

EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Psichofizikiniai apibrėžto apskritimo iliuzijos matavimai*

Algirdas Gutas, Aleksandr Bulatov, Algis Bertulis

Kauno medicinos universiteto Biologijos katedra

Raktažodžiai: kreivumo suvokimo iškraipymai, erdvinė dažninė filtracija.

Santrauka. Psichofizikinių eksperimentų metu buvo matuojama kreivumo iliuzija, kurią apibrėžtame apskritime sukelia lygiakraštis trikampis, kvadratas arba penkiakampis. Apskritimo lankai atrodo išlinkę į išorę esant įvairiems stimulo diametrams, tačiau kiekvienam dydžiui trikampis sukelia didžiausią, o penkiakampis – mažiausią suvokto kreivumo deformaciją. Didėjant stimulo diametru, iliuzija stiprėja. Išlenktos į išorę arba į vidų įbrėžtų figūrų kraštinės sukuria silpnas iliuzijas negu tiesių kraštinių figūros. Analogiškos apibrėžto apskritimo lankų deformacijos gautos, panaudojus neurofiziologinį erdvinės dažninės vaizdų filtracijos modelį, o apskaičiuotos kreivės savo forma bei kiekybinėmis reikšmėmis yra panašios į eksperimentines.

Įvadas

Terminas „iliuzija“ reiškia jutimų paklaidą, kuri sukelia neatitikimą tarp suvokiamo, arba subjektyvaus ir fizinio, arba objektyvaus pasaulio. Iliuzijos būdingos visoms žmogaus jutimų sistemoms: regai, klausai, lietimui, temperatūros pojūčiams ir matyt yra prigimtinis arba imanentinis nervų sistemos struktūros bei informacijos apdorojimo būdo rezultatas. Pavyzdžiui, tam tikros trukmės garso intervalas atrodo ilgesnis negu tokios pačios trukmės pauzė (1). Čiuopiant paviršių, vienodo ilgio strypeliai atrodo nevienodi, jeigu galuose esantys pridėtiniai sparneliai yra nukreipti priešingomis kryptimis (2). Tarp gausybės regimųjų iliuzijų žinomos ir daikto ilgio, formos ar kito parametro iškreiptos regimybės, pavyzdžiui, Miulerio-Lajerio, Oppel-Kundto, Poggendorffo, Ponzo, Zolnerio. Įdomi iliuzijų savybė ta, kad jų atsiranda stebint visai paprastus vaizdus, sudarytus vos iš kelių linijų, taškų arba kreivės atkarpų, atrodytų, negalinčių sukelti bet kokių keblumų tokiai universaliai ir galingai daiktų atpažinimo sistemai, kokia yra rega. Vis dėlto regimojo suvokimo klaidos šiais atvejais yra didelės, išmatuojamos kiekybiškai ir atsikartoja sistemingai kiekvienam stebėtojų. Dėl šios savybės geometrinių iliuzijų reikšminys pats tampa reikšmingu stebėjimų ir tyrinėjimų objektu, nes padeda įvertinti sistemos galimybių ribas, kurios savo ruožtu atspindi ir tam tikrus sistemos struktūros bei veikimo principus.

Dėl savo paprastumo geometrinės iliuzinės figūros buvo pastebėtos Antikos laikais, kai kurios iš jų

plačiau aprašytos ir pavadintos autorių vardais XIX amžiuje ar kiek vėliau, tačiau jų neurofiziologiniai mechanizmai nėra pakankamai aiškūs ir iki šiol. Iš pradžių iliuzijos buvo aiškinamos remiantis dviem priešingais vienas kitam procesais – susiliejimu ir kontrastu (3–6). Susiliejimas suprantamas kaip nuotolio tarp dviejų taškų suartėjimas, o kontrastas – kaip nuotolio tarp jų padidėjimas stebėjimo metu. Tariamai šie procesai vyko skirtinguose jutimo sistemos lygmenyse, o juos sąlygojo šoninis slopinimas bei stūma, turintys pastovias savo įtakos ribas (7–9). Vėlesnė hipotezė (10) buvo grindžiama vaizdo gylio ir perspektyvos įtaka suvokimui. Gylio suvokimas kliudo taip vadinamajam dydžio konstantiškumo mechanizmui (11–15). Dydžio konstantiškumas esąs tiesinė perspektyvos funkcija, o gylio suvokimas tiesinės skalės neturi (16). Todėl regos sistema, balansuodama tarp dviejų vaizdo parametrų vertinimų, klysta (17). Ši hipotezė netiko toms iliuzijoms, kurias sukelia vaizdai be gylio ir perspektyvos elementų (18–24).

Ilgio suvokimo klaidoms aiškinti buvo taikomos adaptacijos bei asimiliacijos hipotezės, kurios teigia, kad suvokiamas dydis yra tiesiog proporcingas vaizdo centrinės detalės matmenims ir atvirkščiai proporcingas adaptacijos lygiui (26–29), arba suvoktas dydis yra proporcingas centrinės ir periferinių vaizdo detalių dydžių vidurkiui (30–32). Kita panaši hipotezė teigė, kad iliuzijos dydis priklauso tik nuo periferinių vaizdo detalių ilgio arba pločio (33, 34). Svorio centro hipotezė atkreipė dėmesį į akių judesius ir tvirtina, kad suvo-

Adresas susirašinėti: A. Gutas, KMU Biologijos katedra, Eivenių 4, 50009 Kaunas
El. paštas: alggut@vision.kmu.lt

* The full-length article in English can be found at <http://medicina.kmu.lt>

kimo deformacijų gali kilti iš prieštaringų komandų, ateinančių į akių raumenis siekiant fiksuoti žvilgsnį tuo pačiu metu ir į periferinių vaizdo detalių svorio centrą, ir į centrinės detalės kraštus (35–40).

Moderniosios hipotezės grindžiamos neuronų receptijos laukų savybėmis. Pavyzdžiui, linijų detektoriai gali nustatyti krašto arba linijos orientaciją pagal vertikalumo ir horizontalumo santykį, bet tikslumas yra skirtingas regos lauko centre, šalia jo ir toliau nuo jo (41). Paprasti ir sudėtingi žievės neuronų receptijos laukai, pasižymintys erdvinį dažninių filtrų savybėmis, gali deformuoti signalus apie vaizdo erdvinę struktūrą (42–44) ir sukelti suvokimo iškraipymus.

Anksčiau atlikti ankstesnieji ilgio iliuzijų tyrinėjimai ir modeliavimas (45–48) patvirtina pastarąją idėją apie erdvinę dažninę filtraciją, kaip vieną iš pagrindinių suvokimo iškraipymų priežasčių. Tokia pažiūra savo ruožtu išplaukia tiesiogiai iš signalų teorijos. Neapibrėžtumo principas, kalbant Furje transformacijos terminais, įrodo ryšį tarp signalo apimties ir jo spektrinių charakteristikų. Todėl filtracijos procesai neišvengiamai sukelia signalo dedamųjų dalių tarpusavio ryšių iškraipymus, o jų dydis priklauso nuo filtruojančios sistemos parametru. Galima manyti, kad sensorinių signalų iškraipymus lemia duotos jutimo sistemos parametrai, todėl ir regimojo vaizdo iškraipymus lemia regos neuroninių tinklų filtracinės savybės.

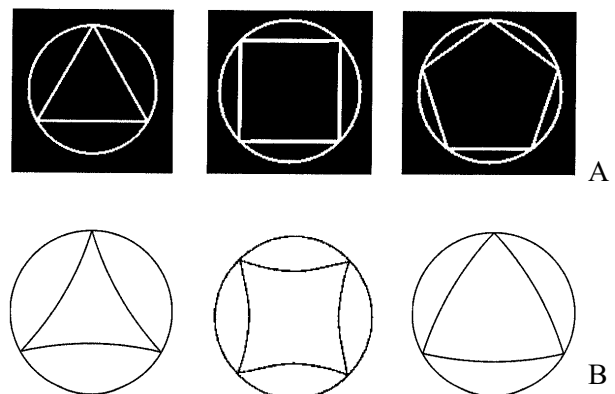
Šis tyrimas yra mūsų eksperimentinių ir teorinių tyrinėjimų tąsa, turinti tikslą – kiekybiškai pamatuoti formos suvokimo iškraipymus ir atsakyti į klausimą, ar regos sistemos neurofiziologinės savybės bei erdvinės filtracijos parametrai gali būti ne tik dydžio, bet ir formos iliuzijos priežastis. Tyrimų objektu pasirinkome žinomą iliuziją, kurią sukelia paprasta geometrinė figūra, pavyzdžiui, kvadratas, įbrėžtas į apskritimą. Stebėtojas mato iškraipytą vaizdą – netaisyklingą apskritimą ir išsipūtusius lankus. Matavome šios iliuzijos stiprumą ir jo kitimą kintant stimulus dydžiui ir įbrėžtos figūros kraštinių kreivumui. Gautus duomenis palyginome su modelio duomenimis.

Metodika

Eksperimentai buvo valdomi kompiuterine programa (paruošta autorių), kuri formuoja stimulus įrangą „Cambridge Research systems VSG 2/3“ ir pateikia juos „EIZO T562“ su gama korekcija ekrane. Atstumas tarp ekrano ir stebėtojo akies – 400 cm. Stebėtojo patogumui ir akies padėties pastovumui palaikyti naudotas smakro laikiklis. Eksperimentai daryti užtemdytoje patalpoje ir stebėtojai, žvelgdami viena akimi pro 3 mm diametro dirbtinį vyzdį, tamsiame

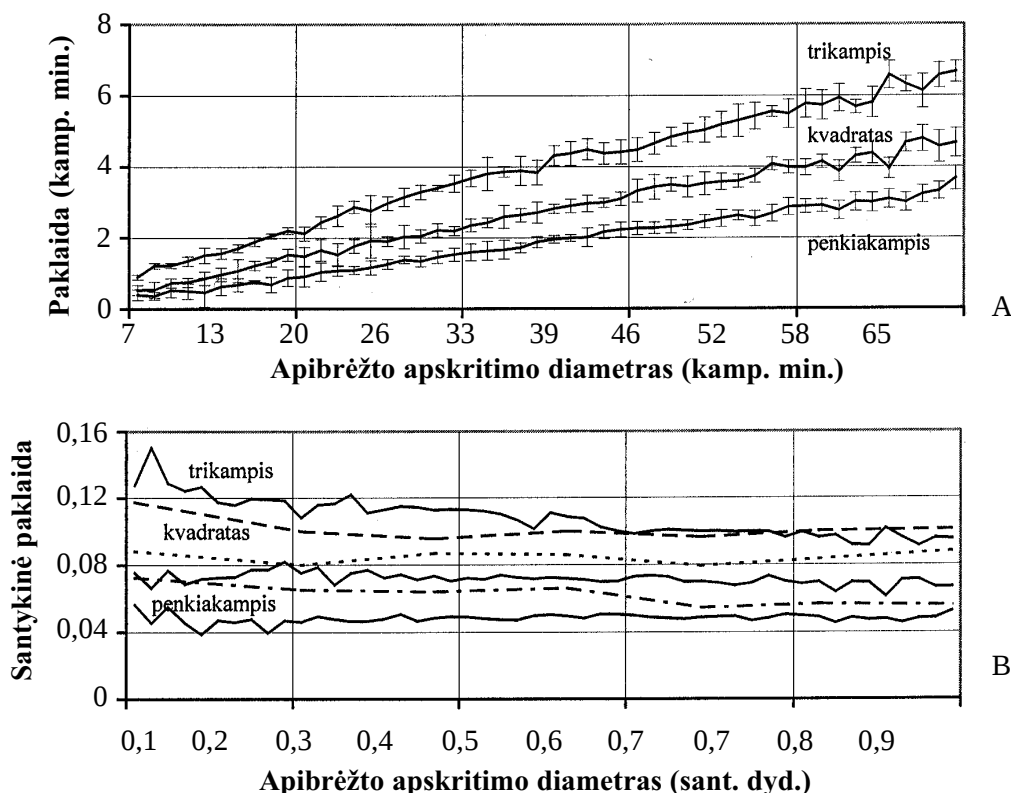
fone matė šviesius stimulus, sudarytus iš apskritimo ir jame įbrėžto lygiakraščio trikampio, keturkampio arba penkiakampio (1A pav.). Visų stimulių linijų storis buvo vienodas – 0,3 kampo min. Eksperimentams naudota 50 įvairaus dydžio (nuo 7 iki 70 kampo min.) stimulių. Dydis buvo vertinamas pagal apibrėžto apskritimo diametrą. Skirtingo dydžio stimulių buvo pateikiami atsitiktine tvarka. Kitai eksperimentų serijai buvo naudojami stimulių su įbrėžtomis figūromis, turinčiomis ne tiesias, o įvairaus kreivumo laipsnio išgaubtas arba išgaubtas kraštines (1B pav.). Visų eksperimentų metu stebėtojo užduotis buvo tokia pati – pakeisti apibrėžto apskritimo lankų kreivumą taip, kad išnyktų iliuzija ir apibrėžtas apskritimas atrodytų neiškraipytas. Stebėtojas keisdavo lankų kreivumą klaviatūros mygtukais. Vieno mygtuko paspaudimas didino lankų spindulį, o kito – mažino jį 0,3 kampo min. žingsniu. Stebėtojo siūloma kreivumo paklaida įrašoma į tyrimų kompiuterio atmintį kaip iliuzijos stiprumo kiekybinė reikšmė. Ji lygi apskritimo lankų spindulio pokyčiui ($r-r_x$) ir matuojama kampo minutėmis. Vieno eksperimento metu pastebėta iliuzijos stiprumo priklausomybė nuo stimulus dydžio vienai iš trijų figūrų kartojant 50 dydžio reikšmių dukart. Tas pats eksperimentas, dalyvaujant tam pačiam stebėtojui, buvo atliekamas skirtingomis dienomis 10 kartų. Eksperimentuose dalyvavo keturi stebėtojai (moterys ir vyrai), 25–65 metų, nesirgę akių ligomis ir nepatyrę akių pažeidimų. Vienas iš stebėtojų buvo toliaregis ir nešiojo 1,25 D koreguojančius akinius. Visų stebėtojų eksperimentiniai duomenys buvo panašūs.

Duomenų matematiniam apdorojimui buvo naudojamas matematinis paketas „Statistica“. Jo pagalba buvo apskaičiuojamas vidutinis kvadratinis nuokrypis bei tiesinės regresijos parametrai (koreliacijos koeficientas – r , polinkio koeficientas – b_1) ir tikrinama duomenų tiesiškumo statistinė hipotezė.



1 pav. Stimulų pavyzdžiai

A – įbrėžtos figūros su tiesiomis kraštinėmis;
B – kraštinių išlenkimų pavyzdžiai.



2 pav. Iliuzijos stiprumo (ordinačių ašis) priklausomybė nuo stimulus diametro (abscisų ašis)

A – absoliučios iliuzijos reikšmės. Vertikalūs brūkšneliai – vidutinis kvadratinis nukrypimas (stebėtojas V. S.). B – santykinės iliuzijos reikšmės. Storomis linijomis ir taškais pažymėti eksperimentų rezultatai, plonomis – modelio apskaičiavimai: taškeliais – trikampiui, brūkšneliais – kvadrato, brūkšneliais ir taškeliais – penkiakampiui.

Rezultatai

Eksperimentai su tiesių kraštinių figūromis atskleidė šiuos dėsningumus (2 pav.):

1) didėjant stimulus diameterui, absoliučioji iliuzijos reikšmė tolydžiai auga (2A pav.), iliuzijos priklausomybė nuo stimulus dydžio artima tiesinei (trikampiui: $r=0,995$; $b_1=0,088$; $F(1,48)=4553,4$ $P<0,0001$; kvadrato: $r=0,995$; $b_1=0,066$; $F(1,48)=4736,35$ $P<0,001$; penkiakampiui: $r=0,997$; $b_1=0,049$; $F(1,48)=7136,73$ $P<0,001$);

2) santykinė iliuzijos reikšmė: $(r_x-r)/2r$, kur r_x – stebėtojo nustatytas apskritimo spindulys, r – fizikinis spindulys, yra pastovus dydis (2B pav.), kreivės yra artimos horizontalioms linijoms;

3) nepriklausomai nuo stimulus diametro, didžiausią iliuziją sukelia įbrėžtas trikampis, mažesnę – keturkampis, mažiausią – penkiakampis.

Kitos eksperimentų serijos rezultatus iliustruoja trečias paveikslas: iliuzijos dydžio priklausomybė nuo įbrėžtų figūrų kraštinių kreivumo išliekant vienodam stimulus diameterui. Kraštinių kreivumas čia išreiškiamas sąlyginai figūros vidinių kampų dydžiais (kampų laipsniais), nurodytais abscisų ašyje. Įbrėžto trikam-

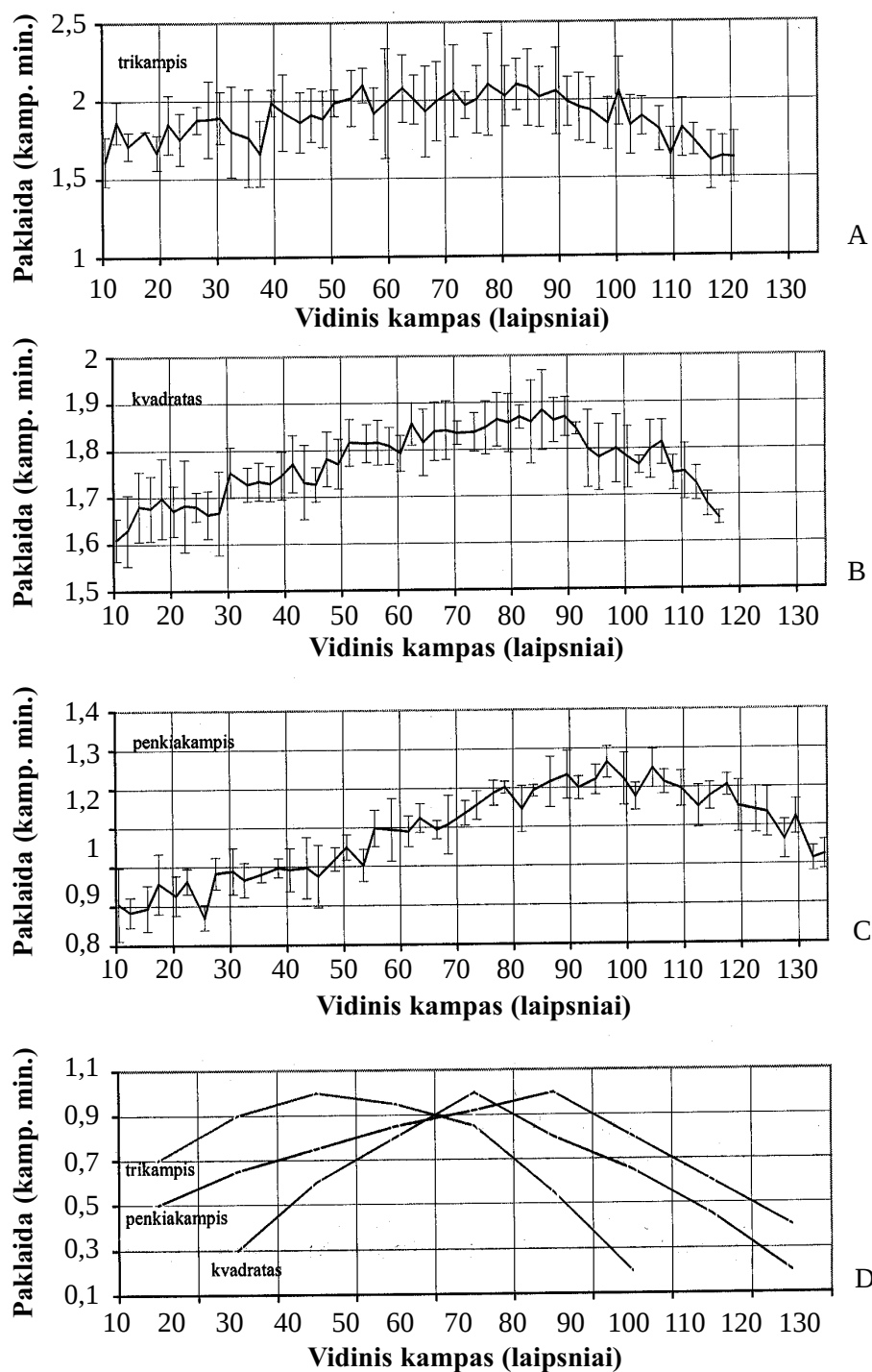
pio, kvadrato ir penkiakampio eksperimentinės kreivės yra gaubtos formos. Kiekvienoje iš jų galima išvelti maksimalių reikšmių intervalą nepaisant neplataus kitimo diapazono. Iliuzijos stiprumas artėja prie maksimalių reikšmių mažėjant kraštinių kreivumui, t. y. tada, kai jos tampa artimos tiesioms: trikampės figūros sukelta iliuzija stiprėja vidiniam kampui artėjant prie 60° , keturkampės – prie 90° , penkiakampės – prie 108° . Taigi kraštinių deformacija, išlenkiant jas į vieną ar kitą pusę, silpnina iliuziją.

Tiek pirmo, tiek antro eksperimentų serijoje trikampės figūros sukelta iliuzija yra didžiausia, penkiakampės – mažiausia.

Aptarimas

Šiuos eksperimentinius duomenis pirmiausia tikslinga palyginti su kitų tyrimų analogiškais duomenimis, gautais naudojant kitokios formos stimulus, tačiau sukeliančius panašias kreivumo arba dydžio suvokimo deformacijas. Viena tokių deformacijų yra lankų kreivumo nevienodumas (49), kita – visiems gerai žinoma Miulerio-Lajerio iliuzija (3, 4).

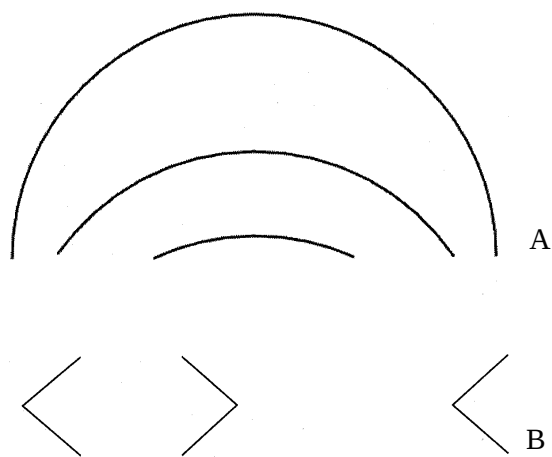
Tuo atveju, kai stimulus sudarytas iš kelių vienodo



3 pav. A–C – iliuzijos stiprumo (ordinačių ašis) priklausomybė nuo įbrėžtos figūros kraštinių išlinkimo, išreiškiamo figūros vidinių kampų dydžiais (abscisių ašis). Kiti žymėjimai tokie patys kaip ir 2 pav.; D – modelio skaičiavimai

spindulio, bet skirtingo ilgio lankų, pastumtų vienas žemiau kito taip, kad lankų galai atsidurtų vienoje tiesėje, tie lankai atrodo nevienodai išlenkti (4A pav.). Nors tiesė yra menama, stebėtojas ją aiškiai išvaizduoja, nes regos sistema interpoliuoja šešis lankų galus, ir atsiranda tiesaus kontūro pojūtis. Vertindami lankų kreivumus, stebėtojai teigia, kad ilgiausias

lankas, esantis viršuje, atrodo turįs mažiausią spindulį, o trumpiausias, esantis apačioje, didžiausią. Taigi suvokimo deformacijos laipsnis šiuo atveju yra proporcingas tiek lanko ilgiui, tiek vidurio taško atstumui iki stygos. Analogišką deformacijos priklausomybę patvirtina ir mūsų atliktų eksperimentų rezultatai. Apibrėžto apskritimo efektas yra labiausiai išreikštas



**4 pav. A – trijų lankų stimulus;
B – Miulero-Lajerio iliuzija (paaiškinimai tekste)**

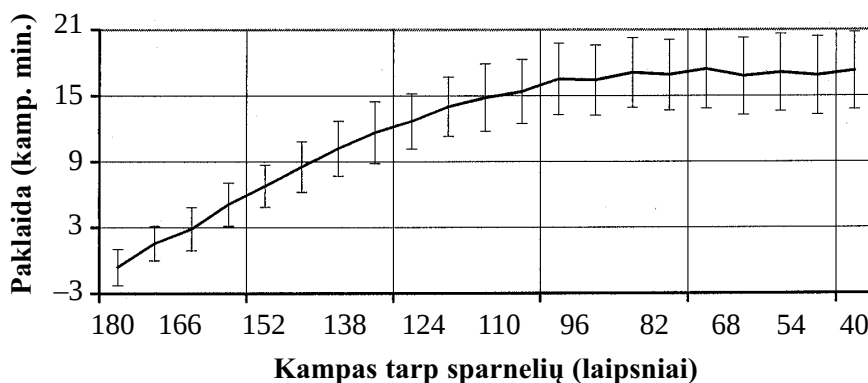
įbrėžtam trikampiui, kurio viršūnės dalija apskritimą į tris dalis. Silpnėsne iliuziją sukelia įbrėžtas kvadratas, suskirstantis apskritimo perimetrą į keturis lankus, o dar silpnėsne – penkiakampis, dalijantis jį į penkis lankus. Suprantama, lankai yra ilgiausi pirmuoju atveju, trumpiausi – trečiuoju. Vadinasi suvokimo deformacijos laipsnis ir šiame eksperimente yra proporcingas lanko ilgiui, o kartu ir jų vidurio taško atstumui iki stygos. Pabrėžtina, jog, atliekant šiuos eksperimentus, lanko kreivumo iliuzija stipresnė tais atvejais, kai lankų galus jungia tiesios, o ne išlenktos figūrų kraštinės.

Vis dėlto šių eksperimentų duomenų palyginimas neatskleidžia kreivumo iliuzijų prigimtės arba jų tarpusavio ryšio, o tik rodo pasireiškimo panašumą. Aki-vaizdu, jog abiem atvejais kreivumo iliuziją sąlygoja kiekvienas piešinio parametras arba detalė, tik būdami susiję vienas su kitu ir sudarydami jungtinį vaizdą.

Taigi visa vaizdo, kaip signalo, apimtis lemia, kokias klaidas daro regos sistema, vertindama stimulo dalių tarpusavio atstumus ir jų formą.

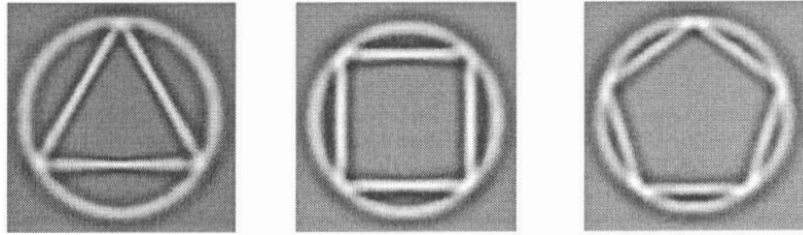
Kita mūsų stimulų detalė, atrodytų, galinti pati viena daryti įtaką suvokimo iškreipymams, yra vidiniai įbrėžtų figūrų kampai. Galima išvelgti analogiją tarp figūrų kampų sudarančių kraštinių ir Miulero-Lajerio figūros sparnelių, nukreiptų į vidų (4B pav.). Ta Miulero-Lajerio figūros dalis, kurią riboja į vidų nusiukti sparneliai, atrodo trumpesnė negu yra iš tikrųjų. Todėl galima prielaida, jog įbrėžtų figūrų kampai tarsi sparneliai deformuoja regimąjį suvokimą, sumažindami tikrąjį atstumą pusiauakampinės kryptimi ir įtraukdami apskritimo lankų galus į vidų – tai ir sukeltų iliuziją. Tačiau nėra analogijos tarp kiekybinių parametrų – Miulero-Lajerio iliuzija neturi aiškos tendencijos silpnėti kintant vidiniam sparnelių kampui nuo 60° iki 104° (5 pav.), o apibrėžto apskritimo iliuzija, mūsų eksperimentų duomenimis, mažėja vidiniam figūrų kampui didėjant (2 pav.). Tai patvirtina išvadą, kad atskirų vaizdo detalių panašumai neatskleidžia tiesioginio ryšio vienos iliuzijos su kita ir nebūtinai sąlygoja rezultato panašumą.

Taigi išbandėme kitą galimybę spręsti apie duotosios kreivumo iliuzijos kilmę bei priežastis ir patikrinome prielaidą, jog viena iš apibrėžto apskritimo iliuzijos priežasčių gali būti sensorinių signalų erdvinės dažninės filtracijos procesai, vykstantys tinklainės ir pirminės regos žievės neuronų sistemose. Pasinaudojome savo sukurtais neurofiziologiniais filtracijos modeliais, taikytais dydžio iliuzijoms aprašyti, (45, 48) ir gavome rezultatą, patvirtinantį minėtą prielaidą. Modelio apskaičiuotos kreivės savo forma ir kiekybinėmis reikšmėmis artimos psichofizikinių eksperimentų kreivėms (2B, 3D pav.), o modelio filtruotų stimulų vaizdai (6 pav.) rodo, kad stimulo deforma-



5 pav. Miulero-Lajerio iliuzijos priklausomybė nuo sparnelių polinkio kampo

Figūros ilgis – 66 kampo min., sparnelių ilgis – 20 kampo min. Vertikalūs brūkšneliai – pasikliautiniai intervalai. Eksperimentai atlikti stebint tamsoje šviesius stimulus viena akimi per 3 mm diametro dirbtinį vyzdį (50).



6 pav. Neurofiziologinio modelio filtruotų stimulų pavyzdžiai (paaiškinimai tekste)

cijos yra analogiškos regimojo suvokimo deformacijoms. Apskritimo spindulio pokyčiai aiškiai matomi tiesių atkarpų ir apskritimo lankų susikirtimo srityse.

Taigi esame linkę manyti, kad apskritimu apibrėžtų geometrinių figūrų iliuzijos viena iš pagrindinių priežasčių yra regos sistemos neuroninių tinklų filtracijos savybės. Tačiau norime atkreipti dėmesį ir į kitą faktą: erdvinė dažninė trijų lankų stimulus filtracija nesukelia tokių vaizdo iškraipymų, kokių randasi regos sistemoje. Filtracijos modelio atsakuose trijų lankų spindulys išlieka nepakitęs ir vienodas. Vadinasi šios iliuzijos priežastis yra kita. Galbūt ji atlieka savo vaidmenį ir apibrėžto apskritimo iliuzijoje, tačiau čia jos įtaką slepia filtracijos efektas, todėl negalima vienareikšmiškai tvirtinti, kad dvi skirtingas kreivumo iliuzijas, t. y. *apibrėžtą apskritimą* ir *tris lankus* tarpusavyje

sieja tik išorinis efektų panašumas.

Išvados

1. Psichofizikinių matavimų duomenys rodo, kad įbrėžtas į apskritimą trikampis sukelia stipriausią lankų kreivumo iliuziją, keturkampis – silpnesnę, penkiakampis – silpniausią.

2. Įbrėžtų figūrų kraštinių deformacija, išlenkiant jas į vieną ar kitą pusę, silpnina iliuziją.

3. Pastebėti apibrėžto apskritimo iliuzijos kokybiniai ir kiekybiniai panašumai su trijų lankų ir Miulerio-Lajerio iliuzijomis.

4. Neurofiziologinio vaizdų erdvinės filtracijos modelio apskaičiuotų atsakų kreivės savo forma ir kiekybinėmis reikšmėmis yra artimos psichofizikinių eksperimentų kreivėms.

Psychophysical measurements of illusion of the puffy circle

Algirdas Gutasas, Aleksandr Bulatov, Algis Bertulis

Department of Biology, Kaunas University of Medicine, Lithuania

Key words: distortions of perceived curvature, spatial frequency filtering.

Summary. The strength of an illusion of curvature created by an equilateral triangle, square or pentagon inscribed in a circle has been measured in the psychophysical experiments. The arcs of the circle looked as if they were bowed outwards in the stimuli of various sizes, but, at a fixed diameter of the circumscribed circle, the triangles produced the strongest, and the pentagons, the weakest illusion. The strength of the illusion augmented with the stimulus diameter. Concave and convex sides of the inscribed figures caused less illusory effect than the straight ones. Similar distortions of the stimuli have been observed in the output of a neurophysiological model of spatial frequency filtering of images, and the computed curves resembled those of the experimental data, in respect to their shape and quantitative values.

Correspondence to A. Gutasas, Department of Biology, Kaunas University of Medicine, Eivenių 4, 50009 Kaunas, Lithuania. E-mail: alggut@vision.kmu.lt

Literatūra

1. Russo G, Dellantonio A. Influence of phenomenal time on perceived space. *Percept Mot Skills* 1989;68:971-84.
2. Suzuki K, Arashida R. Geometrical haptic illusions revisited: haptic illusions compared with visual illusions. *Percept Psychophys* 1992;52:329-35.
3. Müller-Lyer FC. Zur Lehre von den optischen Täuschungen über Kontrast und Konfluxion. *Zeitschrift für Psychologie* 1896;9:1-16.
4. Müller-Lyer FC. Zur Lehre von den optischen Täuschungen über Kontrast und Konfluxion (Zweiter Artikel). *Zeitschrift für Psychologie* 1896;10:421-31.

5. Heymans G. Untersuchung über das "optischen Paradoxen". Zeitschrift für Psychologie 1896;9:221-5.
6. Lewis EO. Confluxion and contrast effects in the Müller-Lyer illusion. Br J Psychol 1909;3:21-41.
7. Nakagawa D. Müller-Lyer illusion and retinal induction. Psychologia 1958;1:167-74.
8. Wagner HL. The illusions and Ganz's theory of contour displacements. B J Psychol 1968;58:361-68.
9. Coren S. Lateral inhibition and geometric illusions. Quarter J Experiment Psychol 1970;22:274-8.
10. Gregory RL. Visual illusions. Scientific American 1968;219:66-7.
11. Day RH. Visual spatial illusions: A general explanation. Science 1972;175:1335-40.
12. Gauld AA. A note on inappropriate constancy-scaling and the Müller-Lyer illusion. Br J Psychol 1975;66:307-9.
13. Lester G. Size constancy scaling and the apparent thickness of the shaft in the Müller-Lyer illusion. J Gen Psychol 1977;97:307-8.
14. Ward LM, Porac C, Coren S, Gingus JS. The case of misapplied constancy scaling: Depth associations elicited by illusion configurations. Am J Psychol 1977;90:604-20.
15. Smith DA. A descriptive model for perception of optical illusions. J Math Psychol 1978;17:64-85.
16. Gillam B. Geometrical illusions. Scientific American 1980;242:102-11.
17. Rock I, Anson R. Illusory contours as the solution to a problem. Perception 1979;8:665-81.
18. Baldwin JM. The effect of size-contrast upon judgements of position in the retinal field. Psychological Review 1985;2:244-59.
19. Obonai T. Induction effects in estimates of extent. J Experiment Psychol 1954;47:57-60.
20. Day RH. Inappropriate constancy explanation of spatial distortions. Nature 1965;207:891-93.
21. Zanforlin M. Some observations on Gregory's theory of perceptual illusions. Quarter J Experiment Psychol 1967;19:193-7.
22. Coren S, Girgus JS. A comparison of five methods of illusion measurement. Behav Res Meth and Instrument 1977;4:240-4.
23. Brigell M, Uhlarik J. Contextual stimuli and illusions on length (*Human Information processing Institute Report # 75-11*) Kansas State University Psychology Series; 1977.
24. Brigell M, Uhlarik J, Goldhorn P. Contextual influences on judgements of linear extent. J Experiment Psychol 1977;3:105-18.
25. Green RT, Hoyle EM. Adaptation level and the optico-geometric illusions. Nature 1964;201:1200-1.
26. Helson H. Adaptation-level theory. New York: Harper & Row; 1964.
27. Restle F, Merryman CT. An adaptation theory account of a relative-size illusion. Psychonomic Science 1968;12:229-30.
28. Restle F. Adaptation level theory. In: Appley MH, editor. Adaptation level theory. New York: Academic Press; 1971.
29. Restle F. Assimilation produced by contrast. In: Castellan NJ, Restle F, editors. Cognitive theory. 3rd ed. Hillsdale (NI): Erlbaum; 1971.
30. Pressey AW. An extension of assimilation theory to illusions of size, area and direction. Percept Psychophys 1971;9:172-6.
31. Pressey AW, Bross M. Assimilation theory and the reversed Müller-Lyer illusion. Perception 1973;2:211-7.
32. Anderson NH. Methods for studying information integration (*Tech. Rep. CHIP-43*). La Jolla, Calif.: University of California, San Diego, Center for Human Information Processing; 1974. p. 215-98.
33. Chiang CA. A new theory to explain geometrical illusions by crossing lines. Percept Psychophys 1968;3:174-6.
34. Erlebach A, Seculer R. Explanation of the Müller-Lyer illusion: Confusion theory examined. J Experiment Psychol 1969;80:462-7.
35. Judd CH. The Müller-Lyer illusion. Psychol Rev Monograph Suppl 1905;7:55-81.
36. Festinger L, White CW, Allyn MR. Eye movements and decrement in the Müller-Lyer illusion. Percept Psychophys 1968;3:376-82.
37. Kaufman L, Richards W. Spontaneous fixation tendencies for visual forms. Percept Psychophys 1969;5:85-8.
38. McLaughlin SC, De Sisto MJ, Kelley MJ. Comment on "Eye movement and decrement in the Müller-Lyer illusion". Percept Psychophys 1969;5:288.
39. Virsu V. Tendencies to eye movement, and misperception of curvature+direction, and length. Percept Psychophys 1971;9:65-72.
40. Coren S, Hoening P. Effect of non-target stimuli upon length of voluntary saccades. Perceptual Motor Skills 1972;34:499-508.
41. Caelli T. Is perceived length affected by interactions between orientation detectors? Vision Res 1977;17:837-41.
42. Kawabata N. Mathematical analysis of the visual illusion. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1976; SMC-6:818-24.
43. Ginsburg AP. Visual form perception based on biological filtering. In: Spilman L, Wooten GR, editors. Sensory experience, adaptation and perception. Hillsdale (NJ): Erlbaum; 1984. p. 53-72.
44. Ginsburg AP. Spatial filtering and visual form perception. In: Boff KR, Koufman L, Thomas JP, editors. Handbook of perception and human performance. New York, Wiley: 1986. p. 34-41.
45. Bulatov A, Bertulis A, Mickiene L. Geometrical illusions: study and modeling. Biol Cybern 1997;77:305-407.
46. Bulatov A, Bertulis A. Distortions of length perception. Biol Cybern 1999;80:185-93.
47. Bertulis A, Bulatov A. Distortions of length perception in human vision. Biomedicine 2001;1:1-44.
48. Bulatov A. Influence of striate visual cortex topography on the parameters of image filtering. Russ J Physiol 2003;89:1258-64.
49. Carraher RG, Thurston JB. Optical Illusions and the Visual Arts. New York: Reinhold; 1966.
50. Surkys T, Bertulis A, Bulatov A. Perceived length distortions at isoluminance. Perception 2004;33:174.

Straipsnis gautas 2004 06 30, priimtas 2004 10 20
Received 30 June 2004, accepted 20 October 2004