

Pregledni prispevek/Review article

KAKO TESTIRATI BARVNI VID PRI OTROKU

CERTIFICATION OF COLOUR VISION IN CHILD

Manca Tekavčič-Pompe, Jelka Breclj, Branka Stirn-Kranjc

Očesna klinika, Klinični center, Zaloška 29a, 1525 Ljubljana.

Prispelo 2003-11-28, sprejeto 2004-01-21; ZDRAV VESTN 2004; 73: 451-4

Ključne besede: barvni vid; psihofizični testi; vidni evocirani potenciali – barvni VEP**Key words:** colour vision; psychophysical tests; visual evoked potentials – chromatic VEP

Izvleček – Izhodišča. Raziskave so pokazale, da se barvni vidni dražljaj prevaja in analizira po parvocelularni in koniocelularni poti od fotoreceptorjev (čepnic) do vidne skorje. V parvocelularni poti se obdelujejo informacije o rdeče-zelenem, v koniocelularni poti pa o rumeno-modrem delu barvnega spektra. Barvni vid lahko testiramo s pomočjo številnih subjektivnih, psihofizičnih testov, kot so Ishihara, Farnsworth-Munsell in anomaloskop, ter objektivnih testov, kot so barvna elektroretinografija (ERG), ki testira delovanje čepnic in barvni vidni evocirani potenciali (VEP), ki testirajo parvocelularno in koniocelularno pot.

Abstract – Background. Studies have shown that chromatic information of visual stimulus is conducted and analysed in two major pathways, parvocellular (also named red-green pathway) and koniocellular (also named blue-yellow pathway). They both start in the retinal photoreceptors (cones) and finish in visual cortex. Colour vision can be tested in several different ways. Subjective psychophysical tests include Ishihara, Farnsworth-Munsell tests and anomaloscope, whereas objective tests include chromatic electroretinography (ERG), which can test cone function and chromatic visual evoked potentials (VEP), which can test parvocellular and koniocellular pathway function.

Namen. Vpeljava metode z iskanjem dražljaja, ki bi bil klinično uporaben pri testiranju barvnega vida otrok. Prikaz dražljaja in registriranega signala parvocelularne in koniocelularne poti pri otroku z normalnim barvnim vidom ter pri otroku s prirojeno slabšim zaznavanjem zelene barve (deuteranomalijs).

Aim. To introduce a new method by choosing the optimal stimulus, which stimulates selectively parvocellular and koniocellular pathway. To show the stimulus and the signal in a child with normal colour vision and in a child with green deficiency (deuteranomalia).

Metoda in rezultati. Uveden je bil izoluminantni rdeče-zeleni/rumeno-modri 7 stopinj velik, okrogel dražljaj, sestavljen iz horizontalnih črt. Prostorska frekvenca je bila 2 c/st, frekvenca draženja 1 Hz. Dražljaj se je pojavljal in izginjal na zaslonu v razmerju 300:700 ms (onset-offset). Prikazana sta primera dveh otrok, deklice z normalnim barvnim vidom in fanta z deuteranomalijs. Značilni val N1 je pri deklici dobro izražen na draženje z rdeče-zelenim in rumeno-modrim barvnim dražljajem, pri fantu pa na draženje z rdeče-zelenim dražljajem vala ne zaznamo, na draženje z rumeno-modrim dražljajem pa je val N1 izražen.

Methods and results. Isoluminant red-green (blue-yellow) stimulus was introduced. The stimulus was 7 deg large, round, composed of horizontal gratings. Spatial frequency was 2 c/deg, frequency of stimulation 1 Hz, onset: offset was 300:700 ms. Two children are presented, a girl with normal colour vision and a boy with deuteranomalia. Characteristic N1 negative wave was significant in girl after red-green and blue-yellow stimulation, whereas in boy with deuteranomalia N1 was absent after blue-yellow and evident after red-green stimulation.

Zaključki. Razvoj barvnega VEP je smiseln, saj bi kot objektivna metoda lahko igral pomembno vlogo v klinični praksi predvsem pri testiranju otrok.

Conclusions. Chromatic VEP, as an objective colour vision testing method, could have an important role in testing children, therefore its study is important.

Uvod

Barvni vid je že od nekdaj veljal za eno najbolj proučevanih vidnih zaznav pri človeku. Vidna informacija je sestavljena iz več kot milijon stopenj barvnih tonov, svetlosti in nasičenja barv. Znanstvenike je že od nekdaj zanimal način zaznavanja, procesiranja in kodiranja barv. Vendar pa je šele trikromatična teorija Thomasa Younga (1773-1829) pomenila prelomnico v razumevanju zapletenih mehanizmov, ki nam gledanje v barvah sploh omogočajo.

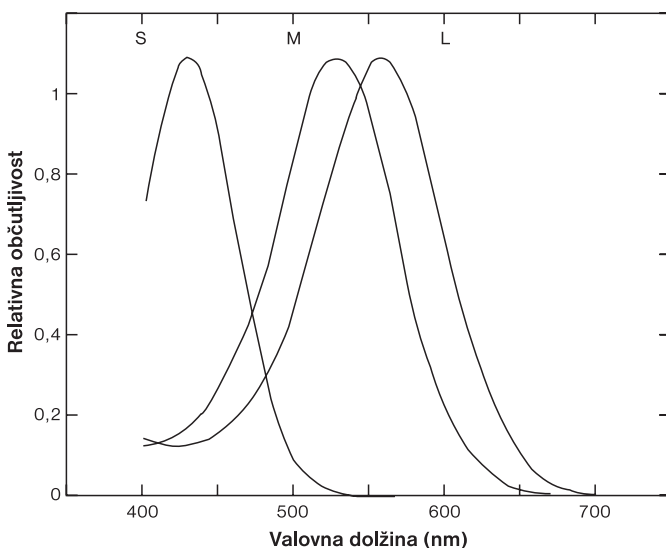
Trikromatična teorija in teorija oponentnih sistemov protibarv

Navdih za razlago zaznavanja barv je Thomas Young poiskal v glasbi, saj je barvno zaznavanje, ki temelji na različnih valovnih dolžinah svetlobnega toka, primerjal s tonom v glasbi, katera zaznavanje temelji na frekvenci zvočnega valovanja (1). Analizi zvoka in svetlobe pa se razlikujeta, saj je slušni sistem sposoben razlikovati tone v nekem sestavljenem zvoku, medtem ko vidni sistem ne analizira posamezne spektrske kom-

ponente znotraj barve nekega predmeta. Popolnoma različne kombinacije valovnih dolžin lahko dajo enak barvni učinek in enake kombinacije valovnih dolžin svetlobe lahko dajejo vtis različnih barv (2). Trikromatičnost barvnega vida pomeni, da vsako barvo lahko opišemo s tremi količinami (monokromatskimi svetlobami). S pomočjo trikromatične teorije lahko razložimo fotorepcijo, prvo stopnjo barvnega vida. Postreceptorske mehanizme pa poskuša razložiti teorija protibarv, ki predvideva obstoj mehanizmov, ki analizirajo vzdraženost vsakega izmed treh čutničnih sistemov in jo primerjajo med seboj (3).

Čepnice

Poleg paličnic, ki so najboljčutljivejše na svetlobo valovne dolžine okrog 500 nm, ima zdravo človeško oko še 3 vrste čepnic. Filogenetsko najstarejše so čepnice, ki so najboljčutljivejše na svetlobo kratkih valovnih dolžin (vrh občutljivosti pri 425 nm), od tod tudi ime S (short wavelength) ali modre čepnice. Zelene ali M (middle wavelength) čepnice imajo vrh občutljivosti pri 530 nm, rdeče ali L (long wavelength) pa pri 560 nm. Podrobnosti so prikazane na sliki 1. Valovno dolžino svetlobe, na katero je določena čepnica najboljčutljivejša, določa zaporedje aminokislin v proteinskem delu (opsinu) fotopigmenta, ki ga čepnice vsebujejo. Genski zapis za to zaporedje se nahaja na 7 kromosomu (za S čepnice) in na q kraku × kromosoma (za M in L čepnice) (4).



Sl. 1. Občutljivost treh vrst čepnic pri zdravem očesu. S – kratka valovna dolžina, M – srednja valovna dolžina, L – dolga valovna dolžina.

Ganglijske celice mrežnice

Za analizo določene barve mora vidni sistem primerjati različne stopnje absorpcije fotonov svetlobe v vseh treh skupinah čepnic. Prva stopnja te primerjave se zgodi že na ravni mrežnice, v ganglijskih celicah, ki jih prek čepnic vzdraži en del barvnega spektra, inhibira pa nasprotni. Skupina ganglijskih celic, ki prejema signal od čepnic S in ga primerja s kombinacijo signala čepnic M in L, se nato projicira v koniocelularne plasti lateralnega genikulatnega jedra (koniocelularna pot). Druga skupina ganglijskih celic (midget cells, celice P), ki so tudi sicer v številni premoči, pa prejema signale od čepnic M in L in se nato projicira v parvocelularne plasti lateralnega genikulatnega jedra (parvocelularna pot) (5).

Informacija o barvah se prevaja po parvocelularni poti

Vidne informacije se iz mrežnice v lateralno genikulatno jedro (LGN) in nato v primarno vidno skorjo prevajajo po treh glavnih poteh: magnocelularni, parvocelularni in koniocelularni (6). Prva delitev na tri poti se začne že na ravni bipolarnih celic, ki prevajajo informacije do ganglijskih celic. Po magnocelularni poti se prevajajo predvsem informacije o gibanju in svetlobnih kontrastih, po parvocelularni in koniocelularni poti pa informacije o barvah (na podlagi signala s fotoreceptorjev o rdeče-zelenem barvnem spektru po parvocelularni in o rumeno-modrem po koniocelularni poti) (7).

Na kortikalni ravni je o procesiranju barv znanih malo dejstev. Zekijeva študija iz leta 1973 je pokazala, da se celice P iz LGN projicirajo v plasti 4Cb in 4A primarne vidne skorje (8), kjer so dokazali prisotnost nevronov, ki se odzivajo na barvne kontraste, vendar pa so nevroni na kortikalni ravni zbrani v t. i. kolumne (skupine podobno delujočih nevronov), po katerih se informacije o barvah prevajajo na kompleksnejši način kot na ravni mrežnice in LGN. Ta kompleksnost je tem izrazitejša, čim više v vidni skorji se nevron nahaja. Možgani na najvišji ravni obravnavajo barvo v sklopu ostalih lastnosti nekega objekta (gibanje, globina...) in ne kot posebno razsežnost (9).

Anomalno zaznavanje barv

Kadar govorimo o normalnem zaznavanju barv, imamo v mislih normalno trikromate, torej ljudi z normalno funkcijo vseh treh čepničnih sistemov. Kadar pa je funkcija čepničnih sistemov spremenjena ali pa posameznega tipa čepnic ni, gre za anomalijo zaznavanja barv (10). Okvare barvnega vida so lahko prirojene ali pridobljene. Prirojene motnje delimo v tri večje skupine, ki jih prikazuje razpredelnica 1. Pridobljene motnje barvnega vida pa so lahko posledica številnih bolezni mrežnice ali vidnega živca. Izpadi so pogosto manj značilni in težje dokazljivi kot pri prirojenih oblikah, vendar pa nam je njihovo ugotavljanje pri številnih boleznih lahko v veliko diagnostično pomoč.

Razpr. 1. Klasifikacija prirojenih okvar barvnega vida.

Motnja barvnega vida	Vrsta okvare
Anomalna trikromatičnost	
Protanomaliija (rdeča)	nenormalni pigment čepnic L
Deveranomaliija (zelena)	nenormalni pigment čepnic M
Tritanomaliija (modra)	nenormalni pigment čepnic S
Dikromatičnost	
Protanopija (rdeča)	odsotne čepnice L
Deveranopija (zelena)	odsotne čepnice M
Tritanopija (modra)	odsotne čepnice S
Monokromatičnost (akromatičnost)	
tipična	odsotnost vseh čepnic
atipična	odsotnost dveh vrst čepnic

Testiranje barvnega vida

Obstajajo številni testi za odkrivanje vrste in stopnje prizadetosti barvnega vida. Teste lahko razdelimo v dve skupini: psihofizični testi (Ishihara, Farnsworth-Munsell, anomaloskop) izkoriščajo sposobnost primerjanja enakih in razločevanja različnih barvnih odtenkov, objektivne elektrofiziološke metode pa skušajo ovrednotiti delovanje različnih vrst fotoreceptorjev (barvna elektroretinografija) in delovanje parvo- in koniocelularne poti, ki sta v prvi vrsti odgovorni za prenos in analizo barvnega dela vidnega dražljaja (barvni vidni evocirani potenciali, VEP).

Tablice Ishihara

Test je sestavljen iz psevdokromatičnih tablic, v katerih so sličice iz barvnih pik, ki so urejene tako, da sestavljajo npr. številko. Test je primeren za odkrivanje izpada, ne pa za natančnejšo opredelitev barvnega vida (11).

Farnsworth-Munsellov test 100 barvnih tonov

Test deluje po načelu razločevanja različnih barvnih tonov znotraj štirih zbirk barv. Preiskovanec ureja naključno premešane žetone z različnimi barvnimi toni po logičnem zaporedju med dvema žetonoma, ki sta fiksna. Pri tem ugotavljamo pogostost napak v območju določene barvne lestvice, kar nam da podatke o vrsti in stopnji okvare barvnega vida. Test je zelo občutljiv in zanesljiv za odkrivanje prirojenih in pridobljenih motenj barvnega vida, analizo si lahko olajšamo z računalniško obdelavo (12).

Anomaloskop

Anomaloskop je v bistvu kolorimeter, kjer preiskovanec sam določi zmes npr. rdeče in zelene in tako dobi barvno mešanico, ki po njegovem najbolj ustreza testni barvi. Iz nestandardnih razmerij uporabljene rdeče in zelene lahko sklepamo na izpad barvnega vida (npr. devteranomal uporabi več zelene, protanomal pa več rdeče) (13, 14).

Barvni ERG

S pomočjo barvnega ERG lahko selektivno testiramo posamezni sistem čepnic. Selektivnost dosežemo s spreminjanjem lastnosti dražljaja in tako zaznavamo impulze s čepnic S, L ali M (15).

Barvni VEP

VEP objektivno testirajo delovanja vidnega sistema, barvni VEP pa se vse bolj uveljavljajo pri proučevanju postreceptorkega delovanja mehanizmov za obdelavo barvnih dražljajev v parvoceularni in konioceularni poti (16–22). Parvoceularna pot je nevronsko močnejša kot konioceularna, zato obstaja več študij, ki se ukvarjajo z njenim delovanjem (23–25). Študij, ki bi proučevale konioceularno pot, je bistveno manj (5). Omenjene študije se v glavnem ukvarjajo z razvijanjem optimalnega dražljaja, s katerim bi dražili zgolj omenjene nevrnske povezave.

Barvni VEP je v svetu še eksperimentalna metoda z nekaj poskusi klinične uporabe, večinoma pri odraslih preiskovancih (26, 27). Namen našega dela je vpeljati metode z iskanjem dražljaja, ki bi bil klinično uporaben pri testiranju barvnega vida otrok.

Metode in rezultati

Vidni dražljaj

Prevajanje po parvoceularni in konioceularni poti je moč proučevati s pomočjo dražljajev določenih lastnosti, saj s tem izkoriščamo občutljivost določene poti na posamezno komponento v vidnem dražljaju. Za proučevanje parvo- in konioceularne poti je najprimernejši izoluminantni barvni (kromatični) dražljaj, ki se pojavlja in izginja (onset-offset). Barvni dražljaj za testiranje parvoceularne poti je sestavljen iz rdeče-zelenih, za testiranje konioceularne poti pa iz rumeno-modrih horizontalnih črt s prostorsko frekvenco 2 c/st. Izoluminanca dražljaja preprečuje sočasno draženje magnocelularne poti, ki je praktično neobčutljiva na barvne kontraste, zato pa toliko bolj na svetlobne (16). Dražljaj onset-offset se je izkazal za primernejšega kot izmenjujoči se dražljaj, saj je pri izmenjavanju dražljajev prisotna gibalna komponenta, ki vzdraži magnocelularno pot (28). Pomemben parameter je

tudi frekvenca draženja, saj je hitrost časovnega procesiranja informacij po različnih poteh različna. Parvo- in konioceularna pot sta občutljivejši na dražljaje nizkih frekvenc (okrog 1 Hz), magnocelularna pa na dražljaje visokih frekvenc (okrog 10 Hz) (25).

Uporabili smo izoluminantni rdeče-zeleni (rumeno-modri) okrogli dražljaj, sestavljen iz horizontalnih črt, ki se pojavlja in izginja na zaslonu. Glavne lastnosti dražljaja so prikazane v razpredelnici 2.

Izoluminanco smo določili psihofizično s pomočjo HFP (heterochromatic flicker photometry), ki je bila že opisana (29), vendar pa se je pri testiranju otrok izkazala za nezanesljivo, zato smo točnost izoluminantne točke preverili še iz posnetkov. Robson in sodelavci so opisali značilnosti izoluminantnega in neizoluminantnega odziva. Značilnost odziva, registriranega v izoluminantni točki, je jasen negativen val N1 brez izrazitih poprejšnjih odklonov od izolinije. Čim dlje od izoluminantne točke smo, tem izrazitejši odkloni od izolinije se pojavljajo (30).

Razpr. 2. Lastnosti uporabljenega rdeče-zelenega in rumeno-modrega dražljaja.

Lastnost vidnega dražljaja	
Barve (CIE koordinate)	rdeča (x = 0,637, y = 0,362) zelena (x = 0,416, y = 0,582) rumena (x = 0,377, y = 0,348) modra (x = 0,075, y = 0,377)
Barvni kontrast	90%
Povprečna luminanca	R-Z dražljaj 14 cd/m ² Ru-Mo dražljaj 6 cd/m ²
Oblika	krog
Velikost	7 stopinj
Prostorska frekvenca	2 c/stopinj
Onset:offset	300:700 ms
Frekvenca draženja	1Hz

Odziv

Odziv, ki smo ga po draženju z opisanim rdeče-zelenim in rumeno-modrim dražljajem registrirali, je negativen val (N1), katerega latenca se pri odraslem preiskovancu giblje okrog 120–130 ms in je nekoliko daljša po draženju z rumeno-modrim dražljajem (31). Odziv se spreminja tudi v odvisnosti od barvnega kontrasta. Manjši kot je kontrast med barvama v dražljaju, daljša je latenca in nižja amplituda.

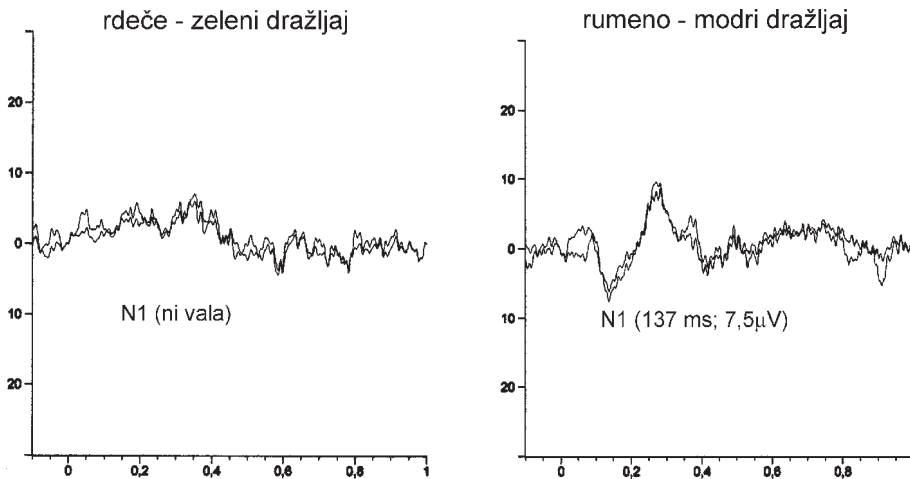
Slika 2 prikazuje dva primera testiranih otrok, zdrave 10-letne deklice in 16-letnega fanta s prirojeno devteranomalijo (ne-normalno zaznavanje zelene barve). Pri deklici brez motenj barvnega vida je značilni val N1 dobro izražen in ponovljiv, pri fantu z devteranomalijo pa na draženje z rdeče-zelenim dražljajem vala N1 ne registriramo, na draženje z rumeno-modrim dražljajem pa je primerno oblikovan in ponovljiv.

Primer 1. Barvni VEP 10-letne zdrave deklice brez težav z barvnim vidom (Ishihara 11/11, Farnsworth-Munsell hue 100 brez odstopanj od normale). Na draženje z rdeče-zelenim in rumeno-modrim barvnim dražljajem je val N1 primerno oblikovan in ponovljiv.

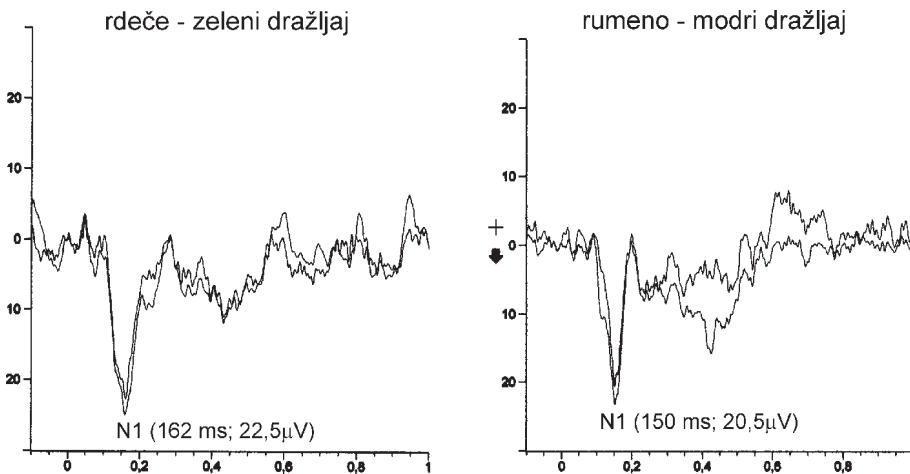
Primer 2. Barvni VEP 16-letnega fanta z devteranomalijo. (Ishihara obojestransko 2/11, Farnsworth-Munsell hue 100 test prikazuje značilen izpad). Na draženje z rdeče-zelenim barvnim dražljajem vala N1 ne zaznamo, na draženje z rumeno-modrim barvnim dražljajem pa je val N1 jasno prepoznaven.

Zaključki

Testiranje barvnega vida pri otrocih pogosto ni lahka naloga, saj so psihofizični testi subjektivni in zato manj zanesljivi. Barvni VEP je objektivna testna metoda, zato ima lahko ob upora-



Sl. 2. Barvni VEP na draženje z rdeče-zelenim in rumeno-modrim dražljajem pri deklaciji z normalnim barvnim vidom.



Sl. 3. Barvni VEP na draženje z rdeče-zelenim in rumeno-modrim dražljajem pri fantu z devteranomaliijo.

bi optimalnega dražljaja za selektivno draženje parvocelularne in koniocelularne poti pomembno vlogo v klinični praksi.

Zahvala

Zahvaljujemo se prof. Martinu Štruclu za ustvarjalne nasvete, gospe Mariji Jesenšek za pomoč pri snemanju otrok, Barbari Klemenc pa za tehnično pomoč in nasvete. Delo je nastalo v okviru projekta J3-3082, ki ga je podprlo Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, RS.

Literatura

- Young T. The Bakerian lecture. On the theory of light and colours. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1802; 92: 12-48.
- Land EH. Retinex theory of color vision. Sci Am 1977; 237: 108-28.
- De Valois RL. Analysis and coding of color vision in the primate visual system. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 1965; 30: 567-79.
- Nathans J, Thomas D, Hogness DS. Molecular genetics of human color vision: The genes encoding blue, green and red pigments. Science 1986; 232: 193-202.
- Dacey DM, Peterson BB, Robinson FR, Gamlin PD. Fireworks in the primate retina: in vitro photodynamics links dendritic morphology, physiology and connectivity of diverse cell types in the retinogeniculate pathway. Neuron 2003; 37: 15-27.
- Dacey DM. Parallel pathways for spectral coding in primate retina. Annu Rev Neurosci 2000; 23: 743-75.
- Lennie P, Trevarthen C, Van Essen D, Waessle H. Parallel processing of visual information. In: Spillmann L, Werner JS, eds. Visual perception: The neurophysiological foundations. San Diego: Academic Press, 1990: 103-28.
- Zeki S. Representation of colours in cerebral cortex. Nature 1980; 284: 412-8.
- Lennie P. Color vision. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM eds. Principles of neural science. New York: McGraw-Hill/Appleton&Lange, 2000: 572-89.
- Tasman W et al. eds. Duane's clinical ophthalmology. Vol. 3. Maryland: Lippincott-Raven Publishers Inc., 1999.
- Birch J. Efficiency of the Ishihara plates for identifying red-green colour deficiency. Ophthalmol 1997; 17: 403-8.
- Pokorny J, Smith VC, Verriest G, Pinckers AJLG. Congenital and acquired colour vision defects. New York: Grune and Stratton, 1979.
- Birch J. Diagnosis of defective colour vision using Nagel anomaloscope. Doc Ophthalmol Proc 1983; 33: 231-5.
- Štrucl M. Barvni vid. Med Razgl 1987; 26: 527-41.
- Brainard DH, Calderone JB, Nugent AK, Jacobs GH. Flicker ERG responses to stimuli parametrically modulated in color space. Invest Ophthalmol Vis Sci 1999; 40: 2840-7.
- Murray IJ, Parry NRA, Carden D, Kulikowski JJ. Human visual evoked potentials to chromatic and achromatic gratings. Clinical Vision Sciences 1987; 1: 231-44.
- Berninger TA, Arden GB, Hogg CR, Frumkes T. Separable evoked retinal and cortical potentials from each major visual pathway: preliminary results. Br J Ophthalmol 1989; 73: 502-11.
- Berninger TA, Arden GB, Hogg CR, Frumkes T. Colour vision defect diagnosed by evoked potentials. Invest Ophthalmol Vis Sc 1989; 30: Suppl: 55-5.
- Rabin J, Switkes E, Crognale M, Schneck ME, Adams AJ. Visual evoked potentials in three-dimensional colour space: correlates of spatio-chromatic processing. Vis Res 1994; 34: 2657-71.
- Robson AG, Kulikowski JJ. Verification of VEPs elicited by gratings containing tritanopic pairs of hues. J Physiol 1995; 475: 22P-22P.
- Suttle CM, Harding GFA. Morphology of transient VEPs to luminance and chromatic pattern onset and offset. Vis Res 1999; 39: 1577-84.
- Davis AR, Neveu MM, Hogg CR, Fitzke FW, Morgan MJ, Sloper JJ, Holder GE. Electrophysiological assessment of magnocellular and parvocellular function in early and late onset strabismic amblyopes. Abstract No. 292. Invest Ophthalmol Vis Sci 2001; 42: B265-B265.
- Derrington AM, Krauskopf J, Lennie P. Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. J Physiol 1984; 357: 241-65.
- Kaplan E, Shapley RM. The primate retina contains two types of ganglion cells with high and low contrast sensitivity. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 1986; 83: 2755-7.
- Pokorny J, Smith VC. Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathway contrast gain. J Opt Soc Am A 1997; 14: 2477-86.
- Porciatti V, Sartucci F. Retinal and cortical evoked responses to chromatic contrast stimuli. Specific losses in both eyes of patients with multiple sclerosis and unilateral optic neuritis. Brain 1996; 119: 723-40.
- Sartucci F, Murri L, Orsini C, Porciatti V. Equiluminant red-green and blue-yellow VEPs in multiple sclerosis. J Clin Neurophysiol 2001; 6: 583-91.
- McKeefry DJ, Russell MHA, Murray IJ, Kulikowski JJ. Amplitude and phase variations of harmonic components in human achromatic and chromatic visual evoked potentials. Vis Neurosci 1996; 13: 639-53.
- Fiorentini A, Porciatti V, Marrone MC, Burr DC. Visual ageing: unspecific decline of the responses to luminance and colour. Vision Res 1996; 36: 3557-66.
- Robson AG, Kulikowski JJ, Korostenskaja M, Neveu MM, Hogg CR, Holder GE. Integration times reveal mechanisms responding to isoilluminant chromatic gratings: a two-centre visual evoked potential study. In: Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K eds. Normal and defective colour vision. New York: Oxford University Press, 2003: 130-7.
- Porciatti V, Sartucci F. Normative data for onset VEPs to red-green and blue-yellow chromatic contrast. Clin Neurophysiol 1999; 110: 772-81.