

## DU OBJEKTŲ SPALVOS SUVOKIMO PROCESAI

### Rytis Stanikūnas

Fizinių mokslų daktaras  
Vilniaus universiteto  
Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto  
Biofizikinės informatikos sektorius  
Didlaukio g. 47, LT-08303, Vilnius  
Tel. 267 52 41

### Henrikas Vaitkevičius

Habilituotas socialinių mokslų daktaras,  
profesorius  
Vilniaus universiteto  
Bendrosios psichologijos katedra  
Didlaukio g. 47, LT-08303, Vilnius  
Tel. 267 52 41

### Algimantas Švegžda

Gamtos mokslų daktaras  
Vilniaus universiteto  
Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto  
Biofizikinės informatikos sektorius  
Didlaukio g. 47, LT-08303, Vilnius  
Tel. 267 52 41

### Vilius Viliūnas

Technikos mokslų daktaras  
Vilniaus universiteto  
Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto  
Biofizikinės informatikos sektorius  
Didlaukio g. 47, LT-08303, Vilnius  
Tel. 267 52 41

### Aušra Daugirdienė

Gamtos mokslų daktarė  
Vilniaus pedagoginis universitetas  
Studentų g. 39, LT-08106 Vilnius

### Janus J. Kulikowski

Optometry and Neuroscience Department  
UMIST, Manchester M60 1QD UK

### Ian J. Murray

Optometry and Neuroscience Department  
UMIST, Manchester M60 1QD UK

*Objektų spalvų suvokimas aiškinamas dviem procesais. Atlikti bandomieji tyrimai, kuriais nustatyta kontrasto ir fono adaptacijos įtaka spalvų suvokimui. Bandyme dalyvavo keturi tiriamieji. Jų spalvinis regėjimas buvo normalus. 40 spalvotų stimulių ir 6 apšvietimai buvo generuojami vaizduoklio ekrane. Tiriamiesiems buvo rodomas spalvotas objektas pilkame fone esant įvairiems apšvietimams. Tiriamasis turėjo nustatyti, kokią objekto spalvą mato esant įvairiems adaptacijos laikams. Paaiškėjo, kad galima išskirti dvi subjektyvaus spalvos įvertinimo sistemas: viena sistema įvertina objekto ir suvokiamo fono spalvų skirtumą, o kita – fono spalvą. Suvokiamas spalvų skirtumas adaptacijos metu keičiasi nedaug, o suvokiama fono spalva artėja prie neutralios. Gauti duomenys pagrindžia dviejų lygmenų spalvų suvokimo hipotezę: sistema, įvertinanti spalvų skirtumus, yra lokali, o sistema, įvertinanti foną, – globali.*

## Ivadas

Spalvos suvokimas priklauso tiek nuo šviesos, patenkančios į akių tinklainę (fizinis veiksnys), tiek nuo įvairių regos sistemos mechanizmų, sugebančių apdoroti šią informacijos srautą (subjektyvus veiksnys). Šviesos srautas, patenkantis į akių tinklainę, priklauso nuo šviesos šaltinio spektro bei regos lauke esančių objektų atspindžio faktoriaus. O sugebėjimas suvokti įvairių objektų spalvą priklauso ne tik nuo jų fizinių duomenų, bet ir nuo subjektyvių regos sistemos savybių arba įvairių neurofiziologinių procesų. Spalvų suvokimas yra lemiamas tokių fenomenų kaip spalvinės adaptacijos (spalvos suvokimo kitimas laike), spalvų konstantiškumo (sugebėjimo suvokti objekto spalvą kad ir kokia būtų apšvietos spektro sudėtis) ir vieno objekto spalvos įtakos kito objekto spalvos suvokimui (spalvinio kontrasto). Spalvų suvokimas regos lauke esant tik vienam objektui priklauso tik nuo atspindėtos šviesos spektro ir spalvinės adaptacijos. O spalvų konstantiškumas ir spalvų kontrastas atsiranda kai regos lauke yra keli objektai.

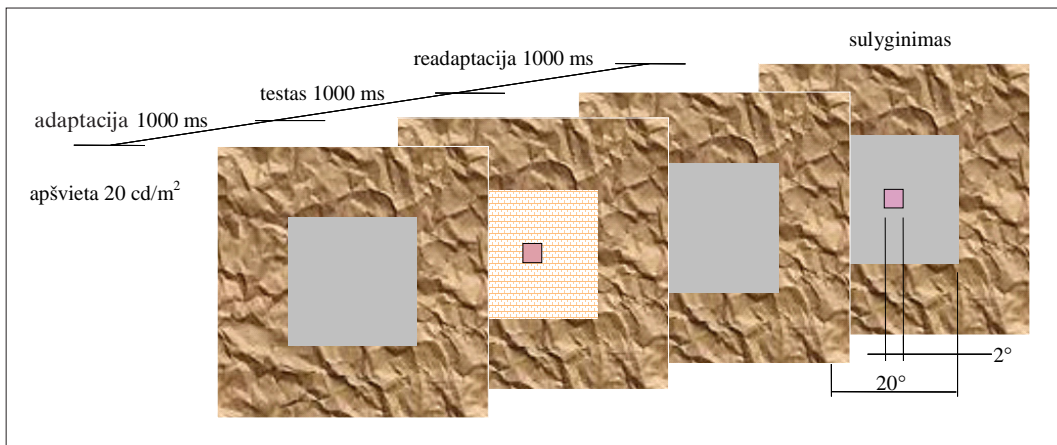
Jau daugiau kaip prieš 100 metų buvo bandoma nustatyti, kada suvokiama objektų spalva nepriklauso nuo apšvietimo šaltinio spektro arba jo spalvos, ir kokie procesai yra susiję su šiuo reiškiniu, vadinamu spalvos suvokimo pastovumu arba konstantiškumu. Bandyta susieti spalvų konstantiškumo fenomeną su spalvinės adaptacijos mechanizmais. Spalvinės adaptacijos įtaką pasiūlyta aiškinti receptorių adaptacijos teorija (Von Kries, 1905). Kadangi spalvų suvokimas priklauso nuo santykinio trijų tipų (L, M ir S) kūgelių (receptorių, kurių spektrinis jautris yra skirtingas) sudirginimo dydžio, buvo manoma, kad kintant apšvietimui dėl adaptacijos paskirų receptorių jautris kinta taip, kad jų santykinis sudirginimas lieka nepakitęs, kad ir koks būtų apšvietimas. Ši teorija tinka aprašyti tik lokaliems (esantiems nedideliame regos lauke) pro-

cesams, vykstantiems regos sistemoje. Craven ir Foster (1992) pasiūlė kitokį modelį. Jie apskaičiavo receptorių, apšviestų šviesos, atspindėjusios nuo mus supančių realiomis sąlygomis objektų, reakcijos dydžius. Pasirodė, kad receptorių, kurie „mato“ skirtingus objektus, atsakų santykis mažai tepriklauso nuo apšvietimo šaltinio spektro, nors absoliutūs receptorių atsakai priklauso nuo apšvietimo šaltinio spalvos. Remiantis šiais faktais buvo pasiūlyta hipotezė, kad regos sistema įvertina objektų spalvą atsižvelgdama į receptorių, esančių skirtingose tinklainės vietose, atsakų santykį. Šis santykis pagal pasiūlytą modelį nekinta laikui bėgant ir lemia spalvų konstantinį suvokimą. Tačiau spalvų suvokimas kinta laikui bėgant. Kartais tik po ilgo stebėjimo fiksuojamas visiškas konstantinis suvokimas. Iš šio modelio neaišku, kodėl suvokiama spalva nuolat keičiasi laikui bėgant. Kituose darbuose spalvų konstantinį suvokimą mėginama sieti su vadinamuoju spalvų kontrastu, t. y. objekto ir fono spalvų skirtumu (Stanikūnas et al., 2004). Tačiau detali analizė parodė, kad fizinis spalvų kontrastas priklauso nuo apšvietos (Breivė et al., 1999). Bet fono spalva nėra nekintanti – ji priklauso nuo stebėjimo laiko (Daugirdienė ir Vaitkevičius, 2001). Taigi kyla hipotezė, kad spalvų kontrastas nustatomas ne fizinio, bet subjektyvaus fono atžvilgiu. Šio darbo tikslas ir yra patikrinti šią hipotezę.

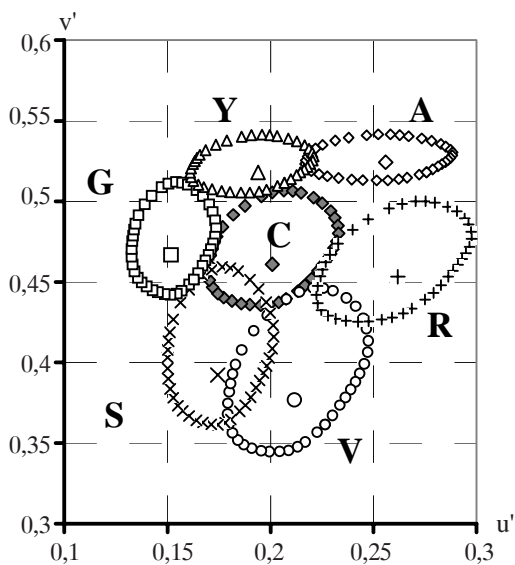
## Metodika

**Dalyviai.** Tyrime dalyvavo keturi asmenys. Jų regėjimas buvo normalus arba koreguotas iki normalaus. Spalvinis regėjimas buvo patikrintas Nagelio anomaloskopu ir Farnsvorto–Manselo 100 atspalvių testu. Visų keturių spalvinis regėjimas buvo normalus.

**Stimulai.** Tamsioje patalpoje atlikome dviejų tipų bandymus. Pirmojo tipo bandymuose tiriamasis sėdėjo ir žiūrėjo į vaizduoklio ekraną, ku-



1 pav. Vaizduoklio ekrane rodomų stimulių seka



2 pav. Bandymui naudojamų 40 Manselo stimulių (skaistis – 7, sodris – 4) ir neutralaus stimulo esant C apšvietai padėtys (užpildyti rombai), pavaizduotos  $u'v'$  spalvinėje erdvėje. Tų pačių stimulių padėtys esant testinėms apšvietoms: A apšvieta – rombai, S apšvieta – iksai, R apšvieta – kryžiuokai, G apšvieta – kvadratai, Y apšvieta – trikampiai ir V apšvieta – apskritimai

riame buvo pateikiami vaizdai, sudaryti iš fono ir spalvoto stimulo. Vaizduoklio ekrane buvo imituojama situacija, kad spalvotas stimulus, padėtas ant neutralaus (pilko) paviršiaus, yra apšviestas įvairios spektrinės sudėties apšvieta. Spalvotas stimulus buvo kvadrato formos ir matomas  $2^\circ$  regimojo kampo dydžio. Stimulą supantis fonas buvo taip pat kvadrato formos ir  $20^\circ$  regimojo kampo dydžio (žr. 1 pav.). Tiek stimulus, tiek fono apšviestumas buvo vienodas –  $20 \text{ cd/m}^2$ . Antrojo tipo bandymai nuo pirmojo skyrėsi tuo, kad stimu-

lą supantis fonas apėmė visą regos lauką. Tam buvo naudojamas tuščio cilindro tipo įrenginys, per kurį stebėtojas žiūrėdavo į vaizduoklio ekraną. Ekraną spinduliuojama šviesa atsispindėdavo nuo vidinio cilindro paviršiaus ir todėl gaudavome tolygų viso regos lauko apšvietimą.

Bandymuose buvo pateikiami stimuli, kurių atspalviai atitiko Manselo katalogo (Munsell Book of Color, 2004) spalvines reikšmes: skaistis – 7, sodris – 4. Pirmajame bandyme buvo pateikiama 40 skirtingų spalvos tonų stimulių, sudarančių visą spalvų ratą, o antrajame – 10. Skirtingų spalvos tonų reikšmės standartinėje regimojo kampo dydžio  $u'v'$  spalvų erdvėje (Wyszecki and Stiles, 1982) yra išdėstytos taip, kad tarp bet kurių dviejų gretimų šių reikšmių būtų vienodas subjektyvaus suvokimo žingsnis (žr. 2 pav.). Neutralaus (pilko) stimulo skaičio vertė pagal Manselo katalogą buvo 7.

Abiejų tipų bandymuose buvo imituojamos šios apšvietos:

- Atraminė apšvieta:
  - apšvieta C – tai vidutinė dienos šviesos apšvieta, kurios koreliuota spalvinė temperatūra yra 6774 °K.
- Testinės apšvietos:
  - apšvieta A – juodojo kūno spinduliavimas esant 2856 °K temperatūrai;
  - apšvieta S – mėlyno dangaus spalvos apšvieta, kurios spalvinės koordinatės artimos begalinei temperatūrai pagal Planco juodojo kūno spinduliavimo kreivę;
  - apšvietų R, G, Y ir V spalvinės koordinatės parinktos ant kardinalių raudonai žalios ir geltonai mėlynos spalvinių koordinatė ašių.

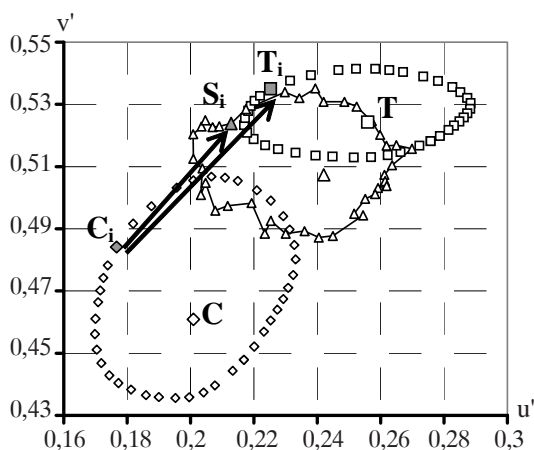
Bandymo rezultatams analizuoti buvo naudojamos Manselo katalogo spalvų koordinatės esant išvardytoms apšvietoms. Kadangi Manselo kataloge spalvų koordinatės pateikiamos tik esant C apšvietai, visoms mūsų testinėms apšvietoms spalvų koordinatės buvo perskaičiuotos naudojant Parkineno atspindžio funkcijas (Parkinen et al., 1989).

**Tyrimo eiga.** Bandymo pradžioje tiriamasis ne mažiau kaip 3 minutes adaptuodavosi tamsoje patalpoje. Paskui vaizduoklio ekrane būdavo parodomas neutralus fonas, apšviestas C apšvieta (žr. 1 pav.), į kurią tiriamasis žiūrėdavo 1, 5, 30 ar 60 sekundžių (vykdavo adaptacija prie C apšvietos). Tada tiriamajam būdavo parodomas spalvinis stimulus neutraliame fone, apšviestas viena iš testinių apšvietų. Testinis stimulus buvo rodomas 1, 5, 30 ar 60 sekundžių. Po testinio stimulus eidavo readaptacija prie C apšvietos 1, 5, 30 ar 60 sekundžių. Po readaptacijos vaizduoklio ekrane atsirasdavo spalvinis stimulus neutraliame fone, apšviestas C apšvieta, ir tiriamasis turėdavo nustatyti tokią stimulus spalvą, kokią jis matė esant testinei apšvietai (t. y. vykda-

vo stimulus spalvinis palyginimas iš atminties). Stimulus spalva buvo keičiama kompiuterio klaviatūra pagal tris parametrus: skautį, sodrį ir toną. Jeigu tiriamasis nebūdavo patenkintas ar užtikrintas savo sulyginimu, jam spalvinis stimulus būdavo parodomas pakartotinai. Tada vėl eidavo visas rodymo ciklas: adaptacija, testas, readaptacija ir sulyginimas. Atlikęs sulyginimą tiriamasis paspausdavo atitinkamą klavišą ir sulyginimo rezultatai būdavo automatiškai įrašomi į duomenų bazę, o tiriamajam vėl pradėdamos kitos spalvos stimulus pateikimo ciklas. Tuo būdu pirmojo tipo bandyme tiriamasis sulygindavo 40 spalvinių ir vieną neutralų stimulus, o antro tipo bandyme – 10 spalvinių ir vieną neutralų stimulus.

## Tyrimo rezultatai

**Sulyginimas esant trumpam adaptacijos laikui.** Pirmojo tipo bandymų ciklas buvo atliktas esant trumpam adaptacijos laikui. Tiriamajam testinis stimulus, apšviestas viena iš testinių apšvietų, buvo pateikiamas 1 sekundę. Tiriamasis vaizduoklio ekrane matydavo 2° stimulus, apsup-



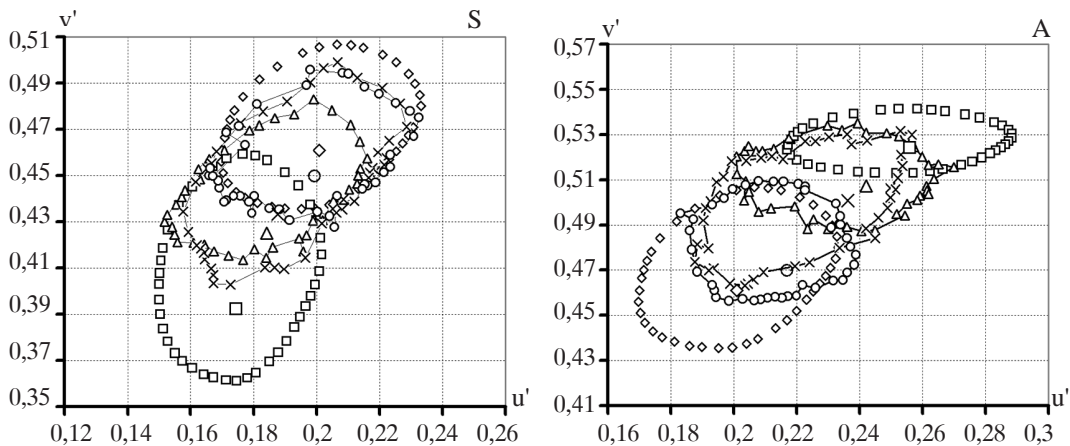
3 pav. Spalvų suvokimas esant testinei (T) A apšvietai ir 1 sekundės adaptacijos laikui. Subjektyvaus sulyginimo rezultatas – trikampiai, atraminės apšvietos stimulus koordinatės – rombai ir testinės apšvietos stimulus koordinatės – kvadratai

tą  $20^\circ$  neutralaus fono. Manselo spalvų testo pavyzdėlių rinkinių suvokiamų spalvų padėtis  $u'v'$  spalvų plokštumoje, nustatyta vienam tiriamajam, pateikta 3 pav. Kaip matome, subjektyvaus sulyginimo rezultatas (trikampiai) yra tarpinis variantas tarp atraminės apšvietos C stimulų koordinatė (rombai) ir testinės apšvietos T stimulų koordinatė (kvadratai). Pavyzdžiui,  $T_1$  – testinis stimulus apšvietus testiniu (T) šaltiniu (šiuo atveju tai yra A apšvietai) yra subjektyviai suvokiamas, esant C apšvietai, kaip objektas  $S_1$ , nors šio stimulus realios fizikinės spalvinės koordinatės esant C apšvietai būtų  $C_1$ . Jeigu būtų visiškai spalvos konstantiškumas, subjektyviai nustatytų stimulų spalvinių koordinatė elipsė (trikampiai) turėtų sutapti su atraminės C apšvietos elipse, pažymėta rombais. Jeigu išvis nebūtų spalvos konstantiškumo, subjektyviai nustatytų stimulų spalvinių koordinatė elipsė (trikampiai) sutaptų su testinės T apšvietos stimulų koordinatė elipse (kvadratai). Matome, kad mūsų nustatytas subjektyvaus sulyginimo taškų išsidėstymas yra tarpinis variantas tarp atraminės C apšvietos (rombai) ir testinės T apšvietos stimulų koordinatė (kvadratai). Taigi

šiuo atveju turime dalinį spalvų konstantiškumą. Panašūs dalinio spalvų konstantiškumo rezultatai buvo gauti visiems tiriamiesiems esant visoms testinėms apšvietoms.

Kiekvieno Manselo testo pavyzdėlio suvokta spalva labai skiriasi tiek nuo testinio stimulus spalvos, tiek nuo to, kokią pavyzdėlių spalvą suvoktume, jei ši spalva būtų pateikiama tik esant C apšvietai, tačiau visų tirtų spalvų pavyzdėlių visuma sudaro elipsę  $S_i$ , kurios formos proporcijos išlieka panašios tiek į viršutinės, tiek į apatinės elipsės formų proporcijas. Tai įrodo, kad santykinė suvoktų pavyzdėlių spalvų ir fono padėtis lieka beveik ta pati. Todėl galima teigti, kad adaptacijos metu keičiasi fono suvokimas ir dėl to gauname dalinį spalvų konstantiškumą.

**Sulyginimas esant įvairiam adaptacijos laikui.** Šiame skyrelyje pateikiame rezultatus, gautus esant įvairiam adaptacijos laikui, kai tiriamajam testinis stimulus, apšviestas viena iš testinių apšvietų, buvo pateikiamas 1, 5 ar 30 sekundžių, o tiriamasis vaizduoklio ekrane matydavo  $2^\circ$  stimulą, apšviestą  $20^\circ$  neutralaus fono. 4 pav. pateikti vieno tiriamojo rezultatai esant dviem testinėms S ir A apšvietoms. Kaip matome, subjektyvaus sulygi-

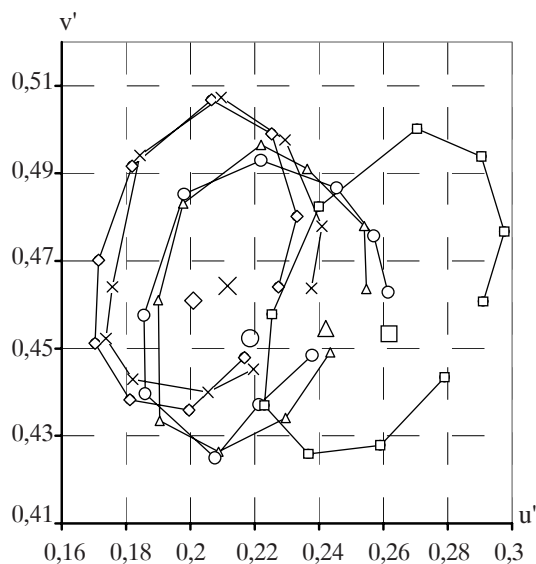


4 pav. Spalvų suvokimas esant 1, 5 ir 30 sekundžių adaptacijai. Pateikti vieno tiriamojo rezultatai – kairėje pusėje esant testinei S apšvietai, dešinėje pusėje – esant testinei A apšvietai. Subjektyvaus sulyginimo rezultatas – trikampiai (1 s), plusai (5 s), apskritimai (30 s), atraminės apšvietos stimulų koordinatės – rombai ir testinės apšvietos stimulų koordinatės – kvadratai

nimo rezultatai visais atvejais pasiskirsto taip, kad atitinka tarpinę elipsės padėtį kaip ką tik aprašytą, t. y. tarpinis elipsės variantas tarp C apšviestos stimulų koordinatė (rombai) ir testinės apšviestos stimulų koordinatė (kvadratai). Taigi kad ir koks būtų adaptacijos laikas, gauname dalinį spalvų konstantiškumą. Adaptacijos laiko pailginimas iki 30 sekundžių nedavė visiško spalvų konstantiškumo rezultato. Atlikome kelis papildomus bandymus, kuriuose adaptacijos laiką pailginome iki 5 minučių, bet vis vien nenustatėme visiško spalvų konstantiškumo, vertindami pagal elipsių artumo metodą.

**Sulyginimas esant fonui, apimančiam visą regos lauką.** Antrojo tipo bandymų ciklas buvo atliktas, kai testinis stimulus, apšviestas viena iš testinių apšviėtų, tiriamajam buvo pateikiamas 1, 30 ar 60 sekundžių, o tiriamasis vaizduoklio ekrane matydavo  $2^\circ$  stimulą, apsuptą neutralaus

fono, užpildančio visą likusį regos lauką. Šio tipo bandymų rezultatai matyti 5 pav. Jame pateikti vieno tiriamojo bandymų rezultatai esant testinei R apšvietai. Čia turime C apšviestos stimulų koordinatės (rombai), testinės apšviestos stimulų koordinatės (kvadratai) ir 3 subjektyvaus sulyginimo rezultatus esant 1 sekunde (trikampiai), 30 sekundžių (apskritimai) ir 60 sekundžių (kryžiuokai). Kaip matome, subjektyvaus sulyginimo rezultatai esant 1 sekunde ir 30 sekundžių duoda dalinį spalvų konstantiškumą, o esant 60 sekundžių, gauname visišką spalvų konstantiškumą. Taigi užpildę visą regos lauką neutraliu fonu gauname, kad adaptacijos metu elipsių (subjektyvaus sulyginimo rezultatų) forma keičiasi nedaug, bet dėl adaptacijos elipsių padėties spalvinių koordinatė plokštumoje slenka link C taško. Centrinis elipsių taškas nusako fono spalvines koordinatės, o skirtumai tarp elipsės taškų ir centrinio taško nepriklauso nuo apšviestos. Todėl galime teigti, kad fizinis spalvinis spalvinių stimulų ir fono kontrastas nepriklauso nuo adaptacijos laiko. Čia pateikiami rezultatai esant vienai R apšvietai, tačiau esant kitoms bandymams naudotoms apšviestos gauti tokie patys rezultatai, rodantys, kad spalvinis kontrastas nepriklauso nuo adaptacijos laiko.



5 pav. Spalvų suvokimas esant 1, 30 ir 60 sekundžių adaptacijai. Pateikti vieno tiriamojo rezultatai esant testinei R apšvietai. Subjektyvaus sulyginimo rezultatas – trikampiai (1 s), apskritimai (30 s) ir kryžiuokai (60 s), atraminės apšviestos stimulų koordinatės – rombai ir testinės apšviestos stimulų koordinatės – kvadratai

## Rezultatų aptarimas

Iš mūsų pirmojo tipo bandymo matyti, kad esant ribotam fono dydžiui ( $20^\circ$ ), kad ir koks būtų adaptacijos laikas ar apšviestos tipas, visiems subjektams būdingas dalinis spalvų konstantiškumas. Šie rezultatai sutampa su anksčiau gautais duomenimis (Lucassen and Walraven, 1993; Kulikowski and Vaitkevicius, 1997; Kulikowski et al., 2001). Kaip matome, subjektas bandymo metu mato dvi spalvas (stimulo ir fono). Adaptacijos metu vyksta šių spalvų kitiimas ir po kurio laiko jos suvokiamos skirtin-



gai. Fairchild ir Reniff (1995) ir Werner ir kt. (2000) įrodė, kad per pirmas 5 adaptacijos sekundes pasiekama 40–60 proc. viso adaptacijos lygio. Wesner ir Shevell (1992, 1994) nustatė, kad signalai iš viso regos lauko turi įtakos objekto spalvos suvokimui. Objektai, esantys visame regos lauke, daro įtaką vidutinei viso suvokiamo regos lauko spalvai – fonui. Pagal „pilko pasaulio“ algoritmą (pvz.: Buchsbaum, 1980) regos sistema vidurkina visų objektų spalvas, esančias regos lauke, ir suvokia bendrą spalvą kaip „pilką“. Mūsų pirmojo tipo bandymų rezultatai rodo, kad esant daliniam fonui (20°) negaunama visiškai „pilko“ fono spalva, t. y. turime dalinę fono adaptaciją. Esant visiškam regos lauko apšvietimui monotoniška spalva (antrojo tipo bandymai) gauname, kad įvyksta visiška fono adaptacija – jis suvokiamas kaip „pilkas“, t. y. jo chromatinė spalva sutapatinama su neutraliu tašku.

Mechanizmus, vykstančius regos sistemoje, pabandėme paaiškinti apskaičiuodami spalvinių receptorių kontrastą.

**Spalvinių receptorių kontrasto apskaičiavimas.** Spalvinių receptorių kontrastą galima apskaičiuoti kaip Veberio kontrastą:

$$K_L = (L_{st} - L_{fon})/L_{fon} - \text{kontrastas ilgųjų bangų receptoriams (L)};$$

$$K_M = (M_{st} - M_{fon})/M_{fon} - \text{kontrastas vidutinių bangų receptoriams (M)};$$

$$K_S = (S_{st} - S_{fon})/S_{fon} - \text{kontrastas trumpųjų bangų receptoriams (S)};$$

čia:  $L_{st}$ ,  $M_{st}$  ir  $S_{st}$  – L, M ir S receptorių atsakai į šviesą, atsispindėjusią nuo stimulo,

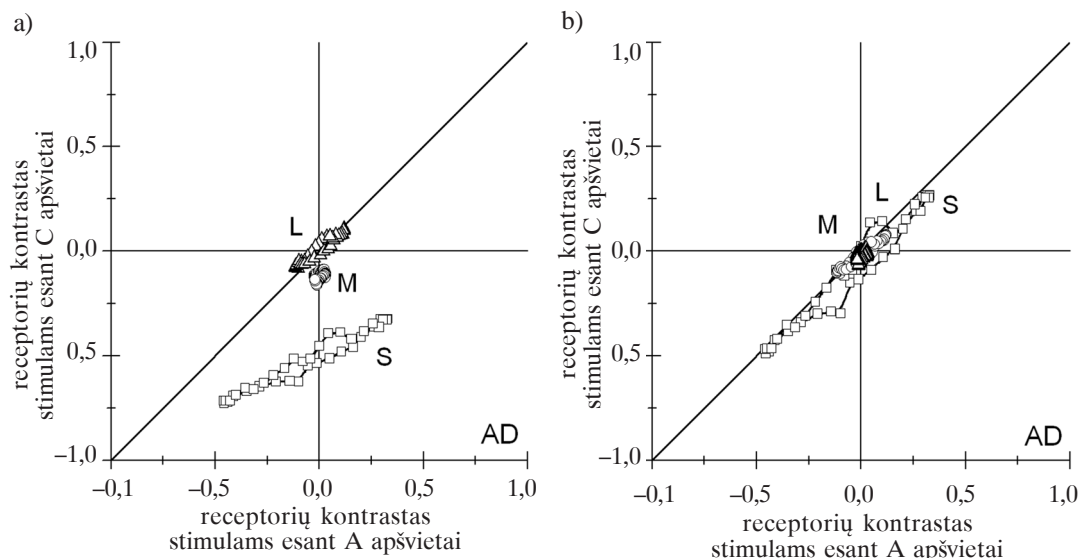
$L_{fon}$ ,  $M_{fon}$  ir  $S_{fon}$  – L, M ir S receptorių atsakai į šviesą, atsispindėjusią nuo fono.

Receptorių sužadavimo kontrastą apskaičiavome dviem metodais: 1) pagal metodą, kuris neįvertina fono adaptacijos; 2) pagal mūsų siūlomą metodą, kuris įvertina subjektyviai suvokiamą foną. Pirmuoju metodu skaičiuojant re-

ceptorių sužadavimo kontrastą subjektyviems sulyginimams esant atraminei C apšvietai, skaičiuojama, kiek visi trys spalviniai receptoriai buvo sužadinti šviesos, atsispindėjusios nuo spalvino stimulo ir neutralaus fono (imamos fizikinės spalvinės fono koordinatės). Mūsų bandymais gautų rezultatų kontrasto apskaičiavimas vienam subjektui esant testinei A apšvietai pateiktas 6 pav., a. Kaip tvirtina Craven ir Foster (1992), receptorių sužadavimo kontrastas nepriklauso nuo apšvietos. Taigi 6 pav., a, L, M ir S receptorių kontrastai turėtų būti išsidėstę ant įstrižos tiesės, bet taip nėra. Receptorių S kontrastas yra labai stipriai pasistūmęs nuo įstrižainės.

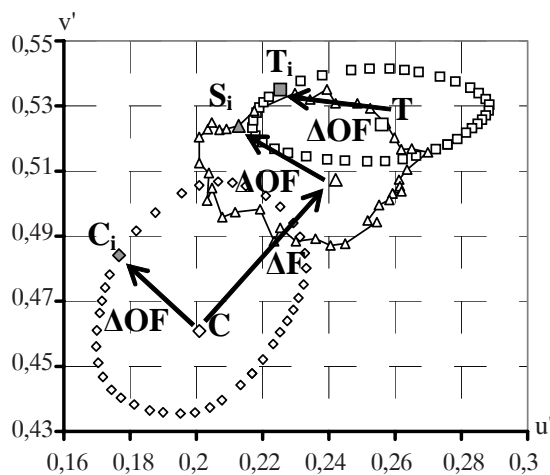
Neveikiant tradiciniam receptorių sužadavimo kontrasto mechanizmui, pabandėme receptorių kontrastą apskaičiuoti truputį modifikavę sąlygas. Vietoj fizinių neutralaus fono koordinatžių esant testinei C apšvietai paėmėme subjektyviai suvokto fono koordinates. Šie skaičiavimo rezultatai pavaizduoti 6 pav., b. L, M ir S receptorių kontrastai išsidėstę ant įstrižainės, taigi šie skaičiavimai patvirtina hipotezę, kad egzistuoja fono įvertinimo mechanizmas. Šis mechanizmas įvertina visus objektus, esančius regos lauke, ir yra gana lėtas. Kad visiškai nusistovėtų, reikia ne mažiau kaip 60 sekundžių (5 pav.).

**Du spalvos suvokimo proceso mechanizmai.** Suvokiama Manselo stimulų spalva turi dvi formalias sudedamąsias dalis (7 pav.). Viena – tai spalvų skirtumas tarp fono ir objekto ( $\Delta OF$ ). Šis fono ir objekto spalvų skirtumas nuo adaptacijos priklauso labai nedaug (tai sutampa su modelio duomenimis – žr. Stanikūnas et al., 2004) ir būdingas tik procesams, esantiems nedideliame regos lauke (lokaliems procesams). Norint paaiškinti suvokiamos spalvos kitimą bėgant laikui, reikia antro spalvų suvokimo proceso. Šis procesas susijęs su fono spalvos ( $\Delta F$ ) suvokimu. Fono įvertinimas susijęs su viso regos lauko spalvinių parametrų vertinimu, t. y. su globalių spalvos parametrų vertinimu. Ši dalis nuo-



6 pav. Receptorių kontrastas, apskaičiuotas dviem būdais:

a) pavaizduota subjektyviai sulygintų stimulių esant C apšvietai receptorių kontrasto priklausomybė nuo fizikinių stimulių receptorių kontrasto esant A apšvietai. Subjektyviai sulygintų stimulių esant C apšvietai receptorių kontrastas buvo skaičiuojamas naudojant fizikinio neutralaus fono esant C apšvietai spalvines koordinates. Ilgųjų bangų receptoriai (L) pavaizduoti apskritimais, vidutinių bangų (M) – trikampaiais ir trumpųjų bangų (S) – kvadratais; b) ta pati priklausomybė kaip a variante, bet subjektyviai sulygintų stimulių receptorių kontrastas esant C apšvietai buvo skaičiuojamas naudojant subjektyviai suvokto neutralaus fono spalvines koordinates esant C apšvietai



7 pav. Spalvų suvokimas esant 1 sekundės adaptacijai. Pateikti vieno tiriamojo rezultatai esant testinei (T) A apšvietai. Subjektyvaus sulyginimo rezultatas – trikampiai (1 s), C apšvietos stimulių koordinatės – rombais ir testinės apšvietos stimulių koordinatės – kvadratai.  $\Delta F$  – subjektyvus fono pokytis,  $\Delta OF$  – fono ir objekto spalvų skirtumas esant dviem fiziniams C ir A apšvietoms bei subjektyviai suvoktai apšvietai

lat keičiasi laikui bėgant ir artėja link neutralios spalvos. Taigi spalva priklauso nuo dviejų spalvos suvokimo mechanizmų. Bendru atveju galima užrašyti, kad suvokta objekto spalva yra dviejų vektorių suma –  $(\Delta O) = (\Delta OF) + (\Delta F)$ .

### Išvados

1. Nustatyta, kad galima išskirti dvi subjektyvaus spalvos įvertinimo sistemas: viena sistema įvertina objekto ir suvokiamo fono spalvų skirtumą, o kita – fono spalvą.
2. Suvokiamas spalvų skirtumas adaptacijos metu keičiasi nedaug, o suvokiama fono spalva artėja prie neutralios spalvos.
3. Gauti duomenys pagrindžia dviejų lygmenų spalvų suvokimo hipotezę: sistema, įvertinanti spalvų skirtumus, yra lokali, o sistema, įvertinanti foną, – globali.



## LITERATŪRA

- Breivė K., Vaitkevičius H., Stanikūnas R., Kulikowski J. J., Švegzda A., Zainab Al-Attar. Studies of color constancy // *Sensory System*. 1999, vol. 13 (4), p. 271–278.
- Buchsbaum G. A spatial processor model for object color perception // *Journal of the Franklin Institute*. 1980, vol. 310, p. 1–26.
- Craven B. J., Foster D. H. An operational approach to colour constancy // *Vision Research*. 1992, vol. 32, p. 1359–1366.
- Daugirdienė A., Vaitkevičius H. Stimulo erdvinių sąvybių ir stebėjimo trukmės įtaka spalvos pastovumui // *Psichologija*. 2001, t. 24, p. 48–57.
- Fairchild M. D., Reniff L. Time course of chromatic adaptation for color – appearance judgments // *Journal Optical Society of America. A*. 1995, vol. 12, p. 824–833.
- Kulikowski J. J., Stanikūnas R., Jurkutaitis M., Vaitkevičius H., Murray I. J. Colour and brightness shifts for isoluminant samples and backgrounds // *Color Research & Application*. 2001, vol. 26 S, p. 205–208.
- Kulikowski J. J., Vaitkevičius H. Colour constancy as a function of hue // *Acta Psychologica*. 1997, vol. 97, p. 23–35.
- Lucassen M. P., Walraven J. Quantifying color constancy: Evidence for nonlinear processing of cone-specific contrast // *Vision Research*. 1993, vol. 33, p. 739–757.
- Munsell book of color, glossy collection. Munsell color services, 2004.
- Parkkinen J., Hallikainen J., Jaaskelainen T. Characteristic spectra of Munsell colors // *Journal Optical Society of America. A*. 1989, vol. 6 (2), p. 318–322.
- Stanikūnas R., Vaitkevičius H. Neural network for color constancy // *Informatica*. 2000, vol. 11 (2), p. 219–232.
- Stanikūnas R., Vaitkevičius H., Kulikowski J. J. Investigation of color constancy with a neural network // *Neural Networks*. 2004, vol. 17, p. 327–337.
- Von Kries J. Die Gesichtsempfindungen // W. Nagel (ed.). *Physiologie der Sinne*, vol. 3. *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 1905. P. 109–282.
- Werner A., Sharpe L. T., Zrenner E. Asymmetries in the time-course of chromatic adaptation and significance of contrast // *Vision Research*. 2000, vol. 40, p. 1101–1113.
- Wesner M. F., Shevell S. K. Color perception within a chromatic context: Changes in red/green equilibria caused by noncontiguous light // *Vision Research*. 1992, vol. 32, p. 1623–1634.
- Wesner M. F., Shevell S. K. Color perception within a chromatic context: The effect of short-wavelength light on color appearance // *Vision Research*. 1994, vol. 34, p. 359–365.
- Wyszecki G., Stiles W. S. *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae*. New York: Wiley, 1982.

## TWO PROCESSES IN OBJECT COLOUR PERCEPTION

Rytis Stanikūnas, Henrikas Vaitkevičius, Algimantas Švegzda, Vilius Viliūnas, Aušra Daugirdienė, Janus J. Kulikowski, Ian J. Murray

### Summary

Perception of colour depends on the spectral composition of light that reaches retina and depends as well on various mechanisms of visual system that processes information flow. The few important mechanisms can be distinguished in colour perception: colour adaptation, colour constancy and colour contrast. If the visual field has only one coloured object, then colour perception will be determined by spectral composition of the light and colour adaptation. Whereas mechanisms of colour constancy and colour contrast switches on when in the visual field there are at least two

colour objects. Von Kries (1905) have attributed colour constancy phenomenon to theory of receptor adaptation. But this theory is applicable to local processes happening in relatively small size of visual field. Craven and Foster (1992) shows that receptor excitation ratios remains constant during change of illumination. But again remains unexplained colour change during adaptation. So, the hypothesis is raised that two processes attribute colour perception: local colour contrast calculation and global adaptation to the background. Therefore the experiments have been

carried out to establish the colour contrast and background adaptation impact on colour perception.

Four subjects with normal colour vision participated in the experiments. 40 Munsell samples (value 7 and chroma 4) illuminated with one reference illuminant (standard C) and 6 test illuminants (standard A, standard S, cardinal red, cardinal green, cardinal yellow and cardinal blue) were simulated on computer monitor. The dark-adapted subjects have been shown colour samples on neutral background illuminated with one of test illuminants. The task was to match the colour stimuli appearance under reference illuminant. The sequential asymmetric matching procedure was carried out. First subject adapts to neutral background under illuminant C then test stimulus and test background appears for limited time followed by readaptation to neutral background. Then subject is asked to adjust the colour match under illuminant C. Two different experiment paradigms have been used. In the first one the stimulus had  $2^\circ$  on neutral background covering  $20^\circ$  of visual field. In the second paradigm the stimulus size was the same but the background was covering the all visual field. The adaptation and presentation timings were 1, 5, 30 or 60 seconds.

Results under the first experiment paradigm show partial colour constancy for all subjects and for all test illuminants under various adaptation times. Despite quite a long adaptation time of 30 seconds subjects was unable to achieve full colour constancy. Colour

constancy improves under second experiment paradigm. 60-second adaptation time is enough to achieve full colour constancy. The less adaptation time (1 or 30 second) gives partial colour constancy.

The subject sees two colours (stimulus and background) during the experiment. The colour perception of stimulus and background changes during adaptation time. In the first 5 seconds of adaptation 40–60% of full adaptation level is reached (Fairchild and Reniff, 1995; Werner et al., 2000). Wesner and Shevell (1992, 1994) shown that signals from all visual field have influence on colour perception of object. The first part of our experiment shows that neutral background of  $20^\circ$  gives partial adaptation to background colour. Therefore, increase background illumination to full visual field gives full adaptation to background. So, subject perceives different coloured background under various illuminants as the same neutral (grey) background.

We can state that two different systems have been distinguished in the process of colour perception. One system evaluates the colour difference between the stimulus and the background. Second system evaluates the colour of the background. Perceived colour difference during adaptation does not change much, but perceived colour of the background changes a lot and drifts towards neutral colour. The hypothesis of two level colour perception is supported by experimental data.

*Gauta 2004 10 04*