

DVIEJŲ JUDANČIŲ STIMULŲ SANTYKINIO RYŠKUMO IR KAMPO TARP JUDĖJIMO TRAJEKTORIŲ ĮTAKA KRYPTIES NUSTATYMIUI

Romualdas Šatinskas

*Biomedicinos daktaras, docentas
Vilniaus universiteto
Gamtos mokslų fakulteto
Biochemijos ir biofizikos katedra
M. K. Čiurlionio g. 21/27,
LT-2009 Vilnius
Tel. 33 57 42, faks. 23 50 49
El. paštas: romualdas.satinskas@gf.vu.lt*

Aleksandras Pleskačiauskas

*Biomedicinos daktaras
Vilniaus universiteto
Gamtos mokslų fakulteto
Biochemijos ir biofizikos katedra
M. K. Čiurlionio g. 21/27,
LT-2009 Vilnius
Tel. 33 57 42, faks. 23 50 49
El. paštas: alius.pleskaciauskas@gf.vu.lt*

Dalia Stabinytė

*Biomedicinos daktarė
Vilniaus universiteto
Gamtos mokslų fakulteto
Biochemijos ir biofizikos katedra
M. K. Čiurlionio g. 21/27,
LT-2009 Vilnius
Tel. 33 57 42, faks. 23 50 49
El. paštas: dalia.stabinyte@gf.vu.lt*

Henrikas Vaitkevičius

*Habilituotas socialinių mokslų
daktaras, profesorius
Vilniaus universiteto
Bendrosios ir pedagoginės
psichologijos katedra
Didlaukio g. 47, LT-2057 Vilnius
Tel. 76 25 71*

Darbas skirtas judesio krypties suvokimo tyrimams. Pagrindinis darbo tikslas – ištirti, ar suvokiant judesio kryptį vyksta kryptių sumaišymo procesas ir nustatyti šio proceso galimus veikimo mechanizmus. Su 6 tiriamaisiais buvo atlikti 35 psichofizikiniai eksperimentai, kuriuose buvo tiriama dviejų vienodo ryškumo, skirtingomis kryptimis judančių šviesos stimulų suvokiamos krypties priklausomybė nuo kampo tarp stimulų judėjimo trajektorijų dydžio ir dviejų skirtingomis kryptimis, bet tarpusavyje fiksuotu kampu judančių šviesos stimulų suvokiamos krypties priklausomybė nuo šių stimulų santykinio ryškumo. Eksperimentų rezultatai parodė, kad suvokiama judėjimo kryptis yra pritraukiama prie antrojo stimulo judėjimo trajektorijos, jeigu kampas tarp trajektorijų ne didesnis kaip 90° ir šis efektas yra tuo stipresnis, kuo ryškesnis antrasis stimulus. Kai kampas tarp judėjimo trajektorijų didesnis kaip 90° (arba jos pailginamos), pritraukimo efektas mažėja. Iškeliama hipotezė, kad šis reiškinys gali būti sąlygojamas stimulų poveikio sumavimo ir suvidurkinimo procesų, vykstančių vieno neurono receptiniame lauke (kai atstumai tarp stimulų maži) bei lateralinio slopinimo tarp skirtingų judesį analizuojančių kanalų (kai atstumai tarp stimulų didėja). Tai rodo, kad suvokiant judėjimo kryptį vyksta kryptių sumaišymo procesas, kuris yra labai svarus veiksnys, patvirtinantis vektorinio judesio suvokimo modelio galiojimą.

Žmogaus ir gyvūnų elgesys bei jų gyvybinė veikla labai priklauso nuo erdvės suvokimo. Šio suvokimo procese ypatingą vietą užima regos sistema, kurioje koduojama ir apdorojama informacija apie tam tikras regimųjų objektų savybes. Judesio kryptis ir greitis yra svarbūs regimojo objekto parametrai, todėl jų suvokimo tyrimai pastaruoju metu tapo labai aktualūs ir teikia dideles perspektyvas.

Yra nustatyti du nepriklausomi judesio analizės mechanizmai (Braddick, 1974). Pirmasis, *short range* mechanizmas, yra susijęs su signalų, ateinančių iš mažos tinklainės srities (10–20 erdvinų minučių) integracija. Tuo tarpu antrasis, *long range* mechanizmas, yra susijęs su signalais iš gerokai didesnės tinklainės dalies (daugiau negu 1 erdvinio laipsnio). Iš pradžių *short range* srityje atliekama lokalinė analizė ir tuomet gauti duomenys perduodami į globalinės analizės sistemą (Chang, Julesz, 1984; Van Santen, Sperling, 1984; Adelson, Bergen, 1985; Watson et al., 1986; Movshon, 1990; Nawrot, Sekuler, 1990; Braddick, 1993).

Lokalinė judesio analizė yra glaudžiai susijusi su specializuotų neuronų grupe – judesio detektoriais. Kiekvienas šios grupės neuronas yra jautrus tik tam tikrai judesio kryptčiai ir greičiui, o šių neuronų visuma yra jautri visoms galimoms kryptims ir greičiams (Hubel, Wiesel, 1968; Oyster et al., 1972; Aleksejenko et al., 1979; Ketleris, 1979). Manoma, kad ši neuronų grupė (judesio detektoriai) ir nulemia *short range* sritį, kurios dydis sutampa su neuronų receptinių laukų (RL) dydžiais. *Long range* mechanizmas susijęs su informacija, ateinančia iš daugelio RL. Yra žinoma, kad detektorių rinkinys, skirtas judesio kryptties analizei, nėra didelis. Detektorių optimalios judesio kryptys skiriasi tarpusavyje mažų mažiausiai keliais laipsniais. Tačiau žmogus sugeba pastebėti kur kas mažes-

nius judesio krypties skirtumus, t. y. jis praktiškai tolydžiai suvokia judesio kryptį ir greitį. Dėl šios priežasties buvo pasiūlytas požymių kodavimo pasiskirsčiusiais parametrais (*cross fiber*) modelis. Pagal šį modelį kiekvienas stimulus sužadina ne vieną, o kelis detektorius. Suvokiamas stimulus parametras lemiamas ne vieno maksimaliai sužadinto neurono – detektoriaus, o santykio, kuriuo sužadinami visi neuronai – detektoriai (Erickson, 1984; Hubel, Livingstone, 1987). Šis modelis sukurtas pagal spalvų suvokimo modelį, kai suvokiama spalva lemiamą trijų skirtingo spektrinio jautrumo receptorių atsakų dydžių santykio. Spalviniame modelyje visų trijų receptorių spektrinės charakteristikos yra tiesiškai nepriklausomos, o *cross-fiber* modelyje ši sąlyga nepatenkinama. Dėl šios priežasties modelis yra gana sudėtingas, nes nepriklausomų neuronų, lemiančių judesio suvokimą kiekis (vektoriaus matiškumas) siekia dešimtis ar net šimtus. Johansson (1950, 1973) yra pasiūlęs vektorinį judesio analizės modelį. Pagal jį suvokiamo judesio parametrus galima charakterizuoti dvimačiu vektoriumi (panašiai kaip spalva aprašoma trimačiu vektoriumi). Toliau vystant šį modelį buvo pasiūlytas vektorinis judesio suvokimo neurofiziologinio mechanizmo modelis (Ketleris, 1979; Fomin et al., 1979; Sokolov, Vaitkevičius, 1989). Pagal šį modelį regos sistemoje iš pradžių formuojami du (arba keturi) neuronai, kurių kryptinės charakteristikos yra tiesiškai nepriklausomos. Šių neuronų atsakai nulemia judesio vektoriaus komponentių vertes. Vėlesni darbai parodė, kad, tiriant judesio analizės sistemą, toks vektorinis modelis yra perspektyvus (Williams, Sekuler, 1984).

Mūsų manymu, modelio adekvatumą būtų galima patikrinti panašiais eksperimentais, kurie anksčiau leido patvirtinti vektorinį spalvų

suvokimo modelį. Tuose eksperimentuose buvo panaudotas vienas iš fundamentalių reiškinių – spalvų sumaišymo efektas. Kyla klausimas: kiek reikėtų receptiniame lauke įvairiomis kryptimis judančių stimulų, kad galima būtų gauti bet kokios orientacijos dvimatį vektorių? Teoriškai bet kurį dvimatį vektorių galima gauti sumuojant su įvairiais koeficientais du dvimačius vektorius. Kiekvieną šių vektorių atitiktų vienas judantis stimulus. Taigi šiuo atveju pakaktų dviejų judančių stimulų poveikio, kad suminis jų efektas nesiskirtų nuo vieno stimulo, judančio bet kuria kryptimi, poveikio. Tai reikštų, kad bet kurią kryptį galima būtų gauti sumuojant skirtingo ryškumo dviejų stimulų, judančių skirtingomis kryptimis, poveikius. Neurofiziologiniai eksperimentai parodė, kad į du skirtingomis kryptimis judančius stimulus neuronai reaguoja taip, lyg per RL būtų judėjęs vienas stimulus tarpine kryptimi (Stabinytė et al., 1999a). Keičiant stimulų santykinį ryškumą, ši kryptis taip pat kito: artėjo prie intensyvesnio stimulo judesio krypties (Stabinytė et al., 1999b). Šiuose eksperimentuose kryptinė sąveika vyko viename RL, t. y. labai mažoje tinklainės srityje. Žmogui realiai stebint judančius objektus paveikiama daugybė kanalų, kurių RL gali tiek persidengti, tiek nepersidengti. Tokiu būdu suvokiama judesio kryptis turėtų priklausyti nuo procesų, vykstančių daugelyje kanalų, dėl to judesio sumaišymo efektas gali būti maskuojamas. Todėl, norint geriau stebėti šį efektą, psichofiziniuose eksperimentuose reikia kiek galima mažinti sritį, kurioje pateikiami judantys stimulai. Kita vertus, reikia turėti omenyje, kad šiuo atveju gali mažėti ir suvokiamos krypties stabilumas bei padidėti įvertinimo paklaida.

Pagrindinis šio darbo tikslas – ištirti, ar suvokiant judesio kryptį vyksta krypties su-

maišymo procesas ir nustatyti galimus jo veikimo mechanizmus. Siekiant šio tikslo darbe buvo sprendžiami tokie uždaviniai:

1) tiriama dviejų vienodo ryškumo, skirtingomis kryptimis judančių šviesos stimulų suvokiamos krypties priklausomybė nuo kampo tarp judėjimo trajektorijų dydžio,

2) tiriama dviejų skirtingomis kryptimis, bet tarpusavyje fiksuotu kampu judančių šviesos stimulų suvokiamos krypties priklausomybė nuo šių stimulų santykinio ryškumo.

Tokių tyrimų rezultatai turėtų ne tik fundamentalią mokslinę, bet ir praktinę reikšmę. Jie leistų įvairiomis sąlygomis prognozuoti judesio suvokimą (galimas judesio iliuzijas), taip pat kurti technines regos sistemas. Kartu tai patvirtintų, kad visuose analizatoriuose naudojami vienodi neuroniniai mechanizmai.

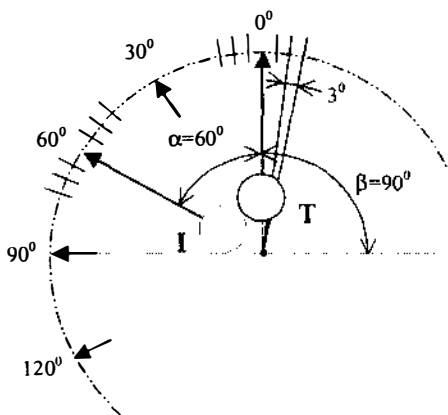
Metodika

Optinio stimuliavimo sistema. Optiniam dirginimui suformuoti buvo naudojamas automatizuotas kompleksas, kurį sudaro kompiuterio valdomas optinis mechaninis stimulatorius (OMS). Konkrečiam eksperimentui reikalingas šviesos dirgiklis buvo projektuojamas į pusiau laidų (matinį) ekraną, pastatytą tarp OMS ir tiriamojo. Eksperimentams vykdyti buvo sukurtos specialios kompiuterinės programos, kurių dėka ekrane buvo galima pateikti vieną arba dvi įvairaus skersmens judančias šviesos dėmeles ir keisti šių dėmelių ryškumą, judėjimo kryptį, tarpusavio judėjimo kampą bei judėjimo trajektorijos ilgį.

Eksperimentinės sąlygos tiriamiesiems. Eksperimentai buvo atliekami su normalaus regėjimo abiejų lyčių žmonėmis. Eksperimentuose dalyvavo 6 tiramieji. Iš viso buvo atlikti 35 eksperimentai. Tiriamasis buvo pasodina-

mas tamsiame kambaryje priešais ekraną, pa-
statytą 228 cm nuo akies. Esant tokiam atstu-
mui 1cm ekrane atitinka 0,25 erdvinio laips-
nio (lps). Tiriamojo galva buvo fiksuojama. Jis
stebėjo ekraną pro specialų tubusą, kuriame
juodas įdėklas visiškai uždengė dešinės akies
matymo lauką. Kairės akies matymo laukas su-
darė 7 lps skersmens skritulį, kurio ryškumas
buvo $0,02 \text{ cd.m}^{-2}$. Šio skritulio viduryje buvo
projektuojami optiniai stimulai.

**Optinis stimuliavimas ir eksperimento ei-
ga.** Optiniai stimulai buvo dvi vienodo sker-
smens (0,2 lps) šviesos dėmelės. Dėmelių
ryškumą buvo galima keisti su diskretiškai
neutralių optinių filtrų pagalba. Eksperimen-
to metu abiejų dėmelių ryškumas būdavo ar-
ba fiksuotas ($0,3 \text{ cd.m}^{-2}$), arba vienos – fiksuo-
tas ($0,3 \text{ cd.m}^{-2}$), o kitos keičiamas nuo 0 iki
 $2,5 \text{ cd.m}^{-2}$. Šviesos dėmelės sinchroniškai
judėjo tarpusavyje fiksuotu kampu α , kurį dis-
kretiškai buvo galima keisti nuo 0° iki 120° . Be
to, šio stimulų tandemo judėjimo kryptys bu-
vo keičiamos 3° žingsneliais. Dėmelių judėji-
mo kelias buvo vienodas (0,8 lps). Judėjimo
greitis visais atvejais buvo 5 lps/s, foninis ryšku-
mas – $0,02 \text{ cd.m}^{-2}$. Optinio stimuliavimo sche-
ma pateikta 1 pav.



1 pav. Optinio stimuliavimo schema

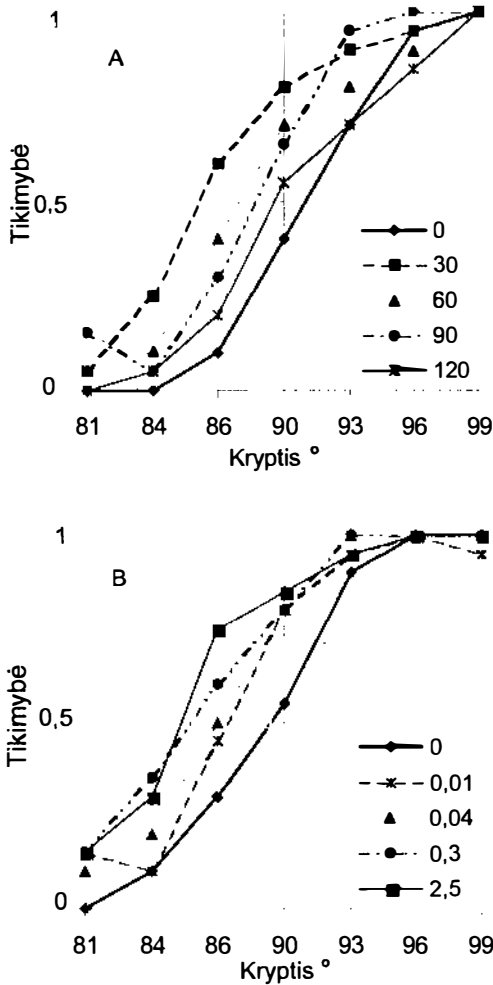
Buvo atliktos dvi eksperimentų serijos.
Abiem atvejais stimuliavimo būdas ir instruk-
cija tiriamajam buvo analogiški. Ekrane bu-
vo rodamos dvi judančios dėmelės. Viena iš
jų, testinė (T), judėdavo vertikaliai aukštyn,
t. y. kryptimi $\beta = 90^\circ$ arba nuo jos į abi puses
atsitiktine tvarka nukrypėdavo 3° , 6° , 9° . Vie-
nu metu tuo pačiu greičiu fiksuotu kampu α
su testinės dėmelės kryptimi judėdavo ir ant-
roji, turinti įtakos dėmelė (I). Tiriamasis bu-
vo instruktuoatas nuspausti dešinįjį mygtuką,
kai matydavo testinę dėmelę judant dešiniuo-
nuo vertikalaus krypties ($\beta < 90^\circ$), ir nuspausti
kairįjį mygtuką, kai jis matydavo judant šią
dėmelę kairiau ($\beta > 90^\circ$) nuo vertikalaus kryp-
ties. Tuo atveju, kai tiriamasis matydavo te-
stinę dėmelę judančią vertikaliai ($\beta = 90^\circ$), jis
galėdavo nuspausti bet kurį mygtuką. Myg-
tukų nuspaudimai, t. y. juos atitinkančios sub-
jektyviai suvokiamos testinės dėmelės judėji-
mo kryptys ir realios eksponuojamos kryptys
buvo registruojamos kompiuteryje.

Pirmoje eksperimentų serijoje buvo tiriama,
kaip judesio krypties suvokimas priklaus-
so nuo dviejų vienodo ryškumo ($0,3 \text{ cd.m}^{-2}$) švie-
sios dėmelių tarpusavio judėjimo kampo α
dydžio. Šioje eksperimentų serijoje kampas α
buvo 0° , 30° , 60° , 90° , 120° . Kiekvienu atveju
judančių dėmelių tandemas buvo orientuotas
taip, kad testinė dėmelė judėtų viena iš verti-
kalei artimų šių kryptų: $\beta = 81^\circ$; 84° ; 87° ; 90° ;
 93° ; 96° ; 99° . Tiriamajam atsitiktine tvarka po
20 kartų buvo rodama kiekviena minėta kryp-
timi β ir konkrečiu kampu α judančių dėmelių
pora. Iš gautų duomenų kiekvienam kampui
 α buvo sudaroma psichometrinės priklausomybės
kreivė. Kiekvienai kreivei užregistruoti buvo
atliekama $7 \times 20 = 140$ stimuliavimų. Gautų
tiriamojo RV psichometrinių kreivių pavyzdžiai
pateikti 2 pav. A. Abscisių ašyje

atidėta testinės dėmelės reali judėjimo kryptis β , o ordinačių ašyje – tikimybė, kad tiriamojo suvokta testinės dėmelės judėjimo kryptis buvo dešiniau vertikaliuos krypties. Atlikus šių psichometrinės priklausomybės kreivių *probit* analizę (Finney, 1971; Foster, Bishop, 1991) gauti duomenys buvo naudojami eksperimentiniams rezultatams vertinti.

Antroje eksperimentų serijoje buvo tiriama, kaip priklauso judesio krypties suvoki-

mas nuo fiksuotu tarpusavio kampų α judančių dviejų šviesos dėmelių atsižvelgiant į jų santykinį ryškumą. Analogiškai kaip ir pirmoje serijoje, buvo registruojamos psichometrinės priklausomybės kreivės. Tiktai šiuo atveju buvo keičiamas turinčios įtakos šviesos dėmelės ryškumas. Šios serijos eksperimentuose tarpusavio judėjimo kampas α buvo lygus 60° . Testinės dėmelės ryškumas nekito ir buvo $0,3 \text{ cd.m}^{-2}$, turinčios įtakos dėmelės ryškumas – $0; 0,01; 0,04; 0,3; 2,5 \text{ cd.m}^{-2}$. Gautų tiriamojo RV psichometrinių kreivių pavyzdžiai pateikti 2 pav. B.



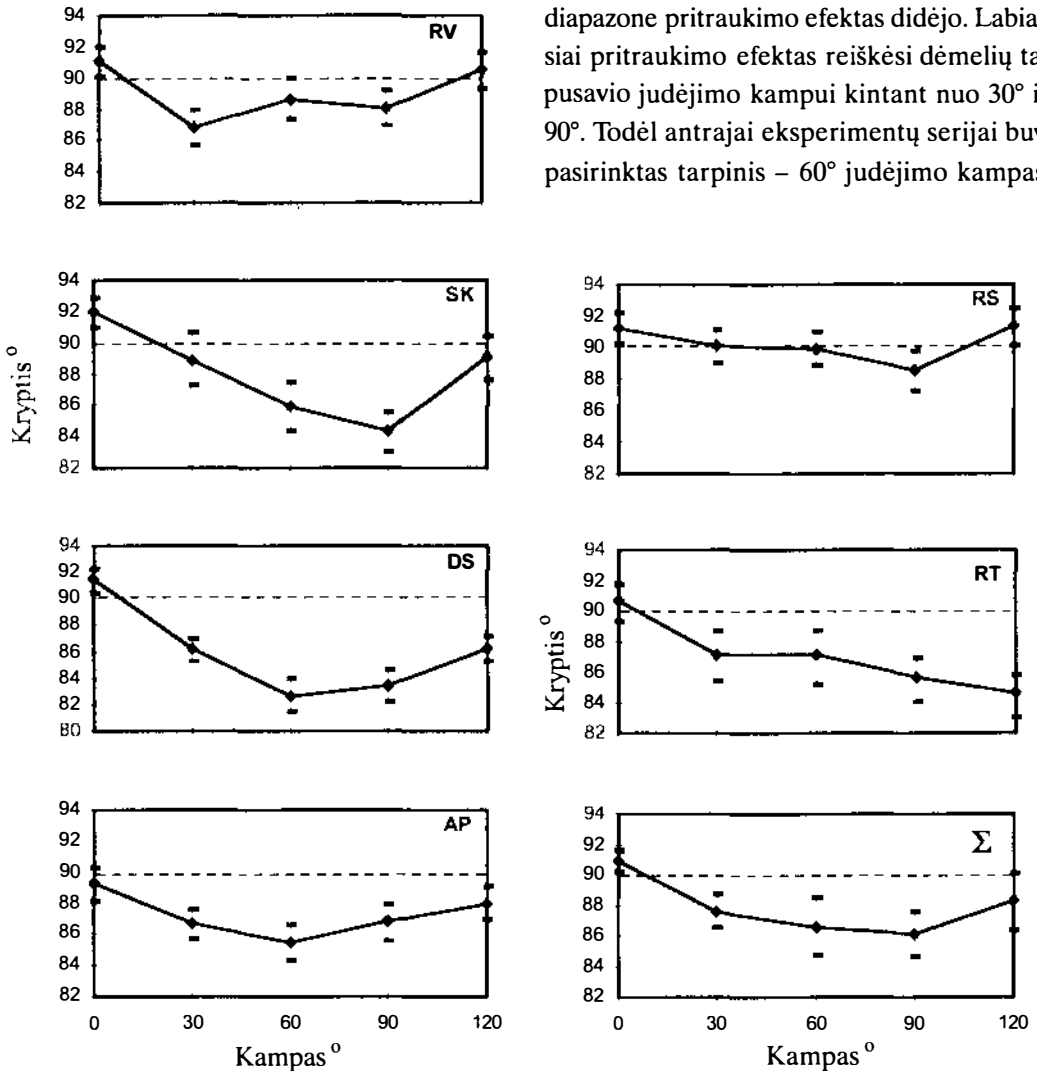
2 pav. Psichometrinės priklausomybės kreivės. Pataiškinimai tekste

Tyrimo rezultatai

Pirmosios eksperimentų serijos rezultatai pateikti 3 pav. Abscisių ašyse atidėtos dviejų vienodo ryškumo ($0,3 \text{ cd.m}^{-2}$) šviesos dėmelių tarpusavio judėjimo kampo α reikšmės. Kampas $\alpha = 0^\circ$ reiškia, kad regėjimo lauke judėjo tiktai viena (testinė) dėmelė. Ordinačių ašyse atidėtos testinės dėmelės judėjimo kryptys, kuriomis judant, tiriamasis suvokdavo jas kaip „vertikales“, t. y. kaip judančias kryptimi $\beta = 90^\circ$. Konkreti krypties reikšmė buvo apskaičiuojama iš atitinkamos psichometrinės kreivės, atlikus jos *probit* analizę. Pasikliautiniai intervalai visais atvejais skaičiuoti esant reikšmingumo lygmeniui 0,05. Suvokiama vertikali kryptis psichometrinėje kreivėje atitiko tikimybę $p = 0,5$, kadangi, pagal eksperimento instrukciją, tiriamasis, suvokęs šią kryptį, galėjo nuspausti bet kurį iš dviejų mygtukų. Taigi kreivių, pateiktų 3 pav., eiga rodo turinčios įtakos dėmelės poveikį testinės dėmelės judėjimo krypties suvokimui. Priklausomai nuo kampo α dydžio, turinti įtakos dėmelė daugiau ar mažiau „pritraukia“, o kai kuriais atvejais net „atstumia“ nuo savęs testinės dėmelės trajektoriją. Tiriamasis pritraukia-

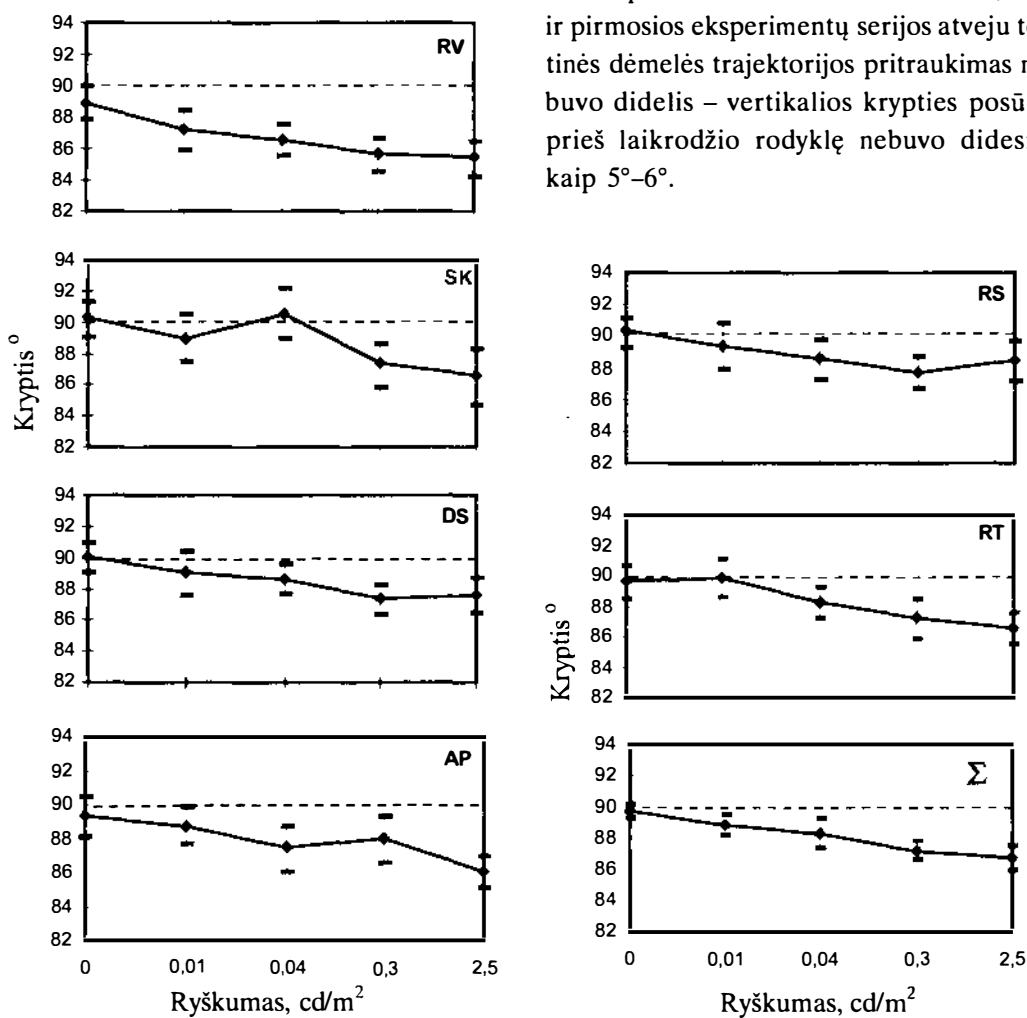
mo efektą fiksuoja, kai testinę dėmelę, judančią mažesnėmis negu 90° kryptimis, suvokia kaip vertikaliai judančią, t. y. jų judėjimo kryptį „pasuka“ prieš laikrodžio rodyklę ($\beta < 90^\circ$). Ir atvirkščiai, fiksuodamas „atstūmimo“ efektą, testinės dėmelės judėjimo kryptį tiriamasis pasuka pagal laikrodžio rodyklę ($\beta > 90^\circ$).

Kai tarp šviesos dėmelių judėjimo krypčių buvo 30° arba 60° kampas, daugumai tiriamųjų buvo matomas judėjimo trajektorijų pritraukimo efektas. Toliau didinant kampą α , šis efektas silpnėjo, o tiriamiesiems RV, RS kai $\alpha = 120^\circ$ išryškėja net priešingas, t. y. trajektorijų atstūmimo efektas ($\beta > 90^\circ$). Tiksliai vienam tiriamajam RT visame kampo α kitimo diapazone pritraukimo efektas didėjo. Labiausiai pritraukimo efektas reikėsi dėmelių tarpusavio judėjimo kampui kintant nuo 30° iki 90° . Todėl antrajai eksperimentų serijai buvo pasirinktas tarpinis – 60° judėjimo kampas.



3 pav. Suvokiamos judesio krypties priklausomybė nuo kampo tarp dviejų vienodo ryškumo šviesos dėmelių judėjimo krypčių dydžio. RV, SK, DS, AP, RS, RT – tiriamųjų rezultatai; Σ – visų tiriamųjų rezultatai. Kiti paaiškinimai tekste

Antrosios eksperimentų serijos rezultatai pateikti 4 pav. Abscisių ašyse atidėtas turinčios įtakos dėmelės ryškumas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Visais atvejais dėmelių tarpusavio judėjimo kampas buvo fiksuotas ($\alpha = 60^\circ$). Ordinačių ašyse, kaip ir pirmosios eksperimentų serijos atveju, atidėtos testinės dėmelės judėjimo kryptys, kuriomis judant tiriamasis jas suvokdavo kaip „vertikales“.



4 pav. Suvokiamos judesio krypties priklausomybė nuo fiksuotu tarpusavio kampu judančių dviejų šviesos dėmelių santykinio ryškumo. RV, SK, DS, AP, RS, RT – tiriamųjų rezultatai; Σ – visų tiriamųjų rezultatai. Kiti paaiškinimai tekste

Gauti rezultatai rodo, kad, didėjant turinčios įtakos dėmelės ryškumui, visi tiriamieji, nustatydami vertikalią testinės dėmelės trajektorijos kryptį, vis labiau sukdamo ją prieš laikrodžio rodyklę. Kitais žodžiais tariant, didėjant turinčios įtakos dėmelės ryškumui, testinės dėmelės judesio trajektorija subjektyviai traukiama turinčios įtakos dėmelės trajektorijos link, t. y. matomas pritraukimo efektas. Tiek šios, tiek ir pirmosios eksperimentų serijos atveju testinės dėmelės trajektorijos pritraukimas nebuvo didelis – vertikalios krypties posūkis prieš laikrodžio rodyklę nebuvo didesnis kaip 5° – 6° .

Rezultatų aptarimas

Pagrindinis šio darbo tikslas buvo nustatyti, ar suvokiant judesio kryptį dalyvauja kryptčių sumaišymo procesas, t. y. ar vyksta judesio kryptčių vidurkinimas. Gauti eksperimentiniai rezultatai liudija, kad vienos dėmelės judėjimo krypties suvokimas priklauso nuo kitos dėmelės judėjimo krypties bei ryškumo. Trajektorijų pritraukimo efektas iš dalies patvirtina judėjimo kryptčių vidurkinimo prielaidą. Tačiau šio efekto sumažėjimas (ir kartais matomas trajektorijų atstūmimo reiškinys) bei krypties maksimalaus posūkio dydis ($6^\circ - 7^\circ$) gali sukelti abejonių šios prielaidos teisingumu. Todėl gautus rezultatus būtina detaliau aptarti.

Galima manyti, kad stebimas pritraukimo efektas yra signalų optinio sumavimo rezultatas. Kitais žodžiais tariant, projektuojant į tinklainę dvi dėmeles, jų optiniai srautai gali sumuotis ir atstojamojo šviesos pasiskirstymo judėjimo kryptis (arba jų atskirų dalių judėjimo kryptys) gali skirtis nuo dėmelių judėjimo kryptčių, ką ir matome eksperimente. Tačiau planuodami eksperimentą, mes išvengėme šios situacijos – parinkome tokią dėmelių padėtį, kad jos nepersidengtų ir bet kuriose padėtyse būtų suvokiamos kaip atskiros. Esant tokiai dėmelių padėčiai, jų projekcijų persidengimas tinklainėje yra nedidelis ir jis negali būti matomo efekto priežastimi. Griežtai kalbant, kai $\alpha = 30^\circ$, toks dalinis persidengimas galimas tik tai judesio trajektorijų pradžioje. Tačiau kai $\alpha > 30^\circ$, trajektorijų persidengimas yra visiškai eliminuotas (1 pav.) ir pritraukimo efektas gali būti sąlygojamas tik tai suvokimo mechanizmų.

Kita vertus, stebimas pritraukimo efektas yra nedidelis – $5^\circ - 6^\circ$. Jis gerokai mažesnis ne-

gu analogiškuose neurofiziologiniuose eksperimentuose gautas judesio kryptčių suvidurkinimas. Šiuose eksperimentuose neuronų receptiniame lauke (RL) skirtingomis kryptimis judant dviem stimulams neuronai reagavo taip, lyg per RL būtų judėjęs vienas stimulus tarpine kryptimi. Daugeliu atvejų ši kryptis sutapo su kampo tarp judėjimo kryptčių pusiaukampine, t. y. kai $\alpha = 30^\circ; 60^\circ$, išskiriama kryptis pasisukdavo atitinkamai 15° arba 30° (Stabinytė et al., 1999 a).

Šie rezultatai netiesiogiai leidžia paaiškinti, kodėl psichofiziniuose eksperimentuose pritraukimo efektas nėra didelis ir kodėl kartais šalia pritraukimo mes matome ir trajektorijų atstūmimo efektą. Pritraukimo (arba suvidurkinimo) efektas gali būti tam tikrų stimulų poveikio viename RL sumavimo rezultatas. Galima manyti, kad visi neuronai, gaunantys signalus iš to paties RL, sudaro vieną informacijos apdorojimo kanalą. Tačiau stimulai visuomet veikia ne vieną, bet keliasdešimt iš dalies persidengiančių RL. Šiuo atveju suvokiama judesio kryptis priklausys nuo daugelio neuronų atsakų – vyks tam tikras „atskirų kanalų“ parodymų vidurkinimo procesas. Kadangi dalis kanalų „mitys“ tik vieną dėmelę arba antroji dėmelę projektuosis į RL periferiją, kur jos poveikis neuronų atsakui nedidelis, tai ir pritraukimo efektas šiuose kanaluose pasireikš nedaug. Vidurkinant įvairių kanalų parodymus, mūsų eksperimentuose matomas pritraukimo efektas sumažės, ir šis sumažėjimas bus tuo stipresnis, kuo daugiau kanalų bus vienos dėmelės veikiami. Tai reikštų, kad stebimas pritraukimo efektas turėtų mažėti didinant dėmelių judėjimo trajektoriją. Kita vertus, vidurkinimo įtaka turėtų didėti mažinant

judesio trajektorijos ilgį arba didinant regėjimo lauke dėmelių porų skaičių. Labai sumažinti judesio trajektorijos ilgio negalima, kadangi didėja trajektorijos polinkio įvertinimo paklaida (Bouma, Andriessen, 1968). Galima būtų didinti dėmelių skaičių. Tačiau šiuo atveju būtų sunku kalbėti apie tai, kurie stimulai veikia pasirinktą RL.

Kartu reikia pažymėti, kad suvidurkinimo rezultatas priklauso ne tik nuo judančių dėmelių skaičiaus bei kampo tarp judėjimo trajektorijų, bet ir nuo dėmelių santykinio ryškumo. Kuo ryškesnis stimulus dirgina RL, tuo stipresnį neurono atsaką jis sukelia. Kitais žodžiais tariant, kuo didesnis testinės dėmelės ryškumas (arba mažesnis turinčios įtakos dėmelės ryškumas), tuo silpnesnis turėtų būti pritraukimo efektas. Ir atvirkščiai, jeigu turinčios įtakos dėmelės ryškumas bus gerokai didesnis už testinės dėmelės ryškumą, pritraukimo efektas turėtų stiprėti. Mūsų eksperimentų rezultatai visiškai patvirtina šias prognozes ir taip pat tenkina vektorinio judesio suvokimo modelio reikalavimus. Pagal šį modelį, jeigu abi dėmelės yra viename RL, tai suminė RL reakcija yra nusakoma dviejų vektorių, aprašančių dėmelių judesį, suma. Tačiau ryškesnę dėmelę atitinka didesnio modulio vektorius ir jo įtaka suminiam vektoriui bus didesnė.

Mūsų eksperimentuose nustatytą pritraukimo efekto sumažėjimą bei kartais matomą atstūmimo efektą galima paaiškinti tarp skirtingų kanalų veikiančiu simultaniuo kontrasto mechanizmu, dėl kurio padidėja skirtumas tarp suvokiamų judesio kryptų (Sokolov, Vaitkevičius, 1989; Fries et al., 1977). Šis reiškinys aprašytas tiek psichofizikiniame (Guik, 1986), tiek ir neuro-

fiziologiniame (Fries et al., 1977) lygyje. Efektas pasireiškia tuo, kad tarp skirtingų kanalų veikia lateralinis slopinimo ryšys, tiksliau sakant, slopinimo ryšys egzistuoja tarp vienvardžių skirtingų kanalų neuronų (Sokolov, Vaitkevičius, 1989). Tad dėl lateralinio slopinimo galėtų būti matomas subjektyvus skirtumo tarp suvokiamų judesio kryptų padidėjimas, t. y. trajektorijų atstūmimo efektas.

Remiantis tuo, kas pasakyta, galima būtų manyti, kad mūsų eksperimente stebimi du reiškiniai kartu – suvidurkinimo ir judesio kontrasto padidėjimo. Kol abu stimulai yra vieno kanalo RL, vyksta jų poveikių vidurkinimas. Kai kiekvienas iš šių stimulų veikia skirtingų kanalų RL, šis procesas silpnėja, o kartais matomas net trajektorijų atstūmimo efektas. Pastaroji situacija labiau tikėtina kai α reikšmės didelės (90° ; 120°), ką mes ir matome eksperimente. Kai kuriais atvejais mes specialiai pailgindavome dėmelių judėjimo trajektorijas (iki 2 lps). Tuomet stebėtojas aiškiai suvokdavo, kad dėmelių judesio trajektorija kreiva – dėmelės judėjo lyg ir skirtingomis išgaubtomis kreivėmis, kurių galai tolo vienas nuo kito: pradžioje abiejų dėmelių judesio kryptys buvo beveik lygiagrečios, o joms vienai nuo kitos tostant, jų judesio kryptys vis daugiau skyrėsi. Visa tai rodo, kad suvokiant judėjimo kryptį vyksta kryptų sumaišymo procesas, kuris yra labai svarus veiksnys, patvirtinantis vektorinio judesio suvokimo modelio galiojimą.

Išvados

1. Regos lauke skirtingomis kryptimis judant dviem šviesos stimulams suvokiama vie-

no stimulo judėjimo kryptis priklauso nuo ki-
to stimulo judėjimo krypties ir ryškumo.

2. Kol atstumas tarp stimulų mažas, vyrauja
judėjimo trajektorijų pritraukimo efektas, kuris
stiprėja didėjant turinčio įtaką stimulo ryškumui.

3. Kai atstumas tarp stimulų didėja, judėji-
mo trajektorijų pritraukimo efektas mažėja.

4. Pritraukimo efektas gali būti sąlygoja-
mas stimulų poveikio sumavimo ir vidurkini-

mo procesų, vykstančių viename judesį ana-
lizuojančiame kanale (vieno neurono recep-
ciniame lauke), o šio efekto mažėjimas – la-
teralinio slopinimo tarp skirtingų judesį ana-
lizuojančių kanalų.

5. Suvokiant judėjimo kryptį vyksta kryptį
sumaišymo procesas, kuris yra svarbus veiks-
nys, patvirtinantis vektorinio judesio suvoki-
mo modelio galiojimą.

LITERATŪRA

1. Adelson E. H., Bergen J. R. Spatiotemporal energy models for the perception of motion // *Journal of the Optical Society of America*. 1985, vol. 2, p. 284–299.
2. Alekseenko S. V., Stabinytė D. J., Kirvelis D. J., Vanagas V. A. Non-uniformity of neurons population with complex receptive fields in the cat visual cortex // *Neurophysiology – Engl. Tr.* 1979, vol. 11(2), p. 109–116.
3. Bouma H., Andriessen J. J. Perceived orientation of isolated line segments // *Vision Research*. 1968, vol. 8, p. 493–507.
4. Braddick O. A short-range process in apparent motion // *Vision Research*. 1974, vol. 14, p. 519–527.
5. Braddick O. Segmentation versus integration in visual motion processing // *Trends in Neuroscience*. 1993, vol. 16, p. 263–268.
6. Chang J. J., Julesz B. Cooperative phenomena in apparent movement perception of random-dot cinematograms // *Vision Research*. 1984, vol. 24, p. 1781–1788.
7. Erickson R. P. On the neural bases of behavior // *American Scientist*. 1984, vol. 72, p. 233–241.
8. Finney D. K. Probit analysis. 3rd ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., 1971.
9. Fomin S. V., Sokolov E. N., Vaitkevičius H. H. Artificial sense organs. Leningrad: Nauka, 1979, 180 p.
10. Foster D. H., Bischof W. F. Thresholds from psychometric functions: superiority of bootstrap to incremental and probit variance estimators // *Psychological Bulletin*. 1991, vol. 109, p. 152–159.
11. Fries W., Albus K., Creutzfeldt O. D. Effects of interacting visual patterns on single cell responses in cats striate cortex // *Vision Research*. 1977, vol. 17, p. 1001–1008.
12. Guik J. Perception of moving objects. Tallinn: Valgas, 1986, 240 p.
13. Hubel D. H., Livingstone M. S. Segregation of form, color and stereopsis in primate area 18 // *J Neurosci*. 1987, vol. 7, p. 3378–3415.
14. Hubel D. H., Wiesel T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex // *Journal of Physiology*. 1968, vol. 195, p. 215–243.
15. Johansson G. Configurations in event perception: an experimental study. Stockholm: Almqvist, Wiksell, 1950.
16. Johansson G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis // *Perception and Psychophysics*. 1973, vol. 14, p. 201–211.
17. Ketleris J. Cand. Thesis. Vilnius, 1979.
18. Movshon J. A. Visual processing of moving images // *Images and Understanding / ed. M. Weston-Smith, H. B. Barlow and C. Blakemore*. New York: Cambridge University Press, 1990.
19. Nawrot M., Sekuler R. Assimilation and contrast in motion perception: explorations in cooperativity // *Vision Research*. 1990, vol. 30, p. 1439–1451.
20. Oyster C. W., Takahashi E., Collewijn H. Direction-selective retinal ganglion cells and control of optokinetic nystagmus in the rabbit // *Vision Research*. 1972, vol. 12, p. 183–193.
21. Stabinytė D., Pleskačiauskas A., Šatinskas R., Vaitkevičius H. Detection of the movement direction by the cells with directional receptive fields in the primary visual cortex of the cat. 1. Influence of the angular separation between stimuli // *Biologija*. 1999a, No 2, p. 61–66.
22. Stabinytė D., Pleskačiauskas A., Šatinskas R., Vaitkevičius H. Detection of the movement direction by the cells with directional receptive fields in the primary visual cortex of the cat. 2. Influence of the

relative luminance of two moving stimuli // *Biologija*. 1999b, No 2, p. 66–69.

23. Sokolov E. N., Vaitkevičius H. H. *Neurointelect*. Moskva: Nauka, 1989.

24. van Santen J. P. H., Sperling G. Temporal covariance model of human motion perception // *J. Opt. Soc. Am.* 1984, vol. 1, p. 451–473.

25. Watson A. B., Ahumada A. J., Farrell J. E. The window of visibility: A psychophysical theory of fidelity in time-sampled motion displays // *J. Opt. Soc. Am.* 1986, vol. 3, p. 300–307.

26. Williams D. W., Sekuler R. Coherent global motion percepts from stochastic local motions // *Vision Research*. 1984, vol. 24(1), p. 55–62.

INFLUENCE OF RELATIVE LUMINANCE AND ANGLE BETWEEN MOVEMENT DIRECTIONS OF TWO MOVING STIMULI ON DIRECTION DETECTING

R. Šatinskas, D. Stabinytė, A. Pleskačiauskas, H. Vaitkevičius

Summary

The goal of the present research was to investigate the perception of movement direction. The main purpose was to detect if the mix of directions was present and ascertain the mechanism of this process. We carried out 35 psychophysical experiments with 6 observers. Two bright stimuli moved on a screen with different angle between movement directions or with different brightness of the stimuli. The results showed that perceived direction of movement was attracted to the second stimulus trajectory if the angle between trajectories was less than 90 degrees. And this phenomenon was the stronger the brighter the second sti-

mulus was. When the angle was more than 90 degrees the effect of pushing was observed. While the distance between stimuli is comparatively little the attraction prevails as it is caused by the summation and averaging of signals within a single receptive field of a neuron. When the distance between stimuli grows the effect of pushing is observed because of the lateral inhibition amongst the different channels of movement analysis. These results show that a process of mix of directions is present in perception of movement direction and are strong factors in proving the vectorial model of movement perception.

Įteikta 2001 06 29