

Vilniaus universitetas  
Fizikos fakultetas

Vilius Marma  
VERTIKALUMO – HORIZONTALUMO ILIUZIJOS PSICHOFIZIKINIAI TYRIMAI

Magistratūros studijų baigiamasis darbas

Biofizikos  
studijų programa

Studentas

Darbo vadovas

Konsultantas

Recenzentas

Fizikos fakulteto biofizikos studijų

programos komiteto pirmininkas

Vilius Marma

doc. dr. Natalija Bulatova

prof. dr. Aleksandr Bulatov

prof. dr. Armantas Baginskas

doc. dr. Saulius Bagdonas

Vilnius 2016

## Turinys

Paveikslėlių sąrašas .....	3
Lentelių sąrašas.....	7
Įvadas.....	8
1. Sensorinė sistema – rega .....	10
1.1. Regimųjų vaizdų suvokimo iškreipimai .....	13
2. Optinės iliuzijos.....	14
2.1. Teorijos aiškinančios geometrines iliuzijas.....	14
2.2. Geometrinių iliuzijų grupės .....	15
3. Metodika.....	18
3.1. Įranga.....	18
3.2. Stimulai.....	19
3.3. Procedūra.....	22
3.4. Stebėtojai .....	23
4. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų rezultatai.....	24
4.1. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos teorinis aprašymas.....	24
4.2. Vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimosi rezultatai.....	25
4.3. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų eksperimentiniai rezultatai...	37
Išvados.....	47
Literatūros sąrašas .....	48
Summary.....	51
Anotacija.....	52
Priedas nr. 1 <i>Vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimosi rezultatai antros ir trečios grupių stimulams</i> .....	53
Priedas nr. 2 <i>Mokslinių publikacijų sąrašas</i> .....	60

## Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Žmogaus akies skersinis pjūvis schema. (Rotomskis, et al., 2007).....	10
2 pav. Supaprastinta vaizdo formavimo akyje schema. Čia $\alpha$ – regėjimo kampas. (Rotomskis, et al., 2007) .....	10
3 pav. Stiebelių ir kūgelių pasiskirstymas žmogaus tinklainėje. Centrinis taškas – fovėja (geltonoji dėmė). (Rotomskis, et al., 2007) .....	11
4 pav. Geometrinės iliuzijos (Bach, et al., 2006): A) Müller–Lyer; B) Brentano; C) Judd; D) taško brūkšnelio; E) Opper-Kundt; F) Delboeuf; G) Ponzo; H) Vertikalumo - horizontalumo (Traidės); H) Titchener (Ebbinghaus).....	15
5 pav. Iliuzijų tipai: 1) Hermann tinklelis (Eustis, 2011); 2) Baltos spalvos iliuzija (Eustis, 2011); 3) Heringo iliuzijos variantas, sukurtas Akiyoshi Kitokoa (Eustis, 2011); 4) Kitaoka tinklas (Bach, et al., 2006); 5) Necker kūbas arba apgręžiama figūra (Bach, et al., 2006); 6) „Snieguolė (B) ir jos geroji dėja (A)“ (Bach, et al., 2006).....	16
6 pav. Eksperimento schema: a) stebėtojas, b) smakro laikiklis ribojantis galvos judesius, c) šviesai nepralaidus filtras, d) 3 mm skersmens diafragma ribojanti šviesos srauto plotį, e) diafragma rodanti tik centrinę apvalią, 4° skersmens, ekrano dalį, f) specialios paskirties užtemdyta patalpa, kurios foninio apšvietumo lygis $< 0,2 \text{ cd/m}^2$ . .....	18
7 pav. Pagrindinis <i>PsychoExp</i> programos langas. ....	19
8 pav. Stimulų grupės: a) linijiniai stimulai, b) taškiniai stimulai, c) taškiniai stimulai su horizontalios linijos vidurio tašku.....	21
9 pav. Stimulų pasukimo kampai: a) 0°, b) 45°, c) 90°, d) -45°. ....	21
10 pav. Stimulų linijų padėties kitimas. Vertikalios linijos galo padėties ant horizontalios linijos (lyginant su horizontalios linijos vidurio tašku) horizontalus kitimas riboje nuo -49,5 minarc iki 49,5 minarc (a), horizontalios linijos padėties ant vertikalios linijos (lyginant su vertikalios linijos galo tašku) vertikalus kitimas riboje nuo -16,5 minarc iki 82,5 minarc (b). ....	22
11 pav. Horizontalumo – vertikalumo iliuzijos horizontalios linijos, $h$ , ir vertikalios linijos, $v$ , ilgių skirtumo priklausomybė nuo linijos, tiek horizontalios, tiek vertikalios, padėties, $X$ , ant kitos linijos, tiek vertikalios, tiek horizontalios, atitinkamai. ....	24
12 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją.....	26
13 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos. ....	26
14 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija liečia horizontalios linijos galą. ....	27
15 pav. Pirmos grupės stimulus, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją per jos vidurį. ....	27
16 pav. Pirmos grupės stimulus, kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos. ....	28
17 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas 90°, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją. ....	28

18 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $90^\circ$ , kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos. ....	29
19 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $90^\circ$ , kai vertikali linija liečia horizontalią liniją ties jos galu.....	29
20 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $90^\circ$ , kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą. ..	30
21 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $90^\circ$ , kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos galo.....	31
22 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $45^\circ$ , kai vertikali linija liečia horizontalią liniją. ....	31
23 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $45^\circ$ , kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos. ....	32
24 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $45^\circ$ , kai vertikali linija ties horizontalios linijos galu. ....	33
25 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $45^\circ$ , kai horizontali linija kerta vertikalią liniją. ....	33
26 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas $45^\circ$ , kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos. ....	34
27 pav. Pirmos stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$ – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d)); $h - v - HVS$ ). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta $\pm SEM$ , raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. ....	38
28 pav. Pirmos stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$ – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d)); $h - v - HVS$ ). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta $\pm SEM$ , raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. ....	39
29 pav. Pirmos stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$ – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d)); $h - v - HVS$ ). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta $\pm SEM$ , raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.....	39
30 pav. Pirmos stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$ – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d)); $h - v - HVS$ ). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta $\pm SEM$ , raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.....	40
31 pav. Antros stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$ – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d)); $h - v - HVS$ ). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai	

- duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. .... 40
- 32 pav. Antros stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. .... 41
- 33 pav. Antros stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis..... 41
- 34 pav. Antros stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis..... 42
- 35 pav. Trečios stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. .... 42
- 36 pav. Trečios stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis. .... 43
- 37 pav. Trečios stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis..... 43
- 38 pav. Trečios stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v -$  HVS). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai –

- eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis..... 44
- 39 pav. Stimulai pasukti  $0^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų..... 53
- 40 pav. Trečios ir ketvirtos serijos stimulai pasukti  $0^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, c) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų..... 54
- 41 pav. Devintos ir dešimos serijos stimulai pasukti  $90^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas sutampa su horizontaliu tašku, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas sutampa su horizontaliu tašku, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų..... 55
- 42 pav. Vienuoliktos, dvyliktos serijos stimulai, pasukti  $90^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, c) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų..... 56
- 43 pav. Penktos, šeštos serijos stimulai, pasukti  $45^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone vertikalų taškų, d) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų. .... 57

44 pav. Septintos, aštuntos serijos stimulai, pasukti $45^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai atstumas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalinių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai atstumas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalinių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalinių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalinių taškų.....	59
---	----

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Kiekvienos serijos nepriklausomų parametrų rinkiniai. ....	20
2 lentelė. Horizontalios linijos suvokiamo ilgio aprašymas visoms stimulų grupėms.....	35
3 lentelė. Vertikalios linijos suvokiamo ilgio aprašymas visoms stimulų grupėms.....	35
4 lentelė. HVS aprašymas.....	36
5 lentelė. Reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, pirmos grupės stimulams, rezultatai. ....	44
6 lentelė. Reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, antros grupės stimulams, rezultatai. ....	45
7 lentelė. Reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, trečios grupės stimulams, rezultatai. ....	45

## Įvadas

Regos sistemos kasdien sprendžia nuolat pasikartojančias užduotis, tokias kaip matomųjų objektų vietos nustatymas erdvėje, jų formos, spalvos, sudedamųjų dalių suvokimas. Organizmo galimybė išgyventi kritinių situacijų metu, kai išorės sąlygos pasikeičia netikėtai, o taip pat ir paprastų gyvybinių poreikių tenkinimas labai dažnai priklauso nuo sėkmingo regos sistemos atlikto darbo. Gamta, evoliucijos metu, išrado labai veiksmingus ir optimalius regos sistemos užduočių sprendimo algoritmus, leidžiančius be didelių energijos sąnaudų ir ypatingų pastangų orientuotis kintančioje aplinkoje. Nepaisant to rega yra sudėtingas procesas. Regos sistemos informacijos šaltinis yra šviesos srauto energijos pasiskirstymas akių tinklainėje, kuris reikalauja didelio skaičiaus specializuotų neuronų vieningos ir koordinuotos veiklos, norint gauti tapatų ir pastovų vaizdą. Neuroniniai mechanizmai, dėl „būtinio pakankamumo“ principo, negali veikti taip pat gerai visose situacijose. Todėl tai sąlygoja regimojo vaizdo suvokimo iškraipymus, suvokiamų ir realių objekto savybių skirtumus. Šie realaus ir suvokiamo vaizdo neatitikimai, iliuzijos, gyviems organizmams nesukelia didelių trūkumų išgyventi. Įprastomis sąlygomis iškraipymų nepastebime, jie pasireiškia tik tam tikromis, neįprastomis sąlygomis. Regos, kaip sensorinės sistemos, netobulumas mums leidžia detaliau tyrinėti regimojo vaizdo apdorojimo principus, jų kelią, neuroninėmis jungtimis, smegenyse, sensorinių sistemų sandarą. Todėl iliuzijų, ypatingai geometrinių optinių iliuzijų, tyrimai padeda gilinti žinias apie sensorinių sistemų sandarą ir jų panaudojimą ieškant ir kuriant naujus biomedicininis sprendimus.

**Darbo tikslas** buvo patikrinti prielaidą dėl vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimo, keičiant nepriklausomai vertikalios ir horizontalios linijų tarpusavio padėtį, stimulams su linijomis ir taškais.

### **Darbo uždaviniai:**

1) Ištirti vertikalumo – horizontalumo iliuziją linijiniams ir taškiniams stimulams ir Nustatyti vertikalios ir horizontalios linijos suvokiamų ilgių skirtumo (tarp atraminės horizontalios ir vertikalios linijos) priklausomybės nuo vertikalios linijos pozicijos ant horizontalios linijos ir nuo horizontalios linijos pozicijos ant vertikalios linijos dėsninumus, skirtingiems stimulams ir jų orientacijai ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$ ).

2) Ištirti ir nustatyti vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimo dėsninumus stimulams su linijomis ir taškais, esant skirtingoms jų orientacijoms.

3) Pritaikyti teorinį modelį psichofizikinių tyrimų rezultatams ir patikrinti jo patikimumą.

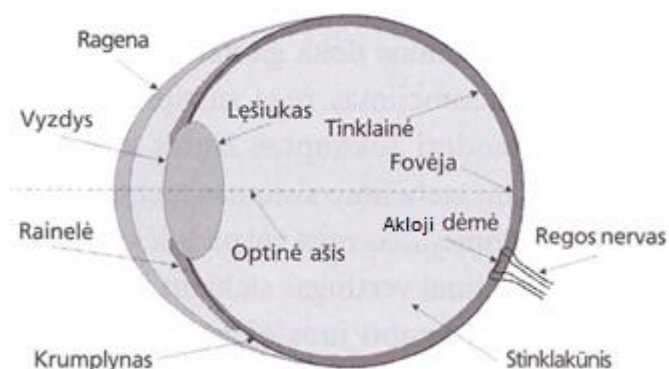
Pirmame darbo skyriuje „Sensorinė sistema – rega“ aptarsime akies sandarą, vaizdų susidarymą akyje, tinklainės sandarą. Taip pat bus apžvelgiama vaizdų apdorojimo principai ir kelias smegenyse. Apžvelgiama regimųjų vaizdų iškraipymo atsiradimo, psichologinės ir fiziologinės,



priežastys. Antrame skyriuje „Optinės iliuzijos“ nagrinėjama optines iliuzijas aiškinančios fiziologinio ir fenomenologinio pobūdžio teorijos, geometrinių iliuzijų skirstymas į fenomenologines grupes. Trečiame skyriuje „Metodika“ aptariama psichofizikinio eksperimentinio darbo metodika, įranga, eksperimento eiga, bandymuose dalyvavę stebėtojai, eksperimentuose naudoti stimulai. Ketvirtame skyriuje „Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų rezultatai“ aptariama ir pasiūloma teorinis vertikalumo – horizontalumo iliuziją aprašantis modelis, nustatinėjama vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimo dėsningumai, stimulams su linijomis ir taškais, esant skirtingoms jų orientacijoms. Taip pat aptariama vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų rezultatai ir lyginami su teoriniu modeliu.

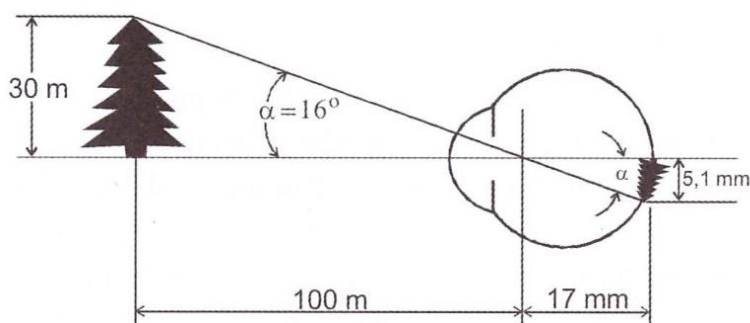
## 1. Sensorinė sistema – rega

Regėjimas tai viena iš svarbiausių pasaulio pažinimo priemonių, nes per jį iš aplinkos žmogus gauna apie 90 % visos sensorinės informacijos. Akies sandara pavaizduota 1 pav. paveiksle. Apdorojant informaciją apie regimuosius vaizdus, dalyvauja beveik trečdalis galvos smegenų žievės – pakaušio skilties pirminė ir antrinė sritys, viršugalvio, apatinės ir kaktos skilčių asociatyviniai centrai. Dalyvaujant regai, formuojamas labai greitas ir platus trimatis erdvinis aplinkos suvokimas: nuo artumoje esančių daiktų iki žvaigždynų begalybės. Adekvatūs regos dirgikliai yra šviesos fotonų srautai, kurių energija abiejų akių tinklainių fotoreceptoriuose paverčiama elektriniais signalais. Akių ir galvos judesiai dar labiau išplečia aplinkos suvokimo galimybes. Jau tinklainių lygyje, kur susidaro išorės objektų apversti ir sumažinti atvaizdai, vyksta svarbiausios vaizdinės informacijos išskyrimas bei apdorojimas.



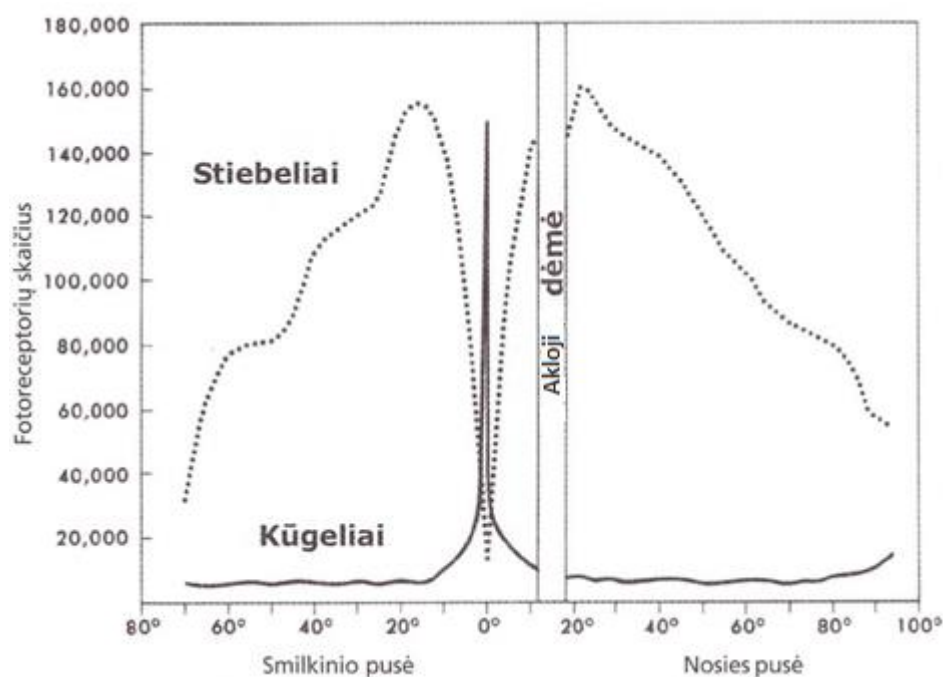
1 pav. Žmogaus akies skersinis pjūvis schema. (Rotomskis, et al., 2007)

Žiūrint į daiktą, šviesos spinduliai atsispindi nuo jo ir pro vyzdį patenka į akį. Šviesos spinduliai yra nukreipiami, laužiami ir fokusuojami ragenos, lęšiuko ir stiklakūnio. Stipriausiai šviesos spindulius laužia rageną, o lęšiukas reguliuoja atvaizdo ryškumą. Akyje atstumas tarp lęšiuko ir tinklainės nekinta, o atvaizdas fokusuojamas stipriau ar silpniau keičiant lęšiuko išgaubtumą. Tai vadinama lęšiuko akomodacija (Rotomskis, et al., 2007). Supaprastinta vaizdo formavimo akyje schema pateikiama 2 paveiksle.



2 pav. Supaprastinta vaizdo formavimo akyje schema. Čia  $\alpha$  – regėjimo kampas. (Rotomskis, et al., 2007)

Lęšiuko funkcija yra sufokusuoti spindulius taip, kad jie susikirstų tinklainėje. Tinklainėje yra apie 130 mln. stiebelių ir apie 5 mln. kūgelių. Stiebelių dėka mes matome prieblandoje ir net naktį. Toks regėjimas vadinamas skotopiniu. Esant geroms apšvietimo sąlygoms arba ryškiai šviesai, matome kūgelių dėka. Toks regėjimas vadinamas fotopiniu. Kūgeliai ir stiebeliai tinklainėje išsidėstę netolygiai (3 pav.). Centrinėje tinklainės dalyje, geltonojoje dėmėje (fovėje), stiebelių visiškai nėra. Fovėje labai tankiai išsidėstę tik kūgeliai. Kaip tik ši tinklainės dalis ir turi didžiausią skiriamąją gebą. Geltonosios dėmės laukas labai nedidelis, tik apie  $1^\circ$ , bet kaip tik juo dažniausiai naudojames, nukreipdami žvilgsnį į kokį nors objektą. Šiame lauke yra fokusuojamas dėmesys. Tuo tarpu lazdelių tankis didėja einant į periferiją nuo centrinės duobutės, didžiausias tankis yra ties  $20^\circ$  atstumu nuo centrinės duobutės (Blužienė, et al., 2005).



3 pav. Stiebelių ir kūgelių pasiskirstymas žmogaus tinklainėje. Centrinis taškas – fovėja (geltonoji dėmė). (Rotomskis, et al., 2007)

Skirtinga receptorių koncentracija tinklainės centre ir aplink ją suformuoja centrinį ir periferinį matymą. Centrinis matymas suteikia galimybę matyti daiktus aiškiai ir suvokti juos, t.y. nustatyti kas tai, o periferinis – plačiame matymo lauke aptikti daiktą ir nustatyti kur tai (Bridgeman, et al., 1997). Centrinis matymas yra susijęs su spalvų bei mažų vaizdo detalių išskirimu, už tai yra atsakinga geltonoji dėmė. Likusi tinklainės dalis yra jautresnė šviesai ir gali būti suaktyvinta silpnos šviesos. Lazdelių nerviniai tinklai yra ypač jautrūs judesiui bei mirgėjimui. Esant reikalui objektas, akių judesių pagalba, lokalizuojamas į centrinę tinklainės dalį ir panaudojamas centrinis matymas.

Centrinis regos laukas atitinka apie  $10^\circ$  į visas puses nuo centrinės geltonosios dėmės duobutės, periferinis – dar papildomus  $90^\circ$ . Visa išorinio pasaulio dalis, kuri vienu metu gali būti atvaizduojama mūsų akių tinklainėse vadinama regos lauku (Kėvalaitis, 2006). Vaizdas gaunamas tinklainėje yra mus supančios trimatės aplinkos dvimatė projekcija.

Informacija tinklainėje perduodama vertikaliais neuroniniais keliais, per dvipoles ląsteles į mazgines ląsteles, ir horizontaliais – per gulsčiaisiais ir amakrinines ląsteles. Horizontalūs keliai dalyvauja regos sistemos adaptacijoje prie bendrų apšvietimo sąlygų ir padeda sustiprinti naudingos informacijos išskyrimą vertikaliuose keliuose. Mazginės ląstelės koduoja fotoreceptorių apšvietimą įjungties ir išjungties atsakais. Kontrastiškas signalo perdurbimas suteikia centrinei nervų sistemai skirtingos informacijos. Įjungties centro mazginės ląstelės į recepcijos lauko centro apšvietimą reaguoja veikimo potencialų dažnėjimu, o periferijos apšvietimą – retėjimu. Išjungties centro mazginės ląstelės reaguoja atvirkščiai: į recepcijos lauko centro apšvietimą – veikimo potencialų retėjimu, o į periferijos – dažnėjimu. Tinklainės mazginės ląstelės nuolat siunčia į smegenis trumpus veikimo potencialų impulsus. Mazginių ląstelių recepcijos laukų jaudinimo pokyčiai yra koduojama veikimo potencialų impulsų pasikartojimo dažniais. Štai šiuos kodinius signalus ir gauna smegenys (Kėvalaitis, 2006).

Iš tinklainės signalai keliauja į smegenų gumburo nugarinį šoninį kūną ir dalinai į viršutinį dvikalnį (Telkes, et al., 2000). Savybės aprašančios regimąjį vaizdą yra perduodamos nepriklausomais neuroniniais keliais. Primatų smegenų gumburo nugariniame šoniniame keliniam kūne ir tinklainėje yra išskiriami trys pagrindiniai neuronų tipai: 1) *M* (didelės skėčio tipo ląstelės), 2) *P* (mažos nykštukinio tipo ląstelės) ir 3) *K* ląstelės (Solomon, et al., 2002). *P* ir *K* tipo ląstelės yra vadinamos toninėmis ląstelėmis, nes jos yra negreitos ir ilgai trunkančio atsako ląstelės. Šio tipo ląstelės atsakingos už objektų formų, spalvų analizę. *M* tipo ląstelės, kurių atsakai trumpi, yra vadinamos fazinėmis ląstelėmis. Šios ląstelės yra atsakingos už informacijos apie judesius apdorojimą (Kaplan, 2004).

Pirminėje regos žievėje, dar vadinamoje striarine žieve arba zona *VI*, informaciją apie gautus vaizdus yra apdorojama aukštesniu lygiu (Bruce, et al., 2003). Išėjimo signalai iš striarinės žievės neuroniniais tinklais yra siunčiami į aukštesnę, antrąją, regos žievės sritį (*V2*), kurioje aukštesniu lygiu yra apdorojama informacija apie vaizdų spalvą ir formą (Livingstone, et al., 1987). Iš antrosios regos žievės srities signalai yra siunčiami į ketvirtąją regos žievės sritį, kurioje yra identifikuojami ir klasifikuojami matomi objektai, t.y. atsakoma į klausimą „Kas?“ (Zeki, 1993). Signalai iš aukštesnių regos žievės sričių patekę į momeninę regos žievės sritį yra apdorojami dar aukštesniu lygiu. Šioje žievės srityje yra nustatoma objektų erdvinis išsidėstymas. Tai yra aukščiausio lygio signalų apdorojimas. Atsiradus šios srities pažeidimams yra sutrikdomas objektų vietos erdvėje vertinimas (Ungerleider, et al., 2004).

## 1.1. Regimųjų vaizdų suvokimo iškraipymai

Jau antikos laikais buvo žinoma, jog yra skirtumas tarp suvokiamo ir realaus objekto formų ir dydžio. Taip pat buvo diskutuojama apie suvokiamo pasaulio atvaizduoto sensorinių sistemų pagalba ir euklidinio pasaulio aprašymo tapatumo. Optinių iliuzijų tyrimai padeda išsiaiškinti šios problemos atsiradimo priežastis, veikimo mechanizmus (Zeki, 1993).

Iš Gillam ir Chambers (1985), atliktų tyrimų su Müller – Lyer figūra matome, jog objektų pozicija nesusijusi su vaizdų iškraipymo atsiradimu. Priklausomai nuo stebėtojo dėmesio taško, tas pats vaizdas sukelia skirtingus iškraipymus. Regimojo vaizdo iškraipymus įtakoja optimaliausias taškas figūros stebėjimui, o ne objekto pozicijos suvokimo klaida (Gillam, 1998).

Suvokiamo regimojo vaizdo iškraipymai paprastai vadinami dismetropsija. Šis sindromas pasireiškia dvejopai: 1) objektai atrodo suspausti, t.y. vadinamoji mikropsija, 2 ) objektai atrodo ištempti, t.y. vadinamoji makropsija. Sindromas atsiranda dėl akių tinklainės edemos ir tik išskirtiniais atvejais dėl kitų regos sistemos pakitimų (Podoll, et al., 2008).

## 2. Optinės iliuzijos

Iliuzija – tai klaidingas realiai egzistuojančių objektų įsivaizdavimas, suvokimas. Pats terminas iliuzija išvertus iš lotynų kalbos reiškia apgaulę, išjuokimą (Kvietkauskas, et al., 1985). Kitaip tariant tai yra sensorinių sistemų paklaida, susidaranti tarp suvokiamo ir realaus pasaulio.

### 2.1. Teorijos aiškinančios geometrines iliuzijas

Geometrines optines iliuzijas aiškinančios teorijos yra skirstomos į dvi pagrindines grupes ir šių grupių pogrupius:

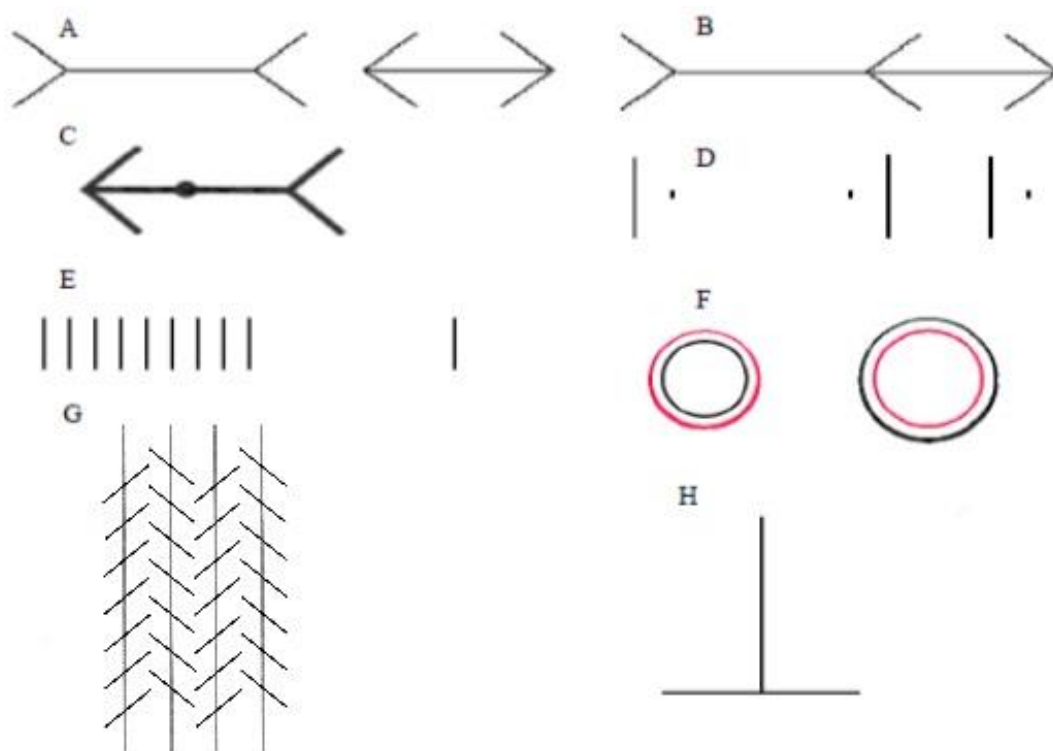
- fenomenologinio pobūdžio teorijos:
  - ✓ asimiliacijos ir kontrasto teorija;
  - ✓ funkcinės prigimties teorija;
  - ✓ dydžių kontrasto teorija;
  - ✓ adaptacijos lygio teorija;
  - ✓ svorio centro teorija.
- fiziologinio pobūdžio teorijos.

Pirmiausiai aptarsime seniausias – fenomenologinio pobūdžio teorijas. Šios teorijos pasiūlytos dar XIX a. pab. – XX a. pr. Asimiliacijos teorija teigia, kad iškraipymai atsirandą dėl to, jog efektai apibūdinantys atskiras suvokiamo objekto dalis jungiasi į vieną pojūtį. O kontrasto teorija teigia priešingai, kad viso objekto ir atskirų jo dalių pojūčių skirtumas yra stiprinamas ir sukuria regimojo vaizdo iškraipymus (Lewis, 1909).

Funkcinės prigimties teorija teigia, jog regos sistema yra labiau prisitaikius trimačių, o ne dvimačių objektų stebėjimui. Todėl apdorojant dvimačius vaizdus jiems yra priskiriamos trimačių vaizdų savybės, t.y. jiems suteikiama erdvės gylio pojūtis. Tai atsiranda dėl greitų ir nevalingų skaičiavimų, kurie yra atliekami regos sistemoje nedalyvaujant sąmonei (Gillam, et al., 1985).

Teorija teigianti, jog dydžio suvokimas yra formuojamas, remiantis informacija apie šio objekto ir jį supančių objektų fizikinių dydžių santykį yra vadinama dydžių kontrasto teorija (Gibson, 1983). Šią teoriją dažniausiai iliustruoja Delboeuf iliuzija (4 F pav.), kurioje apskritimas su apibrėžtu didesniu apskritimu atrodo didesnes lyginant jį su apskritimu kuriame įbrėžtas mažesnis apskritimas, nors abu apskritimai yra identiški.

Adaptacijos lygio teorija teigia, jog regimojo vaizdo iškraipymai yra atvirksčiai proporcingi objektų dydžiui, kuriam stebėtojas jau yra prisitaikęs (Helson, et al., 1964). O teorija teigianti, jog regimojo vaizdo suvokimo iškraipymai atsiranda dėl nevalingo žvilgsnio nukreipimo į objekto kontekstinių dalių svorio centrus, nustatinėjant centrinių figūrų vietas yra vadinama, svorio centro teorija (Virsu, 1971).



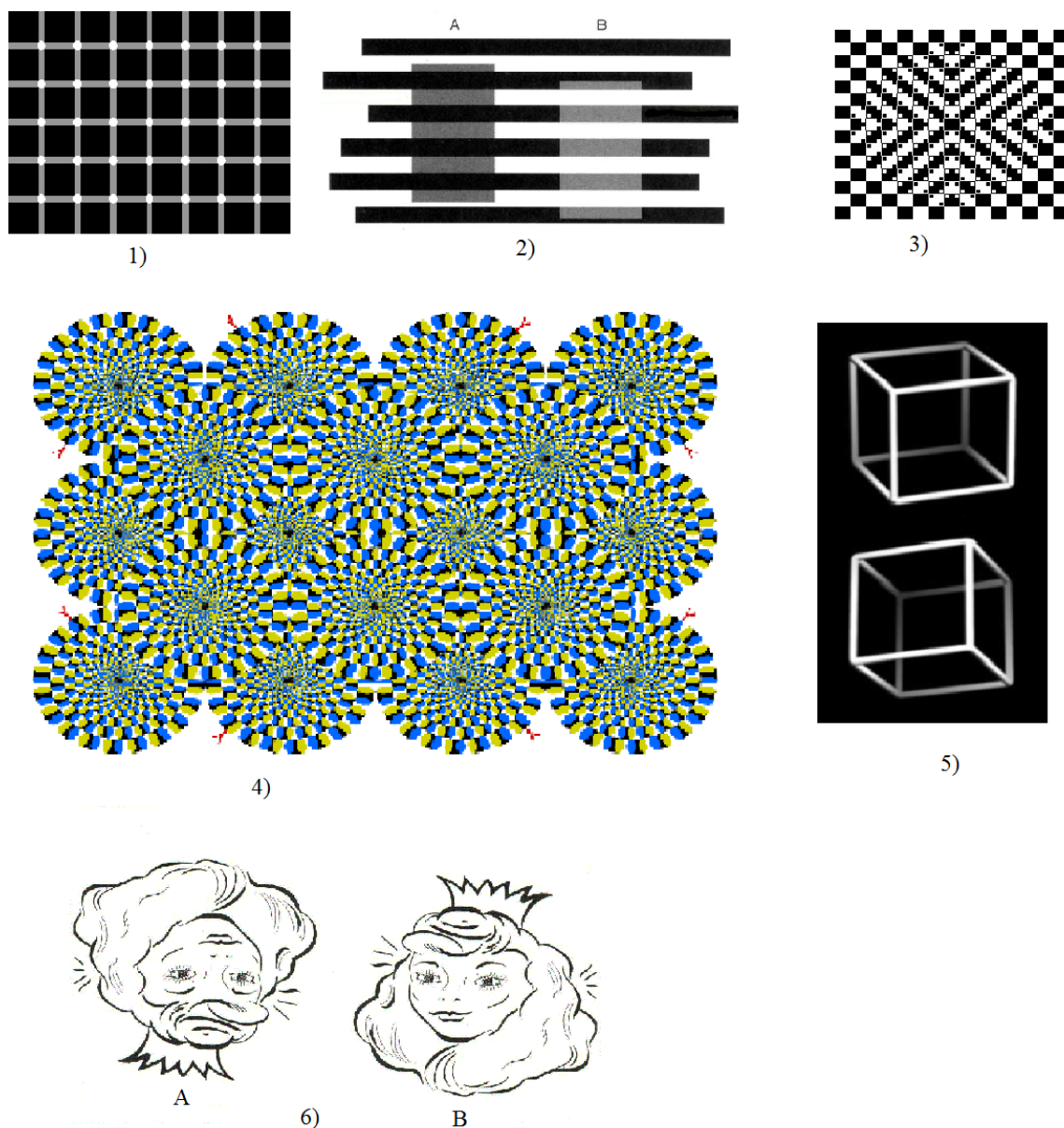
4 pav. Geometrinės iliuzijos (Bach, et al., 2006): A) Müller-Lyer; B) Brentano; C) Judd; D) taško brūkšnelio; E) Oppel-Kundt; F) Delboeuf; G) Ponzo; H) Vertikalumo - horizontalumo (T raidės); H) Titchener (Ebbinghaus).

Fiziologinio pobūdžio terijos regimojo vaizdo iškreipimus aiškinimui pasitelkia neurofiziologijos žinias. Jos teigia, kad iškreipimai atsiranda dėl to, jog stebimo objekto pagrindinių dedamųjų atvaizdai tinklainėje ar regos žievėje yra veikiami papildomų vaizdų dedamųjų (Wenderoth, 1992). Egzistuoja hipotezė, jog geometrinėse iliuzijose smailūs kampai yra tariamai ištempiami į bukesnius kampus (Greene, et al., 1994). Taip pat yra laikomasi prielaidos, jog vaizdų iškreipimai, regos sistemoje, atsiranda dėl statistinio signalų apdorojimo (Fermuler, et al., 2004).

## 2.2. Geometrinių iliuzijų grupės

Iliuzijos dažniausiai atsiranda stebint vaizdus sudarytus iš keleto linijų ar taškų. Bet netgi šiais gana paprastais atvejais regos sensorinės sistemos klaidos yra didelės ir sistemingai atsikartojančios. Rezultatų atsikartojamumas įgalina optinių iliuzijų tyrimus naudoti kaip vieną iš pagrindinių, regos sensorinės sistemos, tyrimo būdų (Zeki, 1993). Iliuzijas galima suskirstyti į šešias fenomenologines grupes (Bach, et al., 2006): a) šviesumo ir kontrasto, 5 (1) pav.; b) geometrinės arba kampo iliuzijas; c) judesio, 5 (4) pav.; d) 3D interpretacijos: dydžio konstantiškumo ir neįmanomų figūrų, 5 (3, 5) pav.; e) kognityvinio/geštalto poveikio, 5 (6) pav.; f) spalvų, 5 (2) pav. Šis iliuzijų

suskirstymas į fenomenologines grupes yra sąlyginis, nes daugelį iliuzijų galima priskirti ne vienai fenomenologinei grupei.



5 pav. Iliuzijų tipai: 1) Hermann tinklelis (Eustis, 2011); 2) Baltos spalvos iliuzija (Eustis, 2011); 3) Heringo iliuzijos variantas, sukurtas Akiyoshi Kitokoa (Eustis, 2011); 4) Kitaoka tinklas (Bach, et al., 2006); 5) Necker kūbas arba apgręžiama figūra (Bach, et al., 2006); 6) „Snieguolė (B) ir jos geroji fėja (A)“ (Bach, et al., 2006).

Geometrinės iliuzijas tirti yra žymiai paprasčiau negu kitas iliuzijas, nes geometrinėse iliuzijose yra žymiai mažiau kintamųjų lyginant su kitomis optinėmis iliuzijomis. Geriausiai ir daugiausiai ištyrinėta optinė geometrinė iliuzija yra Müller – Lyer iliuzija (4 A pav.). Ją XIX amžiaus pabaigoje pradėjo tyrinėti vokiečių psichologas Müller – Lyer. Müller – Lyer iliuzijos vaizdas



susideda iš dviejų linijų, kurias skirtingos sparnelių poros suskaido į dalis. Vienoje dalyje sparneliai yra nukreipti į išorę, o kitoje – į vidų. Suvokiamas atstumas tarp vidun nukreiptų sparnelių atrodo mažesnis negu suvokiamas atstumas tarp sparnelių nukreiptų į išorę, nors realus atstumas tarp sparnelių buvo vienodas (Bach, et al., 2006). Müller – Lyer iliuzija turi ne vieną modifikaciją (4 A, B, C, D pav.). Siekiant supaprastinti iliuzijos sukeliamų efektų tyrimą buvo pasiūlytas iliuzijos variantas sudarytas iš trijų porų sparnelių, išdėstytų vienoje linijoje (4 B pav.). Ši modifikacija užtikrina iliuzijos sukeliamų efektų stabilumą ir yra viena iš plačiausiai naudojamų iliuzijos modifikacijų (Brentano, 2006). Be iliuzijos vaizdo modifikacijų yra daromi tyrimai keičiant iliuzijos ryškio kontrastą, vaizdų spalvas, sparnelius keičiant kitomis geometrinėmis figūromis.

Dydžio konstantiškumo iliuziją, sudarytą iš dviejų vienodo dydžių apskritimų, kurių vienas yra apibrėžtas didesniu apskritimu, antrame įbrėžtas mažesnis apskritimas, atrado belgų matematikas, psichologas Joseph Delboeuf (4 F pav.) (Obonai, 1954).

Kitą dydžio konstantiškumo iliuziją sudaro du intervalai, vienas – užpildytas, o antras – tuščias, tokia iliuzija vadinama Oppel-Kundt iliuzija (4 E pav.). Užpildytas intervalas suvokiamas kaip ilgis, lyginant jį su tuščiu intervalu (Noguchi, 2003).

Geometrinės iliuzijos sudarytos iš lygiagrečių linijų, kurias kerta įstrižos, skirtingais kampais pasuktos trumpos linijų atkarpos yra vadinamos Zöllner iliuzijomis (4 G pav.). Lygiagrečios linijos atrodo pasuktos skirtingais kampais priklausomai nuo jas kertančių trumpų įstrižų linijų (Wenderoth, et al., 2006).

Iliuzija atsirandanti dėl regos lauko anizotropijos ir objektų dalinimo į dvi dalis, t.y. bisekcijos, yra vadinama vertikalumo – horizontalumo iliuzija (4 H pav.). Šioje iliuzijoje vertikali linija yra išilgai tempiama dėl regimojo lauko anizotropijos, o horizontalią liniją dalina vertikali linija į dvi dalis. Todėl vertikali linija yra suvokiama ilgesnė už horizontalią liniją (Gentaz, et al., 2004). Ši iliuzija yra plačiai tyrinėta, bet tikslaus paaiškinimo kaip iliuzija susiformuoja nėra. Todėl mano darbe buvo išsikelti šie uždaviniai:

1) Ištirti vertikalumo – horizontalumo iliuziją linijiniams ir taškiniams stimulams ir nustatyti vertikalios ir horizontalios linijos suvokiamų ilgių skirtumo (tarp atraminės horizontalios ir vertikalios linijos) priklausomybės nuo vertikalios linijos pozicijos ant horizontalios linijos ir nuo horizontalios linijos pozicijos ant vertikalios linijos dėsningumus, skirtingiems stimulams ir jų orientacijai ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$ ).

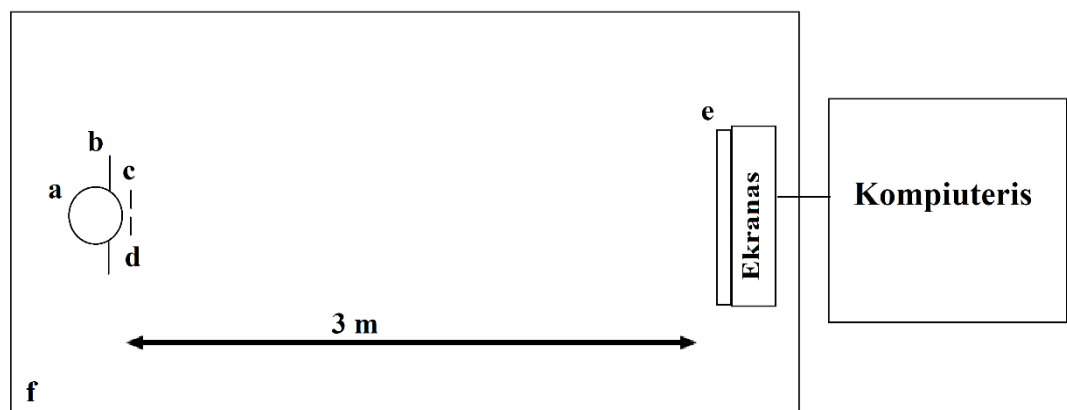
2) Ištirti ir nustatyti vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakojančių faktorių sumavimo dėsningumus, stimulams su linijomis ir taškais, esant skirtingoms jų orientacijoms.

3) Pritaikyti teorinį modelį psichofizikinių tyrimų rezultatams ir patikrinti jo patikimumą.

### 3. Metodika

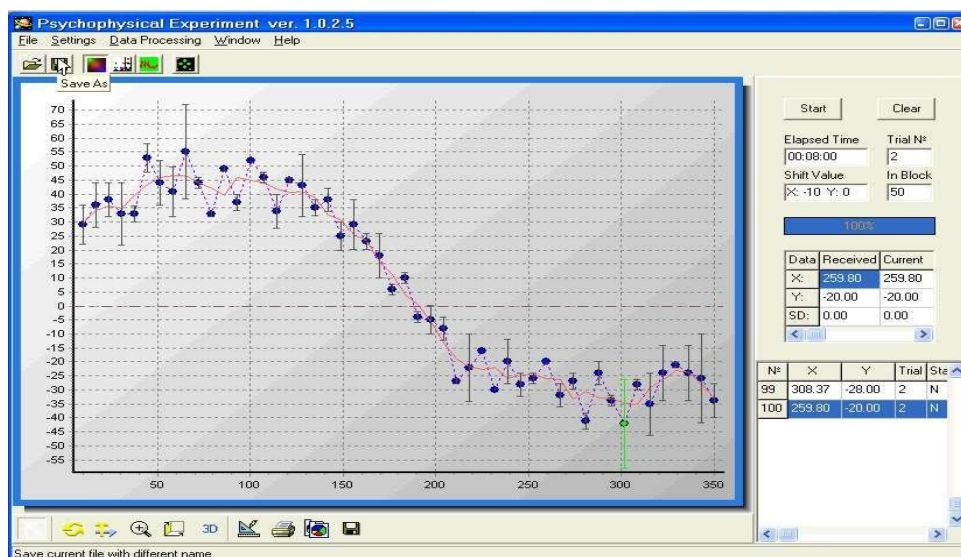
#### 3.1. Įranga

Darbas atliktas Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Biologinių sistemų ir genetinių tyrimų instituto Regos neurofiziologijos laboratorijoje. Eksperimentai vyko specialios paskirties užtemdytoje patalpoje, kurios foninis apšvietumas lygus  $< 0,2 \text{ cd/m}^2$ . Stimulai buvo formuojami 19“ LCD vaizduoklio *Sony SDM-HS95P* ekrane. Pagrindiniai vaizduoklio parametrai: 1280/1024 pikselių skiriamoji geba, pikselio dydis –  $0,294 \text{ mm}$ , reakcijos laikas –  $12 \text{ ms}$ , kadru skleistinės dažnis –  $75 \text{ Hz}$ , maksimalus ryškis –  $400 \text{ cd/m}^2$ , maksimalus kontrastas – 550:1. Vaizduoklio ryškių diapazonui nustatyti bei ryškių pokyčių teisiškumui (*gamma-correction*) koreguoti buvo naudojamas *Cambridge Research Systems OptiCAL RS232* skaitmeninis fotometras. Formuojant stimulus buvo naudojamos programinio paketo *Microsoft GDI+* vaizdų gludavimo procedūros. Vaizduoklio ekrano kraštai buvo papildomai dengiami, kad stebėtojas galėtų matyti tik apvalią centrinę,  $4^\circ$  skersmens, ekrano dalį. Siekiant geros stimulų vaizdų kokybės optimizuojant geometrinių parametrų reikšmių diskretiškumą, stebėtojas buvo sodinamas  $3 \text{ m}$  nuotoliu nuo ekrano. Stebėtojo galvos judesius ribojo smakro laikiklis. Siekiant išvengti trimačių objektų asociacijų įvyksiančių dėl stebėjimo abiem akim, šviesai nelaidžiais filtrais buvo ribojamas kairės akies matomumas. O dešinės akies optikos sukeltus iškreipimus mažino šviesos srauto plotį ribojanti  $3 \text{ mm}$  skersmens diafragma, tvirtinama prieš stebėtojo akį. Eksperimento schema pavaizduota 6 pav.



6 pav. Eksperimento schema: a) stebėtojas, b) smakro laikiklis ribojantis galvos judesius, c) šviesai nepralaidus filtras, d)  $3 \text{ mm}$  skersmens diafragma ribojanti šviesos srauto plotį, e) diafragma rodanti tik centrinę apvalią,  $4^\circ$  skersmens, ekrano dalį, f) specialios paskirties užtemdyta patalpa, kurios foninio apšvietumo lygis  $< 0,2 \text{ cd/m}^2$ .

Specialia kompiuterine programa *PsychoExp*, kuri sukurta Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Biologinių sistemų ir genetinių tyrimų instituto Regos neurofiziologijos laboratorijoje, buvo formuojami stimulai, keičiami stimulų parametrai ir jų reikšmės, valdomi eksperimentai, registruojami stebėtojų atsakai ir atliekami pradiniai gautųjų duomenų apdorojimo etapai. Viso eksperimento metu atskiru eksperimentatoriaus vaizduokliu buvo stebima eksperimento eiga. Pagrindinis specialios kompiuterinės programos *PsychoExp* langas pavaizduotas 7 pav.



7 pav. Pagrindinis *PsychoExp* programos langas.

### 3.2. Stimulai

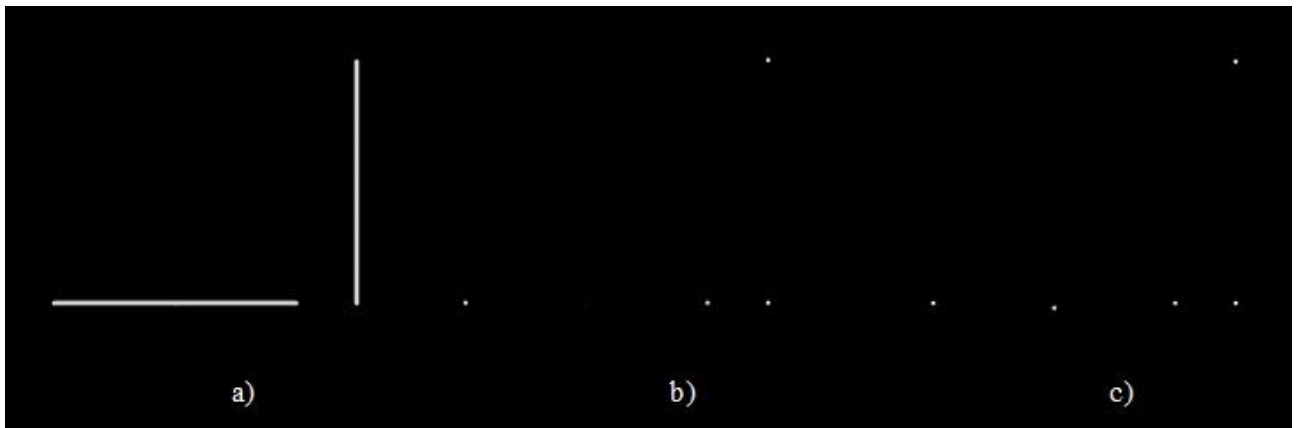
Eksperimentams buvo naudojama horizontalumo – vertikalumo (apverstos T raidės) geometrinė iliuzija. Vertikalios ar horizontalios linijos referentinis ilgis buvo 66 *minarc*. Linijos storis buvo 1,32 *minarc*. Baltų piešinių šviesos intensyvumas buvo 75  $cd/m^2$ , o tamsaus juodo fono šviesos intensyvumas buvo 0,4  $cd/m^2$ . Taško dydis 1,32 *minarc*. Eksperimentą sudarė trys stimulų grupės (8 pav.). Pirmąją stimulų grupę sudaro linijiniai stimulai (8 a) pav.). Antrosios stimulų grupė stimulai sudaryta iš horizontalios ir vertikalios linijų galų taškų (8 b) pav.). Trečioji stimulų grupė yra taškinių stimulų, antrosios stimulų grupės, modifikacija. Jos stimulus sudaro horizontalios ir vertikalios linijų kraštiniai taškai ir taškas horizontalios linijos viduryje (8 c) pav.).

Kiekvieną stimulų grupę sudarė 16 serijų (1 lentelė). Nelyginėse eksperimento serijose referentinė linija buvo horizontali, o lyginėse eksperimento serijose – vertikali. Pirmose keturiose serijose stimulai buvo pasukti 0° kampu (9 a) pav.), nuo penktos iki aštuntos serijos stimulai pasukti

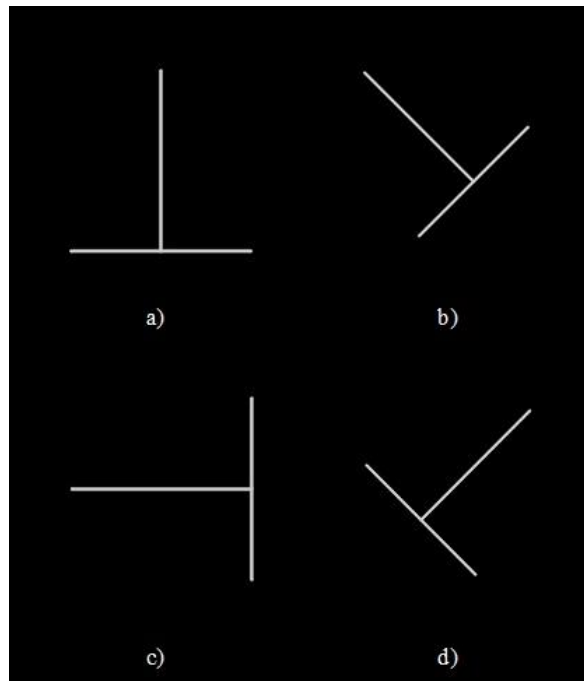
45° kampu (9 b) pav.), nuo devintos iki dvyliktos serijos – 90° kampu (9 c) pav.), o nuo tryliktos iki šešioliktos serijos – -45° kampu (9 d) pav.).

1 lentelė. Kiekvienos serijos nepriklausomų parametrų rinkiniai.

Serijos numeris	Stimulo kampas,		pasukimo		Referentinė linija		Linijos padėties kitimas			
	0°	45°	90°	-45°	Horizontali	Vertikali	Vertikalios linijos kitimas ant horizontalios	Horizontalios linijos kitimas ant vertikalios		
1	✓				✓		✓			
2	✓					✓	✓			
3	✓				✓				✓	
4	✓					✓			✓	
5		✓			✓		✓			
6		✓				✓	✓			
7		✓			✓				✓	
8		✓				✓			✓	
9			✓		✓		✓			
10			✓			✓	✓			
11			✓		✓				✓	
12			✓			✓			✓	
13				✓	✓		✓			
14				✓		✓	✓			
15				✓	✓				✓	
16				✓		✓			✓	

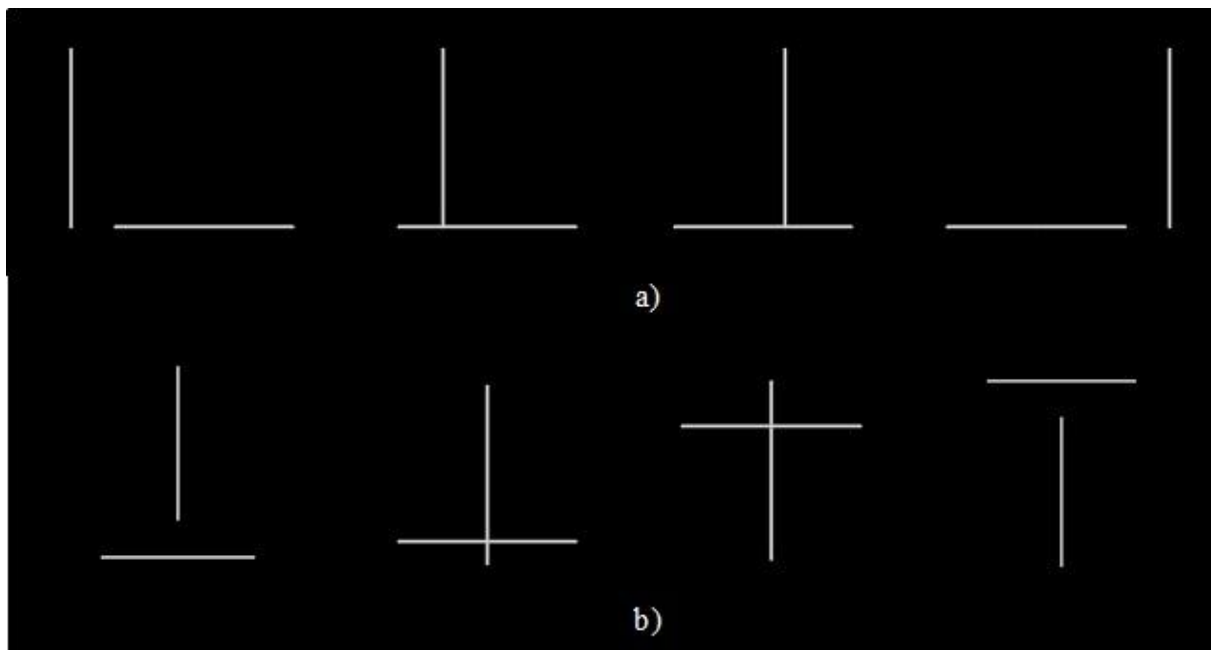


8 pav. Stimulų grupės: a) linijiniai stimulai, b) taškiniai stimulai, c) taškiniai stimulai su horizontalios linijos vidurio tašku.



9 pav. Stimulų pasukimo kampai: a)  $0^\circ$ , b)  $45^\circ$ , c)  $90^\circ$ , d)  $-45^\circ$ .

Taip pat, 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14 serijose vertikalios linijos galo padėtis ant horizontalios linijos (lyginant su horizontalios linijos vidurio tašku) buvo horizontaliai keičiama riboje nuo  $-49,5 \text{ minarc}$  iki  $49,5 \text{ minarc}$  (10 a) pav.). O 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16 serijose horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos (lyginant su vertikalios linijos galo tašku) buvo vertikalčiai keičiama riboje nuo  $-16,5 \text{ minarc}$  iki  $82,5 \text{ minarc}$  (10 b) pav.).



10 pav. Stimulų linijų padėties kitimas. Vertikalios linijos galo padėties ant horizontalios linijos (lyginant su horizontalios linijos vidurio tašku) horizontalus kitimas riboje nuo  $-49,5 \text{ minarc}$  iki  $49,5 \text{ minarc}$  (a), horizontalios linijos padėties ant vertikalios linijos (lyginant su vertikalios linijos galo tašku) vertikalus kitimas riboje nuo  $-16,5 \text{ minarc}$  iki  $82,5 \text{ minarc}$  (b).

### 3.3.Procedūra

Psichofizikoje yra įvairių stimulo pateikimo ir stebėtojo atsakų registravimo metodų. Dažniausiai naudojami – pastovaus priverstinio pasirinkimo ir minimalių skirtumų metodai. Priverstinio pasirinkimo metodas laikomas tikslesniu nustatinėjant skirtingų suvokimo procesų slenksčių vertes, bet tiriant suvokimo dėsningumą funkcinių pobūdį, dėl didelių stimulo parametrų kintamųjų verčių rinkinio, išauga eksperimento darbo laikas, o tuo pačiu ir stebėtojų nuovargis. Todėl naudojame mažiau tikslų – mažiausių skirtumų metodą.

Eksperimento metu, stebėtojų buvo prašoma naudojantis klaviatūros pagalba pastumti liniją (arba linijos galo tašką) į tokią poziciją, kurioje abi linijos (arba atstumas tarp linijos galo taškų) suvokiamos, vienodo ilgio. Pradinis linijos ilgis (arba atstumas tarp linijos galinių taškų) tarp tiriamosios ir referentinės linijos/atstumo buvo atsitiktinis ir tolygiai pasiskirstęs riboje  $\pm 3,3 \text{ minarc}$ . Stebėtojai nežinodavo ar tiriamoji linija/atstumas ilgesnė, ar trumpesnė už atraminę liniją/atstumą. Stebėtojų akių judesiai nebuvo registruojami ir stebėjimo laikas nebuvo ribojamas. Surinkti eksperimentiniai duomenys buvo apdoroti programiniu *MATLAB* paketu.

Vienas eksperimentinis bandymas susidėjo iš 90 stimulų parodymų, t.y. 30 skirtingų, nepriklausomų parametrų, verčių, atsitiktine tvarka, buvo paimami tris kartus. Kiekvienoje

eksperimento serijoje, tiriamieji atliko mažiausiai po keturis eksperimentinius bandymus skirtingomis dienomis, t.y. iš viso vienoje serijoje peržiūrai parodyta 5760 stimulų. Dvylika bandymų įeina į kiekviena duomenų taško analizę. Duomenų analizės grafikuose paklaidos juostelė atvaizduoja  $\pm$  vieną standartinę vidurkio paklaidą (SEM).

### **3.4. Stebėtojai**

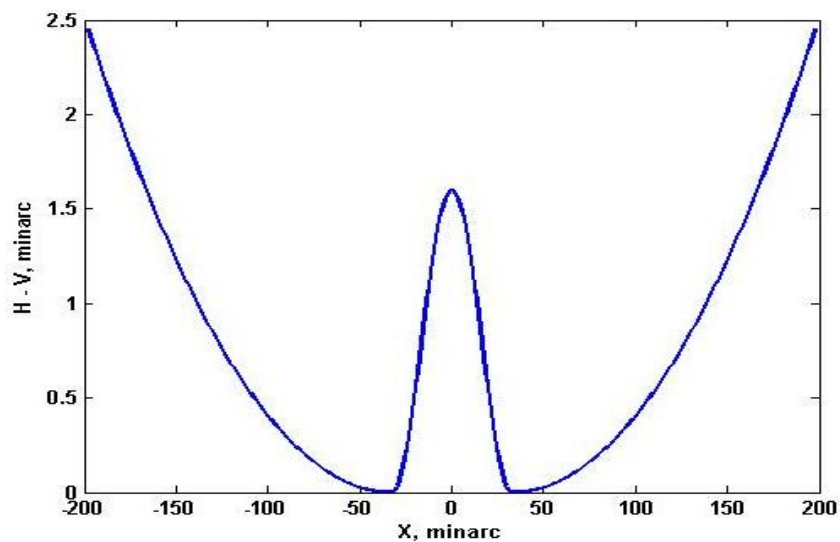
Bandymuose dalyvavo 25 skirtingų lyčių, įvairių profesijų stebėtojai, 13 moterų ir 12 vyrų. Jų amžius nuo 18 iki 55 metų. Po 10 stebėtojų dalyvavo bandymuose su pirmos ir antros grupės stimulais, 6 moterys, 4 vyrai ir 5 moterys, 5 vyrai, atitinkamai. Ir 5 stebėtojai, 2 moterys ir 3 vyrai, dalyvavo bandymuose su trečios grupės stimulais. Visi stebėtojai anksčiau nėra dalyvavę panašiuose eksperimentuose. Eksperimento dalyviai prieš pradėdami bandymus, kurie buvo atlikti laikantis 1964 m. Helsinkio deklaracijos etikos standartų, davė savo raštinius sutikimus. Visų stebėtojų rega buvo gera, regos aštris įvertintas 1 arba koreguotas iki vieneto optiniais lęšiais ( $-3 \div +1,75$ ). Stebėtojai nebuvo sirgę akių ligomis ir neturėjo akių traumų. Siekiant supažindinti stebėtojus su eksperimentu ir jo atlikimo metodika, bei lavinti atlikimo įgūdžius, prieš pradėdant eksperimentus, tiriamieji atliko keletą apžvalginių, paruošiamųjų bandymų.

## 4. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų rezultatai

### 4.1. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos teorinis aprašymas

Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos stiprumas priklauso nuo linijos dalinimo, pasvyrimo kampo, linijų padėties (Marma, et al., 2015). Remiantis kitų mokslininkų (Charas, et al., 2010), (Hamburger, et al., 2010), (Mamasian, et al., 2010) tyrimų rezultatais žinome, jog vertikalumo – horizontalumo iliuzijoje vertikali linija visada atrodo ilgesnė už horizontalią dėl regimojo vaizdo anizotropijos, t.y. vertikali linija yra tempiama. Taip pat žinome, jog iliuzija stiprėja, kai viena linija dalina kitą liniją. Todėl įvertinę visas turimas žinias ir darant prielaidą, jog abu šie faktoriai sumuojasi galime sukonstruoti funkciją aprašančią vertikalumo – horizontalumo iliuziją.

Horizontalumo – vertikalumo iliuzijos horizontalios ( $h$ ) ir vertikalios ( $v$ ) linijų ilgių skirtumas,  $h - v$ , yra maksimalus ties linijos, tiek horizontalios, tiek vertikalios, viduriu (11 pav.). Nuo centro tolstant link linijos kraštų ilgių pokytis mažėja ir prie linijos kraštų artėja į nulį, ties kraštais linijų ilgiai atrodo vienodi. Tolstant nuo linijos kraštų pokytis vėl pradeda augti.



11 pav. Horizontalumo – vertikalumo iliuzijos horizontalios linijos,  $h$ , ir vertikalios linijos,  $v$ , ilgių skirtumo priklausomybė nuo linijos, tiek horizontalios, tiek vertikalios, padėties,  $X$ , ant kitos linijos, tiek vertikalios, tiek horizontalios, atitinkamai.

Tokią linijų ilgių pokyčio priklausomybę nuo padėties ant linijos, galima formaliai aprašyti įvairiomis funkcijomis. Žinant tai, jog daugumą biologinių procesų aprašomi Gauso funkcijomis, priklausomybę galima būtų aprašyti Gauso funkcijų suma:

$$h - v = \sum_{i=1}^n a_i e^{-\frac{(x-b_i)^2}{2c_i^2}}, \quad (1)$$



čia  $h$  – horizontalios linijos ilgis,  $v$  – vertikalios linijos ilgis,  $a_i, b_i, c_i$  – nepriklausomi parametrai. Iš (1) lygties mes negalime sužinoti kokiomis funkcijomis aprašomi iliuziją įtakojantys faktoriai. Todėl norint sužinoti iliuziją įtakojančių faktorių priklausomybę, mes formaliai galime 11 pav. priklausomybę aprašyti ir taikant žymiai paprastesnę funkciją, kuri ilgių skirtumo,  $h - v$ , priklausomybę suskaido ją į tris dalis:

$$h - v = \begin{cases} b \cos cx + b, & -\frac{L}{2} \leq x \leq \frac{L}{2} \\ a(x - m)^2, & x < -\frac{L}{2} \text{ ir } x > \frac{L}{2} \end{cases}, \quad (2)$$

čia  $a, b, c$  – konstantos, nustatomos eksperimentiškai,  $L$  – linijos ilgis. Kai padėtis  $x < -\frac{L}{2}$ , tai  $m = -\frac{L}{2}$ , o kai  $x > \frac{L}{2}$ , tai  $m = \frac{L}{2}$ . Padėtis, kai  $x = 0$ , atitinka linijos vidurį, o linijos kraštus žymi  $x = \pm \frac{L}{2}$ .

## 4.2. Vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakojančių faktorių sumavimosi rezultatai

Lygtys (1) ir (2) tik aprašo  $h - v$  pokytį, bet nepaaiškina pokyčio atsiradimo priežasties. Norint geriau suprasti pokyčio atsiradimo priežastis reikia nustatyti, kokie parametrai įtakoja suvokiamą linijos ilgį kiekvienu stimulo pateikimo metu. Iš literatūros šaltinių žinome, jog iliuzijos atsiradimui įtakos turi regimojo lauko anizotropija, linijų dalinimas ir tuščių atkarpų užpildymas. Savo darbe mes darome paprastą prielaidą, jog visi šie nepriklausomi parametrai yra sumuojami.

Skyriuje aptarsime pirmos grupės stimulus, antros ir trečios grupės stimulų aptarimas pateiktas *Priede nr. 1*. Pirmiausiai aptarsime 1 ir 2 serijos stimulus (1 lentelė), kuriuose buvo keičiama vertikalios linijos padėtis ant horizontalios linijos, stimulo pasukimo laipsnis lygus nuliui. Vertikalios linijos galui liečiant horizontalią liniją (12 pav.), vertikalios linijos suvokiamą ilgį įtakoja regimojo vaizdo anizotropija, t. y. linija tempiama išilgai, šį reiškinį aprašo tempimo koeficientas  $k$ . Vertikalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas realaus ilgio ir tempimo koeficiento sandaugos su realiu ilgiu suma:

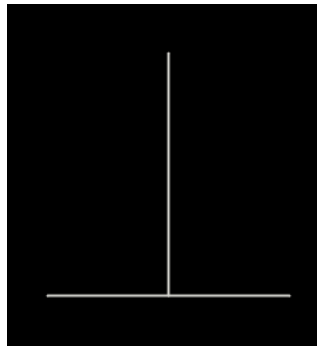
$$v = L + kL, \quad (3)$$

čia  $L$  – linijos ilgis,  $k$  – tempimo koeficientas. Horizontalios linijos suvokiamą ilgį taip pat nulemia narys  $I$  atsirandantis dėl to, jog vertikali linija daliną horizontalią liniją į dvi dalis. Horizontalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas kaip realaus ilgio  $L$  ir dalinimo dedamosios  $I$  suma:

$$h = L + I. \quad (4)$$

Horizontalios ir vertikalios linijų suvokiamų ilgių skirtumas (HVS – horizontalios ir vertikalios linijų arba atstumo tarp galo taškų suvokiamų ilgių skirtumas) aprašomas:

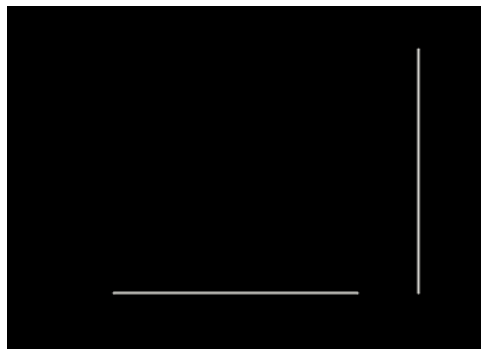
$$h - v = I - kL. \quad (5)$$



12 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją.

Iš (5) lygties matome, jog HVS yra dalinimo dedamosios  $I$  ir anizotropijos nario  $kL$  skirtumas. Stimuluose, kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos (13 pav.) vertikali linijos suvokiamą ilgį aprašo (3) lygtis, o horizontalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo tuščio tarpo tarp horizontalios linijos ir vertikali linijos galų užpildymo. Šį reiškinį aprašo užpildymo dedamoji  $T$ . Horizontalios linijos suvokiamą ilgį aprašo realaus linijos ilgio ir užpildymo dedamosios suma:

$$h = L + T. \quad (6)$$



13 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos.

Iliuzijos dedamoji atsirandanti dėl linijų dalinimo,  $I = f(x)$ , ir iliuzijos dedamoji atsirandanti dėl tarpo užpildymo,  $T = f(x)$ , yra linijų padėties funkcijos. HVS išreiškiamas kaip užpildymo dedamosios  $T$  ir anizotropijos nario  $kL$  skirtumas:

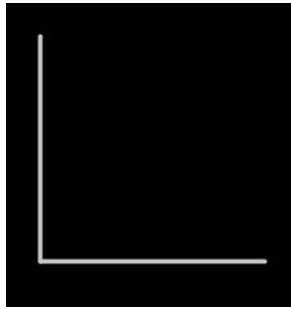
$$h - v = T - kL. \quad (7)$$

Stimuluose, kai vertikali linija liečia horizontalios linijos galą (14 pav.), suvokiamas vertikali linijos ilgis aprašomas (3) lygtimi, o suvokiamam horizontalios linijos ilgiui niekas nedaro įtakos ir jis yra aprašomas:

$$h = L. \quad (8)$$

Todėl HVS priklauso tik nuo anizotropijos nario  $kL$  ir yra lygus neigiamai jo vertei:

$$h - v = -kL. \quad (9)$$

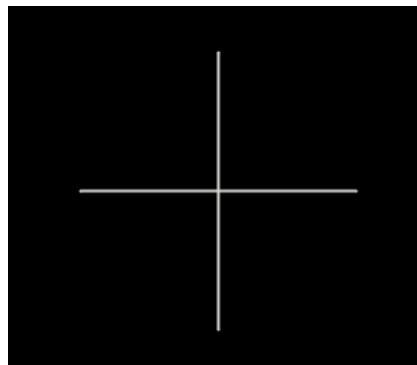


14 pav. Pirmos grupės stimulus, kai vertikali linija liečia horizontalios linijos galą.

Trečioje ir ketvirtoje eksperimentų serijose buvo keičiama horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos esant  $0^\circ$  stimulo pasukimo kampui. Kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą linijų suvokiami ilgiai ir jų pokytis aprašomas (3 – 5) lygtimis. Stimuluose, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją (15 pav.), linijų suvokiamas ilgis taip pat dar priklauso nuo linijų dalinimo. Tada suvokiamas horizontalios linijos ilgis aprašomas (4) lygtimi, o vertikalios linijos suvokiamas ilgis – realaus ilgio  $L$ , anizotropijos nario  $kL$  ir dalinimo dedamosios  $I$  suma:

$$v = L + kL + I. \quad (10)$$

HVS, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją ties jos viduriu (15 pav.) yra lygus neigiamam anizotropijos nariui ir yra aprašomas (9) lygtimi.

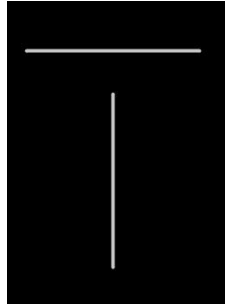


15 pav. Pirmos grupės stimulus, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją per jos vidurį.

Ši lygtis (9) parodo, kad linijoms kertant viena kitą per centrą HVS nepriklauso nuo jokių kitų parametų išskyrus anizotropijos nario  $kL$ , t.y. iliuzijos stiprumui įtakos turi tik regimojo lauko anizotropija.

Horizontaliai linijai nekertant vertikalios linijos (16 pav.), horizontalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo linijos dalinimo į dvi dalis, (4) lygtis. O vertikalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo regimojo vaizdo anizotropijos nario  $kL$  ir atsiradusio tarpo užpildymo  $T$ . Šių parametru ir linijos realaus ilgio suma aprašo vertikalios linijos suvokiamą ilgį:

$$v = L + kL + T. \quad (11)$$



16 pav. Pirmos grupės stimulus, kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos.

HVS aprašomas skirtumu tarp dalinimo dedamosios  $I$  ir anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$  sumos:

$$h - v = I - kL - T. \quad (12)$$

Devintoje, dešimtoje, vienuoliktoje ir dvyliktoje serijose, stimulai buvo pasukti  $90^\circ$  (1 lentelė). Šiose serijose vertikali linija, dėl stimulo pasukimo, matoma kaip horizontali linija, o horizontali linija matoma kaip vertikali. Išlaikant nuoseklumą linijų pavadinimų nekeisime ir paliksime tuos pačius. Devintoje ir dešimtoje serijose buvo keičiama vertikalios linijos padėtis ant horizontalios linijos. Šiose serijose, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją, vertikalios linijos suvokiamas ilgis nuo nieko nepriklauso, nes ji nėra veikiamą regimojo lauko anizotropijos. O horizontalios linijos suvokiamas ilgis priklauso ir nuo regimojo lauko anizotropijos ir nuo linijos dalinimo. Vertikalios ir horizontalios linijų suvokiami ilgiai, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją (17 pav.), išreiškiami:

$$v = L, \quad (13)$$

$$h = L + kL + I. \quad (14)$$



17 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $90^\circ$ , kai vertikali linija liečia horizontalią liniją.

HVS aprašomas anizotropijos nario  $kL$  ir dalinimo dedamosios  $I$  suma:

$$h - v = I + kL. \quad (15)$$

Stimuluose, kuriuose vertikali linija neliečia horizontalios linijos (18 pav.) vertikalios linijos ilgis nuo nieko nepriklauso, (13) lygtis. Horizontalios linijos ilgis priklauso nuo regimojo lauko anizotropijos nario  $kL$  ir tuščios erdvės užpildymo dedamosios  $T$  sumos, o HVS priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$  sumos:

$$h = L + kL + T, \quad (16)$$

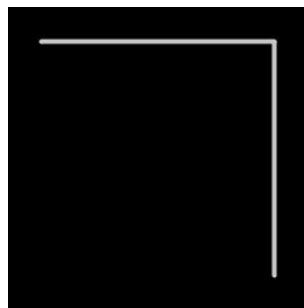
$$h - v = T + kL. \quad (17)$$



18 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $90^\circ$ , kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos.

Stimuluose, kuriuose vertikali linija liečia horizontalią liniją ties jos galais (19 pav.), suvokiamas vertikalios linijos ilgis aprašomas (13) lygtimi, o horizontalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ :

$$h = L + kL. \quad (18)$$



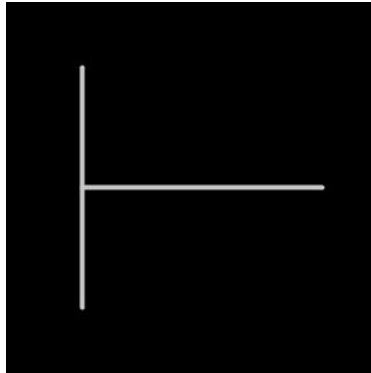
19 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $90^\circ$ , kai vertikali linija liečia horizontalią liniją ties jos galu.

HVS yra lygus anizotropijos nariui:

$$h - v = kL. \quad (19)$$

Lygtis (17) panaši į (7) lygtį, taip pat (15) lygtis panaši į (5) lygtį, (19) lygtis į (9) lygtį tik skiriasi anizotropijos nario ženklas, nes regimojo lauko anizotropija veikia horizontalią liniją, o ne vertikalią liniją.

Vienuoliktoje ir dvyliktoje serijose buvo keičiama horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos (1 lentelė). Stimuluose, kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galus (20 pav.), vertikalios linijos suvokiamas ilgis, suvokiamas horizontalios linijos ilgis ir HVS aprašomas (13 - 15) lygtimis.



20 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $90^\circ$ , kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą.

Stimuluose, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją, horizontalios linijos suvokiamas ilgis yra aprašomas (14) lygtimi, o vertikalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo linijų dalinimo dedamosios  $I$ . HVS yra lygus tik anizotropijos nariui, (19) lygtis. Suvokiamas vertikalios linijos ilgis:

$$v = L + I. \quad (20)$$

Stimuluose, kuriuose horizontali linija neliečia ir yra atitolus nuo vertikalios linijos (21 pav.), vertikalios linijos suvokiamas ilgis priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ :

$$v = L + T. \quad (21)$$

O horizontalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas (14) lygtimi. HVS, stimuluose, kuriuose horizontali linija neliečia ir yra atitolus nuo vertikalios linijos, yra lygus anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$  sumos skirtumui su dalinimo dedamąja  $I$ :

$$h - v = kL + T - I. \quad (22)$$

Formaliai (22) ir (12) lygtys yra vienodos, tik skiriasi kintamųjų ženklai. Kai aprašome stimulus paprastomis lygtimis, parodo, jog nepriklausomai ar stimulus yra pasuktas  $0^\circ$  kampu ar  $90^\circ$  kampu, jo HVS priklauso nuo to pačio kintamųjų rinkinio tik pakinta reiškinio ženklas.



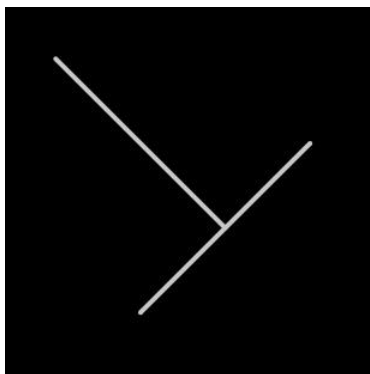
21 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $90^\circ$ , kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos galo.

Stimulai pasukti  $45^\circ$  kampu 5 – 8 serijose, o 13 – 16 serijose stimulus pasukti  $-45^\circ$  kampu (1 lentelė). 5, 6, 13, 14 serijose keičiama vertikalios linijos padėtis ant horizontalios linijos. Analogiškai, kaip ir  $90^\circ$  stimulių pasukimo atveju, laikomasi prielaidos, jog ta linija, kuri buvo vertikalioji linija  $0^\circ$  stimulių pasukimo atveju, yra vertikalioji linija ir kituose stimulių pasukimų atvejuose, analogiškai ir horizontalioji linija. Šiose serijose (5 – 8, 13 – 16) kiekvienos linijos suvokiamas ilgis yra vertinamas pasitelkiant projekcijas į  $Ox$  ir  $Oy$  ašis. Aptarsime, tik stimulus pasuktus  $45^\circ$  kampu, nes stimulus pasukti  $-45^\circ$  kampu aprašomi analogiškai stimulus pasuktiems  $45^\circ$  kampu.

Penktos, šeštos, tryliktos ir keturioliktos serijos stimuluose, vertikaliai linijai liečiant horizontalią liniją (22 pav.), vertikalios linijos suvokiamo ilgio projekcija į  $Ox$  ašį nepriklauso nuo nepriklausomų kintamųjų, o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo regimojo lauko anizotropijos. Bendras vertikalios linijos suvokiamas ilgis apskaičiuojamas:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2} = L'\sqrt{k^2 + 2k + 2}. \quad (23)$$

čia  $L' = L \cos 45^\circ$  yra ilgio projekcija į ašį.



22 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $45^\circ$ , kai vertikalioji linija liečia horizontalią liniją.

Horizontalios linijos suvokiamo ilgio projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo linijos dalinimo, o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo regimojo lauko anizotropijos ir linijos dalinimo. Bendras horizontalios linijos suvokiamas ilgis:

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} = \sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}. \quad (24)$$

HVS, vertikaliai linijai liečiant horizontalią liniją, išreiškiamas:

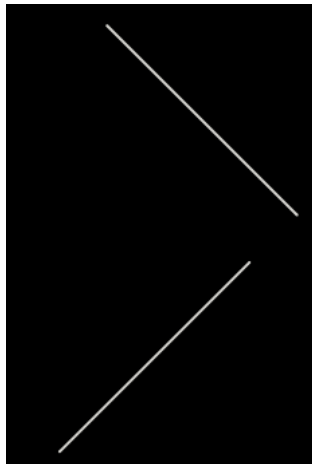
$$h - v = \sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2} - L'\sqrt{k^2 + 2k + 2}. \quad (25)$$

Stimuluose, kuriuose vertikali linija neliečia horizontalios linijos (23 pav.), vertikalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas (23) lygtimi. Horizontalios linijos suvokiamo ilgio projekcija į ašį  $Ox$  priklauso nuo tarpo užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į ašį  $Oy$  priklauso nuo tarpo užpildymo dedamosios  $T$  ir regimojo lauko anizotropijos nario  $kL$ . Bendras horizontalios linijos suvokiamas ilgis išreiškiamas:

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} = \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}. \quad (26)$$

HVS, vertikaliai linijai neliečiant horizontalios linijos:

$$h - v = \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2} - L'\sqrt{k^2 + 2k + 2}. \quad (27)$$



23 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $45^\circ$ , kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos.

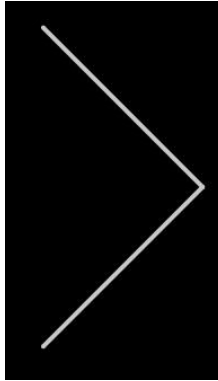
Lygindami (26) lygtį su (24) lygtį matome, kad lygtys yra panašios ir vertikalios linijos galo taškui nebeliečiant horizontalios linijos nepriklausomas dalinimo kintamasis  $I$  išnyksta ir atsiranda nepriklausomas tarpo užpildymo kintamasis  $T$ . Stimuluose, kai vertikali linija yra ties horizontalios linijos galu (24 pav.), suvokiamas vertikalios linijos ilgis aprašomas (23) lygtimi, o horizontalios linijos suvokiamo ilgio projekcija į  $Ox$  ašį nuo nieko nepriklauso, bet projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos dedamosios  $kL$ :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} = \sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}. \quad (28)$$



Todėl HVS yra lygus nuliui, nes suvokiami vertikalios ir horizontalios linijų ilgiai yra aprašomi vienodais nepriklausomais parametrais:

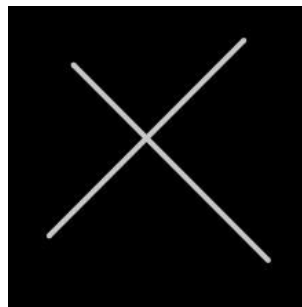
$$h - v = \sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2} - \sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2} = 0. \quad (29)$$



24 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $45^\circ$ , kai vertikali linija ties horizontalios linijos galu.

Serių (7, 8, 15, 16), kuriose buvo keičiama horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos, stimulų, kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą (22 pav.), vertikalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas (23) lygtimi, o horizontalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas (24) lygtimi. Suvokiamų ilgių skirtumas HVS, kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą, aprašomas (25) lygtimi. Kai horizontali linija kerta vertikalią liniją (25 pav.), vertikalios ir horizontalios linijų suvokiamų ilgių projekcijos į  $Ox$  ašį priklauso nuo linijų dalinimo dedamosios  $I$ , o projekcijos į  $Oy$  ašį nuo anizotropijos nario  $kL$  ir dalinimo dedamosios  $I$ :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} = \sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}, \quad (30)$$



25 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $45^\circ$ , kai horizontali linija kerta vertikalią liniją.

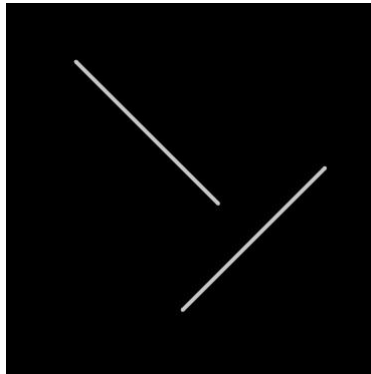
Kadangi tiek vertikalios linijos, tiek horizontalios linijos suvokiami ilgiai vienodi, tai HVS lygus nuliui. Iš to, darome išvadą, jog esant tokiai linijų padėčiai iliuzija pranyksta, t.y. visos dedamosios išsiprastina.

Stimuluose, kai horizontali linija neliečia ir nutolsta nuo vertikalios linijos (26 pav.), vertikalios linijos suvokiamo ilgio projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo tarpo užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į  $Oy$  ašį nuo tarpo užpildymo dedamosios  $T$  ir anizotropijos nario  $kL$ :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}. \quad (31)$$

Horizontalios linijos suvokiamas ilgis aprašomas (24) lygtimi. HVS, kai horizontali linija neliečia ir nutolsta nuo vertikalios linijos:

$$h - v = \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2} - \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}. \quad (32)$$



26 pav. Pirmos grupės stimulus pasuktas  $45^\circ$ , kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos.

Analogiškai aptartoms lygtims buvo sudarytos lygtys antros ir trečios grupės stimulams (*Priedas Nr. 1*). Visoms stimulų grupėms, ir visoms jų serijoms, horizontalios linijos arba atstumo tarp horizontalių taškų aprašymas pateiktas 2 lentelėje, vertikalios linijos arba atstumo tarp vertikalinių taškų pateiktas 3 lentelėje, HVS pateiktas 4 lentelėje.

Lentelėse linijų/atstumų tarp taškų padėtys yra skirtingos skirtingoms serijoms. Serijose (1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14), kuriose kito vertikalios linijos padėtis ant horizontalios linijos, I padėtis yra tokia linijų arba atstumų tarp taškų padėtis, kai vertikali linija yra ties horizontalios linijos galu (14 pav.) arba vertikalus taškas sutampa su kraštiniais horizontaliais taškais (39 a), d) pav.). II padėtis, kai vertikali linija liečia horizontalią liniją (12 pav.) arba vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (39 b), e) pav.). III padėtis, kai vertikali linija neliečia horizontalios linijos (13 pav.) arba vertikalus taškas nėra tarp horizontalių taškų (39 c), f) pav.).

Serijose (3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16), kuriose kito horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos, I-ma linijų arba atstumų tarp taškų padėtis, kai horizontali linija liečia vertikalios linijos galą (12 pav.) arba vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (40 a), d) pav.). II padėtis, kai horizontali linija (atstumas tarp horizontalių taškų) kerta vertikalią liniją (atstumą tarp vertikalinių taškų) (15 pav., 40 b), d) pav.). III padėtis, kai horizontali linija neliečia vertikalios linijos (16 pav.) arba vertikalus taškas nėra tarp horizontalių taškų ir atstumas tarp vertikalinių taškų nekerta atstumo tarp horizontalių

taškų (40 c, f) pav.). Iš 4 lentelės darome išvadą, jog HVS daugiausiai priklauso nuo regimojo lauko anizotropijos, o kiti faktoriai turi įtakos tik esant tam tikroms linijų padėtimis.

2 lentelė. Horizontalios linijos suvokiamo ilgio aprašymas visoms stimulų grupėms.

Serijos nr.	Stimulų grupė	Linijų/atstumų tarp taškų padėtis		
		I	II	III
1, 2	Pirma	$L$	$L + I$	$L + T$
	Antra	$L + T$	$L + I + T$	
	Trečia	$L + I + T$		
3, 4	Pirma	$L + I$		
	Antra	$L + I + T$		
	Trečia	$L + I + T$		
5, 6, 13, 14	Pirma	$\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$
	Antra	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$	
	Trečia	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$		
7, 8, 15, 16	Pirma	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$		
	Antra	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$		
	Trečia	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$		
9, 10	Pirma	$L + kL$	$L + kL + I$	$L + kL + T$
	Antra	$L + kL + T$	$L + kL + I + T$	
	Trečia	$L + kL + I + T$		
11, 12	Pirma	$L + kL + I$		
	Antra	$L + kL + I + T$		
	Trečia	$L + kL + I + T$		

3 lentelė. Vertikalios linijos suvokiamo ilgio aprašymas visoms stimulų grupėms.

Serijos nr.	Stimulų grupė	Linijų/atstumų tarp taškų padėtis		
		I	II	III
1, 2	Pirma	$L + kL$		
	Antra	$L + kL + T$		
	Trečia	$L + kL + T$		
3, 4	Pirma	$L + kL$	$L + kL + I$	$L + kL + T$
	Antra	$L + kL + T$	$L + kL + I + T$	$L + kL + I + T$
	Trečia	$L + kL + I + T$		
5, 6, 13, 14	Pirma	$\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$		
	Antra	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$		
	Trečia	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$		
7, 8, 15, 16	Pirma	$\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$
	Antra	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$	
	Trečia	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$		
9, 10	Pirma	$L$		
	Antra	$L + T$		
	Trečia	$L + T$		
11, 12	Pirma	$L$	$L + I$	$L + T$
	Antra	$L + T$	$L + I + T$	
	Trečia	$L + I + T$		

4 lentelė. HVS aprašymas.

Serijos nr.	Stimulų grupė	Linijų/atstumų tarp taškų padėtis		
		I	II	III
1, 2	Pirma	$-kL$	$I - kL$	$T - kL$
	Antra	$-kL$	$I - kL$	$I - kL$
	Trečia	$I - kL$	$I - kL$	$I - kL$
3, 4	Pirma	$I - kL$	$-kL$	$I - kL - T$
	Antra	$I - kL$	$-kL$	$I - kL$
	Trečia	$I - kL$	$-kL$	$-kL$
5, 6, 13, 14	Pirma	$0$	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$ $-\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$	$\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$ $-\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$
	Antra	$0$	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$ $-\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$	
	Trečia		$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2} - \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$	
7, 8, 15, 16	Pirma	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$ $-\sqrt{(L')^2 + (L' + kL')^2}$	$0$	$\sqrt{(L' + I)^2 + (L' + kL' + I)^2}$ $-\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$
	Antra	$\sqrt{(L' + I + T)^2 + (L' + kL' + I + T)^2}$	$0$	$0$
	Trečia	$-\sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}$	$0$	$0$
9, 10	Pirma	$kL$	$I + kL$	$T + kL$
	Antra	$kL$	$I + kL$	$I + kL$
	Trečia	$I + kL$	$I + kL$	$I + kL$
11, 12	Pirma	$I + kL$	$kL$	$kL + T - I$
	Antra	$I + kL$	$kL$	$kL$
	Trečia	$I + kL$	$kL$	$kL$

Gautas HVS formules lygindami su teorine (2) lygtimi galime išreikšti iliuzijos stiprumo dedamąsias  $k$ ,  $I$  ir  $T$ . Naudosimės tik pirmos grupės stimulų aprašymu. (5) lygtį sulygindami su (2) lygtimi galime išsireikšti dalinimo dedamąją  $I$ , 1, 2 serijoms:

$$I = b \cos cx + b + kL. \quad (33)$$

Sulygindami (7) lygtį su (2) lygtimi išsireiškiame užpildymo dedamąją  $T$ , 1 ir 2 serijoms:

$$T = a(x - m)^2 + kL. \quad (34)$$

Pirmos grupės, 3 ir 4 serijų stimulai, kai horizontali linija kerta vertikalią liniją per jos centrą, sulyginę (9) lygtį su (2) lygtimi išsireiškiame tempimo koeficientą  $k$ :

$$k = -\frac{2b}{L}. \quad (35)$$

Gautą tempimo koeficiento  $k$  (35) reikšmę įstatome į (33) lygtį ir išreiškiame dalinimo dedamąją  $I$ :

$$I = b(\cos(cx) - 1). \quad (36)$$

Gautą dalinimo dedamosios (36) lygtį įstatome į (12) lygtį ir ją prisilyginę (2) lygčiai gauname:

$$T = b \cos(cx) + b - a(x - m)^2. \quad (37)$$

Devintos ir dešimtos serijų (15) lygtį prisilyginę (2) lygčiai gauname dalinimo dedamosios išraišką:

$$I = b \cos(cx) + b - kl. \quad (38)$$

Iš (17) lygties gauname užpildymo dedamosios  $T$  formulę, pirmos stimulų grupės 9 ir 10 serijoms:

$$T = a(x - m)^2 - kL. \quad (39)$$

Vienuoliktos ir dvyliktos serijos (20) lygtį prisilyginę (2) lygčiai gauname tempimo koeficiento  $k$  išraišką:

$$k = \frac{2b}{L}. \quad (40)$$

Gautą tempimo koeficientą  $k$  aprašančią lygtį įstatę į (21) lygtį gauname (36) lygtį. Užpildymo dedamosios  $T$  išraiška vienuoliktai ir dvyliktai serijoms gauname iš (22) ir (2) lygčių:

$$T = a(x - m)^2 - b \cos(cx) - b. \quad (41)$$

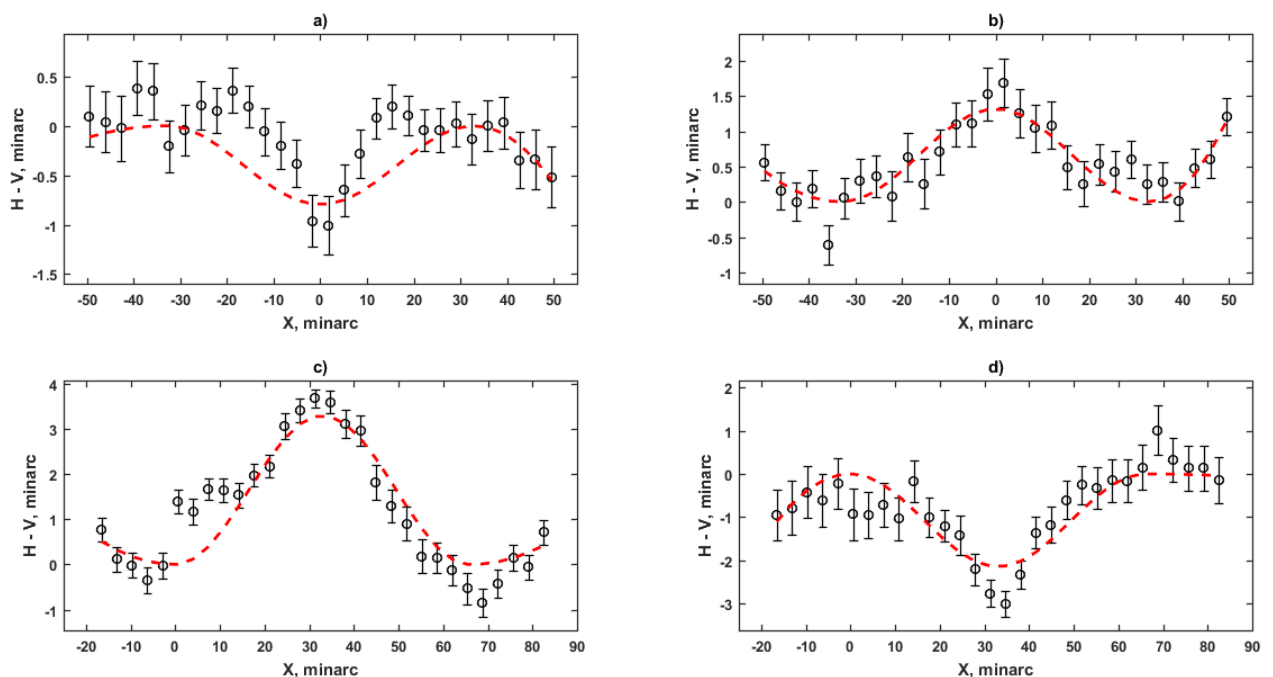
Apibendrinant galime teikti, jog skirtingoms stimulų konfigūracijoms iliuzijos dedamosios aprašomos skirtingomis funkcijomis. Bet galima įžvelgti bendras tendencijas. Iliuzijos dedamoji atsirandanti dėl linijų dalinimo yra padėties funkcija kintanti pagal kosinuso dėsnį,  $I = f(\cos x)$ . Ji turi įtakos net ir nesiliečiant linijoms, nes užpildant tarpą, tarp linijų, linijos vis tiek yra dalinamos, nors pats dalinimas yra menamas. Kita dedamoji atsirandanti dėl tarpo užpildymo yra kvadratinė padėties funkcija,  $T = f(x^2)$ . O taip pat iš aptartų rezultatų pastebime, jog suvokiamą ilgį aprašantys nepriklausomi kintamieji vertikalumo – horizontalumo iliuzijoje sumuojasi. HVS beveik visose tirtose linijų padėtyse stipriai priklauso nuo regimojo lauko anizotropijos. Todėl ateityje reikėtų tobulinti eksperimentus, siekiant eliminuoti regimojo lauko anizotropijos įtaką ir detaliau išanalizuoti kitų faktorių įtaką.

### **4.3. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikinių tyrimų eksperimentiniai rezultatai**

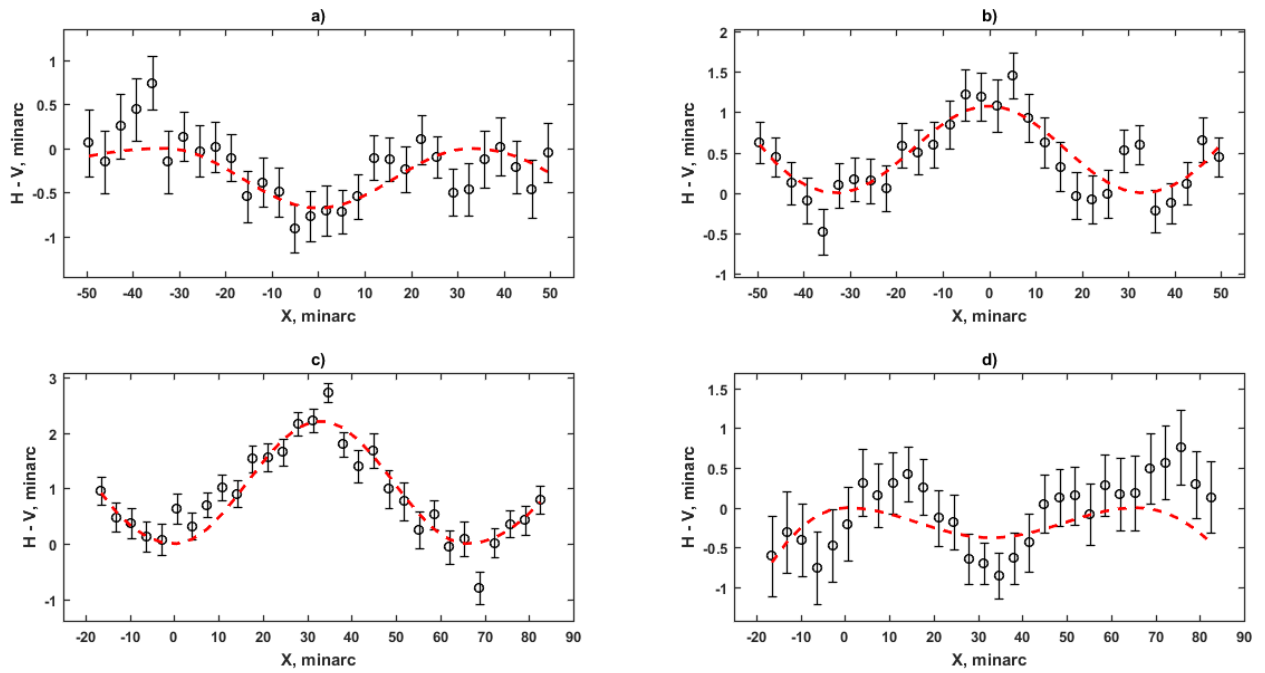
Eksperimento metu stebėtojų peržiūrai buvo parodyta 144000 stimulų. Į vieną duomenų analizės tašką įeina dvylika bandymų. Duomenų analizės grafikuose paklaidos juostelė atvaizduoja  $\pm$  vieną standartinę vidurkio paklaidą (SEM). Norint eliminuoti stebėtojų išankstinį (vidinį) nusistatymą rezultatai buvo koreguojami. Rezultatų korekcijai imami eksperimentiniai duomenys ties linijų kraštais ir skaičiuojami jų vidurkiai. Po to iš eksperimentinių duomenų atimamas, ties linijų galais, suskaičiuotas vidurkis. Ši korekcija daroma siekiant eksperimentinius duomenis priartinti prie nulinės vertės ties linijų galais, nes HVS ties linijų galais yra lygus nuliui (11 pav.).

Eksperimentiniai rezultatai atvaizduoti 27 – 38 pav. Grafikuose ordinačių ašyje atvaizduota – HVS, o abscisių ašyje pavaizduota vertikalios linijos padėtis ant horizontalios linijos (a, b), nulinė vertė yra ties horizontalios linijos centru, ir horizontalios linijos padėtis ant vertikalios linijos (c, d),

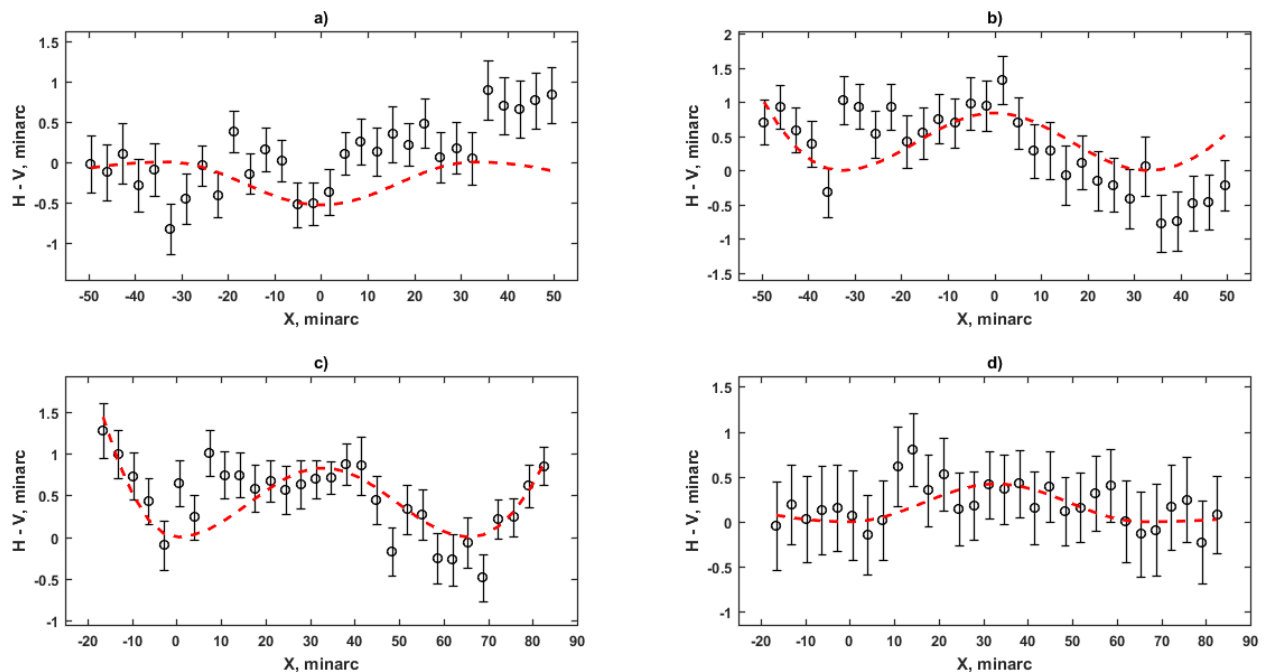
nulinė vertė – ties vertikalių linijų galu. Vertikalių linijų pozicijos kitimas ant horizontalios linijos (a), ir horizontalios linijos kitimas ant vertikalių (c), kai horizontali linija buvo nekintamo ilgio (nelyginės bandymų serijos), vertikalių linijų pozicijos kitimas ant horizontalios (b), ir horizontalios linijos ant vertikalių (d), kai vertikali linija buvo nekintamo ilgio (lyginės bandymų serijos). Juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Grafikuose atvaizduota visų stebėtojų duomenų vidurkis. Pirmos stimulų grupės stimulai pavaizduoti 27 – 30 pav., antros grupės (31 – 34 pav.), trečios grupės (35 – 38 pav.). Nuo pirmos iki ketvirtos bandymų serijos eksperimentiniai rezultatai atvaizduoti 27, 31, 35 pav., nuo penktos iki aštuntos serijos (28, 32, 36 pav.), nuo devintos iki dvyliktos serijos (29, 33, 37 pav.), nuo tryliktos iki šešioliktos serijos (30, 34, 38 pav.). Kaip matome iš grafikų (27 – 38 pav.) eksperimentiniai duomenys pakankamai gerai atitinka teorinius skaičiavimus. 5, 6, 7 lentelėse pateikiama eksperimentinių duomenų ir teorinių kreivių reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo rezultatai, skirtingoms stimulų grupėms. Lentelėse surašytos tikimybės, kad tiriami reziduumai yra pasiskirstę pagal normalinį dėsnį, testo statistika ir rezultatas ar reziduumai yra pasiskirstę pagal normalinį skirstinį (atsakymas – 0), ar reziduumai pasiskirstę ne pagal normalinį dėsnį (atsakymas – 1).



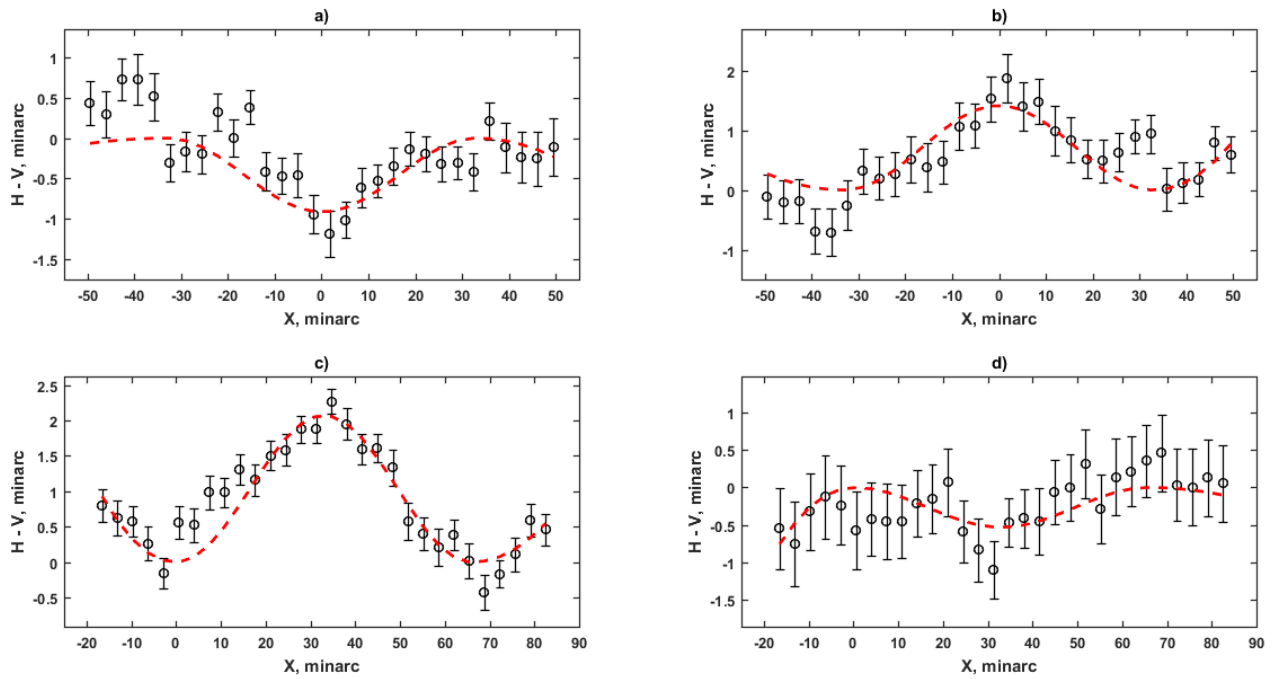
27 pav. Pirmos stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalių ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalių (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



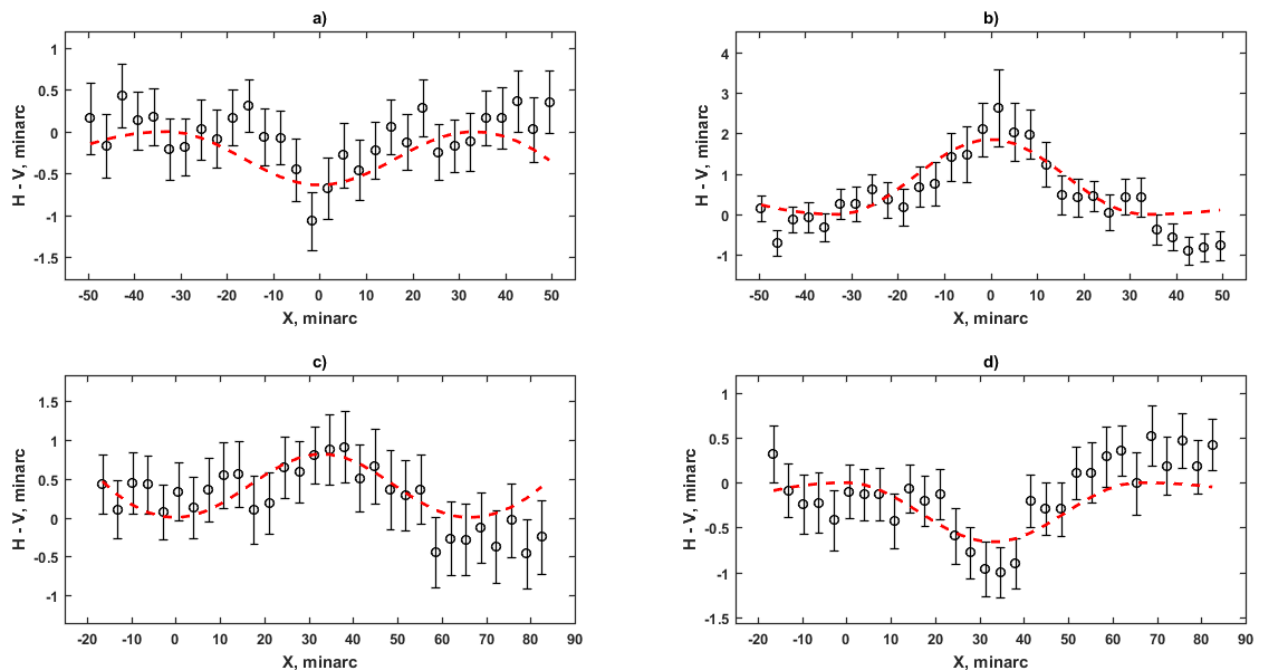
28 pav. Pirmos stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



29 pav. Pirmos stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.

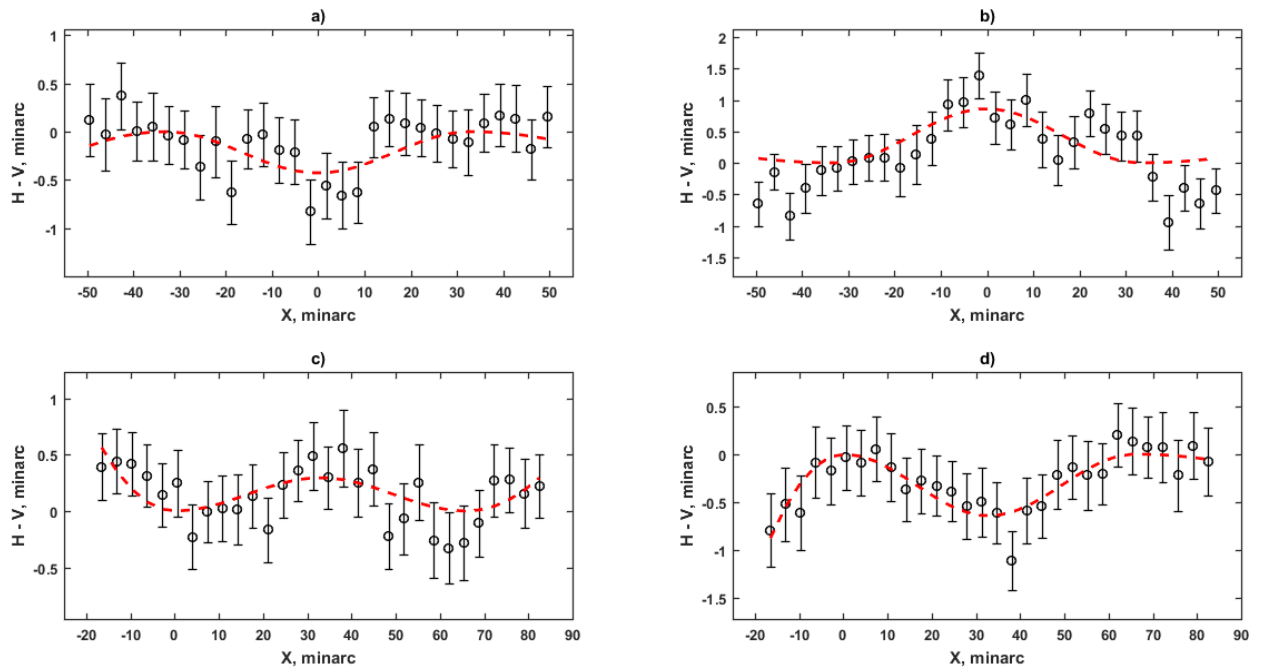


30 pav. Pirmos stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.

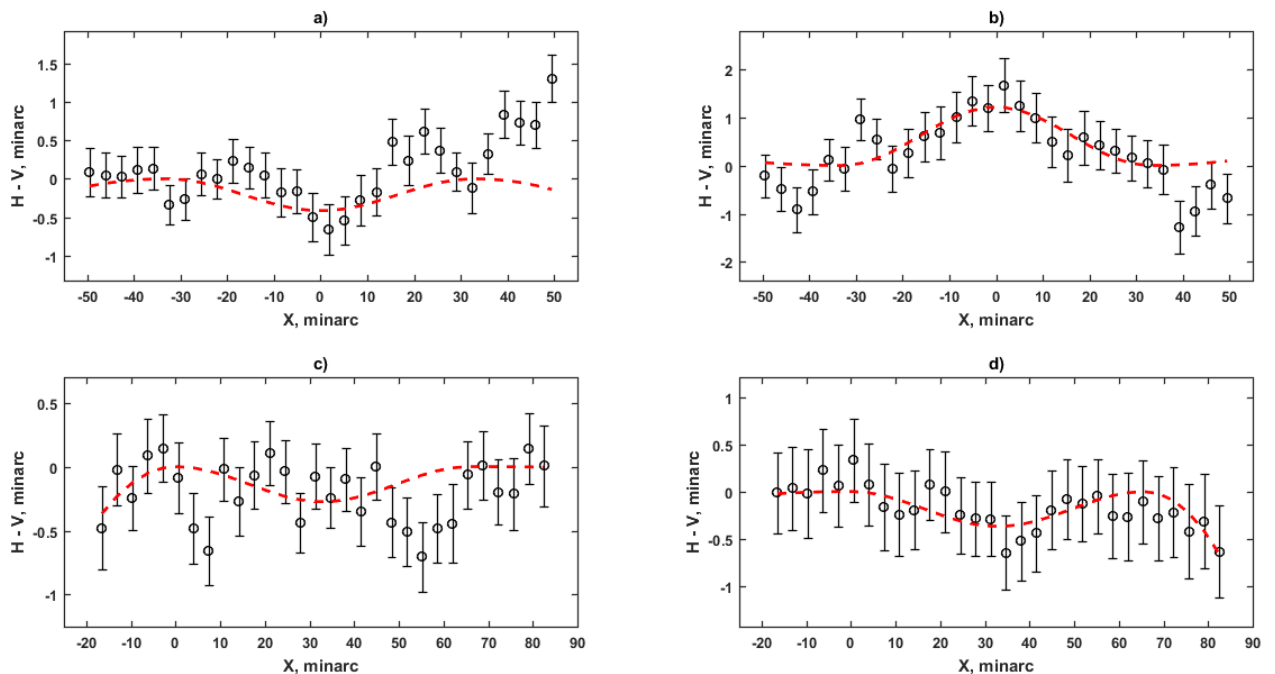


31 pav. Antros stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.

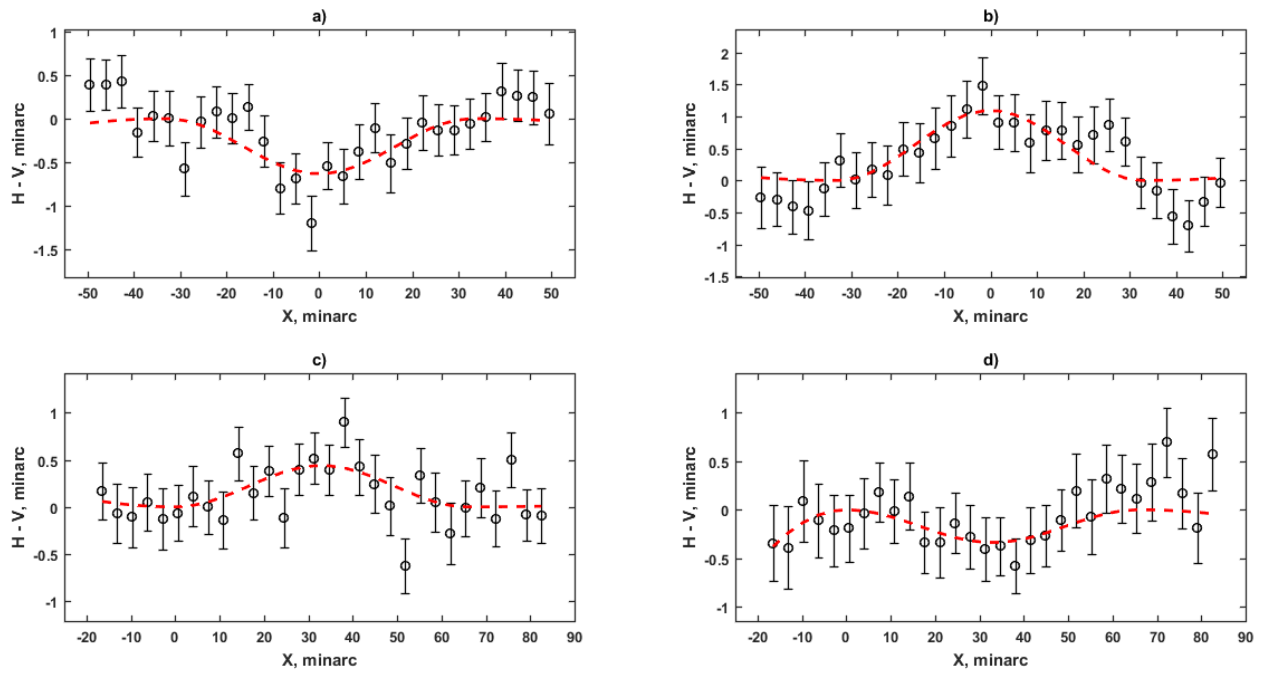




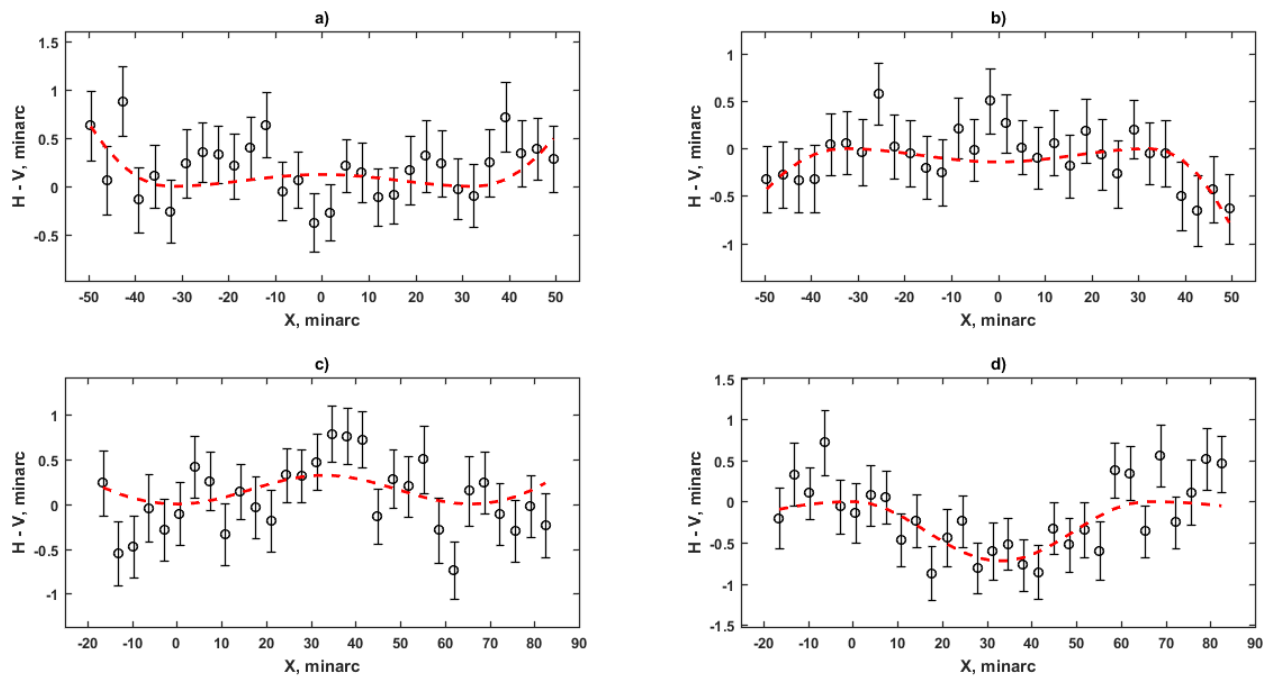
32 pav. Antros stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



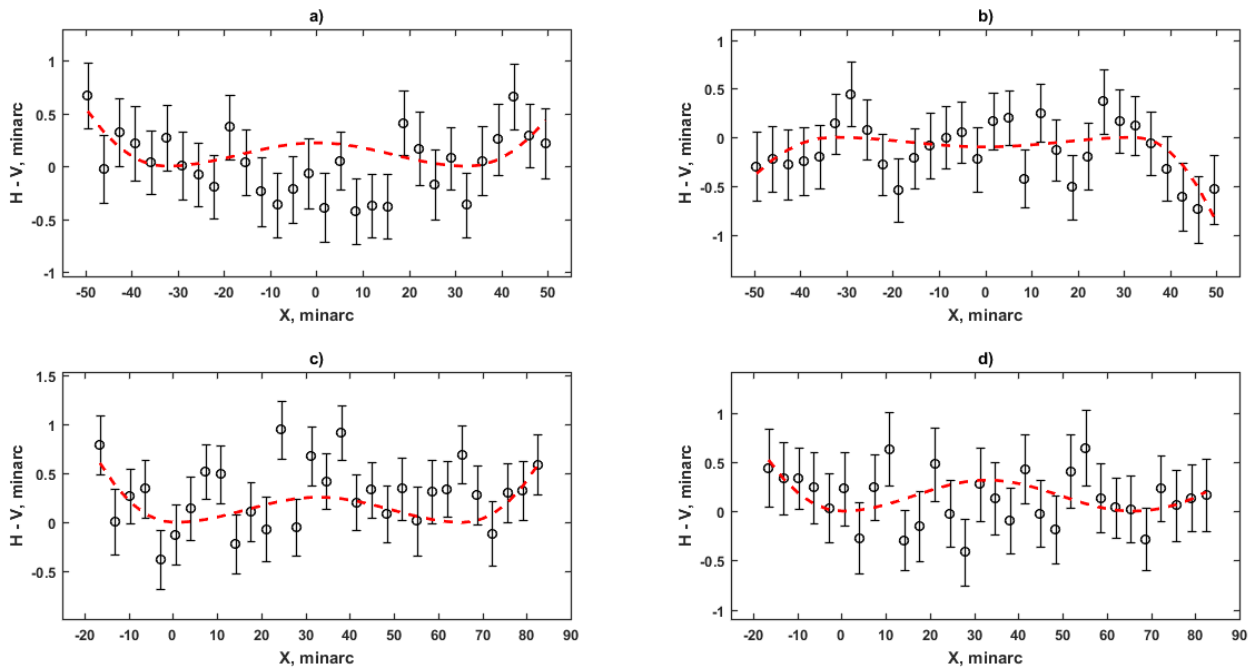
33 pav. Antros stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



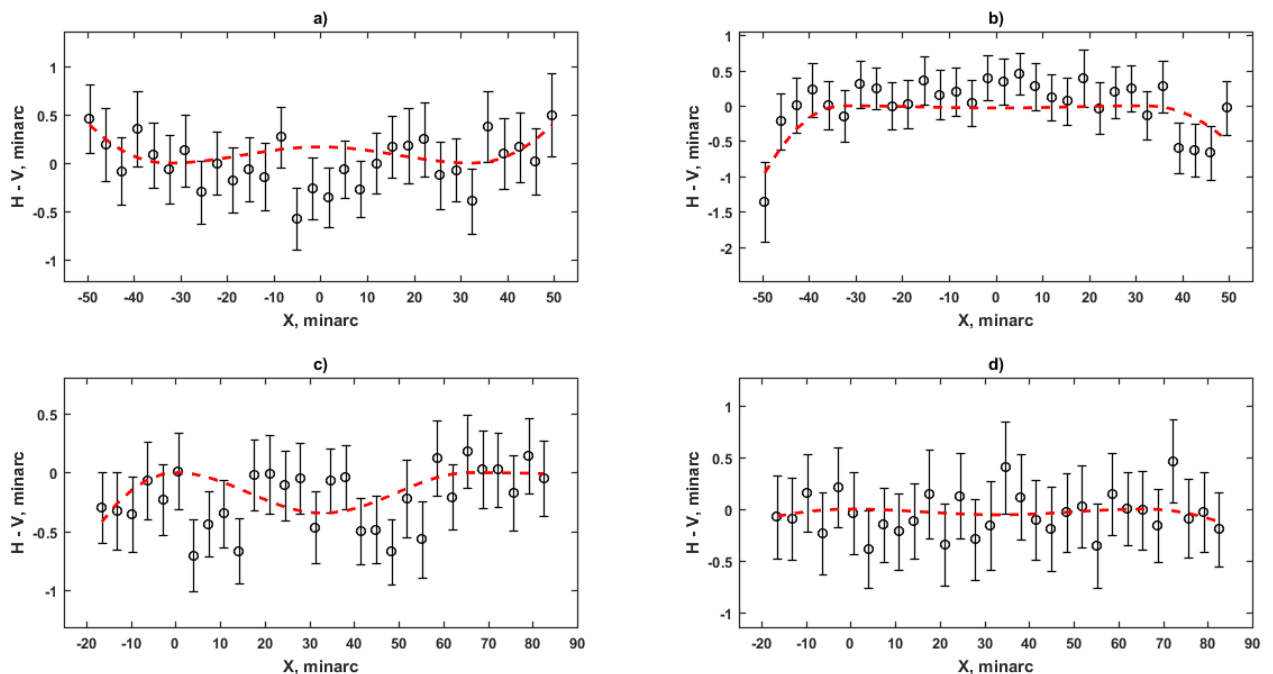
34 pav. Antros stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



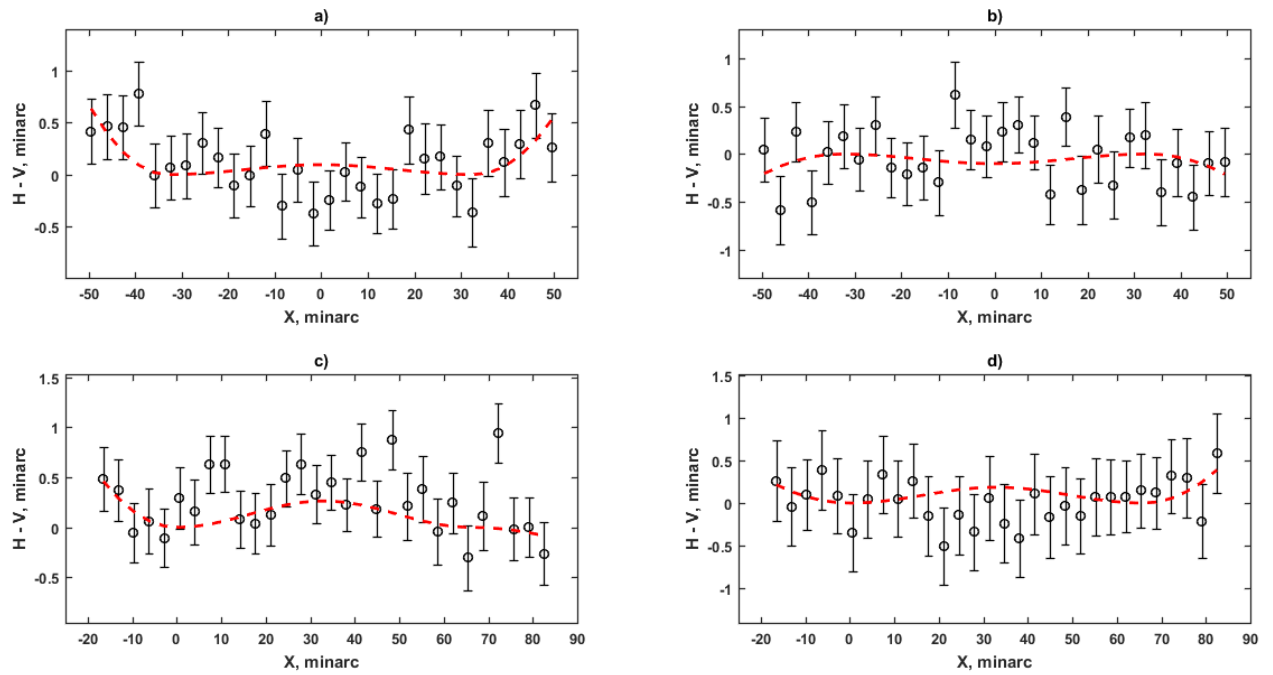
35 pav. Trečios stimulų grupės 1 – 4 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 1 serija (a), 2 serija (b), 3 serija (c), 4 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



36 pav. Trečios stimulų grupės 5 – 8 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 5 serija (a), 6 serija (b), 7 serija (c), 8 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



37 pav. Trečios stimulų grupės 9 – 12 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 9 serija (a), 10 serija (b), 11 serija (c), 12 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.



38 pav. Trečios stimulų grupės 13 – 16 serijų eksperimentiniai rezultatai. ( $x$  – padėtis ant linijos (vertikalios ant horizontalios (a, b), horizontalios ant vertikalios (c, d));  $h - v$  – HVS). Grafikuose: 13 serija (a), 14 serija (b), 15 serija (c), 16 serija (d); juodi apskritimai – eksperimentiniai duomenys, nuo kurių simetriškai atidėta  $\pm$  SEM, raudona brūkšninė linija – teorinė kreivė. Visų stebėtojų duomenų vidurkis.

5 lentelė. Reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, pirmos grupės stimulams, rezultatai.

Serijos numeris	Testo statistika	Tikimybė $p$	Testo rezultatas (0 – tenkina testą, 1 – netenkina)
1	0,944	0,113	0
2	0,975	0,683	0
3	0,929	0,047	1
4	0,973	0,638	0
5	0,978	0,771	0
6	0,967	0,464	0
7	0,956	0,243	0
8	0,975	0,691	0
9	0,957	0,263	0
10	0,964	0,381	0
11	0,953	0,207	0
12	0,936	0,073	0
13	0,967	0,452	0
14	0,965	0,416	0
15	0,957	0,252	0
16	0,971	0,571	0

6 lentelė. Rezidijų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, antros grupės stimulams, rezultatai.

Serijos numeris	Testo statistika	Tikimybė $p$	Testo rezultatas (0 – tenkina testą, 1 – netenkina)
1	0,980	0,833	0
2	0,968	0,488	0
3	0,966	0,438	0
4	0,947	0,138	0
5	0,969	0,505	0
6	0,974	0,651	0
7	0,944	0,119	0
8	0,885	0,004	1
9	0,924	0,034	1
10	0,966	0,440	0
11	0,937	0,076	0
12	0,962	0,338	0
13	0,952	0,193	0
14	0,976	0,708	0
15	0,929	0,045	1
16	0,938	0,078	0

7 lentelė. Rezidijų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo, trečios grupės stimulams, rezultatai.

Serijos numeris	Testo statistika	Tikimybė $p$	Testo rezultatas (0 – tenkina testą, 1 – netenkina)
1	0,981	0,857	0
2	0,960	0,308	0
3	0,965	0,418	0
4	0,974	0,661	0
5	0,967	0,450	0
6	0,978	0,773	0
7	0,971	0,575	0
8	0,973	0,612	0
9	0,979	0,790	0
10	0,898	0,008	1
11	0,949	0,161	0
12	0,960	0,313	0
13	0,975	0,692	0
14	0,965	0,405	0
15	0,929	0,047	1
16	0,956	0,237	0

Iš rezidijų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo rezultatų matome, jog, nepriklausomai nuo stimulo grupės ar serijos, eksperimentinių duomenų ir teorinių kreivių rezidiumai yra pasiskirstę normaliniu (Gauso) dėsnio. Tik šešių serijų rezidiumai yra pasiskirstę ne pagal

normalinį dėsnį ir nepraėjo reziduumų pasiskirstymo normalumo (Shapiro – Wilk) testo. Trijų iš šešių nepraėjusių serijų tikimybė, kad tiriami reziduumai yra pasiskirstę pagal normalinį dėsnį, yra labai artimos ribai  $p > 0,05$ , kurią pasiekus yra laikomasi, jog reziduumai yra pasiskirstę pagal Gauso dėsnį. Šie neatitikimai galėjo atsirasti dėl eksperimentinių duomenų analizėje atsiradusių klaidų ir teorinių prielaidų nepakankamumo (paprasčia faktorių sumacija, kosinuso ir parabolės parinkimas vietoj Gauso funkcijų). Reikia nepamiršti, kad statistiniai kriterijai yra jautrūs stebėjimų skaičiui (Čekanavičius, 2015). Todėl pasitikėti šiais testais reikia gana atsargiai. Iš eksperimentinius duomenis aprašančių kreivių pastebime, jog koeficientas  $c$ , (2) lygyje, yra apytiksliai lygus vienai šeštajai linijos ilgio pakeltai minus pirmame laipsnyje,  $c \cong \left(\frac{L}{6}\right)^{-1}$ .

Eksperimentiniuose rezultatuose pastebime, jog didžiausios HVS vertės yra linijiniams stimulams, o mažiausios HVS vertės, artimos nuliui, taškiniams stimulams su horizontalios linijos centru. Taip pat pastebime, jog HVS vertės, taškiniams stimulams, yra panašios visiems stimulų pasukimo kampams. O, linijiniams stimulams, HVS įgyja didžiausią vertę, kai stimulai yra pasukti  $0^\circ$  kampu, ir minimalią vertę, kai stimulai pasukti  $90^\circ$  kampu. HVS vertės yra panašios, kai stimulai yra pasukti  $45^\circ$  ir  $-45^\circ$  kampais iš to darome išvadą, jog nėra skirtumo į kurią pusę, kairią ar dešinę, stimulus yra pasukamas, jis vis tiek yra suvokiamas vienodai ir jo suvokimo tendencijos išlieka tos pačios. Taip pat matome, jog linijų padėties kitimas visiškai neturi įtakos taškiniams stimulams su centro tašku ir didžiausią įtaką turi linijiniams stimulams. Antros grupės stimulams, HVS didžiausias vertes įgyja kintant vertikalios linijos padėčiai ant horizontalios linijos, kai referentinė yra vertikali linija, 2, 7, 10, 14 serijos. Pirmos grupės stimulams, HVS didžiausias vertes įgyja kintant horizontalios linijos padėčiai ant vertikalios linijos, kai referentinė yra horizontali linija, 3, 8, 17, 15 serijos. Iš to galime daryti išvadą, jog taškiniams stimulams daugiausiai įtakos turi vertikalios linijos pozicijos kitimas ant horizontalios linijos, o linijiniams stimulams – horizontalios linijos pozicijos kitimas ant vertikalios linijos.

Iš eksperimentinių rezultatų matome, jog vertikalumo – horizontalumo iliuzija ryškiausiai pasireiškia linijiniams stimulams. Todėl, galime daryti išvadą, kad vertikalumo – horizontalumo iliuzijai įtakos turi pats linijų buvimas ir jų suvokimas. Taip pat pastebime, kad sukurtas teorinis modelis pakankamai tiksliai aprašo eksperimentinius duomenis. Nepaisant to, ateityje reikėtų detalesnių tyrimų, praplečiant ir modifikuojant eksperimentus, giliau iširti šiuos efektus.

## Išvados

Atlikus eksperimentus darome išvadas:

1. Ištirti vertikalumo – horizontalumo iliuzijos dėsningumai linijiniams ir taškiniams stimulams ir nustatyta, jog vertikalumo – horizontalumo iliuzija ryškiausiai pasireiškia linijiniams stimulams.
2. Išnagrinėti vertikalumo – horizontalumo iliuzijos dėsningumai, esant skirtingiems stimulams, pasukant stimulus  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$  kampais ir nustatyta, jog stimulo pasukimas įtakos turi tik linijiniams stimulams, ryškiausiai iliuzija suvokiama ties  $0^\circ$  kampu, o silpniausiai ties  $90^\circ$  kampu, bei sukant stimulus į skirtingas puses išlieka tie patys suvokimo dėsningumai.
3. Nustatyti vertikalios ir horizontalios linijos suvokiamų ilgių skirtumo dėsningumai yra, jog taškiniams stimulams daugiausiai įtakos turi vertikalios linijos pozicijos kitimas ant horizontalios linijos, o linijiniams stimulams – horizontalios linijos pozicijos kitimas ant vertikalios linijos.
4. Nustatyti vertikalios ir horizontalios linijų suvokiamo ilgio, jų skirtumų aprašymai ir priklausomybės nuo iliuziją įtakojančių faktorių, esant skirtingoms stimulų konfigūracijoms.
5. Nustatyta iliuziją įtakojančių faktorių priklausomybė nuo stimulų konfigūracijos, esant skirtingiems stimulams. Iliuzijos dedamoji atsirandanti dėl linijų dalinimo yra padėties funkcija kintanti pagal kosinuso dėsnį,  $I = f(\cos x)$ . Kita dedamoji, atsirandanti dėl tarpo užpildymo, gali būti aprašoma kaip kvadratinė padėties funkcija,  $T = f(x^2)$ .
6. Nustatyta teorinė kreivė pakankamai gerai aprašo gautus eksperimentinius duomenis.
7. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijai įtakos turi pats linijų buvimas ir jų suvokimas.

## Literatūros sąrašas

- 1) **Bach, M. ir Poloschek, Ch. M.** Optical illusions. *Advances in Clinical Neuroscience & Rehabilitation*. Cambridge : Whitehouse Publishing, 2006.
- 2) **Blužienė, A. ir Jašinskas, V.** *Akių ligų vadovas*. Šiauliai : A.S.Narbuto leidykla, 2005.
- 3) **Brentano, F.** *Descriptive psychology*. London : Routledge, 2006. ISBN 0-415-40801-6.
- 4) **Bridgeman, B., Peery, S. ir Anand, S.** *Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space, Perception & psycho physics*. 1997.
- 5) **Bruce, V., Green, P. R. ir Georgeson, M. A.** *Visual perception: physiology, psychology and ecology*. New York : Psychology Press, 2003. ISBN 1-84169-237-9.
- 6) **Charras, Pom; Lupianez, Juan;** *Length perception of horizontal and vertical bisected lines*. 2010, Psychological Research, T. 74, p. 196-206.
- 7) **Čekanavičius, V.** Šapiro – Vilko testas SPSS. Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose. [Tinkle] Lietuvos HSM duomenų archyvas, 2015 m. vasario 16 d. [Cituota: 2016 m. birželio 01 d.] <http://www.lidata.eu>.
- 8) **Eustis, David.** *The How and Why of Optical Illusions*. Providence : Brown University, 2011. Paskaitų konspektas.
- 9) **Fermuller, C. ir Malm, H.** *Uncertainty in visual processes predicts geometrical optical illusions*. 44, s.l. : Elsevier, 2004 m., Vision Research, p. 727 – 749.
- 10) **Gentaz, E. ir Hatwell, Y.** Geometrical haptic illusions: the role of exploration in the Müller-Lyer, vertical-horizontal, and Delbouef illusions. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2004.
- 11) **Gibson, J. J.** *The senses considered as perceptual systems*. Westport : Greenwood Press, 1983. ISBN-13 978-0313239618.
- 12) **Gillam, B.** Illusions at century's. [knygos aut.] J. Hochberg. *Perception and Cognition at Century's End*. London : Academic Press, 1998, p. 95-136.
- 13) **Gillam, B. ir Chambers, D.** *Size and position are incongruous: measurements on the Müller-Lyer figure*. s.l. : Percept Psychology, 1985.
- 14) **Greene, E. ir Fiser, J.** *Classical geometric illusion effects with nonclassical stimuli: Angular induction from decomposing lines into point array*: Springer-Verlag, 1994, Perception & Psychophysics, T. 56, p. 575 - 589. ISSN: 0031-5117.
- 15) **Hamburger, Kai; Hansen, Thorsten;** *Analysis of individual variations in the classical horizontal-vertical illusion*. 2010, Attention, Perception & Psychophysics, T. 72, p. 1045-1052.
- 16) **Helson, H. ir Bevan, W.** *An investigation of variables in judgments of relative area*. 67, 1964, Journal of experimental psychology, p. 335 - 341. ISSN: 0096-3445.



- 17) **Kaplan, E.** The M, P and K pathways of the primate Visual System. [knygos aut.] L. M. Chalupa ir S. J. Werner. *The visual neurosciences*. Cambridge : MIT press, 2004, p. 481-493.
- 18) **Kėvalaitis, E.** *Žmogaus fiziologija*. Kaunas : s.n., 2006.
- 19) **Kvietkauskas, V., Kinderys, A. ir Viluveitis, V. 1985.** *Taptautinių žodžių žodynas*. Vilnius : Vyriausioji enciklopedijų redakcija, 1985.
- 20) **Lewis, E. O.** *Confluxion and contrast effects in the Müller-Lyer illusion*. 1909, British Journal of Psychology, p. 21 - 41.
- 21) **Livingstone, M. S. ir Hubel, D. H.** *Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth*. s.l. : J. Neuroscience, 1987. p. 3416-3468.
- 22) **Mamasian, Pascal; Montalembert, Marie de;** *A Simple model of the vertical-horizontal illusion*. 2010, Vision research, T. 50, p. 956-962.
- 23) **Marma, V., Bulatov, A. ir Bulatova, N.** *Psychophysical study of vertical - horizontal illusion*. Kaunas : Technologija, 2015. Proceedings of international conference "Biomedical engineering". p. 70 - 73. ISSN:2029-3380.
- 24) **Noguchi, K.** The Relationship Between Visual Illusion and Aesthetic Preference - an Attempt to Unify Experimental Phenomenology and Empirical Aesthetics. *Axiomathes*. Amsterdam : Springer Netherlands, 2003.
- 25) **Obonai, T.** *Induction effects in estimates of extent*. Chicago : J Exp Psychol, 1954.
- 26) **Podoll, K. ir Robinson, D.** *Migraine Art: The Experience from Within*. Berkeley : North Atlantic Books, 2008. p. 252 - 255. ISBN 978-1-55643-672-7.
- 27) **Rotomskis, Ričardas, Bagdonas, Saulius ir Vengris, Mikas.** *Fotobiologija*. Vilnius : Vilniaus universiteto leidykla, 2007. ISBN 978-9955-3-061-5.
- 28) **Solomon, S. G., White, A.J.R. ir Martin, P.R.** *Extraclassical receptive field properties of parvocellular, magnocellular an koniocellular cells in the primate lateral geniculate nucleus*. s.l. : Journal of Neuroscience, 2002. p. 338-349.
- 29) **Telkes, I., Distler, C. ir Hoffmann, K. P.** *Retinal ganglion cells projecting to the nucleus of the optic tract and the dorsal terminal nucleus of the accessory optic system in macaque monkeys*. 12, 2000, European Journal of Neuroscience, p. 2367 - 2375.
- 30) **Ungerleider, L.G. ir Pasternak, T.** Ventral and Dorsal Cortical Processing Streams. [knygos aut.] L. M. Chalupa ir S. J. Werner. *The visual neurosciences*. Cambridge : MIT press, 2004.
- 31) **Virsu, V.** *Tendencies to eye movement, and misperception of curvature, direction, and length*. Austin : Springer-Verlag, 1971 m., Perception & Psychophysics, T. 9, p. 65-72. ISSN 0031-5117.
- 32) **Wenderoth, P.** *Perceptual illusions*. 1992, Australian Journal of Psychology, T. 44, p. 147–151.

- 33) **Wenderoth, P. ir Burke, D.** Testing the tilt-constancy theory of visual illusions. *Perception*. 2006.
- 34) **Wojciulik, E., Kanwicher, N. ir Driver, J.** *Convergent visual attention modulates face-specific activity in the human fusiform gyrus: fMRI study*. s.l. : J. Neurophysiology, 1998. p. 1574-1578.
- 35) **Zeki, S. M.** *Vision of the Brain*. Blackwell : Oxford, 1993.

MARMA, Vilius. Psychophysical study of vertical – horizontal illusion: Master Work in Biophysics. Supervisor associate professor. Dr. Natalija Bulatova. Vilnius: Faculty of Physics, Vilnius University, 2016, 60 p.

## **SUMMARY**

Imperfection of vision, as the sensory system, allows us to explore the details of the visual image processing principles, processing path in the brain, structure of the sensory system. Therefore, illusions, especially geometric optical illusions, research helps us to extend the knowledge of the structure of the sensory systems and their use in finding and developing new biomedical solutions. The aim of this master thesis is to check the assumption of influencing factors of vertical – horizontal illusion summations, changing the relative position of vertical and horizontal lines of stimulus with lines and dots.

First, a brief review of the structure of visual sensory system and principles of image processing is presented. Second, the theory of occurrence and explanation of the geometrical illusions and classification of the geometric illusions is reviewed. Thirdly, the equipment and methodology of psychophysical experiment is presented. The psychophysical study of vertical – horizontal illusion was performed. Regularities of vertical – horizontal illusion in various kind of stimulus and their orientations investigated.

Regularities of vertical and horizontal lines difference of perception length dependence of the vertical line position on the horizontal line and the horizontal line position on the vertical line in various kind of stimulus and stimulus orientation established. Theoretical model adjusted to results of psychophysical study. The influencing factors of vertical – horizontal illusion, regularities of influencing factors summation and dependencies of lines position in stimulus with lines and dots established.

MARMA, Vilius. Vertikalumo – horizontalumo iliuzijos psichofizikiniai tyrimai: Biofizikos magistro studijų programos baigiamasis darbas. Vad. doc. dr. Natalija Bulatova. Vilnius: Vilniaus universitetas Fizikos fakultetas, 2016, 60 p.

## ANOTACIJA

Regos, kaip sensorinės sistemos, netobulumas mums leidžia detaliau tyrinėti regimojo vaizdo apdorojimo principus, jų kelią smegenyse, sensorinių sistemų sandarą. Todėl iliuzijų, ypatingai geometrinių optinių iliuzijų, tyrimai padeda gilinti žinias apie sensorinių sistemų sandarą ir jų panaudojimą ieškant ir kuriant naujus biomedicininis sprendimus. Šio darbo tikslas buvo patikrinti prielaidą dėl vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakojančių faktorių sumavimo, keičiant nepriklausomai vertikalios ir horizontalios linijų tarpusavio padėtį, stimulams su linijomis ir taškais.

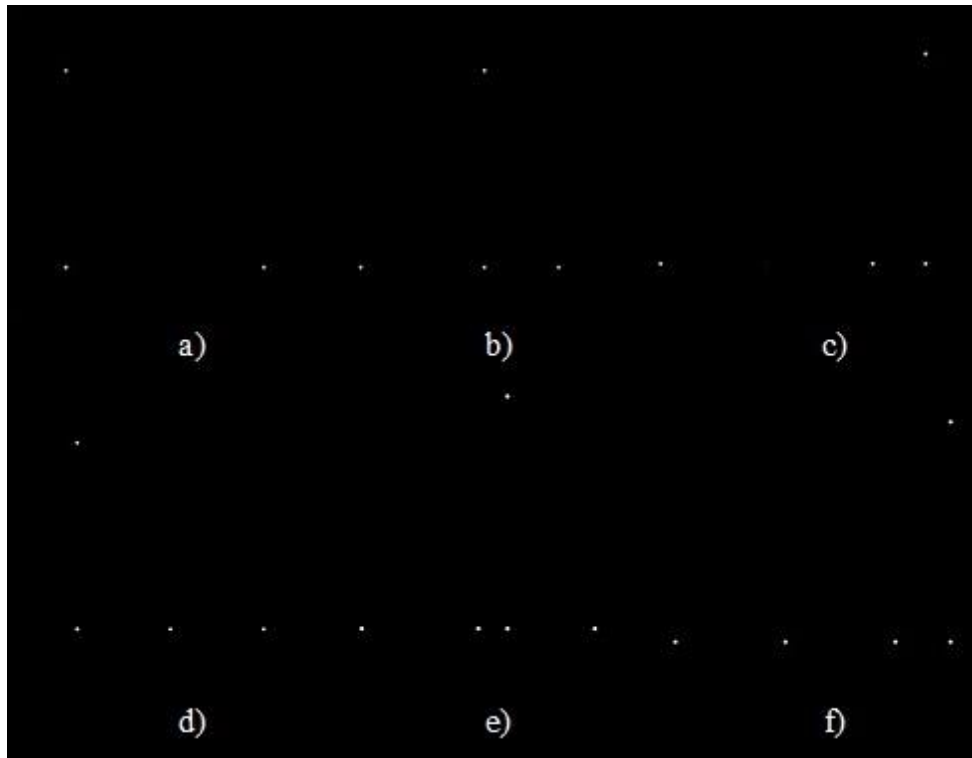
Pirmiausiai trumpai yra pristatoma regos sensorinės sistemos sandara ir vaizdų apdorojimo principai. Antra, apžvelgiamos geometrinių iliuzijų atsiradimo ir paaiškinimo teorijos, geometrinių iliuzijų klasifikacija. Trečia, pristatoma psichofizikinių eksperimentų įranga ir metodika. Atlikti psichofizikiniai tyrimai su vertikalumo – horizontalumo iliuzija. Ištirti vertikalumo – horizontalumo iliuzijos dėsniumai linijiniams ir taškiniams stimulams, pasukant stimulus  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$  kampais.

Nustatyti vertikalios ir horizontalios linijos suvokiamų ilgių skirtumo priklausomybės nuo vertikalios linijos pozicijos ant horizontalios linijos ir nuo horizontalios linijos pozicijos ant vertikalios linijos dėsniumai, skirtingiems stimulams ir jų orientacijai. Pritaikytas teorinis modelis psichofizikinių tyrimų rezultatams. Nustatyti vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakojančius faktoriai, jų sumavimo dėsniumai ir priklausomybes nuo linijų padėties, stimulams su linijomis ir taškais.

**PRIEDAS NR. 1***Vertikalumo – horizontalumo iliuziją įtakančių faktorių sumavimosi rezultatai antros ir trečios grupių stimulams*

Nepriklausomi parametrai, aprašantys suvokiamų linijų ilgį, aprašo antros ir trečios grupių stimulus. Šių grupių stimulų aprašymas mažai kuo skiriasi nuo pirmos grupės stimulų aprašymo, bet yra svarbių skirtumų, kuriuos toliau ir aptarsime.

Skirtingai nuo pirmos grupės stimulų, antros ir trečios grupės stimuluose nėra linijų ir yra vertinamas ne linijų suvokiamas ilgis, o atstumo tarp taškų, kurie yra menamų linijų galuose, suvokiamas ilgis. Antros ir trečios grupių pirmos ir antros serijos stimuluose (39 b), c), d), e), f) pav.) suvokiamo atstumo tarp vertikalių taškų ilgį aprašo anizotropijos narys  $kL$  ir užpildymo dedamosios narys  $T$ .



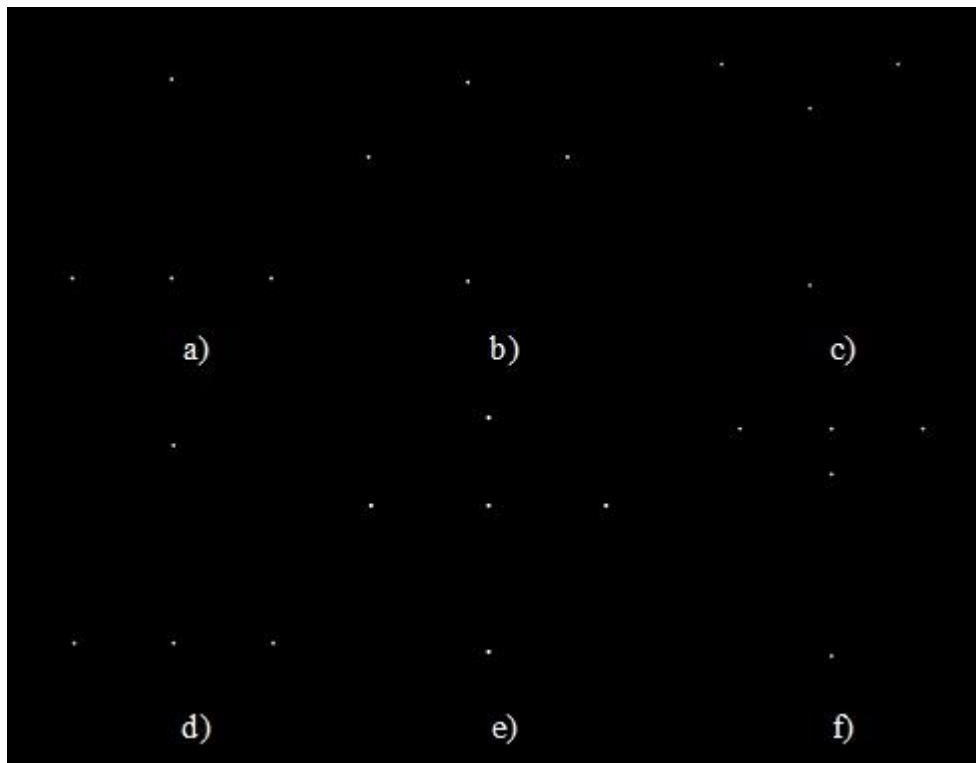
39 pav. Stimulai pasukti  $0^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų.

Suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų aprašomas (11) lygtimi. Atstumo tarp horizontalių taškų suvokiamam ilgiui turi įtakos menamos horizontalios linijos dalinimo dedamoji  $I$  ir užpildymo dedamoji  $T$ :

$$h = L + I + T, \quad (42)$$

čia  $L$  – atstumas tarp menamų linijų galo taškų. HVS yra dalinimo dedamosios  $I$  ir anizotropijos nario  $kL$  skirtumas (5) lygtis. Antros grupės stimuluose, kuriuose vertikalios, menamos linijos apatinis taškas sutampa su horizontalios, menamos linijos galo tašku (39 a) pav.). Suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų aprašomas (11) lygtimi. O suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų priklauso nuo tuščios erdvės tarp taškų užpildymo dedamosios  $T$  ir yra aprašomas (6) lygtimi. Todėl HVS yra lygus neigiamam anizotropijos nariui  $kL$  ir išreiškiamas (9) lygtimi.

Trečioje ir ketvirtoje serijose, antros ir trečios grupės stimulai, kai horizontalūs taškai yra vienodam aukštyje kaip ir nors vienas iš vertikalių taškų (40 a), d) pav.), bei antros stimulų grupės stimuluose, kuriuose atstumas tarp horizontalių taškų nekerta atstumo tarp vertikalių taškų (40 c) pav.), suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$  ir aprašomas (11) lygtimi.



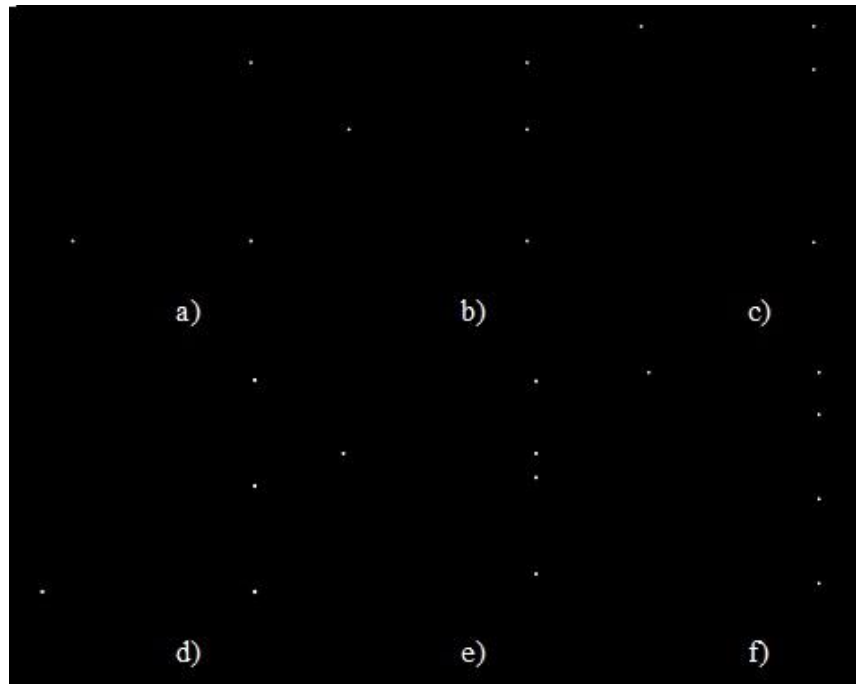
40 pav. Trečios ir ketvirtos serijos stimulai pasukti  $0^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalių taškų.

Suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų aprašomas (42) lygtimi ir priklauso nuo dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ . HVS išreiškiamas (5) lygtimi ir yra lygus dalinimo dedamosios  $I$  ir anizotropijos nario  $kL$  skirtumui. Stimuluose, kai horizontalūs taškai yra aukščiau apatinio vertikalaus taško ir žemiau viršutinio vertikalaus taško (40 b), e) pav.), bei trečios stimulų grupės stimulams, kuriuose horizontalūs taškai išeina iš atstumo tarp vertikalinių taškų (40 f) pav.), suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų aprašomas (42) lygtimi ir priklauso nuo dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ , o atstumas tarp vertikalinių taškų priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ , užpildymo dedamosios  $T$  ir dalinimo dedamosios  $I$ , bei aprašomas:

$$h = L + kL + I + T. \quad (43)$$

HVS yra lygus neigiamam anizotropijos nariui  $kL$ , išreiškiamas (9) lygtimi.

Devintoje ir dešimtoje serijose, antros ir trečios stimulų grupės stimulai yra pasukti  $90^\circ$  kampu. Analogiškai linijiniams, pirmos grupės stimulams, vertikalinių atstumu tarp taškų ir vertikaliais taškais yra laikomi tie taškai ir atstumas tarp jų, kuris buvo vertikalus, kai stimulai buvo pasukti  $0^\circ$  kampu, analogiškai ir horizontaliems taškams ir atstumams tarp jų. Antros ir trečios grupių stimulams (41 pav.) suvokiamas atstumas tarp vertikalinių taškų priklauso tik nuo užpildymo dedamosios  $T$ , (21) lygtis.



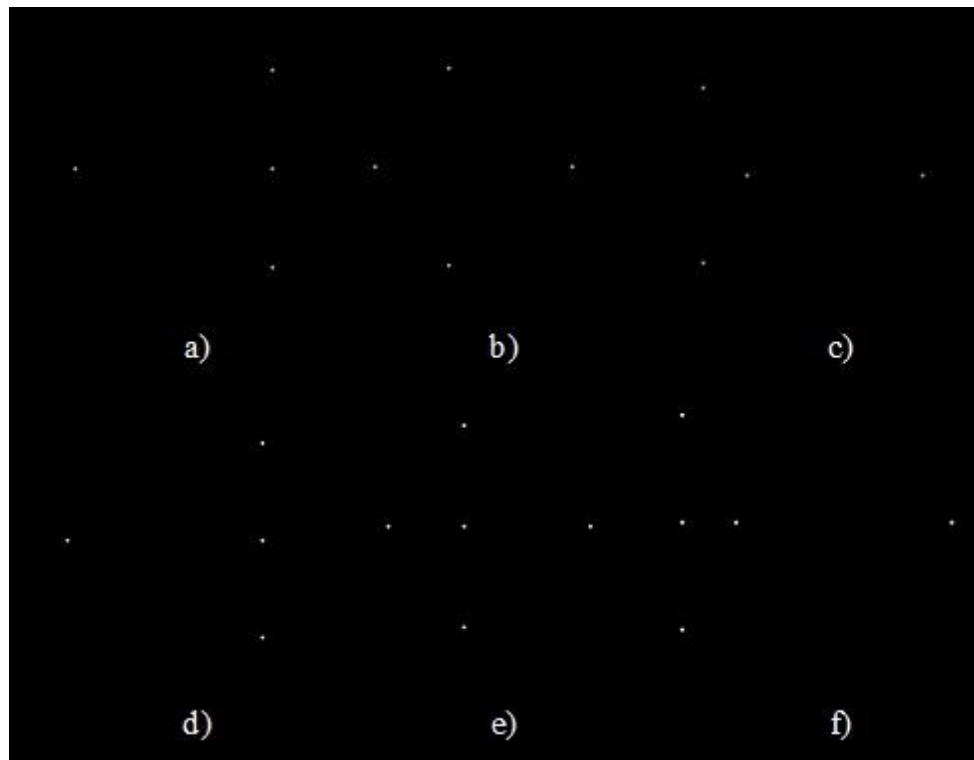
41 pav. Devintos ir dešimtos serijos stimulai pasukti  $90^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas sutampa su horizontaliu tašku, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas sutampa su horizontaliu tašku, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų.

O antros ir trečios grupių stimulams, kuriuose apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (41 b), e) pav.) ir stimulams, kuriuose vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų (41 c), f) pav.), bei trečios grupės stimulams, kuriuose vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų (41 d) pav.), atstumas tarp horizontalių taškų priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ , anizotropijos nario  $kL$  ir dalinimo dedamosios  $I$  sumos:

$$h = L + kL + I + T. \quad (44)$$

Todėl HVS priklauso nuo dalinimo dedamosios  $I$  ir anizotropijos nario  $kL$  sumos (14) lygtis. O antros grupės stimuluose, kuriuose vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų (41 a) pav.), suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ , anizotropijos nario  $kL$ , (16) lygtis. HVS yra lygus anizotropijos nariui  $kL$ , (19) lygtis.

Vienuoliktoje ir dvyliktoje serijose antros ir trečios grupių stimuluose (42 pav.), suvokiamas atstumas tarp kraštinių horizontalių taškų yra aprašomas (43) lygtimi ir priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ , užpildymo dedamosios  $T$ , bei dalinimo dedamosios  $I$ .



42 pav. Vienuoliktos, dvyliktos serijos stimulai, pasukti  $90^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, c) 2 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalų taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalų taškų.

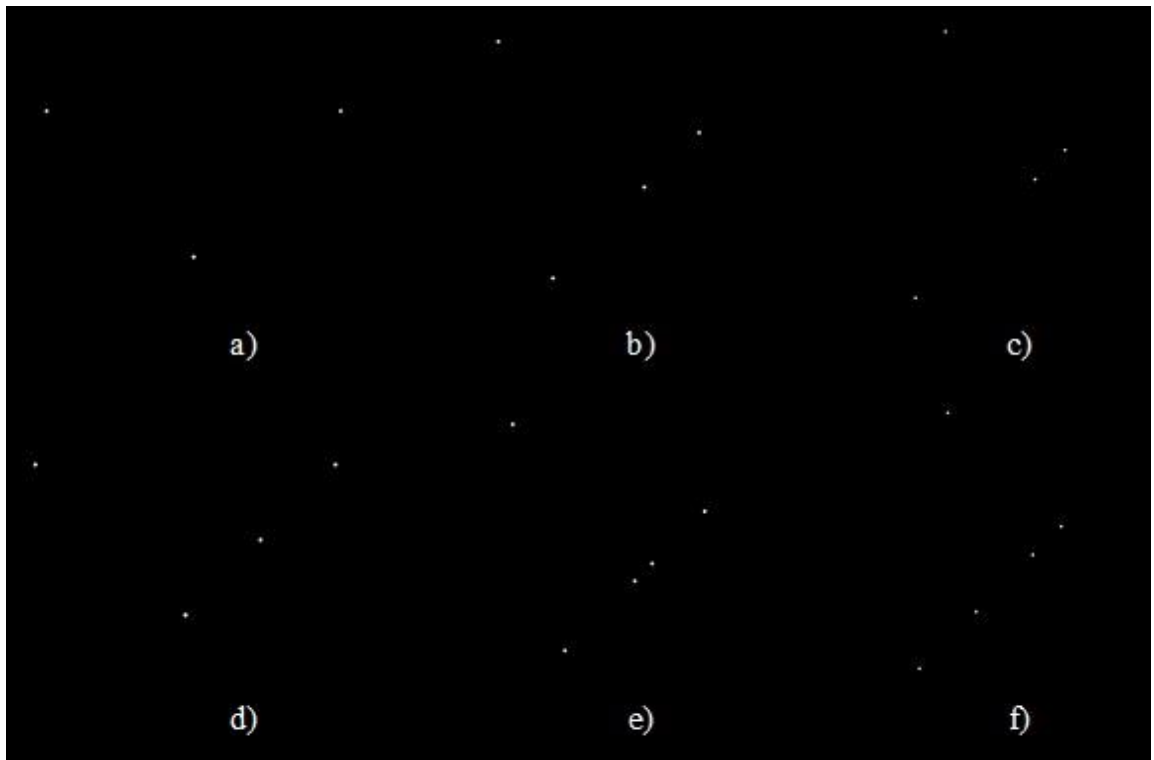


Stimuluose, kuriuose vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (42 a), d) pav.), atstumas tarp vertikalų taškų priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$  ir yra išreiškiamas (42) lygtimi. HVS yra lygus anizotropijos nario  $kL$  ir dalinimo dedamosios  $I$  sumai, (15) lygtis. Stimuluose, kuriuose atstumas tarp horizontalių taškų nėra atstume tarp vertikalų taškų (42 c), f) pav.), bei stimuluose, kuriuose atstumas tarp horizontalių taškų yra atstume tarp vertikalų taškų (42 b), e) pav.) atstumas tarp vertikalų taškų priklauso nuo užpildymo  $I$  ir dalinimo  $T$  dedamųjų:

$$v = L + I + T. \quad (45)$$

O HVS yra aprašomas (20) lygtimi ir lygus anizotropijos nariui  $kL$ .

Penktoje, šeštoje, tryliktoje ir keturioliktoje serijose, antros ir trečios grupių stimuluose (43 pav.), suvokiamo atstumo tarp vertikalų taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$ .



43 pav. Penktos, šeštos serijos stimulai, pasukti  $45^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone vertikalų taškų, d) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų, e) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai apatinis vertikalus taškas yra šone horizontalių taškų.

Bendras suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų yra aprašomas (31) lygtimi. Stimuluose, kai apatinis vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (43 b), e) pav.) ir stimuluose, kuriuose apatinis vertikalus taškas yra šone vertikalių taškų (43 c), f) pav.), bei stimuluose, kuriuose apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų (43 d) pav.), suvokiamo atstumo tarp horizontalių taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo užpildymo  $T$  ir dalinimo  $I$  dedamųjų, o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ , užpildymo  $T$  ir dalinimo  $I$  dedamųjų. Bendras suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų:

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2} = \sqrt{(L' + T + I)^2 + (L' + kL' + T + I)^2}. \quad (46)$$

HVS aprašomas:

$$h - v = \sqrt{(L' + T + I)^2 + (L' + kL' + T + I)^2} - \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2}. \quad (47)$$

Antros grupės stimuluose, kuriuose apatinis vertikalus taškas sutampa su vienu iš horizontalių taškų (43 a) pav.), suvokiamo atstumo tarp horizontalių taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$ , (26) lygtis. Kadangi šiuo atveju atstumai tarp taškų yra suvokiami vienodai, tai HVS yra lygus nuliui:

$$h - v = \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2} - \sqrt{(L' + T)^2 + (L' + kL' + T)^2} = 0. \quad (48)$$

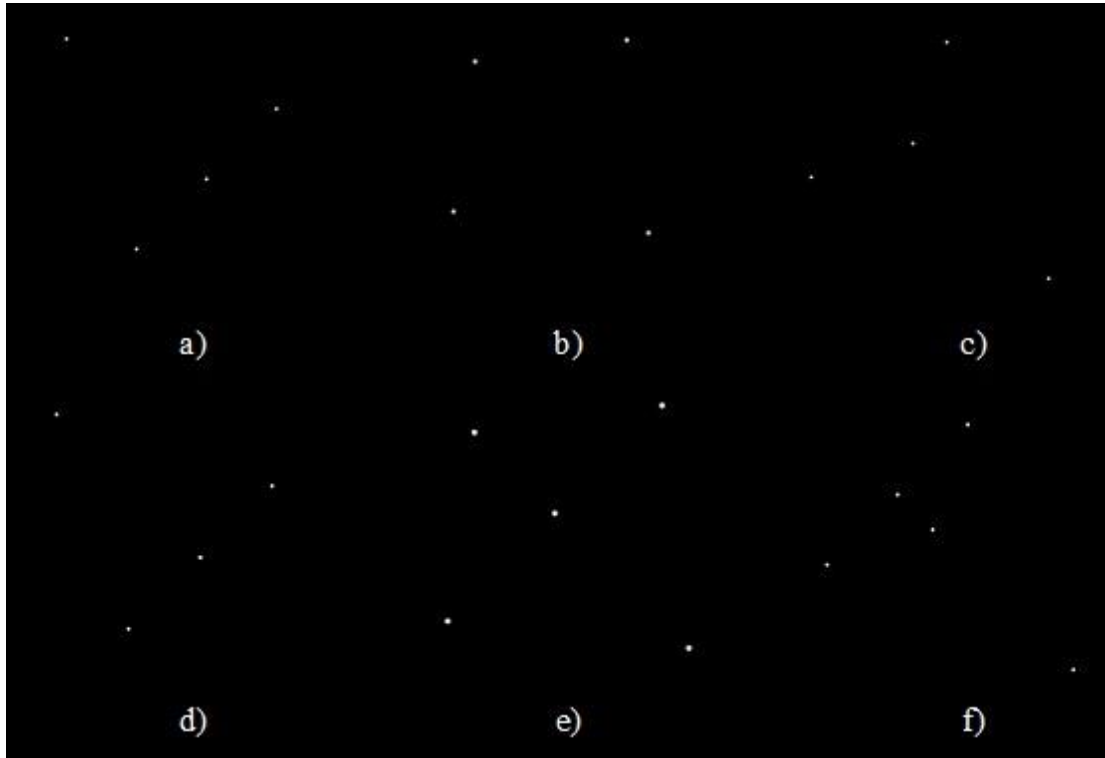
Septintoje, aštuntoje, penkioliktoje, šešioliktoje serijose, antros ir trečios grupių stimuluose (44 pav.) suvokiamo atstumo tarp horizontalių taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ , dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ . Bendras suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų yra aprašomas (46) lygtimi.

Stimulams, kuriuose atstumas tarp vertikalių taškų kertą atstumą tarp horizontalių taškų (44 b), e) pav.), ir stimulams, kuriuose atstumas tarp vertikalių taškų nekerta atstumo tarp horizontalių taškų ir vertikalus taškai nesutampa su horizontaliais taškais (44 c), f) pav.), suvokiamo atstumo tarp vertikalių taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$ , dalinimo dedamosios  $I$  ir užpildymo dedamosios  $T$ :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(L' + T + I)^2 + (L' + kL' + T + I)^2}. \quad (49)$$

Matome, jog suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų  $v$  ir suvokiamas atstumas tarp horizontalių taškų  $h$  yra aprašomi vienodai,  $v = h$ , todėl HVS yra lygus nuliui,  $h - v = 0$ . Stimulams, kuriuose vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų (44 a) pav.), ir stimulams, kuriuose vertikalus taškas sutampa su horizontalaus atstumo tarp taškų vidurio tašku (44 d) pav.), suvokiamo atstumo tarp vertikalių taškų projekcija į  $Ox$  ašį priklauso nuo užpildymo dedamosios  $T$ , o projekcija

į  $Oy$  ašį priklauso nuo anizotropijos nario  $kL$  ir užpildymo dedamosios  $T$ . Bendras suvokiamas atstumas tarp vertikalių taškų yra aprašomas (31) lygtimi. HVS yra aprašomas (47) lygtimi.



44 pav. Septintos, aštuntos serijos stimulai, pasukti  $45^\circ$ , a) 2 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų, b) 2 grupės stimulus, kai atstumas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalių taškų, c) 2 grupės stimulus, kai atstumas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalių taškų, d) 3 grupės stimulus, kai vertikalus taškas yra tarp horizontalių taškų ir sutampa su centriniu horizontalios atkarpos tašku, e) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų yra tarpe tarp vertikalių taškų, f) 3 grupės stimulus, kai tarpas tarp horizontalių taškų nėra tarpe tarp vertikalių taškų.

**PRIEDAS NR. 2***Mokslinių publikacijų sąrašas*

Straipsnis recenzuojamoje Lietuvos tarptautinės konferencijos medžiagoje:

1. **Marma, V., Bulatov, A. ir Bulatova, N.** *Psychophysical study of vertical - horizontal illusion*. Kaunas : Technologija, 2015. Proceedings of international conference "Biomedical engineering". p. 70 - 73. ISSN:2029-3380.