



Fizikalne osnove barvnega vida

Avtor:

Prim. prof. dr. Marjan Bilban, specialist medicine dela, prometa in športa

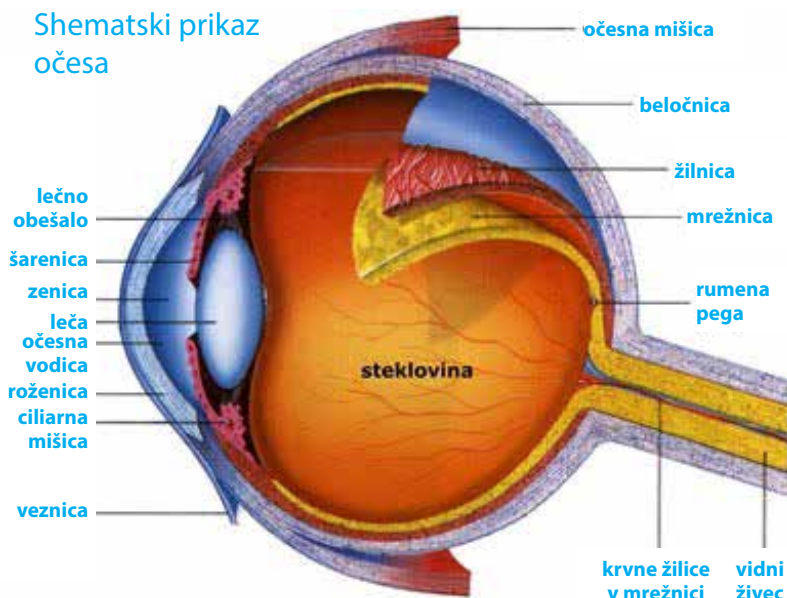
ZVD Zavod za varstvo pri delu - Center za medicino dela

Barvo objektov zaznavamo s pomočjo svetlobe. Svetlobo lahko dojemamo kot niz delcev (fotonov) ali kot valovno dolžino. Najbolj pomemben vir naravne svetlobe je sonce. Sonce je v pretežni meri sestavljeno iz vodika (3/4), helija in ostalih elementov. Ker se v soncu odvija atomska fuzija oziroma zlivanje vodikovih in drugih zelo lahkih atomskih jeder v težja jedra (helij), nastaja velika količina energije, ki zapušča sonce v obliki elektromagnetnega valovanja. Elektromagnetno valovanje si lahko poenostavljeno razlagamo kot nabiti delec, ki potuje skozi prostor v obliki vala. Sestavljeno je iz dveh komponent (električne, ki oscilira pravokotno v smeri širjenja valovne dolžine, in magnetne, ki izmenično oscilira pravokotno na prejšnjo komponento). S pomočjo valovne dolžine (razdalje med najvišjo točko dveh konsistentnih valov) lahko elektromagnetno valovanje razdelimo v več kategorij. Za zaznavo svetlobe je bistvena t. i. vidna svetloba, ki ima valovno dolžino med 380 in 750 nm. Svetloba je sestavljena iz spektra barve. To teorijo je prvi zagovarjal Isaac Newton, ki je v temno sobo z majhno odprtino, skozi katero je prehajala svetloba, nastavil prizmo, s pomočjo katere je valovne dolžine zmanjšal za faktor lomnega količnika in dobil svetlobo vseh barv iz barvnega spektra. Sicer so poizkus s prizmo poznali že prej, vendar je veljalo, da barve prihajajo od prizme oziroma, da je prizma obarvala svetlobo. To teorijo je Newton ovrgel tako, da je nastavil dve prizmi in razpršene barve spremenil nazaj v skoncentriran svetlobni tok. Barva je torej odvisna od valovne dolžine elektromagnetnega valovanja oziroma svetlobe. Modra barva ima krajše valovne dolžine, zelena srednje, rdeča pa dolge. Kako dojemamo predmet, je odvisno od vrste opazovanega predmeta. Lahko bi rekli, da objekte delimo v tri skupine, in sicer prozorne, ki prepuščajo svetlobo, odbojne, ki odbijajo svetlobo in optične objekte, ki absorbirajo del svetlobe, del pa razpršeno odbijejo nazaj. Za nas je ključnega pomena barva, ki se ne absorbira, ampak se odbije od objekta. Ta svetloba da objektu barvo. Na primer: če bela svetloba obsije list na drevesu, se bo zaradi klorofila vpila svetloba s krajšo valovno dolžino (vijolična, modra, ...) in svetloba z daljšo valovno dolžino (rdeča), svetloba s srednjo valovno dolžino (zelena, rumena) pa se bo odbila in zato je list videti zelen. Podobno je, če opazujemo človeško kri. Ta vsebuje hemoglobin, ki ob prenašanju kisika absorbira vso svetlobo razen rdeče, ki se razpršeno odbija nazaj.

Sveta brez barv si ne znamo predstavljati – dopolnjujejo in obogatijo vse, kar vidimo, a vendar se ne zavedamo vedno, da na nas vplivajo veliko bolj, kot si mislimo.

Barvno videnje oz. razpoznavanje barv je zelo pomembno za optično zaznavanje, saj se dostikrat zgodi, da lahko ločimo predmete le po barvi in ne tudi po obliki. Barvno videnje je

Shematski prikaz očesa



odvisno od več stvari: od spektralnega sestava svetlobe, ki osvetljuje predmet, od spektralnega sestava odbite svetlobe in od sposobnosti barvnega zaznavanja naših oči. Primer: predmet vidimo moder, če vsebuje svetloba, ki ga osvetljuje v svojem spektralnem sestavu modrino. Modri delež svetlobe odseva od površine in opazovalec modrino dojame kot modro barvo. Če svetloba npr. ne vsebuje modre barve, predmeta ne bomo videli modrega, pač pa črnega (oziroma sivega). Enako ga ne bomo videli modrega, če naše oči ne ločijo modre barve (barvna slepota).

Človeško oko zazna svetlobo valovnih dolžin med 380 in 780 nm. Znotraj vidnega spektra svetlobe lahko tako zaznamo približno 150 različnih barvnih odtenkov. Za zaznavanje in obdelavo barvnih dražljajev je zadolžena kompleksna nevronska povezava, t. i. parvocelularna vidna pot. Le-ta se začne v očesni mrežnici s tremi različnimi tipi čepnic (rdečimi, zelenimi in modrimi), nadaljuje z nevronskim preklpom v lateralnem genikulatnem jedru v možganih in konča v možganski skorji. Kadar človek barv ne zaznava pravilno, govorimo o barvnih anomalijah, ki so lahko prirojene (veliko pogostejše pri moških) ali pridobljene (kot posledica različnih bolezni oči in možganov).

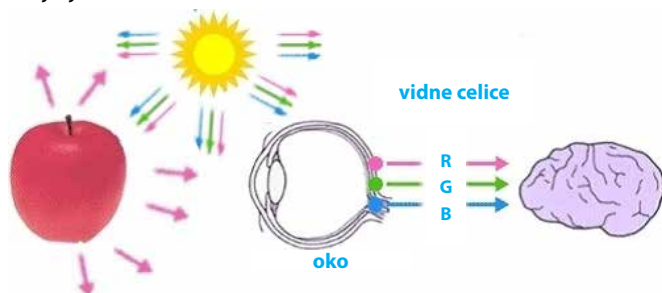
Predmet se na mrežnici, ki je debela največ 0,5 mm, projicira v rumeno pogo, ki je center najostrejšega vida in kjer so skoncentrirani fotoreceptorji – čepki. Le-ti so odgovorni tudi za barvni čut. Bolj kot gremo proti periferiji mrežnice, manj je čepkov in prevladuje druga vrsta fotoreceptorjev – paličice. Te so odgovorne tudi za nočni vid. Paličic je 120 milijonov, čepkov pa 5 milijonov.

Iz čepkov gredo dražljaji direktno centripetalno in nimajo veliko prečnih zvez, zato so slike, ki jih vidimo pri dobri

svetlobi s čepki, jasnih oblik. Dražljaji iz paličic se nasprotno prepletajo v horizontalni ravnini, se prostorsko seštevajo in jih vidimo tudi v slabi svetlobi, vendar so zabrisanih kontur.

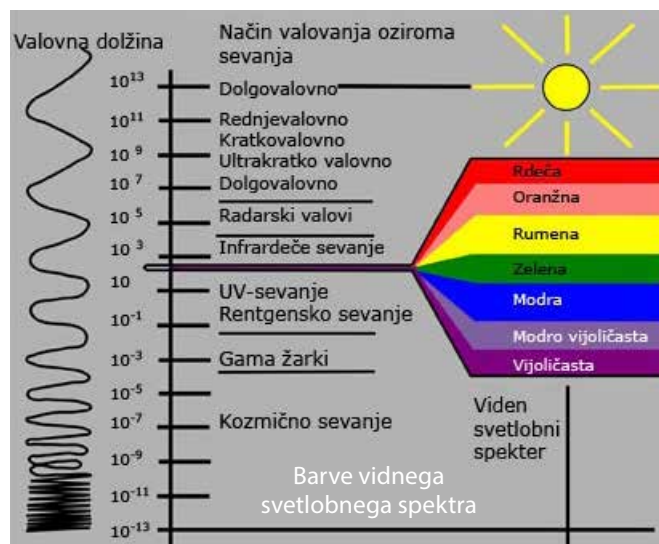
Čepki so sestavljeni iz dveh delov – iz zunanega, v katerem je nekaj sto diskov, ki vsebujejo vidni pigment, in notranjega dela. Pri čepkih diski razpadejo ob svetlobi, pri palčkah pa v temi. V obratnih svetlobnih razmerah se regenerirajo. V palčkah je vidni pigment rodopsin – lipoprotein, sestavljen iz beljakovine opsina in retinala, ki je aldehid alkohola in vitamina A. Ko rodopsin absorbira svetlobo, retinal menja svojo molekularno obliko iz cis v trans izomero. Ta fotokemična reakcija je odgovorna za aktivacijo višje ležečih nevronov. Vidni pigmenti v čepkih so manj raziskani in jih označujejo kot erytrolab, chlorolab oz. cyanolab.

Mrežnico poleg fotoreceptorjev sestavlja še več slojev, v katerih so bipolarne, horizontalne in amakrine celice, sloj ganglijskih celic in sloj živčnih vlaken, ki se združijo v optični živec. Optični živec sestavlja okrog milijon živčnih vlaken, ki izhajajo iz ganglijskih celic mrežnice. Živec vstopi v možgansko votlino, kjer se vlakna delno križajo v chiasma optici in končajo v corpus geniculatum laterale (CGL) talamusa. V zadnjem delu talamusa leži CGL, ki ga imenujemo tudi primarno vidno središče, ki skrbi za povezavo informacij iz očesa z možgansko skorjo. Zadnji nevron v optični poti je tractus geniculo – calcarinus, ki preko kapsule interne in optične radiacije konča v okcipitalni skorji možganov. Vizualna percepcija se torej dogaja v okcipitalnem korteksu, vendar se asociativno interpretira v frontalnem režnju možganov, tj. »kaj-kje« vidimo.



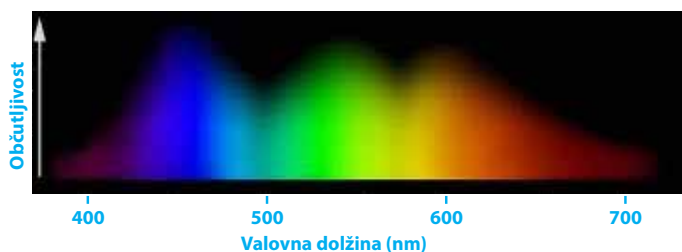
Barva je v svoji osnovi osebno, čutno doživetje, ki ga v možganih sproži svetloba, ki vpada v oko. Fizikalno so barve opredeljene kot elektromagnetno valovanje različnih valovnih dolžin. Pri zaznavanju barv in tonov je nujna navzočnost svetlobe. Brez svetlobe zaznamo le obliko in tone. Bela svetloba je sestavljena iz posameznih vrst barv, ki imajo različno valovno dolžino in se imenujejo spektralne barve (rdeča, modra in zelena). Ko te barve združimo, nastane bela barva in temu pravimo aditivno mešanje barv. Spektralne barve tvorijo spekter barv, ki je kot funkcija sestavljen iz vijolične, modre, zelene, rumene, oranžne in rdeče barve.

Svetloba kot elektromagnetno valovanje se širi skozi prostor (tudi skozi vakuum) z določeno hitrostjo, premočrtno in enakomerno. Z očmi ločimo svetlobo od 380 nm do 780 nm valovne dolžine, vendar z besedo svetloba označujemo tudi infrardečo svetlobo z večjimi valovnimi dolžinami (do 1 mm) in ultravijolično svetlobo z manjšimi valovnimi dolžinami (do 1 nm). Zanimivo je tudi to, da svetlobo različnih valovnih dolžin dojemamo kot svetlobo različnih barv. Svetloba največjih valovnih dolžin se nam zdi rdeča, sledijo ji oranžna, rumena, zelena in modra. Svetlobo najmanjših valovnih dolžin vidimo vijolično. Svetloba različnih valovnih dolžin izzove tudi različno močne dražljaje v naših očeh. Pri dnevnem videnju nastopi največji svetlobni dražljaj pri svetlobi z valovno



dolžino 555 nm (rumeno-zelena), pri nočnem videnju pa pri 507 nm (zeleno-modra). Svetloba, ki vsebuje vse valovne dolžine oz. celotno spekter, se nam zdi bele barve, nasprotno pa je (vsaj teoretično gledano) svetloba, ki nima nobene valovne dolžine, črna.

BARVE	OBMOČJE VALOVNE DOLŽINE (NANOMETROV)
Rdeča	630–700
Oranžna	590–630
Rumena	560–590
Zelena	490–560
Modra	450–490
Vijolična	400–450



Pri zaznavi barve ima pomembno vlogo vizualni sistem s sestavnimi deli – očesom, vidnim živcem in možgani. Soudeležena sta dva procesa – fiziološki, pri katerem se svetlobna energija pretvarja v signale, ki jih živci vodijo v možgane, in psihološki, pri katerem ti signali sprožijo zaznavo barve v možganih.

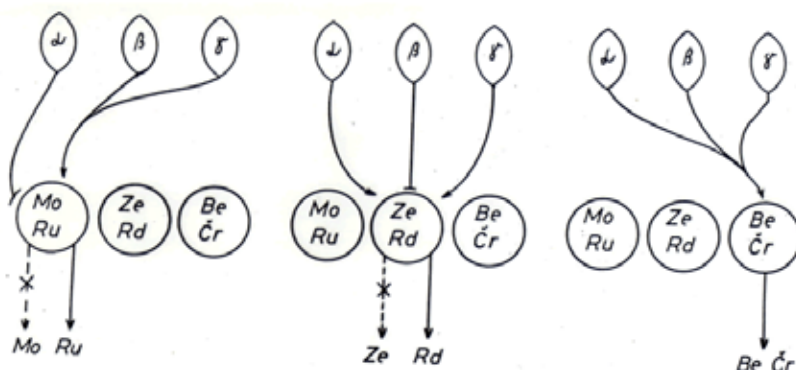
Na podlagi rezultatov raziskovanja vizualnega sistema sta se o zaznavi barv uveljavili dve teoriji:

» po teoriji Younga in Helmholtza so v očesu tri vrste čepkov. Ločijo se po spektralni občutljivosti, imenujejo pa se tudi barvni receptorji. Vsaka vrsta čepkov je občutljiva le na eno valovno dolžino ali le na ozko spektralno območje. Svetloba na pigmente deluje kot »barvni dražljaj«. Z aditivnim mešanjem teh primarnih barv v različnih razmerjih zaznamo vse barve, vključno z belo. Čepki so pravzaprav občutljivi na barvne dražljaje iz celega spektra, največjo občutljivost pa imajo v razmeroma ozkem spektralnem pasu. Nekateri čepki so najbolj

občutljivi na modro območje spektra od 400 do 500 nm, z maksimumom pri 460 nm, drugi na zeleno območje od 460 do 650 nm, z maksimumom pri 560 nm, tretji pa na rdeče območje od 450 do 700 nm, z maksimumom pri 600 nm. Spektralne občutljivosti čepkov se prekrivajo. Občutljivost za določen del svetlobnega spektra je pogojena z različno beljakovinsko komponento pigmenta. Glede na različno intenziteto draženja čepkov naj bi nastal vtis različnih barv.

» po Heringovi »štiribarvni teoriji« oz. teoriji »nasprotnih barv« pri zaznavi barv sodelujejo štiri prabarve – rdeča, zelena, modra in rumena. Signale o barvi posredujejo možganom tri vrste »nasprotnih vodov«: črno-beli zbirni vod posreduje črne, bele in sive signale; modro-rumeni vod pošilja modre ali rumene signale in rdeče-zeleni vod rdeče ali zelene. Vsi trije zbirni vodi sprejemajo svetlobne signale z receptorjev. Črno-beli vod lahko pošilja v možgane kombiniran signal sivine, signala na preostalih dveh vodih pa se med seboj ne mešata. Tako se pri zaznavi npr. rdeče svetlobe vzdraži le del rdeče-zelenega voda in posreduje rdeči signal le tedaj, ko je zeleni del izklopljen.

Če se vzdražijo čepki α , β in γ nevrona belo-črne enote, nastane vtis večje ali manjše svetlosti – podobno kot pri draženju paličic. Poleg stimuliranih enot obstajajo tudi inhibirane. Z medsebojnim delovanjem stimuliranih in inhibiranih enot nastaja fenomen barvnega kontrasta.



Kljub razliki med Young-Helmholtzovo in Heringovo teorijo sta danes veljavni obe; prva opisuje dogajanje na mrežnici ob vpadu svetlobe, druga pa opisuje prenos signalov in zaznavo barve v možganih.

Zamisel barvnega videnja: α so čepki za modro, β zeleno in γ rdeče.

Glede na dražljaje v določenem barvnem spektru prenašajo ali inhibirajo dražljaj na modro-rumene, zeleno-rdeče ali belo-črne nevrone. Tako recimo draženje čepkov β in γ stimulira nevron modro-rumeno, α pa ga inhibira. Ker je čepki za modro inhibiral ta nevron, »nastane« stimulirana rumena barva.

Fotorecepcija se prične, ko foton aktivira molekulo rodopsina, ki se razgradi v seriji encimskih reakcij. Na ta način se spremeni stopnja sproščanja neurotransmiterja. Ta sprememba je signal, da je svetloba aktivirala fotoreceptor v določenem delu

mrežnice. Ko svetlobno draženje preneha, se reakcija obrne. V procesu reakcij ponovno nastane rodopsin, pri čemer igra pomembno vlogo tudi vitamin A. Če vitamina A ni, nastane nočna slepota. Tako strukturno kot tudi funkcionalno obstaja med paličicami in čepki velika razlika. Paličice so občutljive na svetlobo oziroma zaznajo spremembe v količini osvetlitve in omogočajo, da **vidimo v temnih prostorih ali ponoči**, čepki pa nam z različnimi kombinacijami aktivacije omogočajo **barvno gledanje**. Na svetlobi se paličice adaptirajo in ne reagirajo več, medtem ko čepki potrebujejo več svetlobe in se aktivirajo le ob zelo svetlem.

Ker paličice ne doprinesejo k barvnem gledanju, v temi ne vidimo barvno (srebno sivo).

Čepki in paličice reagirajo na različne valovne dolžine.

Podnevi gledamo **fotoptično (čepkovo)**: po trikromatski teoriji Younga in Helmholtza se glede na določeno valovno dolžino aktivirajo različne kombinacije čepkov. Če pride do aktivacije vseh treh vrst, vidimo belo, če pa se ne aktivira noben, pa črno.

Ko svetloba doseže mrežnico, povzroči razpadanje barvila v čutnih celicah. To sproži živčni dražljaj, ki po vidnem živcu odpotuje v vidno središče v zadnjem delu možganov. Vendar vsi svetlobni dražljaji, ki jih sprejmemo skozi oči, niso uporabljeni le za vidno zaznavanje. Živčni dražljaji iz oči ne potujejo samo v vidno središče v možganih, ampak prek hipotalamusa tudi v možganski privesek ali hipofizo in češeriko ali epifizo. Tako svetloba spodbuja ali zavira številne telesne funkcije. Različne barvne svetlobe različno učinkujejo tudi na možgane in živčni sistem. Raznobarvni žarki vplivajo na naš energijski sistem in na občutljivejše dele telesa.

Zaznavanje barve določenega objekta je posledica aditivnega in subtraktivnega mešanja. Barva je funkcija svetlobe, ki predmet osvetljuje. Bela svetloba je sestavljena iz rdečega, zelenega in modrega spektra. Objekt zaradi selektivne absorpcije deluje kot optični filter, ki izloči (subtraktivno mešanje) določen del spektra iz bele svetlobe, odbiti del spektra pa se aditivno združi v en barvni vtis, ki ga zaznamo kot barvo objekta. Rumeno barvo predmeta zaznamo zato, ker predmet absorbira moder del spektra, odbija pa zelenega in rdečega, ki aditivno združena povzročata zaznavo rumene barve.

Absorbirana in zaznana barva

ABSOR-BIRANA	rdeča	oranžna	rumena	rumeno-zelena	zeleno	zeleno-modra	modra	vijolična
valovna dolžina (nm)	675	600	585	570	540	490	460	410
ZAZ-NANA	zeleno-modra	modra	vijolična	rdeča	oranžna	rumena	rumeno-zelena	zeleno

Trihromati slabše ločijo neko barvno premaknitev subjektivnega modusa do spektralnih barv oz. so slabše občutljivi za določen barvni ton):

- » protanomaliya – slabo ločevanje rdeče barve,
- » devteranomaliya – slabo ločevanje zelene barve,
- » tritanomaliya – slabo ločevanje modre barve.

Dihromati

so neobčutljivi za določeno barvo:

- » protanop – slep za rdečo barvo,
- » devteranop – slep za zeleno barvo,
- » tritanop – slep za rumeno in modro barvo.

Dikromati vidijo le dve barvi. Protanopi in deuteranopi vidijo le rumeno in modro, tritanopi pa le rdečo in zeleno. Dikromati vidijo v barvnem krogu določeno barvo kot sivo. Pri protanopih je sivo mesto v modrozeleni in rdeči, pri devteranopih pa v zeleni in purpurni. Seveda je ta siva različno svetla.

Dikromati vidijo le en del spektra, in sicer daljše valovne dolžine v neke vrste topli barvi in drugi del, to je krajše valovne dolžine, v neke vrste hladni barvi. Topla je podobna naši rumeni, hladna pa naši modri. Ne zamenjujejo zelene in rdeče, pač pa jih ne vidijo. Cel njihov spekter je razdeljen na dva dela, vmes pa je pas sivine (ni barve, je le vid na podlagi svetlosti). Pri devteranopu je pas sivine od 497 do 507 nm, pri protanopu pa od 490 do 486 nm.

Obstaja tudi popolna barvna slepota:

- » monokromazija čepkov – ne gre za izgubo v vidni ostrini, vendar praktično ne loči barv (niti modro-rumene, niti rdeče-zelene, vidijo le divje, močne barve). Imajo le en tip čepkov (ker je za barvni vid potrebno, da imajo vsaj dva tipa, ne ločijo barv).
- » monokromazija palčk – barvna slepota, povezano s slabo vidno ostrino, nistagmusom in fotofobijo; gre za popolno odsotnost čepkov, obstajajo le palčke.

Pri testiranju na anomaloskopu testiranec opazuje krog, razdeljen na dve polji, in presoja, kdaj sta obe polovici enakih barv. Anomalni kvocient opredeli napako. Pri normalnem razlikovanju barv je ena. Odstopanja nad to vrednostjo pomenijo devteranomaliyo, pod njo pa protanomaliyo. Pri normalnih trihromatih odstopanja med 0,7 in 1,3 sodijo še v fiziološko odstopanje od normale.

Protanomal – zamenjuje rdečo in modro-zeleno. (AK = 0,11 do 0,6: lahki od 0,50 do 0,70, srednje težki od 0,10 do 0,49 in zelo težki manj kot 0,10)

Devteranomal – zamenjuje zeleno in rdečo-purpurno barvo. (AK = 2,0 do 20: lahki od 1,80 do 5,0, srednje težki od 5,10 do 20,0 in zelo težki več kot 20,0)

Približno 8 % moških in 0,5 % žensk ima ugotovljene motnje barvnega čuta. Nastopijo, ko manjka vsaj ena od treh vrst čepkov (t. i. dikromati), ali ko je spektralna občutljivost (vsaj) ene vrste čepkov premaknjena glede na valovno dolžino (t. i. anomalni trihromati):

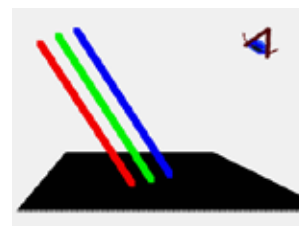
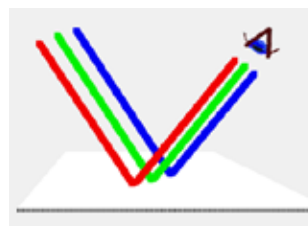
- barvna slepota na zeleno (zamenjujejo zeleno, rumeno in rdečo – 6,39 %),
- barvna slepota na rdečo (ne zaznavajo nianse rdečih barv

– 2,04 %),

- barvna slepota na modro (ne zaznavajo modrih barv – 0,003 %),
- popolna barvna slepota (manj kot 0,005 %).

čepki	barve	-	v rumeni pegi	fotoskopski vid (statični vid)
	oblike	o	v več plasteh	
		o	pri dobri svetlobi	(dražljaj gre direktno – je jasen)
		o	centralen vid	
paličice	obrisi	-	na periferiji mrežnice	skotopski vid (dinamični vid)
	gibanje	o	pri slabi svetlobi	(prostorska sumacija – v horizontalni ravnini)
		o	pri široko odprti pupili	
		o	periferni vid	

Gledanje s čepki in paličicami

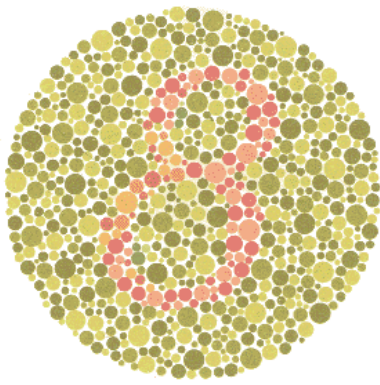


Bela svetloba je uravnovešena zmes vseh valovnih dolžin vidnega spektra.

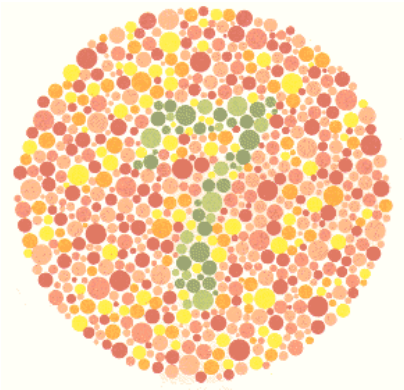
Bela barva je vidna samo na pigmentu, čigar masa ima to lastnost, da odbije vse valovne dolžine barvnega spektra. Črna je vidna samo na pigmentu, ki vsrka večino valovnih dolžin. V fizikalnem pomenu je tema odsotnost svetlobe.

Simulacija učinkov okvare barvnega vida pri t. i. dikromatih, ko manjka ena od treh vrst čepkov

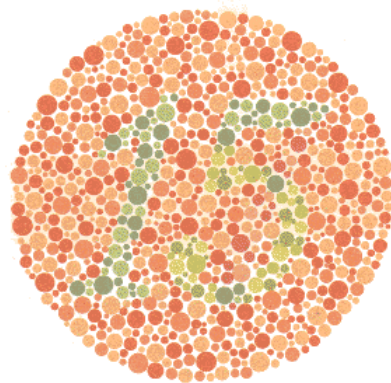




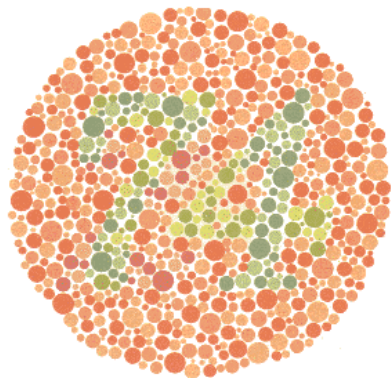
Z rdeče-zeleno
barvno slepoto
vidijo 3



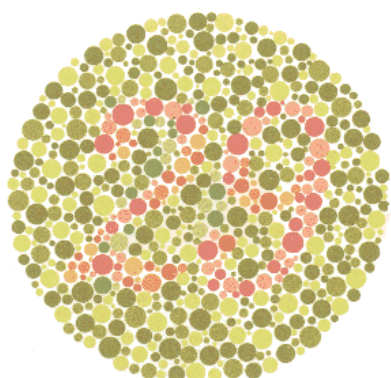
Z rdeče-zeleno
barvno slepoto
vidijo 17



Z rdeče-zeleno
barvno slepoto
vidijo 21



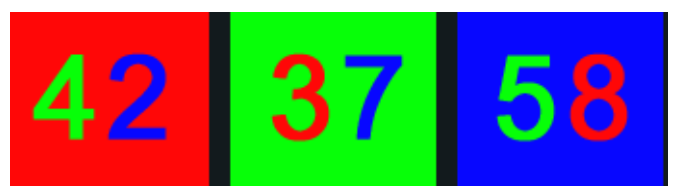
Z rdeče-zeleno
barvno slepoto
vidijo 70



Gledanje s čepki

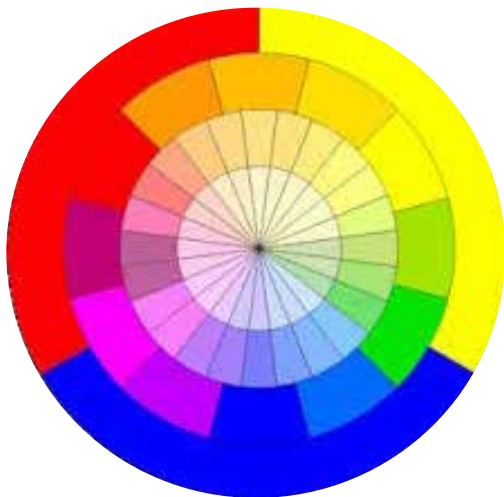


Gledanje s paličicami



Ljudje s problemom zaznavanja barv preberejo le 2, 7 in 58. Ljudje brez problemov zaznavanja barv preberejo 42, 37 in 58.

Barvni krog predstavlja razmerje med barvami in prikazuje, kako so med seboj povezane. Barve v barvnem krogu so prikazane v svoji največji moči oz. nasičenosti in se tudi po barvitosti stopnjujejo v krogu. Pri tvorbi barvnega kroga poznamo primarne barve, ki so rumena, rdeča in modra. Z mešanjem dveh primarnih barv dobimo sekundarno barvo (npr. če mešamo rumeno in rdečo dobimo oranžno barvo, rdečo in modro vijolično ter modro in rumeno zeleno). Na koncu dobimo še terciarne barve, ki nastanejo z mešanjem ene primarne in ene sekundarne barve. V barvnem krogu tako dobimo dvanajst barv. Če pravilno mešamo vse tri primarne barve, nastane siva barva, ker se barve med seboj zbrisejo.



Barvni krog

Če vse do sedaj našteje barve razvrstimo v nekakšen sistem, dobimo 12-delni barvni krog, v katerem so tri primarne, tri sekundarne in šest terciarnih barv. Če bi barve mešali še naprej, bi se število odtenkov skokovito povečevalo.

Barve v osnovnem barvnem krogu so čiste in zasičene s pigmentom. To pomeni, da nimajo primesi črnega barvila in da pigmenti niso zredčeni. Če opisanim dvanajstim barvam dodajamo črno barvilo, dobivamo temnejše odtenke. Živo rdečo barvo, na primer, tako spremenimo v temno rdečo, zamolklo rdečo v skoraj povsem črno. Vsi novi odtenki iste barve, ki nastanejo zaradi primesi črnega barvila, ostanejo na barvnem krogu na istem mestu kot osnovna barva, v tem primeru rdeča. Če osnovnim barvam razredčimo pigmente ali jim dodajamo belilo, dobimo svetlejšje odtenke. Pravimo jim pastelni odtenki oz. pastelne barve. Rdečo, na primer, posvetlimo od rožnate, svetlo roza do skoraj povsem bele barve. Tudi pastelni odtenki ostanejo v barvnem krogu na istem mestu kot osnovna barva. Za dve barvi, ki v barvnem krogu stojita druga proti drugi (na nasprotnih straneh), pravimo, da sta kontrastni, nasprotni. Za dve barvi, ki v barvnem krogu stojita druga ob drugi, pa pravimo, da sta sosednji, sorodni barvi. Vse barve, ki vsebujejo rdečo barvo, so tople. Navadno vsebujejo tudi več ali manj rumene. Tudi za čisto rumeno barvo bi lahko rekli, da je topla. Med tople barve prištevamo rdečo, oranžno, rjavo, rumeno in vse vmesne odtenke do rdeče-vijoličaste, ko toplota počasi izginja, in do rumeno-zelene, ko toplota izginja na nasprotni strani barvnega kroga. Tople barve, če niso izrazito močne, so prijetne in ugodno vplivajo na razpoloženje. Vse barve, ki vsebujejo modro, so hladne — od zelene do tistega odtenka vijolične barve, v katerem še prevladuje modra. Tople barve s svojim žarenjem ponazarjajo vročino in ogenj, hladne barve pa hladnost vode in ledu. Vzbujajo občutek svežine in pomirjajo. Tople in hladne barve so na nasprotnih polovicah barvnega kroga. Tople stimulirajo, hladne pomirjajo.

Trak spektralnih barv je sestavljen iz vseh barv, ki jih dobimo z opisanim mešanjem. V krogu ima vsaka barva na nasprotni strani komplementarno barvo, torej tisto, s katero se dopolni v belo svetlobo, ki nima nikakršne barve in je barvno nevtralna. Na enem koncu traku je kratkovalovna vijolična, na drugem dolgovalovna rdeča svetloba, pri čemer z mešanjem teh dveh dobimo škrlatno svetlobo, ki barvni krog sklene v celoto. Barve si sledijo v istem zaporedju kot pri mavrici. ⁶⁰

UPORABLJENA LITERATURA

1. Vitrih I. Učenci in barve. Diplomsko delo. UMB, PF Oddelek za likovno umetnost, Maribor, 2009
2. Ditmajer M. Vpliv barv v grafičnem oblikovanju. UMB Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. Diplomsko delo, Maribor 2011
3. Itten J. Umetnost barv: študijska izdaja. Reichmann, Jesenice 1999
4. Trstenjak A. Psihologija barv. Inštitut Antona Trstenjaka, Ljubljana 1996
5. Chiazari S. Barve. Slovenska knjiga, Ljubljana 2000
6. Stepančič N. Barve in njihov vpliv na zaznavanje izdelka. Diplomsko delo. UMB Ekonomsko poslovna fakulteta, Maribor 2005
7. Pečjak V. Psihologija spoznavanja. DZS, Ljubljana 1975
8. Parker RC. Grafično oblikovanje. Pasadena, Ljubljana 1997
9. Whelan BM. Barvna harmonija. Softproject, Ljubljana 1995
10. Danger EP. The colour handbook. Hants: Gower Tehnical Press LTD, 1987
11. Anon Helios barve (internetni vir)
12. Spletna stran nina.kolar: Pomen barv v človekovem življenju (internetni vir)
13. Kovačev, A. N. Simbolične implikacije barv in njihov položaj na dimenziji ugajanja. Anthropos, 1994; 26 (4-6), 105-127.
14. Kovačev, A. N. Govorica barv. Ljubljana: Prešernova družba, Vrba 1997
15. Golob, V., Golob, D. Teorija barvne metrike. V Interdisciplinarnost barve. I. del V znanosti, DKS. 2001 Maribor 199–230
16. Sušnik J. Ergonomska fiziologija, Didakta Radovljica, 1992
17. Kovačev A.N. Govorica barv. Prešernova družba, Vrba 1997
18. Musek J. Simboli, kultura, ljudje, Znanstveni inštitut filozofske fakultete, Ljubljana 1990
19. Kumar M. Tehnologija grafičnih procesov. Center RS za poklicno izobraževanje, Ljubljana 2008
20. Barle N in sod. Interdisciplinarnost barv II. del V aplikaciji. Društvo koloristov Slovenije, Maribor 2003
21. Božič D in sod. Interdisciplinarnost barv I. del V znanosti. Društvo koloristov Slovenije, Maribor 2001
22. Božič D. Ergoofthalmologija, Grafiti studio Maribor, 1996
23. Brađač D. Psihološki pomen barv. Seminarska naloga Ekonomska šola Novo mesto, 2003
24. Bizjak G. Razsvetljava. Koselj V (ur.) Priročnik za varno in zdravo delo. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 2002
25. Ogrinc E. Delovno okolje Razsvetljava, UL FKKT, Oddelek za tehniško varnost, Ljubljana 2000