

Vnímání barev

Obrázek 3.1 Bohumil Kubišta Kavárna

Vnímání barev je možné definovat jako schopnost diskriminovat rozdíly ve vlnových délkách dopadajícího světla. Tímto tvrzením se jistě nedopouštíme žádné chyby, ale něco podstatného nám v něm chybí: Jednak v něm není zmínka o předmětu, od kterého se světlo odráží a k němuž barvu vždy vztahujeme. A jednak nic nevyovídá o působení barvy na percepční (někdy i estetické a emoční) hodnocení podnětu. Dříve než začneme s popisem jednotlivých procesů a mechanismů vnímání barev, bude dobré věnovat trochu pozornosti tomuto doprovodnému efektu barev a povšimnout si role, již v našem životě sehrávají. Čím jej ozvláštňují a obohacují, čím usnadňují nebo naopak ztěžují.

Barva má mezi podnětovými kvalitami zvláštní postavení, což je dané několika skutečnostmi:

- ❖ Informace o barvě je pro pozorovatele snadno dosažitelná. Všechny dílčí prvky zorného pole, všechny objekty světa vidíme v nějaké barvě. Barva navíc poutá jako povrchová a fyziologicky atraktivní (oko se reflexivně stáčí ve směru vyššího barevného jasu a kontrastu; tzv. fototropní jev) vlastnost podnětu pozorovatelovu (bezděčnou) pozornost a právě na základě informace o barvě si často strukturujeme sledovanou scénu.
- ❖ Informace o barvě je pro pozorovatele zřejmá; snadno a většinou navíc bezchybně ji dokáže zpracovat a vyhodnotit. Ve srovnání s údaji řekněme o tvaru sledovaného podnětu není informace o barvě zdaleka tak komplexní a strukturovaná.
- ❖ Informace o barvě je snadno kódovatelná a zapamatovatelná. Malé děti automobily často dělí na modré, zelené, červené apod. Ale i pro dospělého člověka je barva leckdy tou nejdůležitější nebo dokonce jedinou uchovanou informací o určitém objektu, klíčem ke vzpomínce.

Uvedené charakteristiky barvy – její dostupnost, informační jednoduchost a jednoznačnost, snadnost kódování – přispívají k zájmu lidí o problematiku barev a všeho, co je s barvami nějak spojené, která u někoho může hraničit s fascinací a s ochotou přisuzovat jí až magický význam. Řada lidí tak například věří, že podle zvolené barvy oblečení je možné usuzovat na osobnostní rysy jejího nositele. Obliba barvy se projevuje i v jazyce, existencí velkého počtu metaforických obrátů odkazujících k barvě. Například prudká hnutí myslí jako strach, hněv, stud či závist je možné pomocí výrazů vztažených k barvě přímo diagnostikovat. Mluvíme o tom, že někdo *strachy zblednul, zezelenal, viděl svět rudě, zežloutnul závistí, byl rudý jako rak* (Vaňková, Nebeská, Saicová Římalová, Šlédrová, 2005).

Vliv barev na prožívání

Ponechme ještě chvíli stranou funkční význam barev, kterým přispívá v procesu zpracování zrakového podnětu, a všimněme si působení barev na naše pocity a prožívání. Metaforicky lze říci, že barvy dávají předmětům, s nimiž vstupujeme do interakce, emocionální nádech. Jejich vliv se projevuje v rovině (i) preferování některých barev nebo barevných kombinací, (ii) estetickém prožitku spojeném s působením barev, (iii) změnách emočního stavu při určité barevnosti podnětové kompozice, případně (iv) významových asociacích vyvolaných zbarvením podnětu. Účinky barev na naše prožívání pociťujeme v řadě běžných životních situací a tohoto vlivu jsou si rovněž vědomí a kalkulují s ním při své práci autoři v reklamě, malířství, módě a mnoha jiných oborech lidské činnosti.

Barva má nesporný účinek na estetický prožitek pozorovatele. Barevnost jiskřícího sněhu okouzljuje mnoho lidí, barevná sklíčka krasohledu si zálibně prohlížejí nejenom děti (viz obr. 3.2), barvy mihotajícího táborového ohně fascinují snad každého. Svět, v němž žijeme, barvy prozařují a zkrášlují. Přidávají mu v našich očích, srdcích a myslích na atraktivitě. Jak víme (viz str xx k2 a str xx k3), naše vidění je v noci zajišťované činností tyčinek, tedy fotoreceptorů neumožňujících rozlišení vlnových délek dopadajícího světla. Okolní předměty proto v noci postrádají barevnost, jsou směsicí černé a odstínů šedi. Těsně před rozbřeskem dochází ke zvláštní proměně, kdy tyto předměty získají zpět své obvyklé („denní“) barvy. Takový zážitek pomáhá uvědomit si estetickou hodnotu barev a představit si, jak by vypadal svět vyplněný bezbarvými předměty. Přinejmenším ne tak hezky. I v jazyce se nehezky, nezajímavost, případně jednotvárnost vyjadřuje pomocí achromatických slov: Nudu metaforicky nazýváme *šed'*, podobně nezajímavost označujeme slovním spojením *šedý průměr* a nezajímavého člověka hodnotíme jako *bezbarvého*, člověk nesympatický jistě potají provádí nějaké *černoty*, za které by zasloužil zavřít, až *zčerná* (Vaňková, Nebeská, Saicová Rímalová, Šlédrová, 2005).

Obrázek 3.2 Ornamenty krasohledu

Psychická odezva na barevný vjem se může projevit ve změně emočního vyladění. Nejenom, že se nám nějaká barva ve spojení s nějakým předmětem může líbit nebo nelíbit, barva nás dokáže rozveselit nebo rozesmutnit, vyburcovat, rozrušit..., zkrátka různými způsoby mobilizovat naši psychiku. Stejně tak ale může vyvolávat uklidňující dojem a třeba i posloužit jako terapeutický prostředek ke zvládnání tělesných i duševních nemocí. S účinkem barvy na emoční ladění člověka pracují například bytoví architekti při volbě barvy malby jednotlivých pokojů v bytě a podobně malíři při snaze umocnit sdělovanou impresi. Tento účinek si můžeme demonstrovat na příkladu obrazu Pabla Picassa *Tragédie* (viz obr. 3.3). Vůbec vyobrazení objektů reálného světa v neobvyklé barvě, zvláště když se jedná o objekty spojované s jedinou konkrétní barvou, dává obrazům silný emoční náboj. Například změna přirozené barevnosti tváře vyvolává u diváka intenzivní prožitek, jak se lze přesvědčit při pohledu na autoportréty Vincenta van Gogha či Paula Gauguina nebo na některé obrazy Edvarda Muncha, Marca Chagalla či Jana Zrzavého (Brožek, 1995).

Obrázek 3.3 Picasso (webexhibits) Úprava barevnosti objektů na plátně může vést ke změně ladění/vyznění obrazu. Popsat detailněji?

Psychickou odezvu dokládá i skutečnost, že někdy barvu v myslí spojujeme s obrazem, vyvolává v nás specifickou představu nebo vzpomínku. Ta stejná barva přitom může vzbouzet asociace velmi rozdílné. Například červená v některých situacích a ve spojení s některými předměty může evokovat obraz krve, v jiném kontextu pak sexuální vzrušení, ještě v jiném třeba pocit tepla nebo vzpomínku na jeden konkrétní okamžik rugbyového zápasu. Asociace bývají často individuální, ale mohou být i široce sdílené, ba dokonce kodifikované. V teorii barev v malířství, designu nebo bytové architektuře se vžilo rozdělení viditelného spektra na pásmo „teplých“ (červená až žlutá) a „studených“ (modrofialová až zelená) barev. Účinek připisovaný těmto barvám se stejně málo vztahuje k samotnému vjemu barvy a fyzikálním vlastnostem dopadajícího světla jako jejich samotné pojmenování. „Teplé“ barvy jsou podle představy aktivní, vzrušivé a veselé, „studené“ barvy pak pasivní, klidné a smutné. Vidíme, že barva u člověka dokáže vyvolávat i představy mimozrakové, představy vztažené k jiné smyslové modalitě. Někdy naopak podněty jako jsou hlásky nebo tóny evokují barvu. Pro určité malé procento populace platí, že tyto asociace napříč sensorickými modalitami jsou

neodbytné, automaticky vystupující; v tom případě mluvíme o synestézii (viz přehledový článek Chromý, 2010). Barva prostřednictvím asociací (samozřejmě neuvědomovaných) může ovlivnit proces lidského rozhodování, alespoň v to věří reklamní tvůrci. Z toho důvodu jsou například v reklamách nabízejících léky a zdravotní potřeby, které jsou zacílené především na starší generaci, zobrazované předměty spíše v pastelových barvách, zatímco v reklamách určených pro mladé konzumenty převládají sytější a jasnější barevné kombinace.

Všímat si účinku barvy na naše prožívání je jistě zajímavé, ať už si o rozsahu tohoto vlivu myslíme cokoliv. Hlavní přínos barvy se ovšem týká vnímání. Barva je důležitým faktorem při získávání informací o světě, jak si hned ukážeme. Účinně pomáhá zejména při hledání a rozpoznávání objektů.

Vliv barev na vnímání

Jak jsme zmiňovali na začátku kapitoly, informace o barvě je snadno dostupná a snadno zpracovatelná. To přináší nespornou výhodu při pohybu prostředím, a to zejména v situacích, kdy máme na rozhodnutí kriticky málo času. Ať už se pokoušíme hledaný objekt lokalizovat anebo segmentovat zorné pole a vyčlenit figuru z pozadí, barva může detekci objektu významně usnadnit. V míčových sportech, kde se hráči rozhodují ve velké rychlosti, je žádoucí dokázat odlišit spoluhráče od hráčů soupeřova týmu. Výrazná barevná odlišnost dresů obou týmů tuto možnost dává. Volba barevnosti míče a hrací plochy (bílý a černý fotbalový míč na zeleném trávníku, černý puk na bílém kluzišti, sytě žlutý tenisový míček na cihlově oranžové antuce) zase umožňuje mít stále povědomí o poloze míče. Rozhodování vyžadující rozpoznání těchto objektů by možnost okamžitě jednat podstatně ztížilo. Barevné vnímání je nutností pro většinu zvířat. Zvířata s pomocí informace o barvě snáze nacházejí potravu (plody nebo živou kořist). Například letící včela na základě barvy zjišťuje, kde se mezi trávou a spadáním listů nachází květ, z něhož by mohla sáť nektar. Její přežití je tak závislé na schopnosti postřehnout ve strukturovaném prostředí, pestrobarevné změti tu správnou barvu. Na základě barvy se mohou samičky některých živočišných druhů (páv, bažant, tukan) rozhodovat mezi samci o nejvhodnějším adeptovi k páření. Samci šimpanze nebo paviána naproti tomu podle rudého zbarvení zadku samice mohou poznat, že je plodná. Můžeme tvrdit, že přiměřená reakce na barvy spojené s potravou, nebezpečím nebo možností rozmnožování zvyšuje jedincovy šance na přežití. Toto tvrzení paradoxně platí i obráceně: šance na přežití zvyšuje neschopnost detekce objektu prostřednictvím barvy. Napodobuje-li barevný vzor zvířete dostatečně věrně charakteristiku textury v prostředí, má šanci tento živočich zůstat skrytý a nikým nezpozorovaný. Například kudlanka nábožná (viz obr. 3.4a) číhající nehybně na stonku je pro své okolí prakticky neviditelná a nic netušící kořist se tak může přiblížit až do její blízkosti. Kožich polární lišky splývá se sněhem a skvrny na těle žraloka skvrnitého se podobají písčitém vzorům mořského dna. Oba mají oproti vyhlídnuté kořisti obrovskou výhodu vyplývající z momentu překvapení. Kamufláž nebo skrytí před zrakem je žádoucí i v řadě lidských činností. Uplatňuje se jako klamavá taktika ve vojsku (s cílem „rozptýlit“ figuru – voják, obrněný vůz, námořní loď nebo bombardér – do struktury pozadí), v módě a kosmetice (snaha skrýt problémové partie obličeje pod vrstvou make-upu a postavy pod vhodně zvoleným střihem), v dřívějších dobách i v potravinářství (použití osvětlení se změněnou spektrální distribucí s cílem uchovat čerstvý vzhled potravin jako je maso i v počínajícím stádiu rozkladu). Kamufláž jako motiv je možné využít i ve vizuálním umění (viz obr 3.4b).

Obrázek 3.4 (a) kudlanka nábožná Z očí do očí str. 82; (b) projekt Desiree Palmen (knihovna...)

Vedle detekce objektů pomáhá barva i při jejich identifikaci. Proces rozpoznání je zpravidla pomalejší a důkladnější než prosté nalezení podnětu v zorném poli, přesto i při něm může hrát barva významnou roli. Barva například signalizuje, v jakém průběžném stavu se nachází sledovaný objekt. Drobný rozdíl v odstínu barvy nám napoví, zda je jablko nebo jiné ovoce dozrálé a maso upečené, nebo naopak jestli náhodou už sýr není plesnivý. Zemědělci podle barvy půdy poznají minerální složení a podíl humusu – bělavý odstín indikuje vyšší obsah kalcitu nebo křemene v půdě, tmavohnědé zbarvení ukazuje na vysoký obsah humusu v půdě apod. Lékařům neobvyklé zbarvení tělesných orgánů (bělma, duhovka, jazyk, kůže, moč) může pomoci při stanovení diagnózy – například zažloutlá bělma indikuje zánět jater či žlučníku, našedlá poruchy metabolismu, namodralá snížení hladiny vápníku v krvi. Cukráři podle barvy taveného cukru jsou schopní určit stupeň karamelizace, a odstavit tak pánev z ohně v pravý čas. Zvířata využívají barevné vidění především k rozlišení zralých plodů od nezralých, jedlých od jedovatých, samčích květů od samičích a k vyslání sexuálních signálů a signálů o připravenosti k boji. Uvedené příklady ukazují, že barva skutečně může usnadnit rozpoznání různých stavů, jakož i samotnou identifikaci předmětu, ale to jen za předpokladu, že „tu správnou“ barvu známe, že při identifikaci založené na barvě můžeme využít svých znalostí. Pokud vidíme objekt zbarvený jinak, než jsme u něj zvyklí, můžeme mít s jeho rozpoznáním problémy. V experimentech, v nichž si zkoumané osoby prohlížely obrázky objektů jako je ovoce nebo obrázky přírodních scén a měly za úkol tyto podněty identifikovat, významně vzrostl reakční čas a chybovost odpovědí, když byly podněty prezentované v barvově upravené podobě (viz obr 3.5; Tanaka & Presnell, 1999; Oliva & Schyns, 2000). Barva jako informační zdroj byla eliminovaná. Ve známém Stroopově experimentu je informace o barvě postavená do konfliktu se sémantickou informací. A tato situace, kdy je informace nesená barvou zavádějící, je snad jedinou situací, při které barva identifikaci podnětu spíše brání než pomáhá.

Obrázek 3.5 Typicky a atypicky zbarvené objekty. Převzato z Goldstein

Tak trochu zvláštním příspěvkem barvy k vnímání je její vliv na percepční hodnocení jiných kvalit podnětu nebo i na jiné smyslové modality. Při zmínce o „teplých“ a „studených“ barvách jsme uváděli některé emoce, které jsou s jejich vjemem asociované. Vedle toho se ale také zdají být ve scéně umístěné v nestejně vzdálenosti: „Teplé“ barvy se zdají vystupovat do popředí, kdežto „studené“ spíše ustupují do pozadí obrazu. Tento vizuální účinek se vysvětluje pomocí tzv. chromatické aberace, díky níž se krátkovlnné světlo při dopadu na povrch čočky láme víc než dlouhovlnné a jeho paprsky se tak sbíhají ještě před sítnicí. V důsledku je vjem modré barvy mírně rozmazaný podobně jako vjem vzdálených předmětů. Účinek barev na vnímanou velikost se spíše než v dimenzi odstínu projevuje v dimenzi jasů (pro popis základních atributů barvy viz následující odstavce): Černé oblečení nebo oblečení v tmavších odstínech hnědé, šedé nebo zelené barvy opticky zeštíhluje lidskou postavu, mimo jiné proto, že na pozadí těchto barev stín vržený všemi terénními nerovnostmi a poskytující pozorovateli dostatek informací o siluete postavy není vidět. Podobně světlý podnět umístěný na tmavém pozadí se zdá být větší než tmavý podnět na světlém pozadí, což dokládá nejen přiložený Helmholtzův iradiační klam (viz obr. 3.6), ale třeba i konstrukční řešení chrámových sloupů ve starém Řecku spočívající v záměrném rozšiřování sloupů v blízkosti hlavic (o principu entasis se zmiňujeme rovněž na straně xxx). Všimněme si ještě účinku barvy na jiné smyslové modality, zejména na chuť člověka. Volbou barvy můžeme chuť konzumovaného jídla a pití do jisté míry manipulovat. Podle experimentálních výsledků například přidání červeného potravinářského barviva zvyšuje dojem sladkosti jídla (Johnson & Clydesdale, 1982), barva piva ovlivňuje hodnocení člověka, zda je pivo osvěžující

(Clydesdale et al, 1992), vůně jídel výrazných barev je hodnocená jako výraznější než vůně jídel v barvách mdlých (Zellner & Kautz 1990). Obecně lze snad soudit, že barvu si spojujeme s atraktivitou sensorického zážitku. (Jak si myslíte, že by při prvním soustu chutnal prejt s brambory a zelím někomu, kdo o něm předtím nikdy neslyšel?) Trochu do krajnosti v tomto přesvědčení zachází majitelé některých restaurací, kteří si slibují od výzdoby interiéru v určitých barvách zvýšení konzumace alkoholických i nealkoholických nápojů.

Obrázek 3.6 Helmholtzův iradiační klam

Shrneme-li, barva dozajista ovlivňuje lidský emoční a estetický prožitek, jejím hlavním přínosem a posláním je ovšem usnadnění detekce a identifikace podnětu. Na základě informace o barvě dokážeme hledaný podnět v zorném poli snáze lokalizovat a určit jeho vlastnosti. Existence černobílé fotografie může pravdivost předchozího tvrzení zpochybnit, je proto žádoucí vhodné informační přínos barvy trochu konkretizovat: Barva je efektivním pomocníkem při vydělování a ohraničování jednotlivých předmětů v zorném poli. Dokážeme to i bez dostupné informace o barvě, nicméně s ní je to mnohem snazší, protože barva je pro náš zrakový systém salientní, snadno vystupuje z komplexní scény. Abychom mohli informační přínos barvy k detekci a identifikaci podnětu pochopit komplexněji, je potřeba nyní obrátit svou pozornost k principům a zákonitostem vnímání barev.

Co je barva?

Již víme, že barva je významně spojená se světlem (viz str xxx). Světlo vyzářené světelným zdrojem dopadá na povrch předmětu, který právě sledujeme, a některé jeho složky jsou odražené zpět do prostoru, tedy i směrem k oku. Barva, v níž předmět vidíme, obvykle koresponduje se spektrální distribucí odraženého světla, tj. s proporčním rozložením jednotlivých částí viditelného spektra. Například ve světle odraženém od povrchu jablka je zvýrazněná dlouhovlnná složka, jablko tak pravděpodobně uvidíme jako červené. Zmíněný příklad může posloužit jako dobrá aproximace vztahu mezi světlem a barvou, ten ovšem ve skutečnosti takto jednoduchý a přísně lineární přeci jen není. Vnímaná barva je vedle povrchových vlastností osvětleného objektu v nemalé míře ovlivněná i spektrálními vlastnostmi světelného zdroje, vnímanými barvami okolních objektů a fyziologickými vlastnostmi oka a nervového systému. Barva není objektivizovatelnou vlastností předmětů v okolním světě – paprskům světla dopadajícího do oka není možné přiřadit barvy –, barva je výsledkem činnosti našeho mozku a konstruktem naší mysli. Barva je vjem (a slovní spojení vnímání barev je pleonasmem(?)). Tím netvrdíme, že vztah mezi barvou a světlem neexistuje, nebo že nepodléhá žádným zákonitostem, jen že proces vnímání barev není automatismem.

Atributy barvy

Barva je na světlo nepřevoditelná i proto, že jedinečný a nerozborný vjem barvy je poskládaný ze tří subjektivních kvalit, které odpovídají třem různým fyzikálním vlastnostem světla. Barvu definujeme pomocí barevného tónu, jasu a sytosti. Barevný tón nebo odstín je nejznámější atribut barvy, nejvíce se blíží obvyklému používání pojmu barva. Označení tón se vztahuje pouze na spektrální barvy. V rámci této dimenze mají jinou hodnotu například modrá a zelená, ale nikoliv už oranžová a hnědá, která vzniká právě z oranžové. Tón (percepční kvalita) odpovídá vlnové délce (fyzikální kvantita) dopadajícího světla. Vjemu zelené barvy odpovídá vlnová délka v rozmezí 490 až 570 nanometrů, žluté 570 až 590 nanometrů apod. Vztah mezi barevným tónem a vlnovou délkou ale komplikuje skutečnost, že jen málokdy je dopadající světlo monochromatické, tvořené jedinou hodnotou vlnové délky. Většinou jsou

naopak ve světle obsažené všechny vlnové délky v různých proporcích. V důsledku vjem určitého barevného tónu vyvolává monochromatické světlo s odpovídající vlnovou délkou stejně jako bezpočet variant složeného světla, u nichž je daná vlnová délka dominantní. Tato první dimenze poskytuje základní určení barvy, zbývající dvě dimenze toto určení dále zpřesňují. Každý barevný tón může mít různé hodnoty jasu. Jas je vjemový doprovod intenzity světla dopadajícího na sítnici. Vztah mezi oběma vlastnostmi je přímější a více jednoznačný než v případě tónu a vlnové délky. Čím je intenzita světla (množství energie obsažené ve světelných paprscích) vyšší, tím je barva jasnější. Proto například Slunce vnímáme jako jasnější než Měsíc. Stále ovšem může být vnímaný jas modifikovaný například jasem dřívě vnímaných předmětů a jasem předmětů okolních (viz Adelson, který bude na konci kapitoly). Spektrální barvy s vysokým jasem se blíží k bílé a barvy s nízkým jasem se blíží k černé. Zvýšení nebo snížení jasu dává vzniknout některým známým, široce užívaným barvám, například některé tmavší odstíny žluté a oranžové vnímáme jako hnědou. Poslední z dimenzí, sytoť (saturace, chroma) představuje množství čistého spektrálního tónu ve vnímané barvě. Určuje, jaký je v barvě podíl tónu a komplementárně jaký je podíl neutrální (bílé nebo šedé) barvy. Například červenou barvu s 50% podílem bílé budeme vnímat jako růžovou. Saturované barvy vypadají zřetelně, svěže, koncentrovaně, intenzivně, desaturované naopak vybledle, zašle, nevýrazně. Sytoť coby psychologická kvalita odpovídá čistotě (puritě). Barva jediné vlnové délky (monochromatická) je nejvíce saturovaná, rozšiřování spektra vlnových délek zastoupených ve výsledné barvě – přidávání „bílého“ světla – snižuje její sytoť.

Obrázek 3.7: 0 až 100% tónu, jasu a sytoťi

Katalog barev

O tónu, jasu a sytoťi se uvažuje jako o na sobě nezávislých atributech barvy, čímž se otevírá možnost pro vytvoření klasifikačního systému uspořádání barev. K jakékoliv barvě tvořené třemi hodnotami by mělo být možné přiřadit bod v rámci trojrozměrného tělesa. V minulosti byla navržena řada katalogů pokoušejících se o kodifikaci a standardizaci; dlouhodobě nejpoužívanější – zejména v průmyslové praxi, ale i v psychologii – je systém navržený Albertem H. Munsellem (publikovaný poprvé v roce 1915). Těleso Munsellových barev se tvarem spíš než krychli podobá kouli, případně dvojkuželu. Je tvořené svislou osou odstupňovaných hodnot jasu a vodorovnou osou odstupňovaných hodnot sytoťi, barevný tón se pak mění po obvodu. Toto rozložení je dané tím, že při vnímání je možné hodnoty jasu i sytoťi seřadit na stupnici od nejnižší po nejvyšší. U tónu ovšem podobné lineární řazení v ordinálním číselném formátu možné není, všechny hodnoty tóny jsou v tomto smyslu rovnocenné. Řada jasových hodnot začíná ve spodní části nejtmaší černou a končí ve vrcholu nejjasnější bílou. Sytoť narůstá se vzdáleností od svislé osy směrem k obvodu. Kruhová stupnice barevných tónů obsahuje 5 základních tónů (červená, žlutá, zelená, modrá a purpurová), 5 směsných tónů (žluto-červená, zeleno-žlutá, modro-zelená, purpurovo-modrá a červeno-purpurová) a mezi nimi ještě 10 dalších úrovní (viz obr. 3.8). Barevné vzorky v Munsellově atlasu jsou percepčně (nikoliv fyzikálně) stejnoměrně odstupňované. Nepravidelná struktura tělesa je daná některými specifiky lidského vnímání: (i) Jednotlivé dimenze barvy nejsou na sobě ve skutečnosti zcela nezávislé a například s rostoucí intenzitou osvětlení dochází k posunu vnímaného tónu ke žluté nebo modré (Bezoldův-Brückeův jev) a podobně k posunu vnímaného tónu může dojít i při přidávání „bílého“ světla (Abneyho jev). (ii) Počet rozeznatelných hodnot v různých úrovních jasu a sytoťi není ani konstantní, ani se lineárně neproměňuje. Proto je například v „modrém“ a „červeném“ oddílu systému více hodnot sytoťi než v oddílu „žlutém“ a „zeleném“ a zároveň v „modrém“ a „červeném“ oddílu

je plné sytosti dosaženo při středních hodnotách jasu, kdežto ve „žlutém“ a „zeleném“ oddílu je nejvyšší sytosti dosaženo při vyšších jasových hodnotách (Encyclopedia 2010 heslo Color Perception).

Obrázek 3.8: Munsellův strom barev

<http://macboy.uchicago.edu/~eye1/images/Munselltree.jpg>

popř. http://www.lichtundfarbe.at/Grafiken/munsell_det.jpg

Kolik barev rozlišujeme

Jedna z verzí Munsellova atlasu barev obsahuje 100 barevných tónů, až 10 jasových hodnot a až 16 hodnot sytosti, dohromady přes 1000 barevných vzorků. Odpovídá toto číslo rozlišovací schopnosti našeho zraku? Kolik vlastně dokážeme rozlišit barev? Na tuto otázku není možné dát spolehlivou odpověď. Ani odpověď, která je ekologicky validní. Na základě experimentálního měření v úloze, kdy zkoumané osoby rozhodovaly, zda dvě současně prezentované barevné vzorky mají stejnou anebo odlišnou barvu, odhadl Titchener v roce 1896 počet vnímaných barev na 33 tisíc. Boring v roce 1939 zvýšil tento odhad na 300 tisíc barev a Judd ve stejném roce dokonce na 10 miliónů. Novější číselné odhady jsou o něco nižší, pohybují se v rozmezí jednoho až sedmi miliónů barev, které vnímáme jako odlišné od barvy referenční (Kuehni, 2003). Počet rozlišitelných úrovní tónu se podle experimentálních výsledků pohybuje mezi 200 a 250, počet vnímatelných stupňů šedi mezi černou a bílou je do 500 a počet viditelně rozdílných úrovní sytosti je mezi 10 a 50. Je dobré si uvědomit, že většina zmíněných údajů je jen odhadem či aproximací na základě získaných experimentálních výsledků, rozlišitelnost všech kombinací barev pochopitelně testovat nelze. Bližšímu upřesnění vedle enormního počtu kombinací brání i řada faktorů, které výsledek významně snižují nebo naopak zvyšují. Rozlišovací schopnost je ovlivněná jak specifiky lidského vnímání, tak i parametry sledovaného podnětu:

- Citlivost ke všem spektrálním tónům není stejná – nejvyšší počet tónů rozlišujeme ve „žluté“ a „modrozelené“ části spektra.
- V různých částech viditelného spektra je rovněž různý počet úrovní jasu a zejména sytosti – nižší je ve střední části spektra (6-10), vyšší po jeho okrajích (až 50).
- Diskriminační práh je vyšší při rozlišování v rámci jedné barevné kategorie (např. světle modrá a tmavě modrá) než mezi dvěma kategoriemi (např. modrá a zelená) (Winawer et al., 2007; Danilova & Mollon, 2010).
- Rozdíl je snáze rozeznatelný, když se srovnávané barvy liší ve všech 3 attributech, než když se jedna nebo dvě jejich hodnoty shodují.
- Zhoršení výkonu může způsobit modifikace diskriminační úlohy spočívající v prostorovém odsazení obou barevných vzorků, při němž pozorovatel přichází o simplexní informaci z oblasti přechodu.
- Jiná modifikace, kdy barvy nejsou prezentované současně, ale s časovým odstupem, vede k radikálnímu zhoršení výkonu. V úloze srovnání testové barvy s barvou prezentovanou dříve jen o několik sekund, člověk spolehlivě rozezná jen přibližně 12 barev (Boyce, 2003).
- Výkon se mění s úpravou různých měřitelných vlastností podnětu, především jeho rozměrů, délkou prezentace a intenzitou osvětlení.

Bez ohledu na volbu experimentálního designu v diskriminační úloze a bez ohledu na zvolené parametry podnětu je zřejmé, že v sub-optimálních podmínkách přirozeného prostředí bude velikost nejmenšího postřehnutelného rozdílu a s ním i počet rozlišitelných barev uvedeným

hodnotám laboratorních měření velmi vzdálený. Vysoká rozlišovací schopnost jistě nachází i v běžných situacích našeho života své uplatnění a je pro člověka nepopíratelnou výhodou (viz oddíl o pomoci barev při hledání a rozpoznávání podnětu na str. xxx), ovšem nároky žádné ze situací se ani zdaleka neblíží laboratorně zjištěnému vjemovému potenciálu. Vzhledem k tomu, že za jednu z typických vlastností lidského vnímání lze považovat kategorizaci (viz str. xx), tak možná přiměřenější než „Kolik rozlišujeme barev?“ je otázka „Kolik existuje kategorií barev?“ a s ní související „Kolik rozlišujeme barev v jazyce?“

Kolik barev rozlišujeme v jazyce

Naše osobní zkušenost s barvami je zpravidla spojena s pojmenováním barev, s názvy barevných kategorií. Ve slovníku nebo i v žargonu designérů či reklamních tvůrců nalezneme obrovské množství slov a slovních spojení popisujících určitý barevný odstín. Jeden takový seznam obsahuje 7500 různých názvů (Kelly & Judd, 1976). Naprostá většina z nich ovšem pouze zachycuje drobné nuanční rozdíly a jejich použití se omezuje na zcela specifické situace s vysokými nároky na rozlišení. Základních barevných kategorií, názvů barev obecně srozumitelných a široce užívaných je naproti tomu jen omezený počet.

V antropologii, lingvistice a psychologii je dlouhodobě vedený spor o to, zda jsou existující pojmové kategorie univerzální nebo naopak jazykově (kulturně) podmíněné. Klíčové argumenty obou táborů se týkají právě oblasti vnímání a pojmenování barev. Z teorie lingvistického relativismu Sapira a Whorfa vyplývá, že vytyčení kategorií není objektivně dané, ale kulturně podmíněné, určené strukturou příslušného jazyka. Stoupenci této teorie poukazují na to, že slovníky barev v různých světových jazycích jsou rozmanité, obsahují bezpočet rozdílů. Ty nalezneme nejen při srovnání používaných barevných pojmů v jazycích tradičních kultur (přírodních národů) a zemí západního civilizačního okruhu. Ale například v ruštině není jeden název pokrývající oblast „naší“ modré barvy, nýbrž hned dva: *sinij* a *goluboj*. Polština a řečtina rozlišuje tvarů pro modrou ještě více. V maďarštině představují *piros* a *vörös* dva názvy odpovídající „naší“ červené. Experimentální výsledky výzkumu srovnávajícího skupinu rusky a anglicky mluvících osob navíc ukázaly, že rodilí Rusové dokážou v modré – „rozdílové“ – části spektra lépe odlišovat barevné rozdíly (Winawer et al., 2007).

Naproti tomu univerzalistická teorie vystavěná především na výsledcích srovnávacího výzkumu Berlina a Kaye (1969) zdůrazňuje bazální podobnost barevných kategorií v různých jazycích. Berlin a Kay si všimli toho, jak snadno převoditelné jsou z jednoho jazyka do druhého základní barevné pojmy, což by při arbitrarnosti barevných kategorií vyplývajících z relativistické teorie být neměly. Srovnáním 20 světových jazyků (Berlin & Kay, 1969) a později jazyků 110 převážně neindustrializovaných národů (Kay & Regier, 2003; Cook, Kay & Regier, 2005) zjistili, že v jednotlivých jazycích je možné nalézt od 2 do 11 základních barevných pojmů; s výjimkou ruštiny a maďarštiny je slovník barev „západních“ jazyků tvořený právě 11 základními kategoriemi. Co je ale podstatnější, fokální barvy – tedy barvy představující nejlepšího zástupce dané kategorie – jsou ve všech jazycích stejné (mají stejnou signaci v Munsellově katalogu barev). Nejvyšší míra shody v určení fokální barvy mezi jednotlivými jazyky přitom byla nalezená v případě černé, bílé, červené, zelené, modré a žluté, tedy barev shodujících se se základními barvami v Heringově fyziologické teorii oponentního procesu (viz str. xxx; pro slovenská data a pro detailnější popis Berlinova a Kayova výzkumu viz Rebrová & Takáč, 2010). Obě zjištění jsou podle autorů argumentem ve prospěch nativistické představy pojmů nezávislých na kultuře. Biologickou podmíněnost barevných kategorií rovněž podporují výsledky získané sledováním malých dětí. Bornstein, Kessen a

Weisskopfová (1976) ve svém výzkumu promítli čtyřměsíčním dětem nejprve pruh světla o vlnové délce 480 nm, které by dospělý hodnotil jako modré. Následně jim ukázali jiný pruh světla o vlnové délce buď 450 nm anebo 510 nm. V obou případech se nový světelný podnět odlišoval o 30 nm vzhledem k původnímu podnětu, ovšem v prvním případě bude dospělým vnímán jako modrý, kdežto ve druhém případě jako zelený. Autoři zjistili, že děti projevují zvýšený zájem o zelený podnět (pro popis habituace jako metody získávání informací o vnímání dětí v předřechovém stádiu vývoje viz str. xx), což naznačuje, že oba světelné podněty viděly jako zástupce odlišné kategorie a že hranice mezi kategoriemi modrá a zelená leží u dětí ve stejném místě viditelného spektra jako u dospělých. Podobné výsledky autoři získali i při sledování jiných kategorií barev.

Spor mezi zastánci relativismu a univerzalizmu přetrvává. Silnější argumenty k dispozici má, zdá se, strana obhajující existenci univerzálních kategorií, ovšem v poslední době byly publikované některé pozoruhodné protipříklady (Winawer et al, 2007; Roberson, 2000).

Bílá barva

Specifické postavení mezi barvami má bílá. Je to vůbec barva? A v jakém vztahu je k barvám jako je modrá nebo červená? Ve viditelném spektru tuto barvu nenalezneme. Na druhou stranu pojmenování bílá a černá (popř. ekvivalenty odpovídající světlé a tmavé) se objevuje ve všech světových jazycích, dokonce i v těch, které rozlišují pouze dvě barevné kategorie (Berlin & Kay, 1969; Heider, 1972). V době před Newtonem byla bílá barva považovaná za esenci čistoty, za základní ze všech barev, které podle představy vznikají kontaminováním bílého světla při kontaktu s předměty. Isaac Newton ve své demonstraci rozkladu bílého slunečního světla při průchodu skleněným hranolem prokázal mylnost této představy. Průchod nezpůsobil změnu barvy světla, ale rozklad paprsků, které už ve světle byly obsažené. Po průchodu druhým, opačně orientovaným hranolem se pás rozložených barev zpět složil na světlo bílé. Jak tato demonstrace ukázala, barvy nejsou modifikací bílého světla, nýbrž jeho komponentami. A bílé světlo není čisté, monochromatické, tvořené jedinou vlnovou délkou, ale skládá se ze všech spektrálních barev. Prakticky všechny světelné zdroje vysílají záření různých vlnových délek, ovšem zvláštností bílého světla je to, že všechny složky jsou v něm zastoupeny rovnoměrně. Zvláštností povrchu předmětu, který vnímáme jako bílý, pak je molekulární složení, které při odrazu umožňuje zachování vlastností dopadajícího světla. Konečně zvláštností činnosti oka při vjemu bílé je rovnoměrná aktivace všech tří druhů čípků (viz str. xxx).

Obr. 3.9 hranol

Mísení barev

Charakteristickou vlastností barev je možnost jejich mísení. Směs vzniklá složením dvou vstupujících barev vytváří barvu novou, podobně jako souzvuk tónů skládá akord. Ale zatímco jednotlivé tóny akordu můžeme při vnímání rozlišit, tak vjem barvy je nerozborný. Při vnímání nedokážeme určit, jaká kombinace dala vzniknout dotyčné barvě, ani zda je tato barva tvořená světlem jedné vlnové délky, nebo zda odpovídá složenému světlu. Užitečnost a význam mísení si uvědomíme, když sledujeme malíře, který roztírá po paletě barvy z tuby, jejichž pomocí se snaží na plátně zachytit co nejvěrněji pestrost barev vyskytujících se v přírodě. Nebo když při pohledu lupou na televizní obrazovku zjistíme, že všechny vykreslované barvy jsou tvořené pouhými třemi barevnými body. Existují dva typy mísení

barev – aditivní a subtraktivní –, které se liší podle toho, zda při skládání vstupujících barev dochází k součtu vlnových délek obou komponent, anebo k jejich odečtu.

Subtraktivní (odečítací) mísení se používá například v malířství a při tisku, kde se skládají substance, jako jsou pigmenty, barviva nebo inkousty, které pohlcují velkou část světla a odráží jen úzké pásmo vlnových délek. Nemísí se tedy přímo světlo, ale látky, na jejichž povrch světlo ze světelného zdroje dopadá. Malíři tvoří barvy mísením pigmentových barev na paletě. Pro výslednou směs je podstatné, že každá z barev absorbuje světlo jiných vlnových délek. Například modrý pigment odráží od povrchu nejvíce světla v oblasti krátkých vlnových délek, mnohem méně světla v oblasti středních vlnových délek a minimum světla v oblasti dlouhých vlnových délek. Žlutý pigment zase odráží především světlo o vlnové délce větší než 500 nm. Smísíme-li na paletě modrou a žlutou, absorpční schopnosti obou pigmentů se sečtou: Modrý pigment tak pohltí některé složky světla, které žlutý pigment odráží, a naopak žlutý pigment pohltí některé složky odrážené modrým pigmentem. Nepohlcená zůstane pouze ta část viditelného spektra, kterou v dostatečné míře odráží oba vstupující pigmenty, a ta se nachází v pásmu středních vlnových délek. Smísením modré a žluté tedy vznikne zelená, jak vědí už děti v mateřské škole. Při subtraktivním mísení se s každou další barvou rozšiřuje pásmo absorbovaných vlnových délek, každá další barva ubírá část původního světla (odtud pojmenování subtraktivní). Pokud bychom do směsi modré a žluté přidali ještě další barevné pigmenty, došlo by k absorpci celého pásma vlnových délek a výsledná barva by se změnila na tmavě šedou nebo černou. Mísením látek absorbujících světlo se vždy výsledná barva ztmavuje; zesvětlení podoby je možné pouze přidáním bílé pigmentové barvy nebo zředěním barev vodou. Bílou coby barvu tvořenou rovnoměrně všemi vlnovými délkami viditelného spektra mísením pigmentů získat nelze.

Obr 3.10 Subtraktivní mísení

Jestliže při subtraktivním mísení je výsledná barva směsi průnikem obou původních barev, tak při aditivním mísení je jejich součtem. Spektrální rozsah jednoho světla se rozšíří o pásmo vlnových délek specifických pro druhé světlo. Například když je bílé plátno osvětlené světly s modrým a se žlutým filtrem, pak v oblasti, kde se oba barevné kruhy překrývají, uvidíme bílou (viz obr. 3.11). Ve vzniklé směsi je totiž současně zastoupené pásmo krátkých, středních a dlouhých vlnových délek. Překrývání barevných světél na projekční ploše přes sebe, s nímž pracují například osvětlovači v divadle, není jedinou situací, kdy dochází k aditivnímu mísení. Ke stejnému výsledku povede i prezentování dvou světél, jejichž časové nebo prostorové parametry jsou pod hranicí rozlišitelnosti lidského oka. Již jsme se zmiňovali o iluzi pohybu při sledování po sobě jdoucích statických obrazů (viz str. xx-k1, ale také str. xxx-k6). Rovněž při rychlém střídání dvou různě zbarvených světél pozorovatel nedokáže oddělit jednotlivé fáze zobrazení a při zpracování dochází k překrytí a součtu vlnových délek obou světél, které určuje vnímanou barvu.

Obr 3.11 Aditivní mísení

Barvy zobrazované na televizní obrazovce nebo na papíru při tisku jsou poskládané z pouhých tří vstupujících barev. K jejich mísení podobně jako v předešlém případě nedochází v prostředí, tj. v místě jejich reálného výskytu. Jednotlivá světla vyzařují svou energii směrem k pozorovateli oku odděleně a jejich smísení je výsledkem až fyziologických procesů na sítnici. Jak je to možné? Světelné body – nebo přesněji jejich promítnutá velikost na sítnici – jsou svými rozměry menší, než je velikost receptivního pole (viz str. xxx). Při vnímání je tak nedokážeme odlišit od sousedních bodů a splývají nám. V oku jsou potom zpracovávány

dohromady, jako jeden celek, a výsledný vjem je součtem světelných vlastností v daném celku. Této zákonitosti si byli vědomí i postimpresionisté využívající při práci s barvami techniku pointilismu. Malíři jako Georges Seurat nebo Paul Signac namísto obvyklých linií nebo skvrn na plátno nanášeli různobarevné tečky nebo malé čtverečky. Pro pozorovatele, který zrovna nestojí v blízkosti takto zhotoveného obrazu (viz obr. 3.12), nejsou barvy na plátně vizuálně oddělené. Stavební prvky kompozice zůstávají pod hranicí rozlišitelnosti a při vnímání dochází k „optickému mísení“ barev, jak tento jev nazývali samotní postimpresionisté.

Obr. 3.12 Pointilismus

Ať už mísíme barvy subtraktivně nebo aditivně, z určitých tří barev je možné při správném poměru složit jakýkoliv existující barevný odstín. Těmito základními (primárními) barvami jsou pro aditivní mísení červená, zelená a modrá. Jak vidíme na obrázku 3.13a, kombinací červeného a zeleného světla při shodných poměrech intenzit obou světél vzniká barva žlutá, smísením červené a modré dostáváme purpurovou a smísením zelené a modré vzniká azurová. Překrytím všech tří světél vytváříme bílou. Naproti tomu základními barvami pro subtraktivní mísení jsou žlutá, azurová a purpurová, tedy právě ty barvy, které vznikají složením dvou základních aditivních barev. Podobně složením dvou základních subtraktivních barev vzniká některá ze základních barev pro aditivní mísení: Jak ukazuje obrázek 3.13b, žlutá s azurovou skládají zelenou, žlutá s purpurovou skládají červenou a azurová s purpurovou skládají modrou. Výslednou barvou při mísení všech tří základních subtraktivních barev je černá. Úpravou poměru intenzit jednotlivých světél v případě aditivního mísení a množství pigmentu či inkoustu v případě subtraktivního mísení je možné získat širokou paletu barev.

Obr. 3.13 Základní barvy pro obě mísení

Trichromatická teorie

V 18. století bylo zjištěno, že libovolnou barvu je možné smísit ze tří základních barev. Tento poznatek se stal významný pro formování jedné z klíčových teorií popisujících proces vnímání barev, trichromatické teorie. V dřívější době se v souvislosti s převodem světla tvořeného celým spektrem vlnových délek na jedinou vnímanou barvu podnětu uvažovalo pouze o dvou možnostech: buď sítnice obsahuje mnoho druhů čípků specializovaných na zpracování vždy jen jedné vlnové délky, nebo naopak je na sítnici jediný druh čípků zachycující světlo všech vlnových délek. Nahlíženo současnou perspektivou je zřejmé, že ani jedna z variant nekoresponduje příliš se skutečnou povahou vnímání: V případě platnosti první varianty by při sledování podnětu libovolné barvy docházelo k aktivaci pouze zanedbatelné části sítnice (za předpokladu schopnosti rozlišit 200 barevných tónů by na dopad světla na sítnici reagovalo pokaždé jen 0,5% z celkového počtu fotoreceptorů), což by nutně muselo vést ke snížení kvality základních funkcí zraku – rozlišení a citlivosti (viz str. xx). V případě platnosti druhé varianty by množství pohlceného pigmentu – což je surová informace, kterou fotoreceptory postupují dalšímu zpracování – nebylo možné jednoznačně vztáhnout ke konkrétní vlnové délce, a tím ani barvě. Ani jedna z krajních variant nemohla dlouhodobě obstát, bylo proto potřeba uvažovat o kompromisním řešení.

Myšlenka tří barev významných pro proces vnímání – tedy trichromatická teorie – se poprvé objevila v knize George Palmera z roku 1777. Palmer se ne zcela v souladu s dobovým přesvědčením domníval, že světlo je tvořené třemi barevnými paprsky (červeným, žlutým a modrým) a že tyto paprsky dopadají na povrch sítnice, která obsahuje tři odpovídající druhy

„částic“ (receptorů světla). Podstatně blíže porozumění komplexnosti vztahu světla a mechanismů vnímání na úrovni činnosti receptorů se dostal na počátku 19. století Thomas Young. Předně se pokusil vysvětlit, proč náš zrakový systém nemůže mít specifický mechanismus pro vyhodnocování všech existujících barev, a naopak argumentoval, že oko obsahuje omezený počet receptorů. Každý z nich podle Younga reaguje na širší pásmo vlnových délek a poměrná míra jejich aktivace předurčuje vnímanou barvu. Jednotlivé receptory jsou maximálně senzitivní k „červenému“, „zelenému“ a „modrému“ světlu. Myšlenku vnímání barev stojícího na součinnosti tří druhů fotoreceptorů významně rozpracoval o dalších 50 let později Hermann von Helmholtz. Ten své závěry stavěl na výsledcích řady psychofyzických experimentů s mísením barev, k nimž používal jednoduchou techniku navrženou o několik let dříve Jamesem Clerkem Maxwellem. (Maxwell uspořádal tři základní barvy na kruhový disk a úpravou velikosti výseče jednotlivých barev na disku při jeho otáčení mohl získat libovolný barevný odstín.) Helmholtz usoudil, že pásmo citlivosti všech tří fotoreceptorů na různé vlnové délky se musí překrývat, dokonce že každý z nich reaguje na celé spektrum vlnových délek, ovšem s různou intenzitou. Pokusil se odhadnout rozložení spektrální citlivosti jednotlivých fotoreceptorů (viz obr. 3.14), které moderní fyziologická měření do značné míry potvrdila. Helmholtz dále předpokládal, že informace o barvě zachycená třemi fotoreceptory je přenášena třemi odpovídajícími druhy neuronů do mozku k dalšímu zpracování.

Obr. 3.14 Helmholtzovy křivky

Výsledky psychofyzických experimentů a především pronikavý úsudek zmiňovaných badatelů vedly k formulování nástinu trichromatické teorie, někdy též nazývané Young-Helmholtzova: Dopadající světlo určité vlnové délky v různé míře stimuluje tři receptorové systémy na sítnici a jejich poměrná aktivace je základem pro výsledný vjem barvy. Například vjem žluté je výsledkem vysoké míry aktivace dvou receptorů reagujících zejména na světlo dlouhých a středních vlnových délek (L čípky a M čípky) a proporcčně výrazně nižší míry aktivace receptorů reagujících zejména na světlo krátkých vlnových délek (S čípky). Tuto obecnou představu o činnosti sítnice při vnímání umožnily konkretizovat fyziologické výzkumy až ve druhé polovině 20. století.

Kritickým pro ověření platnosti trichromatické teorie je určení spektrální senzitivity fotoreceptorů. To je sice koncepčně triviální, ale jak se ukázalo, technicky obtížně proveditelná a pracná úloha, vyžadující použití mikrospektrofotometru. Tento přístroj směřuje úzký světelný paprsek na vnější segment jediného fotoreceptoru, a dovoluje tak srovnání množství světelných částic procházejících přes receptor při a bezprostředně před světelnou expozicí. Podobnost obou hodnot značí, že zrakový pigment daného fotoreceptoru pohltil jen malou část exponovaného světla určité vlnové délky, naopak velký rozdíl indikuje, že došlo k pohlcení velké porce světelných částic. Absorbance je v přímém vztahu k senzitivě, tzn. čím větší část světla je pigmentem absorbovaná, tím je dotýčný fotoreceptor ke světlu dané vlnové délky více senzitivní. Opakovaným měřením absorbančních schopností fotoreceptorů je možné odvodit křivku absorbance pro různé vlnové délky. Výzkumy prováděné na člověku a jiných primátech (Brown & Wald, 1964; Marks, Dobbelle & MacNichol, 1964; Bowmaker & Dartnall, 1980) ukázaly, že sítnice obsahuje tři skupiny čípků s maximy absorbance při vlnových délkách 420 nm, 534 nm a 564 nm (viz obr. 3.15). Při detailnějším pohledu na graf nás jistě překvapí, že pozice maxim všech tří křivek nekoresponduje příliš s primárními barvami: Čípky bychom na základě fyziologických měření spíše měli – samozřejmě metaforicky – nazývat modrofialový, zelený a žlutozelený. Receptor reagující zejména na světlo dlouhých vlnových délek (L čípek) je dokonce k „červenému“ světlu o vlnové délce

630 nm srovnatelně senzitivní jako k „modrému“ světlu o vlnové délce 450 nm! Další významný pokrok úrovně poznání přinesla práce Nathanse, Thomase a Hognesse z poloviny 80. let. Autorům se podařilo izolovat geny rozhodující o proteinovém složení všech tří druhů pigmentů čípku (opsinu) a mimo jiné zjistili 96%-ní shodu v sekvenci aminokyselin u L čípků a M čípků a pouze 40%-ní shodu u M čípků a S čípků (Nathans, Thomas & Hogness, 1986).

Obr. 3.15 Absorpční křivky z Bowmaker & Dartnall, 1980

Teorie oponentního procesu

Trichromatická teorie pomáhá pochopit některé jevy spojené s vnímáním barev: Například to že vjem jedné a téže barvy může být vyvolán dopadem dvou světél s výrazně odlišnými spektrálními vlastnostmi nebo to jaké existují druhy barvosleposti. Řadu jiných jevů ovšem s její pomocí vysvětlit nelze.

V 70. letech 19. století za svého pobytu ve Fyziologickém ústavu v Praze prováděl německý fyziolog Ewald Hering pozorování týkající se vnímání a pojmenování barev. Administroval sledovaným osobám vzorník barev s úkolem vybrat základní psychologické, „čisté“ barvy, tj. barvy, které nemohou vzniknout kombinací jiných barev. Zjistil, že lidé do svého výběru zpravidla zařazují čtyři barvy – červenou, žlutou, zelenou a modrou –, a nikoliv tři, jak by naznačovala existence tří primární barev při mísení (viz str. xx) a předpoklad existence tří fotoreceptorů podle trichromatické teorie. Tyto čtyři barvy podle Heringa postačují k pojmenování všech barevných tónů, které můžeme popsat jejich kombinací: Fialová je kombinací červené a modré, oranžová je kombinací žluté a červené. Vzájemně kombinovat některé z „čistých“ barev při vnímání lze, jiné ovšem nikoliv. Výskyt červené v barvě například vylučuje současný výskyt zelené, podobně se vylučuje kombinace modré a žluté. Zmíněné dvojice barev jsou oponentní. Z těchto pozorování Hering, který se v tomto jakož i řadě jiných témat striktně vymezoval proti přístupu Hermanna von Helmholtze (viz Šíkl, 2001), usoudil, že zrakový systém je tvořen mechanismy, které reagují oponentně na různé vlnové délky a intenzitu světla. Jeden mechanismus nebo kanál zpracovává červenou a zelenou, přičemž při zpracování červené reaguje pozitivně (dnes bychom řekli, že dochází k jeho excitaci) a zelené negativně (dochází k jeho inhibici). Druhý kanál zpracovává modrou a žlutou, když aktivací reaguje na výskyt žluté a inhibicí na výskyt modré. Třetí kanál zpracovává bílou a černou a aktivace doprovází vyšší intenzitu světla, kdežto inhibice absenci světla. Aktivační a inhibiční procesy jsou podle Heringa výsledkem vzniku (zpracování bílé, žluté a červené) a rozpadu (zpracování černé, modré a zelené) chemických látek na sítnici.

Teorie oponentního procesu se po Heringově smrti na delší dobu dostala na okraj vědeckého zájmu. Obecně byla přijímána trichromatická teorie, s níž se myšlenka antagonických dvojic barev zdála být neslučitelná. Oživení přinesl teprve psychologický výzkum Hurviche a Jamesonové, kteří v 50. letech 20. století navrhli jednoduchý způsob, jak oponenti barev experimentálně demonstrovat. Vyšli z pozorování, že zastoupení „čisté“ barvy ve vnímané barvě podnětu je možné vyrušit přidáváním oponentní barvy. Například příměs zelené barvy se v tyrkysové nebo žlutozelené ztratí, když takto zbarvené podněty budou osvětlené monochromatickým „červeným“ světlem. Náplní samotného experimentu pak byla regulace množství oponentního světla při expozici různě zbarvených podnětů. V části viditelného spektra tvořené barvami s příměsí zelené se upravovalo množství „červeného“ světla, v části obsahující barvy s příměsí červené se naopak přidávalo „zelené“ světlo. Současně v oddílu spektra s podílem žluté se přidávalo „modré“ světlo a v oddílu spektra s podílem modré zase „žluté“ světlo. Autoři zjistili, že množství světla oponentní barvy potřebné k odstranění dojmů

zastoupení „čisté“ barvy v barvě sledovaného podnětu se při různém zbarvení podnětu, tj. při různých vlnových délkách, systematicky mění. Na obrázku 3.16a můžeme vidět, že při nejkratších vlnových délkách podnětu odpovídajících vjemu fialové, což je barva s příměsí červené, bylo potřeba přidávat „zelené“ světlo. Jeho množství se s narůstající vlnovou délkou snižuje, až při hodnotě přibližně 470 nm odpovídající „čisté“ modré podíl červené ve vnímané barvě mizí a s dalším nárůstem se ve vnímané barvě začíná objevovat zelená. Podíl zelené kulminuje při vlnové délce přibližně 520 nm, kdy je potřeba na vyrušení zelené přidat největší množství „červeného“ světla. Podobné výsledky vidíme na 3.16b pro kanál modrá-žlutá. Jediný významnější rozdíl v profilu křivek na obou grafech je v tom, že dokonce i při nejdelších vlnových délkách zůstávala ve vnímané barvě podnětu zastoupená žlutá, a tedy nebylo možné identifikovat přesnou spektrální pozici „čisté“ červené. Technika navržená Hurvichem a Jamesonovou (1957) přináší první empirické potvrzení platnosti Heringovy teorie, dovoluje určit spektrální pozici základních psychologických barev a také odhadnout sílu oponentního procesu (míru excitace či inhibice v daném kanálu) při prezentaci světla dané vlnové délky.

Obrázek 3.16 Výsledky Hurviche a Jamesonové

I když teorie oponentního procesu dokáže úspěšně vysvětlit existenci řady jevů spojených s vnímáním barvy, například paobrazy nebo párování komplementárních barev při barvosleposti, dlouhou dobu byla vědeckou komunitou přehlížena kvůli chybějícím fyziologickým dokladům. To se změnilo ve chvíli, kdy byly nalezeny některé indície ukazující, že se zrakový systém chová velmi podobně modelu navrženému Hurvichem a Jamesonovou. DeValois, Abramov a Jacobs (1966) metodou nahrávání aktivity jednotlivých neuronů identifikovali v corpus geniculatum laterale (CGL) makaka čtyři typy neuronů kódujících barvu. Jeden typ (+R-G) reagoval zvýšením aktivity (excitací) na prezentaci „červeného“ světla a snížením aktivity (inhibicí) na prezentaci „zeleného“ světla. Druhý typ neuronů (+G-R) naopak reagoval na prezentaci „červeného“ světla inhibicí a na prezentaci „zeleného“ světla excitací. Neurony třetího (+B-Y) a čtvrtého (+Y-B) typu byly podobně výběrově senzitivní k „modrému“ a „žlutému“ světlu (viz obr. 3.17). Další výzkumy (DeMonasterio et al., 1975) vedly k objevu oponentních buněk dokonce už v gangliových neuronech sítnice. Oponentní buňky nalezené v gangliích i v CGL mají charakteristické uspořádání, popsané ve druhé kapitole (viz str. xx). Zvláštností je pouze to, že středová a obvodová část receptivního pole přijímají signál každá z jiného druhu čípku. V důsledku pak například u +R-G typu neuronů stimulace středové části, která je maximálně senzitivní ke světlu dlouhých vlnových délek, vede ke zvýšení nervové aktivity dané buňky v případě prezentace „červeného“ světla. Stimulace obvodové části, maximálně senzitivní ke světlu středních vlnových délek, pak vede ke snížení nervové aktivity při prezentaci světla širšího pásma vlnových délek, nejvíce však v případě prezentace „zeleného“ světla.

Obrázek 3.17 Nervová aktivita buněk v CGL při prezentaci světla různých vlnových délek.

Od poloviny 20. století byla nalezena řada fyziologických dokladů podporujících platnost obou klíčových teorií vnímání barev. To je dosti překvapující, uvážíme-li jednak spekulativní, biologicky neukotvený původ obou teorií a jednak jejich předpokládanou protichůdnost. Nicméně moderní výzkumy ukázaly, že teorie nejsou v rozporu. Popisují totiž různé úrovně zpracování barev ve zrakovém systému. První fáze zpracování ve fotoreceptorech probíhá v souladu s předpoklady trichromatické teorie. Pro další zpracování pak dojde mezi všemi třemi typy čípků k subtraktivní interakci umožňující zpracování v oponentních neuronech na sítnici a v corpus geniculatum laterale: Kanál zpracovávající červenou a zelenou přijímá

oponentní signál z L čípku a M čípku. Kanál zpracovávající modrou a žlutou přijímá signál ze všech tří druhů čípků, přičemž S čípek je oponentní součtu M a L čípku.

Barvoslepost

Zhruba ve stejné době, kdy Thomas Young formuloval základní myšlenky trichromatické teorie, promluvil slavný anglický chemik John Dalton o své specifické zkušenosti s barvami. V přednášce pro Manchesterskou literární a filosofickou společnost popsal své problémy s rozpoznáváním chemikálií ve zkumavkách, neschopnost rozlišit mezi barvou červeného pečetidla a zeleného listu vavřínu či barvou karmínové stuhy a bláta, jakož i svou fascinaci proměnou barvy růžového květu kakostu z „blankytně modré“ za denního světla na „žlutou s nepatrnou příměsí červené“ ve světle svíčky (Hunt, Dulai, Bowmaker & Mollon, 1995). Dalton byl tak jedním z prvních, kdo se pokusil o popis a vysvětlení poruchy barvocitu (vnímání barev), kterou poněkud nepřesně nazýváme barvoslepost a pro niž se v některých jazycích včetně češtiny, ruštiny a francouzštiny vžil rovněž alternativní název daltonismus.

Barva není objektivizovatelná fyzikální veličina, nýbrž výsledek aktivity mozku a mysli. Z toho důvodu můžeme jen obtížně uhadovat, nakolik se vnímaná podoba barev mezi různými lidmi shoduje nebo naopak liší. Neexistuje způsob, jak porovnat vjem červené jednoho člověka a vjem červené druhého člověka, otázka je nezodpověditelná. Ovšem vzhledem ke shodné biologické dispozici je jistá míra univerzálnosti podoby barvy a tím i převoditelnosti zkušenosti docela pravděpodobná. Naproti tomu prožitek člověka s poškozením některého z orgánů účastnících se zpracování barvy bude zcela jistě diametrálně odlišný. Poruchy barvocitu jsou zpravidla zapříčiněné absencí nebo změnou zrakového pigmentu v některém z druhů fotoreceptorů na sítnici; dopadající světlo je (v tomto případě) zachycené a zpracované pouze pomocí dvou či dokonce jen jednoho druhu čípků, případně mohou být zachované na sítnici tři druhy čípků, jež ovšem fakticky plní funkci dvou. Společná všem poruchám barvocitu je limitovaná schopnost rozlišovat barvy a rovněž nižší počet barev zastoupených ve spektru, naopak různá je u jednotlivých poruch konkrétní podoba vnímaných barev. Popišme nyní ve zkratce jednotlivé varianty postižení.

Tabulka 3.1 Četnost výskytu. Výskyt není konstantní ani rasově, ani pohlavně. Celkový počet jedinců s některou z poruch barvocitu se u bělochů odhaduje na 8%, u Asiatů na 5% a černochů na 3% (Hurvich, 1981). Vyšší výskyt barvosleposti mezi muži je způsobený skutečností, že na X-chromozomu...

Nejmírnější a současně nejrozšířenější forma barvosleposti se nazývá anomální trichromazie. Projevuje se posunem spektrální citlivosti jednoho druhu čípků, který má za následek změnu „rozložení sil“ jednotlivých barev viditelného spektra. Při protanomálii (anomálii prvního druhu čípků) je místo maximální senzitivity L čípku posunuté směrem ke kratším vlnovým délkám. Všechny barevné odstíny odpovídající světlu delších vlnových délek (červená, oranžová, žlutá a žlutozelená) jsou vnímané jako bledší a v tomto pásmu je citlivost a rozlišovací schopnost zraku snížena. Při deuteranomálii (anomálii druhého druhu čípků) je komplementárně místo maximální senzitivity M čípku posunuté směrem k vyšším hodnotám vlnových délek, což způsobuje pokles citlivosti v „zeleném“ pásmu spektra. Při tritanomálii (anomálii třetího druhu čípků), která se ovšem v populaci téměř nevyskytuje, je místo maximální senzitivity S čípku posunuté směrem k vyšším hodnotám vlnových délek.

Anomální trichromazie život svého nositele téměř nenarušuje, řada takto postižených jedinců si svého postižení za celý život ani nevšimne. Poněkud horší jsou projevy dichromazie, při které je zpracování barev zajištěné pouze dvěma druhy čípků. Jedinci s dichromazií pociťují problémy s určováním barev v obvyklých, každodenních situacích; jejich rozlišovací schopnost zdaleka neodpovídá počtu barev běžně užívaných v jazyce. Při protanopii (absenci prvního druhu čípků) se zdají být barvy odpovídající vlnové délce větší než 492 nm prakticky stejné. Všechny odstíny zelené, žluté, oranžové a červené se jeví dožluta. Omezeným vodítkem pro rozlišování jednotlivých barev mohou být rozdíly ve vnímaném jasu. Při deuteranopii (absenci druhého druhu čípků) se zdají být podobně dožluta všechny barvy odpovídající vlnové délce větší než 498 nm. Při tritanopii (absenci třetího druhu čípků) jsou obtížně rozlišitelné barvy odpovídající vlnové délce menší než 570 nm.

Případem úplné barvosleposti je monochromazie. Jedinci s tímto postižením jsou skutečně k barvám „slepí“, tzn. nedokážou barvy rozlišovat a při vnímání se řídí alespoň rozdíly ve vnímaném jasu. Monochromazie se vyskytuje ve dvou základních formách: Při tyčinkové achromazii, nazývané též achromatopsie, není funkční ani jeden druh čípků a zrakový vjem, který se pohybuje v dimenzi bílá, odstíny šedi a černá, je výsledkem pouze činnosti tyčinek. Zatímco v běžné populaci se tato forma poruchy barvocitu objevuje jen výjimečně (viz tab), na Pingelapu, tropickém ostrově v oblasti Mikronézie jí trpí každý desátý člověk a přenašečů je mezi místními obyvateli dokonce 30%. Oliver Sacks enormní výskyt tohoto vzácného onemocnění vysvětluje řáděním tajfunu v roce 1775, které přežilo pouze 20 obyvatel ostrova, z nichž jeden achromatopsií trpěl a stal se tak jejím přenašečem (Sacks, 1997). Při čípkové achromazii zajišťuje vnímání jediný funkční druh čípků, což opět rozlišení barev neumožňuje. Monochromazii ve většině případů doprovází další poruchy zraku: běžná bývá světloplachost, nystagmus a výrazně snížená zraková ostrost.

Poruchy barvocitu je možné diagnostikovat pomocí řady klinických testů. V praxi se nejčastěji používají pseudoizochromatické tabulky (např. Ishiharova sada, viz obr. 3.18). Obrázky na tabulkách jsou tvořené barevnými kolečky různých velikostí. Kolečka mají rozdílnou jasovou hodnotu, ovšem stejný barevný tón (odtud označení pseudoizochromatický), s výjimkou střední části obrazu, kde jsou kolečka v odlišném barevném tónu uspořádané do tvaru známého, rozpoznatelného znaku (např. číslice). Jedinec s poruchou barvocitu, „slepý“ k rozdílu barevného tónu ve figurální a pozadové části obrazu, bude registrovat především rozdíly v jasu bodů, což mu ovšem neumožní figuru „vytáhnout“, segmentovat od zbytku obrazu a tabulku nepřečte. Jedinec s nenarušeným barvocitem barevně odlišenou figuru nalezne a znak správně rozpozná. V testové sadě bývají zařazené tabulky umožňující diagnostikovat protan- i deuteranomálii, jakož i protan- i deuteranopii. Detailnější informace o povaze a rozsahu barvosleposti poskytuje anomaloskop. Tento přístroj promítá na jednu polovinu testové plochy monochromatické světlo o vlnové délce 589 nm (odpovídá žluté barvě) a na druhou polovinu se zobrazuje směs dvou světél o vlnové délce 670 nm (odpovídá červené barvě) a 546 nm (odpovídá zelené barvě). Vyšetřovaný jedinec upravuje poměry obou světél ve směsi tak, aby získal v obou částech testového pole subjektivně stejnou barvu. Člověk bez poruchy barvocitu nastaví zastoupení barev ve směsi vyváženě, pacient s protanomálií či protanopii pro získání ekvivalentního vjemu potřebuje navýšit podíl červené složky a pacient s deuteranomálií či deuteranopii naopak navyšuje podíl zelené složky.

Obr. 3.18 Ishihara

Jaké to je být barvoslepý? Položit si takovou otázku není nikterak neetické, odpovídá lidské zvědavosti o podobě možných světů. V předešlých odstavcích padla zmínka o tom, že pacient

s protanopií a deuteranopií vnímá světlo delších vlnových délek jakoby bylo zbarvené dožluta. Taková informace ovšem naši představu o tom, jak vlastně barvoslepý jedinec vidí svět, příliš nekonkretizuje. Podobně moc nepomůže se člověka s poruchou barvocitu na podobu vnímaného světa zeptat. Barvu trávy, která se zdravému i postiženému jedinci bude jevit nejspíš dost jiná, oba shodně nazvou „zelená“. Barvoslepí v životě používají všechny barvy, ale co pro ně vlastně znamenají? Něco lze zjistit od raritních případů lidí barvoslepých na jedno oko (jednostranná dichromazie). Dozvíme se například, že mají zbytkovou rozlišovací schopnost na ose červená-zelená

Na základě dostupných znalostí o míchání barev a vlivu absence jednoho druhu fotoreceptorů na podobu vnímání jednotlivých barev je možné se pokusit simulovat, jak asi mohou objekty a scény reálného světa vypadat očima barvoslepého (viz obr)

Být barvoslepý pochopitelně postiženého člověka citelně handicapují. Problémy mohou nastat při každodenních činnostech, jako je hledání shodného páru ponožek, snaha o sladění jednotlivých kusů oblečení nebo hledání zralých jahod na záhonku. Barvoslepí ale mohou být limitováni i při výběru povolání. V řadě profesí přináší schopnost adekvátně rozpoznávat barvy užitečnou informaci (chemik, designér, krejčí, zahradník, malíř pokojů), v některých je barvocit dokonce podmínkou přijetí do zaměstnání (řidič dopravních prostředků, pilot, požárník, policista). Výhod je podstatně méně, ale i ty se překvapivě nějaké najdou – vidí lépe kamuflované objekty (zelená na zeleném podkladě) – nevidí sice zralou jahodu, zato si snadno všimnou hrachového nebo fazolového lusku, barvoslepí entomologové jsou mimořádně úspěšní při nalézání nových druhů hmyzu, v době války se hodí mít v mužstvu barvoslepého ostřelovače.

Chybí:

Barevné vidění zvířat

Konstantnost a kontrast

Literatura:

Jaroslav Brožek: Uvedení do práce s barvami 1995

Vaňková Co na srdci

Chromý 2010 synestetická přehledovka

Tanaka & Presnell, 1999 z Sekuler 235 1.

Oliva & Schyns, 2000 z Goldstein 143 1.

Johnson & Clydesdale, 1982 z

http://psych.mcmaster.ca/31l3/Assignments_files/Zellner,%202003%20.pdf

Clydesdale et al, 1992 dtto

Zellner & Kautz 1990 dtto

Encyclopedia 2010 heslo Color Perception

Color space and its divisions: color order from antiquity to the present By Rolf G. Kuehni 2003

Danilova, M. V. & Mollon, J. D. (2010). Parafoveal color discrimination: A chromaticity locus of enhanced discrimination. *Journal of Vision*, 10(1):4, 1-9

Winawer, J., Witthoft, N., Frank, M. C., Wu, L., Wade, A. R., & Boroditsky, L. (2007). Russian blues reveal effects of language on color discrimination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 7780–7785.

Human factors in lighting By Peter R. Boyce 2003

Kelly & Judd, 1976

M. Bornstein, W Kessen, and S Weiskopf (1976) The categories of hue in infancy. *Science* 191, 201-202.

- Berlin, B., Kay, P.: *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*. Berkeley, CA: University of California Press. 1969.
- Kay, P. and Regier, T.: Resolving the question of color naming universals, *PNAS (Proceeding Atlantic...)* 100, 2003. pp. 9085-9089
- Cook, R. S., Kay, P, Regier T.: The World Color Survey database: History and use. In Cohen, H. Lefebvre, C.: *Handbook of Categorization in Cognitive Science*, St. Louis: Elsevier, 2005.
- Rebrová, K., Takáč, M.: Vnímanie a pomenovávanie farieb a farebných kategórií, In Kvasnička V., et. al.: *Umelá inteligencia a kognitívna veda II*, Slovenská technická univerzita, 2010.
- Roberson, D., Davies I. & Davidoff, J. (2000) Colour categories are not universal: Replications and new evidence from a Stone-age culture. *Journal of Experimental Psychology: General* , 129, 369-398.
- Kenneth L. Kelly and Deane B. Judd. National Bureau of Standards special publication 440. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, December 1976
- Heider [Rosch], E. Universals in color naming and memory. *Journal of Experimental Psychology* 93. 1972. pp. 10-20.
- P. K. Brown and G. Wald (1964) Visual Pigments in Single Rods and Cones of the Human Retina. *Science* 144, 45-52.
- Marks W.B., Dobbelle W.H., MacNichol J.R. (1964) Visual pigments of single primate cones. *Science* 143: 1181-1183.
- Bowmaker JK, Dartnall HJ (1980) Visual pigments of rods and cones in human retina. *J Physiol.* 298: 501-511.
- Nathans J, Thomas D, Hogness DS (1986) Molecular genetics of human color vision: the genes encoding blue, green, and red pigments. *Science* 232:193–202.
- Šikl 2001 Helmholtz
- Hurvich, L. M. & Jameson, D. 1957. An opponent-process theory of colour vision. *Psychological Review* 64, 384–404.
- DeValois, R.L., Abramov, I., and Jacobs, G.H. (1966). Analysis of response patterns of LGN cells. *J. Opt. Soc. Am.* 56, 966–977.
- DeMonasterio, F. M., Gouras, P. & Tolhurst, D. J. (1975). Concealed colour opponency in ganglion cells of the rhesus monkey retina. *Journal of Physiology* 251, 217–229.
- D. M. Hunt, K. Dulai, J. K. Bowmaker and J. D. Mollon (1995) The chemistry of John Dalton's color blindness. *Science* 267, 984-988.
- Hurvich, 1981, *Color Vision*
- Oliver Sacks. *The Island of the Colorblind and Cycad Island*. New York: Alfred A Knopf, 1997.