

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETO
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO
FIZIKOS KATEDRA**

INGRIDA INDRIJAUSKIENĖ

**GEOMETRINIŲ ILIUZIJŲ VERTINIMAS AKIŲ
JUDESIAIS**

Magistro studijų programos „Fizika“

MAGISTRO DARBAS

**Darbo vadovas:
prof. habil. dr. VINCAS LAURUTIS**

Šiauliai, 2011

ANOTACIJA

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjama Miulero-Lajerio geometrinės iliuzijos įtaka sakadiniams bei sekamiesiems akių judesiams. Siekta nustatyti žmogaus akių judesių vaidmenį regos sistemai.

Akių judesiai priklauso nuo iliuzijos nuo 0,1 % iki 10 %. Rezultatai rodo, kad sąmoningai atliktos sakados yra 40 % - 50 % labiau įtakojamos iliuzijos, lyginant su refleksinėmis sakadomis. Akies sekamieji judesiai, sekant taikinį, turintį iliuzijos efektą, gali būti naudojami objektyviam dinaminės (judančios ir dėl to stebimos trumpą laiko tarpą) iliuzijos, poveikio ir laipsnio nustatymui.

Darbą sudaro įvadas, trys skyriaai, išvados ir literatūros sąrašas. Išnagrinėti 45 literatūros šaltiniai. Darbo apimtis 52 puslapiai, įskaitant 3 lenteles ir 29 paveikslus.

ANNOTATION

There is dealing influence of Muller – Layer geometrical illusion to saccadic and followed eyes movements in final Master's work. It is sought to set the role of human eyes' movements to visual system.

Movements of eyes depend on illusion from 0,1 % to 10 %. Results show consciously made saccades are 40 % - 50 % more influenced illusions compared with reflexives saccades. Followed eyes movements when they follow the target which has effect of illusion might be using to set objective dynamic (moving and therefore observed short time) illusion, influence and degree.

The final work contains introduction, three chapters, conclusions and literature's list. There are explored 45 sources of literature. Workload is 52 pages including 3 tables and 29 pictures.

Turinys

ĮVADAS	4
1. REGOS ILIUZIJŲ SAMPRATA	6
1.1 Regėjimo iliuzijų reiškinyss.....	6
1.2. Suvokiamo ir realaus dydžio neatitikimai	9
1.3. Iliuzijų tyrimai Lietuvoje	12
2. ŽMOGAUS REGA IR AKIŲ JUDESIAI.....	16
2.1. Rega – daugiakanalė informacijos apdorojimo sistema	16
2.2. Akių judesiai ir jų reikšmė regai	20
2.2.1. Sakados	21
2.2.2. Tolygaus sekimo judesiai.....	24
2.2.3 Vestibulo-okuliariniai judesiai	25
2.2.4. Optokinetinis nistagmas	26
2.2.5. Vergentiniai judesiai.....	26
2.3. Akių judesiai ir iliuzijos	27
3. GEOMETRINIŲ ILIUZIJŲ VERTINIMAS AKIŲ JUDESIAIS.....	31
3.1. Miulerio-Lajerio iliuzijos vertinimas sakadiniais akių judesiais.....	31
3.1.1. Eksperimentų atlikimo metodika	31
3.1.2. Tyrimo rezultatai	34
3.2. Iliuzijos vertinimas sekamaisiais akių judesiais.....	45
3.2.1. Eksperimentų atlikimo metodika	45
3.1.2. Tyrimo rezultatai	46
IŠVADOS.....	49
LITERATŪRA.....	50

IVADAS

Regos sistemos paskirtis – leisti gyvajam organizmui suvokti vykstančius išorinio pasaulio pokyčius ir padėti jam adekvačiai reaguoti į juos. Regimasis suvokimas yra betarpiškai susijęs su įvairių vaizdo charakteristikų įvertinimu. Tarp tokių charakteristikų gali būti vaizdo sudėtinių elementų dydžių arba ilgių ir jų orientacijų proporcijos. Esant tam tikroms – ribinėms savo parametrų atžvilgiu – sąlygoms, regos sistema gali klysti ir tada atsiranda klaidos, taip vadinami regimojo suvokimo iškraipymai. Šie iškraipymai, arba geometrinės iliuzijos, paprastai apibūdinami kaip skirtumai tarp suvoktų ir realiai egzistuojančių fizinių vaizdo savybių. Kadangi, iškraipymai yra nervų sistemos struktūros ir veikos padarinys, bet kurio stimulo suvokimas neįmanomas be daugiau ar mažiau ženklių deformacijų, kurios gali pasireikšti per įvairius sensorinius kanalus.

Akies judesiai yra labai svarbūs atliekant vaizdų palyginimą. Jie nukreipia akies centrinę duobutę taip, kad pasirinktų objektų vaizdai atsidurtų joje, kur juos būtų galima pilnai išanalizuoti. Akies judesiai leidžia mums skenuoti vizualinį lauką, sukaupti mūsų dėmesį į scenos dalis, kurios suteikia didžiausią informacinę reikšmę. Taip pat akies judesiai kompensuoja fiksuojamo objekto judėjimą.

Sakados – tai matavimo rezultatuose labiausiai išsiskiriantys judesiai, pastoviai sutinkami įvairiuose eksperimentuose. Jie sutinkami ir perkeliant dėmesį į kitą objektą, ir skanuojant matymo lauką ar didesnių matmenų objektą. Sakadų dėka stebimas objektas dažniausiai atsiduria priešais fovea – jautriausią akies tinklainės sritį.

Darbo tikslas. Ištirti bei įvertinti Miulerio-Lajerio geometrinės iliuzijos įtaką sakadiniams bei sekamiesiems akių judesiams ir palyginti gautus rezultatus vertinant iliuziją suvokimu.

Uždaviniai.

1. Atlikti geometrinių regos iliuzijų tyrimų apžvalgą.
2. Nustatyti žmogaus akių judesių vaidmenį regos sistemai.
3. Eksperimentiškai įvertinti Miulerio-Lajerio iliuzijos įtaką sakadiniams akių judesiams.
4. Eksperimentiškai atlikti iliuzijos vertinimą sekamaisiais akių judesiais.
5. Palyginti geometrinės Miulerio-Lajerio iliuzijos įtaką vertinant iliuzijos poveikį suvokimu ir akių judesiais.

Temos aktualumas. Geometrinės iliuzijos yra patogus ir galingas įrankis, leidžiantis tikrinti teorines regimojo suvokimo koncepcijas ir modelius. Iliuzijų mechanizmų supratimas padeda gilintis į visos žmogaus regos sistemos darbą, suprasti ne tik sensorinės sistemos organizaciją, bet ir optimalius informacijos apdorojimo principus bei galimybes.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, eksperimentas, eksperimento duomenų analizė.

Publikacijos: dalis šio darbo medžiagos buvo publikuota.

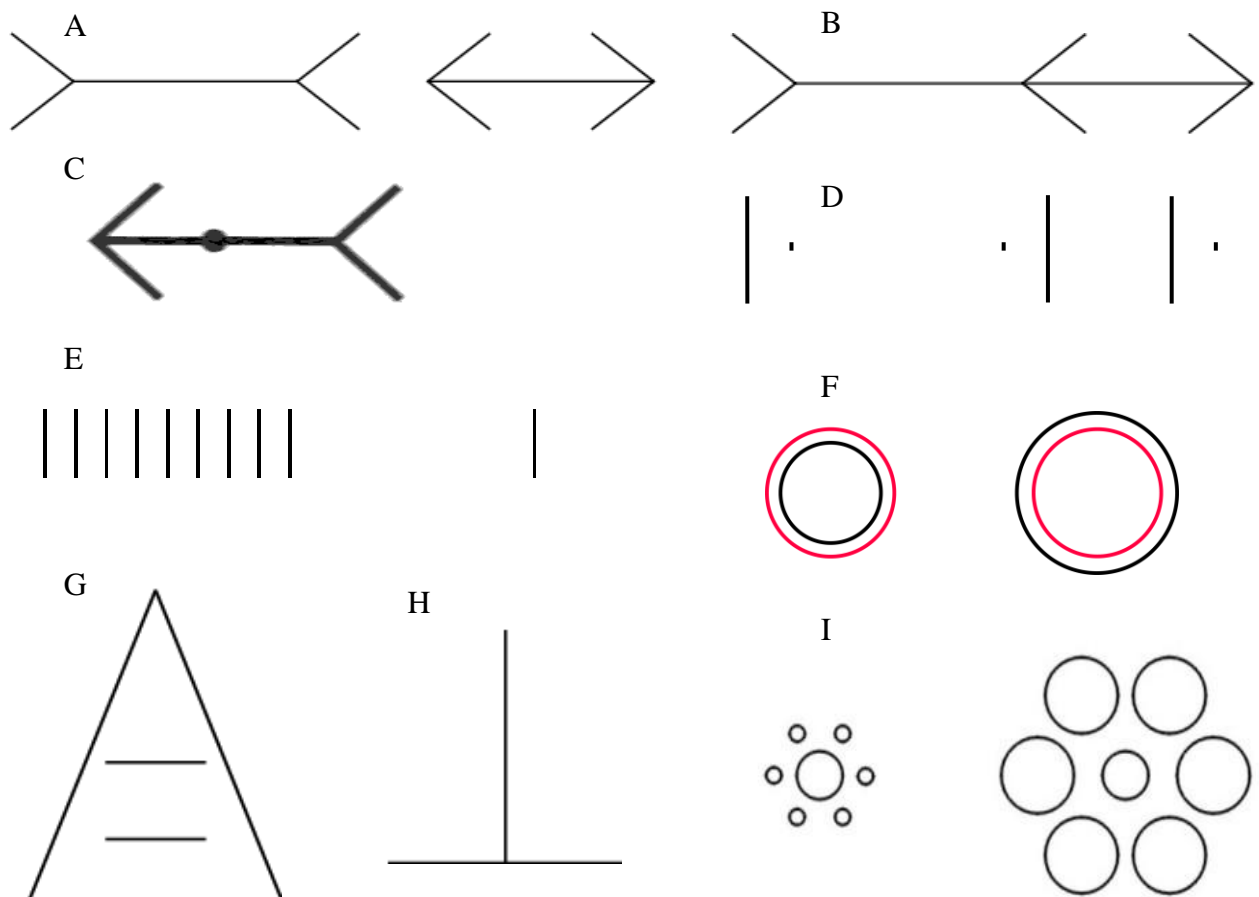
1. Laurutis V., Indrijauskienė I. Influence of Muller-Lyer illusion on the amplitudes of the saccadic eye movements. Biomedical Engineering. Proceedings of International Conference. Kaunas. 2009. 75-78 p.
2. Laurutis V., Indrijauskienė I., Zemblys R., Niauronis S. Dinaminis regos iliuzijos vertinimas panaudojant sekamuosius akies judesius // Virtualūs instrumentai biomedicinoje - 2010. 7-12 p.

1. REGOS ILIUZIJŲ SAMPRATA

1.1 Regėjimo iliuzijų reiškinys

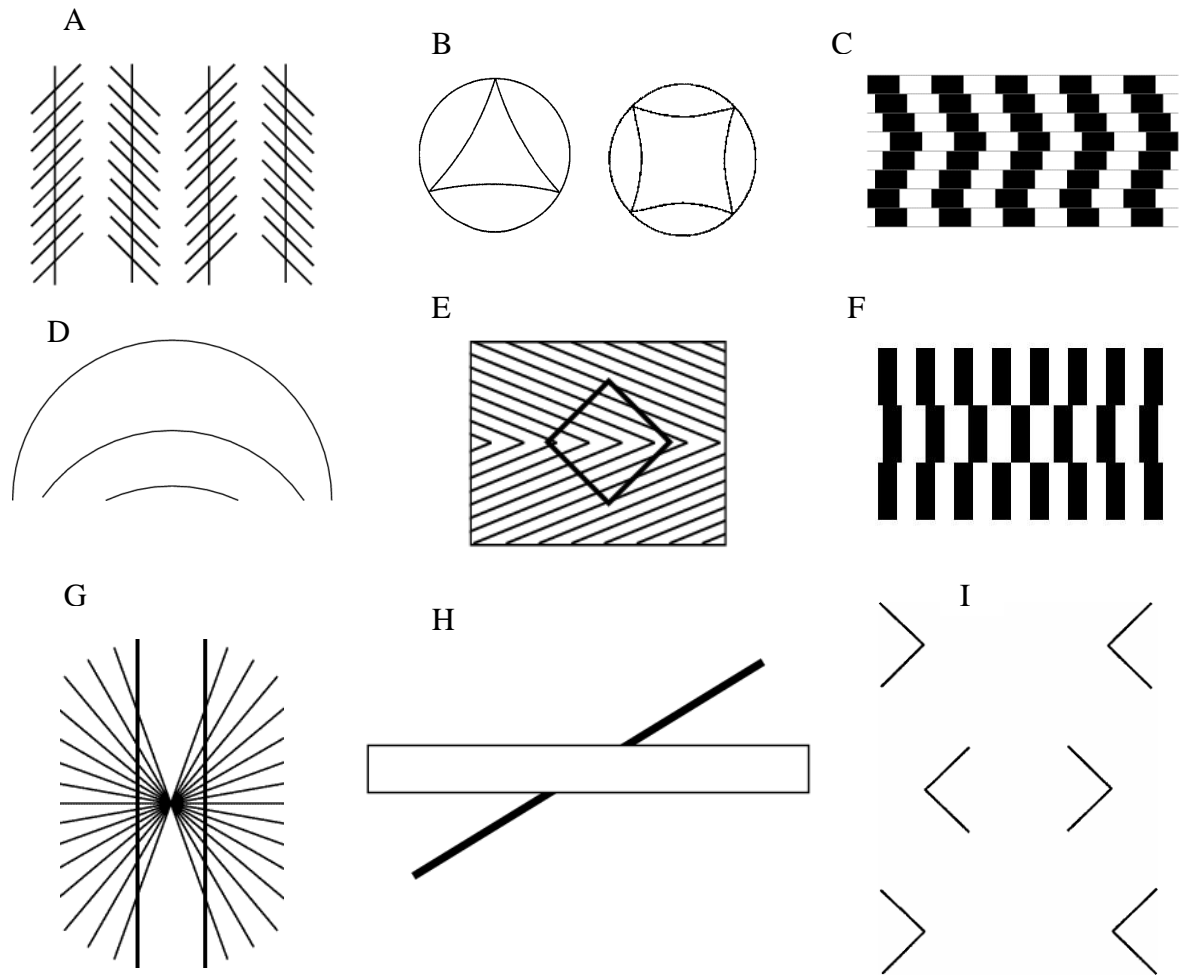
Terminas „iliuzija“ reiškia jutimų paklaidą, kuri sukelia neatitikimą tarp suvokiamo, arba subjektyvaus, ir fizinio, arba objektyvaus, pasaulio. Iliuzijos būdingos visoms žmogaus jutimų sistemoms: regai, klausai, lietimui, temperatūros pojūčiams ir matyt yra prigimtinis arba imanentinis nervų sistemos struktūros bei informacijos apdorojimo būdo rezultatas (Gutauskas ir kt., 2005).

Įdomi iliuzijų savybė yra ta, kad jos atsiranda net stebint visai paprastus vaizdus, sudarytus tik iš kelių linijų, taškų arba kreivės atkarpų. Vis dėlto, regimojo suvokimo klaidos yra didelės, išmatuojamos kiekybiškai ir atsikartojančios sistemingai kiekvieno bandymo metu ir kiekvienam stebėtojui. Geometrinių iliuzijų reiškinys tampa svarbiu stebėjimų ir tyrinėjimų objektu ypač dėl šios savybės (Surkys, 2007).



1 pav. Geometrinės iliuzijos: Müller-Lyer (A), Brentano (B), Judd (C), taško brūkšnelio (D), Oppel-Kundt (E), Delboeuf (F), Ponzo (G) horizontali-vertikali (H), Titchener (Ebbinghaus) (Surkys, 2007).

Dauguma šių iliuzijų laikoma regos fiziologine charakteristika. Geometrinės iliuzijos galėtų būti laikomos sensorinių sistemų bendra fiziologine savybe, tačiau jos pasireiškia ryškiausiai regoje. Bet kokio regimojo vaizdo suvokimas yra lydimas didesnio ar mažesnio iškraipymo, kurio stiprumas priklauso nuo vaizdo erdvinės bei laikinės struktūros. Pavyzdžiui, kvadratas, įbrėžtas į apskritimą, lankus padaro „išsipūtusius“ (2 pav.) (Surkys, 2007).



2 pav. Kelios orientacijos ir formos geometrinės iliuzijos. Zöllner (A), apibrėžto apskritimo (B), kreivų plytelių (C), trijų arkų (D), Orbison (E), Münsterberg (F), Hering (G), Poggendorff (H), Morinaga paradoksas (I) (Surkys, 2007).

Pirmasis mokslininkas, kuris atkreipė dėmesį į geometrinių iliuzijų tyrimų svarbą ir suvokimo iškraipymus pavadino iliuzijomis, buvo vokiečių mokslininkas Johannes Müller (1889).

Miulerio-Lajerio iliuzija (Müller-Lyer, 1889) (1A pav.) yra viena iš geriausiai žinomų ilgio suvokimo deformacijų. Ji tiriama nuo 19 amžiaus pabaigos. Pirmasis Miulerio-Lajerio iliuzijos piešinys buvo sudarytas iš dviejų atskirų linijų atkarpų, apribotų sparnelių poromis.

Vienos atkarpos sparneliai nukreipti į išorę, kitos – į vidų. Vertikalios arba horizontalios figūros dalys buvo pateikiamos viena šalia kitos. Atstumas tarp į vidų pasuktų sparnelių stebėtojai atrodė mažesnis negu tarp pasuktų į išorę, nors iš tikrųjų šie atstumai buvo lygūs. Miulerio-Lajerio iliuzija buvo tyrinėjama per pusantrą šimto metų ir sukurta nemažai šios iliuzijos modifikacijų. Pavyzdžiui, F. Brentano (1892) pasiūlė Miulerio-Lajerio piešinio variantą, sudarytą iš trijų porų sparnelių, išdėstyti vienoje linijoje (1 B pav.). Šiuo atveju iliuzijos efektas tapo stabilesnis. Judd figūra (1 C pav.) yra sudaryta iš atkarpos, dviejų sparnelių porų, pasuktų ta pačia kryptimi bei taško figūros viduryje. Taškas stebėtojai atrodo ne viduryje, o pasislinkęs link į vidų nukreiptų sparnelių galų.

Visi šios iliuzijos variantai privedė prie vieningos išvados – Miulerio-Lajerio iliuzija atsiranda, stebint tam tikrą geometrinę figūrą, sudarytą iš trijų arba dviejų porų sparnelių, paprastai išrikiuotų vienoje eilėje arba dviem eilėmis, sujungtų ašine linija arba be jos (Surkys, 2007).

Miulerio-Lajerio iliuzija literatūroje tyrinėjama iki šiol. Matuojama iliuzijos stiprumo priklausomybė nuo bendro figūros dydžio, sparnelių ilgio, kampo tarp sparnelių (Surkys, 2007).

Iliuzijos dydis taip pat buvo matuojamas kaip įvairių stimulo dalių kontrastų santykių funkcija. Buvo nustatyta, jog iliuzijos dydis figūrai su juodais sparneliais ir juodom jungiančiom linijom yra 2-6 % didesnis nei figūrai su pilkais sparneliais ir juoda jungiančia linija. Iliuzija labiausiai matoma tuomet, kai sparnelių ir juos jungiančios linijos spalva yra tokia pat. Iliuzijos dydis sumažėja, kai atsiranda sparnelių bei juos jungiančios linijos ryškio skirtumas. Barbara G. Wickelgren nustatė, jog iliuzijos dydis priklauso nuo kontrastų santykio tarp sparnelių ir fono bei jungiančių linijų ir fono, bet ne nuo figūros kontrasto (2003). Tiek Miulerio-Lajerio iliuzija, tiek ir kitos dydžio iliuzijos priklauso nuo to, kiek laiko stimuliuojamas nagrinėjamas objektas (Surkys, 2007).

Geometrinių iliuzijų tyrimus vykdė ir vokiečių psichologas Opper. Jis nagrinėjo ilgių palyginimo klaidas, atsirandančias stebint figūrą, kuri yra sudaryta iš dviejų erdvinių intervalų – vieno užpildyto vertikaliais brūkšneliais, o kito tuščio. Ši iliuzija gavo Opper-Kundt pavadinimą (1 pav. E). Ji pasireiškia tuo, kad užpildytas figūros intervalas atrodo ilgesnis už neužpildytąjį. Šios iliuzijos dydis buvo matuojamas priklausomai nuo brūkšnelių skaičiaus. Galima ir kita Opper-Kundt iliuzinė figūra, sudaryta iš apskritimų. Apskritimas, užpildytas keliais mažesniais apskritimais, atrodo didesnis už tokį patį neužpildytą apskritimą. Keičiant apskritimų kiekį, išorinis apskritimas gali atrodyti arba mažesnis arba didesnis nei yra iš tikrųjų (Surkys ir kt., 2010).

Kiek vėliau buvo paskelbta Zöllner iliuzija (2 pav. A) pasireiškianti tuo, kad dvi lygiagrečios linijų atkarpos atrodo nevienodai palinkę, jeigu jas kerta įstrižų linijų atkarpos (Zöllner, 1860). Skirtingai nuo Oppel-Kundt iliuzijos, šiuo atveju yra iškraipomas figūros dalių orientacijos suvokimas. Buvo pastebėta, jog iliuzija atsiranda ir tuo atveju, kada įstrižinės atkarpos yra šalia bandomųjų. Iliuzijos stiprumas priklauso nuo ryškio kontrasto. Zöllner iliuzija, kaip ir kitos panašios iliuzijos, priklauso nuo figūros pasukimo kampo (iliuzija yra stipriausia, kada figūra pasukta 45° kampu) bet ne nuo stebėtojo kūno arba galvos pasvirimo (Parlangeli, 1995). Vienos iš dydžio iliuzijų atradėjas Joseph Delboeuf. Apskritimas, aplink kurį yra apibrėžtas kitas apskritimas atrodo didesnis nei yra iš tikro (<http://mathworld.wolfram.com/DelboeufIllusion.html>) (1 pav. F). Šis reiškinys dar vadinamas dydžio asimiliacijos efektu. Nustatyta, kad iliuzija yra stipriausia tuomet, kada apskritimų diametrų santykis yra tarp 2 ir 3. Kai tarpas tarp apskritimų yra didinamas, iliuzija mažėja (Surkys, 2007).

1.2. Suvokiamo ir realaus dydžio neatitikimai

Objekto pozicijos ir jo dydžio ryšiui suprasti buvo atliekami tyrimai. Barbara Gillam atliko eksperimentus, kuriuose stebėtojai turėjo pastumti tašką kompiuterio ekrane taip, kad jis būtų tiesiai po Miulerio-Lajerio figūros galu. Taip pat buvo atlikti tyrimai, panaudojant vietoj Miulerio-Lajerio figūros linijos atkarpą be sparnelių. Iš gautų tyrimų rezultatų, autoriai padarė išvadą, jog iliuzijos stiprumas ir objekto pozicija nėra susiję bendra metrika. B. Gillam atliko kitą eksperimentą, kuriame stimulą sudarė dvi viena virš kitos esančios Miulerio-Lajerio figūros su sparneliais viename gale bei atskiru tašku tarp figūrų. Stebėtojas turėjo pastumti tašką taip, kad jis būtų ant tiesios linijos, išvestos per abiejų figūrų sparnelių galus. Stebėtojai atliko šį tyrimą be reikšmingesnių klaidų. Tokio eksperimento metu, kai buvo nustatoma taško pozicija, nebuvo galima pasinaudoti stataus kampo įvaizdžiu, ir Gillam daro tą pačią išvadą, jog Miulerio-Lajerio iliuzija nėra sparnelių galų pozicijos pasislinkimo rezultatas (1985).

Tačiau, yra žinomas Morinaga paradoksas (2 pav. I): lygiagrečiai išdėstytų trijų Miulerio-Lajerio figūrų sparneliai atrodo pasislinkę priešinga kryptimi negu kiekvienos figūros, analizuojamos atskirai nuo kitų figūrų, sparneliai. Kitaip tariant, Morinaga paradokso esmė – sparnelių pozicijų poslinkio neapibrėžtumas (Morinaga, 1957). Poslinkio neapibrėžtumas yra stebimas ir kitu atveju – panaudojant dvi lygiagrečiai išdėstytas Judd figūras, kurių sparneliai nukreipti į priešingas puses. Šiuo atveju iliuzinio sparnelių poslinkio

kryptis taip pat priklauso nuo to, kas yra stebėjimo objektas – visas vaizdas kaip visuma, ar kiekviena figūra atskirai. Tas pats vaizdas gali sukelti skirtingos krypties deformacijas priklausomai nuo to, kuri vaizdo dalis yra stebėtojo dėmesio objektas.

Ar suvokiant objektų dydžius padeda akių judesiai? Daugelis tyrimų parodė, kad, eksperimento metu stebėtojo žvilgsnis būna nukreiptas į sparnelių vidinę pusę, o ne į patį kampą, nors, pabrėžtinai prašant žiūrėti į sparnelių viršūnes, stebėtojais galėjo kreipti žvilgsnį tiksliai į kampą. Tai optimaliausias taškas figūros stebėjimui.

Greitas žvilgsnio šuolis nuo vieno objekto į kitą yra atliekamas taip vadinamais sakadiniais akies judesiais. Šių judesių pagalba į naują regos lauko vietą žvilgsnis yra nukreipiamas nemažu greičiu bei tikslumu. Sakados metu akies judesio trajektorija gali būti keičiama priklausomai nuo to, kokia informacija judesio metu yra gaunama.

Informacija, kurios reikia akių ir rankos judesiams programuoti, yra nevienoda. Rankos judesiams koordinuoti reikalinga informacija apie objekto vietą trimatėje erdvėje, tuo tarpu, akių judesiams užtenka nuorodų apie objekto poziciją plokštumoje. Akių judesiai turi orientuotis ne į fizinį objektą, bet į jo kampinę projekciją.

Rankos judesių tyrimų rezultatai, kada stebėtojo prašoma pasiekti vieną iš Miulerio-Lajerio figūros kampų, yra priešaringi. Vieni tyrėjai nerado rankos judesių skirtumų, priklausomai nuo to, ar reikalaujama pasiekti Miulerio-Lajerio iliuzijos kampą ar paprastą tašką. Kiti tyrėjai, priešingai, nustatė, kad rankos judesių skirtumai egzistuoja. Buvo pastebėta, jog rankos judesių skirtumai atsiranda, jeigu įvedami žvilgsnio fiksacijos apribojimai bei judesio pradžioje panaikinimas stimulus (Mack ir kt., 1985).

Sukurta nemažai hipotezių, aiškinančių geometrinių iliuzijų prigimtį, kurias galima padalinti į dvi grupes.

Pirmajai grupei priklauso hipotezės, kurių autoriai (Gauld, Lester, Wardet, Smith, Rock, Anson, Gillam) linkę pagrįsti iliuzijas psichologiniais pažinimo aspektais, gylio arba perspektyvos jutimu, objektų, esančių įvairiame nuotolyje suvokiamo dydžio vienodumu. Kiti autoriai (Helson, Restle, Merryman, Pressey, Bross) siūlo adaptacijos ir asimiliacijos teorijas, postuluojančias stimulo centro ir periferijos sudėtingos sąveikos įtaką jutimo procesui (Bulatov, 2006). Vadinamoji svorio koncepcija nagrinėja grįžtamuosius ryšius, ateinančius iš akių judesių valdymo sistemos ir teigia, kad suvokimo iškraipymai atsiranda dėl nevalingo polinkio kreipti žvilgsnį į šoninių figūrų svorio centrus, bandant nustatyti centrinės linijos galų vietas (Bulatov, 2008).

Seniausia yra hipotezė (Müller – Lyer, Lewis, Pieron), aiškinanti Miulerio-Lajerio iliuziją kaip dviejų priešingų faktorių – susiliejimo ir kontrasto – sąveikos rezultatą (Surkys, 2007).

Kitų iliuzijų paaiškinimus siūlo Gregory (1990) savo apžvalginuose darbuose. Pagal jį, ilgio suvokimo iškreipimus sukelia vaizdo detalės, lemiančios gylį arba perspektyvos pojūčius. Toks paaiškinimas tiesiogiai siejasi su dydžio konstantiškumo apraiška. Tačiau iliuzijų atsiradimas stebint figūras, neturinčias jokių gylio požymių, liudija prieš perspektyvos teoriją.

Geometrinės iliuzijas bandoma aiškinti, remiantis adaptacinio lygio teorijos principais, pagal kuriuos, ilgių palyginimas tiesiai proporcingas stimulo dydžiui ir atvirkščiai proporcingas stebėtojo adaptacijos lygiui (Surkys, 2007).

Svorio centro koncepcija nagrinėja grįžtamus ryšius, ateinančius iš akių judesių valdymo sistemos. Pagal šią koncepciją, suvokimo iškreipimai atsiranda dėl nevalingos tendencijos kreipti žvilgsnį į šoninių figūrų svorio centrus, bandant nustatyti centrinės linijos galų vietas (Surkys, 2007).

Antrajai grupei priklauso hipotezės, aiškinančios geometrinių iliuzijų fenomeną, remiantis žiniomis apie nervų sistemos anatomiją ir jos skirtingų dalių funkcinę organizaciją. Iliuzija išlieka ir tais atvejais, kai stebėtojai binokuliariai pateikiamos stereogramos, sudarytos iš atsitiktinai išbarstytų dėmelių rinkinių (Julesz, 1971). Tokiu atveju figūra, kaip sensorinis signalas, formuojamas ne žemiau pirminės regimosios žievės lygio, nes ji yra regos sistemos hierarchinė pakopa, kur jau galima informacijos, pateikiamos iš skirtingų akių, konvergencija (Bulatov, 2006).

Ginsburg (1979) pasiūlė idėją, pagal kurią dydžio suvokimo iškreipimai atsiranda dėl vaizdo filtracijos žievės žemų erdvinio dažnių kanaluose. Morgan ir Casco (1990) panaudojo panašų metodą Zöllner iliuzijos aiškinimui. Jų manymu, efektas atsiranda dėl vaizdo filtracijos žievės neuronų receptijos laukuose. Filtracija pakeičia linijų susikirtimo taškus miglota dėmele, ir jų padėtis tampa neapibrėžta (Bulatov, 2006).

Filtracijos procesai, keičiant erdvinio spektro dažnio komponentų tarpusavio santykį, neišvengiamai sukelia suvokiamo vaizdo skirtingų dalių dydžių ir formos iškreipimus. Iškreipimų dydis priklauso ir nuo filtruojančios sistemos parametrų, ir nuo vaizdo erdvinės struktūros (Bulatov, 2008).

Opell – Kundt figūra sudaryta iš linijų, kuri neturi jokių susikirtimo taškų. Bet iliuzija yra palyginti stipri: užpildyta figūros dalis atrodo ilgesnė už neužpildytą. Kaip ir Miulerio – Lajerio iliuzijos atveju, Opell – Kundt iliuzijos stiprumas priklauso nuo figūros

dalių ryškio ir spalvos kontrasto (Dworkin, Bross, 1998). Pagal Craven ir Watt (1989) Opell – Kundt iliuzija gali būti paaiškinta, remiantis jaudinimo profilio izoamplitudinių linijų kontūrų vidutinio tankio sąvoka: užpildyta figūros dalis atrodo ilgesnė už neužpildytą, todėl, kad užpildytos dalies jaudinimo profilis turi daugiau nulinio lygio kirtimų. Craven (1995) matavo Opell – Kundt iliuzijos dydį po stebėtojo adaptacijos stimului, sudarytam iš lygiagrečių linijų, ir negavo jokio iliuzijos stiprumo pasikeitimo. Tai leido jam atmesti teiginį, kad erdvinio kalibravimo mechanizmai lemia Opell – Kundt iliuziją (Bulatov, 2006).

Nepaisant daugybės egzistuojančių teorinių koncepcijų, nė viena iš jų nepasiekia pageidaujamo efekto. Jų siūlomi modeliai teikia rezultatus, kurie kiekybiškai skiriasi nuo eksperimentinių duomenų. Modeliai grindžiami dydžio konstantiškumo hipoteze, nusako efektus, kurie yra žymiai stipresni, negu rodo eksperimentai; filtracijos modeliai, priešingai, teikia pernelyg silpnus iškraipymus; orientacinių detektorių modeliai išvis nepritaikomi Miulerio-Lajerio iliuzijai. Kai kurie autoriai linkę manyti, kad iliuzijų atsiradimą įtakoja daugelis mechanizmų. Visgi kiti autoriai šiai nuomonei nepitaria (Bulatov, 2006).

1.3. Iliuzijų tyrimai Lietuvoje

Geometrinių iliuzijų tyrimai, padedantys aiškintis regos sistemos savybes, buvo atliekami Kauno medicinos universiteto Biologijos katedroje nuo 1990 metų. Pirmieji tyrimų objektai buvo Miulerio-Lajerio, Oppel-Kundt bei apibrėžto apskritimo stimulai ir jų modifikacijos (Surkys, 2007).

Miulerio-Lajerio iliuzijos stiprumas buvo matuojamas, keičiant stimulo parametrus: atraminės dalies ilgį, sparnelių vidaus kampą, figūros ryškio kontrastą, sparnelių ilgį bei stimulo pateikimo trukmę. Taip pat buvo atliekami eksperimentai su skirtingais Miulerio-Lajerio figūros variantais, pavyzdžiui, buvo keičiamas sparnelių kiekis, naudojama figūra be ašinės linijos, keičiamas figūros dalių išdėstymas arba figūros orientacija (Surkys, 2007).

Gauti rezultatai rodė, kad iliuzijos stiprumas didėja ilgėjant figūrai. Paaiškėjo, kad ši funkcija yra apytikriai tiesinė, ir iliuzijos stiprumas siekia 20-30 % figūros atraminės dalies ilgio. Taip pat buvo nustatyta, kad iliuzijos stiprumas priklauso nuo skirtingų stebėtojų. Parodyta, kad stiprumas gali skirtis net 2-3 kartus, nors kiekvienam iš stebėtojų iliuzijos stiprumo reikšmės, kaip rodo nedidelis duomenų statistinis išsibarstymas, yra pakankamai stabilios. Pašalinus figūros ašinę liniją, individualūs skirtumai ženkliai sumažėja (Bulatov, 2006).

Tiriant Oppel-Kundt iliuziją. Parodyta, kad Oppel-Kundt iliuzijos stiprumas taip pat tiesiškai priklauso nuo figūros atraminės dalies ilgio. Matuojant iliuzijos stiprumo

priklausomybę nuo figūros užpildytos dalies brūkšnelių kiekio, buvo gaunama kreivė su maksimumu ties skaičiais 7-12. Šios kreivės maksimumo padėtis nepriklausė nuo figūros dydžio. Taip pat iliuzijos stiprumas nepriklausė nuo figūrą sudarančių brūkšnelių ilgio. Todėl tam tikrose eksperimentų serijose buvo naudojama Oppel-Kundt figūros modifikacija, sudaryta iš taškų arba dėmelių (Surkys, 2007).

Naujas svarbus žingsnis iliuzijų tyrimo istorijoje, kuris priklauso Lietuvos tyrėjams, yra iliuzinių vaizdų superpozicija. Tam buvo naudojami stimulai, kuriuos sudarė dvi figūros, sudėtos viena su kita ir pateikiamos vienu metu. Pavyzdžiui, buvo sudedamos dvi Miulerio-Lajerio figūros, kurios skiriasi orientacija ir kontrastu. Figūrų ilgiai buvo vienodi, ir sparnelių viršūnių padėtis sutapdavo, todėl bendra figūra buvo panaši į trijų kryžiuokų rinkinį. Kaip ir anksčiau, viena sudėtinės figūros dalis buvo laikoma atramine, ir jos ilgis nesikeisdavo, o kitos, bandomosios dalies, ilgį stebėtojas galėjo keisti, siekdamas subjektyvaus abiejų dalių ilgių vienodumo. Viena iš sudedamų figūrų buvo laikoma pasyviaja, ir jos kontrastas arba kiti parametrai nesikeisdavo, o kita – aktyviaja, kurios parametrai, pavyzdžiui ryškio kontrastas, sparnelių ilgis ir polinkio kampas galėjo keistis (Surkys, 2007).

Kitas naujas Lietuvoje atliekamų tyrimų bruožas – skirtingi stebėjimo būdai. Vienuose eksperimentuose stebėtojai matė sudėtinius stimulus viena akimi (monoptiniai stimulai), kituose – kiekviena iš stimulo figūrų buvo pateikiama į skirtingas akis (dichoptiniai stimulai). Pastaruoju atveju abi figūros susilieja į vieną ir stebėtojas mato vieną bendrą stimulą. Binokulinių stimulų susiliejimą lengvina vienodi fono parametrai bei specialios optinės prizmės (Bulatov, 2005).

Kontrolinių eksperimentų duomenys, tiriant pavienes Brentano ir Oppel-Kundt figūras, rodo, kad iliuzijos stiprumas iš tiesų nepriklauso nuo bendro figūros ryškio. Toks rezultatas sutampa ir su literatūros duomenimis (Bulatov, 2005).

Sudėjus kartu Oppel-Kundt figūrą, kuri atliko aktyviosios stimulo dalies vaidmenį, ir trijų vertikalių brūkšnių figūrą, kuri buvo pasyvioji stimulo dalis, iliuzijos stiprumas kinta, keičiant Oppel-Kundt figūros ryškio amplitudę. Iliuzija tampa stipresnė, kai abi figūros turi tą patį ryškio amplitudės ženklą (kai visi brūkšneliai balti) ir silpnesnė – priešingu atveju, kai vienos figūros brūkšneliai balti, kitos juodi. Iliuzija išnyksta, kai aktyvios figūros ryškis sutampa su fonu, nes matoma lieka tik trijų brūkšnelių figūra. Iliuzijos stiprumo skirtumas, esant priešingiems ryškio amplitudžių ženkliams, gali atsirasti dėl to, kad Oppel-Kundt figūros dalis atrodo turinti mažiau brūkšnelių (Surkys, 2007).

Tam tikros eksperimentų serijos su monotipiniais stimulais buvo skirtos erdvinių stimulo parametrų įtakos iliuzijų stiprumui tirti. Stimulai buvo sudaromi iš dviejų Miulerio-

Lajerio figūrų. Nustatyta, kad, didinant aktyviosios ir pasyviosios figūrų sparnelių ilgių skirtumą, didėja absoliutus iliuzijos stiprumas. Taip pat, didinant sparnelių vidaus kampo skirtumą, iliuzijos stiprumas auga (Surkys, 2007).

Iliuzijos stiprumas nekinta, keičiant nuotolį (vertikalų atstumą tarp horizontaliai orientuotų figūrų) nuo 0 iki 24 kampo minučių (Bulatov, 2005). Tačiau, kai abi figūros pateikiamos monoptinio stimulo pavidalu, iliuzijos stiprumas didėja, didėjant nuotoliui tarp figūrų, bet augimas sustoja, kai atstumas pasiekia 6 kampo minutes.

Originalūs ir reikšmingi duomenys, gauti Lietuvoje tiriant dydžio suvokimo iškraipymus, apibūdina iliuzijų ir regos lauko anizotropijos bendros raiškos dėsnumus. Tam tikslui eksperimentai buvo padalinti į dvi dalis. Pirmosios dalies eksperimentuose buvo naudojami trijų dėmelių stimulai, ir Oppel-Kundt figūros, sudarytos iš tokių pačių dėmelių (Bulatov, 1999). Trijų dėmelių figūra įgalina tirti regos lauko anizotropijos charakteristikas, nes figūros dalys turi identišką struktūrą, ir erdvinės filtracijos įtaka ilgių suvokimo deformacijoms šiuo atveju yra minimali. Buvo naudojamos keturios atraminės dalies orientacijos (0, 90, 180 ir 270 laipsnių). Bandomosios stimulo dalies orientacija buvo keičiama nuo 0 iki 360 laipsnių. Stebėtojo uždavinys buvo sulygtinti atraminės ir bandomosios figūros dalių ilgius, valingai kreipiant žvilgsnį į centrinę stimulo dėmelę. Buvo gautos keturių meridianų skalių skirtuminės charakteristikos. Keturios kreivės skiriasi tarpusavyje ir forma, ir kiekybinėmis reikšmėmis. Jos iliustruoja, kaip keičiasi dydžio vertinimo skalės, priklausomai nuo orientacijos. Pavyzdžiui, horizontalaus meridiano skalės atžvilgiu visų kitų orientacijų skalės atrodo daugiau arba mažiau ištemptos. Ištempimas auga nuo 0 iki 105 ir nuo 180 iki 210 laipsnių, bet mažėja nuo 130 iki 180 ir nuo 220 iki 360 laipsnių. Maksimumų reikšmės yra nevienodos, vadinasi, apatinės ir viršutinės regos lauko dalių skalės yra skirtingos (Surkys, 2007).

Antrojo bloko eksperimentuose buvo naudojamos modifikuotos Oppel-Kundt ir Miulerio-Lajerio figūros. Oppel-Kundt figūros atraminė dalis buvo sudaryta iš dešimties dėmelių. Bandomąją stimulo dalį sudarė tuščias intervalas tarp atraminės dalies krašto dėmelės ir stimulo galo dėmelės. Miulerio-Lajerio figūros atraminė stimulo dalis buvo ribojama dviem sparnelių poromis, ašinės linijos nebuvo (Bertulis, 2003).

Kreivės, gautos eksperimentuose su Oppel-Kundt ir Miulerio-Lajerio figūromis, skiriasi nuo atitinkamų kreivių, gautų eksperimentuose su trim dėmelėmis. Šiuo atveju bendrą rezultatą lemia ir regos lauko anizotropija, ir geometrinės iliuzijos kartu. Nepriklausomai nuo stimulo atraminės dalies orientacijos, maksimalus bendras suvokimo deformacijos stiprumas yra pasiekiamas tada, kai figūros vidinis kampas yra artimas 180 laipsnių. Papildomai buvo

įvertinta horizontalumo ir vertikalumo įtaka Oppel-Kundt iliuzijai. Iliuzijos stiprumas buvo matuojamas keičiant figūros ilgį. Panaudotos keturios stimulo orientacijos (Bertulis, 2003).

Atlikus skaičiavimus ir atėmus anizotropijos poveikį iš bendro dviejų deformacijų rezultato, buvo gauti įrodymai, kad abiejų geometrinių ilgio iliuzijų (Oppel-Kundt ir Miulerio-Lajerio) stiprumas nepriklauso nuo orientacijos regos lauke. Stimulo orientacijos įtaka ilgio suvokimo deformacijoms lemia tik regos lauko anizotropija, t.y. įvairių orientacijų skalių netolygumas (Surkys, 2007).

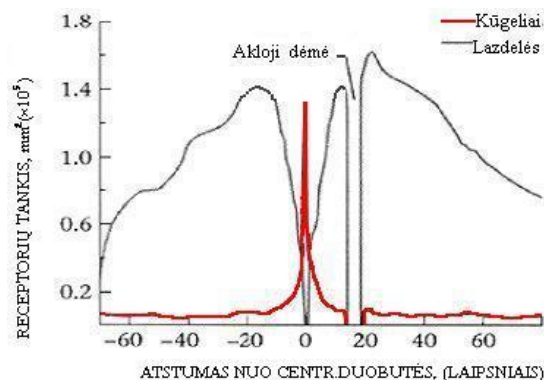
Šalia minėtų darbų Lietuvos tyrėjai atliko visą eilę eksperimentinių tyrimų, skirtų į apskritimą įbrėžto daugiakampio iliuzijai. Įbrėžti trikampiai, keturkampiai bei penkiakampiai iškreipdavo apskritimo formą, ir apskritimo lankai atrodė išlenkti į išorę. Iliuzijos stiprumas didėjo didėjant figūros dydžiui. Trikampiams iliuzija buvo stipriausia, o penkiakampiams – silpniausia. Šioje iliuzinėje figūroje galima įžvelgti Miulerio-Lajerio stimulo elementų, kurių skaičius ir išdėstymas stimulo plokštumoje yra visai kitoks. Šiuo metu dar nėra žinoma, ar dėl šių elementų įtakos gali atsirasti formos suvokimo iškreipimai (Gutauskas, 2005).

2. ŽMOGAUS REGA IR AKIŲ JUDESIAI

2.1. Rega – daugiakanalė informacijos apdorojimo sistema

Regėjimas tai viena iš svarbiausių pasaulio pažinimo priemonių, nes per jį iš aplinkos žmogus gauna apie 90 procentų visos sensorinės informacijos. 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.

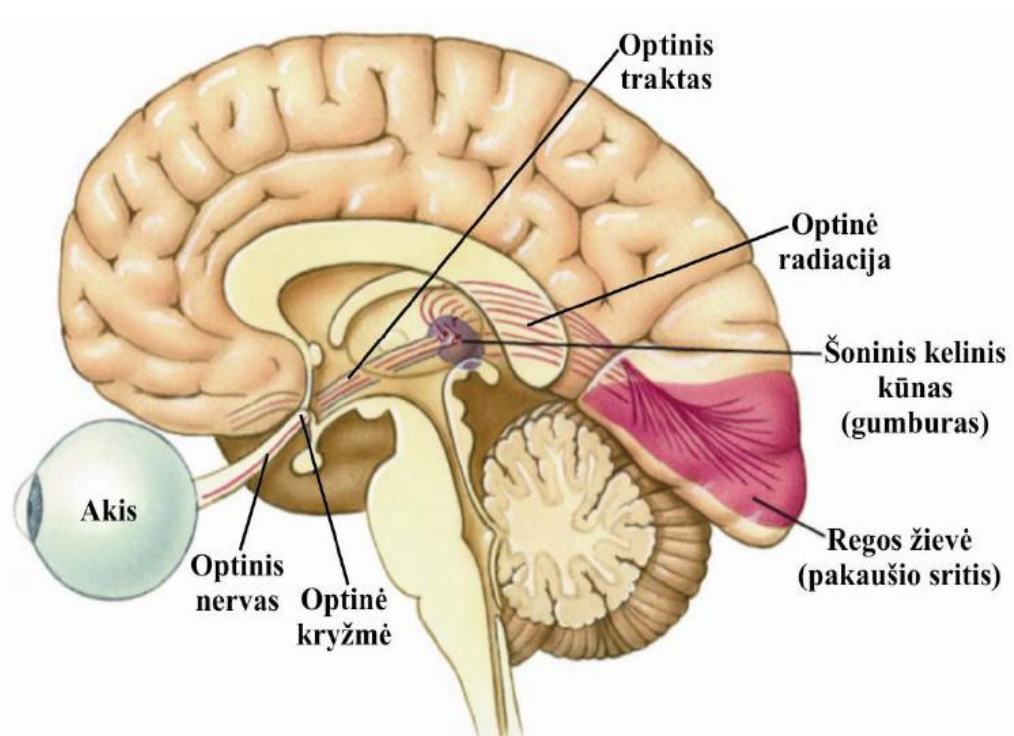
Žiūrint į daiktą, šviesos spinduliai atsispindi nuo jo ir patenka į rageną. Šviesos spinduliai yra nukreipiami, laužiami ir fokusuojami ragenos, lęšiuko ir stiklakūnio. Lęšiuko funkcija yra sufokusuoti spindulius taip, kad jie susikirstų tinklainėje. Čia yra apie 130 mln. stiebelių ir apie 5 mln. kūgelių. Stiebelių dėka mes matome prieblandoje ir net naktį. Esant geroms apšvietimo sąlygoms, matome kūgelių dėka. Šie sensoriai yra netolygiai pasiskirstę tinklainėje. Centrinėje tinklainės dalyje, geltonojoje dėmėje, stiebelių visai nėra. Čia išsidėstę vieni kūgeliai, ir labai tankiai. Kaip tik ši tinklainės dalis ir turi didžiausią skiriamąją gebą. Geltonosios dėmės laukas labai nedidelis, apie 1° , bet kaip tik juo dažniausiai naudojames, nukreipdami žvilgsnį į kokį nors objektą. Tuo tarpu lazdelių tankis didėja einant į periferiją nuo centrinės duobutės, didžiausias tankis yra 20° atstumu nuo centrinės duobutės. Kaip kinta kūgelių ir stiebelių tankis tinklainėje, matyti 1 paveikslėlyje (Blužienė, 2005; Lašas, 1954; Lipps, 2004).



3 pav. Centrinės duobutės padėtis ir receptorių tankis tinklainėje (Lipps, 2004).

Objekto vaizdai pasislinkus tik 2° nuo centrinės duobutės, regos aštrumas sumažėja panašiai apie 50 %. Kad mūsų matomas vaizdas būtų ryškus, akys turi labai greitai judėti regėjimo lauko plote, kad vaizdo projekcija išliktų 0,5° centrinės duobutės ribose. Todėl nenuostabu, kad nervinės sistemos ir regos analizatoriaus evoliucijos eigoje susiformavo gausybė struktūrų, jungiančių sensorinius ir motorinius regos komponentus. Už šių funkcijų suderinamumą ir kontrolę atsako daugiau nei 30 smegenų zonų (Lašas, 1954; Rao, 1996).

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, 1997).



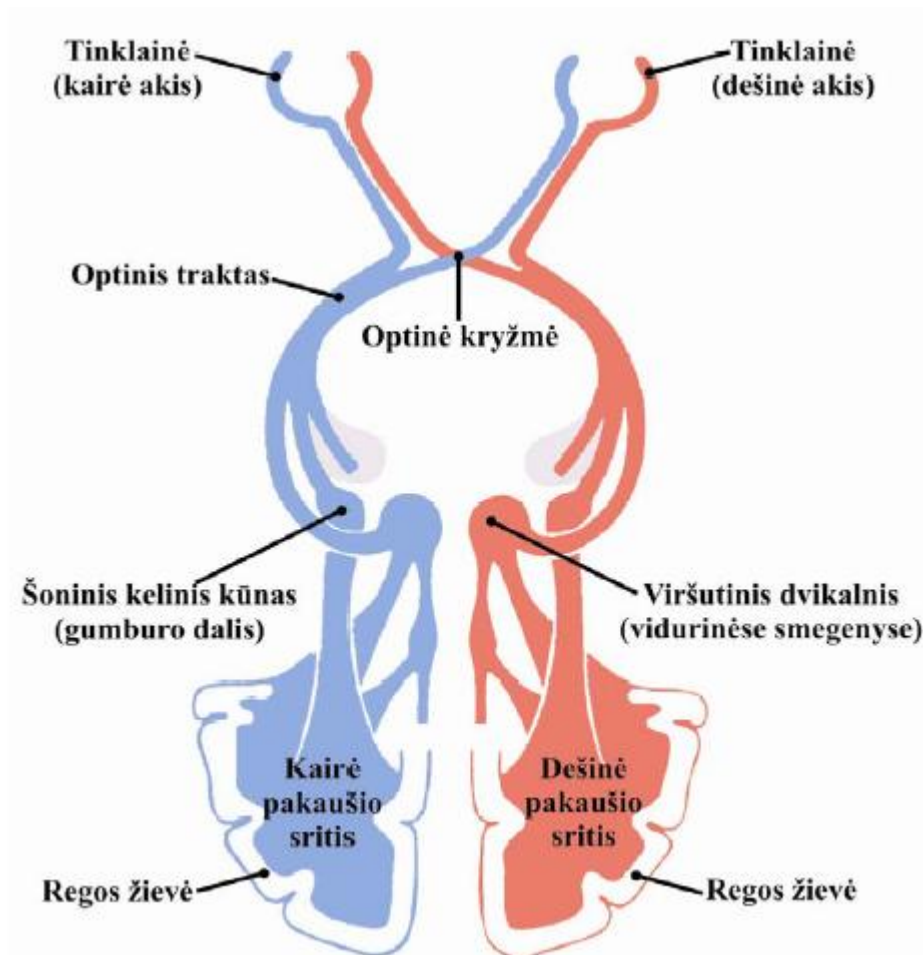
4 pav. Regos kelias (<http://ausis.gf.vu.lt/pub/neurobio/BIOLOGAMS/regas.pdf>)

Centrinis matymas yra susijęs su spalvų bei mažų vaizdo detalių išskyrimu, už tai yra atsakinga specifinė tinklainės dalis – geltonoji dėmė (*macula lutea*) ir jos artimoji aplinka, kurioje gausu kolbelių. Likusioje tinklainės dalyje yra lazdelės, kurios jautresnės už kolbeles, todėl gali būti suaktyvintos ir silpnos šviesos. Taip pat formuojami lazdelių nerviniai tinklai yra ypač jautrūs judesiui bei mirgėjimui. Lazdelių nerviniai tinklai yra atsakingi už periferinį matymą, kurio dėka mes aptinkame objektus matymo erdvėje. Esant reikalui objektas, akių judesių pagalba, lokalizuojamas į centrinę tinklainės dalį ir

panaudojamas centrinis matymas. Centrinis regos laukas atitinka apie 10 laipsnių į visas puses nuo centrinės geltonosios dėmės duobutės, periferinis – dar papildomus 90 laipsnių. Visa išorinio pasaulio dalis, kuri vienu metu gali būti atvaizduojama mūsų akių tinklainėse vadinama regos lauku (Kėvelaitis, 2006).

Informacija tinklainėje perduodama vertikaliais neuroniniais keliais, per dvipoles ląsteles į mazgines ląsteles, ir horizontaliais – per gulsčiausias ir amakrines 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 perdirbimas suteikia centrinei nervų sistemai skirtingos informacijos. Įjungties centro mazginės ląstelės į recepcijos lauko centro apšvietimą reaguoja veikimo potencialų dažnėjimu, o į 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 „spaikus“ – trumpus veikimo potencialų impulsus. Mazginių ląstelių recepcijos laukų jaudinimo pokyčiai yra koduojami „spaikų“ pasikartojimo dažniais. Štai šiuos kodinius signalus ir gauna smegenys (Kėvelaitis, 2006).

Regos signalai iš tinklainės eina regos nervu į požiivio struktūras ir smegenų žievę. Tinklainės mazginių ląstelių aksonai sudaro regos nervą ir pasiekia regos nervų kryžmę. Ten vidinių tinklainės dalių aksonai susikryžiuoja ir pereina į priešingą pusę, o šoninių tinklainės dalių aksonai toliau eina ta pačia puse. Nuo regos nervų kryžmės prasideda regos laidai, einantys iki šoninių kelinių kūnų. Kairiojo regos laido aksonai perduoda informaciją iš abiejų akių dešiniųjų regėjimo lauko pusių. Vaizdinė informacija iš centrinės tinklainės dalies patenka į pirminės regos žievės pakaušinės skilties išorinę dalį, o iš periferinės tinklainės dalies – į vidinę jos dalį (Kėvelaitis, 2006).



5 pav. Regos projekcijos (<http://ausis.gf.vu.lt/pub/neurobio/BIOLOGAMS/rega.pdf>)

Objekto vieta ir jo tapatybė nustatoma skirtingose aukštesniosios regos žievės zonose. Momeninė žievė dalyvauja nustatant objekto vietą bei savo kūno ir aplinkos erdvinius santykius. Žievės sritys susijusios su objekto judesių suvokimu, integruoja signalus iš pirminės regos žievės ir akių motorinių centrų, esančių smegenų kamiene. Smilkininės žievės zonos dalyvauja regimųjų objektų formos atpažinime bei jų identifikavime (Kėvelaitis, 2006).

Kiekvienos akies regėjimo lauko smilkinio pusėje yra akloji dėmė, neigiama skotoma, kuri atitinka regimojo nervo optinį diską, t.y. vietą, kurioje nervas išeina iš akies. Šioje vietoje nėra šviesos receptorių (lazdelių ir kolbelių), todėl šviesa, krentanti į ją, nematoma. Dėl šios priežasties mūsų suvokiamas vaizdas ne visiškai atitinka tai, ką matome. Akloji dėmė – fiziologinis regėjimo lauko defektas. Defektas paprastai nejuntamas, nes antrosios akies regėjimo laukas jį kompensuoja (Kėvelaitis, 2006).

Regos sistema optimaliai panaudoja vaizdų statistinius ypatumus jų ekonomiškam kodavimui, todėl akis neperkrauna smegenų – neperdavinėja informacijos apie tai, kas nesikeičia. Signalai siunčiami tik iš tų tinklainės vietų, kuriose įvyksta jaudinimo pokyčiai. Nejudantys vaizdai suvokiami dėl nuolat vykstančių akių judesių. Akis pastebi gana mažus ryškumo skirtumus, nes jie yra sustiprinami regos neuroniniuose tinkluose. Dėl diferencijavimo procesų (jautrio dirginimo pokyčiams) vaizdų kontūrai išryškinami jau akies tinklainės lygyje. Informacija, gauta iš to, kas suprojektuota tinklainėje, analizuojama, vyksta jos ir interpretavimas – suvokimas, leidžiantis atpažinti konkrečius objektus (Laurutis, 2010).

Rega iš esmės yra laikoma sensorine funkcija, nes ji suteikia daugiausiai informacijos apie mus supantį pasaulį. Tačiau dėl gerai išvystyto centrinio matymo ir dėl to atsiradusio poreikio nukreipti žvilgsnį į pasirinktą objektą, regos sistema taip pat pasižymi geromis motorinėmis savybėmis. Tokiu būdu regos sistemą išskirtinai galime laikyti kartu turinčią geras tiek sensorines tiek motorines savybes (Laurutis, 2010).

2.2. Akių judesiai ir jų reikšmė regai

Akis – labai judrus organas. Jos natūralus režimas, žmogui nemiegant, galima sakyti, yra judėjimas. Fiksuojant kurį nors tašką, beveik visą laiką akis nukrypsta nuo jo, atlikdama nevalingus judesius į šalį (Lašas, 1965).

Žmogaus stebimas vaizdas akies optine sistema yra suprojektuojamas į tinklainę. Receptorių tankumas tinklainėje nėra vienodas. Tankiausiai jie yra išsidėstę geltonojoje duobutėje (fovea). Todėl ir vaizdas matomas ryškiausiai, kai jis suprojektuojamas į fovea. Dėl šios priežasties akys nuolat juda, kad mus dominančių objektų vaizdus patalpintų į jautriausią akies tinklainės sritį. Akies judesiai yra labai svarbūs atliekant vaizdų palyginimą. Jie nukreipia akies centrinę duobutę taip, kad pasirinktų objektų vaizdai atsidurtų joje, kur juos būtų galima pilnai išanalizuoti (Daunys, 1999).

Akies judesiai leidžia mums skenuoti vizualinį lauką, sukaupti mūsų dėmesį į scenos dalis, kurios suteikia didžiausią informacinę reikšmę. Taip pat akies judesiai kompensuoja fiksuojamo objekto judėjimą (Daunys, 1999).

Akies judesiai atsiranda ir keičiant galvos padėtį, jie taip pat turi kompensacinį pobūdį. Ilgą laiką ir buvo manoma, kad tai yra pagrindinės akies judesių funkcijos. Tačiau paaiškėjo, kad jie labai svarbūs normaliam regėjimo suvokimui. Akies judesiai atliekami ir įdėmiai stebint tinklainės atžvilgiu stabilų objektą. Kadangi nejudantis vaizdas tinklainėje po 1-3 s išnyksta dėl taip vadinamo „tuščio lauko“ fenomeno, todėl miniatiūriniai akies judesiai

neleidžia pradingti vaizdai. Žmogaus akys gali judėti iki 700 laips/s greičiu. Vidutiniškai žmogus per dieną atlieka apie 100 000 akies judesių (Daunys, 1999).

Akies obuolio, kaip kieto kūno, sukamieji judesiai yra aprašomi trimis laisvumo laipsniais – posūkiomis apie tris statmenas ašis. Žiūros liniją iš esmės nulemia tik du kampiniai posūkių apie horizontalią ir vertikalią ašis. Akies obuolio posūkis apie regėjimo ašį – trečiasis laisvumo laipsnis – yra nedidelis ir nusakant žmogaus žiūrėjimo kryptį didesnės įtakos neturi (Carpenter, 1988).

Nors žmogaus okulomotorinė sistema atlieka įvairias funkcijas, tačiau, registruojant ir analizuojant akies obuolio kampinių posūkių laikines diagramas, buvo pastebėti tam tikri dėsniniai, leidžiantys klasifikuoti akies judesius pagal būdingus požymius (Carpenter, 1988; Robinson, 1981).

Akies judesiai yra skirstomi į penkias pagrindines grupes:

1. Sakados – sąmoningi arba refleksiniai akies judesiai.
2. Tolygaus sekimo judesiai – refleksiniai judesiai.
3. Vestibulo-okuliariniai judesiai – kompensuoja galvos judesius.
4. Optokinetiniai judesiai – kompensuoja aplinkos judėjimą galvos atžvilgiu.
5. Vergentiniai judesiai – garantuoja stabilią abiakę fiksaciją.

2.2.1. Sakados

Sakados labai greiti, trumpi ir balistiniai akies judesiai, kurie gali atsirasti nevalingai, reaguojant į aplinkoje atsiradusį optinį arba akustinį stimulą (nevalingos sakados), arba valingai, kada žvilgsniu tyrinėjame aplinką arba skaitome tekstą (sąmoningos sakados). Akies judesiai, kurie vyksta miego metu taip pat priskiriami nevalingiems akies judesiams (Carpenter, 1988; Martinez-Conde, 2004).

Tai matavimo rezultatuose labiausiai išsiskiriantys judesiai, pastoviai sutinkami įvairiuose eksperimentuose. Jie sutinkami ir perkeliant dėmesį į kitą objektą, ir skenuojant matymo lauką ar didesnių matmenų objektą. Sakadų dėka stebimas objektas dažniausiai atsideria priešais fovea – jautriausią akies tinklainės sritį (Daunys, 1999).

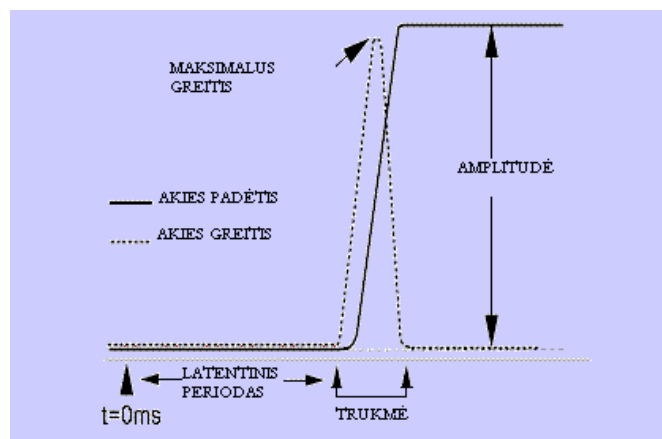
Sąmoningas sakadas kontroliuoja premotoriniai laukai, esantys frontalinėje smegenų dalyje. Atsiradus pažeidimams arba šios dalies disfunkcijai, žmogus nebegali perkelti fiksacijos iš vienos vietos į kitą, tam jis turi arba trumpam užsimerkti, arba uždengti ranka akis. Nevalingos sakados yra kontroliuojamos refleksinių akies judesių centro,

viršutinio keturkalnio kalnelio (lot. *colliculus superior*). Sakados atliekamos abiem akimis. (Lipps, 2004).

Sakados vizualinis stimulus yra objekto poslinkis. Sekdama momentinį objekto pozicijos pasikeitimą, žmogaus okulomotorinė sistema reaguoja atlikdama sakadą, tačiau prieš tai nuosekliai atliekami sekantys veiksmai:

- a) nustatomas šuoliuko pradžios momentas;
- b) užtikrinamas reikalingas akies greitis;
- c) parenkamas toks akies sustojimo momentas, kad įvyktų naujo taško fiksacija.

Sakados apibūdinamos naudojant tam tikrus parametrus, kurių grafinė išraiška matoma 6 paveiksle.



6 pav. Pagrindiniai sakados parametrai (Cromer, 2006)

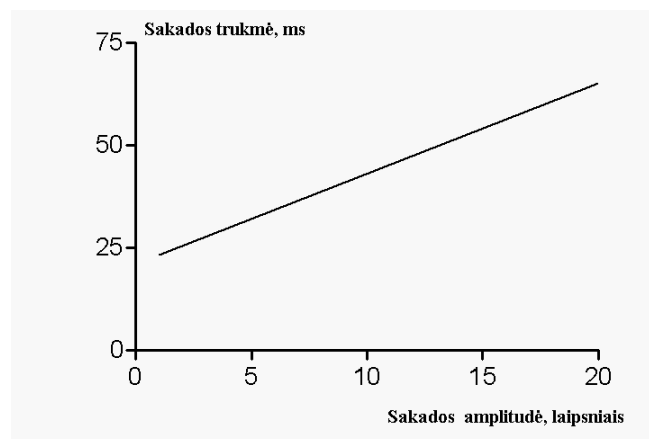
Amplitudė – tai sakados dydis, dažniausiai matuojamas laipsniais. Amplitudė apibūdina sakados tikslumą. Amplitudės diapazonas yra labai platus nuo kelių minučių iki kelių laipsnių. Pagal amplitudės dydį sakados skirstomos į pagrindines, jas galima lengvai stebėti „plika akimi“, ir antraeilės sakadas, jų stebėjimui reikalingi specialūs instrumentai. Pagrindinių sakadų amplitudė yra didesnė nei $1,2^\circ$, jos dar skirstomos į dideles ($>6,2^\circ$) ir mažas (nuo $1,2^\circ$ iki $6,2^\circ$). Antraeilės sakados gali būti skirstomos į minisakadas, kurių amplitudė yra nuo $0,033^\circ$ iki $1,2^\circ$, ir mikrosakadas, kurių tipinė amplitudė yra $0,01^\circ$ (Knox, 2007; Wade ir kt., 2003). Fiksacijos – tai laiko intervalas be sakadų, kurių metu vyksta informacijos apdorojimas. Nejudančio taško fiksacijos metu akys nuolatos atlieka beveik nepastebimus, nevalingus mikrojudesius (Carpenter, 1988; Martinez-Conde, 2004; Ярбѳс, 1965).

- 1) tremoras – tai smulkūs, dažni akių judesiai, kurių amplitudė matuojama kampinėmis sekundėmis, kartais siekiantys vieną kampinę minutę, atsirandantys dėl akies raumenų susitraukinėjimo. Svyravimo dažnis kinta tarp 30-150 Hz.
- 2) dreifas (slinkimas) – labai lėti, plaukiojantys akių judesiai, kurių metu fiksacijos taškas pasislenka nuo fiksuojamo objekto. Dreifą nutraukia mikrošuoliukai, gražinantys fiksacijos tašką į pradinę padėtį.
- 3) mikrosakados arba kitaip vadinami mikrošuoliukai atlieka korekcinis judesius, atstatančius teisingą objekto fiksaciją, kuri pasikeičia tremoro ar dreifo metu (Blužienė, 2005; Carpenter, 1988; Martinez-Conde, 2004).

Greitis. Pats didžiausias greitis (maksimalus greitis) pasiekiamas sakados viduryje. Sakadų greičio grafikas yra panašus į varpelį, kurio kreivės yra simetriškos. Sakados greitis yra tiesiogiai proporcingas sakados amplitudei, t.y. kuo amplitudė didesnė, tuo sakados greitis didesnis, kartais pasiekia net 200-600 laips/s (<http://www.4colorvision.com/reading/saccades.htm>).

Trukmė. Tai laikas, kurio metu užtrunka sakados atlikimas. Taip pat trukmę labai lengvą išmatuoti pagal greičio kreivę. Jei greitis yra didelis, dauguma sakadų yra atliekamos per kelias dešimtąsias milisekundės (ms). Kadangi sakada trunka labai trumpai, vizualinis grįžtamasis ryšys nevyksta ir judesio metu sakada negali orientuotis į taikinį. Todėl smegenys turi duoti labai tikslią komandą dar prieš sakados pradžią (Carpenter, 1988).

Sakados trukmė nuo amplitudės priklauso logaritminiu dėsniu (7 pav.).



7 pav. Sakadų amplitudės ir trukmės priklausomybės grafikas

Latentinis periodas. Tai laiko trukmė nuo judančio objekto pasirodymo iki sakados reakcijos pradžios. Vidutinių amplitudžių (5° - 10°) sakadų latentinis periodas yra apie 200-

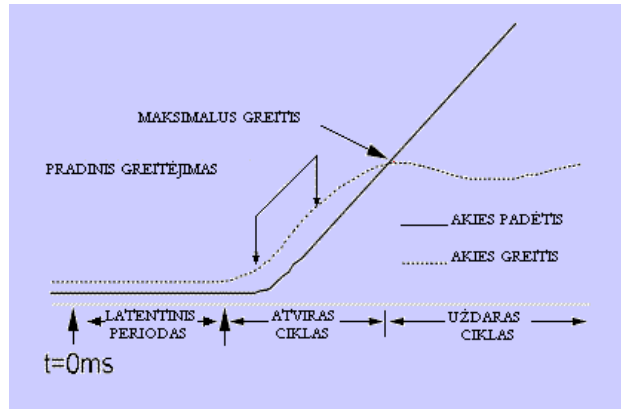
250 ms, bet gali būti trumpesnis (apie 70 ms), arba ilgesnis (apie 350 ms) priklausomai nuo atstumo iki objekto. Latentinio periodo metu apskaičiuojama taikinio padėtis tinklainės atžvilgiu, t.y. apskaičiuojama kiek akis turi pajudėti, kad užfiksuotų taikinį. Šis skirtumas tarp pradinės ir numatomos akies padėties yra paverčiamas motorine komanda, kuri aktyvuoja ekstraokuliarinius raumenis. Jie pasuka akį atitinkama kryptimi.

2.2.2. Tolygaus sekimo judesiai

Kai regėjimo lauke yra judantis objektas, sakados iš pradžių jį užfiksuoja, bet vėliau pameta, nes objekto vaizdo projekcija tinklainėje pasislenka nuo centrinės duobutės. Šis poslinkis sąlygoja sekančią sakadą. Tolygaus sekimo judesiai gali šį objektą sekti tolygiai. Tolygaus sekimo judesiai yra konjuguoti. Akis gali sekti objektą, kurio greitis nedidesnis nei 60-80 laips/s. Jei objektas juda greičiau nei 80 laips/s, tolygaus sekimo metu, kas 0,3-2 s atsiranda koreguojančios sakados, kurių dėka fiksuojamas vaizdas nenutolsta daugiau kaip 2° nuo centrinės duobutės. Jei objekto greitis yra didesnis nei 180 laips/s, dažniausiai tokie akies judesiai koordinuojami atitinkamais galvos judesiais. Galvos ir akies judesių koordinacija vyksta žvilgsnio valdymo centruose, esančiuose smegenų kamiene (Carpenter, 1988; Ярбѳс, 1965).

Tolygaus sekimo sistema turi apskaičiuoti judančio objekto greitį, kad akies greitis būtų labai panašus. Tokiu būdu atkartoti tolygaus sekimo be vizualinio stimulo (judančio objekto) neįmanoma. Sekimo elgesys priklauso sąmoningai kontrolei, mes galime tik pasirinkti ar sekti stimulą ar ne. Tolygaus sekimo sistema naudojami atsakomąja reakcija į vaizdinį ir yra daug lėtesnė nei sakados (<100 laips/s).

Tolygaus sekimo akies judesių parametrai yra sunkiau išmatuojami ir jie nėra tokie stereotipiški kaip sakadų. Tolygaus sekimas susideda iš dviejų fazių – pradinės fazės (pradžios) ir palaikymo fazės. Akis tam tikrą laiką nesureaguoja į judantį objektą, nes jį turi pastebėti regos centrai ir duoti signalą.



8 pav. Tolygaus sekimo grafikas ir jo pagrindiniai parametrai (Cromer, 2006)

Pradinis greitėjimas – tai yra akies greičio pokytis. Pirmas 20 ms akis nesureaguoja į objektą, sekančias 80 ms objekto greitis ir pozicija turi didelę įtaką greičio didėjimui. Prasidėjus sekimui, 100 ms vyksta atviras ciklas. Kadangi regos sistema vėluoja, nėra atsakomosios reakcijos į vaizdinį. Kada reakcija atsiranda, prasideda uždaras ciklas, kurį gali pagreitinti išoriniai informaciniai šaltiniai (Carpenter, 1988; Ярбѳyc, 1965).

Maksimalus greitis. Po sekimo judesių atsiradimo, akies greitis dažniausiai didėja iki maksimumo ir tada, arba palengva mažėja, arba susilygina su judančio objekto greičiu. Maksimalus greitis gali būti naudojamas randant santykinio greičio reikšmę, kuri yra lygi maksimalaus greičio ir taikinio (judančio objekto) greičių santykiui. Santykinio greičio reikšmė dažniausiai yra lygi objekto greičiui.

Latentinis periodas – tai laiko tarpas nuo taikinio pasirodymo iki sekimo judesių pradžios. Sekimo judesių pradžią sunku nustatyti, todėl jie dažniausiai matuojami pagal greičio kreivę (Carpenter, 1988).

2.2.3 Vestibulo – okuliariniai judesiai

Tolygaus sekimo judesiai stabilizuoja judančio objekto vaizdą centrinėje duobutėje 1 laipsnio tikslumu, o vestibulo-okuliariniai judesiai reikalingi stabilizuoti nejudančio objekto fiksavimą, judant galvai. Pasisukus galvai, akis pasisuka atgal, kad išlaikytų tą patį fiksacijos tašką. Laikinus galvos pozicijos pasikeitimus, ši sistema koreguoja akies judesiais priešingais galvos judesio kryptims. Jie yra susiję su vestibulo-okuliariniu refleksu. Lyginant su sakadų latentiniu periodu (200 ms), vestibulo-okuliariniai judesių latentinis periodas yra ypač trumpas (10 ms). Tačiau vestibulo-okuliarinių judesių sistema reaguoja greičiau nei tolygaus sekimo sistema ir jai nereikia vizualinio stimulo (Carpenter, 1988).

Pagrindinis galvos judesių sensorius yra vestibuliarinis aparatas, esantis vidinėje ausyje. Sensorinė informacija iš vestibuliarinio aparato kanalų pasiekia smegenis ir ten paverčiama į motorinę komandą akies raumenims, kurie pasuka akis kryptimi, kompensuojančia galvos judesius (Carpenter, 1988).

Vestibulo-okuliariniai judesiai greičiau atsiranda esant trumpiems ir dažniems galvos judesiams, bet lėčiau – nepertraukiamiems arba retiems galvos judesiams. Pastaruoju atveju atliekami tolygaus sekimo judesiai. Kada pasiekiamas pastovus greitis, vestibuliarinio aparato signalai nyksta, netgi tuo atveju, kada galvos judesiai tęsiasi (Carpenter, 1988).

2.2.4. Optokinetinis nistagmas

Jie pasireiškia, galvai judant aplinkos atžvilgiu arba judant aplinkai galvos atžvilgiu, ir stabilizuoja daikto vaizdą tinklainėje. Objektas fiksuojamas sekamaisiais judesiais, o sakadiniai judesiai į priešingą pusę nustato naują fiksacijos tašką. Būtent ši seka vadinama nistagmu. Nistagmo metu akis juda pirmyn ir atgal pasikartojančiu judesiu (Lašas, 1965).

Nistagmą sudaro lėta fazė, panaši į tolydinį sekimą, kai akis nukrypsta į šoną, ir greita fazė, kai akis sugrįžta į pirminę padėtį. Vergentiniai judesiai svarbūs, kai stebimas objektas yra arti. Tuomet kairiosios ir dešinėsios akių judesiai turi būti skirtingi, kad abi akys galėtų nukreipti fovea į tą patį tašką (Lašas, 1965).

Optokinetinio nistagmo trukmė apie 100 ms, o greitis gali būti iki 60 laips/s. Nistagmas gali atsirasti ir neurologinių ligų atveju (Carpenter, 1988).

2.2.5. Vergentiniai judesiai

Vergentiniai judesiai leidžia abejomis akimis žiūrėti į objektus, nutolusius įvairiais atstumais. Šie judesiai yra nekonjuguoti, t.y. jie nukreipia akis priešingomis kryptimis, sukeldami konvergenciją (kada žiūrime iš tolio į artumą) ir divergenciją (kada žiūrime iš artumo į tolį) (Carpenter, 1988; Lašas, 1965).

Konvergencija yra viena iš trijų nevalingų reakcijų, sukeltų arti esančio objekto. Kitos šios artumo reflekso triados dalys yra lęšiuko akomodacija, kurios dėka objektas fokusuojamas, ir susiaurėjęs vyzdys, kuris padidina tinklainėje suprojektuoto vaizdo ryškumą. Vergentiniai judesiai gali atsirasti yra dėl diplopijos, t.y. dvejinimosi akyse, arba neryškaus vaizdo tinklainėje (Carpenter, 1988). Diplopija sukelia fuzinę vergenciją, o miglotas vaizdas akomodacinę konvergenciją. Kai kurie žmonės gali sąmoningai konverguoti akis.

Vergentiniai judesiai yra lėtesni už kitus akių judesius. Jų greitis yra apie 20 laips/s, o latentinis periodas apie 160 ms. Ši sistema yra unikali tuo, kad gali sukelti tik vienos akies

judesius. Pavyzdžiui, jei objektas yra tam tikru atstumu prieš dešinę akį ir palengva artinasi, dešinioji išliks stacionari, o kairioji konvertuos (Carpenter, 1988).

2.3. Akių judesiai ir iliuzijos

Akių judesiai istoriškai nagrinėjami tiriant akių judesių kontrolės sistemos neurofiziologinius modelius. Šiuose tyrimuose aiškinamasi, kokia yra akių judesių paskirtis bendroje regos sistemoje ir kaip CNS valdo akių judesius. Be to, akių judesių tyrimai panaudojami įvairiose medicinos srityse, pavyzdžiui, norint nustatyti galvos svaigimus, autokinetinį efektą, stroboskopinį matymą. Pastaruoju metu atlikti keli tyrimai analizuojantieji, kokią įtaką akių judesiams padaro iliuzijos poveikį turintieji paveikslai.

Geometrinės regos iliuzijos dažniausiai tiriamos kaip subjektų suvokiamų geometrinių parametrų: ilgio, kampo, pločio bei dydžio klaidingi vertinimai. Tokie tyrimai atliekami gana paprastai – subjektui pateikiami iliuzijos efektą sukeliantys testai, o tiriamajam pateikus savo vertinimą nustatoma padaryta paklaida. Dėl vizualinės iliuzijos sukelta paklaida nustatoma palyginus realų geometrinį parametrą su suvoktu geometriniu parametru vertinimu (angl. *perceptual judgment*). Dažnai vizualinės iliuzijos paklaidos siekia 10 procentų ir daugiau.

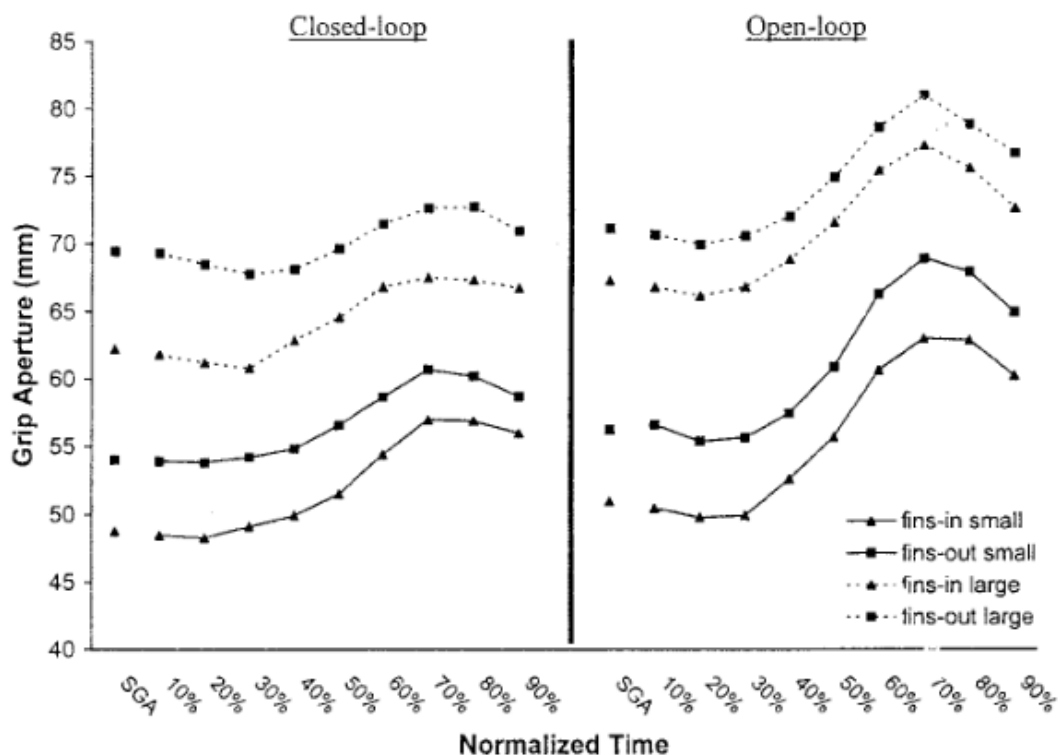
Vykdam tyrimus su vizualinėmis iliuzijomis buvo pastebėtas sunkiai paaiškinamas fenomenas, kad atliekant kokius nors motorinius veiksmus (rankos, kojų ar net akių judesius) su iliuzija sukeliančiomis testinėmis užduotimis, iliuzija nepaveikia judesio tikslumo. Analizuojant šį reiškinį P. C. Knox išskiria dvi regos sistemos hipotezes (2007), kurios siūlo funkcinę regėjimo pasidalijimą tarp matymo su tikslu suvokti stebimą objektą ir matymo su tikslu atlikti kokį nors veiksmą. Buvo atlikti tyrimai įrodantys, kad tuo metu, kai iliuzija sukelia ilgio suvokimo paklaidą, šuoliniai akių judesiai į Miulerio-Lajerio iliuzijos sparnelių kampus yra gana tikslūs. Ištirta ir daugiau reiškinį vertinant Miulerio-Lajerio iliuzijos poveikį sakadiniams akių judesiams (Mccarley ir kt., 2008). Nustatyta, kad sakados amplitudė tam tikru laipsniu visada įtakojama regėjimo iliuzijos. Iliuzijos efekto dydis taip pat priklauso nuo to kokios – refleksinės ar sąmoningai atliekamos sakados yra formuojamos (Knox ir kt., 2007). Šiuose tyrimuose gauti rezultatai yra prieštaringi: vieni teigia, kad refleksinės sakados sukelia didesnes paklaidas dėl iliuzijos, o kiti – kad sąmoningai atliekamos.

Regėjimo iliuzijos dažnai turi didesnę įtaką geometriniu parametru vertinimui negu sakadinių akių judesių paklaidos. J. Mccarley ir Chr. Grant savo tyrimuose, taip pat nagrinėdami Miulerio-Lajerio iliuziją, tyrinėjo tiek atliekamų sąmoningai, tiek refleksinių

sakadų amplitudes. Gauta, kad abi sakadų rūšys buvo įtakotos iliuzijos. Prieita išvados, kad stimulo dydis taip pat turėjo įtakos akies šuolių paklaidoms (Mccarley ir kt., 2008).

M. Heath ir kiti iš atliktų tyrimų rezultatų nustatė, jog žmogaus motorinė sistema taip pat įtakojama regėjimo iliuzijos stebint Miulerio-Lajerio figūrą. Žmogus tyrimo metu stebėjo numatyto dydžio Miulerio-Lajerio figūrą, kuri ekrane judėjo stebint sistemą su grįžtamoju ryšiu, arba, kitu atveju, sistemą be grįžtamojo ryšio. Autoriai teigė, kad tokios manipuliacijos gali suteikti naujų galimybių siekiant nustatyti ar motorinė sistema yra pajėgi kontroliuoti vykstantį procesą. Buvo nustatyta, kad akių judesiai yra įtakojami Miulerio-Lajerio iliuzijos net 80% stebėjimo laiko (Heath ir kt., 2004).

Vidutiniai dalyvių duomenys pateikiami 9 paveiksle. Šiame paveiksle rankenos (svirties) postūmis (mm) pateiktas priklausomai nuo laiko intervalo dalies (procentais), kurio metu tiriamasis galėjo matyti iliuziją sukeltą stimulą lyginant su visu laiko intervalu, per kurį rankena buvo perkelta į naująją padėtį. Miulerio-Lajerio iliuzijos linijos ilgai turėjo dvi reikšmes: 5 ir 7 cm (Heath ir kt., 2004).



9 pav. Svirties postūmio priklausomybė nuo laiko

Naujausi tyrimai rodo, kad veiksmų panašumai tarp žvilgsnio bei viršutinių ir apatinių galūnių (rankų ir kojų), nepaisant skirtingų jų kontrolės sistemų CNS, o taip trukmės ir koordinacinių erdvėje, susiję dviem požymiais. Iš ankstesnių koordinuotų rankos judesių

tyrimų, galima teigti, kad Miulerio-Lajerio iliuzija įtakoja tiek žvilgsnio tiek rankos perkėlimo amplitudę bei vėlavimo laiką. Gauti duomenys labai svarbūs, nes rankos judesys ir žvilgsnio perkėlimas vyksta realiame laike.

10 paveiksle pavaizduota eksperimentinė įranga skirta žingsnio tikslumo tyrimui į Miulerio-Lajerio testą. Tiriamieji turėjo žengti ant Miulerio-Lajerio kontrolinio taško po to, kai būdavo paspaustas paleidimo mygtukas. Paspaudus mygtuką, įrenginyje esančiame ant grindų, atsirasdavo skirtingo ilgio (40, 50, 60 cm) Miulerio-Lajerio figūros. Eksperimento metu tiriamajam buvo uždėti skystųjų kristalų akiniai, kurie leisdavo pateikti regimąją informaciją apie ant grindų esantį paveikslą tikrai trumpą laiką, po to, kai buvo paspaustas mygtukas. Žingsnio paklaida buvo nustatoma tokia, kiek realus tiriamojo žingsnis skyrėsi nuo kontrolinio taško padėties. Tyrimų metu nustatyta, kad paklaidos dydis priklauso nuo matomo ant grindų paveikslo stebėjimo trukmės ir paklaida buvo tuo didesnė, kuo stebėjimo trukmė buvo mažesnė (Knox ir kt., 2007).



10 pav. Eksperimentinė įranga skirta žingsnio tikslumo tyrimui (Knox ir kt., 2007)

Aglioti, DeSouza ir Goodale gauti tyrimų rezultatai parodė, kad pacientų su neurologiniu sutrikimu regimasis vaizdo apdorojimas yra sudarytas iš regimųjų mechanizmų, esančių smegenų žievėje ir kitų objekto ypatybių suvokimo. Pasak autorių, vaizdo fiksavimas yra ganėtinai nevaldomas, ypač stebint iliustruotas iliuzijas. Įvairiai fiksuojami tikslūs stebėjimai yra regimųjų procesų rezultatas, kurie skiriasi nuo mūsų sąmoningo suvokimo.

Ankstesni tyrimai parodė, kad šis rezultatas priklauso nuo regimųjų kelių smegenų žievėje. Kontrastingos dydžių iliuzijos labiau įtakoja akį, nei ranką (Aglioti ir kt., 1995).

G. Binsted ir D. Elliott akių žvilgsnio tyrimus naudojo, kad iširtų sakadų paklaidas ir galutinio taško kintamumą. Taip pat sakadiniai akių judesiai buvo nagrinėjami kaip dydžio, konfigūracijos bei judėjimo amplitudės funkcija. Miulerio-Lajerio, iliuzija buvo panaudota, kad sukurtų iliuzinį galutinį tašką, kuris įtakojo sakadų amplitudę šuolių kryptimi. Objekto dydis neturėjo jokios įtakos galutinio rezultato pastovumui. Amplitudė ir iliuziniai padariniai yra nepriklausomi ir gali atspindėti skirtingus regimojo motorinio proceso lygmenis (Binsted ir kt., 1999).

G. Binsted, R. Chua, W. Helsen ir D. Elliot viename iš savo straipsnių teigia, kad atlikus daug tyrimų nustatyta, kad akys pasiekia tikslią stebėjimo vietą, kai tuo pačiu metu ranka pasiekia maksimalų pagreitį. Teigiama, kad ranka nėra visiškai įtakojama akių. Tyrimo metu autoriai naudodami Miulerio-Lajerio konfigūracijas atskyrė akių ir rankų judėjimus. Jei tikslo įgyvendinimui naudojamas siekimas, tai nukrypimai rasti pirminėse ir korekcinėse sakadose, ko nebuvo stebint rankų judėjimą. Ranka liko tiksli, net kai akis nukrypo ar nepataikė į tikslo padėtį. Šie rezultatai akcentuoja žmogaus motorinės kontrolės įvairiapusiškumą ir turi svarbią reikšmę regimojo suvokimo ir galūnių kontrolės modeliams (Binsted ir kt., 2001).

Pagal T. S. Wong Miulerio-Lajerio iliuzija yra priežastis, o ne periferinio regėjimo rezultatas. Panašios iliuzijos yra nustatytos dėka bendrų centrinių mechanizmų. Sakados amplitudė taip pat priklauso nuo sukurtos iliuzijos dydžio. Įvairūs jų tyrimai atliekami norint nustatyti fiziologinius, psichologinius pakitimus žmogaus organizme (Wong, 1975).

Iš atliktos literatūros analizės galime teigti, kad judesiai, ypač sakadiniai, visada yra įtakojami iliuzijų, tačiau lieka neaišku, kaip iliuzinis stimulus paveiks pirminę ir korekcinę sakadas. Taip pat nebuvo tirti sekamieji akių judesiai, kurie gali pateikti duomenų apie iliuzijos įtaką dinaminiam režimui.

3. GEOMETRINIŲ ILIUZIJŲ VERTINIMAS AKIŲ JUDESIAIS

3.1. Miulerio-Lajerio iliuzijos vertinimas sakadiniais akių judesiais

3.1.1. Eksperimentų atlikimo metodika

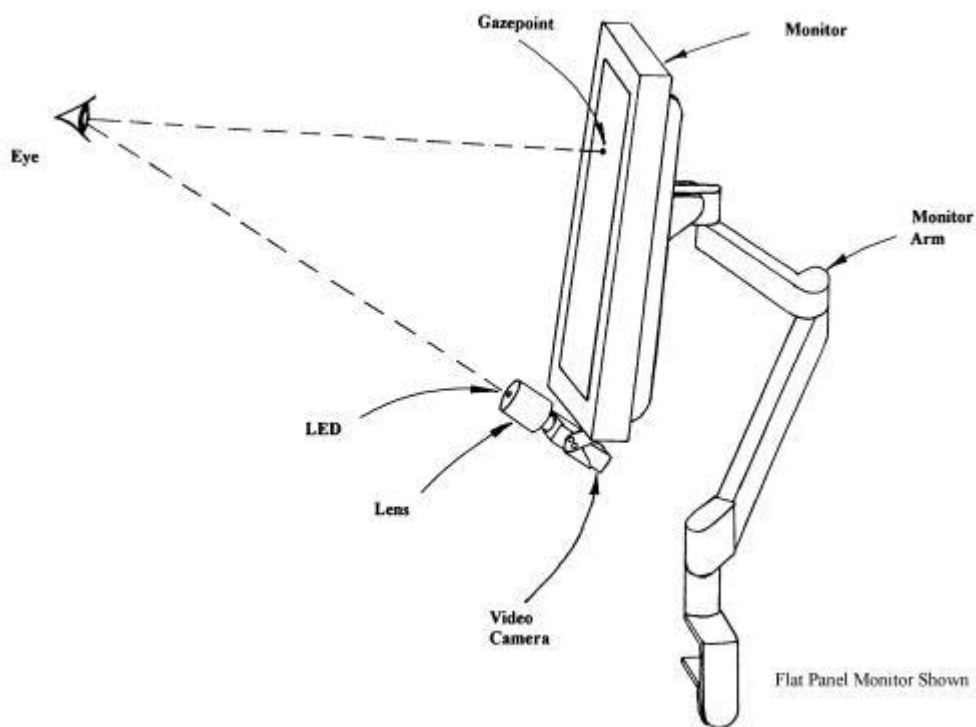
Eksperimente dalyvavo 5 tiriamieji. Jų regėjimo aštrumas buvo lygus 1.0, arba esant reikalui buvo tinkamai koreguojamas. Prieš pradėdant eksperimentus, stebėtojai atlikdavo keletą paruošiamųjų ir apžvalginių bandymų.

Tyrimas atliktas ŠU Biomedicininės inžinerijos mokslinio centro laboratorijoje. Eksperimentai vyko specialios paskirties dalinai užtemdytoje patalpoje. Tiriamųjų žvilgsnio kryptis (akių judesiai) buvo registruojami *LC Technologies* sukurtu žiūros taško ekrane nustatymo įtaisu *EyeGaze System*.



11 pav. LC Technologies, EyeGaze sistema

Šią sistemą sudaro 11 pav. pavaizduotos dvi kameros, kurios yra pritvirtintos monitoriaus apačioje, jos yra reguliuojamos, t.y. galima pakelti arba nuleisti, pasukti į vieną kampą arba į kitą, kad būtų galima sukalibruoti žmogaus žvilgsnį. Kameros centre yra nedidelis, mažos galios infraraudonųjų spindulių diodas, kuris apšviečia akį. Kompiuteryje įmontuota vaizdo įvedimo plokštė (<http://www.eyegaze.com/content/eyegaze-analysis-systems>).



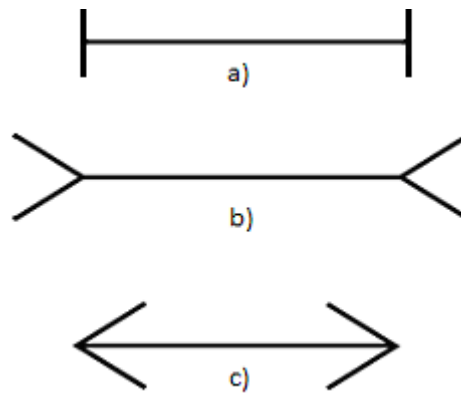
12 pav. Įrenginio sudedamosios dalys (<http://www.eyegaze.com/content/eyegaze-analysis-systems>)

Kalibravimo procedūra yra automatinė. Procedūra prisitaiko prie vartotojo greičio, laukia tiriamojo, kad būtų aiškiai užfiksuotas kiekvienas kalibravimo taškas. Sekamas akies judėjimas į kitą tašką. Akis kalibravimo metu matoma ekrane (<http://www.eyegaze.com/content/eyegaze-analysis-systems>).

Eksperimentų statistinei analizei ir skaitmeniniam modeliavimui buvo taikomas programinis matematinis *MATLAB* paketas.

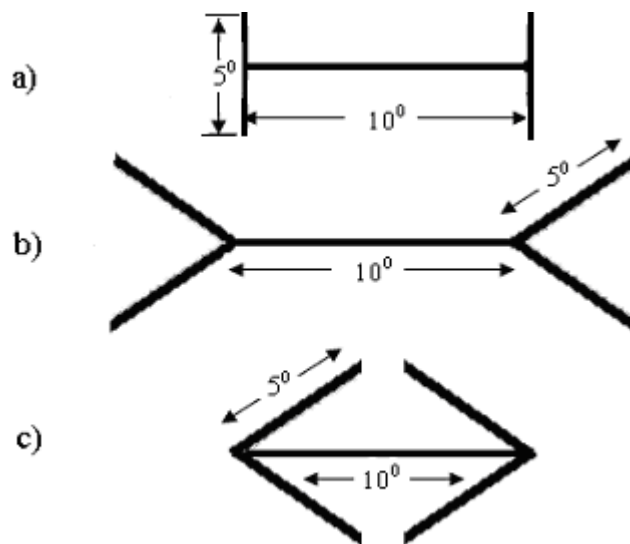
Tyrimo metu buvo atliktos kelios eksperimentų serijos. Siekiant statistinio gautų duomenų patikimumo, kiekvienas eksperimentas buvo kartojamas ne mažiau 10 kartų.

Eksperimentų serijos metu tiriamasis monitoriaus ekrane stebėjo paeiliui 3 figūras (13 pav.). Pirmojo bandymo metu stebėjo atkarpą, apribotą linijų, kuri nebuvo įtakojama Miulerio-Lajerio iliuzijos. Atliekant antrąjį ir trečiąjį bandymą tiramieji stebėjo Miulerio-Lajerio figūrą. Pirmuoju atveju sparneliai buvo nukreipti į išorę, antruoju – į vidų. Tiriamųjų prašoma pakaitomis žiūrėti tai į vieną, tai į kitą figūros kraštą.



13 pav. Eksperimentų metu tiriamųjų stebėtos figūros: a) atkarpa, b) Miulerio-Lajerio figūra su į išorę nukreiptais sparneliais, c) Miulerio-Lajerio figūra su į vidų nukreiptais sparneliais

Eksperimento metu atstumas tarp linijų buvo 10 kampinių laipsnių. Linijų, apribojusių atkarpą, ilgis – 5 kampiniai laipsniai (14 pav. a). Miulerio – Lajerio figūros sparnelių ilgis taip pat buvo 5^0 (14 pav. b, c). Rezultatai taipogi pavaizduojami kampiniais laipsniais. 1 laipsnis atitinka 46 pikselius.

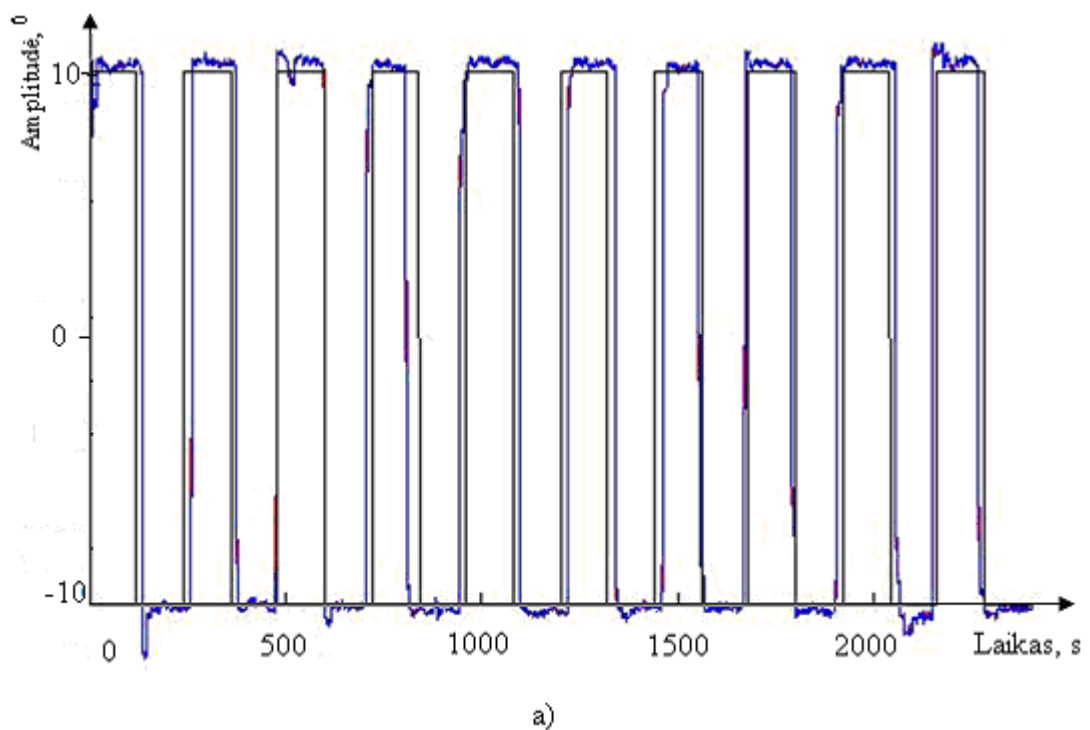


14 pav. Eksperimentų metu tiriamųjų stebėtų figūrų matmenys

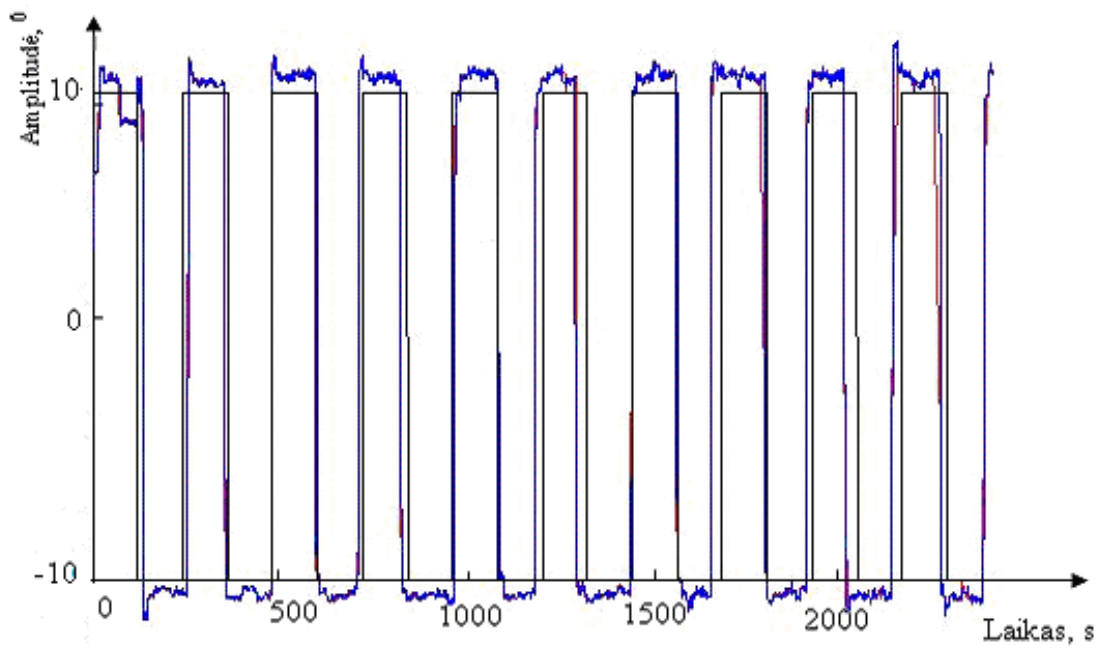
3.1.2. Tyrimo rezultatai

Akies šuoliai (sakados) žmogaus regos sistemai yra ypatingai svarbūs. Jie suteikia galimybę per trumpą laiką pervesti žvilgsnį, o tuo pačiu ir dėmesį nuo vieno objekto prie kito. Žmogaus akies sakados yra greitos ir gana tikslios. Jos gali būti sąmoningos (angl. *voluntary*) t. y. atliekamos savo noru perkeliant žvilgsnį arba refleksinės (angl. *reflexive*), kai matymo lauke staiga atsiranda naujas ryškus objektas (stimulas). Apie 70 % akies sakadų tiksliai į taikinį nepataiko, todėl įvykdomos dviem šuoliais: pirminiu šuoliu (angl. *primary saccade*), kuris perkelia žvilgsnį arti taikinio, ir korekciniu šuoliu (angl. *corrective saccade*), sutapdinančiu žiūros liniją su taikiniu.

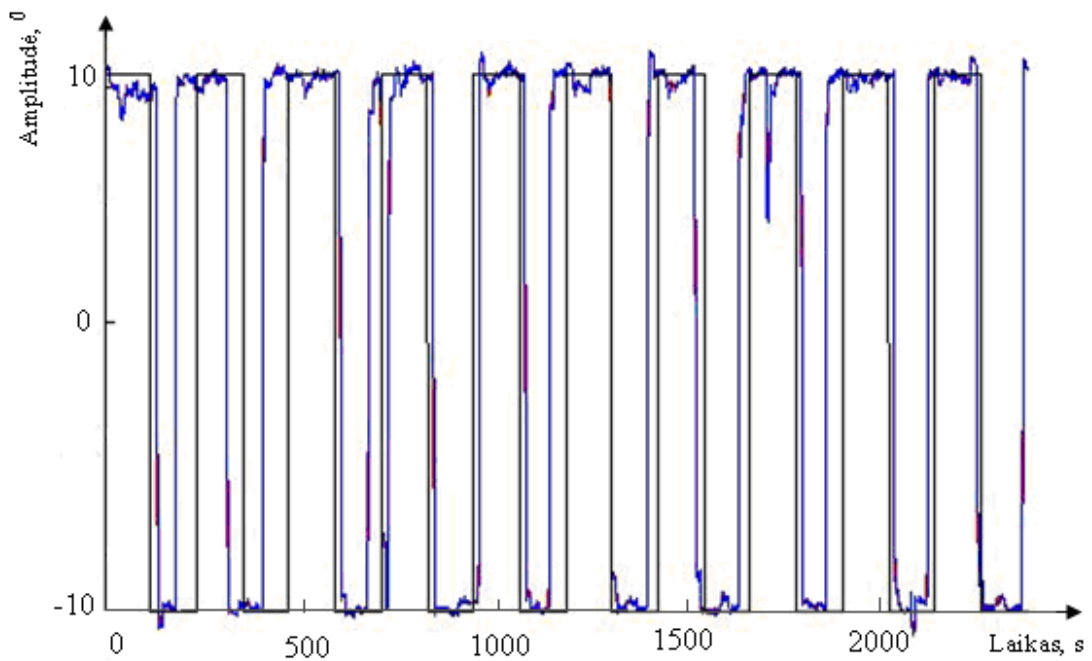
Eksperimentų metu bandėme nustatyti Miulerio-Lajerio iliuzijos įtaką sakadiniams akių judesiams. Siekėme iširti kaip iliuzija paveikia refleksines (angl. *reflexive*), bei sąmoningos (angl. *voluntarily*) sakadas. Taip pat didelį dėmesį skyrėme iliuzijos reikšmei pirminėms sakadoms.



15 pav. Sakadinės akių judesių trajektorijos: a) stebint atkarpą, nesukeliančią Miulerio-Lajerio iliuzijos, (horizontalioje ašyje – laikas, vertikalioje – amplitudė, 20 laipsnių)



b)



c)

16 pav. Sakadinės akių judesių trajektorijos: b) stebint Miulerio-Lajerio figūrą su į išorę nukreiptais sparneliais, c) stebint Miulerio-Lajerio figūrą su į vidų nukreiptais sparneliais (horizontalioje ašyje – laikas, vertikalioje – amplitudė, 20 laipsnių)

Visų stebėtojų gauti duomenys demonstruoja panašų dėsningumą. MATLAB programiniu paketu gauti vaizdiniai tiriamųjų duomenys. Eksperimentų rezultatai – sakadinės akių judesių trajektorijos pavaizduotos 16 pav.

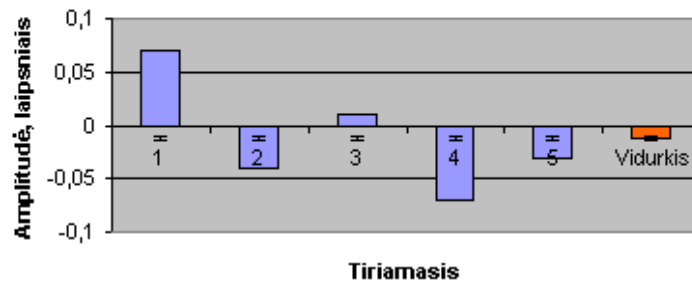
1 lentelėje pavaizduoti penkių tiriamųjų duomenys kaip Miulerio-Lajerio iliuzija įtakoja sakados amplitudę. Ženklas „+“ arba „-“ atspindi ilgesnę arba trumpesnę amplitudę, lyginant su normaliu akies šuoliu. Pateikti suvidurkinti visų penkių tiriamųjų duomenys. Reikšmės užrašytos laipsniais. Matome, kad Miulerio-Lajerio figūros su į išorę nukreiptais sparneliais sakados ilgesnės, o Miulerio-Lajerio figūros su į vidų nukreiptais sparneliais sakados visuomet trumpesnės. Sakados amplitudė priklauso ne tik nuo stebimos figūros, bet ir nuo stebėtojų. Stebint tą pačią figūrą gauti gana skirtingi duomenys, stebint vis kitam tiriamajam. Sąmoningai atliktos sakados yra 40-50 % labiau įtakojamos iliuzijos, lyginant su refleksinėmis sakadomis. Tam įtakos galėjo turėti ilgesnis akies tinklainės stimuliavimas viso bandymo metu.

1 lentelė

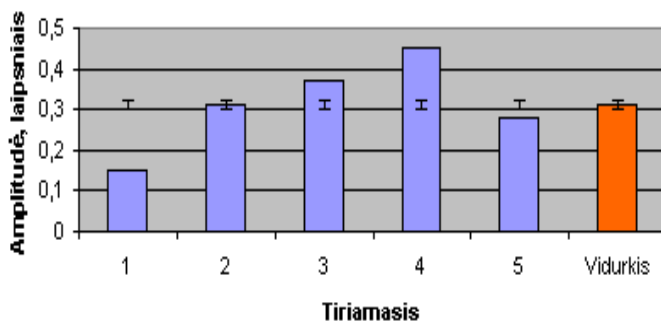
Tiriamasis	Refleksinės sakados			Sąmoningos sakados		
	Atkarpa, laipsniais	M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais, laipsniais	M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais, laipsniais	Atkarpa, laipsniais	M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais, laipsniais	M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais, laipsniais
II	+ 0.07	+ 0.15	- 0.28	- 0.07	+ 0.28	- 0.38
RZ	- 0.04	+ 0.31	- 0.25	- 0.05	+ 0.41	- 0.52
VL	+ 0.01	+ 0.37	- 0.38	+ 0.04	+ 0.68	- 0.73
GD	- 0.07	+ 0.45	- 0.46	+ 0.02	+ 0.73	- 0.83
NK	- 0.03	+ 0.28	- 0.33	- 0.06	+ 0.53	- 0.62
Vidurkis	-0.01	+0.31	-0.34	-0.02	+0.53	-0.62

Kad būtų vaizdžiau 1 lentelės duomenys pateikti diagramose, kurios pavaizduotos 17 bei 18 paveiksluose.

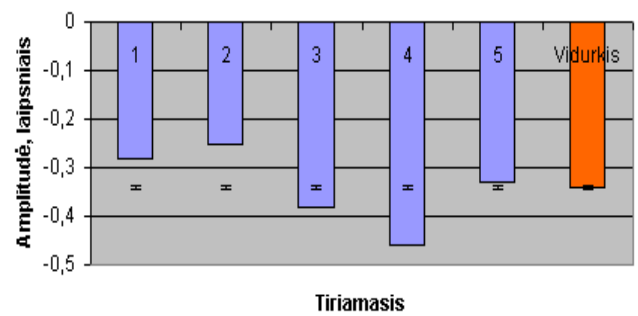
Atkarpa



M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais

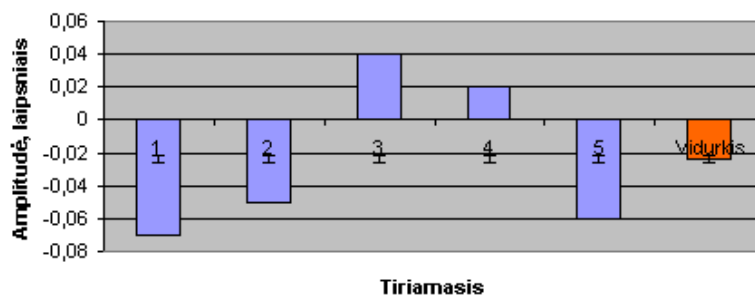


M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais

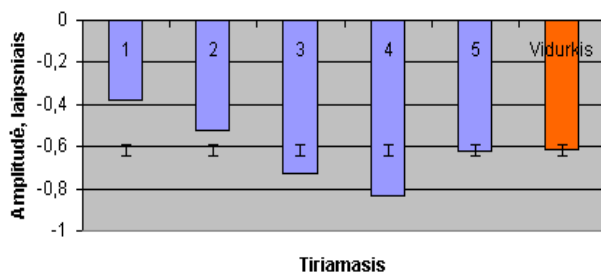


17 pav. Tiriamųjų rezultatai pateikti diagramose, nagrinėjant refleksines sakadas

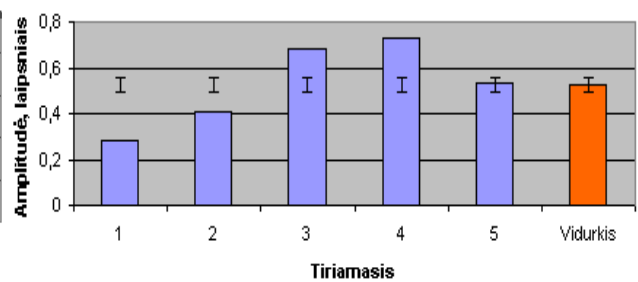
Atkarpa



M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais

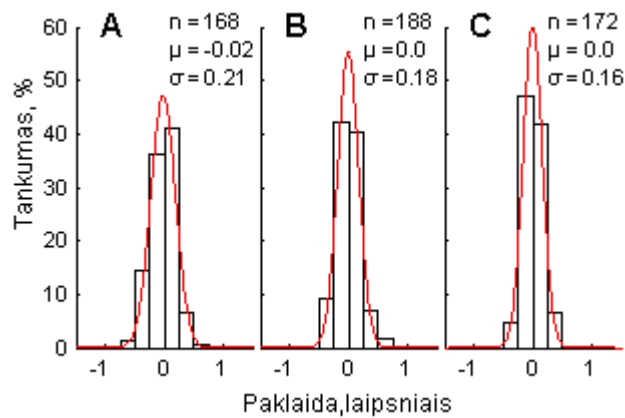


M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais

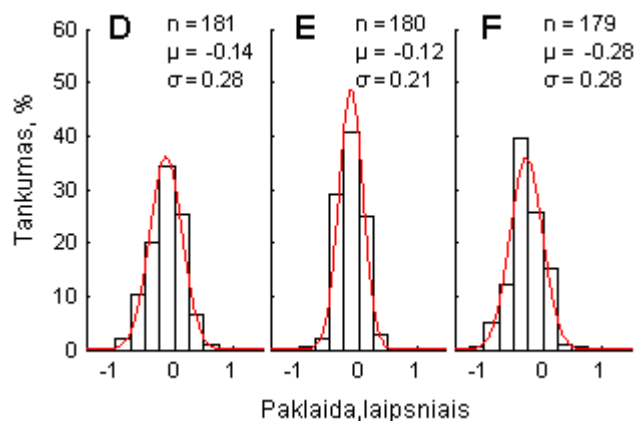


18 pav. Tiriamųjų rezultatai pateikti diagramose, nagrinėjant sąmoningas sakadas

Refleksinių ir sąmoningų sakadų, gautų stebint atkarpą bei Miulerio-Lajerio figūras, paklaidų išsibarstymas yra pavaizduotas 19 pav. A, B ir C dalyse pateikiami sąmoningų sakadų duomenys, D, E ir F – refleksinių sakadų. Čia n – sakadų skaičius, μ - vidurkis, σ – standartinis nuokrypis.



19 pav. Sąmoningų sakadų paklaidų išsibarstymas: A – atkarpa, B – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į vidų, C – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į išorę



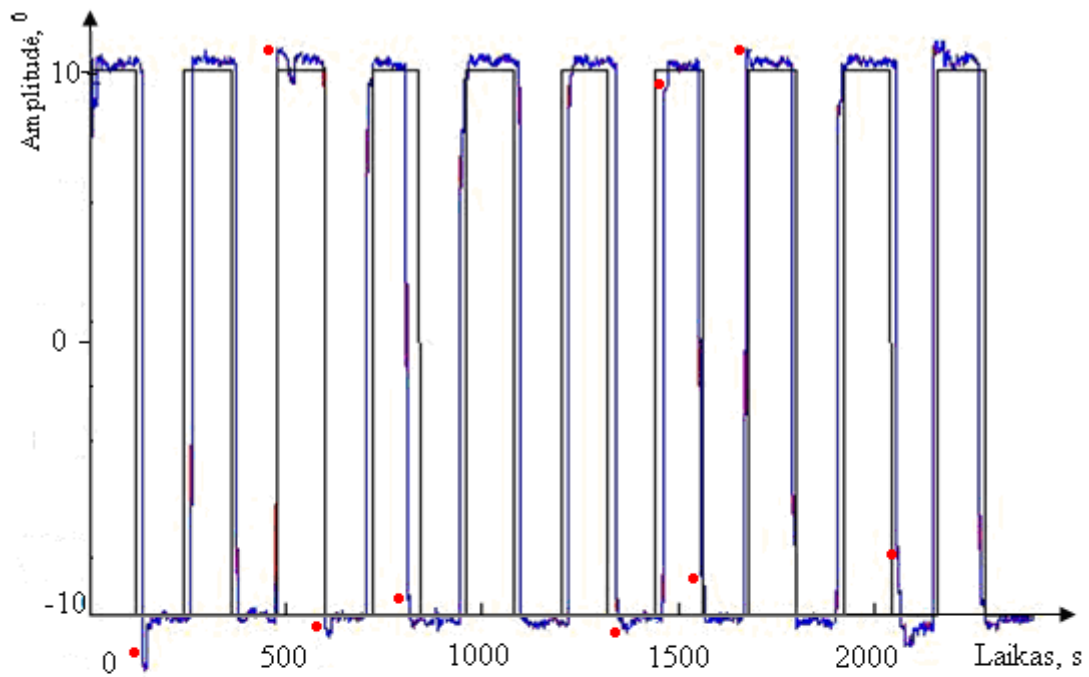
20 pav. Refleksinių sakadų paklaidų išsibarstymas: D – atkarpa, E – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į vidų, F – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į išorę

B ir E paveiksle pateikiami M-L figūros su į išorę nukreiptais sparneliais duomenys, o C ir F – Miulero-Lajero figūros su į vidų nukreiptais sparneliais. A ir D dalyje pavaizduoti rezultatai, gauti stebint atkarpą, kuri nesukelia Miulero-Lajero iliuzijos efekto. Gauti refleksinių ir sąmoningų sakadų eksperimentiniai duomenys iliustruoja tai, jog sakadiniai akių judesiai buvo ganėtinai tikslūs ir nepaveikti iliuzijos. Taip pat matome tai, kad sąmoningų sakadų duomenys buvo tikslesni negu refleksinių. Atliekant bandymą su sąmoningomis sakadomis Miulero-Lajero figūros sparneliai buvo stebimi atliekant akių šuolius, todėl regimoji atmintis didelės įtakos neturėjo. Bandyme su refleksinėmis sakadomis, Miulero-Lajero figūrų sparneliai trumpai blykstelėdavo, todėl figūrą galėdavo pamatyti tik trumpą laiko tarpą. Refleksinėms sakadoms vidutinė paklaida buvo 0.28 laipsnio Miulero-Lajero figūrai su sparneliais nukreiptais į vidų, o Miulero-Lajero figūrai su sparneliais nukreiptais į išorę paklaidos dydis buvo 0.12 laipsnio. Sąmoningų sakadų paklaidos buvo labai mažos. Iš gautų rezultatų galime padaryti išvadą, kad regėjimo iliuzija sakadinių akių judesių amplitudę mažai įtakojo.

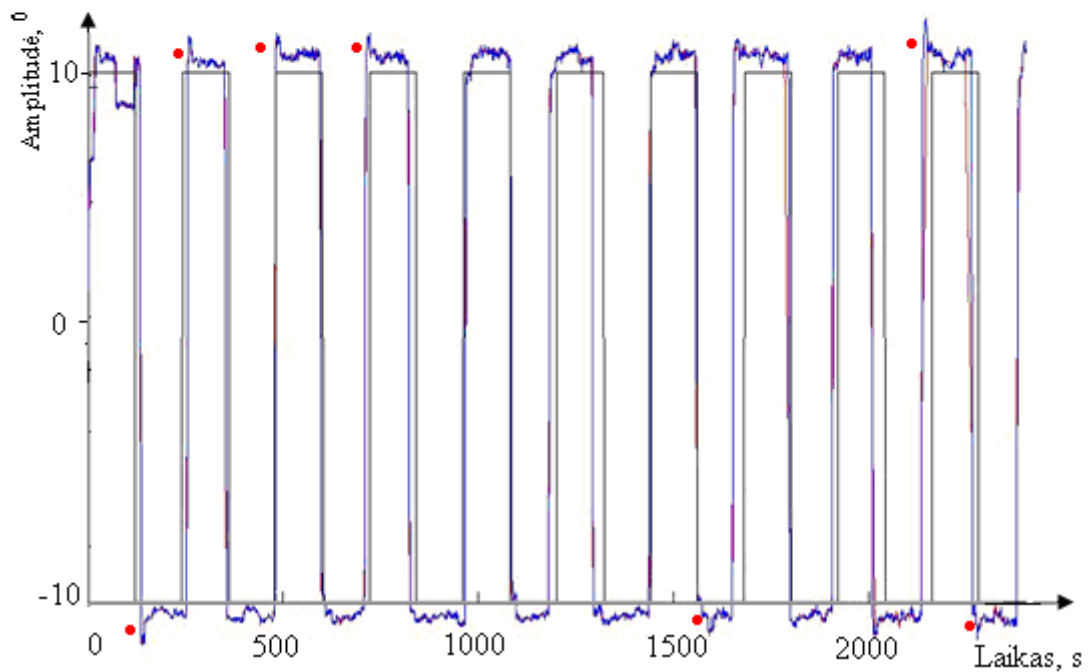
Mūsų gauti rezultatai panašūs su kitų publikuojamų straipsnių medžiaga. Tik stebėdami akies judėjimo trajektoriją pastebėjome, kad pirminės sakados geriau atspindi iliuzijas.

Žinome, kad sakadiniai akių judesiai akių šuolį atlieka dviem žingsniais: pirmine ir korekcine sakadomis. Pirminės sakados dažniausiai apima apie 90 % kelio į tikslą, likusius 10 % korekcine sakados. Bandymai parodė, kad pirminės sakados gali būti arba per mažos, arba per didelės, lyginant su tikrąja tikslo padėtimi. Dauguma pirminių sakadų yra per didelės.

Pakartojome tyrimus, nagrinėdami Miulero-Lajero (M-L) iliuzijos įtaką pirminėms sakadoms. Pirminės sakados 14 paveiksle pažymėtos raudonais taškeliais.

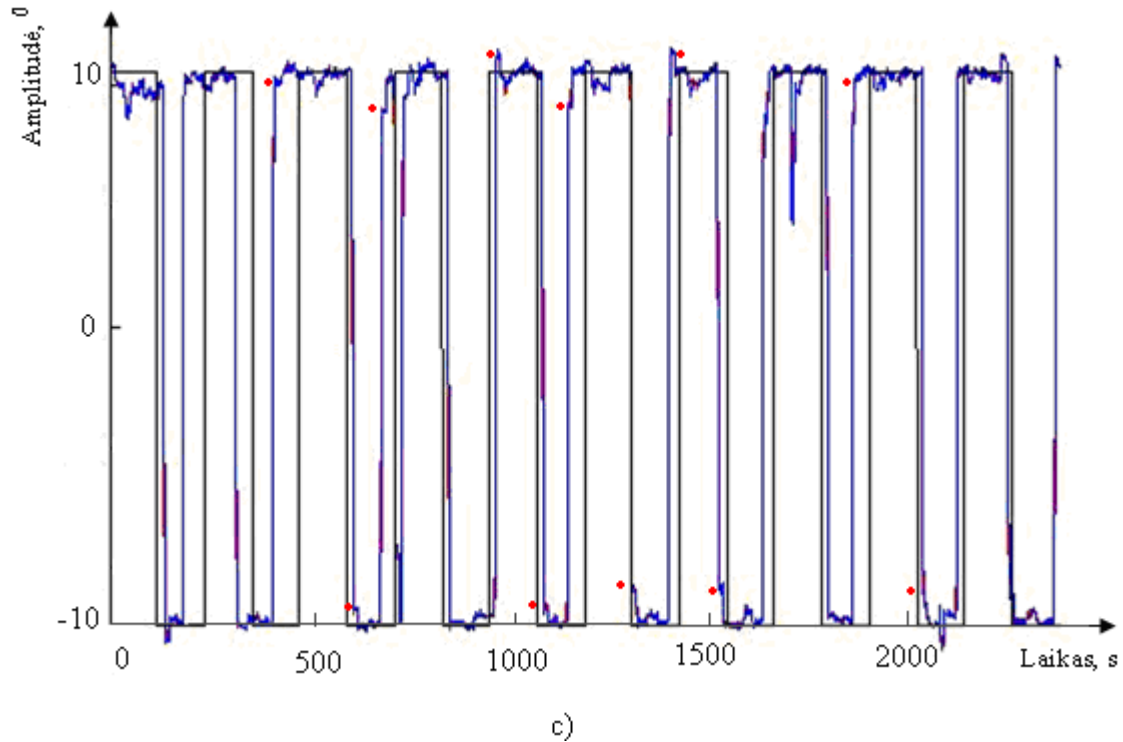


a)



b)

21 pav. Sakadinės akių judesių trajektorijos. a) stebint atkarpą, nesukeliančią Miulero-Lajerio iliuzijos, b) stebint Miulero-Lajerio figūrą su į išorę nukreiptais sparneliais, (horizontalioje ašyje – laikas, vertikalioje – amplitudė, 20 laipsnių). Raudoni taškeliai žymi pirmines sakadas



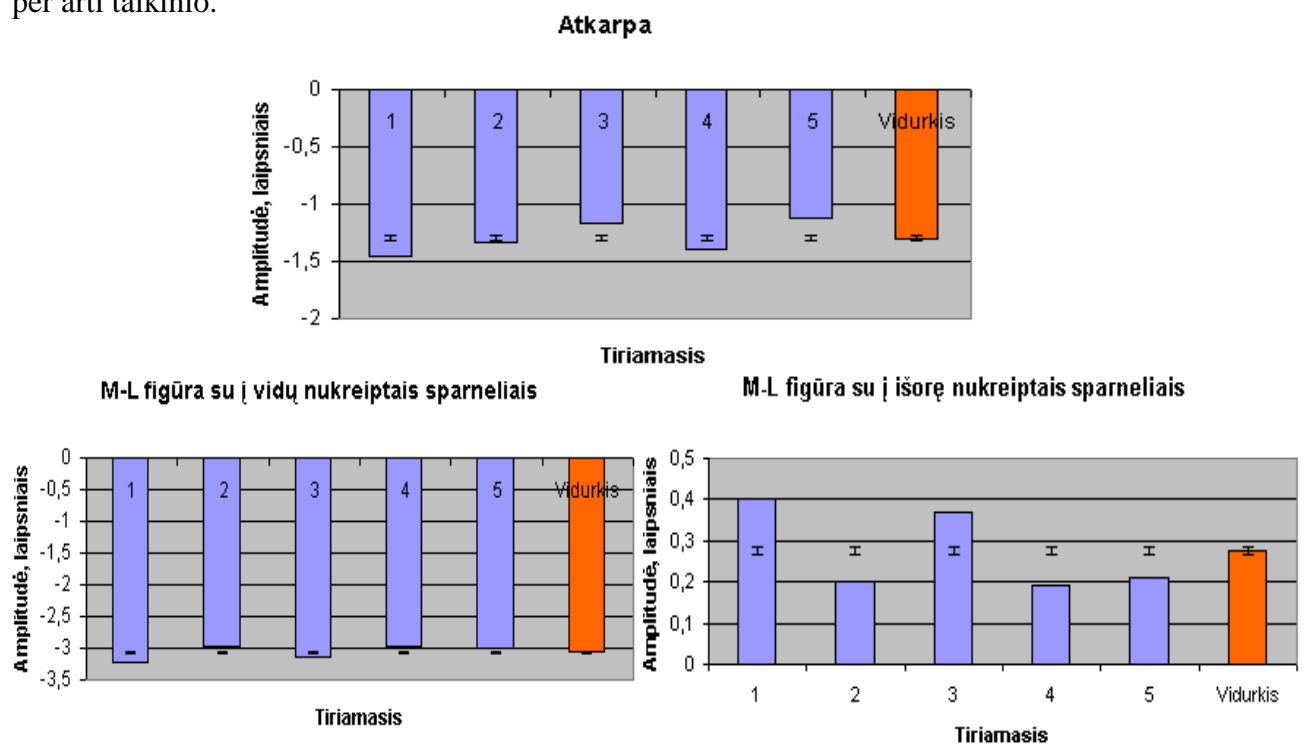
22 pav. Sakadinės akių judesių trajektorijos. c) stebint Miulero-Lajerio figūrą su į vidų nukreiptais sparneliais, (horizontalioje ašyje – laikas, vertikalioje – amplitudė, 20 laipsnių). Raudoni taškeliai žymi pirmines sakadas

21 paveiksle b) galima aiškiai pamatyti, kad Miulero-Lajerio iliuzijoje su į išorę nukreiptais sparneliais dominuoja per toli nuo taikinio (angl. *overshoot target*) peršokusios sakados. 22 paveiksle c) matome, kad stebint Miulero-Lajerio iliuziją su į vidų nukreiptais sparneliais dominuoja per arti taikinio (angl. *undershoot target*) įvykusios pirminės sakados. Iš pateiktų paveikslų matome, kad sakados įvyko dviem šuoliais: pirmine ir korekcine sakadomis. Pirminės sakados perduoda daugiau informacijos, nežiūrint didesnių jų galutinės padėties išsibarstymo paklaidų.

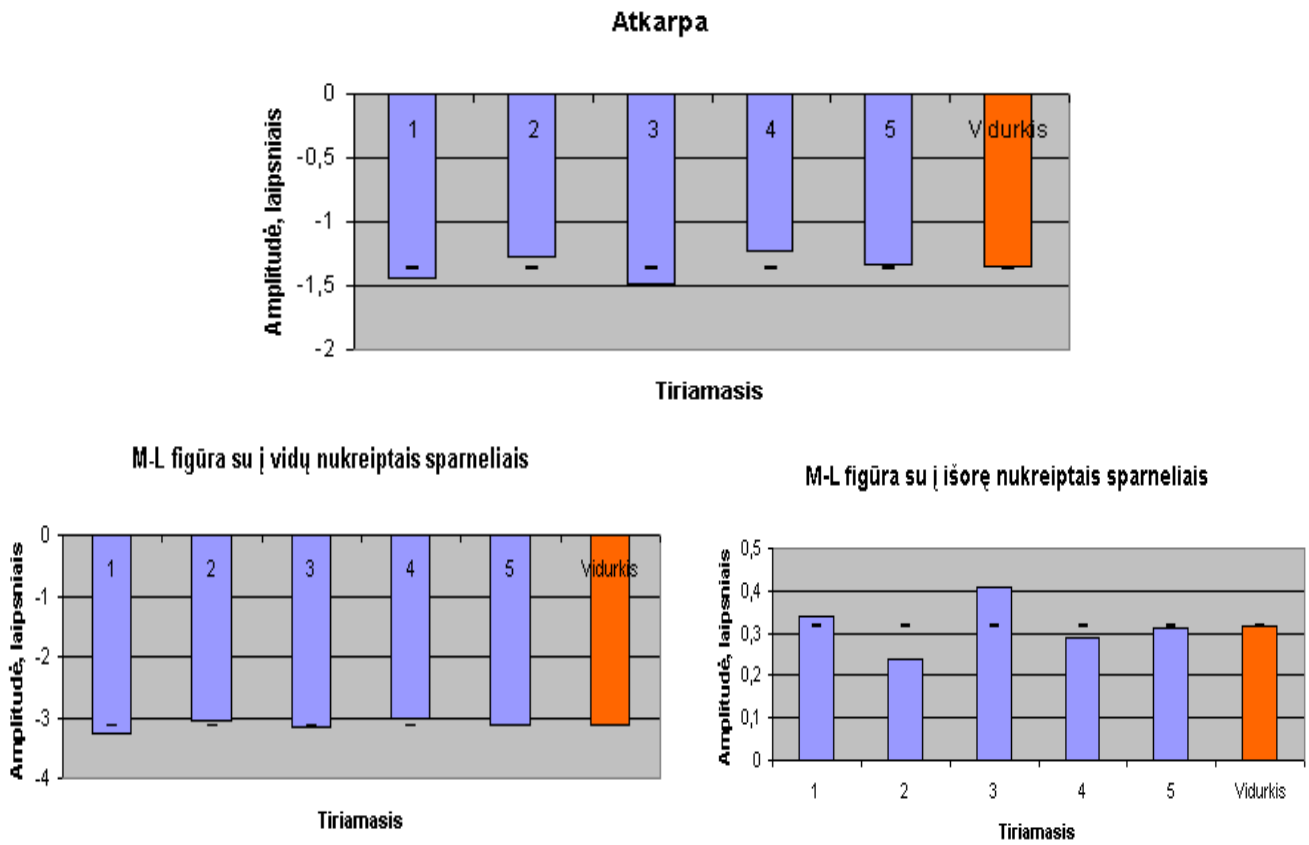
Didesnioji dalis pirminių sakadų perkelia žiūros liniją per arti taikinio (angl. *undershoot target*) ir mažesnioji dalis – per toli nuo taikinio (angl. *overshoot target*). Tokiu būdu korekcinei sakadai dažniausiai nereikia keisti akies judėjimo krypties.

Refleksinės sakados				Sąmoningos sakados		
Tiriamasis	Atkarpa, laipsniais	M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais, laipsniais	M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais, laipsniais	Atkarpa, laipsniais	M-L figūra su į išorę nukreiptais sparneliais, laipsniais	M-L figūra su į vidų nukreiptais sparneliais, laipsniais
II	- 1.46	+ 0.4	- 3.21	- 1.44	+ 0.34	- 3.25
RZ	- 1.34	+ 0.2	- 2.98	- 1.28	+ 0.24	- 3.04
VL	- 1.16	+ 0.37	- 3.15	- 1.49	+ 0.41	- 3.15
GD	- 1.4	+ 0.19	- 2.97	- 1.23	+ 0.29	- 3.03
NK	- 1.12	+ 0.21	- 3	- 1.34	+ 0.31	- 3.12
Vidurkis	-1.3	+0.27	-3.06	-1.36	+0.32	-3.11

2 lentelėje pavaizduoti pirminių sakadų duomenys pateikti laipsniais. Nagrinėjome tik 2 atvejus: kai sakados per toli nuo taikinio, stebint Miulero-Lajerio iliuziją su į išorę nukreiptais sparneliais, bei kai sakados yra per arti taikinio, analizuojant Miulero-Lajerio figūrą su į vidų nukreiptais sparneliais. Nustatėme, kad stebint Miulero-Lajerio iliuziją su į išorę nukreiptais sparneliais sakadų per toli nuo taikinio (angl. *overshoot*) yra 6% iš visų sakadų, stebint figūrą su į vidų nukreiptais sparneliais tokių sakadų yra tik 1% visų sakadų. Kalbant apie Miulero-Lajerio figūrą su į vidų nukreiptais sparneliais iš visų sakadų 68% yra per arti taikinio.

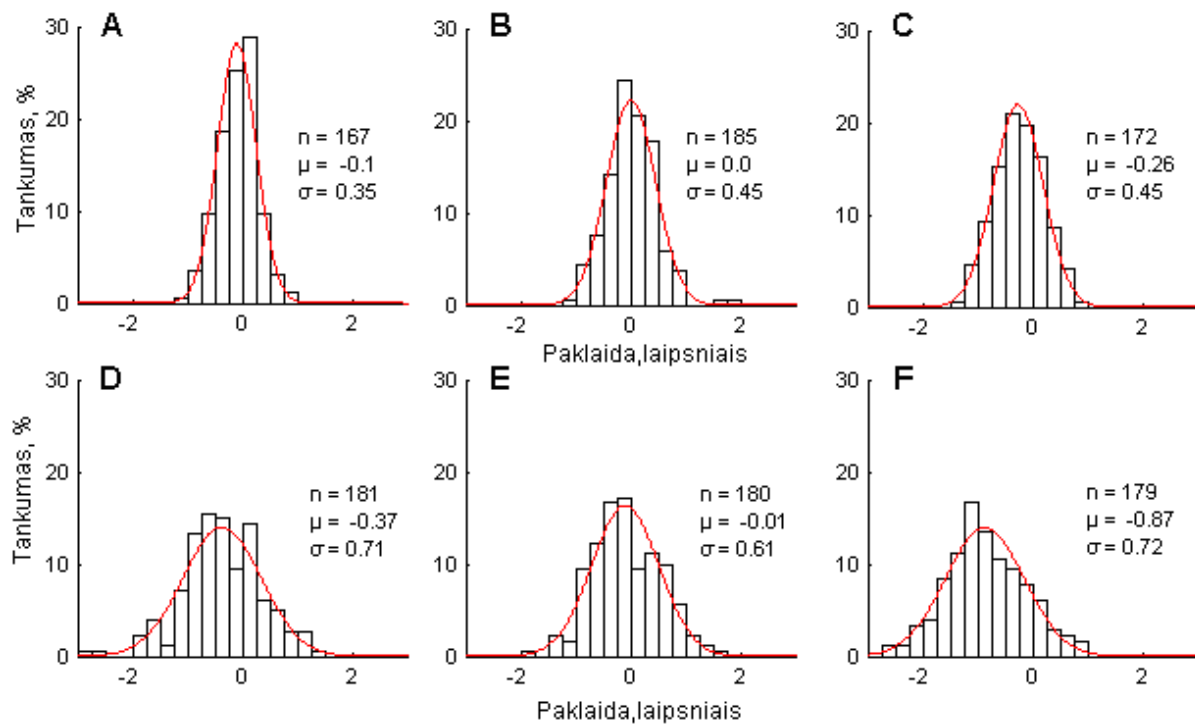


23 pav. Tiriamųjų rezultatai pateikti diagramose, nagrinėjant refleksines sakadas



24 pav. Tiriamųjų rezultatai pateikti diagramose, nagrinėjant sąmoningas sakadas

Pirminių sakadų paklaidų išsibarstymas stebint refleksines ir sąmoningas sakadas, gautas nagrinėjant M-L figūrą, yra pavaizduotas 25 pav. A, B ir C atvejais pateikiami pirminių sakadų paklaidų duomenys stebint sąmoningai, D, E ir F – pirminių sakadų paklaidos atliekant refleksinius judesius. B ir E paveiksle pateikiami Miulerio-Lajerio figūros su į išorę nukreiptais sparneliais duomenys, o C ir F – Miulerio-Lajerio figūros su į vidų nukreiptais sparneliais. A ir D dalyje pavaizduoti paklaidų rezultatai, gauti stebint atkarpa, kuri nesukelia Miulerio-Lajerio iliuzijos efekto.



25 pav. Refleksinių (D, E, F) ir sąmoningų (A, B, C) sakadų paklaidų išsibarstymas nagrinėjant pirmines sakadas: A, D – atkarpa, B, E – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į vidų, C, F – M-L figūra su sparneliais nukreiptais į išorę

Analizuodami 24 pav. pateikiamus pirminių sakadų neatitikimus, galime pamatyti, kad pirminės sakados yra mažiau išbarstytos, lyginant su baigtinėmis. Baigtinėms sakadoms standartinis nuokrypis σ yra 0.16 – 0.28 intervale, o pirminių sakadų standartinis nuokrypis apima $\sigma = 0.35-0.72$ intervalą. Pirminių sakadų paklaidų išsibarstymai refleksinio stebėjimo atveju $\sigma = 0.61-0.72$, (pilnai atliktų sakadų $\sigma = 0.21-0.28$ (žr. 19 pav.)) yra daugiau išsibarstę, nei pirminės sakados savo noru perkeltant žvilgsnį į taikinį ($\sigma = 0.35-0.45$ ir $0.16-0.21$). Pirminių sakadų tyrimo rezultatai rodo, kad pirminės sakados refleksinio stebėjimo atveju yra artimos Miulero-Lajerio iliuzijai.

Darbe įvertinome sakadinių akių judesių amplitudžių pokyčius perkeltant žvilgsnį į iliuziją sukeliančius vaizdus ir nustatėme, kad pailgėjimo ir sutrumpėjimo iliuzijos pailgina bei sutrumpina sakadinių akių judesių amplitudes, tačiau mažesniu masteliu negu statiniai vertinimai. Iš gautų tyrimų rezultatų galime padaryti išvadą, kad sakadų amplitudė visada yra įtakojama iliuzijos. Akių judesiai priklauso nuo iliuzijos nuo 2% iki 10%. Manome, kad tai

objektyvus įvertinimas, nes eksperimentų metu tyrėme įvairius iliuzijų atvejus. Pirminės sakados taip pat labai įtakojamos iliuzijos, kuo didesnė sakados amplitudė, tuo iliuzijos dydis didesnis (1.5 laipsnio iš 20), esant mažesnio dydžio sakados amplitudei, iliuzijos dydį taipogi gavome mažesnę (1.6 laipsnio iš 20).

3.2. Iliuzijos vertinimas sekamaisiais akių judesiais

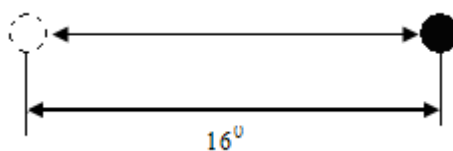
3.2.1. Eksperimentų atlikimo metodika

Eksperimente dalyvavo 5 tiriamieji. Prieš pradėdant eksperimentus, stebėtojai, taipogi, atlikdavo keletą paruošiamųjų ir apžvalginių bandymų.

Tyrimas atliktas ŠU Biomedicininės inžinerijos mokslinio centro laboratorijoje. Eksperimentai vyko specialios paskirties dalinai užtemdytoje patalpoje. Tiriamųjų žvilgsnio kryptis (akių judesiai) buvo registruojami *LC Technologies* sukurtu žiūros taško ekrane nustatymo įtaisu *EyeGaze System*. Tyrimo metu buvo atlikti du eksperimentai.

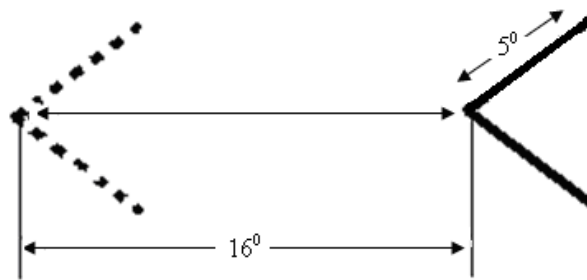
Šioje dalyje mes tirsime kaip pasikeičia sekamųjų akių judesių parametrai, kai tiriamasis seka paprastą ir iliuziją sukeltą objektą. Nagrinėsime dinamines iliuzijas bei jų sukeltą efektą.

Pirmajame bandyme tiriamųjų buvo prašoma žvilgsniu sekti kompiuterio ekrane judantį objektą – šviečiantį tašką, kurio skersmuo 0,25 laipsnio. Stebimas objektas pastoviu greičiu horizontalia tiesia linija judėjo iš kairės į dešinę, o paskui grįždavo atgal. Judesio amplitudė buvo 16 kampinių laipsnių. Eksperimentai buvo atliekami su trimis stebimų objektų judesio greičiais: 10, 20 ir 30 laipsnių/s.



26 pav. Ekrane taškas judėjo horizontalia tiesia linija iš dešinės į kairę ir atgal 10, 20 ir 30 laipsnių/s greičiu.

Antrajame eksperimente tiriamieji turėjo sekti rodyklę (Miulerio-Lajerio figūra), kuri taip pat kaip ir pirmajame bandyme judėjo pirmyn ir atgal horizontalia kryptimi. Tiek pirmajame, tiek antrajame eksperimente buvo registruojamos taikinio ir žiūros taško trajektorijos. Sparnelių ilgis buvo 5 kampiniai laipsniai ($1^{\circ} - 46$ px).

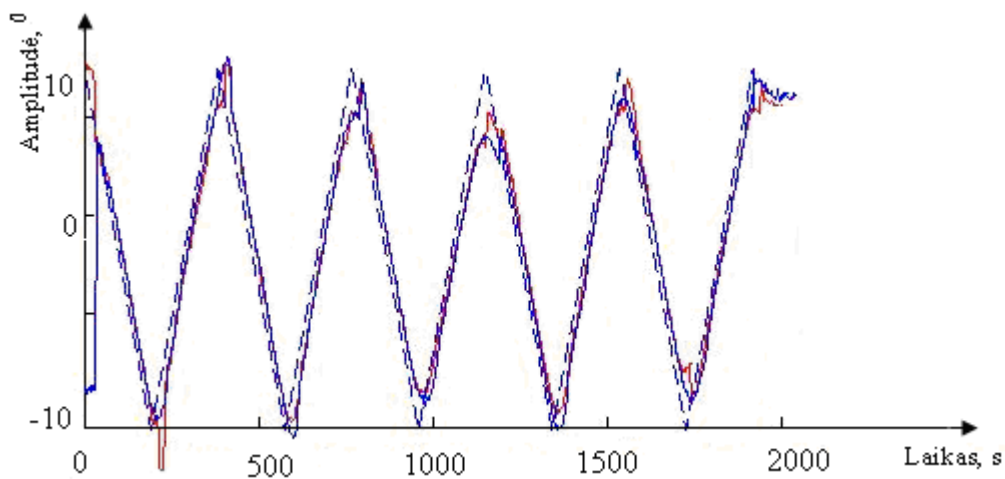


27 pav. Ekране rodyklė (Miulerio-Lajerio figūra) judėjo horizontalia tiesia linija iš dešinės į kairę ir atgal su 10, 20 ir 30 laipsnių/s greičiu. Judesio amplitudė – 16 laipsnių

3.1.2. Tyrimo rezultatai

Dinaminis regos iliuzijos vertinimas turi privalumą, kad realiame pasaulyje žmogus gyvena judančių (dinaminių), o ne statišku vaizdų aplinkoje, todėl mūsų tyrimai labiau atitinka tikrąsias žmogaus veiklos sąlygas.

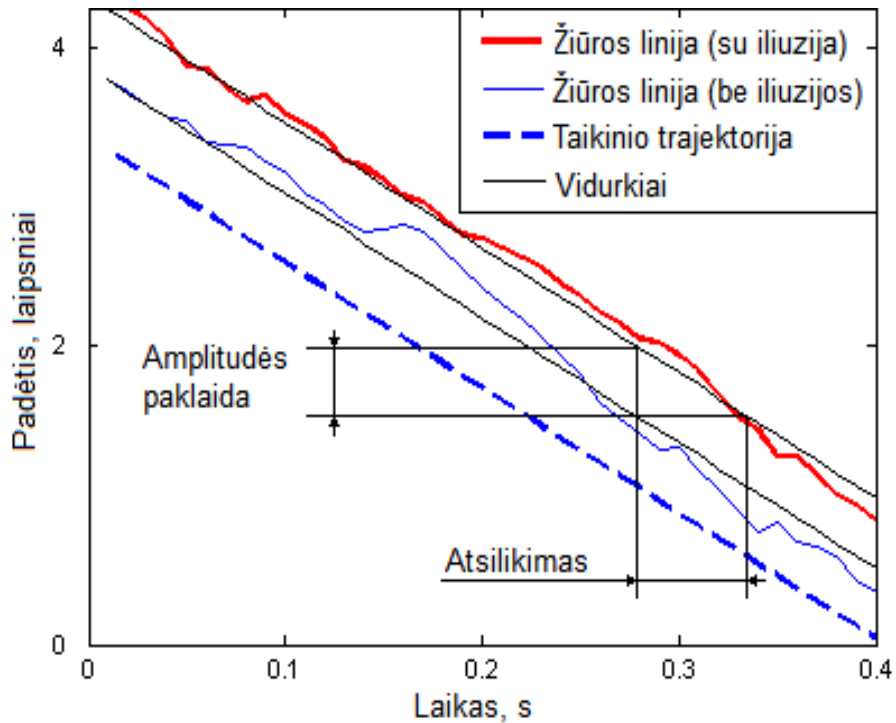
MATLAB programiniu paketu gauti vaizdiniai tiriamųjų duomenys. Eksperimentų rezultatai pavaizduoti viename paveiksle, kad būtų galima lengviau nustatyti esamus pokyčius. 28 paveiksle pavaizduotos sekamosios akių judesių trajektorijos.



28 pav. Sekamosios akių judesių trajektorijos. Raudona spalva pavaizduotas rodyklės judėjimas, mėlyna – taško, punktyrine – taikinio

29 paveiksle pateikti taikinio ir žiūros taško trajektorijų pavyzdžiai, iš kurių apskaičiuoti tyrimo rezultatai. Jame matome taikinio judesio trajektorijos atkarpą (punktyrinė linija) ir žiūros taško atkarpas, gautas abiejų eksperimentų metu ir sutapdintas viename paveiksle. Storesne linija

parodyta žiūros taško trajektorijos atkarpa sekant taikinį su Miulero-Lajerio iliuzija, o plonesne linija – sekant taikinį nesukeliantį iliuzijos (šviečiantį tašką). Tyrimo rezultatai nustatomi pagal pirmajame ir antrajame eksperimentuose gautų žiūros taško trajektorijų suvidurkintus duomenis. Amplitudės paklaida ir atsilikimas, kurie gaunami dėl iliuzijos poveikio ir nurodyti 28 paveiksle, nustatomi kaip skirtumai tarp pirmojo ir antrojo eksperimentų suvidurkintų rezultatų.



29 pav. Taikinio ir žiūros taško trajektorijų atkarpų fragmentas, sutapdinus abiejų eksperimentų duomenis

Gauti duomenys visiems penkiems tiriamiesiems atlikus eksperimentus su trimis taikinio judėjimo greičiais pateikti 3 lentelėje. X – vidurkis, σ – standartinis nuokrypis.

3 lentelė

Taikinio greitis, laipsniai/s	10			20			30		
	Paklaida, laipsniai		Atsilikimas, ms	Paklaida, laipsniai		Atsilikimas, ms	Paklaida, laipsniai		Atsilikimas, ms
	Vidurkis	σ		Vidurkis	σ		Vidurkis	σ	
RZ	0,33	0,21	32,6	0,6	0,51	29,8	1,04	0,79	34,5
SN	0,26	0,25	25,6	0,57	0,51	28,4	0,93	0,59	31,1
AP	0,34	0,22	28,3	0,61	0,48	31,1	1,12	0,65	33,7
DB	0,36	0,2	35,7	0,64	0,53	30,5	1,21	0,72	35,1
GD	0,38	0,27	34,4	0,68	0,45	32,8	1,18	0,85	37,4

Iš 3 lentelėje pateiktų duomenų matome, kad akies sekamųjų judesių paklaida ir atsilikimas dėl sekamo taikinio pavidalo, turinčio su Miulerio-Lajerio iliuziją lyginant su taikinio pavidalu nesukeliančiu iliuzijos, akivaizdūs ir maždaug vienodi visiems tiriamiesiems. Amplitudės paklaida dėl iliuzijos didėja nuo 0,33 iki 0,62 ir iki 1,09 kampinio laipsnio didėjant taikinio judėjimo greičiui nuo 10 iki 20 ir iki 30 laipsnių/s atitinkamai, t. y. maždaug dvigubai, kai taikinio judėjimo greitis padidėja dvigubai. Tai sudaro nuo 2 iki 7 % visos taikinio judėjimo amplitudės. Tuo tarpu atsilikimas laike tarp pirmojo ir antrojo eksperimento rezultatų nepriklauso nuo taikinio judėjimo greičio ir yra apie 30 ms.

Gauti eksperimentiniai rezultatai patvirtina, kad akies sekamieji judesiai, sekant taikinį, turintį iliuzijos efektą, gali būti naudojami objektyviam dinaminės (judančios ir dėl to stebimos trumpą laiko tarpą) iliuzijos, poveikio ir laipsnio nustatymui. Gauti rezultatai indikuoja vien tik regos analizatoriaus sukeltos iliuzijos mastą, nes judant taikiniui CNS nespėja suvokti iliuzijos poveikio.

IŠVADOS

Iliuzijų fenomenas jau kelis šimtmečius traukia tyrinėtojų dėmesį. Pastaruoju metu iliuzijos mastas vertinamas ne tik suvokimo paklaida, bet ir žmogaus galūnių motoriniu veiksmu, tame tarpe ir akių judesiais.

Žmogaus akies sakados į stimulą yra greitos ir gana tikslios. Jos gali būti sąmoningos arba refleksinės. Apie 70 % akies sakadų tiksliai į taikinį nepataiko, todėl įvykdomos dviem šuoliais – pirminiu ir korekciniu. Didesnioji dalis pirminių sakadų perkelia žiūros liniją per arti taikinio ir mažesnioji dalis – per toli nuo taikinio.

Sąmoningai atliktos sakados yra 40 % - 50 % labiau įtakojamos iliuzijos, lyginant su refleksinėmis sakadomis. Kadangi atliekant sąmoningas sakadas akis iliuzinį stimulą matė viso eksperimento metu, todėl iliuzija labiau įtakojo regą ir okulomotorinę sistemą, atlikdama akies šuolį į stimulą, padarė didesnę paklaidą.

Bandymai parodė, kad pirminės sakados labiau veikiamos iliuzijos negu korekcinės. Pirminių sakadų paklaidos yra 6,5 %, o korekcinių tik 0,1 %.

Gauti eksperimentiniai rezultatai patvirtina, kad akies sekamieji judesiai, sekant taikinį, turintį iliuzijos efektą, mažai veikiami iliuzijos. Sekamųjų judesių paklaidos – 2 %.

Geometrinių iliuzijų tyrimai su akių judesiais parodė, kad paklaidos sukeltos iliuzijos yra žymiai mažesnės, negu paklaidos nustatytos vertinant iliuzijos mastą suvokimu (pirminių sakadų – 6,5 %, korekcinių – 0,1 %, sekamųjų judesių – 2 %, o subjektyvaus tyrimo paklaidos – 10 %). Akių judesiai priklauso nuo iliuzijos nuo 0,1 % iki 10%.

Baigiamojo darbo tyrimai atlikti ŠU Biomedicininės inžinerijos mokslinio centro laboratorijoje. Tiriamųjų akių judesiai buvo registruojami *LC Technologies* sukurtu žiūros taško ekrane nustatymo įtaisu *EyeGaze System*.

Tolimesni tyrimai galėtų būti atliekami tiriant šuolinių ir sekamųjų akių judesių paklaidas, iliuzinį stimulą pateikiant trumpą laiko tarpą.

LITERATŪRA

1. Aglioti S., DeSouza J. F.X., Goodale M. A. Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, Volume 5, Issue 6, 679-685, 1 June 1995
2. Barbara G. Wickelgren. Brightness contrast and length perception in the Müller-Iyer illusion. Cambridge. 2003
3. Bertulis A, Bulatov A. Distortions of length perception: anisotropy of the visual field and geometric illusions. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal Imeni I M Sechenova/Rossiiskaia Akademiia Nauk* 2003 Oct; 89(10):1265-80
4. Binsted G., Chua R., Helsen W., Elliot D.. Eye-hand coordination in goal-directed aiming. Canada. 2001
5. Binsted G., Elliott D. The Müller-Lyer illusion as a perturbation to the saccadic system. *Human Movement Science* Volume 18, Issue 1, 1999, 103-117
6. Blužienė A., Jašinskas V. Akių ligų vadovas. Šiauliai: A.S. Narbuto leidykla, 2005
7. Brentano F. *Deskriptive Psychologie*. Meiner, Hamburg: 1892
8. Bridgeman B., Peery S., Anand S. Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space, *Perception & psychophysics*. 1997, No 59. P. 456-469
9. Bulatov A, Bertulis A. Distortions of length perception. *Biological Cybernetics* 1999 Mar; 80(3):185-93
10. Bulatov A, Bertulis A. Superimposition of illusory patterns with contrast variations. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* 2005; 65(1):51-60
11. Bulatov A. Vaizdų erdvių parametrų suvokimo iškreipimai. Kaunas, 2006
12. Bulatov A., Bertulis A. Neurofiziologiniai regimojo suvokimo pradmenys. Kaunas, 2008
13. Carpenter R.H.S. *Movements of the eye*. London, 1988
14. Cromer J., Waitzman D. M. Neurons associated with saccade metrics in the monkey central mesencephalic reticular formation. USA. 2006
15. Daunys G. Dvikoordinačiai sekamieji akies judesiai. Daktaro disertacija. *Technologijos mokslai, Elektros ir elektronikos inžinerija (01T)*. 1999
16. Delboeuf iliuzija [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. kovo 02 d.]. Prieiga per internetą: <http://mathworld.wolfram.com/DelboeufIllusion.html>

17. Eyegaze Analysis Systems. [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. kovo 02 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eyegaze.com/content/eyegaze-analysis-systems>
18. Gillam B, Chambers D. Size and position are incongruous: measurements on the Müller-Lyer figure. *Percept Psychophys* 1985 Jun;37(6)
19. Gregory R. L. *Eye and Brain. The Psychology of Seeing*, Oxford, 1990
20. Gutauskas A, Bulatov A, Bertulis A. Psychophysical measurements of illusion of the puffy circle. *Medicina (Kaunas, Lithuania)* 2005;41(2):138-44
21. Gutauskas A, Bulatov A., Bertulis A. Psichofizikiniai apibrėžto apskritimo iliuzijos matavimai. *Medicina (Kaunas)* 2005; 41(2)
22. Heath M., Rival Ch., Binsted G. Can the motor system resolve a premovement bias in grip aperture? Online analysis of grasping the Müller-Lyer illusion. *Exp Brain Res* (2004) 158: 378-384
23. Julesz B. *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press, 1971
24. Kėvelaitis E. *Žmogaus fiziologija: vadovėlis*. Kaunas, 2006
25. Knox P. C., Bruno N. When does action resist visual illusion? The effect of Muller-Lyer stimuli on reflexive and voluntary saccades // *Exp. Brain. Res.* 2007; 181 - P. 277-287
26. Lašas V. *Analizatorių fiziologija*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, 1954
27. Lašas V., *Žmogaus fiziologija*. Vilnius. 1965
28. Laurutis V, Lakiūnaitė N, Zemblys R. Šuolinių akių judesių okulomotorinio kanalo informacijos praleidžiamoji geba. Biomedicininės inžinerijos centras, Šiaulių universitetas; Informatikos inžinerijos katedra, Klaipėdos universitetas. 2010
29. Lipps M. A. Task influence of scene content selected by active vision. – 2004. [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: http://www.cis.rit.edu/vpl/publications/Lipps_MS_Thesis_full.pdf
30. Mack A, Heuer F, Villardi K, Chambers D. The dissociation of position and extent in Muller-Lyer figures. *Perception & Psychophysics* 1985 Apr;37(4):335-44
31. Martinez-Conde S., Macnik S., Hubel D. H. The role of fixational eye movements in visual perception. // *Nature Review / Neuroscience*, Vol 5, 2004, p.229-239

32. Mccarley J. S. and Ch. Grant. State-trace analysis of the effects of a visual illusion on saccade amplitudes and perceptual judgments. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois
33. Morinaga S. *Über die Raumwahrnehmung bei optischen Täuschungen*. Brussels, Belgium 1957
34. Müller-Lyer FC. *Optische Urteilstauschungen*. *Dubois-Reymonds Archive für Anatomie und Physiologie* 1889;Suppl.:263-70
35. Parlange O, Roncato S, 1995, The global figural characteristics in the Zöllner illusion. *Perception* 24 (5) 501–512
36. Rao R. P. N., Zelinsky G., Hayhoe M. M., Ballard D. H. Modeling saccadic targeting in visual search. // *Advances in neural information processing systems*. Vol 8, 1996, p. 830-836
37. Regos sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://ausis.gf.vu.lt/pub/neurobio/BIOLOGAMS/rega.pdf>
38. Robinson D. A. Control of eye movements/ *Handbook of Psychology. The Nervous System Motor Control*. Bethesda, MD: Am. Physiol. Soc., 1981. Sect. 1. Vol II. P 1275-1320
39. Sakados [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.4colorvision.com/reading/saccades.htm>
40. Surkys T., Ryškio ir spalvos kontrasto įtaka stimulo geometrijos suvokimo iškreipimams. *Daktaro disertacija. Kauno medicinos universitetas*. 2007.
41. Surkys T., Bertulis A. *Oppel-Kundt illusion weakens with exposure shortening*. Institute of Biology, Lithuanian University of Health Sciences. Kaunas. 2010
42. Wade NJ, Heller D. Visual motion illusions, eye movements, and the search for objectivity. *J Hist Neurosci*. 2003 gruodis; 12 (4):376-95
43. Wong T. S.. The respective role of limb and eye movements in the haptic and visual Müller-Lyer illusion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. Volume 27, Issue 4, 1975, 659-666
44. Zöllner F. *Ueber eine neue Art von Pseudoskopie und ihre Beziehungen zu den von Plateau und Oppel beschriebenen Bewegungsphänomenen*. *Annalen der Physik und Chemie* 1860
45. Ярбус А. *Роль движений глаз в процессе зрения*. – Москва, „Наука“, 1965.