekvence <i>hippus</i> palielinās. Vecums pastiprina šos efektus
9. Uzbudinājums un relaksācija	Uzbudinājums diametru samazina, bet relaksācija paplašina
10. Binokulārā summācija	Sašaurināšanās ir izteiktāka binokulāri
11. Gaismas viļņu garums	Zīlītes dilatācija izteiktāka hromatiskiem stimuliem nekā ahromatiskiem
12. Alkohols	Zīlīte plašāka tieši proporcionāli alkohola daudzumam asinīs
13. Dzimums	Zīlīte paplašinās uz seksuāli pievilcīgu objektu
14. Psihiatriskā diagnoze	Izmainīta zīlītes reakcija pie šizofrēnijas un neirotikām izpausmēm
15. Semantika	Mazs zīlītes diametrs tiek asociēts ar augstiem atpazīšanas sliekšņiem
16. Garša	Patīkama garša izsauc dilatāciju
17. Informācijas apstrāde	Paplašinās paaugstinoties uzdevuma sarežģītībai
18. Uzdevums	Motors uzdevums palielina zīlītes atbildes reakciju
19. Pamudinājums	Diametrs paplašinās tikai vienkāršiem uzdevumiem

Zīlītes izmēru ietekmē ne tikai emocionālie faktori, kā nogurums, stress, bet to var ietekmēt arī patoloģiskas izmaiņas nervu sistēmā. Galvenā atšķirība starp patoloģiskām un ārēji radītām izmaiņām ir tā, ka patoloģiskās izmaiņas zīlītes izmēru ietekmē neatgriezeniski, tas vairs nevar atgriezties normālā pozīcijā. [5]

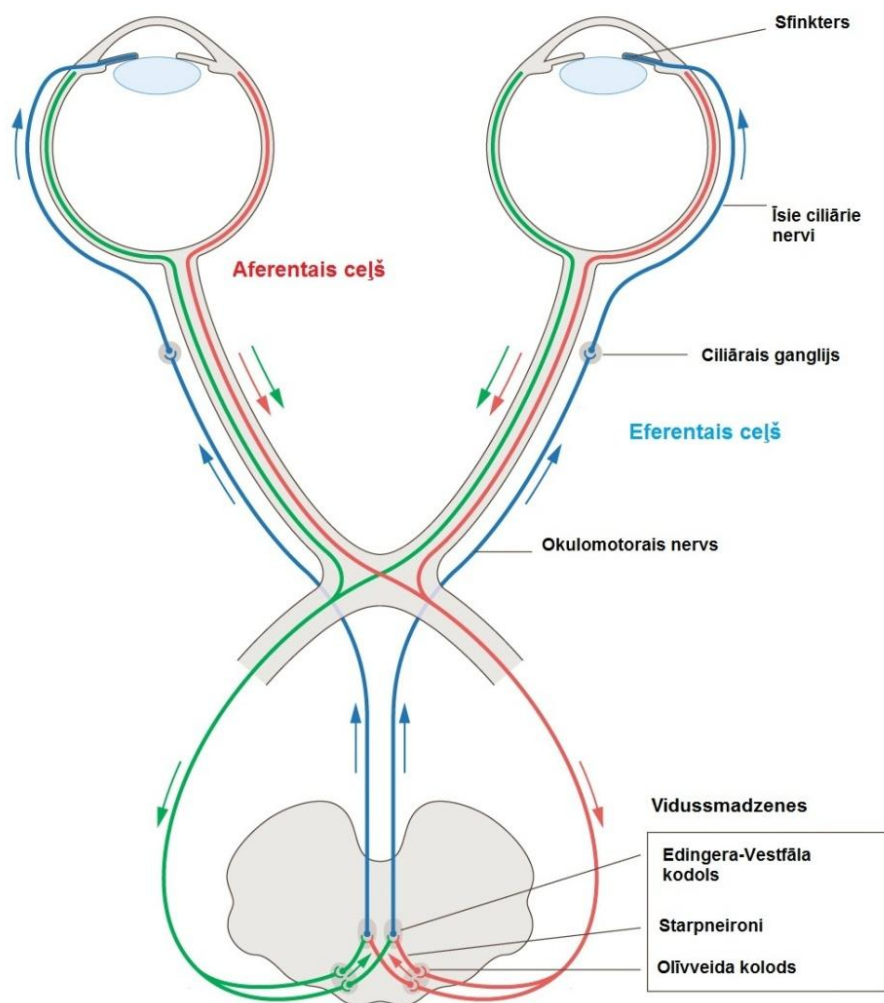


1.1.attēls. Dilatora un sfinktera izvietojums varavīksnenē un kontrakcijas darbības princips.¹

¹ <http://rodsncones.blogspot.com/2014/05/physiology-image-formation.html> 09.04.2015.

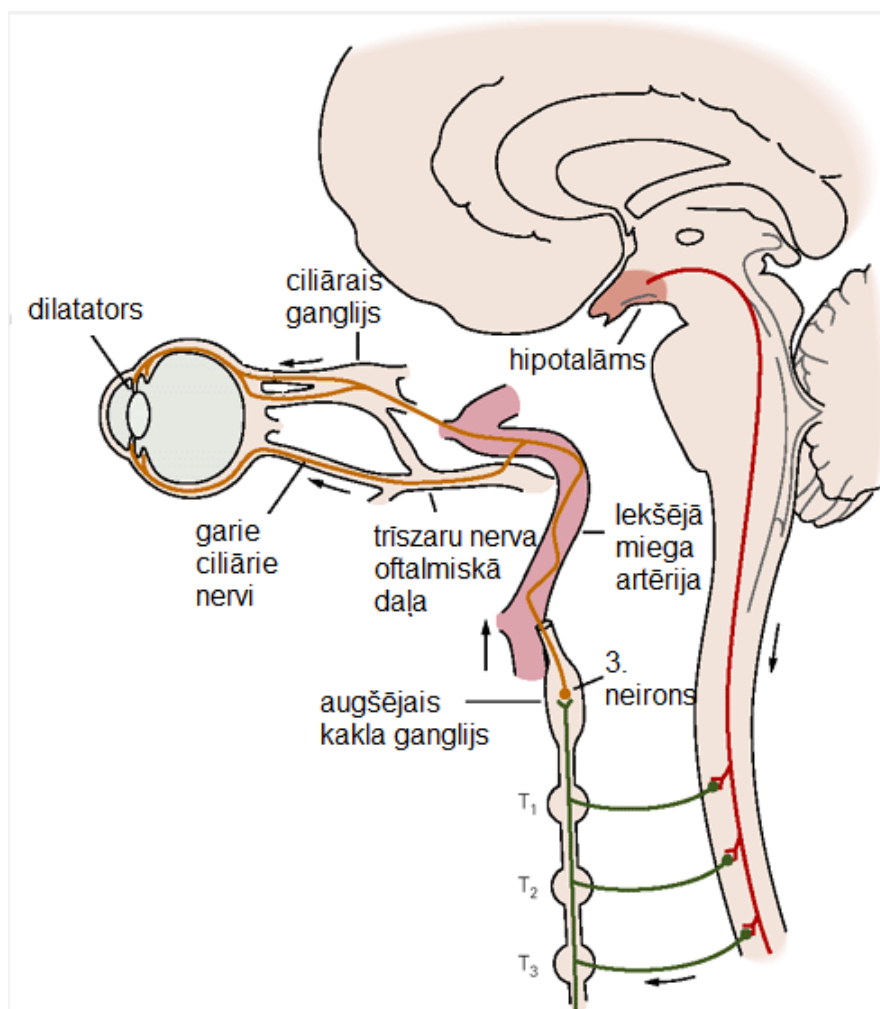
Zīlīte ir cirkulāra varavīksnenes apertūra. Tās diametrs nekad nav konstants, izmērs variē no 1 līdz 8 milimetriem un, mainoties tās izmēram, mainās uz tīklenes nonākošās gaismas daudzums. Zīlītes diametra izmaiņas nodrošina divu antagonistu muskuļu darbība, kurus inervē autonomā nervu sistēm – sfinktera (*m.sphincter pupillae*) un dilatatora (*m.dilator pupillae*). Sfinkteris ir novietots varavīksnenes pupilārajā daļā, tā gludie muskuļa audi novietoti cirkulāri apkārt zīlītei. Kad notiek sfinktera kontrakcija, zīlīte sašaurinās. Dilatators sākas no varavīksnenes saknes un iet līdz sfinkterim. Tā gludās muskuļa šķiedras ir novietotas radiāli pret zīlīti un muskuļa kontrakcija rada zīlītes paplašināšanos. [6] (skatīt 1.1.attēlu)

Zīlītes inervāciju reakcijai uz gaismu var raksturot ar 3 galvenajām sadaļām – aferentā daļa, starpneirona daļa, eferentā daļa. Aferentā daļa sākas ar gaismu, kas nonāku uz tīklenes fotoreceptoriem, bipolārajām un ganglijošajām šūnām. Pa ganglionāro šūnu aksoniem informācija par gaismu nonāk vidussmadzenēs, olīvveida kodolos.



1.2. attēls. Shematisks zīlītes sašaurināšanās reakcijas inervācijas ceļš. [7]

No olīvveida kodoliem uz Edingera-Vestfāla (*Edinger-Westphal*) kodoliem informācija tiek pārnesta ar starpneironu palīdzību. Ar krustotu un nekrušoto savienojumu informācija nonāk gan uz labo, gan kreiso Edingera-Vestfāla kodolu. No šīs vietas sākas eferentais ceļš. Preganglionārie parasimpatiskie neironu aksoni no Edingera-Vestfāla kodola kopā ar okulomotoro nervu iet līdz katras acs orbītas ciliārajiem ganglijiem. Ciliārajos ganglijos ir sinapse un aiz sinapses postganglionārais parasimpatiskais neirona aksons kopā ar īsajiem ciliārajiem nerviem iet līdz sfīnktērim un nodrošina zīlītes sašaurināšanos. (skatīt 1.2.attēlu) [2] [7]



1.3.attēls. Shematisks zīlītes paplašināšanās inervācijas ceļš. [8]

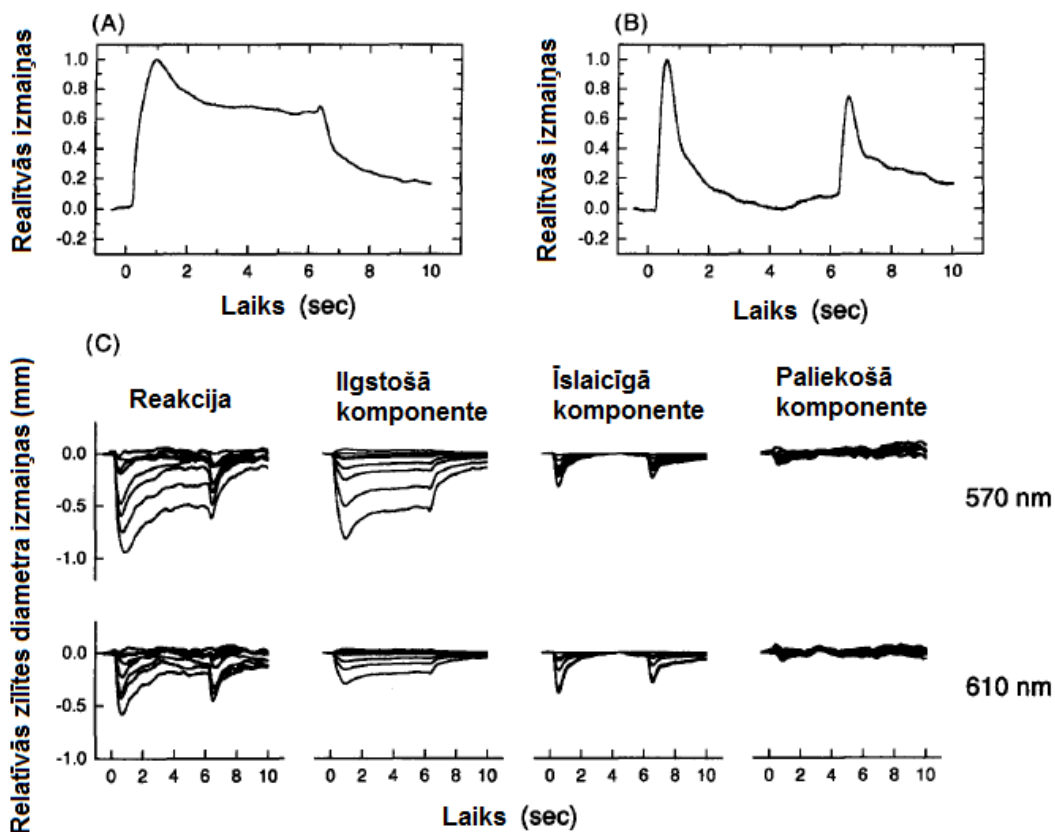
Zīlītes paplašināšanās notiek caur diviem pamatmehānismiem – sfīnktēra inervācijas nomākšanu un dilatatora inervācijas veicināšanu. Simpatiskās inervācijas eferentais ceļš sākas ar hipotalāma laterāli mugurējo daļu, tā neironu aksoni nekrušojoties iet cauri retikulārajai formācijai, tiltam un iegarenajām smadzenēm. Posmā no kakla skriemeļu astotā segmenta līdz krūškurvja skriemeļu pirmajam un otrajam segmentam ir pirmā sinapse. No šīs vietas tālāk iet otrās kārtas preganglionārais aksons, kurš iziet no muguras smadzenēm un pievienojas kakla

simpatiskās inervācijas ķēdei, iet uz augšu gar plaušu augšējai daļai līdz nonāk augšējā kakla ganglijā, kur notiek otrā pārslēgšanās. No šīs vietas sākas postganglionārais nerva aksons, kurš kopā ar miega artēriju ieiet galvaskausa velvē. Kavernozajā sinusā postganglionārais aksons atdalās no miega artērijas un pievienojas trīszaru nerva oftalmiskajai daļai, ieiet ciliārajā ganglijā, bet nepārslēdzas, un kopā ar garajiem ciliārajiem nerviem sasniedz dilatatoru. (skatīt. 1.3.attēlu) [9] [10] [8]

Zīlītes kopējo izmēru nosaka proporcionālais impulsu sadalījums starp simpatisko un parasimpatisko nervu sistēmu.

1.2. Zīlītes reakcija uz redzamo gaismu

Acs zīlīte mainās atkarībā no gaismas daudzuma, kas nonāk uz tīklenes. Tīklenē esošās vāļītes darbojas ļoti plašā apgaismojuma diapazonā, sākot no mezopiskiem apstākļiem (no 10^3 līdz 10^4 cd/m²) līdz fotopiskiem (10^4 līdz 10^6 cd/m²). [11] Normālos apstākļos, kad nav novērojamas saslimšanas vai citas neiroloģiskas izmaiņas, pēc spilgtas gaismas prezentēšanas, zīlītes sašaurinās ar 0,2 sekunžu nobīdi, savukārt savu maksimālo atbildi sasniedz 0,5 līdz 1,0 sekundes vēlāk. [12] Vairākos pētījumos ir pievērsta uzmanība tam, kā zīlīte reaģē ne tikai uz gaismas daudzumu, kas nonāk uz tīklenes, bet arī uz krāsu izmaiņām. Jau 1969.gadā pirmo reizi radās doma, ka zīlīte varētu reaģēt uz izmaiņām viļņu garumos, neatkarīgi no spožuma. Ir veikts pētījums, kurā tika apskatīta zīlītes reakcija, kad gaismas objekts tiek veidots kā kombinācija no zaļās, sarkanās un zilās gaismas. Izslēdzot sarkano gaismu, mainās arī gaismas daudzums, kas nonāk uz tīklenes, līdz ar to, sagaidāmā reakcija ir zīlītes dilatācija, tomēr šāds rezultāts netika iegūts. Iegūtais rezultāts ļāva secināt, ka zīlīte reaģē uz stimula krāsu. [13] [4] Pētījumā krāsains stimuls uz balta fona tiek rādīts kreisajai acij, savukārt zīlītes reakcija ar infrasarkano kameru tiek mērīta labajai acij. Zīlītes atbildes reakcija tiek sadalīta divās galvenajās daļās, ilgstošā komponente un īslaicīgā komponente, kuru kombinācija veido kopējo zīlītes reakciju. (skatīt 1.4.attēlu) [13] Arī citos pētījumos ir pierādīts, ka zīlīte reaģē atšķirīgi atkarībā no gaismas spektra, kāds tiek prezentēts. Zīlīte sašaurinās vairāk, ja tiek prezentēta īsāka viļņa garuma gaisma, savukārt prezentējot garāka viļņa garuma gaismu, zīlītei novēro mazāku sašaurināšanos. [14] Kā arī, izmantojot garāka viļņa garuma gaismu, zīlīte sašaurinās un pēc laika notiek adaptācija gaismai, kā rezultātā zīlītes diametrs graduāli paplašinās, savukārt šāds efekts nav novērojams pie īsā viļņu garuma gaismas. [15]



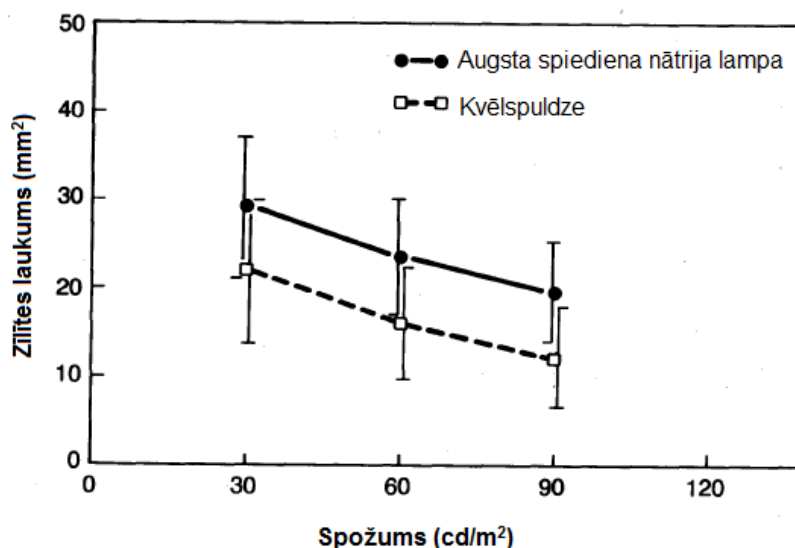
1.4.attēls. Zīlītes atbildes reakcija sadalīta divās komponentēs, kuras veido kopējo zīlītes atbildes reakciju. [13]

1.3.Zīlītes izmērs dažādu apgaismojuma veidu ietekmē

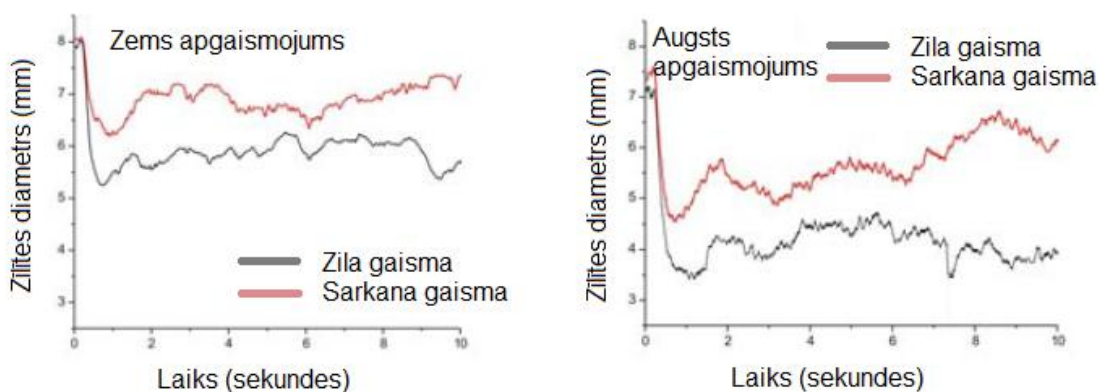
Pārbaudot zīlītes diametra izmaiņas pie trīs dažādu krāsu gaismām – zilas, zaļas un sarkanas, attiecīgi ar spektrālajiem pīķiem 463nm, 536nm un 632nm, ir iegūts, ka zilās gaismas stimulš rada izteiktāku zīlītes sašaurināšanos. Starp sarkano un zaļo gaismas stimulu nav statistiski būtiska atšķirība kopējā diametra izmaiņā, savukārt zilā gaisma rada statistiski būtisku zīlītes sašaurināšanos. [16] Balstoties uz šo atklājumu, var spriest, ka ikdienā izmantotais apgaismojums varētu ietekmēt zīlītes diametru. Tā kā dažādajiem gaismas avotiem – LED spuldzei, luminiscentajai spuldzei, kvēlspuldzei utt. ir atšķirīgi starošanas spektri, iedarbība uz zīlītes atbildes reakciju varētu būt atšķirīga.

Jau deviņdesmito gadu sākumā veiktajos pētījumos radās hipotēze, ka dažādi apgaismojuma veidi var mainīt zīlītes reakciju. Pētījumā tika izmantota kvēlspuldzes un augstspiediena nātrija lampas netieši apgaismojumi un apskatīta zīlīšu reakcija. Rezultāti

uzrādīja, ka pie vienāda apgaismojuma intensitātes, spožuma un apgaismojuma, zīlīšu reakcijas atšķiras. Pie vienādiem apgaismojam līmeņiem, zīlīte ir platāka izmantojot augstspiediena nātrija lampu, savukārt, izmantojot kvēlspuldzi, zīlītes laukums ir mazāks un tā ir šaurāka. (skatīt 1.5. attēlu) [17] [15] Citā līdzīgā pētījumā tika iegūts, ka, izmantojot zilo LED gaismu kā stimulu, zīlīte vienmēr ir statistiski būtiski šaurāka, kā pie dzīvsudraba tvaiku lampas. (skatīt 1.6. attēlu) [18]



1.5.attēls. Zīlītes diametra izmaiņas izmantojot kvēlspuldzes apgaismojumu un augsta spiediena nātrija lampu. [17]



1.6.attēls. Zīlītes diametra atšķirības pie sarkanās un zilās gaismas prezentēšanas augstā un zemā apgaismojuma līmenī. [15]

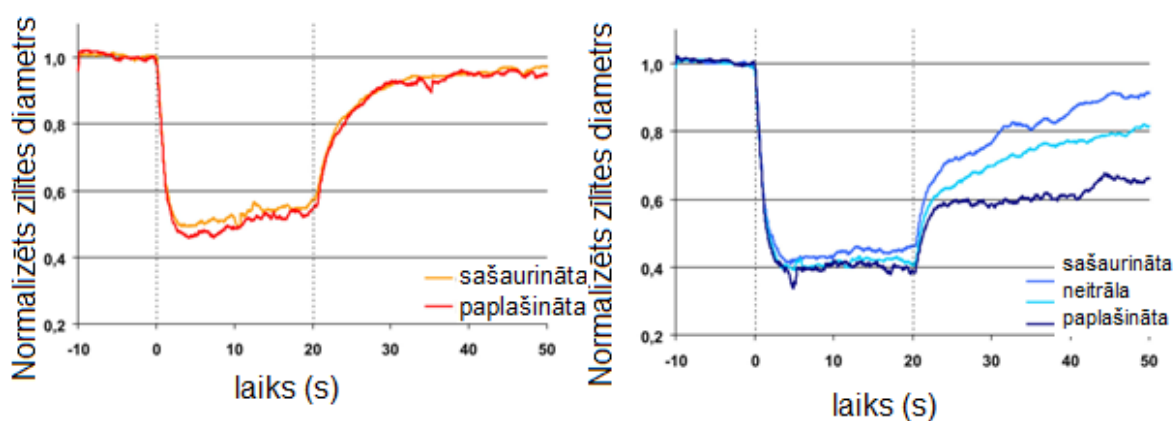
1.4.Melanopsīna ganglionārās šūnas

Vairāk kā 100 gadus ir izpētīts un zināms, ka cilvēkiem ir divu veidu fotoreceptori – nūjiņas un vāļītes. Savukārt neparasti, liekas, tas, ka no dzimšanas akliem cilvēkiem joprojām pastāv zīlītes cirkadiānais ritms. Kā arī ir atklāts, ka akliem cilvēkiem ar bojājumiem redzes garozā, rādot objektu, ir nomērāmas zīlītes kontrakcijas. [3] Ir arī atklāts, ka pelēm, kurām nav klasisko fotoreceptoru – nūjiņas un vāļītes, joprojām eksistē zīlītes reakcija uz gaismu. [19] Šāds atklājums nav skaidrojams ar nūjiņu un vāļīšu eksistenci, bet liek domāt par to, ka ir redzes garozai alternatīvi neirālie ceļi, kuri atbild par zīlīšu reakcijām. [3] [20] Bez attēla gaismas uztvere primāri parādās fotoreceptoros, kas nav nūjiņas un vāļītes. Šis process notiek fotojutīgajās tīklenes ganglionārajās šūnās, kuru fotopigments ir melanopsīns. [21] Sākotnēji melanopsīnu atklāja vardēm, bet 2002.gadā tika atklātas melanopsīnu saturošas ganglionārās šūnas cilvēku tīklenē. Atklājās, ka melanopsīnu saturošās ganglionārās šūnas depolarizējas bez fotoreceptoru (nūjiņu un vāļīšu) iesaistīšanās, kas norāda uz to, ka šīs šūnas ir gaismas jutīgas. Cilvēku tīklenē no visām ganglionārajām šūnām tikai 0,2% ir melanopsīnu saturošas. Melanopsīna ganglionārās šūnas ir mediators zīlītes gaismas refleksam. [20] Melanopsīna ganglionārajām šūnām spektrālās jutības pīķis ir 480nm. [22]

Zīlīte ir kā marķieris, tīklenes, redzes nerva un smadzeņu stumbra funkcijām. Sarkanā gaisma galvenokārt tiek izmantota ārējās tīklenes (*outer retina*) funkciju novērtēšanai (nūjiņām un galvenokārt vāļītēm), savukārt zilā gaisma, lai izvērtētu to šūnu funkciju, kas pēc būtības ir jutīga zilajai (*intrinsically photosensitive to blue light*) gaismai (ipRGC). Ir veikts pētījums, kurā tiek skatīta zīlītes sadraudzības reakcija uz sarkano (660nm) un zilu gaismu (470nm). Rezultāti parādīja, ka reakcija pēc zilās gaismas parādīšanas vienmēr bija izteiktāka.(skatīt 1.7.attēlu) Rādot sarkano gaismu, zīlītes sadraudzīgā reakcija ir nemainīga pie atšķirīga daudzuma fotonu, kas nonāk uz tīklenes. Arī paplašināšanās pēc sarkanās gaismas izslēgšanas nav mainīga atkarībā no fotonu daudzuma uz tīklenes. Šo parādību mēģina skaidrot ar to, ka vidējo un garo viļņu garumu vāļītes ātri adaptējas un izbāl pie pastāvīga gaismas daudzuma. Šī iemesla dēļ, sagaidāms, ka sarkanās gaismas pēc iluminācijas atbilde nav atkarīga no zīlītes diametra, kas arī parādījās pētījuma rezultātos. Strauja zīlītes diametra atgriešanās pie aptumšotā stāvokļa parāda, ka sarkanā gaisma maz ietekmē melanopsīnu, to nestimulē. Būtiskākā iezīme melanopsīna reakcijā ir zema jutība un lēna, bet ilgstoša atbilde, kas parādās pēc zilās gaismas izslēgšanas. Pēc zilās gaismas spīdināšanas, zīlītes sašaurināšanās ir izteiktāka un, pēc gaismas izslēgšanas - tās paplašināšanās ir atkarīga

no fotonu daudzuma, kas nonākuši uz tīklenes. Jo plašāka bijusi zīlīte (dilatēta), jo lēnāk un mazākā amplitūdā notiek zīlītes sašaurināšanās. [21]

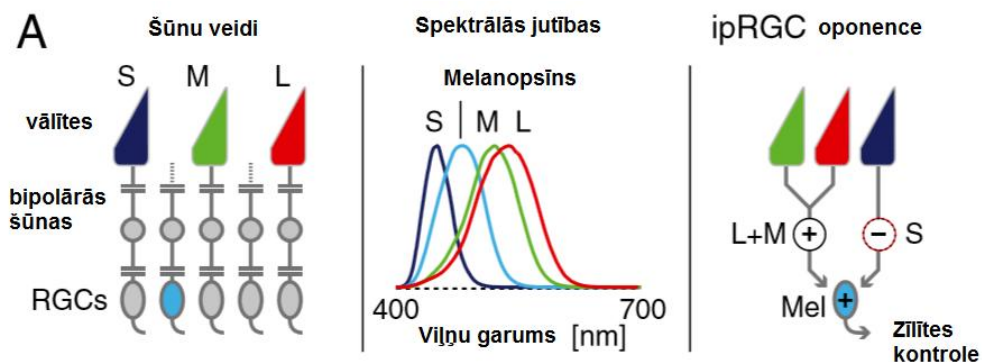
Ar medikamentozi bloķētu nūjiņu un vāļišu darbību, tika iegūta mioze pēc zilās gaismas (470nm) rādīšanas. Sarkanās gaismas rādīšana nerada būtisku zīlītes reakciju. Ir izvirzīta hipotēze, ka īslaicīgas (*transient*) zīlīšu reakcijas uz sarkanu gaismu un zemas intensitātes zilu gaismu varētu būt daudz jutīgākas uz nūjiņu un vāļišu saslimšanām, savukārt izmaiņas ilgstošajās (*sustained*) zīlīšu reakcijās uz spilgti zilu gaismu varētu norādīt uz redzes nerva saslimšanām. [20]



1.7.attēls. Zīlītes reakcija sarkanās un zilās gaismas ietekmē. [21]

Tomēr joprojām nav vienprātības par to, kā tieši noris melanopsīna iesaistīšanās kopējā gaismas uztveres procesā. Pastāv dažādi uzskati par to, vai informācija no fotoreceptoriem arī tiek iesaistīta procesā, vai tas tomēr ir ar nūjiņu un vāļišu darbību nesaistīts process. [22] Zīdītāju tīklenēs ir izpētīts, ka L un M nūjiņu signāls kombinējas ar melanopsīna signālu un rada ipRGC atbildi, savukārt S (īso viļņu) šūnu signāls inhibē šo procesu. [22]

Citi autori apgalvo, ka S viļņu vāļītes darbojas oponenti zīlīšu reakcijas kontrolē. Īso viļņu vāļītes, jeb S vāļītes un melanopsīns reaģē uz zilo gaismu (īsajiem redzamās gaismas viļņiem). Pastiprināta S vāļīšu stimulācija liek zīlītei paplašināties, bet šis efekts parasti tiek maskēts ar daudz spēcīgāku pretēju atbildi no melanopsīna jutīgajām šūnām. (skatīt 1.8.attēlu) Ir atklāts, ka pie dažām tīklenes izmaiņām, pēc gaismas izslēgšanas zīlīte, nevis, kā sagaidāms, paplašinās, bet gan sašaurinās. Šāds rezultāts palielina iespēju, ka relatīva dažu fotoreceptoru sagraušana dod iespēju izpausties oponentai zīlītes reakcijai – zilās gaismas ietekmē zīlīte paplašinās. [22]

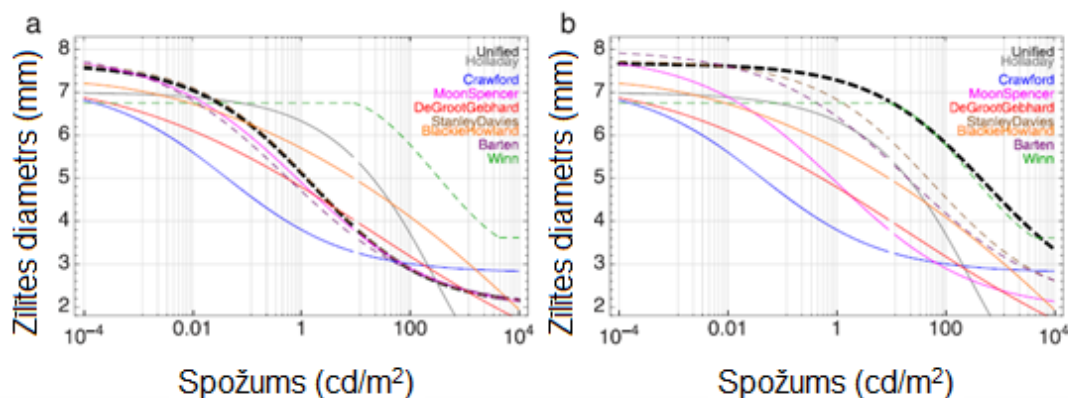


1.8.attēls. Melanopsīna ganglionāro šūnu iesaiste zīlītes reakcijā. [22]

Ir atklāts, ka melanopsīns ir būtisks organisma diennakts ritma ietekmējošs fotopigments. [23] Diennakts ritma regulējošais hormons ir melatonīns. Informācija par gaismu no gaismas jutīgajām tīklene ganglinoārajām šūnām caur retinohipotalamisko traktu iet uz suprahiatzmatisko kodolu un epifīzi, kur notiek melatonīna atbrīvošanas kontrole. Otrs ceļš iet cauri laterālajam ceļgalveida ķermenim uz olīvveida kodolu un Edingera-Vestfāla kodolu un nodrošina daļēju zīlītes reakciju uz gaismu. [24] Izmantojot īso viļņu garumu gaismu, tiek pastiprināti stimulētas gaismas jutīgās tīklenes ganglionārās šūnas un to fotopigments melanopsīns. Pastiprināta šo šūnu stimulācija supresē melatonīna sintēzi, tādā veidā ietekmējot organisma diennakts ritma regulatoru. [25]

1.5.Zīlītes izmēra raksturojošs matemātiskais modelis

Pēdējā gadsimta laikā ir bijuši vairāki mēģinājumi izveidot formulu, kas apraksta zīlītes reakciju atkarībā no gaismas daudzuma. Katrā no mēģinājumiem ir ņemti vērā atšķirīgi faktori, vienā gadījumā tas ir vecums, citā, apvienots apgaismojuma stiprums un adaptācijas stimula laukums. 2012.gadā ir izveidota viena apvienojoša formula, kura ietver tādus zīlītes izmēra ietekmējošus faktoros kā gaismas daudzumu, vecumu, to, vai procesā iesaistīta abas vai viena acs. Visās formulās tiek apskatīts zīlītes ieejas izmērs, respektīvi, tā zīlītes daļa, kas ir redzama cauri radzenei, jo tīklenes apgaismojums ir proporcionāls ieejas zīlītes izmēram. Tā kā zīlītes diametrs ir atkarīgs no tā, vai stimulē tiek rādīts monokulāri vai binokulāri, ir nepieciešama tāda formula, kas raksturo abus šos stāvokļus. Jaunajā, apvienotajā, formulā ir izdevies apvienot visus šos zīlītes izmēra ietekmējošos faktoros.(skatīt 1.9.attēlu). [1] 1.9.attēlā ir parādīts zīlītes diametra izmaiņas, kas iegūtas izmantojot apvienoto formulu, salīdzinājumā ar priekšgājēju piedāvātajiem variantiem.



1.9.attēls. Apvienotās formulas salīdzinājums ar citām formulām pie diviem dažādiem laukumiem. a – mazs laukums, b – liels laukums. [1]

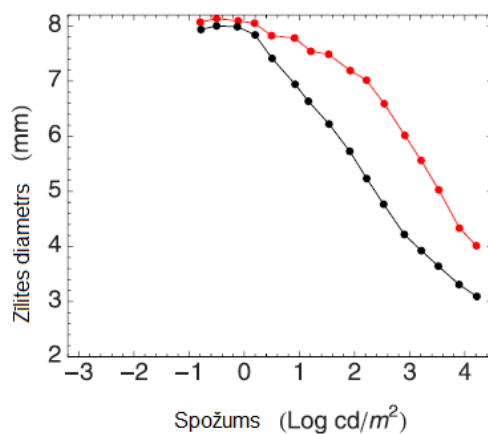
1.6. Pupilometrija

Pupilometrija – zīlītes diametra mērīšana. Pupilometrija ir neinvazīva metode, kas dod iespēju novērtēt ne tikai zīlītes diametra izmaiņas uz gaismas daudzumu, bet arī sniedz priekšstatu par kognitīvajiem procesiem. Pirmie nopietnie zīlītes diametra izmaiņu mērījumi tika veikti jau 1960.gadā. Kopš tā laika pupilometrija ir attīstījusies un sniegusi būtiskus rezultātus mentālās aktivitātes novērtējumā. [3]

Laika gaitā ir izmantoti dažādi instrumenti zīlītes diametra mērīšanai, sākot ar klasisku lineālu un šabloniem zīlītes diametra salīdzināšanai līdz sarežģītām optiskajām iekārtām. Attēlu uzņemšana uz gaismjutīgām filmām zinātniekiem deva iespēju strādāt ar fiksētiem zīlīšu izmēriem un salīdzināt tos bez pētījuma dalībnieka klātbūtnes. Izmantojot kinematogrāfijas metodes, tika palielināt attēlu kadru skaits, kas tiek iegūts laika vienībā. [26] Mūsdienās zīlītes diametra izmaiņu pieraksts ir automatizēts. Tam tiek izmantotas kameras ar augstu izšķirtspēju un darbības frekvenci, kā arī datorprogrammas automatizētai primāro datu apstrādei.

1.1.tabula liek secināt, ka veicot pupilometrijas mērījumus jāņem vērā vairāki dalībnieku atlases faktori – vecums, vispārējās saslimšanas un okulārās saslimšanas, lietotie medikamenti un citi. [4] Kā arī, būtiski ir tas, kā tieši tiek veikts mērījums. Zīlītes kontrakcija ir izteiktāka tad, ja stimuluss tiek rādīts binokulāri. Rādot stimulu monokulāri, zīlītes kontrakcija nav tik izteikta un, lai iegūtu līdzvērtīgu kontrakciju kā binokulāri rādītam stimulam, stimula laukums jāpalielina divas līdz pat četras reizes. Tas ļauj secināt, ka, lai iegūtu izteiktāku zīlīšu

reakciju, izvēlētais stimuluss jāredz binokulāri, jeb citiem vārdiem sakot, pētījuma dalībnieks uzdevumu veic ar abām acīm reizē. [4] (skatīt 1.10.attēlu)

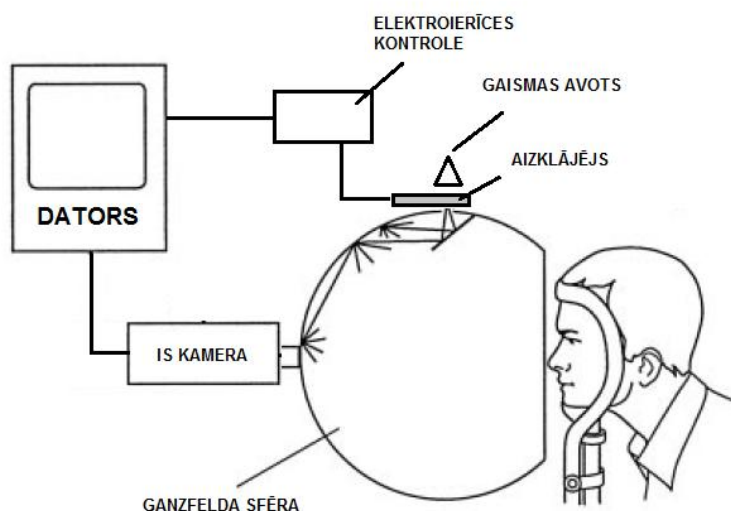


1.10.attēls. Zīlītes diametra izmaiņas rādot stimulu monokulāri (sarkanā līkne) un binokulāri (melnā līkne) [1]

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Metodes apraksts

Pētījumā piedalījās 13 dalībnieki, no tiem 5 vīrieši un 8 sievietes vecumā no 21 līdz 57 gadiem. Visi dalībnieki bija vispārēji veseli, noliedza vispārējas un okulāras saslimšanas. Mērījuma laikā tika izmantots redzes korekcijas līdzeklis, ja tāds bija nepieciešams.

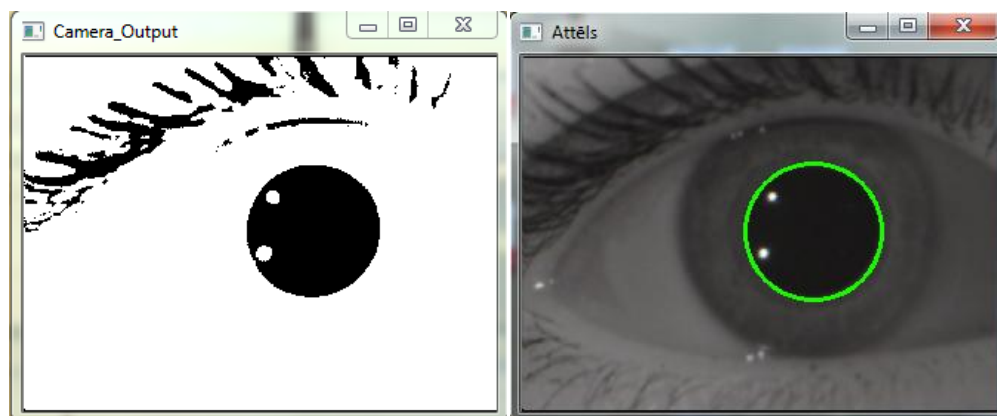


2.1. attēls. Pētījumā izmantotās iekārtas shēma.

Mērījums notika pie Ganzfelda integrējošās sfēras. Pētījuma dalībnieka galva tika atbalstīta un fiksēta pie Ganzfelda integrējošās sfēras atvēruma. (skatīt 2.1.attēlu) Lai nodrošinātu gaismu sfērā, augšējā daļā tika izveidots atvērums, kuram pretī tika novietoti izmantotie gaismas avoti – LED spuldze un luminiscentā spuldze. Pretī atvērumam 45 grādi slīpumā tika izvietots aizsegts, kas neļauj gaismai apžilbināt dalībnieku un nodrošina vienmērīgāku gaismas izkliedi pa visu sfēras virsmu. Šādas iekārtas izmantošana nodrošina vienmērīgu gaismas daudzumu sfērā, aptverot visu pētījuma dalībnieka redzes lauku.

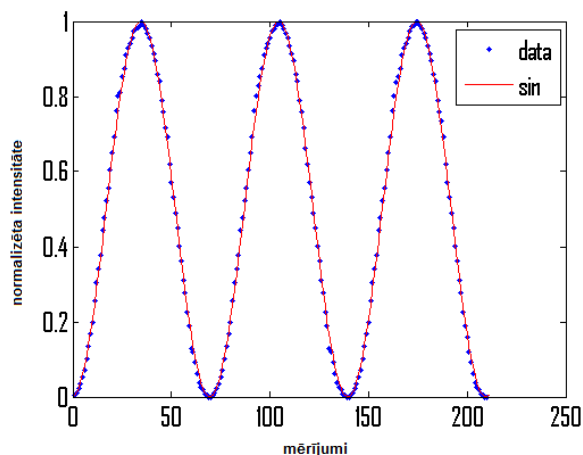
Lai veiktu zīlītes izmēra mērījumus, Ganzfelda sfērā tika piestiprinātas divas infrasarkanās gaismas emitējošās diodes. Sfēras mugurējā daļā, pretī pētījuma dalībniekam, izveidots otrs atvērums, pie kura novietota SONY USB kamera, kas balstīta uz OV7720 CMOS RGB sensora. Sensora plātne ir iestrādāta korpusā un nodrošināta ar Industar-52i objektīvu. Kamera ir savienota ar datoru, kur uz *Visual Studio C++* platformas ir izveidota programma kameras datu analīzei. Mērījuma laikā tiek salīdzināts atstarotais infrasarkanās

gaismas daudzums, kas tiek pārveidots binārajā kodā. Ar malu detektēšanas metodi tiek salīdzināti visgaišākie un vistumšākie blakus esošie punkti, kas ļauj atrast zīlītes izmēru. (skatīt 2.2.attēlu) Programma veic riņķa līnijas piekārtojumu zīlītei, un datu masīvā tiek ierakstīts zīlītes diametrs pikseļos. Kamera strādā ar frekvenci 60Hz un ļauj iegūt 320 uz 240 pikseļu lielu attēlu.



2.2.attēls. Kreisajā pusē parādīts zīlītes attēls pārveidots binārajā sistēmā. Labajā pusē ar malu detektēšanas sistēmu piekārrotā riņķa līnija zīlītes izmēram.

Lai varētu salīdzināt zīlītes izmēra izmaiņas, kas iegūtas ar atšķirīgiem gaismas avotiem, abiem gaismas avotiem jārada līdzvērtīgs apgaismojums. Tas tika pārbaudīts ar hromametrus CS100A un tika iegūts, ka abiem avotiem tas ir apmēram 50 cd/m^2 .

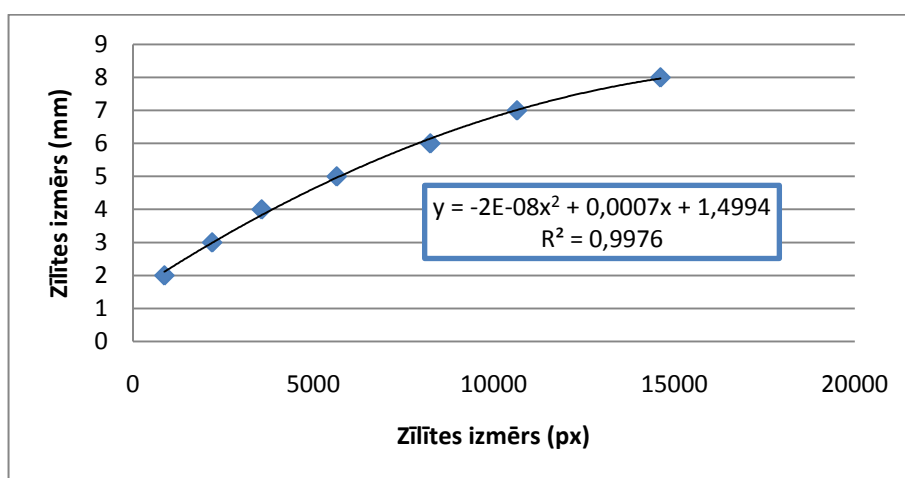


2.3.attēls. Apgaismojuma daudzuma izmaiņas Ganzfelda sfērā salīdzinājums ar sinusa funkciju.

Pētījumā tika izmantota sinusoidāli modulēta gaisma – apgaismojuma daudzums Ganzfelda sfērā mainās pēc sinusa funkcijas. Lai to iegūtu, tiek izmantots aizklājējs. Aizklājējs ir piestiprināts pie servomotora un tā kustības tiek kontrolētas ar elektroierīces kontroles platformu *Arduino Atmega 2560*, kas ir atvērta koda elektronikas prototipēšanas platforma.

Pirms mērījumu veikšanas tika veikta izmantotās sinusoidālās gaismas pārbaude. Izmantojot Voltmetru un gaismas jutīgu sensoru, tika iegūta gaismas intensitāte katrā no aizklājēja pagrieziena punktiem. Iegūtie rezultāti izvietoti grafikā un salīdzināti ar sinusa funkciju. (skatīt 2.3.attēlu) Iegūtais rezultāts ļauj secināt, ka ar aizklājēja palīdzību tiek iegūta sinusoidālas gaismas izmaiņas.

Tā kā mērījumu rezultātā tiek iegūts zīlītes diametrs pikseļos, bija nepieciešams veikt kalibrāciju, lai veiktu pārrēķinu un iegūtu zīlītes diametru milimetros. Kalibrēšanai tika izmantotas septiņas dažāda izmēra testa zīlītes lielumā no 2 līdz 8 mm. Iegūtie rezultāti tika ievietoti grafikā un atrasta aproksimācija zīlītes pārrēķinam no pikseļiem uz milimetriem. (skatīt 2.4. attēlu) Iegūtajiem datiem tika piekārtota otrās kārtas polinoma aproksimācija.



2.4.attēls. Zīlītes izmēra kalibrēšanas līkne.

Iegūtās funkcijas vienādojums turpmāk tiek izmantots, lai pārrēķinātu zīlītes izmēru no pikseļiem uz milimetriem. (skatīt 1.vienādojumu)

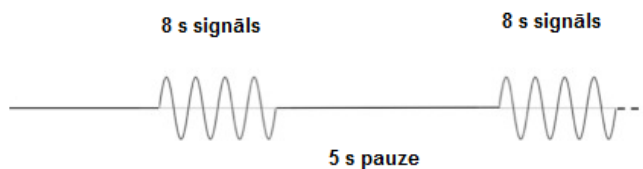
$$y = -2E - 08x^2 + 0,0007x + 1,4994$$

1.vienādojums.

2.2. Mērījuma gaita

Pirms katra mērījuma tika veikta divu minūšu tumsas adaptācija. Ganzfelda sfērā virs kameras cauruma tika piestiprināts fiksācijas punkts akomodācijas kontrolei. Pētījuma dalībniekam tika lūgts visa mērījuma laikā skatīties uz fiksācijas punktu. Mērījums sākas ar 10 sekunžu sagatavošanos, kam seko 8 sekunžu ilgas sinusoidālas gaismas izmaiņas, kuru

laikā pētījuma dalībniekam ir jācenšas nemirkšķināt. Pēc tam seko 5 sekunžu pauze, kuras laikā drīkst izmirkšķināt un atpūtināt acis. Pēc pauzes atkal ir jauns 8 sekunžu cikls, kuru nomaina 5 sekunžu pauze, šāds mērījuma cikls tiek atkārtots 10 reizes. (skatīt 2.5.attēlu)



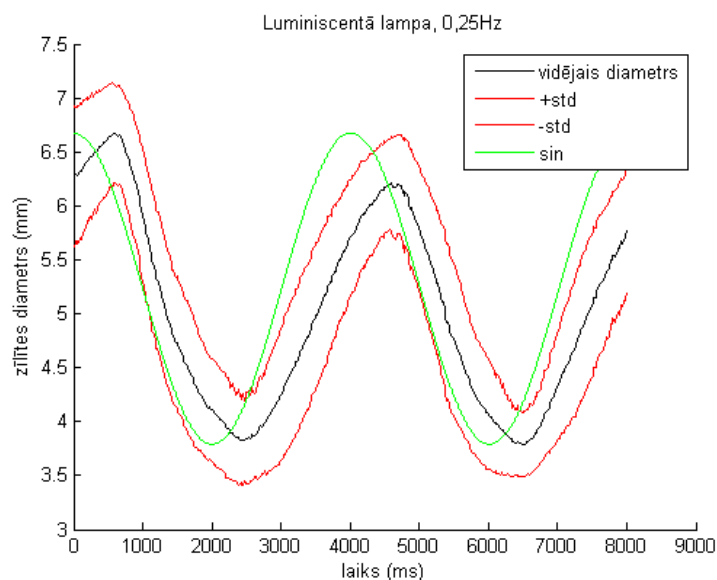
2.5.attēls. Mērījuma gaita – signāla un paužu sadalījums.

Mērījums tiek veikts izmantojot divas dažādas frekvences – pirmie desmit cikli ar frekvenci 0,50Hz, otrie desmit cikli ar frekvenci 0,25Hz. Šādi mērījums tiek atkārtots diviem dažādiem gaismas avotiem – gaismas diožu (LED) spuldzei un luminiscentai spuldzei ar krāsu temperatūru 3000K.

2.3.Datu apstrāde

Zīlītes diametra mērījumi un rezultātu pieraksts datu masīvā notiek visa mērījuma laikā – gan brīžos, kad pētījuma dalībniekam jācenšas nemirkšķināt, gan tad, kad ir atpūtas brīdis un pētījuma dalībniekam ir ļauts izmirkšķināt acis. Katra mērījuma laikā tiek iegūti apmēram 8000 zīlītes diametra pieraksti. Pirms iegūto rezultātu analīzes ir nepieciešams veikt datu apstrādi. Pamata uzdevums ir atlasīt mērījuma datus no tiem datiem, kad ir bijis atpūtas brīdis. Kā arī, ja pētījuma dalībnieks ir pamirkšķinājis stimula rādīšanas brīdī, šīs mirkšķināšanas reizes ir nepieciešams izņemt no kopējiem datiem. Sākotnējai datu apstrādei tiek izmantota MATLAB matemātiskās analīzes programma. Ar MATLAB programmā uzrakstītā koda palīdzību notiek derīgo datu atlasīšana – tiek izņemti tie dati, kuri iegūti atpūtas brīžos un arī tie, kuros mērījuma laikā bijušas mirkšķināšanas. (skatīt 1.pielikumu)

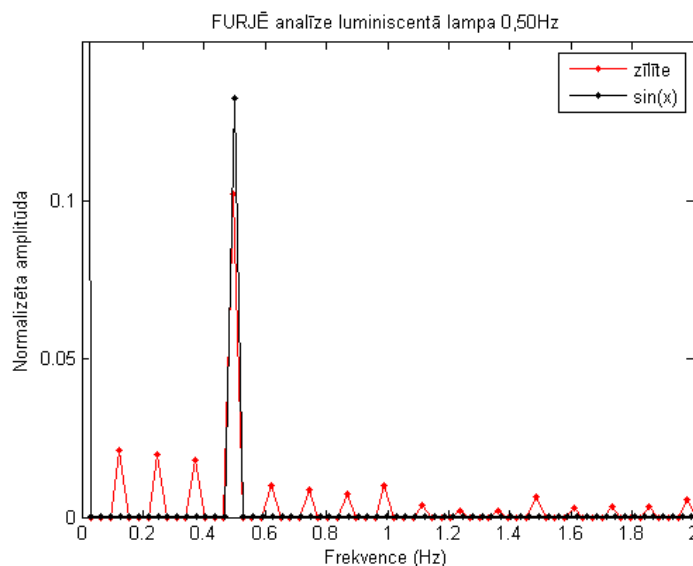
Viena mērījumā laikā cikls ar stimulu un atpūtas pauzi atkārtojas desmit reizes. Otrajā datu apstrādes posmā tiek aprēķināta vidējā zīlītes atbildes reakcija un standartnovirze no visiem desmit mērījuma cikliem. Iegūtie rezultāti tiek atspoguļoti grafiski. (skatīt 2.6.attēlu).



2.6.attēls. Vidējā zīlītes atbildes reakcija un standartnovirze vienam mērījumam. Uz y ass atspoguļots zīlītes diametrs milimetros, uz x ass laiks milisekundēs. Ar zaļo līniju attēlots apgriezts sinusoidālais gaismas stimuluss – maksimālā vērtība atspoguļo brīdi, kad nav gaismas, savukārt minimālā vērtība brīdi, kad gaisma ir visvairāk. Melnā līnija attēlo vidējās zīlītes diametra svārstības, bet sarkanās standartnovirzi.

Šāds datu atspoguļojums dod iespēju novērtēt ne tikai zīlītes diametra vidējās svārstības, bet arī zīlītes atbildes reakcijas ilgumu pēc stimula parādīšanas brīža. Grafikā redzams, ka zīlītes atbildes reakcija nav momentāna, atbildes reakcija noris ar nobīdi laikā. Šis rezultāts saskan ar literatūrā minēto, ka zīlītes atbildes reakcija noris ar, apmēram, 0,2 sekunžu aizkavēšanos. [12]

Trešajā datu apstrādes posmā, izmantojot MATLAB programmā uzrakstīto kodu, tiek veikta ātrā Furjē transformācija (*FFT – Fast Fourier Transform*). Ātrā Furjē transformācija attiecas uz sinusu vai kosinusu virkni, kur summācijas rezultātā tiek iegūta funkcija. Tas ir matemātisks algoritms, kas tiek izmantots, lai laika funkciju pārveidotu par frekvenču funkciju.[27] Izmantojot ātro Furjē transformāciju, tiek iegūts grafiks, kas atspoguļo datu svārstību frekvenci un amplitūdu. Eksperimentā tika izmantots sinusoidāls gaismas avots, lai varētu pielietot ātro Furjē transformāciju, kā rezultātā ir iespējams analizēt smalkās zīlītes diametra svārstības.(skatīt 2.7.attēlu)

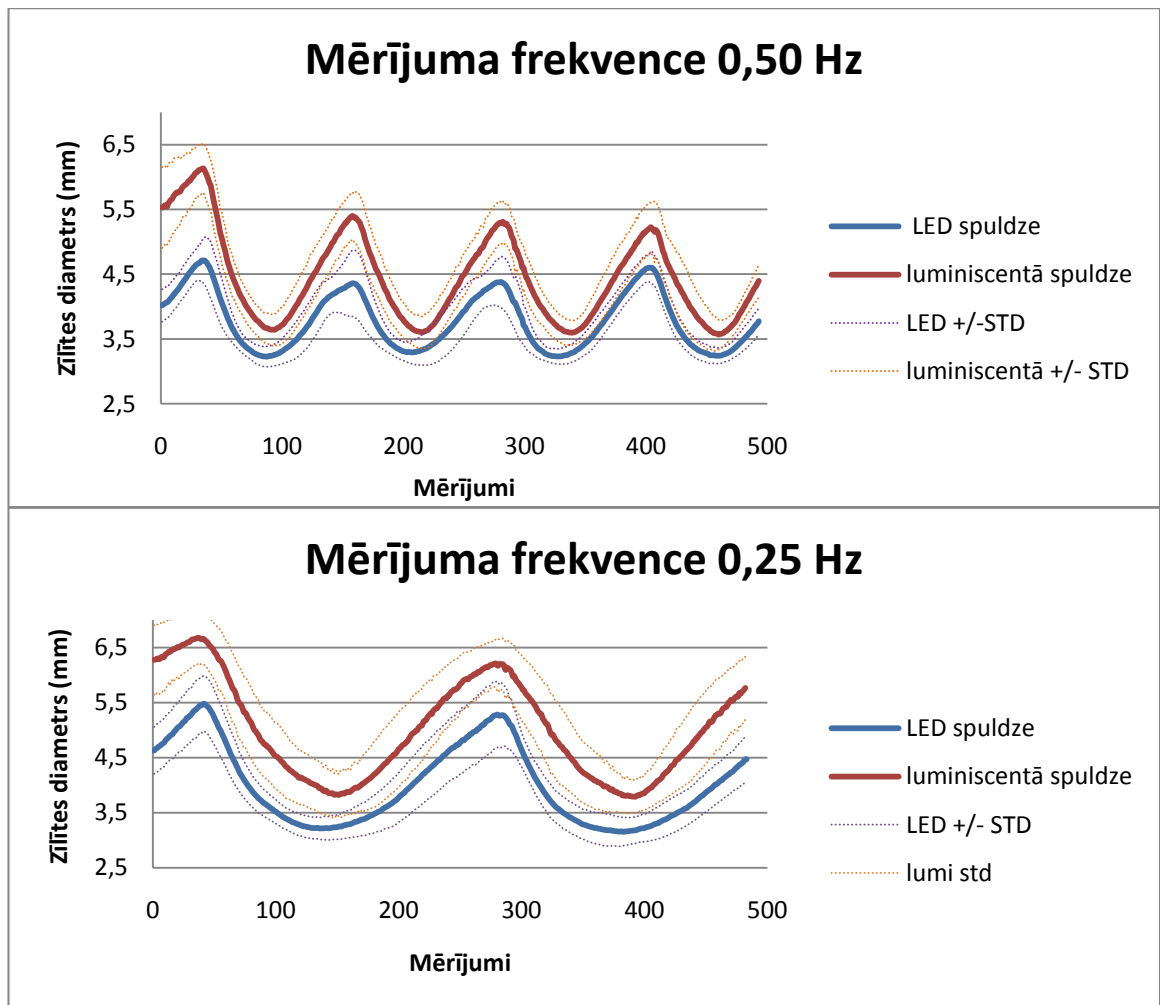


2.7. attēls. Ātrā Furjē transformācija. Uz y ass attēlota normalizēta amplitūda, uz x ass svārstību frekvences. Ar melno līniju attēlota gaismas stimula frekvence, savukārt ar sarkano - zīlītes atbildes reakcijas frekvences un atbilstošās amplitūdas. Pie frekvences 0,5Hz redzams izteikts pīķis ar vislielāko amplitūdu – tas atspoguļo gaismas signāla frekvenci un amplitūdu. Pārējie pīķi raksturo zīlītes atbildes reakcijas papildus svārstības un to amplitūdas.

2.5. Datu analīze un rezultāti

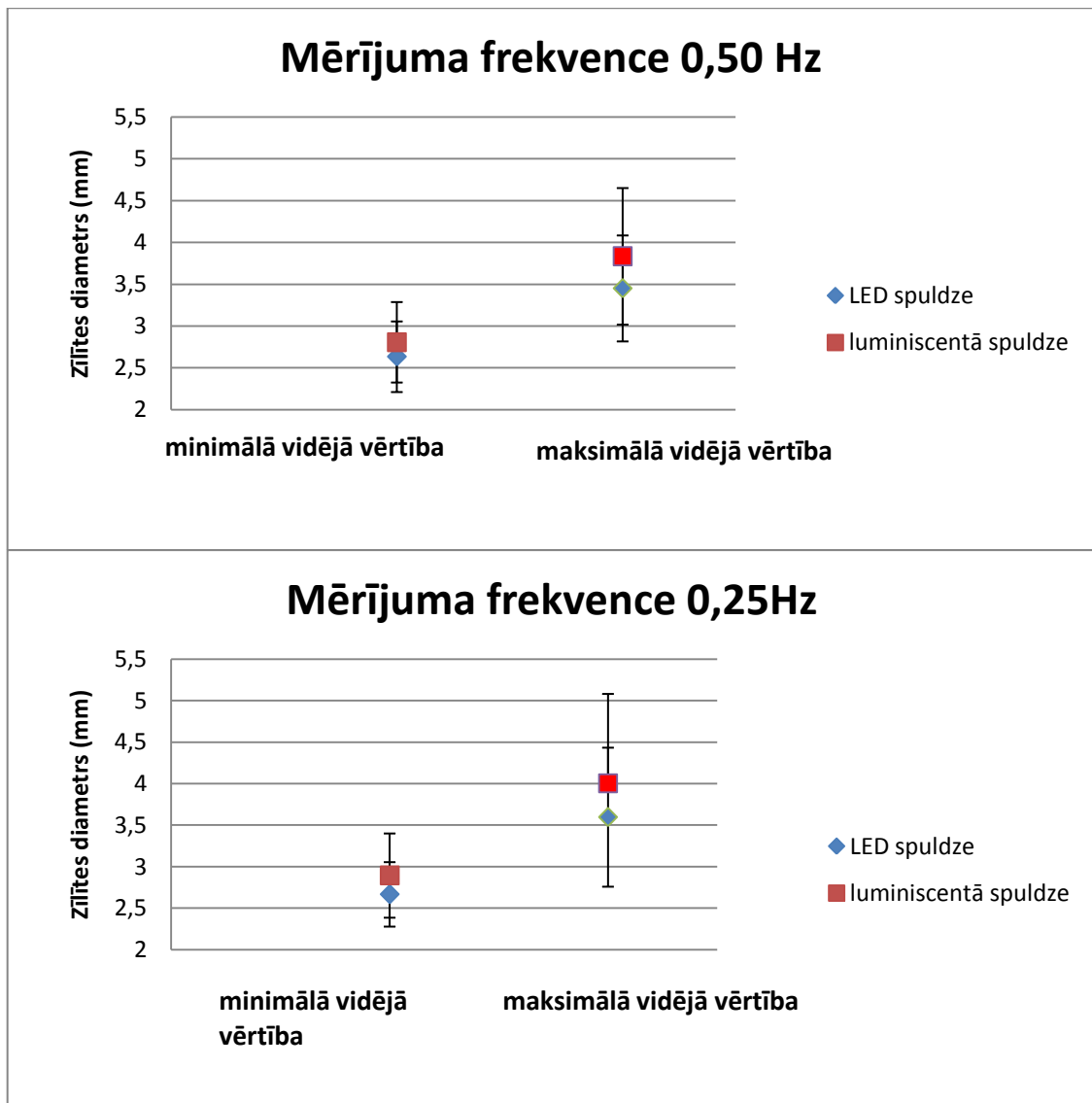
Datu analīze pamatā tiek balstīta uz pētījumā izmantot gaismas avotu savstarpēju salīdzināšanu. Katram pētījuma dalībniekam tiek salīdzinātas zīlīšu diametra svārstību vidējās vērtības LED spuldzei un luminiscentajai spuldzei gan pie stimula frekvences 0,50Hz, gan 0,25Hz. Lai spriestu par to, vai zīlītes diametra svārstības starp abiem gaismas avotiem ir būtiski atšķirīgas, tiek atspoguļotas arī standartnovirzes (skatīt 2.8.attēlu). Uz x ass attēlots zīlītes diametra ierakstu skaits, uz y ass zīlītes diametrs milimetros.

Lai pārlicinātos par to, ka iegūtais rezultāts nav saistīts ar citiem faktoriem, piemēram, LED lampas ietekme uz luminiscentās lampas mērījuma rezultātiem, tika veikts kontroles mērījums zīlītes diametra svārstībām ar zilo LED pirms mērījuma veikšanas un pēc mērījuma.



2.8.attēls. Zīlītes vidējās atbildes reakcijas un standartnovirzes. Augšējā grafikā gaismas stimuluss ar frekvenci 0,50Hz, apakšējā grafikā ar frekvenci 0,25Hz.

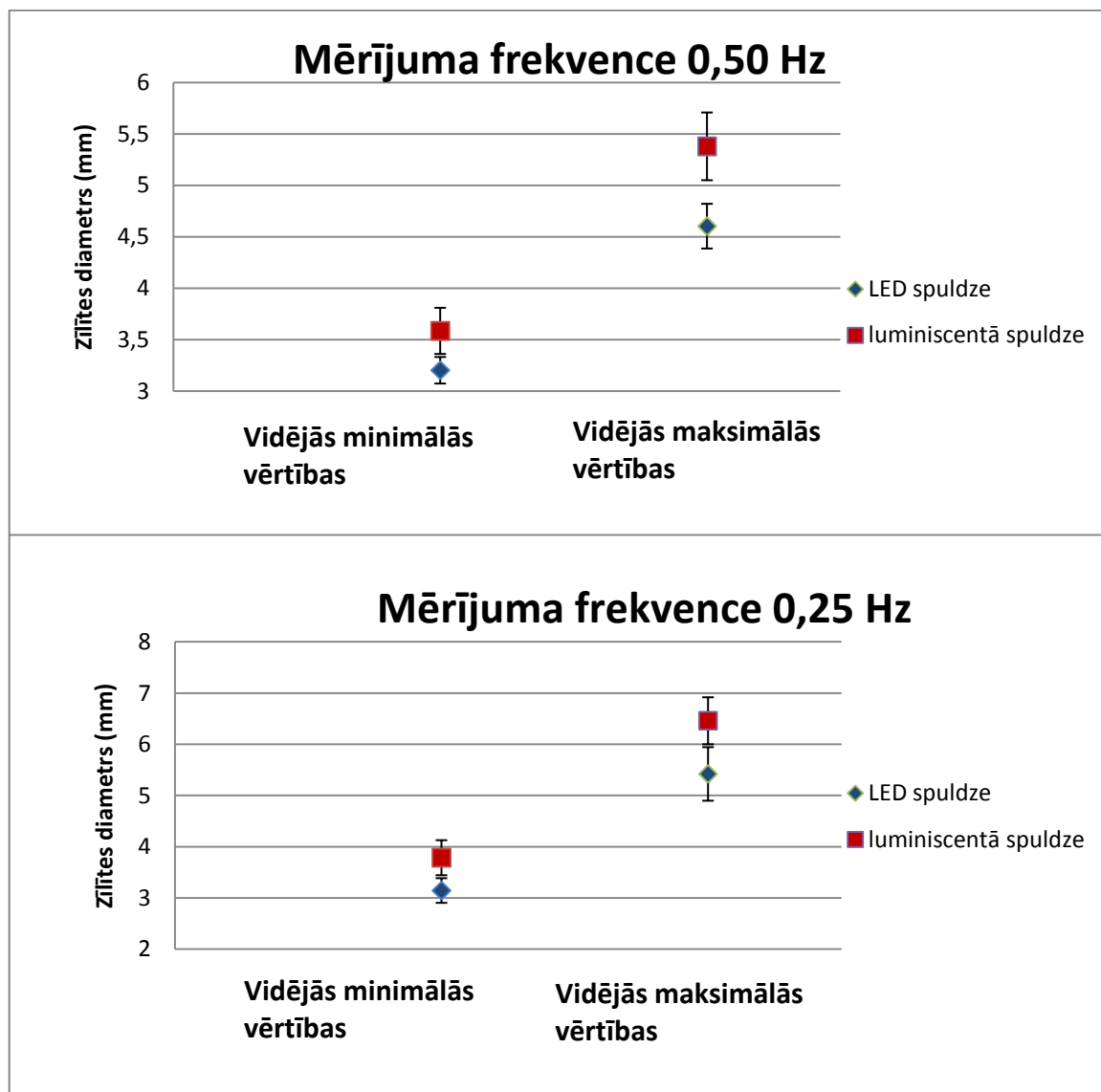
2.8.attēlā atspoguļoti zīlītes diametra vidējās svārstības diviem gaismas avotiem pie divām atšķirīgām stimula frekvencēm vienam pētījuma dalībniekam. Citu pētījumu dalībnieku rezultāti apskatāmi 2.pielikumā. Ar zilo līniju parādītas zīlītes diametra izmaiņas LED spuldzei, ar sarkano luminiscentajai spuldzei. Pie abām stimula frekvencēm redzams, ka, kad kā gaismas stimuluss tiek izmantota LED spuldze, zīlītes diametrs ir mazāks kā pie luminiscentās spuldzes. Datu standartnovirzes ir tuvas, bet nepārklājas, kas liek domāt, ka varētu pastāvēt būtiska atšķirība starp iegūtajiem datiem. Lai to pārbaudītu, tika veikta papildus datu atlase. Katram gaismas avotam no visiem mērījumiem tika atrastas visas maksimālās vērtības un visas minimālās vērtības. Atlasītie dati tiek sadalīti divās atsevišķās datu kopās – maksimālais zīlītes diametrs un minimālais zīlītes diametrs. Lai novērtētu statistisko atšķirību, abiem gaismas avotiem tiek salīdzinātas visas maksimālās un visas minimālās zīlītes diametra vērtības visiem pētījuma dalībniekiem. (skatīt 2.9.sttēlu)



2.9.attēls. Zīlītes diametra svārstību vidējās maksimālās un vidējās minimālās vērtības un standartnovirzes visiem pētījuma dalībniekiem. Uz x ass pirmajā kolonnā apkopotas zīlītes diametra vidējās minimālās vērtības, otrajā kolonnā zīlītes diametra vidējās maksimālās vērtības. Uz y ass zīlītes diametrs milimetros. Augšējā grafikā attēlota mērījuma frekvence 0,50 Hz, bet apakšējā grafikā mērījuma frekvence 0,25 Hz.

Iegūtie rezultāti parāda, ka visiem pētījuma dalībniekiem zīlītes diametra svārstību vidējās vērtības pie LED spuldzes ir mazākas kā pie luminiscentās spuldze, tomēr, ne vienmēr starp šiem datiem pastāv statistiski būtiska atšķirība. 2.9 attēlā redzams, ka zīlītes diametra vidējās minimālās vērtības un vidējās maksimālās vērtības starp visiem pētījuma dalībniekiem ir tuvas un standartnoviržu ietvaros pārklājas. Rezultāts skaidrojams ar to, ka vidējais zīlītes diametrs katram pētījuma dalībniekam dažādu faktoru ietekmē ir atšķirīgs, līdz ar to, vidējos izmēros ir lieli izkliedes rādītāji un šādi nevar spriest par statistisko atšķirību starp datiem. Tā iemesla dēļ nepieciešams novērtēt datu statistisko atšķirību individuāli katram pētījuma

dalībniekam. (skatīt 2.10.attēlu) Izmantojot t-testu vienam pētījuma dalībniekam, tika iegūts, ka gan starp abu gaismas avotu zīlītes diametra maksimumiem, gan minimumiem ir statistiski būtiska atšķirība ($p < 0,05$). Šāda datu analīze tika veikta visiem pētījuma dalībniekiem, abiem gaismas avotiem pie abām stimula frekvencēm.



2.10.attēls. Zīlītes diametra svārstību vidējās maksimālās un vidējās minimālās vērtības un standartnovirzes vienam pētījuma dalībniekam. Uz x ass pirmajā kolonnā apkopotas zīlītes diametra vidējās minimālās vērtības, otrajā kolonnā zīlītes diametra vidējās maksimālās vērtības. Uz y ass zīlītes diametrs milimetros. Augšējā grafikā attēlota mērījuma frekvence 0,50 Hz, bet apakšējā grafikā mērījuma frekvence 0,25 Hz.

Salīdzinot zīlītes diametra maksimālās vērtības pie stimula frekvences 0,50Hz, 85% no visiem pētījuma dalībniekiem eksistē statistiski nozīmīga atšķirība starp LED un luminiscento spuldzi, savukārt pie stimula frekvences 0,25Hz, statistiski nozīmīga atšķirība ir 69% no visiem pētījuma dalībniekiem. Apskatot zīlītes diametra minimālās vērtības, pie stimula

frekvences 0,50Hz, statistiski nozīmīga atšķirība ir 92% no visiem pētījuma dalībniekiem, bet pie stimula frekvences 0,25Hz, tie ir 69%. (skatīt 2.1.tabulu)

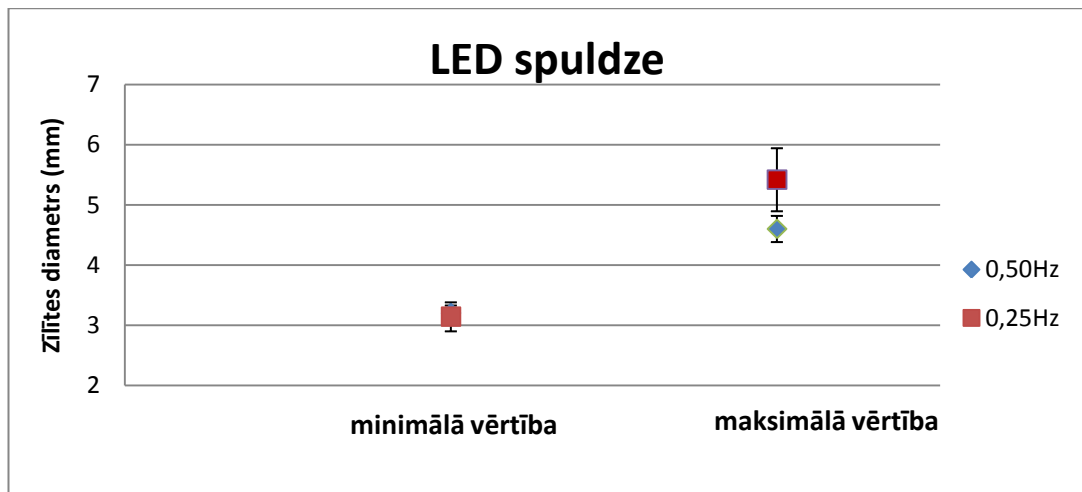
2.1.tabula

LED un luminiscentās lampas zīlītes diametra izmaiņu statistikā būtiskuma procentuālais sadalījums starp pētījuma dalībniekiem

	Stimula frekvence 0,50Hz	Stimula frekvence 0,25Hz
Maksimālais zīlītes diametrs	85%	69%
Minimālais zīlītes diametrs	92%	69%

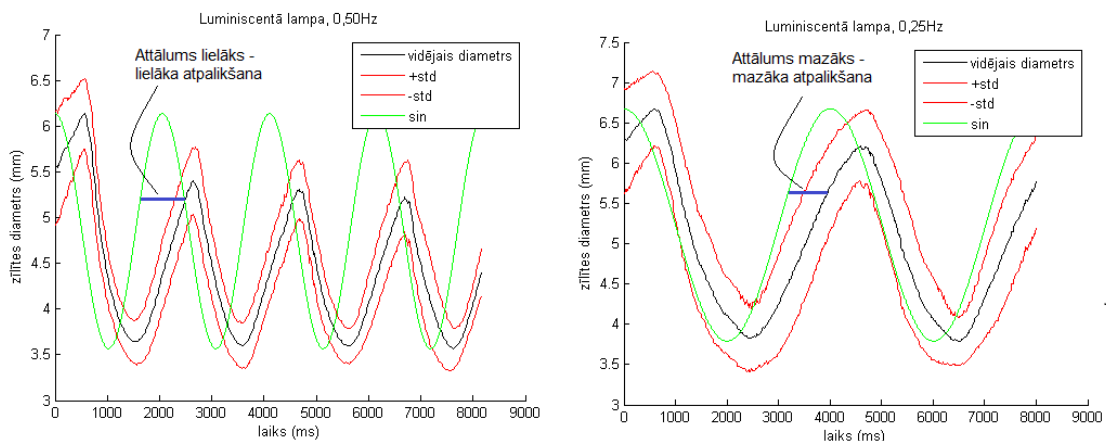
Iegūtais procentuālais sadalījums liek secināt, ka ir novērojama tendence, ka vidējais zīlītes diametrs ir mazāks, ja kā gaismas avots tiek izmantota LED spuldze, tomēr ne vienmēr eksistē statistiski būtiska atšķirība zīlītes vidējā diametrā starp LED un luminiscento spuldzi.

Pētot zīlītes diametru maksimumu un minimumu vērtības pie dažādajām stimula frekvencēm, tika pamanīts, ka minimālā vērtība abām frekvencēm ir vienāda, savukārt maksimālā vērtība ir atšķirīga.(skatīt 2.11.attēlu) Attēlā uz y ass atspoguļots zīlītes izmērs milimetros. Pirmajā kolonnā ir salīdzinātas LED spuldzes zīlītes izmēra minimālās vērtības pie stimula frekvences 0,50Hz un 0,25Hz, bet otrajā kolonnā maksimālās vērtības pie abām stimula frekvencēm. Rezultāts parāda, ka minimālās vērtības pārklājās, bet maksimālās vērtības ir atšķirīgas, to standartnovirzes nepārklājas un pie stimula frekvences 0,25Hz zīlītes diametra svārstību maksimālā vērtība vienmēr ir augstāka kā pie stimula frekvences 0,50Hz.



2.11.attēls. Zīlītes diametra maksimālo un minimālo vērtību salīdzinājums pie stimula frekvences 0,50Hz un 0,25Hz.

Iegūtais rezultāts skaidrojams ar to, ka pie stimula frekvences 0,50Hz, apgaismojuma svārstības notiek straujāk, kā pie stimula frekvences 0,25Hz. Tā kā zīlītes atbildes reakcija noris ar, apmēram, 0,2 sekunžu nobīdi, pie stimula frekvences 0,50Hz zīlītes reakcija nepaspēj notikt pilnīgi, kad jau parādās jauns stimuls Zīlītes sašaurināšanās notiek straujāk, bet paplašināšanās pakāpeniski un lēnāk, līdz ar to, minimālās vērtības, standartnovirzes ietvaros, pārklājas, bet maksimālās vērtības atšķiras – pie stimula frekvences 0,25Hz zīlīte veic pilnu sašaurināšanās un paplašināšanās reakciju, un tiek iegūts platāks diametrs, bet pie stimula frekvence 0,50Hz zīlīte nepaspēj veikt pilnīgu paplašināšanās ciklu. Šo secinājumu parāda arī MATLAB programmā iegūtie dati.(skatīt.2.12.attēlu)

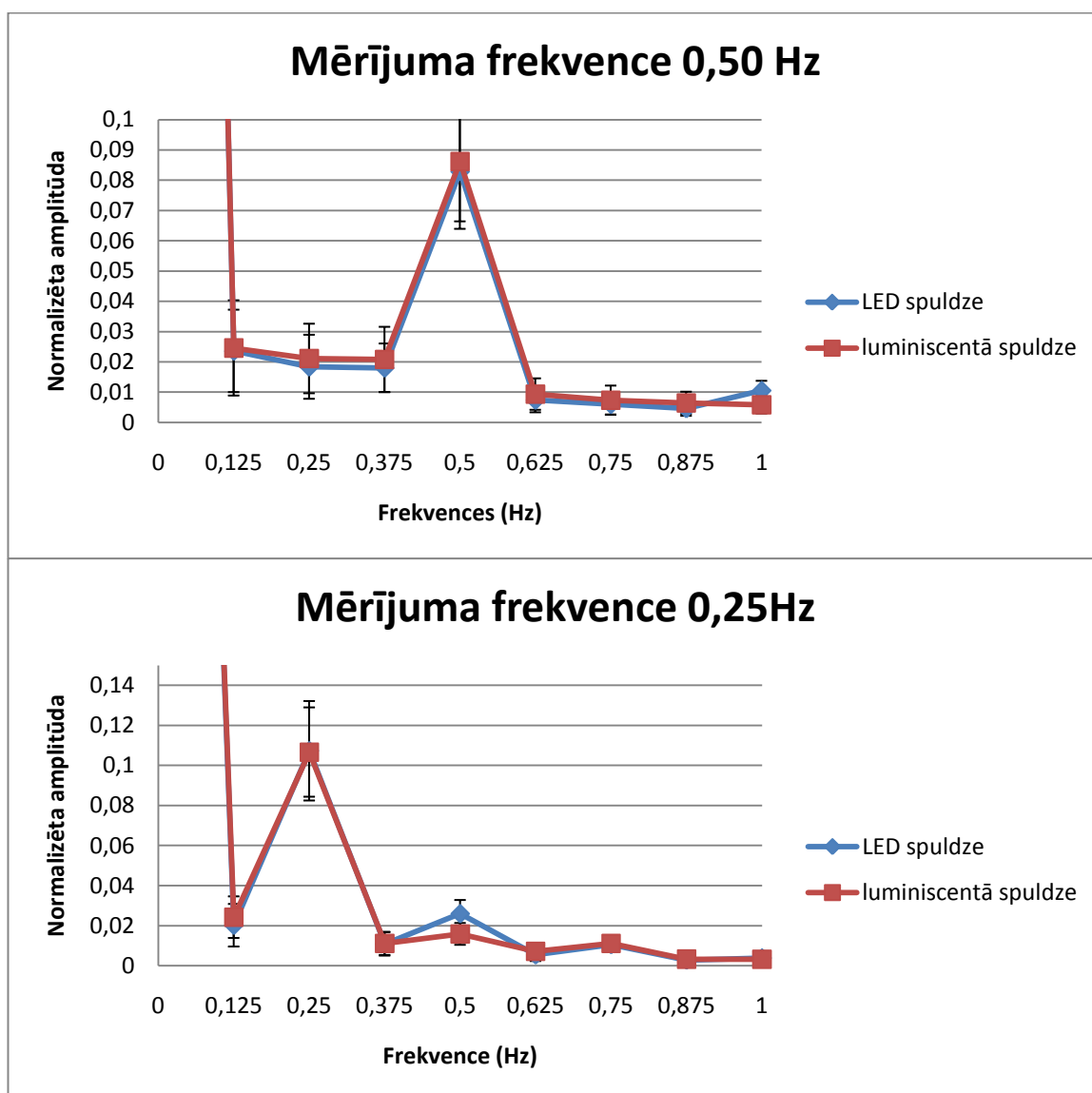


2.12.attēls. Zīlītes atbildes reakcijas kavēšanās. Labajā pusē – stimula frekvence 0,50Hz, kreisajā pusē – stimula frekvence 0,25Hz.

Kad stimuls tiek izmantots ar frekvenci 0,50Hz, ir lielāka nobīde laikā starp stimula rādīšanas laiku un zīlītes atbildes reakcijas laiku, bet, kad tiek lietots stimuls ar frekvenci 0,25Hz,

novēro mazāku laika nobīdi zīlītes atbildes reakcijā. Balstoties uz šo secinājumu, turpmāk pētījumā netiek salīdzinātas zīlītes diametra maksimālās vērtībās starp divām dažādām stimulu frekvencēm.

Katram pētījuma dalībniekam tika veikta Furjē analīze pie abām stimula frekvencēm. Analīzes grafiskajā attēlojumā bez pamata frekvences pīķa iezīmējās vēl citi pīķīši frekvencēs no 0,125Hz līdz 1,0Hz ar soli 0,125Hz. Šie pīķi ir ar mazāku amplitūdu kā stimula frekvence. Lai salīdzinātu, vai eksistē atšķirība starp abiem pētījumā izmantotajiem gaismas stimuliem, tika veikta amplitūdu atlase konkrētajās frekvencēs un rezultāti apvienoti vienā grafikā ar abiem gaismas avotiem. (skatīt 3.pielikumu)



2.13.attēls. Frekvenču amplitūdu sadalījums LED un luminiscentajai spuldze. Uz y ass atspoguļota normalizēta amplitūda, uz x ass frekvences. Augšējā grafikā attēlotas vidējās frekvenču amplitūdas un standartnovirzes pie mērījuma frekvences 0,50Hz, apakšējā grafikā pie mērījuma frekvences 0,25Hz.

Aplūkojot iegūtos grafikus, visiem pētījuma dalībniekiem novērojama izteikta tendence, ka ja stimula frekvence ir 0,50Hz, tad otrs lielākais pīķis ir pie frekvences 1Hz, turklāt, LED spuldzei tas ir ar lielāku amplitūdu kā luminiscentajai spuldzei. Savukārt, kad mērījuma frekvence ir 0,25Hz, otrs lielākais pīķis parādās pie frekvences 0,50Hz, pēc tam pie 0,75Hz un 1Hz un arī LED spuldzei tas ir ar lielāku amplitūdu kā luminiscentajai spuldzei. Lai noteiktu, vai starp iegūtajām amplitūdām eksistē statistiski nozīmīga atšķirība, tika veikta datu atlase katram pētījuma dalībniekam un apvienotas visas iegūtās frekvences vienotā datu kopā. Veicot t-testu, tika iegūts, ka, ja stimula frekvence ir 0,50Hz, tad eksistē statistiski nozīmīga atšķirība starp LED un luminiscentās spuldzes amplitūdām pie frekvences 1 Hz. ($p < 0,05$) Vidējā normalizētās amplitūdas vērtība \pm standarnovirze LED spuldzei ir $0,0104 \pm 0,0030$; luminiscentajai spuldzei $0,0062 \pm 0,0026$. Ja stimula frekvence ir 0,25Hz, tad eksistē statistiski nozīmīga atšķirība starp LED un luminiscento spuldzi pie frekvences 0,50Hz ($p < 0,05$) Vidējā normalizētās amplitūdas vērtība \pm standartnovirze LED spuldzei $0,0248 \pm 0,0090$; luminiscentajai spuldzei $0,0153 \pm 0,0062$. Savukārt pie pārējām frekvencēm nevar apgalvot, ka eksistē statistiski nozīmīga atšķirība ($p > 0,05$). (skatīt 2.13.attēlu)

2.6.Diskusija

Veicot eksperimentālās daļas datu analīzi, tika ievērots, ka, zīlītes diametram paplašinoties, pie mērījuma frekvences 0,50Hz, tas nesasniedz tādu pašu zīlītes diametru, kā pie mērījuma frekvences 0,25 Hz. Tā kā vismazākais zīlītes diametrs ir nav statistiski atšķirīgs pie abām mērījuma frekvencēm, tas lika domāt, ka šādu efektu nerada atšķirīgās frekvences, bet gan kaut kas cits. Tā kā pie mērījuma frekvences 0,50 Hz novērojama arī lielāka zīlītes atbildes reakcijas atpalikšana kā pie mērījuma frekvences 0,25 Hz, tas lika secināt, ka zīlītes paplašināšanās nepaspēj noritēt pilnīgi. Arī citos pētījumos tika iegūts līdzīgs rezultāts un secinājums. Izmantojot mirgojošu stimulu, ir iegūts secinājums, ka, zīlītes dilatācijas fāze nenotiek pilnīgi. Pirms ir notikusi pilnīga zīlītes dilatācija, jau ir parādījies jauns stimulss un atkal notiek kontrakcija. [15] Līdz ar to, lai veiktu zīlītes atbildes reakciju uz sinusoidāli modulētu gaismas stimulu, kā pamata mērījuma frekvenci vēlams izmantot 0,25 Hz.

Zīlītes diametrs ir individuāli ļoti atšķirīgs un mainīgs lielums. Atkarībā no dažādu faktoru ietekmes, tas variē ne tikai no vecuma atkarības, bet arī no emocionāliem pārdzīvojumiem, fiziska noguruma, medikamentu ietekmes. Tas apgrūtina veikt kopēju izmaiņu analīzi visiem pētījuma dalībniekiem. Citos pētījumos tiek izmantots zīlītes pārrēķins

uz pamata izmēru (*baseline pupil*) un turpmāk skatītas izmaiņas no pamata zīlītes izmēra. Tomēr arī pētījuma autori saka, ka atkarībā no izvēlētā pamata zīlītes izmēra, var tikt pārvērtētas, vai gluži pretēji, ne līdz galam izvērtētas diametra izmaiņas. [28] Šī iemesla dēļ, darbā no sākuma tiek skatīts katra pētījuma dalībnieka individuālais rezultāts un pēc tam meklētas kopējās tendences.

Galvenais šī darba mērķis ir pārbaudīt, vai eksistē zīlītes atbildes reakcijas atšķirības dažādiem gaismas avotiem. Sākotnēji tika domāts, ka tās parādīsies tikai Furjē analīzē, kur būs novērojamas smalko svārstību atšķirības starp diviem gaismas avotiem, tomēr tika iegūtas būtiskas kopējā zīlītes diametra izmaiņas – izmantojot LED spuldzi, zīlītes diametrs ir šaurāks, kā pie luminiscentās spuldzes izmantošanas. Galvenais faktors, kas skaidro iegūtu rezultātu, ir šo abu gaismas avotu spektrālā atšķirība. Arī citos pētījumos ir iegūts līdzīgs rezultāts, ka LED rada izteiktāku zīlītes atbildes reakciju. LED spuldzei ir izteikts spektrālais pīķis īso viļņu garumu diapazonā. Melanopsīna ganglionārās šūnas ir jutīgas tieši šī spektrālā diapazona galā un, tā kā šīs šūnas arī ir daļēji iesaistītas zīlītes atbildes reakcijas veidošanā, kopējais kontrakcijas efekts ir izteiktāks kā tad, ja netiek stimulētas melanopsīna ganglionārās šūnas. Vairākos pētījumos ar dažādas krāsas gaismām tiek iegūts līdzīgs rezultāts – zilās krāsas gaisma rada izteiktāku kontrakciju kā sarkanās vai zaļās krāsas monohromatiska gaisma. [21] Iegūtais rezultāts liek domāt par to, kādu ietekmi tas atstāj uz kopējo organisma veselību. Balstoties uz citos pētījumos pierādīto, ka melanopsīna saturošo ganglionāro šūnu papildus stimulācija supresē melatonīna sekrēcijas intensitāti, apgaismojuma izmantošana ar izteiktu spektrālo pīķi īso viļņu spektrālajā diapazonā, var ietekmēt organisma diennakts ritma regulēšanas mehānismu. Arī citos pētījumos ir mēģināts pierādīt LED lampu ietekmi uz redzi un kopējo veselību. Cirkadiānais ritms ir būtisks organisma, kā vienota regulators. Melatonīna sekrēcijas daudzums tieši ietekmē cirkadiāno ritmu. Ir pierādīts, ka LED lampas supresē melatonīna sekrēcijas intensitāti, tādā veidā ietekmējot cirkadiāno ritmu. [25]

SECINĀJUMI

1. Zīlītes diametra svārstību amplitūdas maksimālā un minimālā vērtība ir mazāka pie LED spuldzes kā pie luminiscentās spuldzes apgaismojuma.
2. Izmantojot stimula frekvenci 0,50Hz, 85% gadījumu novērojama statistiski nozīmīga atšķirība starp LED un luminiscentās spuldzes diametru svārstību amplitūdu maksimumiem, bet pie stimula frekvences 0,25Hz statistisko nozīmīga atšķirība novērojama 62% gadījumu.
3. Frekvenču analīze uzrāda vairāk smalko zīlītes diametra svārstību LED spuldzes apgaismojumā un tās ir statistiski nozīmīgi atšķirīgas pie svārstību frekvences 0,50 Hz, ja pamata mērījuma frekvence ir 0,25 Hz un pie 1,00 Hz, ja pamata mērījam frekvence ir 0,50 Hz.

NOBEIGUMS

Pupilometrija ir neinvazīva, viegli lietojama un plaši pētāma zīlītes diametra mērīšanas metode. Zīlītes diametra izmaiņas pētīšana dažādu apgaismojumu ietekmē var sniegt priekšstatu par to, kādu apgaismojumu vēlams izmantot diennakts tumšajā laikā, kāds cilvēkam būtu ne tikai subjektīvi patīkamāks, bet arī veselīgāks.

Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams apskatīt vēl citus ikdienā izmantotos apgaismojuma veidus, piemēram, salīdzināt pašreiz iegūtos rezultātus ar halogēna lampu. Pašlaik nav izstrādātas tādas pētījuma metodes, kas dotu iespēju novērtēt zīlītes diametra izmaiņas mākslīgā apgaismojuma ietekmē salīdzinājumā ar dabīgo apgaismojumu – saules gaismu. Šādas metodes izstrāde un analīze dotu plašāku priekšstatu par mākslīgā apgaismojuma ietekmi uz redzi un organisma diennakts ritma regulatoro mehānismu, kā arī dotu iespēju izvēlēties mazāk ietekmējošo no pieejamajiem mākslīgā apgaismojuma veidiem.

PATEICĪBA

Izsaku pateicību visiem pētījuma dalībniekiem, īpaši tiem, kas bija gatavi ziedot savu brīvo laiku sestdienā, lai palīdzētu tapt darba eksperimentālajai daļai.

Paldies darba vadītājam Sergejam Fominam par matemātiskā koda uzrakstīšanu datu apstrādes procesa atvieglošanai.

Darbs ir tapis ar ESF projekta „Redzes pārslodzes fizioloģijas pētījumi un redzes stresa diagnostikas metodikas izstrāde” atbalstu (2013/0021/1DP/1. 1. 1.2.0/13/APIA/VIAA/001).

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS AVOTI

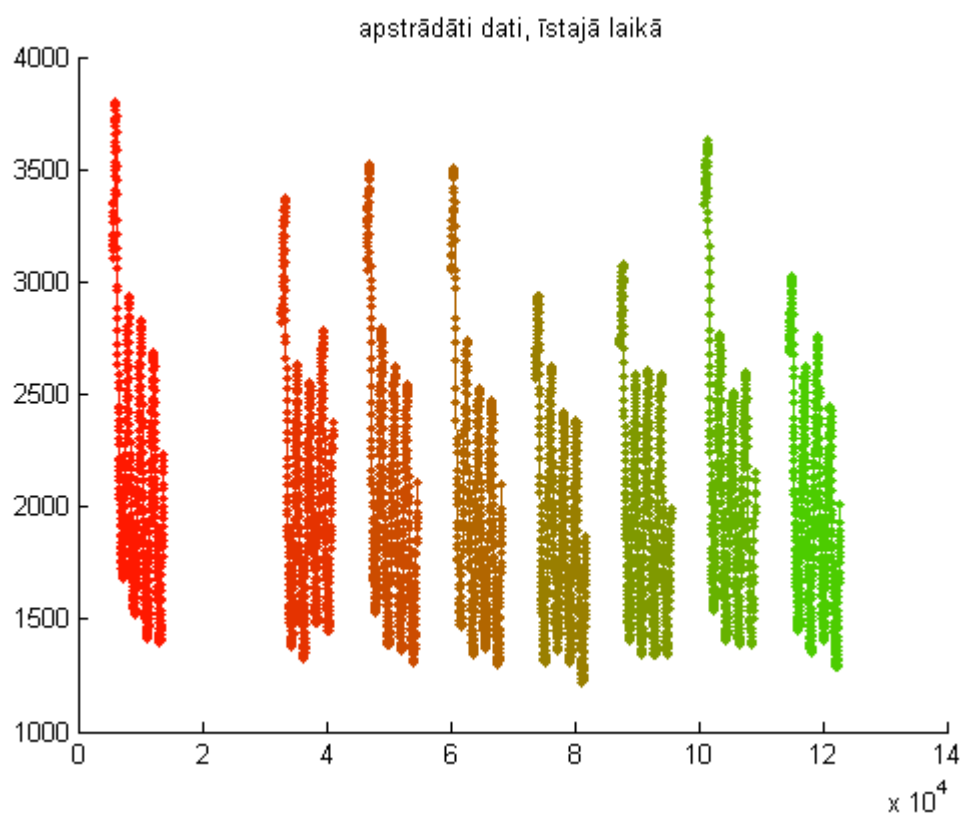
1. **Watson, A.,B., Yellot, J.,I.,.** A unified formula for light-adapted pupil size. *Journal of Vision*. Vol.12. No.10. p. 1-16, 2012.
2. **Kardon, R.** The Pupil. In: *Adlers's Physiology of The Eye: Clinical Application*. 2003. p.713-723.
3. **Laeng, B., Sirois, S., Gredeback, G., B.,.** Pupillometry: A Window ro the Preconscious? . *Perspectives on Psychological Science*. Vol.7, No.1, p.18-27, 2012.
4. **Tryon, W.,W.,.** Pupillometry: A Survey of Sources of Variation. *Psychophysiology*. Vol.12, No.1, 1975.
5. **Lowenstein, O., Feinberg, R., Loewenfeld, E.I.** Pupillary movements during acute and chronic fatigue. *Investigative Ophthalmology*. Vol.2, No.2, April, 1963.
6. **Snell, R.,S., Lemp, M.,A.** *Clinical anatomy of the eye Second edition*. Blackwell Publishing, 1998. p.165-170.
7. **Wilhelm, H., Wiilhelm,B.** Diagnosis of Pupillary Disorders. In: *Clinical Neuro-Ophthalmology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.p.55.
8. **Saper, C.,B.** Brain Stem Modulation of Sensation, Movement, and Counciousness, In: *Principles of Neural science*. McGraw Hill Professional, 2013. p.905.
9. **Wilson, F.,M.** Neuro Ophthalmology Section 5 In: *Basics in Clinical Science Course*. American Academy of Ophthalmology, 1992. p. 114.
10. **Hasika, L.** *Anatomy of pupillary pathways and abnormal pupils*. [tiešsaite] - [atsauce - 17.05.2015.]. Pieejams: <http://www.slideshare.net/hasikaravula/anatomy-of-pupillary-pathways-18063660>.
11. **Hateren, J.,H., Snippe, H.,P.** Simulating human cones from mid-mesopic up to high-photopic luminances. *Journal of Vision*. 2007. Vol.7(4) p.1-11.
12. **Beatty, J., Lucero-Wagoner, B., The pupillary system In J.T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. Berntson.** The Pupillary System. In: *Handbook of psychophysiology*. Cambrige, MA: Cambridge University Press. 2000, pp 142-162.

13. **Kimura, E., Rockfeller, S.,L.,.** Nature of the Pupillary Responses Evoked by Chromatic Flashes in a White Background. *Vision Research*. Vol.35, No.7, p 897-906, 1995.
14. **Werner, A.** Spectral sensitivity of the pupillary system. *Clinical and Experimental Optometry*. Vol.86., No.4., 2003.
15. **Nowak, W., Nakayama, M.** Analysis of the Pupillary Light Reflex to Chromatic Stimuli Mediated by Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells. *10th WSEAS International Conference on MATHEMATICS and COMPUTERS in BIOLOGY and CHEMISTRY*. 2009., Proceedings.
16. **Lee, S., Hida, A., Tsujimura, S., Morita, T., Mishima, K., Higuchi,S.** Association between melanopsin gene polymorphism (I394T) and pupillary light reflex is dependent on light wavelength. *Journal of Physiological Anthropology*. 2013. vol.13. p.1-7.
17. **Berman, S.,M., Jawett, D.,L., Bingham, L.,R., Nahas, R.,M., Perry, F., Fein,G.** Pupillary Size Differences under Incandescent and High Pressure Sodium Lamps. *Journal of the Illuminating Society*. 1987.
18. **Figuerio, M., Bullough, J., Parsons, R., Rea, M.** Preliminary evidence for a change in spectral sensitivity of the circadian system at night. *Journal of Circadian Rhythms*. 2005. Vol.3 p.7.
19. **Lucas, R.,J., Douglas, G.,H., Foster, R.,G.** Characterization of an ocular photopigment capable of driving pupillary constriction in mice. *Nature Neuroscience*. 2001., p.621-626.
20. **Ishikawa, H.,.** Pupils and melaniopsin photoreception. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi Vol.117 (3)*. 2013, pp. 246-268.
21. **Nissen, C., Sander, B., Lund-Andersen, H.** The effect of pupil size on stimulation of the melanopsin containing retinal ganglion cells, as evaluated by monochromatic pupillometry. *Frontiers in Neurology*. Volume 2, Article 92, February 2012.
22. **Spitschan, M., Jain, S., Brainard, H.,D., Aguire, K.,G.,.** Opponents melanopsin and S-cone signals in the human pupillary light response. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America)*. Vol.111, October 28, 2014.
23. **Munch, M., Leon, L., Crippa, S.,V., Kawasaki, A.** Circadian and Wake-Dependent Effects on the Pupil Light Reflex in Response to Narrow-Bandwidth Light Pulses. *Visual Neuroscience*. 2012., Vol.53. p.4546-4555.

24. **Nelso, R.** *Ganglion Cell Physiology br Ralph Nelson*. 2007. [atsauce 20.05.2015.]. Pieejams internetā: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/ganglion-cell-physiology/>.
25. **West, K.,E., Jablonski, M.,R., Warfield, B., Cecil, K.,S., James, M., Ayers, M.,A., Maida, J., Bowen, C., Sliney, D.,H., Rollag, M.,D., Hanifin, J.,P., Brainard,G.,C.** Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent supression of melatonin in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2011. vol.110 p.1-7.
26. **Sirois, S., Brisson, J.** Pupillometry. *WIREs Cognitive Science*. 2014. p.1-14.
27. *Fast Fourier Transforms*. [tiešsaite] - [atsauce 21.05.2015.]. Pieejams: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/math/fft.html>.
28. **McDougal, D.,H., Gamlin, P.,D.** The influence of intrinsically-photosensitive retinal ganglion cell in the spectral sensitivity and rspnse dynamics of the human pupllary light reflex. *Vision Resreach*. 2010. Vol.50 p 72 - 87.

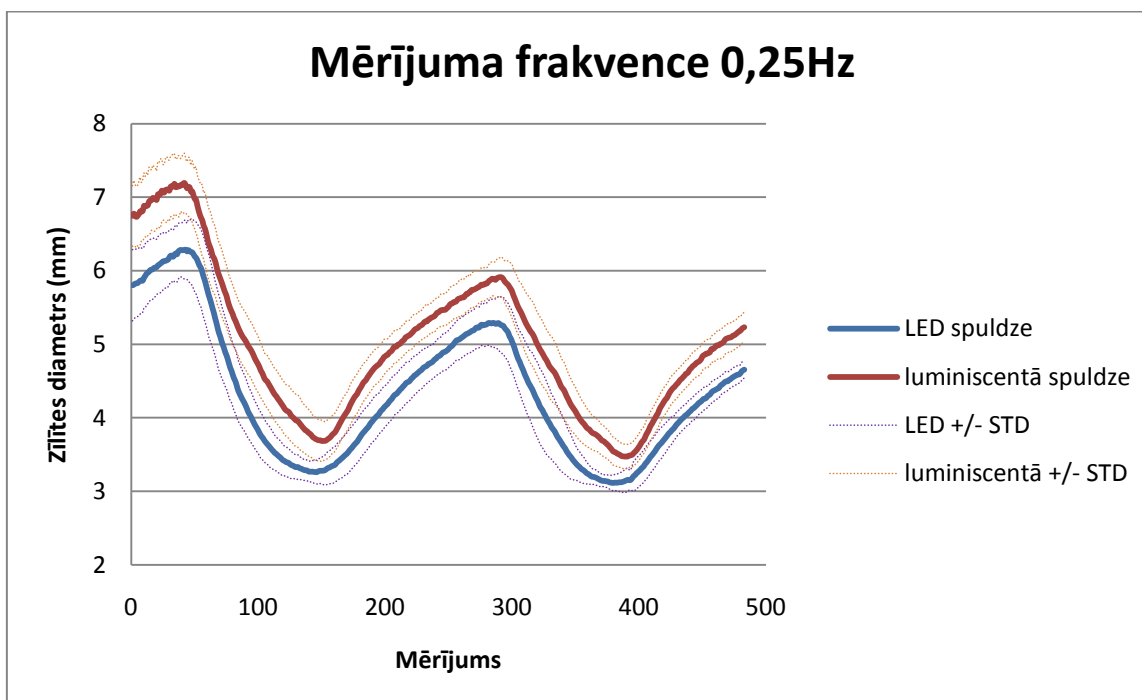
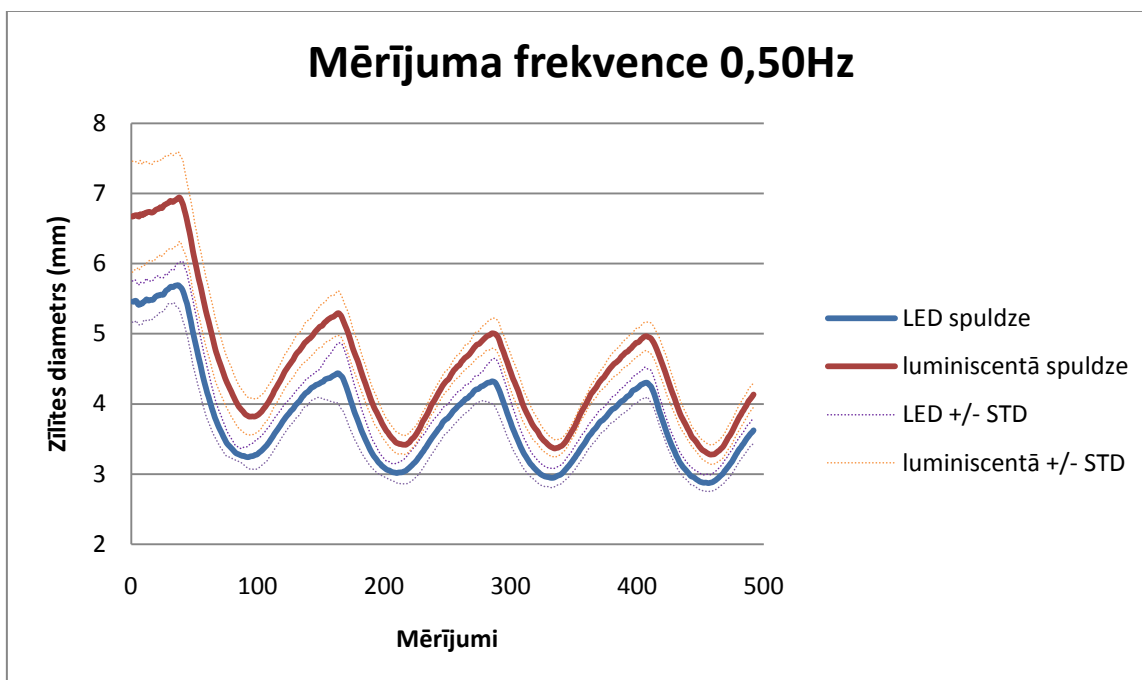
PIELIKUMI

1.pielikums. Rediģēts datu masīvs

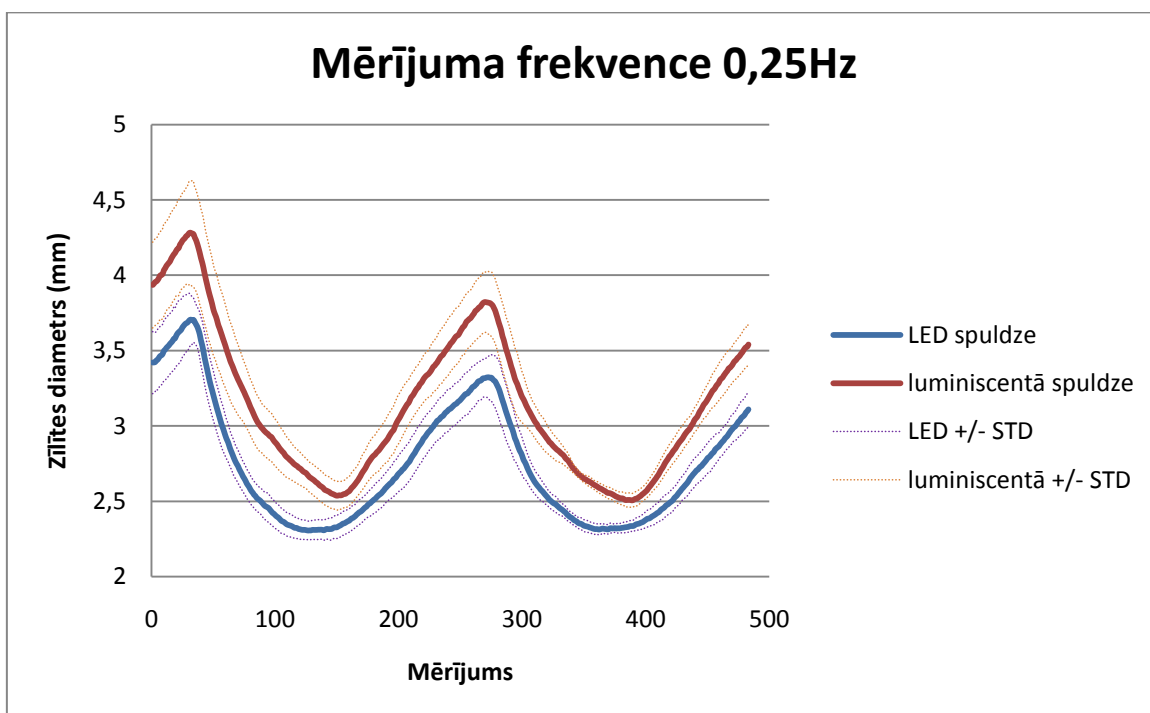
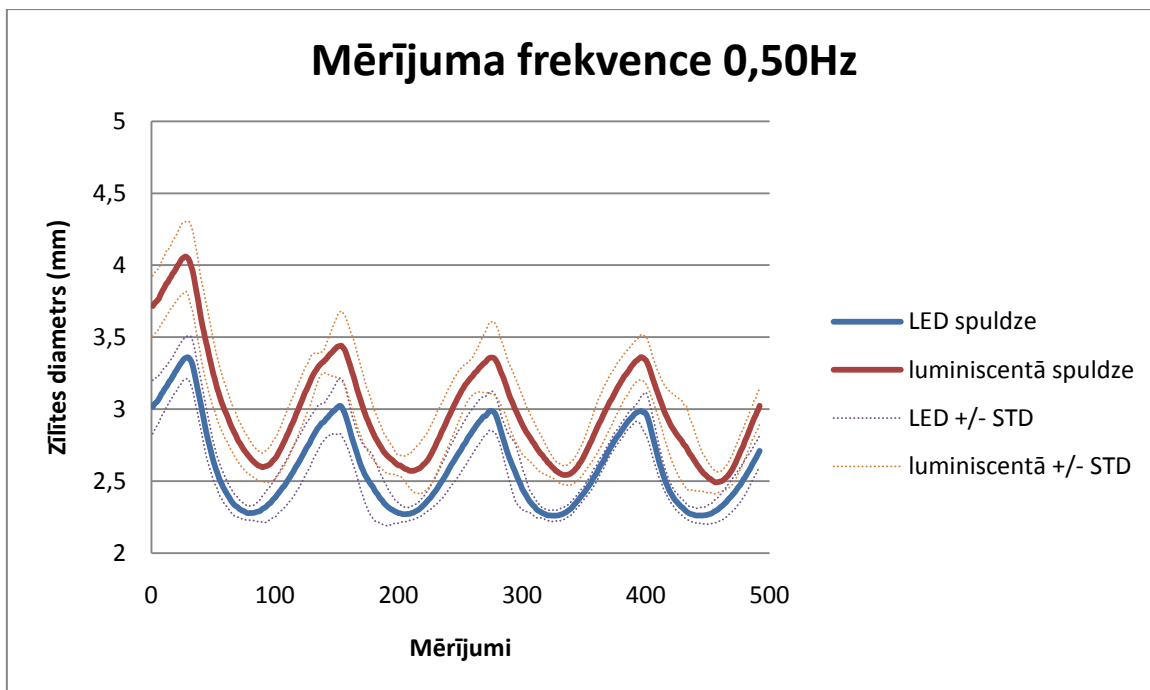


2.pielikums. Zīlītes diametra vidējās svārstības LED un luminiscentai spuldzei

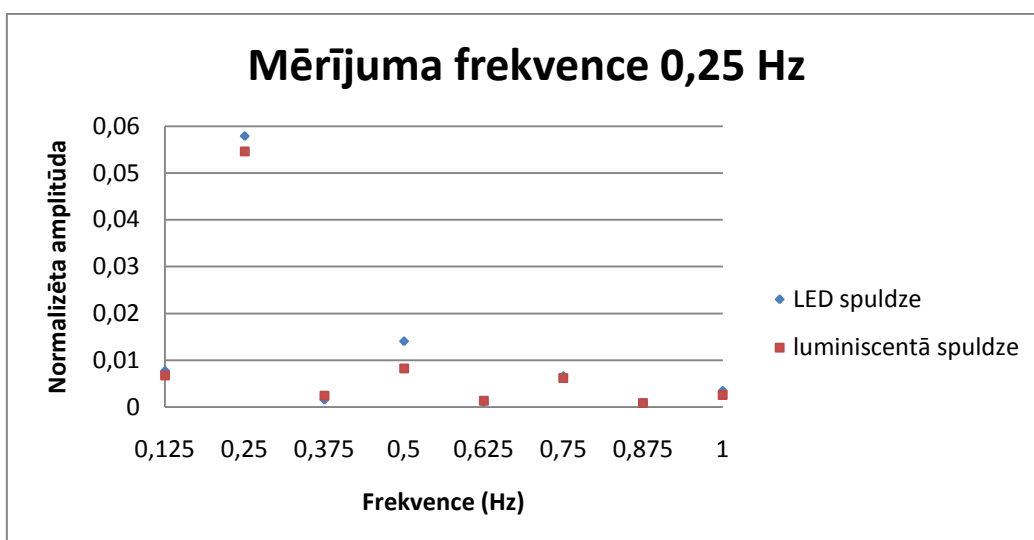
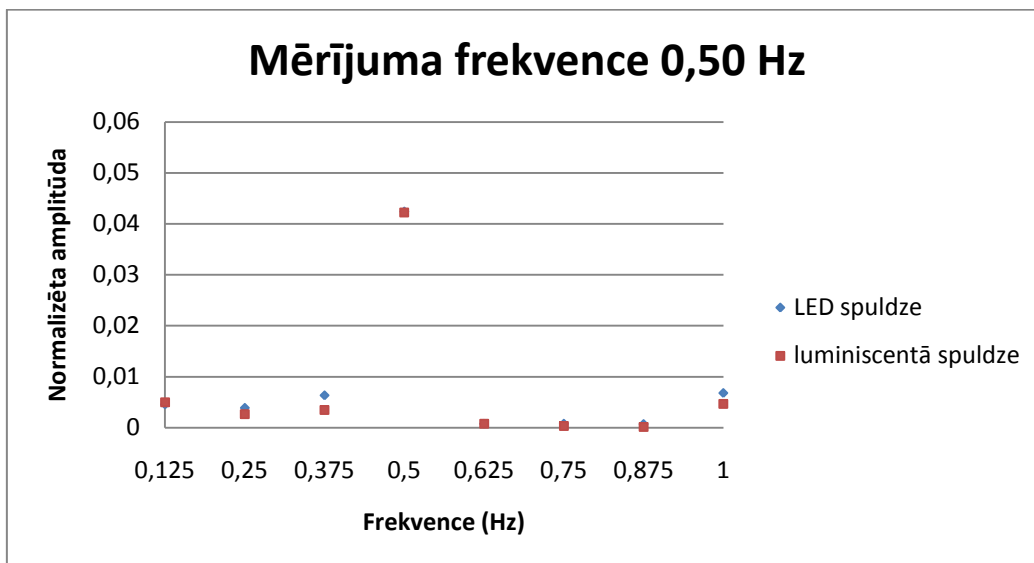
2.pētījuma daļībnieks



3.pētījuma daļībnieks



3.pielikums. Furjē frekvenču sadalījums vienam cilvēkiem.



Maģistra darbs „Zīlītes reakcija dažādu apgaismojumu ietekmē” 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.

Autors: Agnese Kiršteine 25.05.2015.

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: docents, *Dr.phys.* Sergejs Fomins 25.05.2015

Recenzents: docente, *Dr.* Skaidrīte Purviņa

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: docents, *Dr.phys.* Pēteris Cikmačs