

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS  
NEUROBIOLOGIJOS IR BIOFIZIKOS KATEDRA

FAUSTA ŠUKYTĖ

neurobiologija

**Baigiamasis magistro darbas**

AKIŲ JUDESIŲ IR ŽVILGSNIO FIKSAVIMO ĮTAKA ILIUZIJŲ SUVOKIME

Leidžiama ginti \_\_\_\_\_  
(parašas)

Studijų programos pirmininkas  
\_\_\_\_\_  
(vardas, pavardė)

Studentas \_\_\_\_\_  
(parašas)

Darbo vadovas Doc. dr. Rytis Stanikūnas  
(mokslinis darbo vadovo laipsnis, pedagoginis  
mokslo vardas, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Darbo įteikimo data 2021 06 03

Registracijos Nr. \_\_\_\_\_

Darbas įvertintas \_\_\_\_\_  
(data, įvertinimo balas, komisijos pirmininko parašas)

Vilnius, 2021

## Turinys

ĮVADAS .....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	6
1.1. Regos sistemos anatomija .....	6
1.2. Tinklainė – centrinės nervų sistemos dalis .....	7
1.3. Akių judesiai ir jų reikšmė .....	10
1.3.1. Sakados .....	10
1.3.2. Tolygaus sekimo judesiai .....	10
1.3.3. Vergentiniai judesiai .....	11
1.3.4. Vestibulo-okuliariniai judesiai .....	11
1.4. Vaizdų suvokimas .....	11
1.4.1. Vaizdų grupavimas .....	12
1.4.2. Lazdelių ir kolbelių reikšmė vaizdo suvokime .....	12
1.4.3. Šoninis slopinimas .....	13
1.5. Optinių iliuzijų tyrinėjimai .....	14
1.5.1. Iliuzijų atsiradimo priežastys .....	15
1.5.2. Optinių iliuzijų tipai .....	16
1.5.3. Neoninių spalvų sklaidos optinės iliuzijos .....	16
1.5.4. Ehrenšteino iliuzija .....	17
1.5.5. Kanizso trikampio iliuzija .....	18
1.6. J. Muelleris ir J.J. Oppelis .....	20
1.7. Hermannas von Helmholtzas. Kognityvinės iliuzijos samprata .....	20
1.8. Numanomo jutiminio atgalinio ryšio teorija .....	21
1.9. Trokslerio efektas .....	22
1.10. Iliuzijų tyrimai Lietuvoje .....	22
2. TYRIMO METODIKA .....	24
2.1. Tiriamieji .....	24
2.2. Įranga .....	24
2.4. Eksperimento eiga .....	24
2.5. Eksperimento duomenų analizė .....	25
3. REZULTATAI .....	27
3.1. Reakcijos laikas .....	27

3.2. I etapas.....	27
3.3. II etapas.....	31
3.3.1. Kanizsos trikampio iliuzija.....	31
3.3.2. Neoninių spalvų dreifo iliuzija.....	32
3.3.3. Ehrenšteino kvadrato iliuzija.....	32
3.3.4. Ehrenšteino iliuzija (groteles).....	33
IŠVADOS.....	35
DISKUSIJA.....	36
LITERATŪRA.....	37
SANTRAUKA.....	45
SUMMARY.....	46
PADĖKA.....	47
PRIEDAI.....	48

## ĮVADAS

Regos sistema leidžia žmogui geriau pažinti aplinką, orientuotis joje, prisitaikyti arba pamatyti judančius objektus, jų spalvų kitimą, padeda adaptuotis aplinkoje. Tai yra viena svarbiausių juslinių sistemų. Tačiau, kad regos sistema galėtų atlikti tiek funkcijų, ji turi sudėtingus nervinius tinklus žievėje ir taip pat požievinėse struktūrose. Regos sistemos informacijos šaltinis yra šviesa. Būtent ji per optinę sistemą pasiekusi tinklainę atsiunčia informaciją apie išorinį pasaulį. Tinklainėje esanti sudėtinga nervinių tinklų organizacija leidžia tiksliai pamatyti objektus, suprasti juos, tačiau pasitaiko momentų, kad matomą vaizdą suvokiame kitaip nei esame įpratę matyti. Tai rodo, kad regos sistema, nors ir yra puikiai organizuota nervinių tinklų, ne visada savo funkcijas atlieka nepriekaištingai, ko pasekoje atsiranda aplinkos realybės iškraipymų.

Neuromokslininkai teigia, kad tai ką patiriame yra mūsų vaizduotės vaisius. Nors mūsų pojūčiai tikslūs ir teisingi, bet nebūtinai atkuria fizinį išorinį pasaulį. Žinoma, daugelis kasdieninio gyvenimo patirčių atspindi fizinius dirgiklius, kurie siunčia signalus į smegenis. Vienas iš svarbiausių neuromokslininkų naudojamų priemonių norint suprasti, kaip smegenys sukuria savo realybės jausmą, yra vizualinės iliuzijos. Pats terminas reiškia jutimų paklaidą, atsirandančią dėl neatitikimų tarp suvokiamo ir objektyvaus pasaulio. Istoriskai menininkai, dar gerokai anksčiau prieš mokslininkams pradėdant tirti šiuos reiškinius, naudojo iliuzijas savo darbuose, kad sukurtų apgaulę smegenims ir „paverstų“ plokščią drobę trimate arba eilė brūkšnelių iš tikrųjų yra natūrmortas.

Vienas iš svarbių regėjimui reikalingų procesų yra formos ir dydžio suvokimas. Vokiečių psichologai Maksas Vertheimeris (1880-1943), Kurtas Koffka (1886-1941) ir Wolfhansas Kohleris (1887-1967), teigė, kad formas mes sukuriame iš jų komponentų pojūčių, paremtų „idėja“. Būtent geštalo idėja ir yra ta, kad visuma yra daugiau, nei jos dalių suma. Vizualinės iliuzijos leidžia pamatyti, tai ko nėra, arba atvirkščiai, nepamatyti, to kas yra. Dėl šio „atotrūkio“ tarp suvokimo ir tikrovės, iliuzijos parodo, kad smegenys nesugeba atkurti fizinio pasaulio.

Regos tyrimai su iliuzijomis gali padėti suprasti regos sistemos atsaką ne tik į nesudėtingus šviesos stimulus, bet ir į kompleksinius vaizdus. Taip pat, galima tirti nervinių impulsų plitimo kelius, stebėti smegenų struktūrose vykstančius procesus. Atgalinio ryšio teorija teigia, kad bet koks akių judesys, dėl kurio vizualinis vaizdas pasislenka tinklainėje, turės pasekmę regos centre, tam kad kompensuotų tinklainės poslinkį. Klasikinis pavyzdys yra stabilus regėjimo pasaulio suvokimas, nepaisant sakadinių akių judesių, kurie keičia tinklainės vaizdą. Ilgalaikė hipotezė yra ta, kad smegenys kompensuoja regos įvesties sutrikimą, naudodamos išankstines žinias apie artėjančią sakadą.

Šiame darbe buvo tirta kaip žvilgsnio fiksavimo metu iliuzijos efektas (pojūtis) išnyksta, siekta nustatyti ar iliuzija išnyksta anksčiau negu pradeda nykti fiziniai vaizdo elementai. Taip pat, buvo atkreipiamas dėmesys į akių judesius, ar iliuzija vėl atsistato esant akių judesiams.

**Darbo tikslas:** ištirti, akių judesių ir žvilgsnio stabilizavimo įtaką iliuzijos suvokime.

**Darbo uždaviniai:**

1. Išsiaiškinti, ar akių judesiai turi įtakos iliuzijų suvokimui;
2. Įvertinti, ar vyzdžio pločio pokyčiai turi įtakos iliuzijų suvokime;
3. Nustatyti, ar iliuzijos išnykimas yra susijęs su fizinių elementų išnykimu;
4. Atskleisti, patirties įtaką iliuzijų suvokime.

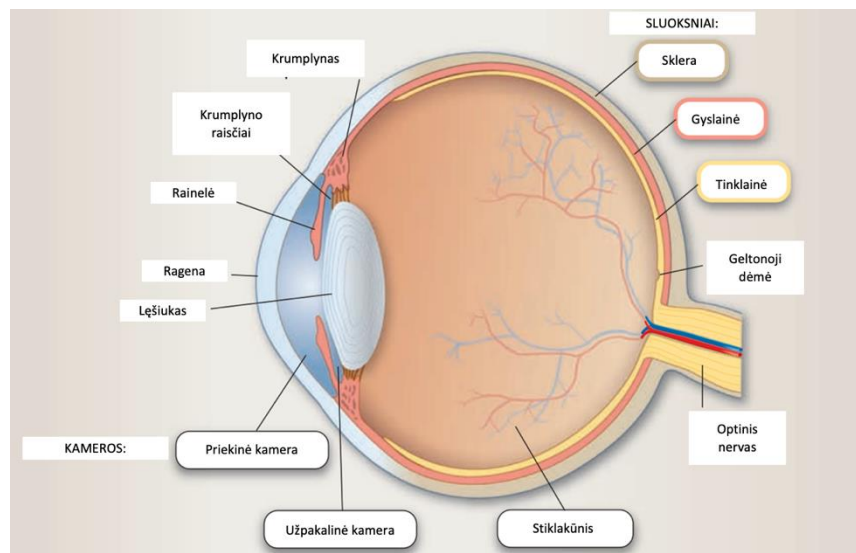
**Darbo metodai:**

Mokslinės literatūros analizė, eksperimentai, eksperimentinių duomenų analizė.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Regos sistemos anatomija

Akys (1 pav) yra tarsi langai į išorinį pasaulį, tačiau jų funkcionalumas ir prisitaikymas yra kur kas platesnis nei bet kokio stiklo. Akys sugeba užfiksuoti ir sureguliuoti šviesos srautus ir paversti juos signalais, kuriuos smegenys apdoroja (Zhu et al., 2012) ir po to interpretuoja vaizdus (Litzinger & Rio-Tsonis, 2002). Net Charlesas Darwinas tvirtino, kad akys tobulas ir sudėtingas kompleksas (Litzinger & Rio-Tsonis, 2002). Tačiau, iš esmės galima akį suskirstyti į du segmentus: priekinį ir užpakalinį. Priekinis segmentas susideda iš ragenos, junginės, akių skysčio, rainelės ciliarinio kūno ir kristalinio lęšiuko. Priekinis segmentas užima maždaug trečdalį akies priekio. Užpakalinį segmentą sudaro gyslainė, Brucho membrana, tinklainės pigmentinis epitelis, nervinė tinklainė, stiklakūnio skystis (Cholkar et al., 2013).



1 pav. Akies sandara (Lippincotts-Illustrated-Reviews-Neuroscience.Pdf, n.d.)

Kai šviesa artėja prie akies ji pirmiausia liečiasi su ragena. Ragena tarnauja kaip apsauginė akies priekinės dalies danga, taip pat padeda sutelkti šviesą į tinklainę akies gale. Praėjus pro ragena, šviesa keliauja į vyzdį (Arathorn et al., 2013), kuris rainelės pagalba susitraukia arba išsiplečia (Litzinger & Rio-Tsonis, 2002). Rainelei praleidžiant daugiau šviesos į akį vyzdys praplečiamas, o kai aplinka tamsi, praleidžia mažiau šviesos, dėl to vyzdys susitraukia. Taigi, keičiantis šviesos kiekiui artimoje aplinkoje, vyzdys išsiplečia ir susiaurėja kaip fotoaparato objektyvo diafragma. Vyzdžio dydį kontroliuoja vyzdžio sfinkterio ir išsiplėtimo raumenų veikimas. Toliau už rainelės išsidėstęs lęšiukas, kuris keisdamas savo formą fokusuoja šviesą į tinklainę. Veikiant mažiems raumenims (vadinamiems ciliariniais raumenimis), lęšiukas tampa storesnis, kad būtų galima sutelkti dėmesį į netoliese esančius daiktus, o plonesnis - tolimiems (Arathorn et al., 2013). Šie procesai dar vadinamas refrakcija ir akomodacija (Litzinger & Rio-Tsonis, 2002). Šių procesų pagalba šviesa pasiekia tinklainę (A. Siegel et al., 2015).

Būtent tinklainėje vyksta šviesos apdorojimas, joje šviesos signalai transformuojami į neuroninius signalus, kuriuos gali suvokti ir apdoroti smegenys (Besharse & Bok, 2011).

## 1.2. Tinklainė – centrinės nervų sistemos dalis

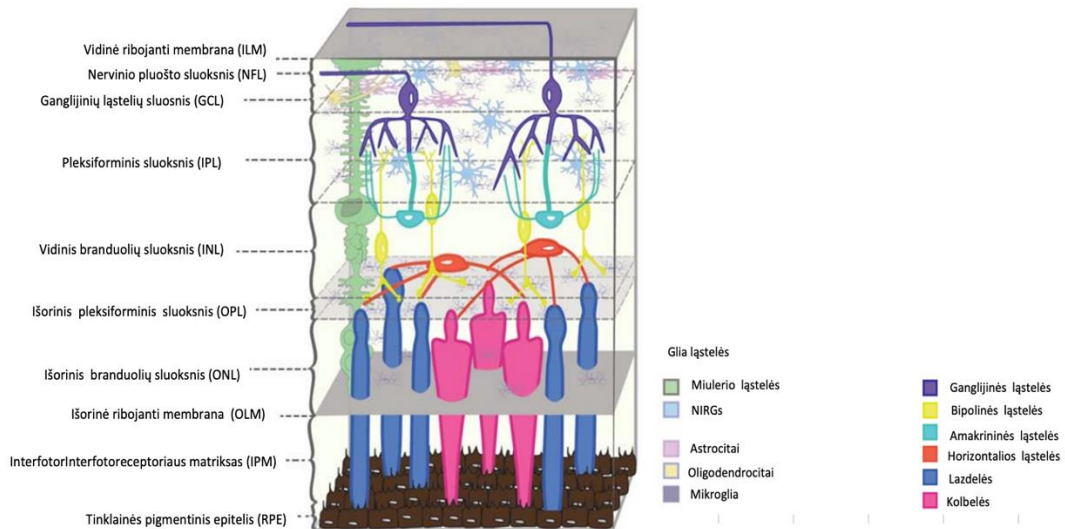
Žmogus turbūt niekada nesuvoktų matomo vaizdo, jei ne tinklainė. Joje esančios nervinės ląstelės nepaprastai panašios į smegenų nervines ląsteles ir taip patvirtinamas teiginys, kad regos sistema yra dalis nervų sistemos „ataugos“ (Zhu et al., 2012).

Tinklainę galima suskirstyti į daugelį skiriamųjų sluoksnių arba paprasčiau į tris pagrindinius sluoksnius: ganglijinių ląstelių sluoksnis, vidinis branduolių sluoksnis, kuriame yra bipolines, amakrininės ir horizontalios ląstelės ir išorinis branduolių sluoksnis, kuriame yra fotoreceptorių ląstelės ir jų segmentai. Šiuos ląstelių sluoksnius maitina tinklainės ir gyslainės kraujagyslės, esančios iš abiejų tinklainės pusių (Cheng et al., 2006).

Išorinis nervinis sluoksnis, kuriame yra fotoreceptoriai, prisideda prie vertikalios signalų pernešimo tinklainėje (Campbell et al., 2017). Sluoksnis susideda iš dviejų tipų fotoreceptorių: kolbelių ir lazdelių, kurie yra atsakingi už šviesos fotonų priėmimą ir transformavimą į elektrocheminius impulsus/signalus (Guyton & Hall, 2006). Šių fotoreceptorių ląstelių branduoliai yra išoriniame branduolių sluoksnyje (ONL, *ang. outer nuclear layer*). Iš ONL sluoksnio išsikišdami į išorinį pleksiforminį sluoksnį (ONL, *ang. outer plexiform layer*) formuoja sinapses su bipolinių ląstelių dendritais. Tai yra pirmasis sinapsinis sluoksnis (Zhu et al., 2012).

Kaip ir išorinius sluoksnius, taip ir vidinius sluoksnius galima suskirstyti į branduolių ir pleksiforminius sluoksnius (*ang. plexiform layers*). Vidiniame branduolių sluoksnyje (INL, *ang. inner nuclear layer*) yra bipolinių ląstelių branduoliai, horizontaliosios ląstelės ir amakrininės ląstelės bei glijos ląstelės. INL ribojasi su pleksiforminiu sluoksniu (IPL, *ang. plexiform layer*), kuriame vyksta vertikalūs ryšiai tarp bipolinių ir ganglijinių ląstelių. Taip susidaro antrasis sinapsinis kontaktinis sluoksnis (Litzinger & Rio-Tsonis, 2002).

Kitas sluoksnis yra ganglijinių ląstelių sluoksnyje (GCL, *ang. ganglion cell layer*), tai – ganglijinių ląstelių kūnai. Šių ganglijinių ląstelių dendritai tęsiasi į IPL sluoksnį, o jų aksonai priešinga kryptimi tęsiasi į nervinio pluošto sluoksnį (NFL, *ang. nerve fibre layer*) (Zhu et al., 2012). Šiame sluoksnyje ganglijinių ląstelių aksonai keliauja link optinių diskų (2 pav.) (Purves et al., 1997).



2 pav.

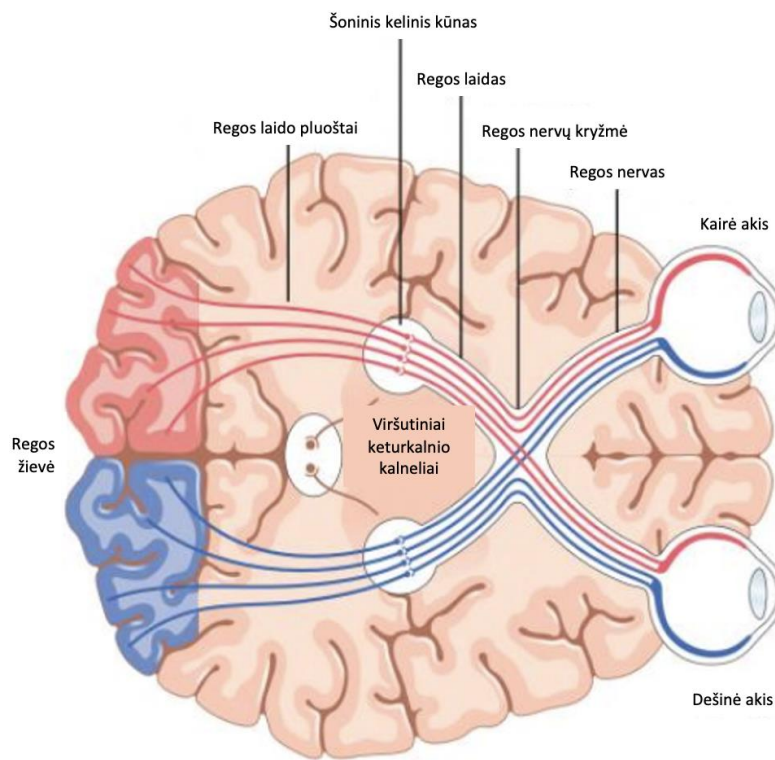
Scheminis neuronų ir palaikančiųjų glia ląstelių išsidėstymas tinklainėje (Zhu et al., 2012)

Apibendrinant, galima teigti, kad šviesos spinduliai tinklainėje pirmiausia susiduria su ganglijinių ląstelių sluoksniu ir pleksiforminiu sluoksniu, o perėjus šiuos sluoksnius yra pasiekiamos kolbelių ir lazdelių sluoksnis, jomis sklinda į ganglijines, kurios su bipolinėmis ląstelėmis susijungia horizontaliai amakrininių ląstelių pagalba. Impulsas toliau keliauja ganglijinių ląstelių aksonais, kurie sudaro regos nervą (A. Siegel et al., 2015). Kairiosios ir dešniosios akies regos nervo aksonai medialiniai ir išoriniai. Medialiniai regos nervo aksonai kryžiuojasi regos nervų kryžmėje, o išoriniai nesikryžiuoja (3 pav.). Kirtę regos nervų kryžmę išeina regos laidai. Dešinieji regos laidai neša informaciją iš kairiosios regos pusės, o kairieji – iš dešniosios pusės. Toliau vieni aksonai tęsiasi iki viršutinių keturkalnio kalnelių, o šoninio kelinio kūno aksonai keliauja iki pirminės regos žievės (Jangra & Grover, 2016). Svarbu paminėti, kad šoninis kelinis kūnas priima signalus ir iš kitų jutimo organų (Usrey & Alitto, 2015). Taip pat jis reguliuoja leidžiamo signalo kiekį į žievę (Hei (黑晓娟) et al., 2014).

Kiekvienas pusrutulius turi savo regos žievę, kuri gauna informaciją iš kontralateralinės akies. Kitaip tariant, dešinioji žievės sritis apdoroja informaciją iš kairės akies, o kairė – iš dešinės (Goodale, 2011).

Regos žievė yra pagrindė smegenų žievės sritis, kuri priima, integruoja ir apdoroja iš tinklainės perduodamą informaciją. Regos žievė yra pakaušio srityje. Ji yra skirstoma į penkias skirtingas sritis (V1-V5), atsižvelgiant į funkcijas ir struktūras. Vizualinė informacija iš tinklainės keliauja į regos žievę, bet prieš tai praeina pro gumburą, tiksliau – šoninį kelinį kūną. Iš jo informacija keliauja į V1, pirmąjį regos žievės sritį. V1 dar vadinama pirmine regos žieve, esanti pentininės vagos srityje (Huff et al., 2021).





3 pav. Regos nervų kelias smegenyse (Guyton & Hall, 2006)

Yra hipotezė, kad kai vaizdinė informacija perduodama į tolimesnes regos žievės sritis, kiekviena tolimesnė sritis yra labiau specializuota nei prieš tai buvusi. Regos žievės neuronai dažnai reaguoja į dirgiklius fiksuotus regėjimo imamajame lauke, į kurį jie reaguoja, o kiekvienos regos srities neuronai reaguoja į skirtingus dirgiklius (Goodale & Milner, 1992).

Vienas iš geriausiai ištirtų specializuotų ląstelių pavyzdžių yra paprastųjų ir kompleksinių ląstelių. Paprastosios ląstelės dažniausiai aptinkamos V1, jos reaguoja į tam tikrus vaizdinius ženklus, tokius kaip kraštų ir linijų orientacija. Kompleksinės ląstelės randamos V1 – V3 yra tarsi paprastos ląstelės, nes reaguoja ir į kraštus ir orientacijas, tačiau neatrodo, kad jos atspindėtų vieną receptyvų lauką. Be to, kompleksinės ląstelės pirmiausiai reaguoja į judėjimą konkrečiomis kryptimis (Huff et al., 2021).

V1 yra pirmasis iš žievės regionų, kuris gauna ir apdoroja informaciją. V1 dar yra padalintas į šešis skirtingus sluoksnius, kurių kiekvienas apima skirtingus ląstelių tipus ir funkcijas, Pastebėta, kad 4 sluoksnis yra ta vieta, kuri gauna informaciją iš šoninio kelinio kūno. 4 sluoksnyje, taip pat, pasižymi tuo, kad jame yra didžiausia koncentracija paprastųjų ląstelių. Kompleksines ląsteles galima rasti 2,3 ir 6 sluoksniuose. Taigi, V1 reaguoja į paprastus regėjimo komponentus kaip orientacija ir kryptis. Šios informacijos apibendrinimas suteikia pagrindą sudėtingesniai modelio atpažinimui vaizdiniame sraute (DeAngelis et al., 1995).

V2 gauna integruotą informaciją iš V1 ir vėliau padidina objektų sudėtingumą ir paternų atsako lygį. Tyrėjai užfiksavo šio regiono ląsteles reaguojant į spalvų, erdvinio dažnio, modelių ir objektų orientacijos skirtumus (Anzai et al., 2007). V2 siūnčia grįžtamąjį ryšį į V1 bei turi ryšius su V3 – V5. Visos šios sritys yra svarbios, nes juose vyksta palaipsniui vaizdų sudėtinė analizė (Fournier et al., 2018). Taigi, šios regionų specializacijos pranašumas yra tas, kad žievės regionai gali laisvai atlikti už tam

tikrus elementus ir pateikti tikslingesnę informaciją. Tačiau, kadangi vizualinis apdorojimas yra nesąmoningas procesas, tai gali sukelti klaidingą vizualinių duomenų apdorojimą, kuri galima įrodyti su vizualinėmis iliuzijomis (Goodale, 2011).

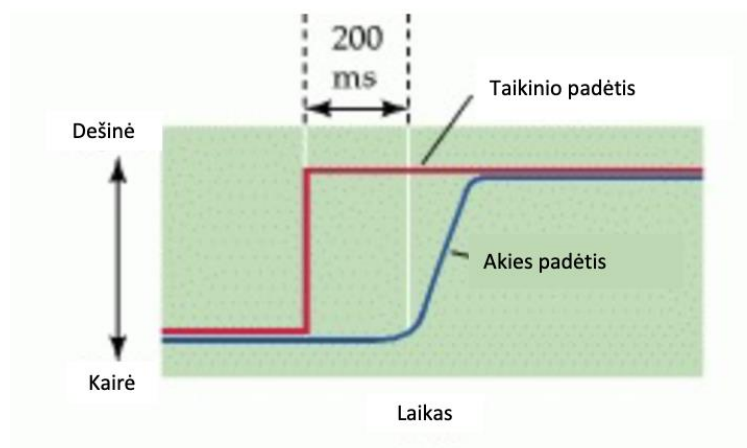
### 1.3. Akių judesiai ir jų reikšmė

Mūsų akys tarsi gaudo vaizdus nuolat judėdamos, taip bandydamos sukcentruoti žvilgsnį į kažkurį tašką. Bandant sukcentruoti žvilgsnį, akys atlieka nemažai nevalingų judesių vis nutoldamos ar nukrypdomos nuo to taško. Toks akies judėjimai yra ne bereikšmiai, akys taip suprojektuoja vaizdą į geltonąją dėmę – jautriausią tinklainės dalį (Snowden & Freeman, 2004).

Yra keturi pagrindiniai akių judesių tipai: sakados, tolygaus sekimo judesiai, vergentiniai judesiai ir vestibulo-okuliariniai judesiai (Purves et al., 2001). Kiti šaltiniai išskiria penkis tipus, papildomai atsiranda optokinetinis judesys, kuris kompensuoja aplinkos judėjimą (Enderle, 2010).

#### 1.3.1. Sakados

Sakados (4 pav) yra vieni ryškiausių judesių, nes jie yra greiti, balistiniai, staiga pakeičiantys fiksacijos tašką (Gilchrist, 2011). Jų amplitudė svyruoja nuo mažų judesių, kuriuos atliekame skaitydami, iki daug didesnių judesių – žvalgymasis po kambarį. Taigi, nevalingai reaguojant į aplinką atliekame nevalingas sakadas, o valingai atliekamos sakados (skaitant) yra sąmoningos. Miego metu atliekame nevalingas sakadas (Purves et al., 2001). Svarbu paminėti, kad fiksacijos metu akys nėra visiškai nejudančios. Fiksacijos metu gali vykti: drebulys, dreifas arba mikrosakados. Visi trys judesių tipai sumažina nervinę adaptaciją ir taip neleidžia vaizdui išblukti (Gilchrist, 2011).



4 pav. Sakadinio akių judesio schema. Raudona linija rodo fiksuojamo taikinio padėtį, o mėlyna linija geltonosios dėmės padėtį. Kai taikiny staiga juda į dešinę, akis pradeda judėti į naujo taikinio padėtį, maždaug per 200 ms (After Fuchs, 1967).

#### 1.3.2. Tolygaus sekimo judesiai

Priešingai sakadoms tolygaus sekimo judesiai yra daug lėtesni. Sakadiniai judesiai padeda užfiksuoti judantį objektą (Lisberger, 2010), tačiau po kiek laiko vaizdas vėl tarsi nušoka, dėl to atsiranda kita sakada. Tuo tarpu, tolygaus sekimo judesiai skirti išlaikyti judančius dirgiklius centrinėje duobutėje (*ang. fovea*). Tokie judesiai yra sąmoningai kontroliuojami žmogaus. Taip pat, jie yra konjuguoti (Purves et al., 2001). Įdomu tai, kad ne kiekvienas gali atlikti tolygaus sekimo judesius, tam reikia įgūdžių, dažniausiai be jų, jei bandoma atlikti šiuos judesius, atlieka tik sakadas (Schütz et al., 2011).

### 1.3.3. Vergentiniai judesiai

Vergentiniai judesiai – tai, kai abi akys juda priešingomis kryptimis vienu metu, norint išlaikyti vieną binokuliarinį regėjimą. Šie judesiai sulygina kiekvienos akies centrinę duobutę su taikiniais, esančiais skirtingais atstumais nuo stebėtojo (Purves et al., 2001). Vergentiniai akių judesiai yra nekonjuguoti, taip pat, juos galima išskirti į dar du pogrupius: konvergencija ir divergencija (Searle & Rowe, 2016). Lyginant su sakadomis, kurios yra labai greitos, bei įprastais akių judesiais naudojamais skaitymui ir vizualiniam supratimui, vergentiniai akių judesiai yra žymiai lėtesni. Tipiškai sakados užtrunka 50 ms, o horizontalusis vergentinis judėjimas trunka maždaug 1 s ilgiau. Vertikalūs ir ciklorotariniai vergentiniai judesiai yra dar ilgesni (Ciuffreda, 2014). Vergentiniai judesiai yra susiję su akies prisitaikymu – akomodacija (Hoffman et al., 2008).

### 1.3.4. Vestibulo-okuliariniai judesiai

Vestibulo – akių judesiai stabilizuoja akis ir kompensuoja galvos judesius. Šie refleksiniai atsakai neleidžia regimiems vaizdams susilieti. Vestibularinė sistema nustato trumpus, laikinus galvos padėties pokyčius ir taip sukelia greitus korekcinius akių judesius. Tačiau, nors vestibularinė sistema efektyviai veikia neutralizuodama greitus galvos judesius, ji yra gana nejautri lėtiems judesiams ar nuolatiniam galvos sukimui (Purves et al., 2001).

## 1.4. Vaizdų suvokimas

Žmogaus regėjimo suvokimo ir neuromokslų tyrimai rodo, kad yra daug suvokimo lygių. Panašu, kad žmogaus smegenys apdoroja pagrindines regėjimo savybes, tokias kaip spalva, orientacija, tekstūra, stereoskopinis gylis. Žmogus puikiai moka suvokti nedidelius orientacijos skirtumus (1–2 laipsnių kampinio pasvirimo laipsnius), subtilius spalvų skirtumus ir labai silpnus judesio pėdsakus (S. Siegel, 2011).

Dauguma smegenų sričių regėjimo neuronų yra labiau pritaikyti specifinėms savybėms, kai kurie gali labai stipriai suvokti linijas, parodytas tam tikru kampu, taip pat, į tam tikrą spalvą ar į tam tikrą

judėjimo kryptį reaguoti. Neuronai reaguodami į labai mažą regėjimo lauko sritį, svyruoja nuo laipsnio dalies iki kelių regėjimo kampo laipsnių (Stone, 2012).

#### 1.4.1. Vaizdų grupavimas

Geštalto psichologai pasiūlė, kad suvokimo negalima suprasti paprasčiausiai tiriant pagrindinius suvokimo elementus (Wertheimer, 1912; Koffka, 1935) (Haley, 2011). Vokiečių kalbos žodį geštaltas sunku išversti tiesiogiai, tačiau jis išreiškia mintį, kad visuma yra didesnė už dalių sumą (Rieber & Salzinger, 2013). Šie psichologai pasiūlė geštalto suvokimo grupavimo dėsnius, tokius kaip panašumo, artumo, tęstinumo ir panašiai. Dėsniai rodo, kad jei elementų, panašesnių spalva ar forma, yra daugiau, greičiausiai jie bus suvokiama kaip grupė (Ash et al., 2012). Tai padeda suvokti, kurioms savybėms priklauso galimas objektas, ir tai padeda atskirti objektą nuo fono. Pavyzdžiui, matome auksaspalvį reriverį, gulintį aukštoje žolėje. Grupavimas pagal panašumą gali padėti mums pamatyti kad šuo yra atskirai nuo žolės ir gali būti atpažinta vizganti uodega kaip šuns dalis, nors matyti tik uodegos galas. Galiausiai galime suvokti ištisu objektų formą ir suderinti šias figūrų formas į objektus, kuriuos žinome iš ankstesnės patirties (Baars & Gage, 2013).

Kad smegenys suvoktų daiktą, signalas turi praeiti per daugybę vizualinio apdorojimo etapų, pradedant objekto ypatybių elementų apdorojimu, sudedant elementus į vientisas grupes ir galiausiai išsiaiškinant, kaip tie elementai sudaro darnią organizuotą formą. Tada šis objekto formos atvaizdavimas turi būti suderintas su teisingu objekto vaizdu, saugomu atmintyje. Atsižvelgiant į tai, kad objektų yra tūkstančiai ir kad bet kurio objekto 2D vaizdas gali skirtis nuo požiūrio, apšvietimo ar žiūrėjimo sąlygų (Baars & Gage, 2013).

#### 1.4.2. Lazdelių ir kolbelių reikšmė vaizdo suvokime

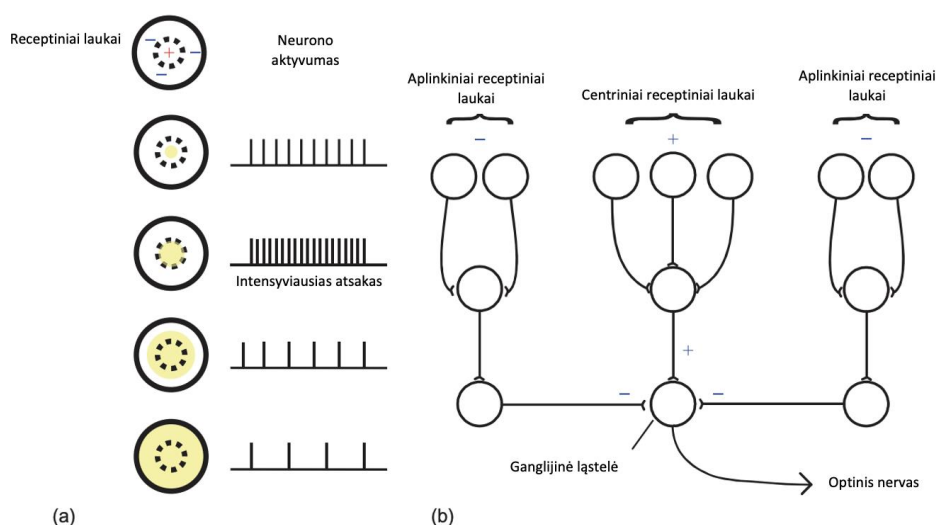
Kai iš objekto sklindanti šviesa pasiekia mūsų akis, ji sukelia neuronų kaskadinius įvykius. (Baars & Gage, 2010). Kolbelės atsakingos už spalvinį matymą, mažiau jautrios silpnai šviesai nei lazdeles ir yra svarbios detaliam spalvų matymui dienos šviesoje. Kiekvienoje kolbelėje yra viena iš trijų fotopigmentų rūšių, specializuoti baltymai jautrūs skirtingiems šviesos bangos ilgiams (Besharse & Bok, 2011). Šie bangos ilgiai maždaug atitinka mūsų gebėjimą atskirti raudoną, žalią ir mėlyną spalvas. Šviesai pataikius į fotopigmento molekulę, šviesos energija absorbuojama, o tada molekulė keičia formą taip, kad modifikuoti elektros srovė tame fotoreceptorius neurone (Thoreson & Dacey, 2019). Kolbelės tankiai supakuotos į foveaja, centrinė tinklainės dalį, kurią mes žiūrime tiesiai į daiktus, kad suvoktume jų smulkias detales. Periferijoje kolbelės yra labiau išsiskleidusios ir išsibarsčiusios, todėl periferijos objektai atrodo mažiau ryškūs, o jų spalvos yra ne tokios ryškios. Lazdelėse yra kitoks fotopigmentas, kuris yra jautresnis žemam šviesos lygiui. Lazdelės yra svarbios naktiniam matymui (Baars & Gage, 2010).

Fotoreceptorių signalus apdoroja bipolinės ląstelės, horizontalios ląstelės ir amakrininės ląstelės. Ganglijinių ląstelių kūnai yra tinklainėje, tačiau šios ląstelės turi ilgus aksonus, kurie palieka tinklainę ir suformuoja regos nervą. Ganglijinė ląstelė foveajojė gauna informaciją tik iš nedaugelio kolbelių, tuo tarpu ganglijinės ląstelės, kurios yra periferijoje gauna signalus iš daugybės lazdelių. Kai tiek lazdelių vieningai įsijungia į vieną ganglijinę ląstelę, jei kurią nors iš šių lazdelių suaktyvina šviesos fotonai, tai gali suaktyvinti ląstelę, o tai padidina tikimybę, kad pavyks aptikti blankų, išsibarsčiusį vaizdą. Tačiau šis jautrumas silpnai šviesai padidėjus pasiekiamas prastesnės skiriamosios gebos kaina. Lazdelės suteikia daugiau jautrumo, ir „neryškesnį“ vaizdą nei kolbelės, kurios suteikia aiškų vaizdą dienos metu (Jacobs, 2013).

Tinklainės ganglijinės ląstelės gauna tiek sužadavimo, tiek slopinimo iš bipolinių neuronų, o šių jėgimų erdvinis modelis lemia ląstelės imlumo lauką. Neuronų imlumo laukas reiškia regėjimo lauko dalį, kuri gali aktyvuoti arba stipriai slopinti tos ląstelės atsaką. Tinklainės ganglijiniai neuronai turi centrą supančius receptinius laukus. Ląstelė, kurios centre yra neuždengtas receptinis laukas, atsakys stipriai, jei šviesa bus pateikiama receptinio lauko centre. Padidėjus tai šviesos vietai, atsakymai padidės iki taško, kuriame šviesa pradės skliti už ON centrinio lauko ribų. Po to ganglijinės ląstelės reakcija pradeda mažėti kai šviesos vieta didėja ir skatina vis daugiau aplinkinių regionų, ląstelė, kurios receptiniame lauke yra OFF centrinis laukas, geriausiai reaguos į tamsią dėmę, esančią centre receptinio lauko (Baars & Gage, 2010).

### 1.4.3. Šoninis slopinimas

Tinklainės šoninis slopinimas yra vienas iš įprastų efektyvių vizualinės sistemos kodavimo mechanizmų, kurį sukuria interneuronai, kurie sujungia signalus per presinapsinių ląstelių apylinkes ir siunčia joms atgal slopinančius signalus. Taigi tinklainės ganglijinės ląstelės receptinis laukas turi centrinio apgaubiamojo receptinio lauko profilį, kuris klasikiniu būdu vaizduojamas kaip Gauso skirtumas, tinkamas efektyviam erdvinio kontrasto kodavimui (Yeonan-Kim & Bertalmío, 2016).



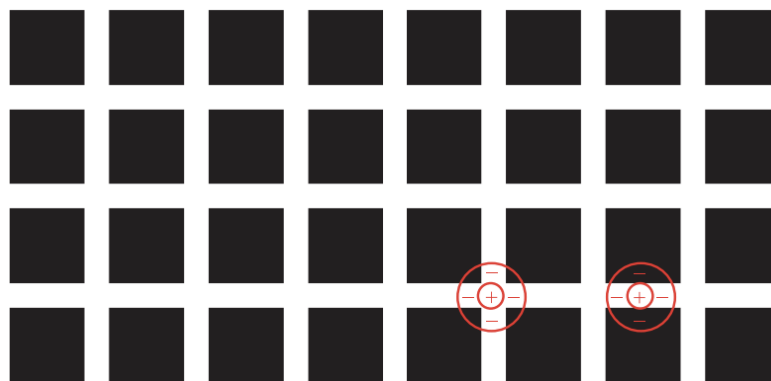
5 pav. Centriniai receptiniai laukai. a) Scheminis vaizdavimas atsako į

skirtingo dydžio šviesos dėmės. Didžiausias atsakas įvyksta, kai šviesos taškas yra tinkamo dydžio receptiniui laukui. b) Modelis, kaip galima pasiekti centrinį receptinį lauką bendradarbiaujant ir konkuruojant tarp skirtingų tinklainės jungiamųjų neuronų (Baars & Gage, 2010).

Šoninis slopinimas reiškia, kad neurono aktyvumas gali būti slopinamas patekus iš neuronų, kurie reaguoja į kaimyninius regėjimo laukus (Fernandes et al., 2013). Tinklainės ganglijinė ląstelė (pav. 5) gauna sužadavimo iš ląstelių, atitinkančių centre esančią sritį, ir slopinančią įvestį iš OFF centrinės srities. Šių sužadinaujų ir slopinamųjų įvadų stiprybės paprastai yra subalansuotos, taigi, jei tiek viename, tiek ir kitame regione bus vienoda šviesa, neuronas nereaguos iki vienodo apšvietimo (Baars & Gage, 2010).

Šoninis slopinimas yra svarbus siekiant pagerinti kraštų vaizdą, vaizdo, kuriame ryškiai keičiasi šviesos intensyvumas (Foley, 2019). Staigūs pokyčiai rodo galimų kontūrų, bruožų, formų ar objektų buvimą bet kurioje vaizdinėje scenoje, tuo tarpu vienodos paveikslėlio dalys nėra ypač informatyvios ar įdomios (Baars & Gage, 2010).

Šoninis slopinimas taip pat padeda užtikrinti, kad smegenys reaguotų panašiai į objektą ar vaizdinę sceną debesuotą ir saulėtą dieną. Galiausiai, šoninis slopinimas daugybėje regos apdorojimo lygių, įskaitant tinklainę, regos žievę, gali sukelti įdomias regėjimo iliuzijas, tokias kaip Hermano (pav. 6) tinklo iliuziją (Baars & Gage, 2013).



6 pav. Hermano tinklo iliuzija (Baars & Gage, 2010).

### 1.5. Optinių iliuzijų tyrinėjimai

Optinės iliuzijos buvo mūsų kasdinių išgyvenimų dalis nuo neatmenamų laikų. Teorijos apie optines iliuzijas atsirado dar senovės Graikijoje. Graikai dažnai naudojo jas savo architektūroje ir mene (Darrigol, 2012).

Kai žmonės suprato iliuzijų srities mokslą, buvo atlikta daug eksperimentų tapybos ir kitų vaizduojamųjų menų pavidalu. Iliuzija apibūdinama kaip suvokimas, iškreiptas nuo realybės. Optinės iliuzijos yra tie vaizdai, kurie mus apgaudinėja ir pateikia klaidinantį vaizdą. Vaizdinės iliuzijos nuo senų senovės buvo naudojamos paveiksluose ir architektūroje (ypač graikų šventyklose). Tačiau būtent

XIX amžiuje J.J. Oppelis ir Johannesas Muelleris pradėjo atidžiai nagrinėti šį reiškinių (Martinez-Conde & Macknik, 2013).

Optinių iliuzijų istoriją galima atsekti iki V a. kai Epicharmus pirmą kartą pateikė šio reiškinio paaiškinimą. Epicharmus manė, kad net jei mūsų protas viską žino ir supranta aiškiai, jutimo organai mus apgaudinėja ir pateikia optinę iliuziją. Kitas graikų filosofas, to paties laikotarpio Protagoras, turėjo kitokią nuomonę šia tema. Anot jo, mus apgauna aplinka, o ne jutimai. Epicharmo ir Protagoro pateiktos nuomonės dar labiau supainiojo tai, kas iš tikrųjų yra optinės iliuzijos. Garsus graikų filosofas Aristotelis bandė pateikti patenkinamą atsakymą šia tema. Jis sutiko su Protagoru dėl to, kad mes galime pasikliauti jutimais, kad gautume teisingą tikrovės vaizdą; tačiau Aristotelis (350 m. pr. m. e.) taip pat pridūrė, kad pojūčius buvo galima apgauti gana lengvai. Laikui bėgant žinias apie optines iliuzijas praturtino įvairūs filosofai ir tyrinėtojai. Platono pateiktos mintys taip pat suteikia tam tikrą įžvalgą apie šią temą. Pasak Platono, apgauti iššūkius ir galiausiai iliuzijų slypinčią realybę įmanoma naudojant ir jausmus, ir protą (Wade, 2017).

### 1.5.1. Iliuzijų atsiradimo priežastys

Optinė iliuzija atsiranda, kai regos žievė nesuvokia tam tikrų dirgiklių. Vizualinė informacija yra tinklainėje, kuri keliauja į regos žievę, kur yra specializuoti neuronai, kurie apdoroja informaciją susijusia su forma ir judėjimu (Robinson, 2013). Regos žievė susideda iš penkių regionų (V1 – V5), kurių kiekvienas atsakingas už regimąjį suvokimą. V1 yra atsakingas už vaizdinės informacijos apdorojimą ir perdavimą įvairiems regionams. Atitinkamai informacija dalijamasi ir aiškinama dviem keliais: keliu „kur“ ir keliu „ką“. Kelias „kur“ yra sujungtas su V5. Jis suteikia erdvinę informaciją pagal dirgiklių vietą ir judėjimą. „Kas“ kelias yra sujungtas su V4. Jis yra atsakinga už objektų atpažinimą ir analitinį apdorojimą (Schmolesky, 1995).

Mokslininkai nėra visiškai tikri, kodėl patiriame optines iliuzijas, tačiau yra keletas jų teorijų susijusių su aplinka, fiziologija bei evoliucija.

Fiziologinė teorija aiškina, kad šviesa sklinda per rageną ir akies obuolio lęšį ir suaktyvina tinklainės nervus. Iš ten regimoji informacija regos nervu keliauja į smegenų regos centrą. Regėjimo sistemos procesai, skirti regimąją informaciją paversti regėjimu, yra nepaprastai sudėtingi ir padeda sukurti optines iliuzijas (Robinson, 2013).

Regėjimo sistema visada realiu laiku suvokia šviesą, spalvą, atstumą, matmenis ir kitus kintamuosius. Tam tikri šių kintamųjų deriniai klaidina regėjimo sistemą ir priverčia pamatyti dalykus netiksliai. Aplinkos teoriją galima iliustruoti paprastu pavyzdžiu: žuvis tvenkinyje nėra tiksliai ten, kur matome, nes vanduo keičia suvokiamą žuvies vietą (Gopnik, 1993).

Evoliucijos požiūriu pirmieji žmonės turėjo išsugdyti greitą sugebėjimą atpažinti grėsmes. Jei tuometiniai žmonės nebūtų reagavę į grėsmes greitai, tai leopardas būtų galėjęs suvalgyti medžiotoją. Šis greičio poreikis galėtų būti vienas iš veiksnių, lemiančių optines iliuzijas (Gopnik, 1993).

### 1.5.2. Optinių iliuzijų tipai

Nors praėjo nemažai laiko nuo iliuzijų tyrimų pradžios, tačiau vieningos sistemos išskiriančios iliuzijas nėra. Tačiau galima jas suskirstyti į tris abstrakčias grupes: tikslios, fiziologinės ir pažintinės iliuzijos (Barlow, 1952).

Tikslios iliuzijos dažnai sukuriamos sudėjus kelių vaizdų kolekciją. Kiekvienas atskiras vaizdas gali būti lengvai pamatytas, tačiau vaizdai kartu gali atrodyti visai kitaip nei originalai. Taip pasiekama vadinamaisiais „užpildymo reiškiniais“. Akis siunčia vaizdinę informaciją smegenims, smegenys pasirenka, kurioms dalims sutelkti dėmesį. Priklausomai nuo židinio, gali būti matomi skirtingi vaizdo sluoksniai (Azlan et al., 2015).

Dėl fiziologinių iliuzijų žmogus mato vaizdo dalis, kurios iš tikrųjų nėra. Šie vaizdai dažnai turi kelias to paties vaizdo ar modelio kopijas. Pasikartojantis vaizdo modelis suaktyvina tuos pačius regos sistemos kelius, kad ir kur akys fokusuotųsi. Taip perkrauna regėjimo sistemą ir sukuria optinę iliuziją (Guterstam et al., 2011).

Pažintinės-kognityvines iliuzijas naudoja žmogaus prielaidas apie pasaulį, kad sukurtų optines iliuzijas. Šios iliuzijos nesiremia jokių biologinių mechanizmu. Atvirkščiai, jos nepaiso žmogaus tradicinio mąstymo (Dolores de Hevia et al., 2006).

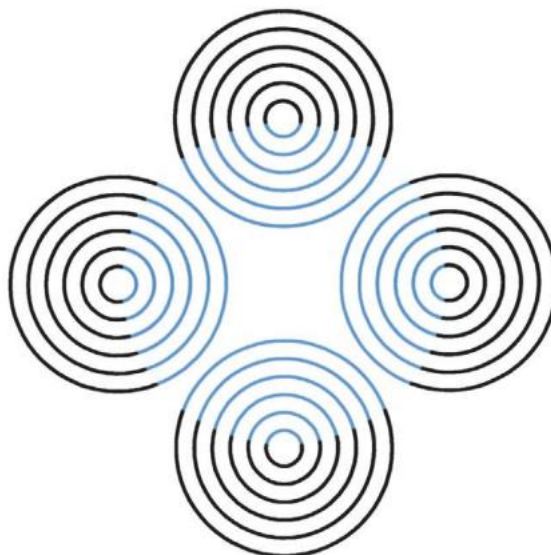
### 1.5.3. Neoninių spalvų sklaidos optinės iliuzijos

Neoninių spalvų sklaidos iliuzija (pav. 7) buvo atrasta tik 1971 m. psichologo Dario Varino. Tačiau straipsnyje ji buvo aprašyta italų kalba, dėl ko nesulaukė didelio susidomėjimo, po ketverių metų neoninių spalvų plitimo iliuzija buvo iš naujo atrastas ir pavadintas van Tuijle (1975) (Redies & Spillmann, 1981).

Tikslios neoninės spalvos plitimo iliuzijos priežastys nėra žinomos. Teigiama, kad tai įvyksta dažniausiai, kai juodos linijos pakeičiamos spalvotomis linijomis baltame fone. Viena iš teorijų yra ta, kad tuo pačiu metu stimuliuojama linija tarp regimojo lauko ir akių spalvų receptorių. Norint, kad šis argumentas veiktų, neoniniai efektai būtų įmanomi tik tuo atveju, jei liestųsi visos juodos ir spalvotos linijos, tačiau yra iliuzijų, kur taip nėra. Kita teorija apie iliuziją teigia, kad ji atsiranda dėl suvokimo mechanizmų nukrypimų. Šis argumentas padeda išvengti chromatinės aberacijos paaiškinimo (Pinna & Grossberg, 2005).

Neoninių spalvų sklaidos iliuzija nėra tokia, kuri paprastai atsiranda natūraliai. Spėjama, kad iliuzija atsiranda, dėl vizualinio apdorojimo klaidų. Kadangi žmonės niekada nematytų efekto natūraliai, nebūtų priežasties vystyti taip, kad bruožas išnyktų. Kai kuriuose tyrimuose teorija teigia, kad efektą lemiantys veiksniai atsiranda pirminėje regos žievėje ir V2 regėjimo srityje, kurie atsakingi už patobulintus vaizdo kontūrus (Grossberg & Yazdanbakhsh, 2005).

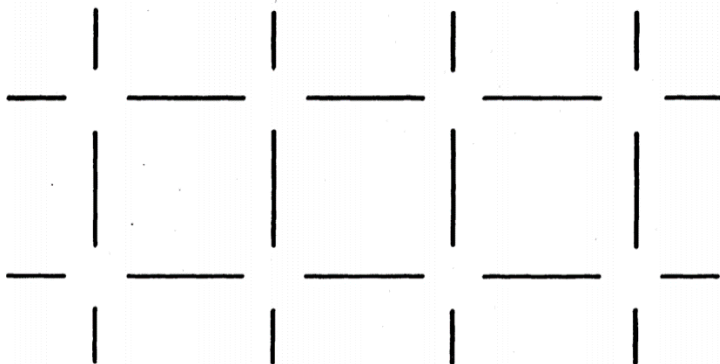




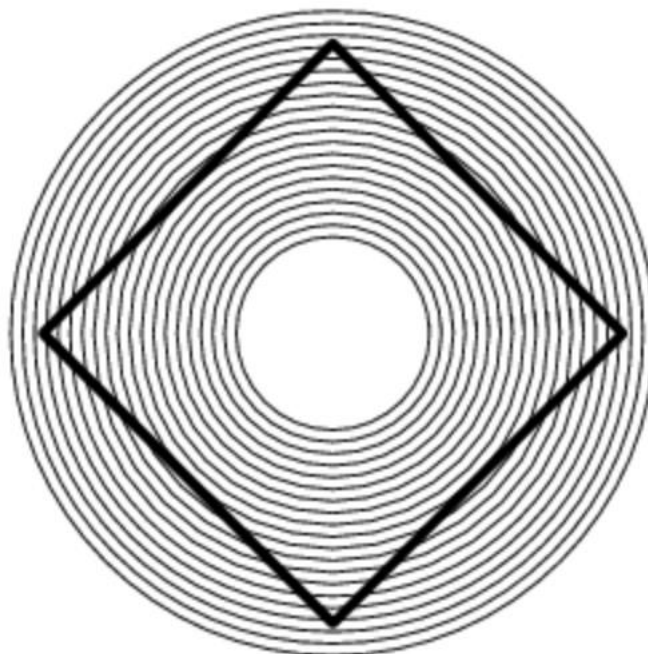
7 pav. Neoninių palvos sklaidos iliuzija (Pinna & Grossberg, 2005)

#### 1.5.4. Ehrenšteino iliuzija

Pirmą kartą Ehrenšteino iliuziją (pav. 8) aprašė vokiečių mokslininkas vyresnysis Walteris Ehrensteinas. Jį sukuria keturių linijų segmentų konfigūracija, kuri skatina suvokti vadinamąją iliuzinę figūrą konfigūracijos centre. Ši iliuzija yra regimojo suvokimo reiškinių, kontrasto ar ryškumo dalis. Viena iš iliuzijų modifikacijų yra kvadrato (pav.9), įdėto į koncentrinis apskritimus, kraštai atrodo lenkti į vidų, nors iš tikrųjų yra tiesūs. Taip yra dėl akivaizdžios perspektyvos, kurią sukuria koncentriniai apskritimai. Smegenys interpretuoja šį paveikslą kaip gylį ir atitinkamai keičia kvadrato suvokimą (Spillmann, 1975).



8 pav. Ehrenšteino iliuzija (Redies & Spillmann, 1981)



9 pav. Ehrenšteino iliuzijos modifikacija (Weisstein, 2021.).

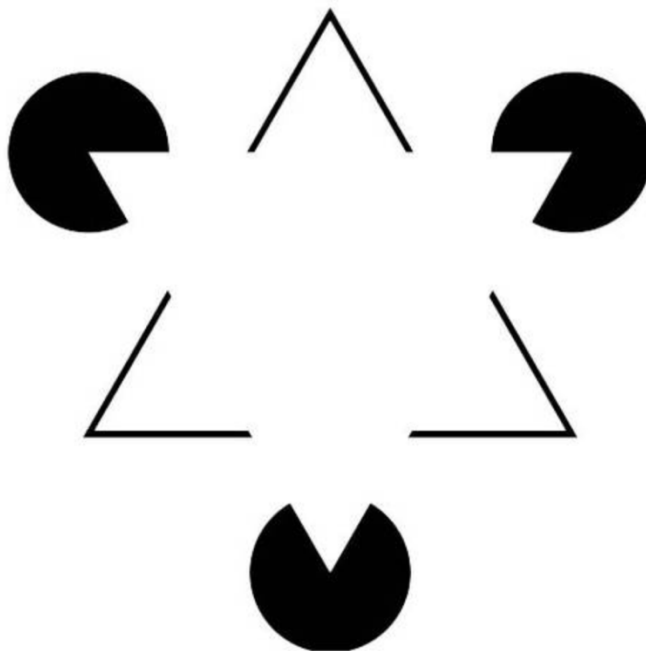
#### 1.5.5. Kanizso trikampio iliuzija

Kanizsa trikampis (pav. 10) yra optinė iliuzija, kurią pirmą kartą aprašė italų psichologas Gaetano Kanizsa 1955 m. Kanizsa trikampis yra žinomas kaip subjektyvi arba kontūro iliuzija. Jis panašus į kitas kontūrines iliuzijas, tokias kaip Ehrenstein iliuzija. Kaip ir daugelis kitų vaizdinių ir suvokimo iliuzijų, Kanizsa trikampio tyrimas leido geriau suprasti, kaip smegenys ir akys suvokia vaizdinę informaciją (Bertamini, 2018).

Žiūrint į Kanizsą trikampį, centre matoma balto, lygiakraščio trikampio forma, kuri, atrodo, užstoja aplinkui esančias figūras. Neegzistuojantis baltas trikampis taip pat atrodo ryškesnis už aplinkinį plotą, tačiau iš tikrųjų jo ryškumas yra toks pat kaip ir fono. Žiūrint Kanizsa trikampio iliuziją, dauguma žmonių pažymi, kad trikampio kontūrai išnyra iš figūrų. Nors ryškumo skirtumo iš tikrųjų nėra, viduryje pasirodantis trikampis atrodo baltesnis už supančią erdvę (Gellatly, 1980).

Žiūrint Kanizsa objektus, parodomas Geštalto idealas, kad vizualinio suvokimo suma yra daugiau nei jo dalys. Žmonės visus objektus mato kartu kaip vieną vaizdą (Wong, 2010).

Matyti trikampį šioje iliuzijoje galime ir dėl fantominio krašto reiškinių. Taip pat Kanizsa iliuzija demonstruoja krašto užbaigimo reiškinį. Briaunų užbaigimas yra vizualinė suvokimo patirtis, kai smegenys linkusios ieškoti kraštų, net jei jų nėra. Šie iliuziniai kontūrai yra aiškūs, kai žiūrime į trikampį, kurį formuoja Kanizsa iliuzijos formos (Gellatly, 1980).



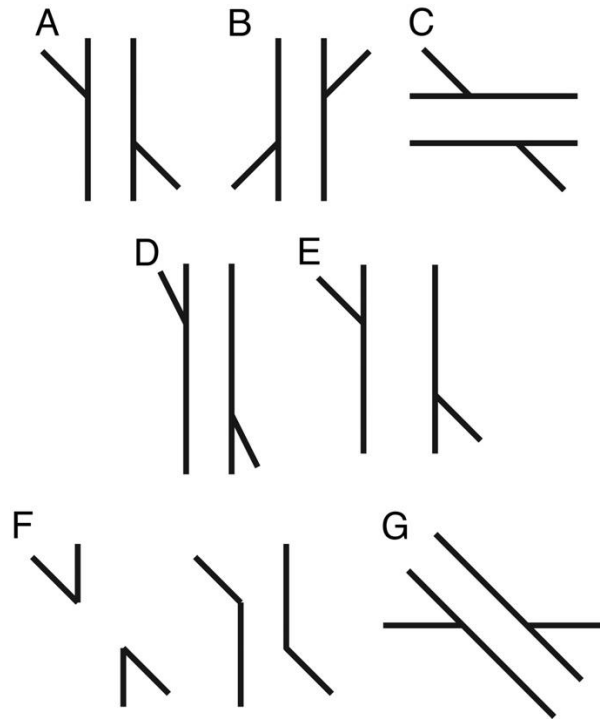
10 pav. Kanisza trikampis (Arathorn et al., 2013)

#### 1.5.6. Pogendorfo iliuzija

Pogendorfo iliuziją (pav. 11) atrado vokiečių fizikas Johannas Christianas Pogendorffas (1796 - 1877). Jis atrado vokiečio astrofiziko Johano Karlo Friedricho Zöllnerio (1834 - 1882) piešinius. Zöllneris labai domėjosi optinėmis iliuzijomis, iliuzijų piešiniais (Howe et al., 2005).

Pogendorfo iliuzija yra viena iš daugelio iliuzijų, kai paprastos linijos atvaizdo pagrindinis aspektas tiesumas ar lygiagretumas atrodo iškreiptas kitų vaizdo aspektų: - kitų fonų, priekinių linijų ar kitų susikertančių formų su linijomis. Tai kartais vadinama geometrinėmis-optinėmis iliuzijomis (Westheimer & Wehrhahn, 1997).

Nepaisant daugybės tyrimų, Pogendorfo iliuzija išlieka viena iš prieštaringiausių iš geometrinių iliuzijų. Anksčiau dažniausiai buvo siūloma paaiškinti, kad iliuzija kyla dėl klaidingo stimulo kampų suvokimo, tačiau šis paaiškinimas buvo ginčijamas. Kitas paaiškinimas pagrįstas idėja, kad tinklainės projekcijoje esanti geometrinė informacija gali būti netinkamai „interpretuota“ stebėtojų. Pavyzdžiui, gylio apdorojimo teorija rodo, kad įstrižinės linijos Pogendorfo dirgiklyje aiškinamos kaip linijos, besitęsiančios gilumoje, todėl suvokiamos kaip nekolinearinės (Howe et al., 2005).



11 pav. Pogendorfo iliuzijos variacijos A-G (Howe et al., 2005) .

#### 1.6. J. Muelleris ir J.J. Oppelis

Prisimenant ankstyvus, intensyvius optinių iliuzijų tyrimus, du labiausiai nusipelnę tyrinėtojai buvo Johannesas Muelleris ir J.J. Oppelis. XIX amžiaus psichologų duetas sužavėjo suprasdamas, kaip žmonės mato optines iliuzijas. Jie sugebėjo paskelbti 12 teorijų apie optines iliuzijas, taip pat sukurti savo iliuziją (Wade et al., 2017).

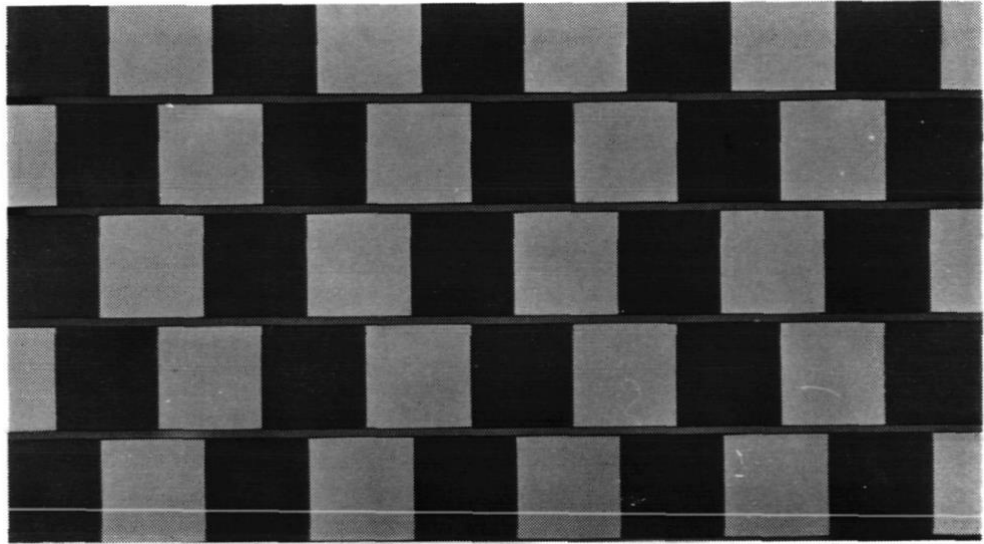
„Muller-Lyer“ iliuzija yra gerai žinoma optinė iliuzija, kai dvi vienodo ilgio linijos atrodo skirtingo ilgio. Daugumai žmonių linija su rodyklėmis išsikišusiomis į išorę suprantama kaip ilgesnė, o linija su rodyklėmis nukreiptomis į vidų kaip trumpesnė. Nors akys gali matyti skirtingo ilgio linijas, abiejų linijų ašys yra lygiai tokio pat ilgio (Ninio, 2014).

Pasak psichologo Ričardo Gregory, „Muller-Lyer“ iliuzija atsiranda, dėl netinkamo dydžio pastovumo. Erdviame pasaulyje šis principas leidžia suvokti aukštą žmogų, nesvarbu, ar jis stovi šalia, ar tolumoje. Kai tą patį principą taikysime dvimačiams objektams, Gregory teigia, kad gali atsirasti klaidų (Ninio, 2014).

#### 1.7. Hermannas von Helmholtzas. Kognityvinės iliuzijos samprata

Tame pačiame amžiuje kitas vokiečių fizikas sunkiai dirbo kurdamas savo teorijas apie iliuzijas. Hermannas von Helmholtzas pateikė teoriją, panašią į Protagoro. Jis pristatė kognityvinės iliuzijos sampratą. Pasak Helmholtzo, kognityvinės iliuzijos kyla iš prielaidų, kurias žmogus supranta iš savo aplinkos ir supratimo apie pasaulį. „Nesąmoningas išvada“ - tai terminas, kurį įvedė vokiečių fizikas daktaras Hermannas von Helmholtzas (Patton, 2008).

Žmogaus smegenys ir akys, daro išvadas apie aplinką, todėl atsiranda pažintinė iliuzija, kurios netenkina mūsų lūkesčiai dėl ankstesnių žinių apie pasaulį, taip remdamiesi prielaidomis, daromos nesąmoningos išvados ir sukuriamos kognityvines iliuzijas. Iliuzijos iškraipymas yra dar viena iliuzijos pažinimo forma. „Cafe Wall Illusion“ (pav.12) yra geriausias šios iliuzijos pavyzdys. Atrodo, kad iškreipiant iliuziją iškraipytas vaizdo dydis, kreivumas, ilgis ir kt (Gregory & Heard, 1979). Metams bėgant buvo nustatyti keturi kognityvinių iliuzijų potipiai: dviprasmiškos iliuzijos, paradoksalios iliuzijos, iškreipiančios iliuzijos ir fantastinės iliuzijos (Taber & Lodge, 2016).



12 pav. „Cafe Wall“ iliuzija (Gregory & Heard, 1979)

### 1.8. Numanomo jutiminio atgalinio ryšio teorija

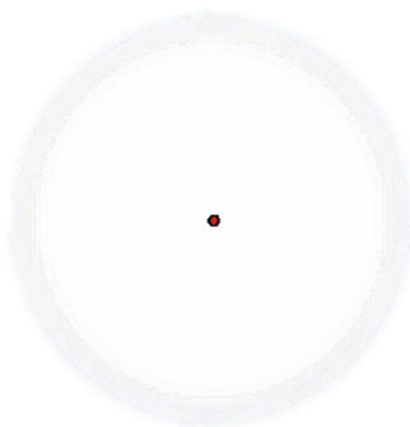
Numanomo jutiminio atgalinio ryšio (ang. *corollary discharge*) teorija sukūrė Rogeris Sperry 1950 m. Teorija teigia, kad grįžtamasis ryšys, kurį gauname iš akių raumenų, judėdami akimis, yra svarbus judesio suvokimui (Fukutomi & Carlson, 2020).

Mūsų suvokimas yra pasyvi interpretacija to, kas patenka į mūsų sensorinius receptorius. Nors ir tinklainėje vaizdai nuolat keičiasi, mes jų nesuvokiame kaip šokinėjančius, bet matome vieną tolygų vaizdą (Straka et al., 2018).

Pagrindinė numanomo jutiminio atgalinio ryšio idėja yra ta, kad yra kopijuojama motorinio neuroono „komanda“, kuri siunčiama raumenims, kad sukurtų judesį. Šis numanomas atgalinis ryšys arba kopija nesukelia jokio judėjimo, bet yra nukreipta į kitus smegenų regionus, kad informuotų juos apie artėjantį judėjimą (Sommer & Wurtz, 2008). Taip pat, yra daroma prielaida, kad tose smegenų srityse šie signalai naudojami planuoti tolimesnius judesius, aiškinant juslinius įvykius, kurie atsiranda dėl judėjimo (Sommer & Wurtz, 2008). Taigi, greiti akių judesiai, kurie vyksta keletą kartų per sekundę, išstumia tinklainėje esantį vaizdą, dėl ko turėtų atsirasti regimosios scenos šuolis, kuris pasireiškia kaip trūkčiojimai. Tačiau mūsų regimas suvokimas išlieka stabilus, nes mūsų smegenys kompensuoja šiuos sutrikimus dėka numanomo jutiminio atgalinio ryšio (Gilchrist, 2011).

## 1.9. Trokslerio efektas

„Trokslerio efektas“ (pav.13) yra optinė iliuzija, kuri veikia regimąjį suvokimą, pavadinta šveicarų gydytojo ir filosofo Ignazo Paulo Vitalo Trokslerio (1780–1866) vardu. 1804 m. Troksleris padarė atradimą, kad tiksliai nukreiptas žvilgsnis į kokį nors regėjimo lauko elementą, gali atrodyti, kad aplink jį aplinkiniai stacionarūs vaizdai pamažu išnyksta arba blunka. Jie pakeičiami patirtimi, kurios pobūdį lemia fonas, kuriame yra objektas. Tai vadinama užpildymu. Trokslerio efektas pasireiškia esant bet kokiam nejudančiam dirgikliui, tačiau jis yra ypač greitas ir pastebimas esant mažai kontrastingiems dirgikliams (Barlow, 1952).



13 pav. Trokslerio efekto iliuzija (Martinez-Conde, 2005)

Trokslerio išblukimo nervų adaptacijos efektą galima patirti žiūrint į kryžių iš nedidelio atstumo, nejudinant akių. Po kelių sekundžių spalvos išnyksta arba žiedas. Panašų jutiminį išblukimą arba užpildymą galima pastebėti stebint fiksuotą dirgiklį, kai tinklainės vaizdas stacionariai sutampa su tinklaine stabilizuotu vaizdu (Clarke, 1960).

Buvo pastebėta, kad Trokslerio efektas sustiprėja, jei dirgiklis yra mažas, jo kontrastas yra mažas arba jis yra neryškus. Poveikis sustiprėja labiau, kai stimulus yra toliau nuo fiksacijos taško (Lou, 2008).

Trokslerio blukimas gali atsirasti ir be ypatingo tinklainės vaizdo stabilizavimo periferiniame regėjime, nes regos sistemos neuronai, esantys už lazdelių ir kolbelių turi didelius imlius laukus. Tai reiškia, kad maži, nevalingi akių judesiai, atliekami fiksuojant ką nors, nesugeba perkelti stimulo į naujos ląstelės imlumo lauką (Martinez-Conde et al., 2004). Taigi, tolimesni šio amžiaus eksperimentai, atlikti Hsieh ir Tse, parodė, kad bent jau dalis suvokimo išblukimo įvyko smegenyse, o ne akyse (Hsieh & Tse, 2006).

## 1.10. Iliuzijų tyrimai Lietuvoje

Geometrinių iliuzijų tyrimai Lietuvoje jau buvo pradėti 1990 metais Kauno medicinos universiteto Biologijos katedroje. Pirmieji tyrimai pradėti su Muller-Lyer, Oppel-Kundt iliuzijomis ir jų

modifikacijomis: keičiant ilgius, sparnelių kampus, ryškumą ar net pateikimo trukmę. Šių eksperimentų rezultatai atskleidė, kad iliuzijos stiprumas priklauso nuo figūrų ilgio.

Vienas svarbesnių iliuzijų tyrimų istorijos žingsnis priklauso ir Lietuvių tyrėjams, tai yra iliuzijų superpozicija. Stimulus sudarydavo dvi figūros sudėtos kartu ir pateikiamos vienu metu. Tokią figūrą sudarydavo dvi dalys: aktyvioji, kurios parametrai galėjo keistis ir pasyvioji, kurios parametrai nekinta.

Taip pat Lietuvoje atliekant iliuzijų tyrimus pradėtas taikyti skirtingi stebėjimo būdas. Taikomi monoptiniai ir dichoptiniai stimulai.

Galiausiai Lietuvos tyrėjai yra atlikę nemažai eksperimentų, skirtų į apskritimą įbrėžto daugiakampio iliuzijai. Buvo stebima, kad didėjant figūros dydžiui pasireiškia stipresnė iliuzija. (Surkys, 2007).

Šiuo metu Lietuvoje yra atliekami įvairiausi tyrimai su iliuzijomis pradedant mokyklos projektus, tęsiant bakalaurniais, magistriniais darbais.

## 2. TYRIMO METODIKA

### 2.1. Tiriamieji

Eksperimente dalyvavo 4 tiriamieji: 2 vyrai ir 2 moterys. Tiriamieji buvo Vilniaus universiteto bendruomenės nariai. Tiriamųjų amžius nuo 21 iki 25 metų. Tiriamųjų imčiai sudaryti buvo naudojama netikimybinė patogioji atranka. Visų tiriamųjų rega gera. Tiriamųjų regos aštrumas lygus 1.0. Tiriamieji neturėjo akių trauma, nebuvo sirgę akių ligomis.

Prieš tyrimą, tiriamieji buvo supažindinti su eksperimentais, jų atlikimo technika ir metodais. Taip pat buvo leista atlikti keletą paruošiamųjų bandymų.

### 2.2. Įranga

Eksperimentu metu buvo naudojama SMI 250 įranga, akių judesiai buvo fiksuojami judesių sekimo sistema EyeGaze System. Ši sekimo sistema remiasi infraraudonaisiais spinduliais į kuriuos žmogus nereaguoja. Jie fiksuoja akies vyzdžio, ragenos atspindžius. Ši kamera taip pat leidžia nustatyti akies žvilgsnio kryptis.

Sistemą sudaro kamera, kuri tvirtinasi vaizduoklio apačioje. Kamerų centruose yra mažos galio infraraudonųjų spindulių diodai. Kamera gauna atspindį, grįžtantį iš vyzdžio link diodo. Taip pat naudojamas specialus stovas, kurio pagalba galima užfiksuoti galvos padėtį (pav 14).

Tarp tiriamojo ir kameros 60 cm atstumas. Registravimo dažnis 250 Hz.

### 2.3. Stimulai

Eksperimentuose buvo naudojami stimulai (1 priede pridėti vaizdai):

- Troxlerio žiedas (regimasis kampas -  $12^\circ$ );
- Kanizsos trikampis (regimasis kampas -  $12^\circ$ );
- Neoninių spalvų sklaidos iliuzija (regimasis kampas -  $12^\circ$ );
- Ehrenšteino kvadrato iliuzija (modifikacija) (regimasis kampas -  $12^\circ$ );
- Ehrenšteino iliuzija (groteles) (regimasis kampas -  $12^\circ$ );

### 2.4. Eksperimento eiga

Pirmiausia eksperimento dalyviai atsisėdavo prie stalo su įranga. Kiekvienam tiriamajam nustatomas patogus aukštis kėdės, sureguliuojamas laikiklis ir nustatomas 60 cm atstumas iki ekrano. Nusistačius tinkamą ir patogią padėtį buvo paleistas tyrimas. Prieš tyrimą kiekvienas tiriamasis atliko reakcijos laiko testą.



Prieš kiekvieną etapą buvo supažindinama su instrukcija, po kurios būdavo atliekama kalibracija.

Tyrimo etapai:

- Pirmame etape buvo naudojamas Troxlerio žiedas. Eksperimento metu buvo prašoma pasirodžius stimuliui fiksuoti ką mato ir koduoti klaviatūros paspaudimais: „v”- mato žiedą 100%; „x”- mato žiedą >50%; „c”- mato žiedą <50% ir „v”- visiškai nemato žiedo. Po kalibravimo ekrane pasirodydavo tuščia skaidrė, kai tiriamasis būdavo pasiruošęs galėdavo perjungti skaidrę. Kitoje skaidrėje pasirodydavo fiksacijos taškas, kuris automatiškai persijungdavo po 3s į skaidrę su Troxlerio žiedu, kuri rodoma 2 min. Eksperimento metu buvo paprašyta tiriamųjų koncentruoti dėmesį ir žvilgsnį į fiksacijos tašką. Eksperimentas buvo kartojamas ne mažiau 10 kartų.
- Antrajame etape buvo naudojamos 4 optinės iliuzijos. Po kalibracijos buvo rodoma tuščia skaidrė ir kai tiriamasis buvo pasiruošęs galėjo ją perjungti į fiksacijos skaidrę, kuri automatiškai po 3 sekundes persijungdavo į pirmąją optinę iliuziją – neoninių spalvos sklaidos iliuziją, kuri buvo rodoma 2 minutes. Po pirmosios iliuzijos automatiškai persijungdavo į tuščią skaidrę. Jos metu tiriamasis galėdavo pailsėti, o kai buvo pasiruošęs, perjungdavo į fiksacijos skaidrę (3 sekundes), po kurios automatiškai pereidavo į antrą iliuziją – Kanizos trikampį, kuris buvo rodomas 2 minutes. Po šios iliuzijos vėl buvo rodoma poilsio skaidrė, kurią perjungus buvo matomas fiksacijos taškas (3 sekundžių). Jis automatiškai persijungė į trečią iliuziją - Ehrenšteino kvadrato iliuziją (modifikacija). Po dviejų minučių persijungė paskutinė poilsio skaidrė, po kurios sekė fiksacijos skaidrė (3 sekundes), automatiškai persijungianti į ketvirtą iliuziją – Ehrenšteino iliuzija (groteles), kuri buvo taip pat rodoma 2 minutes. Antrojo etapo eksperimento metu, tiriamųjų buvo paprašyta atitinkamais klaviatūros klavišais fiksuoti iliuzijos išnykimą ir atsiradimą koduojant klaviatūros klavišais: „v”- mato iliuziją 100%; „x”- mato iliuziją >50%; „c”- mato iliuziją <50% ir „z”- visiškai nemato iliuzijos, taip pat fiksuoti iliuzijoje esančių fizinių elementų išnykimą, spaudžiant atitinkamus klaviatūros klavišus: „1” – iliuzijos fiziniai elementai išnyko >50%; „0” – iliuzijos fiziniai elementai išnyko <50%; . Per pertraukų/poilsio skaidres tiriamojo žodžiu buvo klausama ir fiksuojama raštu, kokie elementai fiziniai dingdavo stebint iliuzijas. Eksperimentas buvo kartojamas ne mažiau 10 kartų.

## 2.5. Eksperimento duomenų analizė

Šių tyrimu metu surinkti duomenys buvo analizuojamai Microsoft Excel, Origin 9.1 ir BeGaze 3.5 programomis.

Duomenų analizės metu stebėta:

- vyzdžio pločio pakitimai nykstant iliuzijai ir jai atsirandant;
- vyzdžio pločio pakitimai nykstant ir atsirandant iliuzijos fiziniams elementams (tik antro etapo eksperimente);
- akių judesių simetrija su iliuzijų išnykimu ir atsiradimu;

- akių judesių simetrija su iliuzijų fizinių elementų išnykimu ir atsiradimu (tik antro etapo eksperimente).

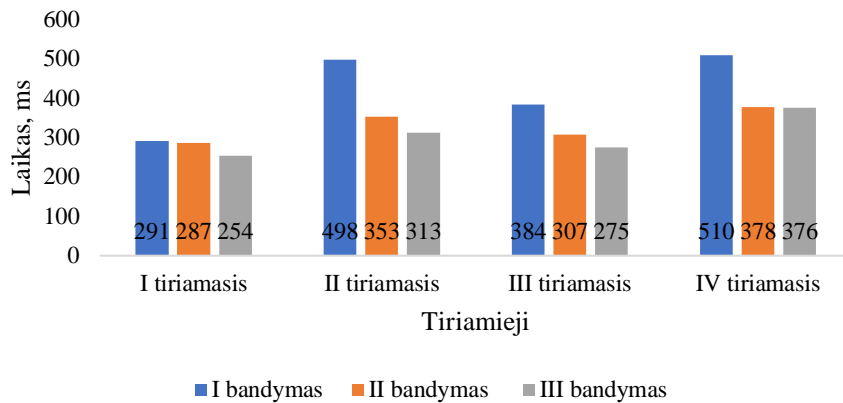
Taip pat, atsižvelgiant į tiriamų išsakytus žodžiu pastebėjimus, buvo pastebėta kokie elementai fiziniai iliuzijose pradeda nykti greičiausiai.

Mygtukų paspaudimai buvo koduoti: „0“ - 5; „1” - 0; „v“ - 1; „c“ - 2; „x“ - 3; „z“ - 4.

### 3. REZULTATAI

#### 3.1. Reakcijos laikas

Prieš pradėdant tyrimą, kiekvienas tiriamasis padarė reakcijos testą tris kartus (pav. 14).

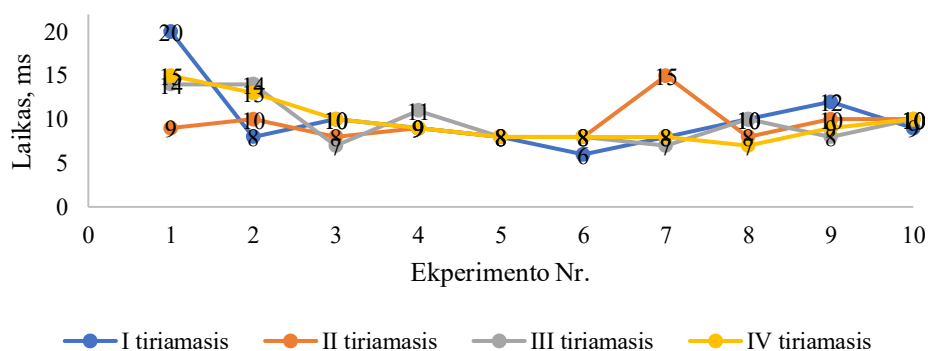


14 pav. Tiriamųjų reakcijos laikas.

Rezultatai parodė, kad visų tiriamųjų reakcijos laikas gerėjo atliekant daugiau pakartojimų. I tiriamojo reakcijos laiko vidurkis - 277 ms, SD -  $\pm 20,31$ . II tiriamojo reakcijos laiko vidurkis - 388 ms, SD -  $\pm 97,34$ . III tiriamojo reakcijos laiko vidurkis - 245 ms, SD -  $\pm 59,79$ . IV tiriamojo reakcijos laiko vidurkis - 421 ms, SD -  $\pm 76,79$ . I ir II tiriamojo reakcijos laikas geresnis lyginant su II ir IV tiriamuoju. I ir II tiriamojo darbas susijęs su smulkiąja motorika.

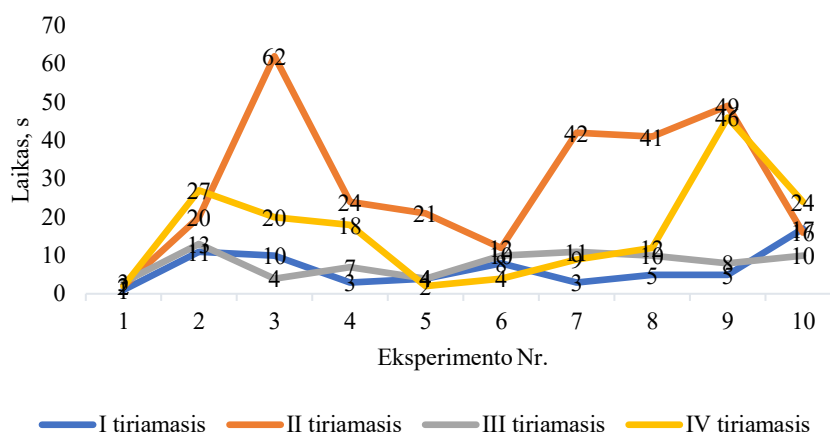
#### 3.2. I etapas.

Troxler eksperimentas buvo kartojimas 10 kartų kiekvieno tiriamojo. Kiekviename pakartojime stebėjome laiką iki pirmojo visiško žiedo išblukimo (pav. 15). Grafike galime pamatyti, kad visų tiriamųjų laikas iki pirmojo išblukimo pirmojo eksperimento metu yra ilgiausias, atliekant eksperimentą daugiau kartų laikas iki pirmojo visiško žiedo išblukimo trumpėja. Nuo 6 kartojimo eksperimento laikas ilgėja. Eksperimentas buvo atliekamas tą pačią dieną ir siejamas toks rezultatas su nuovargiu. Visų tiriamųjų vidutinis laikas iki pirmojo išblukimo visiško – 10s. I tiriamojo SD -  $\pm 3,86$ . II tiriamojo SD -  $\pm 2,12$ . III tiriamojo SD -  $\pm 2,63$ . IV tiriamojo SD -  $\pm 2,50$ .



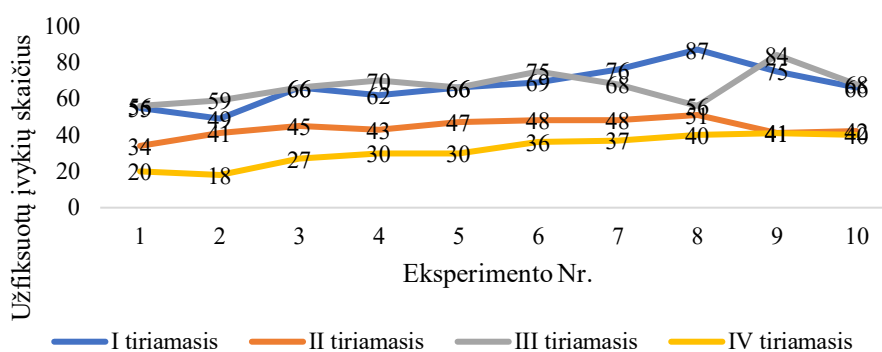
15 pav. Laikas iki pirmojo išblukimo visiško.

Eksperimentu metu buvo atkreipiamas dėmesys ir į visiško atsistatymo laiką (pav. 16), nuo pirmojo visiško išnykimo. Rezultatai rodo, kad visiems tiriamiesiems pirmo eksperimento metu vaizdas atsistatė greičiausiai. I tiriamojo vaizdo atsistatymo laiko vidurkis 7s, SD -  $\pm 4,83$ . II tiriamojo vaizdo atsistatymo laiko vidurkis 29s, SD -  $\pm 18,73$ . III tiriamojo vaizdo atsistatymo laiko vidurkis 8s, SD -  $\pm 3,40$ . IV tiriamojo vaizdo atsistatymo laiko vidurkis 16s, SD -  $\pm 13,79$ . Galima išskirti I ir III tiriamuosius, nes jų atsistatymo laikas trumpiausias. Taip pat trumpiausias atsistatymo laikas stebimas 6 pakartojimo metu.



16 pav. Laikas nuo pirmojo visiško išblukimo iki visiško atsistatymo vaizdo.

Taip pat, buvo atkreipiamas dėmesys į užfiksuotų įvykių skaičių eksperimentuose (pav. 17).

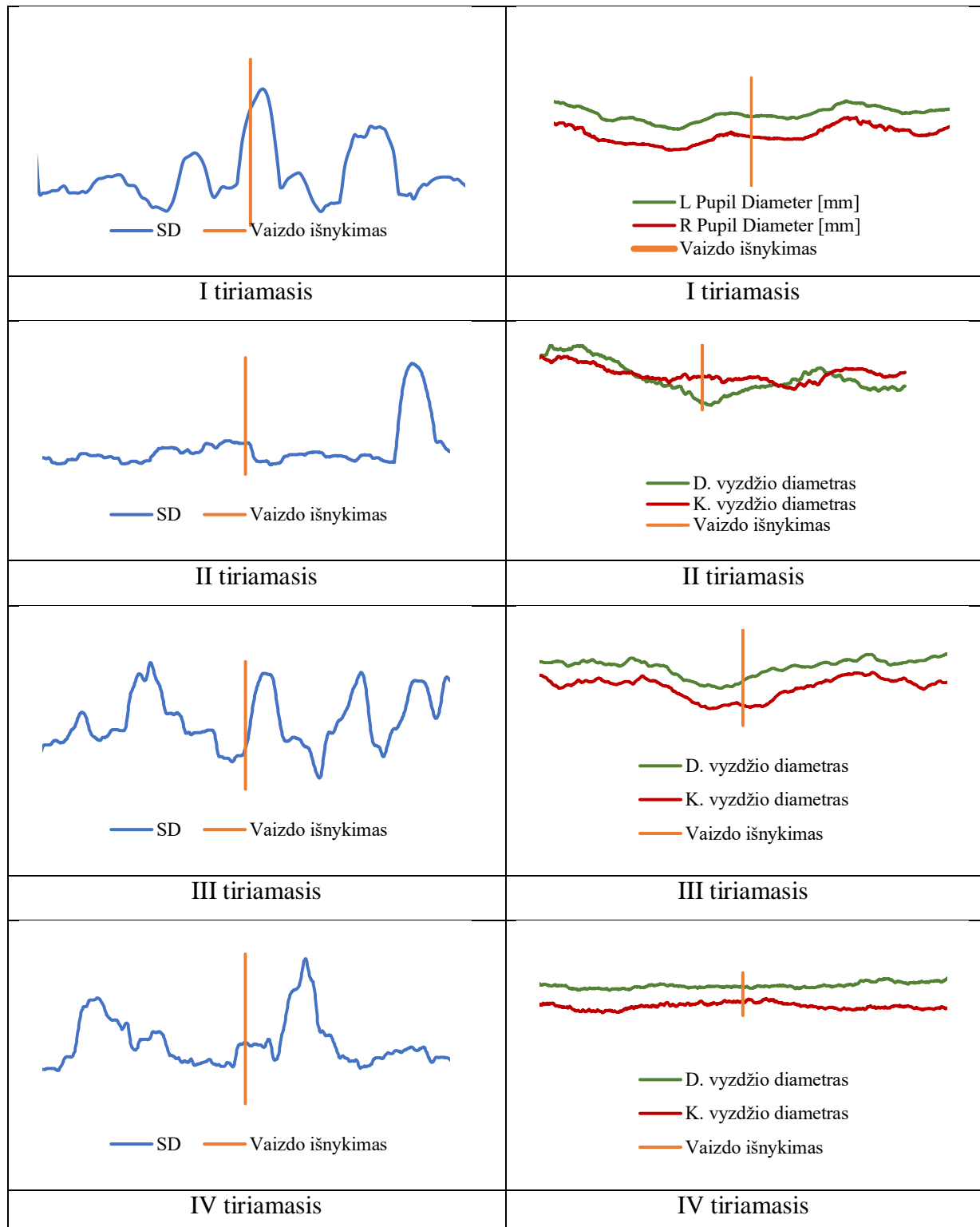


17 pav. Įvykiai užfiksuoti kiekvieno eksperimento metu.

Galima pastebėti grafike, kad eksperimentų pakartojimų eigoje kiekvienas tiriamasis užfiksuodavo vis daugiau įvykių eksperimento metu. Tokį registruotų įvykių augimą galima sieti ir su atidžiau atliktu eksperimentu kiekvienu kartu. I tiriamojo užfiksuotų įvykių vidurkis – 67, SD -  $\pm 10,22$ . II tiriamojo užfiksuotų įvykių vidurkis – 44, SD -  $\pm 4,63$ . III tiriamojo užfiksuotų įvykių vidurkis – 67, SD -  $\pm 8,20$ . IV tiriamojo užfiksuotų įvykių vidurkis 32, SD -  $\pm 7,89$ . Tiriamųjų I ir III rezultatas vidutinis vienodas, taip pat tiriamųjų vidurkis yra didžiausias.

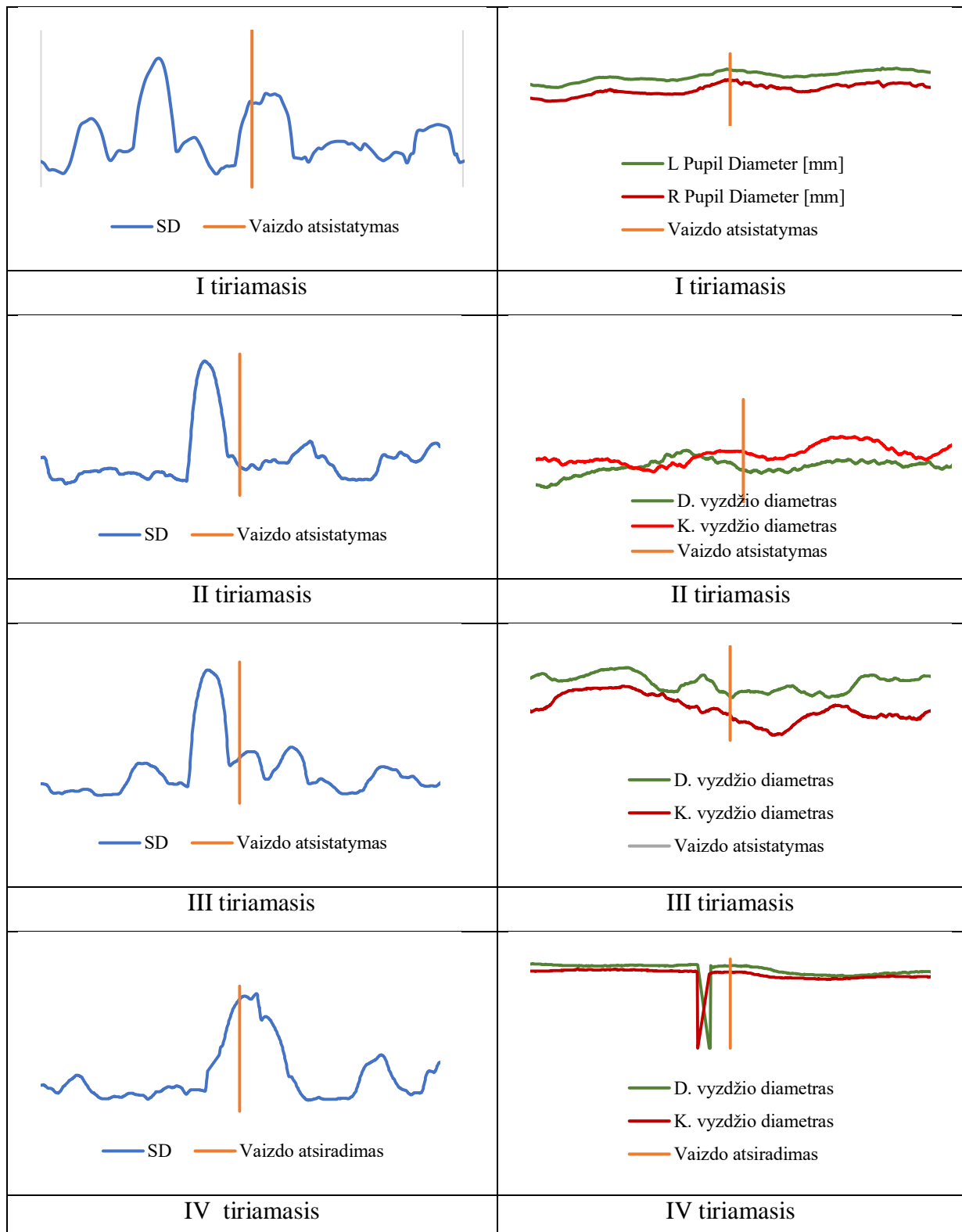
Šiame tyrime apžvelgėme įvykius vaizdo nykimo metu: 2 sekundes prieš nykimą ir po nykimo 2 sekundes, kad įsitikinti kas turi įtakos vaizdo nykime. Taip pat pažvelgėme ir į vyzdžio diametro pokyčius 2 sekundes prieš ir po vaizdo nykimo (1 lentelė). Rezultatai parodė, dvejopus rezultatus akių judesių atžvilgiu. Pusei tiriamųjų, esant dažnesniems akių judesiams išnyko vaizdas, taip pat, kitai pusei – esant ir retesniems judesiams. Tačiau pastebėta, kad visiems tiriamiesiems sumažėdavo vyzdžio diametras vaizdui išnykus.

1 lentelė. Tiriamųjų grafiniai palyginimai, akių judesių ir vyzdžio diametro, vaizdo išnykimo metu.



Tyrimo metu, taip pat buvo analizuojama visiško vaizdo atsistatymo metu vykstantys procesai. Buvo analizuojamos 2 sekundes prieš ir po įvykio (2 lentelė). Akių judesių vaizdo atsistatymui pasiskirsto tolygiai: 50 % tiriamųjų vaizdo atsistatymo metu buvo reti akių judesiai, kitai pusei – jie buvo dažnesni. Taip pat, kaip ir išnykstant vaizdui, taip ir atsistatant jam akių vyzdžio diametras sumažėja.

2 lentelė. Tiriamųjų grafiniai palyginimai, akių judesių ir vyzdžio diametro, vaizdo atsistatymo metu.



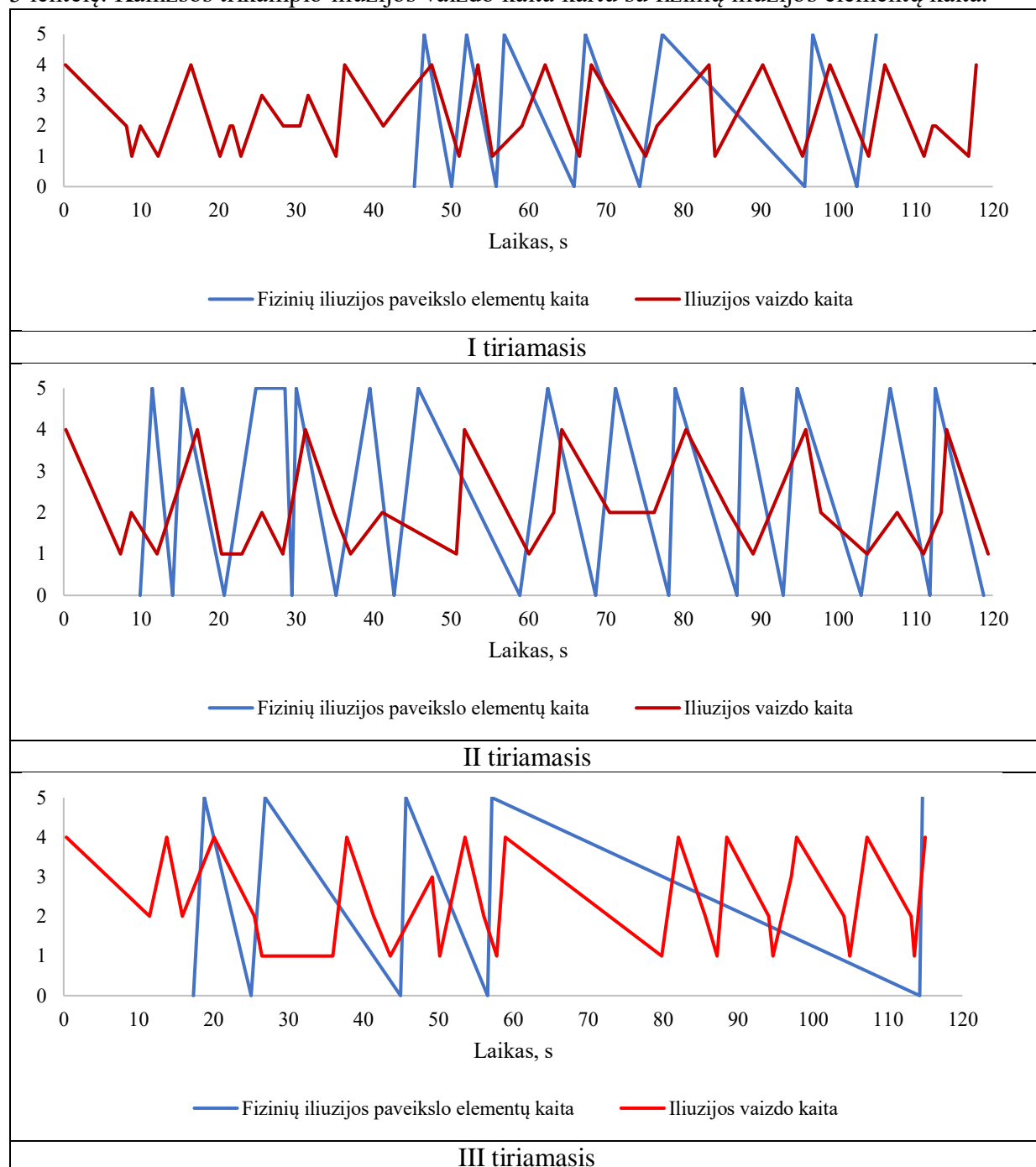
### 3.3. II etapas

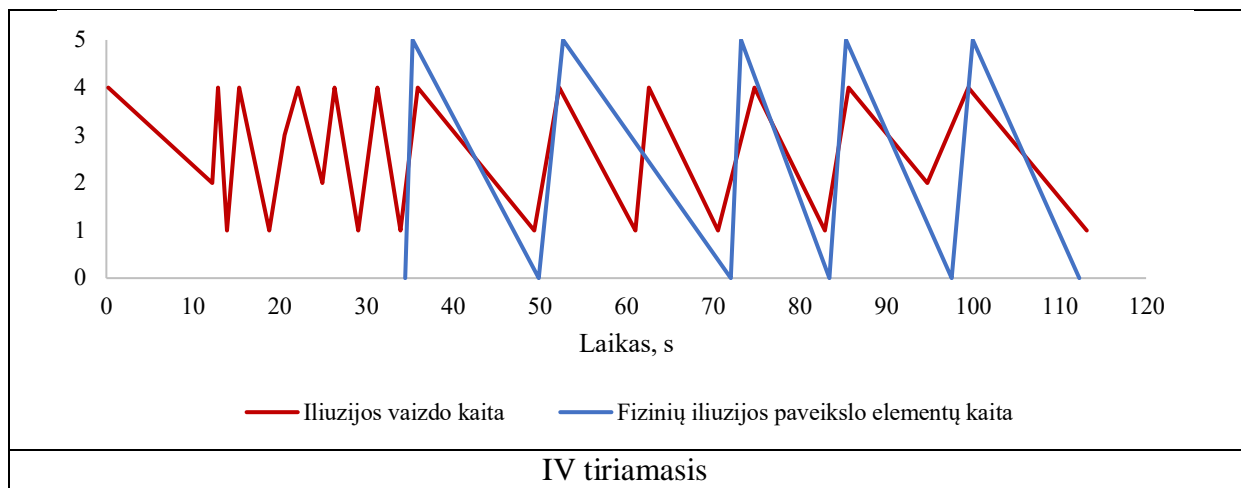
#### 3.3.1. Kanizsos trikampio iliuzija

Visiems tiriamiesiems pradėjus atlikti eksperimentą iliuzijos vaizdo fiziniai elementai matydavosi. Įprastai po keletos visiškų išnykimų iliuzijos ir atsiradimų pradėdavo dingti ir fiziniai iliuzijos vaizdo elementai, kaip kraštinės, apskritimai. Tiriamieji pažymėjo, kad dažniausiai dingdavo kraštinė ir kampas.

Taip tiriamieji išskyrė iliuzijos matomumą daugiau nei 50% ir mažiau nei 50%. Šio iliuzinio vaizdo metu, grafikuose galime stebėti (3 lentelė), kad tiriamieji pirmiau pažymėdavo iliuzijos fizinio vaizdo elementų nykimą, o po jo netrukus ir iliuzijos išnykimas. Tačiau duomenys parodo ir kontraversiškus grafikus, kai išnyksta iliuzijos vaizdo fiziniai elementai, tačiau pati iliuzija neišnyksta.

3 lentelė. Kanizsos trikampio iliuzijos vaizdo kaita kartu su fizinių iliuzijos elementų kaita.





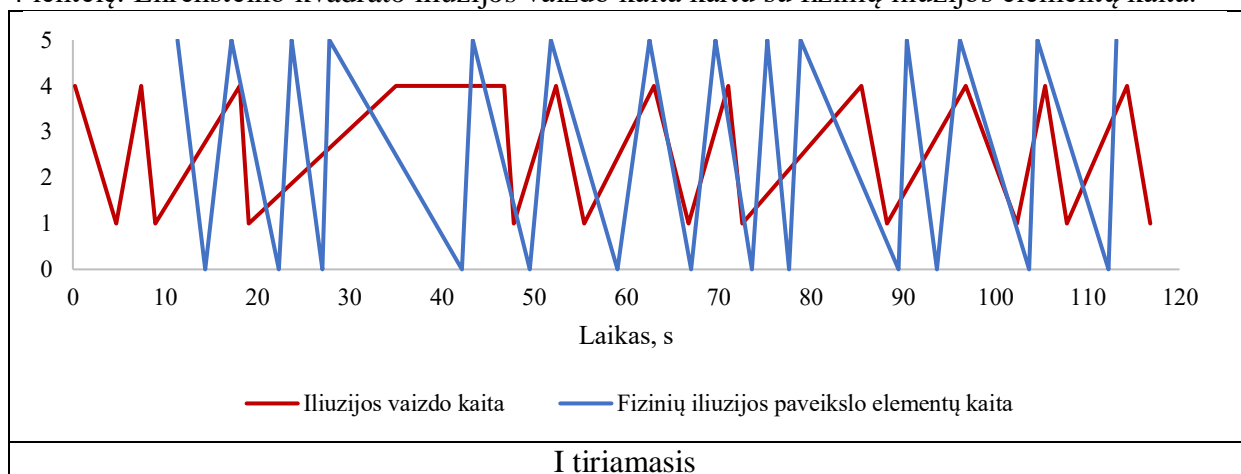
### 3.3.2. Neoninių spalvų dreifo iliuzija

Duomenys analizei nebuvo naudojami, kadangi nei vienas tiriamasis nepažymėjo iliuzijos vaizdo fizinių elementų išnykimo.

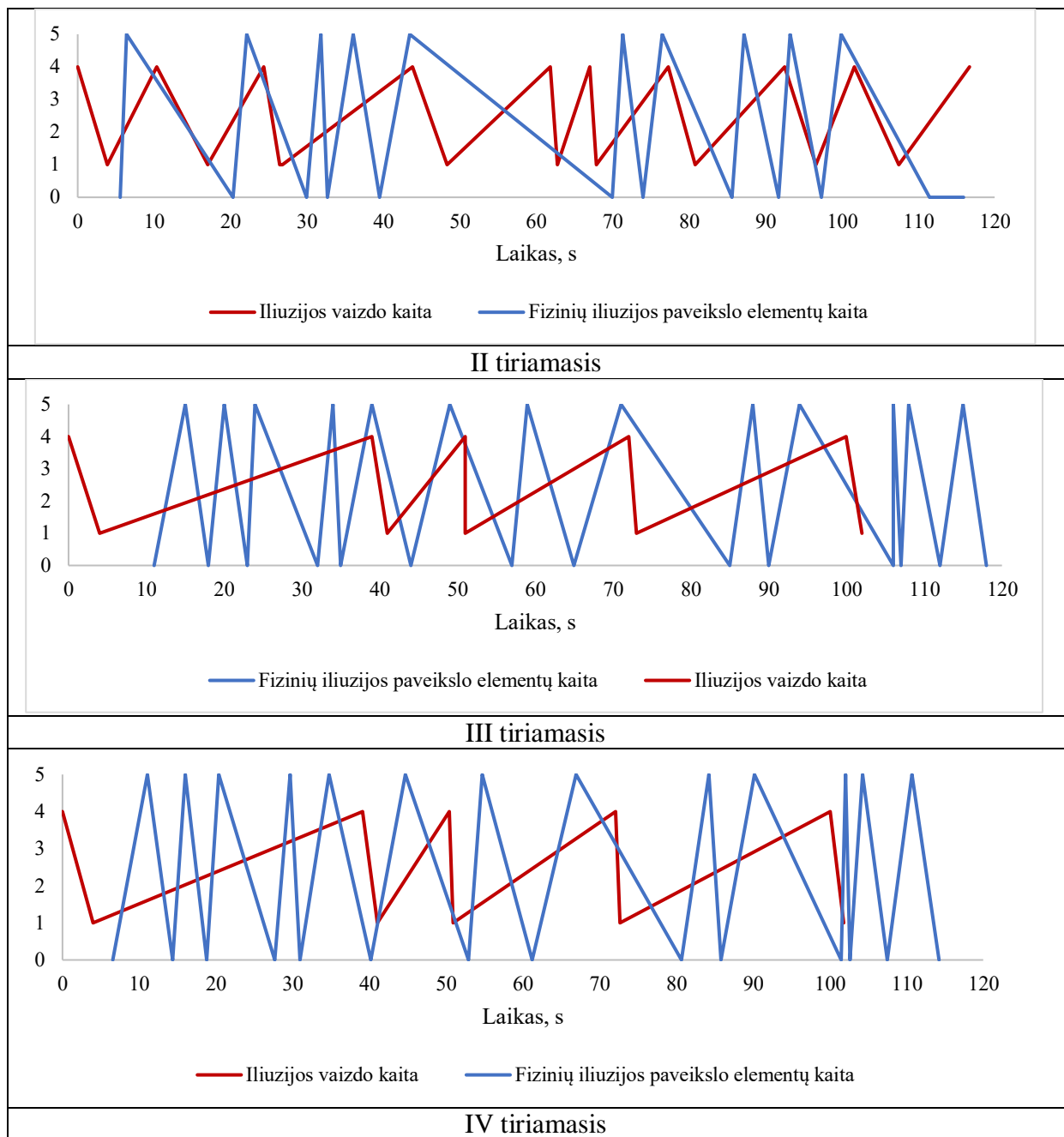
### 3.3.3. Ehrenšteino kvadrato iliuzija

Ehrenšteino kvadrato iliuzijos metu tiriamiesiems pirmiausiai išnykdavo iliuzija (4 lentelė), o po to pradėdavo nykti iliuzijos vaizdo fiziniai elementai, dažniausiai pažymimi – kvadrato kraštinės, centro blukimas. Iliuzijos vaizdui dar esant išnykstant fiziniai iliuzijos vaizdo elementai atsistatydavo bent porą kartų ir vėl išnykdavo. Ehrenšteino kvadrato iliuzija yra labai intensyvi iliuzija, smulkesnių detalių. Kartojant eksperimentą nei vienas tiriamasis nepažymėjo, kad nyko tos pačios pusės kraštinės iliuzijos vaizdo fizinių elementų.

4 lentelė. Ehrenšteino kvadrato iliuzijos vaizdo kaita kartu su fizinių iliuzijos elementų kaita.







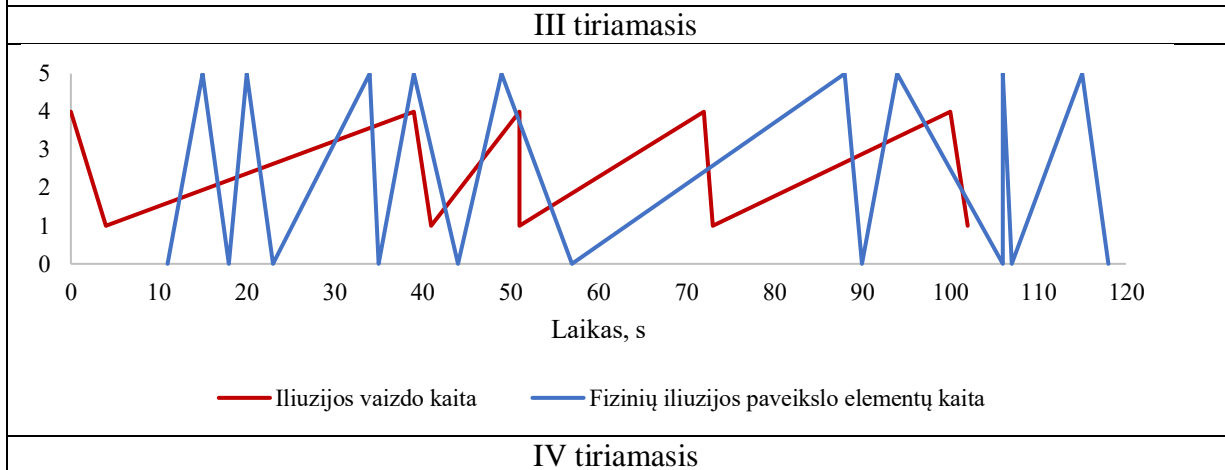
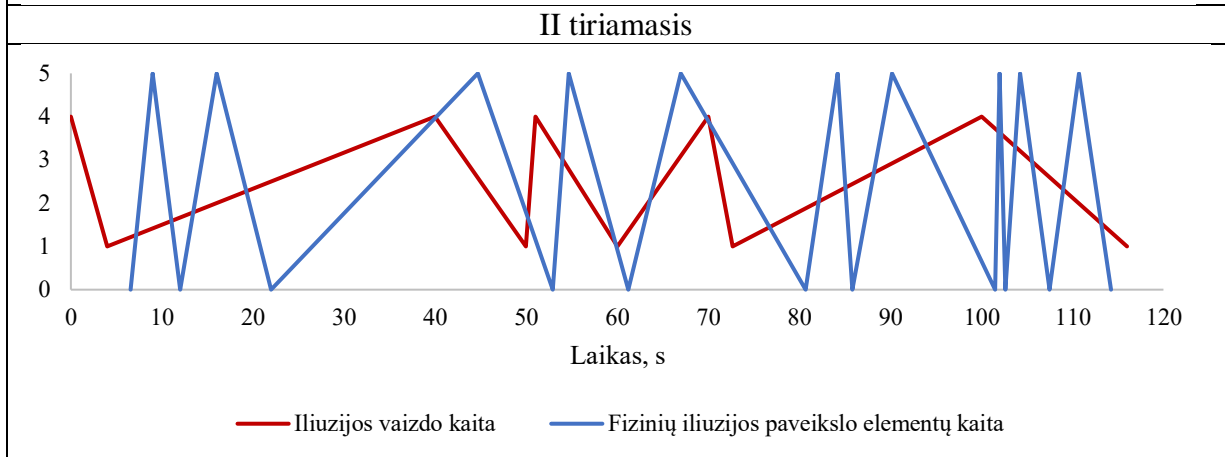
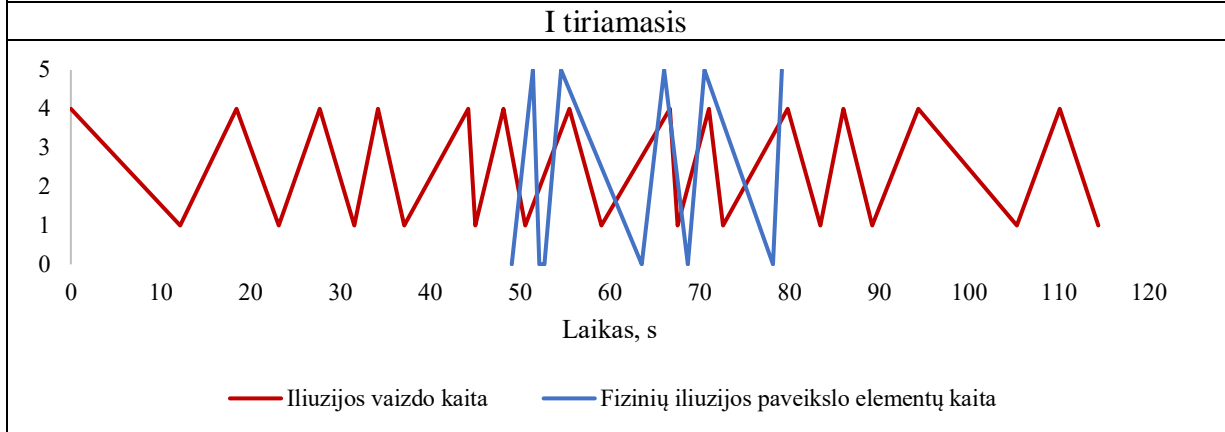
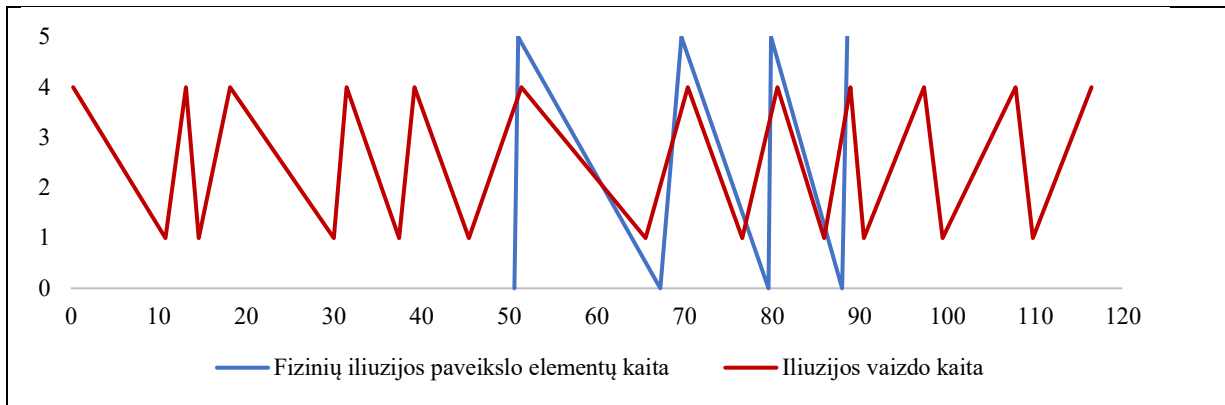
### 3.3.4. Ehrenšteino iliuzija (groteles)

Atliekant grotelių variaciją Ehrenšteino iliuzijos (5 lentelė), taip pat kaip ir kvadrato variacijoje, visi tiriamieji nematė tarpinių variantų – mažiau arba daugiau nei 50 %. Verta paminėti, kad šio eksperimento metu labai išsiskyrė duomenys I ir II tiriamojo lyginant su III ir IV tiriamuoju. I ir II tiriamajam fiziniai iliuzijos paveikslo elementai pradėjo išnykti nuo 50 sekundų, tuo tarpu III ir IV tiriamajam pirmos 10 sekundžių jau leido pamatyti nykimus iliuzijos vaizdo fizinių elementų.

Tiriamiesiems dauguma atvejų stebimas pirmesnis iliuzijos paveikslo fizinių elementų išnykimas, po kurio seka Iliuzijos atsistatymas. Iliuzijos išnykimo atveju pirmesnis stebimas iliuzijos išnykimas ir po jos iliuzijos paveikslo fizinių elementų išnykimas.

II tiriamasis

5 lentelė. Ehrenšteino iliuzijos vaizdo kaita kartu su fizinių iliuzijos elementų kaita.



## IŠVADOS

1. Atlikus eksperimentus su Troxlerio žiedu ir optinėmis iliuzijomis, pastebėta, kad daugiau atveju dažnesni akių judesiai sukelia vaizdo atsiradimą, o retesni judesiai, rodo vaizdo nykimą. Tačiau, rezultatai parodė, kad gali vaizdas nykti ir nepriklausomai nuo akių judesių.
2. Įvertinus vyzdžio pokyčius iliuzijų atsiradime ir nykime, galima matyti, kad esant iliuzijos nykimui, dažnu atveju, vyzdžio plotis mažėja. Esant iliuzijos atsiradimui vyzdžio plotis dažniausiai padidėja.
3. Išanalizavus iliuzijos vaizdų fizinių elementų nykimą ir atsiradimą, galima apibendrinti, kad po iliuzijos išnykimo išnyksta ir iliuzijos vaizdo fiziniai elementai, o prieš iliuzijos atsiradimą pirmiau atsinaujina iliuzijos vaizdo fiziniai elementai, tačiau yra retesnių atvirkštinių atvejų.
4. Eksperimentų kartojimų metu, iš grafikų, galime matyti, kad kartojant eksperimentą daugiau kartų eksperimentas yra atliekamas tiksliau (siejama su dažnesniu įvykių registravimu) ir taip pat reakcijos laikas iki tam tikro įvykio trumpėja.

## DISKUSIJA

1804 m. Troxleris aprašė stacionarių objektų suvokimo išblukimą fiksacijos metu - suvokimo reiškinių, kuris buvo žinomas kaip Troxlerio išblukimas (Inoue & Kikuchi, 2007). Nepaisant Troxlerio pranešimo, kad ne tik periferiniai, bet ir centralizuotai pritvirtinti taikiniai linkę išblukti, vėlesniais dešimtmečiais Troxlerio blukimas tapo tapatinamas su periferiniu blukimu (Wade & Tatler 2005). Vis dėlto daugybė tyrinėtojų pranešė apie foveajos išblukimą įvairiomis eksperimentinėmis sąlygomis (Krauskopf, 1963), (McCamy et al., 2012), (Pessoa & Weerd, 2003).

Troxlerio išblukimas, suvokimo patirtis, esanti tyrimo centre, yra laipsniškas, o ne momentinis procesas. Dažnai objektas tampa vis mažiau matomas, kol galų gale išnyksta (o tada vėl atsiranda, paprastai, kai mikrosakados jį grąžina). Kitais atvejais objekto matomumas iš pradžių sumažėja, o po to jis vėl atkuriamas (vėlgi, dažniausiai susijęs su mikrosakadomis), kol dar neišnyksta. Dabartiniame tyrime buvo siekiama ištirti ar būtent akių sukeliama akių judesiai sukelia išblukimą ir atsistatymą vaizdo, ar tai yra numanomasis atgalinis ryšys.

Taigi, tiriamieji nurodė, kada apskritimas išbluko / išnyko klavišų paspaudimai, kai kuo tarpu buvo fiksuojami akių judesiai. Pirmųjų eksperimentu metu visiems tiramiesiems išblukimo laikas buvo ilgesnis palyginti su kitais eksperimento pakartojimais. Stebint akių judesius, tiksliau – standartinių nuokrypų akių judesių, buvo pastebėta, kad reikšmingi pakitimai matyti ir prie tarpinių (daugiau arba mažiau už 50%) fiksuotose vietose. Galima daryti prielaidą, kad atsižvelgus tik į „visišką išblukimą“ ir nepaisant „dalinio išblukimo“ įvykių, gauname neišsamų vaizdą apie akių judesių vaidmenį vizualiam atstatyme. Būsiami tyrimai gali ištirti tarpinių padėčių įtaką, atsižvelgiant į akių judesių veiklą (Simons et al., 2006) o ne sutelkti dėmesį į visišką išnykimą ir atsistatymą.

Manoma, kad fiksuoti akių judesiai įveikia regėjimo praradimą, sutrukdydami nervinei adaptacijai (taigi ir regos išblukimui), atsirandančiai dėl stabilaus tinklainės receptorių stimuliavimo (Martinez-Conde et al., 2004). Apibendrinant galima pasakyti, kad fiksuojantys akių judesiai padeda išvengti blukimo fovejoje, tačiau netobulai, tai galime matyti ir dvejopų rezultatų pirmame tyrimo etape.

## LITERATŪRA

- Anzai, A., Peng, X., & Van Essen, D. C. (2007). Neurons in monkey visual area V2 encode combinations of orientations. *Nature Neuroscience*, *10*(10), 1313–1321. <https://doi.org/10.1038/nn1975>
- Arathorn, D. W., Stevenson, S. B., Yang, Q., Tiruveedhula, P., & Roorda, A. (2013). How the unstable eye sees a stable and moving world. *Journal of Vision*, *13*(10), 22–22. <https://doi.org/10.1167/13.10.22>
- Ash, I. K., Jee, B. D., & Wiley, J. (2012). Investigating Insight as Sudden Learning. *The Journal of Problem Solving*, *4*(2). <https://doi.org/10.7771/1932-6246.1123>
- Azlan, A., Zukri, N. N., Vermol, V. V., & Anwar, R. (2015). Designing Conceptual 3D Tessellation Ceramic Optical Illusions. In O. H. Hassan, S. Z. Abidin, R. Legino, R. Anwar, & M. F. Kamaruzaman (Eds.), *International Colloquium of Art and Design Education Research (i-CADER 2014)* (pp. 373–379). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-287-332-3\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-287-332-3_39)
- Baars, B. J., & Gage, N. M. (2010). Vision. In *Cognition, Brain, and Consciousness* (pp. 156–193). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375070-9.00006-1>
- Baars, B. J., & Gage, N. M. (Eds.). (2013). Chapter 6—The art of seeing. In *Fundamentals of Cognitive Neuroscience* (pp. 141–173). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415805-4.00006-0>
- Barlow, H. B. (1952). Eye movements during fixation. *The Journal of Physiology*, *116*(3), 290–306. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004706>
- Bertamini, M. (2018). *Programming Visual Illusions for Everyone* (Vol. 2). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64066-2>
- Besharse, J., & Bok, D. (2011). *The Retina and Its Disorders*. Academic Press.
- Campbell, J. P., Zhang, M., Hwang, T. S., Bailey, S. T., Wilson, D. J., Jia, Y., & Huang, D. (2017). Detailed Vascular Anatomy of the Human Retina by Projection-Resolved Optical Coherence Tomography Angiography. *Scientific Reports*, *7*(1), 42201. <https://doi.org/10.1038/srep42201>

- Cheng, H., Nair, G., Walker, T. A., Kim, M. K., Pardue, M. T., Thule, P. M., Olson, D. E., & Duong, T. Q. (2006). Structural and functional MRI reveals multiple retinal layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(46), 17525–17530.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0605790103>
- Cholkar, K., Dasari, S. R., Pal, D., & Mitra, A. K. (2013). 1 - Eye: Anatomy, physiology and barriers to drug delivery. In A. K. Mitra (Ed.), *Ocular Transporters and Receptors* (pp. 1–36). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781908818317.1>
- Ciuffreda, K. J. (2014). Eye Movements; Vergence. In M. J. Aminoff & R. B. Daroff (Eds.), *Encyclopedia of the Neurological Sciences (Second Edition)* (pp. 258–259). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.00131-7>
- Clarke, F. J. J. (1960). A Study of Troxler's Effect. *Optica Acta: International Journal of Optics*, *7*(3), 219–236. <https://doi.org/10.1080/713826335>
- Darrigol, O. (2012). *A History of Optics from Greek Antiquity to the Nineteenth Century*. OUP Oxford.
- DeAngelis, G. C., Ohzawa, I., & Freeman, R. D. (1995). Receptive-field dynamics in the central visual pathways. *Trends in Neurosciences*, *18*(10), 451–458. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(95\)94496-r](https://doi.org/10.1016/0166-2236(95)94496-r)
- Dolores de Hevia, M., Girelli, L., & Vallar, G. (2006). Numbers and space: A cognitive illusion? *Experimental Brain Research*, *168*(1), 254–264. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0084-0>
- Enderle, J. D. (2010). Models of Horizontal Eye Movements, Part I: Early Models of Saccades and Smooth Pursuit. *Synthesis Lectures on Biomedical Engineering*, *5*(1), 1–163.  
<https://doi.org/10.2200/S00263ED1V01Y201003BME034>
- Fernandes, B. J. T., Cavalcanti, G. D. C., & Ren, T. I. (2013). Lateral Inhibition Pyramidal Neural Network for Image Classification. *IEEE Transactions on Cybernetics*, *43*(6), 2082–2092.  
<https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2240295>
- Foley, J. M. (2019). Lateral effects in pattern vision. *Journal of Vision*, *19*(9), 8.  
<https://doi.org/10.1167/19.9.8>

- Fournier, J., Müller, C. M., Schneider, I., & Laurent, G. (2018). Spatial Information in a Non-retinotopic Visual Cortex. *Neuron*, *97*(1), 164-180.e7. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.11.017>
- Fukutomi, M., & Carlson, B. A. (2020). A History of Corollary Discharge: Contributions of Mormyrid Weakly Electric Fish. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *14*.  
<https://doi.org/10.3389/fnint.2020.00042>
- Gellatly, A. R. H. (1980). Perception of an Illusory Triangle with Masked Inducing Figure. *Perception*, *9*(5), 599–602. <https://doi.org/10.1068/p090599>
- Gilchrist, I. (2011, August 18). *Saccades*. The Oxford Handbook of Eye Movements.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199539789.013.0005>
- Goodale, M. A. (2011). Transforming vision into action. *Vision Research*, *51*(13), 1567–1587.  
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.07.027>
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Gopnik, A. (1993). Theories and illusions. *Behavioral and Brain Sciences*, *16*(1), 90–100.  
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00029253>
- Gregory, R. L., & Heard, P. (1979). Border Locking and the Café Wall Illusion. *Perception*, *8*(4), 365–380. <https://doi.org/10.1068/p080365>
- Grossberg, S., & Yazdanbakhsh, A. (2005). Laminar cortical dynamics of 3D surface perception: Stratification, transparency, and neon color spreading. *Vision Research*, *45*(13), 1725–1743.  
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.01.006>
- Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The Illusion of Owning a Third Arm. *PLOS ONE*, *6*(2), e17208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017208>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Textbook of medical physiology* (11th ed). Elsevier Saunders.
- Haley, M. (2011). Gestalt theory. In *Counseling and psychotherapy, 5th ed* (pp. 167–191). American Counseling Association.
- Hei (黑晓娟), X., Stoelzel, C. R., Zhuang (庄骏), J., Bereshpolova, Y., Huff, J. M., Alonso, J.-M., & Swadlow, H. A. (2014). Directional selective neurons in the awake LGN: Response properties

and modulation by brain state. *Journal of Neurophysiology*, 112(2), 362–373.

<https://doi.org/10.1152/jn.00121.2014>

Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 33–33.

<https://doi.org/10.1167/8.3.33>

Howe, C. Q., Yang, Z., & Purves, D. (2005). The Poggendorff illusion explained by natural scene geometry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(21), 7707–7712.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0502893102>

Hsieh, P.-J., & Tse, P. U. (2006). Illusory color mixing upon perceptual fading and filling-in does not result in ‘forbidden colors.’ *Vision Research*, 46(14), 2251–2258.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.11.030>

Huff, T., Mahabadi, N., & Tadi, P. (2021). Neuroanatomy, Visual Cortex. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482504/>

Inoue, K., & Kikuchi, T. (2007). Motion-induced blindness in seeing a movie of driving scenes. *IEICE technical report*, 107(369), 13–16.

Jacobs, G. (2013). *Comparative Color Vision*. Elsevier.

Jangra, K., & Grover, V. K. (2016). Chapter 40—Postoperative Vision Loss. In H. Prabhakar (Ed.), *Complications in Neuroanesthesia* (pp. 395–409). Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804075-1.00040-7>

Krauskopf, J. (1963). Effect of Retinal Image Stabilization on the Appearance of Heterochromatic Targets\*. *JOSA*, 53(6), 741–744. <https://doi.org/10.1364/JOSA.53.000741>

*Lippincotts-Illustrated-Reviews-Neuroscience.pdf*. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from <http://med-mu.com/wp-content/uploads/2018/06/Lippincotts-Illustrated-Reviews-Neuroscience.pdf>

Lisberger, S. G. (2010). Visual Guidance of Smooth-Pursuit Eye Movements: Sensation, Action, and What Happens in Between. *Neuron*, 66(4), 477–491.

<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.03.027>



- Litzinger, T. C., & Rio-Tsonis, K. D. (2002). Eye Anatomy. In John Wiley & Sons, Ltd (Ed.), *ELS* (p. a0000108). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0000108>
- Lou, L. (2008). Troxler effect with dichoptic stimulus presentations: Evidence for binocular inhibitory summation and interocular suppression. *Vision Research*, *48*(14), 1514–1521. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.04.001>
- Martinez-Conde, S. (2005). *The Role of Eye Movements During Visual Fixation*.
- Martinez-Conde, S., & Macknik, S. L. (2013). The Neuroscience of Illusion. *Scientific American Mind*, *22*(3s), 6–9. <https://doi.org/10.1038/scientificamericanillusions0913-6>
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(3), 229–240. <https://doi.org/10.1038/nrn1348>
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., & Dyar, T. A. (2006). Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation. *Neuron*, *49*(2), 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.11.033>
- McCamy, M. B., Otero-Millan, J., Macknik, S. L., Yang, Y., Troncoso, X. G., Baer, S. M., Crook, S. M., & Martinez-Conde, S. (2012). Microsaccadic Efficacy and Contribution to Foveal and Peripheral Vision. *Journal of Neuroscience*, *32*(27), 9194–9204. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0515-12.2012>
- Ninio, J. (2014). Geometrical illusions are not always where you think they are: A review of some classical and less classical illusions, and ways to describe them. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00856>
- Patton, L. (2008). *Hermann von Helmholtz*. <https://stanford.library.sydney.edu.au/archives/win2018/entries/hermann-helmholtz/>
- Pessoa, L., & Weerd, P. D. (2003). *Filling-In: From Perceptual Completion to Cortical Reorganization*. Oxford University Press.

- Pinna, B., & Grossberg, S. (2005). The watercolor illusion and neon color spreading: A unified analysis of new cases and neural mechanisms. *Journal of the Optical Society of America A*, 22(10), 2207. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.22.002207>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2001). Types of Eye Movements and Their Functions. *Neuroscience. 2nd Edition*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10991/>
- Redies, C., & Spillmann, L. (1981). The Neon Color Effect in the Ehrenstein Illusion. *Perception*, 10(6), 667–681. <https://doi.org/10.1068/p100667>
- Rieber, R. W., & Salzinger, K. (2013). *Psychology: Theoretical–Historical Perspectives*. Academic Press.
- Robinson, J. O. (2013). *The Psychology of Visual Illusion*. Courier Corporation.
- Schmolesky, M. (1995). The Primary Visual Cortex. In H. Kolb, E. Fernandez, & R. Nelson (Eds.), *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. University of Utah Health Sciences Center. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11524/>
- Schütz, A. C., Braun, D. I., & Gegenfurtner, K. R. (2011). Eye movements and perception: A selective review. *Journal of Vision*, 11(5), 9–9. <https://doi.org/10.1167/11.5.9>
- Searle, A., & Rowe, F. J. (2016). Vergence Neural Pathways: A Systematic Narrative Literature Review. *Neuro-Ophthalmology*, 40(5), 209–218. <https://doi.org/10.1080/01658107.2016.1217028>
- Siegel, A., Sapru, H. N., & Siegel, H. (2015). *Essential neuroscience* (Third edition). Wolters Kluwer Health.
- Siegel, S. (2011). *The Contents of Visual Experience*. Oxford University Press.
- Simons, D., Lleras, A., Martinez-Conde, S., Slichter, D., Caddigan, E., & Nevarez, G. (2006). Induced visual fading of complex images. *Journal of Vision*, 6(10), 9–9. <https://doi.org/10.1167/6.10.9>
- Snowden, R. J., & Freeman, T. C. A. (2004). The visual perception of motion. *Current Biology*, 14(19), R828–R831. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.09.033>
- Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (2008). Visual Perception and Corollary Discharge. *Perception*, 37(3), 408–418.

- Spillmann, L. (1975). Perceptual Modification of the Ehrenstein Illusion. In S. Ertel, L. Kemmler, & M. Stadler (Eds.), *Gestalttheorie in der Modernen Psychologie: Wolfgang Metzger zum 75. Geburtstag* (pp. 210–218). Steinkopff. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-72312-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-72312-4_19)
- Stone, D. J. V. (2012). *Vision and Brain: How We Perceive the World*. MIT Press.
- Straka, H., Simmers, J., & Chagnaud, B. (2018). A New Perspective on Predictive Motor Signaling. *Current Biology*, 28, R232–R243. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.033>
- Surkys, T. (n.d.). RYŠKIO IR SPALVOS KONTRASTO ĮTAKA STIMULO GEOMETRIJOS SUVOKIMO IŠKRAIPYMAMS. 95.
- Taber, C. S., & Lodge, M. (2016). The Illusion of Choice in Democratic Politics: The Unconscious Impact of Motivated Political Reasoning. *Political Psychology*, 37(S1), 61–85. <https://doi.org/10.1111/pops.12321>
- Thoreson, W. B., & Dacey, D. M. (2019). Diverse Cell Types, Circuits, and Mechanisms for Color Vision in the Vertebrate Retina. *Physiological Reviews*, 99(3), 1527–1573. <https://doi.org/10.1152/physrev.00027.2018>
- Usrey, W. M., & Alitto, H. J. (2015). Visual Functions of the Thalamus. *Annual Review of Vision Science*, 1(1), 351–371. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035920>
- Wade, N. J. (n.d.). Early History of Illusions. In *The Oxford Compendium of Visual Illusions*. Oxford University Press. Retrieved May 6, 2021, from <https://oxford.universitypressscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199794607.001.0001/acprof-9780199794607-chapter-1>
- Wade, N. J., Todorović, D., Phillips, D., & Lingelbach, B. (2017). Johann Joseph Oppel (1855) on Geometrical–Optical Illusions: A Translation and Commentary. *I-Perception*, 8(3), 2041669517712724. <https://doi.org/10.1177/2041669517712724>
- Weisstein, E. W. (n.d.). *Ehrenstein Illusion* [Text]. Wolfram Research, Inc. Retrieved May 14, 2021, from <https://mathworld.wolfram.com/EhrensteinIllusion.html>
- Westheimer, G., & Wehrhahn, C. (1997). Real and Virtual Borders in the Poggendorff Illusion. *Perception*, 26(12), 1495–1501. <https://doi.org/10.1068/p261495>

Wong, B. (2010). Gestalt principles (Part 2). *Nature Methods*, 7(12), 941–941.

<https://doi.org/10.1038/nmeth1210-941>

Yeonan-Kim, J., & Bertalmío, M. (2016). Retinal Lateral Inhibition Provides the Biological Basis of Long-Range Spatial Induction. *PLOS ONE*, 11(12), e0168963.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168963>

Zhu, J., Zhang, E., & Rio-Tsonis, K. D. (2012). Eye Anatomy. In *ELS*. American Cancer Society.

<https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000108.pub2>

Fausta Šukytė

## Akių judesių ir žvilgsnio fiksavimo įtaka iliuzijų suvokime

### SANTRAUKA

Akys yra vienos pagrindinių juslinių sistemų. Jos mums praneša apie mus supančius objektus, grėšiančius pavojus, padeda suvokti pasaulį. Nors regos sistema viena tikslingiausių sistemų, tačiau ir ji gali apgauti žmogų ir tokiu atveju žmogus susiduria su iliuzijomis. Neuromokslininkai iliuzijas naudoja kaip priemonę supratimui apie smegenų struktūrų veiklą, signalų kelius.

Šio magistrinio darbo tikslas yra ištirti, akių judesių ir žvilgsnio stabilizavimo įtaką iliuzijos suvokime. Darbo uždaviniai: išsiaiškinti, ar akių judesiai turi įtakos iliuzijų suvokimui; įvertinti, ar vyzdžio pločio pokyčiai turi įtakos iliuzijų suvokime; nustatyti, ar iliuzijos išnykimas yra susijęs su fizinių elementų išnykimu; atskleisti, patirties įtaką iliuzijų suvokime.

Akių judesių ir žvilgsnio fiksavimo įtaką iliuzijų suvokime buvo tirta analizuojant literatūrą, naujausius tyrimus, prisiminus pirmuosius tyrėjus ir jų idėjas, gilinantis į naujausias vaizdo suvokimo teorijas. Taip pat buvo atliekamas tyrimas su SMI 250 įranga fiksuojant akių judesius.

Atlikti tyrimai prisidėjo prie tolimesnių tyrimų, padėjo atsakyti į išsikeltą tikslą. Taip pat, tyrimo metu labiau įsigilinimo į kolegų atliktus darbus, pasižymėjome rekomendacijas ir tolimesnius tikslus.

Tyrimo metu nustatyta, kad dauguma atveju vaizdo išnykimas yra susijęs su akių judesiais. Taip pat kad vyzdžio pločio skirtumai siejasi su vaizdo išnykimu ir atsiradimu. Vaizdui išnykstant vyzdžio plotis sumažėja, tai galima sieti su daugiau gaunamos šviesos, nes fizinis elementas yra išnykęs (tamsus) ir kontrasto skirtumu. Iliuzijos vaizdo fiziniai elementai dažniausiai išnyksta tik jau po iliuzijos išnykimo, tačiau yra keletas atveju priešingų. Galiausiai, kartojant eksperimentus daugiau kartų pastebima patirties įtaką, ko pasėkoje eksperimentas yra atliekamas tikslingiau.

## **The influence of eye movements and gaze fixation on perception of illusions**

### SUMMARY

The eyes are one of the major sensory systems. They inform us about the objects around us that threaten us, help us understand the world. Although the visual system is one of the most purposeful systems, it can also deceive a person when faced with illusions. The illusion of neuroscientists is used as a means of understanding the activity of brain structures, signaling pathways.

The aim of this master 's thesis is to investigate the influence of eye movements and gaze fixation on the perception of illusion. Tasks: to find out whether eye movements affect the perception of illusions; to assess whether changes in pupil width affect the perception of illusions; to determine whether the disappearance of the illusion is accompanied by the disappearance of a physical element; reveal the influence of self in the perception of illusions.

The influence of eye movements and gaze capture on the perception of illusions was investigated by analyzing the literature, the latest research, remembering the first researchers and their ideas, delving into the latest theories of image perception. A study with SMI 250 equipment for recording eye movements was also performed.

The research contributed to further research, helped to answer the set goal. Also, during the study, more acquisition into the work done by colleagues, characterized by recommendations and further goals.

The study found that in most cases, image loss is due to eye movements. Also that pupil-wide beams are associated with the disappearance and appearance of the image. As the image disappeared, the width of the pupil decreased, which can be attributed to more incoming light because the physical element is faded (dark) and contrasted with the beam. "The physical elements of the illusion image disappear from all only after the illusions have disappeared," but there are some cases before. Finally, by repeating the experiments more than once, the influence itself is observed, as a result of which the experiment is more targeted.

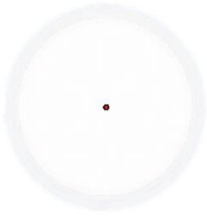
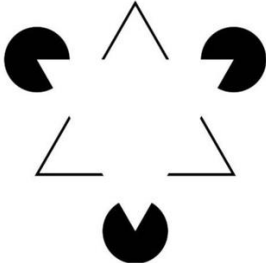
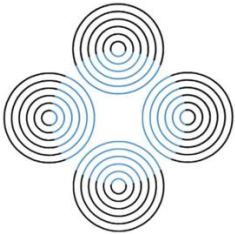
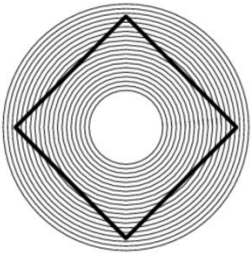
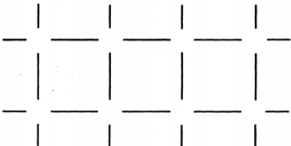
## PADĖKA

Pirmiausiai noriu išreikšti didžiulę pagarbą savo darbo vadovui Doc.dr. Ryčiui Stanikūnui. Ačiū už suteiktą galimybę prisijungti prie komandos, ačiū už kantrybę, supratimą, patarimus ir skirtą laiką.

Taip pat ačiū už didžiulę paramą savo draugams ievai ir Juliui. Labai svarbu gyvenime turėti žmonių, kurie palaiko tave ir kartais dar ir pastumia į priekį.

# PRIEDAI

## 1 PRIEDAS


Troxlerio žiedas

Kanizsos trikampis

Neoninių spalvų sklaidos iliuzija

Ehrenšteino kvadrato iliuzija

Ehrenšteino iliuzija (groteles)