

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

MOŽNOSTI VYŠETRENIA FAREBNÉHO VIDENIA

Bakalárska práca

VYPRACOVAL:

Adam Olejár

Odbor: OPTOMETRIA

študijný rok: 2011/2012

VEDÚCI BAKALÁRSKEJ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prehlásenie:

Čestne prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím literatúry uvedenej na konci práce, pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D.

V Olomouci dňa: 15. 5. 2012

.....

Adam Olejár

Obsah

1	ÚVOD.....	5
2	ANATÓMIA ZRAKOVÉHO APARÁTU.....	6
2.1	Očná buľva (bulbus oculi).....	6
2.1.1	Tunica nervosa (vnútorná vrstva)	6
2.2	Zraková dráha.....	9
3	FARBA A FAREBNÝ VNEM.....	10
3.1	Charakteristika farby.....	10
3.2	Miešanie farieb.....	11
3.3	Meranie farieb	12
3.3.1	Farebné videnie.....	15
3.4	Spektrálna citlivosť oka	15
3.5	Teórie farebného videnia.....	16
4	PORUCHY FAREBNÉHO VIDENIA.....	19
4.1	Vrodené poruchy farbocitu	19
4.1.1	Monochromázia	19
4.1.2	Dichromázia.....	20
4.1.3	Anomálna trichromázia.....	20
4.2	Získané poruchy farbocitu.....	22
5	VYŠETRENIE FAREBNÉHO VIDENIA	23
5.1	Rozlišovacie testy – PIC	24
5.1.1	Ishiharové tabuľky	24
5.1.2	Richmond HRR test 2002 4th edícia	26
5.1.3	Štandardný pseudoizochromatický test	27
5.1.4	Ďalšie PIC testy	28
5.1.5	Porovnanie testov.....	28
5.2	Zorad'ovacie testy.....	29
5.2.1	Farnsworth Munsell 100 Hue Test.....	30
5.2.2	Farnsworth-Munsell Dichotomous D15	33
5.2.3	Lanthony Desaturated D-15 Test.....	35

5.2.4	Lanthony New Colour Test.....	35
5.2.5	Holmgrenové bavlnky.....	36
5.3	Anomaloskop	37
5.4	Pracovné skúšky.....	38
6	ZÁVER	39
7	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	40

1 ÚVOD

Zrak má pre človeka dôležitý význam, keďže ním vnímame približne 80 % informácií z okolia. Zrak je dôležitý pre dostatočný vývoj psychiky aj motoriky jedinca.

Farbocit je schopnosť rozoznávať farby. Ľudské oko rozoznáva farby v rozsahu viditeľného spektra (v rozsahu 379 – 760 nm). Vznik farebného videnia je veľmi zložitý proces, ktorý ešte dnes nie je úplne odhalený a pokrokom vedy sa vždy prichádza na nové poznatky. Farby nemajú len funkčný význam, ale pôsobia tiež na psychiku, pocity a nálady. Môžeme povedať, že o tom, ako vnímame farbu nerozhoduje farba ako taká, ale tiež fyzikálne, psychologické a fyziologické faktory. V bežnom živote si v dnešnej dobe už ani neuvedomujeme farebné videnie, berieme ho ako samozrejmosť. Väčšinou si to uvedomíme až pri jeho strate.

Poruchy farbocitu postihujú približne 8,5 % populácie, z toho 8 % sú muži a 0,5 % ženy. Poruchy farbocitu sú bežné poruchy, ktoré majú pre život význam. Optometristi by mali vykonávať toto vyšetrenie, keďže bolo zistené, že osoby, ktoré vedeli o svojom deficite sa lepšie prispôbili na normálny život a vyhli sa komplikáciám s tým spojených.

Cieľom bakalárskej práce je priblížiť základné časti oka, ktoré sú dôležité pre proces farebného videnia. Zoznámiť čitateľa so základnými charakteristikami farby, vzniku a merania farieb. Hlavná časť je zameraná na základné roztriedenie testov farebného videnia. Existuje veľmi veľa rôznych modifikácií testov, preto sa pokúsime o prehľadné rozčlenenie a popísanie jednotlivých pravdepodobne najpoužívanejších testov. V ďalšej časti sa pokúsime kvalitatívne zhodnotiť on-line test voľne dostupný na internete.

2 ANATÓMIA ZRAKOVÉHO APARÁTU

V tejto kapitole sa zameriame hlavne na časti spojené s farebným videním. Konkrétne sietnica a s ňou spojené tyčinky a čapíky. Ďalej to bude zraková dráha.

2.1 Očná buľva (bulbus oculi)

Očná buľva je párový orgán, ktorý má približne guľovitý tvar a je uložený v kostenej schránke (očnici). Jeho predozadná dĺžka je priemerne 24 mm u dospelého človeka. Stenu očnej buľvy tvoria tri vrstvy:

- Tunica fibrosa
- Tunica vasculosa
- Tunica nervosa

Z týchto troch vrstiev sa zameriame na poslednú Tunica nervosa, ktorá je pre proces farebného videnia veľmi dôležitá a v rámci práce postačujúca.

2.1.1 Tunica nervosa (vnútorná vrstva)

Vnútorná vrstva je tvorená sietnicou.

2.1.1.1 Sietnica (*retina*)

Sietnica, tiež nazývaná retina je svetlocitlivá vrstva tkaniva v zadnej časti vnútorného oka. Funguje podobne ako film vo fotoaparáte. Veľmi jemná, transparentná blanka ružového zafarbenia, ktorá je voľne priložená na cievnatke a pevne fixovaná len v oblasti ora serrata. Rozlišujeme na nej dve časti. Časť optickú, ktorá v oblasti ora serrata prechádza v časť slepú, kde sú výrazne redukované svetlocitlivé elementy, ktoré úplne chýbajú v mieste papily, tiež nazývaná slepá škvrna (miesto výstupu nervových vlákien zo sietnice do zrakového nervu). Hlavnou úlohou sietnice je prijať do oka dopadajúce svetelné lúče a následne ich premeniť na elektrické impulzy, ktoré sú ďalej vedené zrakovou dráhou do mozgu. Táto premena je veľmi zložitý fotochemický proces, ktorý bude vysvetlený ďalej.

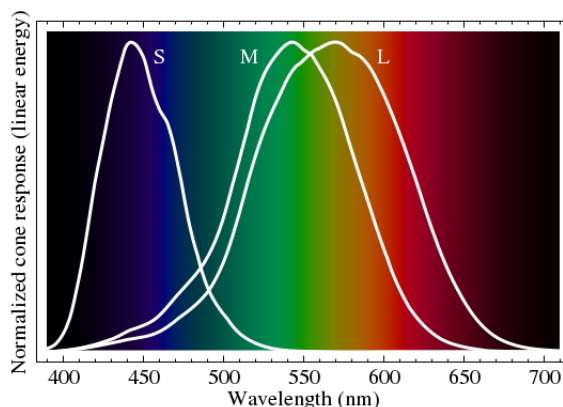
Obsahuje fotoreceptory tyčinky a čapíky. My si podrobne popíšeme čapíky, ktoré sú pre farebné videnie dôležité.

Tyčinky

Ich počet je uvádzaný okolo 120 miliónov. Slúžia predovšetkým k periférnemu vedeniu a videniu za šera. Tomu tiež zodpovedá ich rozloženie na sietnici, s výnimkou fovea centralis sú zastúpené v rôznej hustote v celej sietnici až k ora serrata. Na každej tyčinke môžeme rozoznávať dva hlavné úseky – vonkajší a vnútorný. Vonkajší je ďalej rozdelený na dve časti vonkajší a vnútorný výbežok. Vonkajší výbežok obsahuje disky, kde je lokalizovaný zrakový purpur (rhodopsin), čo je na svetlo citlivá substancia nachádzajúca sa len v tyčinkách, ktorá umožňuje svojou chemickou prestavbou tvorbu nervových impulzov. Vnútorný úsek vytvára jadro a nervové vlákno, ktoré ďalej vedie do vnútra sietnice a tam sa spojuje s bipolárnymi bunkami.

Čapíky

Ich počet je uvádzaný okolo 6 – 7 miliónov, čo je v porovnaní s tyčinkami veľmi malý počet. Rozmiestnenie čapíkov na sietnici nie je rovnomerné. Najväčší počet sa nachádza v mieste o priemere 3 – 5 mm nazývanom *makula lutea* (žltá škvrna), je to centrálna krajina na zadnom póle oka. Miestom najostrejšieho videnia je potom označovaný stredný úsek centrálnej krajiny – *fovea centralis* o priemere 1,5 mm. Z tohto miesta sú mimo vlastných čapíkov odtlačené ostatné vrstvy sietnice spolu s bipolárnymi a gangliovými bunkami. V strede fovey sa nachádza *foveola*, kde sa nachádzajú len čapíky. Smerom k periférii ich počet klesá, vo fovee je ich hustota $150\,000/\text{mm}^2$, v troch milimetroch od fovey je to už len $85\,000/\text{mm}^2$ a k periférii sa počet stále znižuje. To tiež fyziologicky zodpovedá schopnosti rozlišovať farby, ktorá je najlepšia v žltej škvrne a postupom k periférii sa znižuje najprv pre zelenú, červenú a nakoniec i pre modrú farbu. Rozlišujeme tri druhy čapíkov, ktoré bývajú označené L-čapíky (long), M-čapíky (medium) a S-čapíky (short). Zastúpenie čapíkov s rôznou maximálnou absorpčnou citlivosťou nie je rovnomerné. Sú v pomere 1:16:32. Najviac je L-čapíkov, ich maximálna citlivosť je pre oblasť červenej, nasledujú M-čapíky s maximálnou absorpciou v zelenej oblasti a najmenej je S-čapíkov s maximom v modrej farbe (obr. č.1).



Obr. č.1: Citlivosť čapíkov (S, M, L)

Anatómia čapíku:

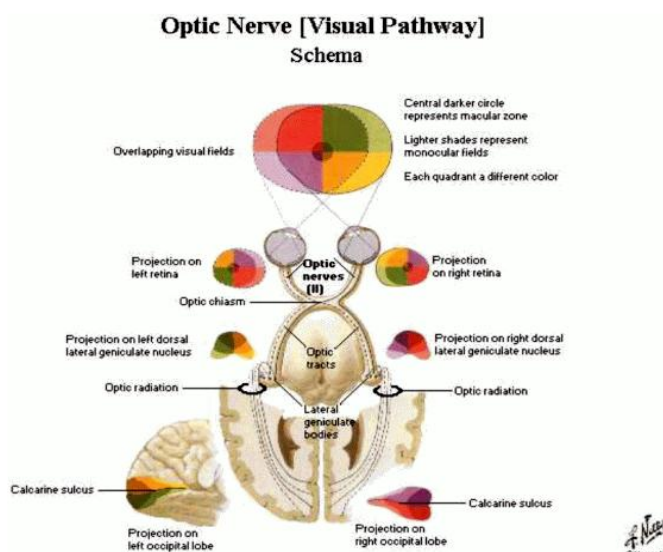
Čapíky majú podobnú štruktúru ako tyčinky a podobné základné časti. Skladajú sa z vonkajšieho a vnútorného úseku. Vonkajší úsek predstavuje vlastný čapík, ktorý je obdobou dendritov v nervových bunkách, obsahuje svetlocitlivý element a reaguje na podráždenie. Skladá sa z troch častí: 1. *vonkajší segment* - tvorí približne tisíc guľovitých diskov s orientáciou kolmo k čapíku. Disky sú sploštené vaky inak označované ako *sakuly*. V čapíkoch sa bunečná membrána vonkajšieho segmentu vychlipuje a vytvára mechúriky, ale nie je u nich oddelené vnútro bunečného terča, ako to majú tyčinky. Štrukturálne sú to lipoproteínové membrány plávajúce v matrix. Táto časť neustále dorastá a je pohlčovaná pigmentovým epitelom sietnice, čo bolo preukázané autoradiografiou. Disky majú menšiu hrúbku ako tyčinky, ale sú viac na seba nahromadené. Tieto diskové obsahujú *jodopsin*. Pri dopade svetelných lúčov dochádza k ich prestavbe na molekulovej úrovni a svetelné impulzy sa menia na nervové vzruchy. 2. *prechodná zóna* – medzi segmentami má hustú vlákňitú štruktúru. 3. *vnútorný segment* – rovnako ako vonkajší segment vyčnieva vonku od membrány limitans externa sietnice. Vnútorný segment je široký a obsahuje množstvo čapíkových mitochondrií v tvare nazývanom *elipsoid*. V mitochondriách prebiehajú oxidačné procesy. Nahromadenie mitochondrií je väčšie ako u tyčiniek. Vo vnútornej štruktúre mitochondrií sa nachádza Golgiho komplex zložený z endoplazmatického retikula a nervových vlákien. Ďalšou súčasťou vnútorného segmentu je *myoid* obsahujúci glykogen a ribozomy. Myoid sa volá preto, že u nižších obratlovcov má schopnosť kontraktility a podľa osvetlenia mení dĺžku receptora. Vonkajší úsek je u čapíkov silnejší, tvarom pripomína kužeľ. Tento tvar sa v centrálnej krajine mení na užší, lebo sa ich tam nachádza omnoho väčšie množstvo. *Vnútorný úsek*

predstavuje bunečné jadro, nachádzajúce sa priamo pod vnútorným segmentom vonkajšieho úseku. Môžeme tu vidieť i jednotlivé nervové vlákna, ktoré vytvárajú synapsie s bipolárnymi bunkami.

[1, 2, 4, 8]

2.2 Zraková dráha

Zraková dráha slúži k prevodu podráždenia z oka do mozgovej kôry. Začína v zmyslových bunkách sietnice a končí až v zrakových centrách v mozgovej kôre. Zmyslové bunky sietnice menia svetelné impulzy na elektrické, a tie ďalej prenášajú bipolárne a gangliové bunky pomocou synapsií až k očnému nervu. Očný nerv začína na papile, prebieha v tukovom tkanive orbity dozadu, prestupuje kosteným kanálom očného nervu do strednej jamy lebečnej až k chiasmate. Z chiasmatu vystupujú dva optické trakty, v ktorých pokračujú nervové vlákna do *corpus geniculatum laterale*, ktoré sa tiež označuje ako primárne zrkové centrum. Tu končí druhý neurón zrakovej dráhy a začína tretí. Odtiaľ zrková dráha pokračuje do *Radiatio optica* a potom až do okcipitálneho mozgového laloku.



Obr. č.2: Zraková dráha

Na zrakovej dráhe teda rozoznávame sietnicu, papilu, očný nerv, chiasma, optické trakty, primárne zrkové centrum, *Radiatio optica* a kôrové zrkové centrum.

[1, 2, 4, 8]

3 FARBA A FAREBNÝ VNEM

Farbu definujeme ako psychofyzologický vnem sprostredkovaný ľudským okom. Fyzici popisujú farbu ako rozklad svetla na jednotlivé farebné zložky. Farebné videnie je subjektívne a závisí od viacerých faktorov, ako je spektrálne zloženie svetla, rozloženie energie dopadajúceho svetla podľa jednotlivých vlnových dĺžok atď. Zloženie spektra vyvoláva objektívne podráždenie sietnice a farebný vnem vzniká až v mozgu.

3.1 Charakteristika farby

Farba je určovaná niekoľkými rôznymi faktormi. Z hľadiska fyzikálneho to sú fyzikálne pojmy, ktoré určujú charakter svetelného stimulu. Ďalej je farbám priradený tzv. subjektívny prívlastok, alebo tiež psychosenzorický pojem, ktorý ju charakterizuje z hľadiska ako ho vníma človek. Človek vníma asi 150 farieb v rozsahu viditeľného spektra svetla, celkovo viac ako 2000 odtieňov. Každá farba je charakterizovaná odtieňom farby.

Odtieň farby sa vyznačuje tromi nasledujúcimi znakmi:

Farebný tón (hue)

Farebný tón je subjektívnym vnemom ľudského zraku. Je určený vlnovou dĺžkou žiarenia dopadajúceho do oka. Vlnová dĺžka je fyzikálnou charakteristikou svetelného žiarenia a presne farbu určuje.

Sýtosť farby (chroma)

Sýtosť určuje obsah bielej farby, ale taktiež možná klasifikácia, že sýtosť farby udáva množstvo bieleho svetla zmiešaného s danou farbou. So znižujúcou sa sýtosťou farba jedného tónu bledne, stáva sa svetlejšia a nakoniec sa stráca v bielej. Z fyzikálneho hľadiska zodpovedá sýtosť čistote farby.

Jas (value)

Jas závisí od intenzity svetelného zdroja, alebo tiež naopak na absorbujúcej prímеси. Čím máme výkonnejší svetelný zdroj, tým je farba jasnejšia. Pri zvyšovaní

intenzity svetla sa tiež mení aj farebný odtieň. Po prekročení maximálnej intenzity vzniká vnem žltobielej farby pre všetky vlnové dĺžky. Jas môžeme tiež definovať ako miešanie farieb s nefarebnou radou (biela–šedá–čierna). Fyzikálne túto charakteristiku popisuje svetelnosť stimulu. Jas okrem iného závisí na vlnovej dĺžke svetelného zdroja.

[1, 2, 3, 4, 11, 13]

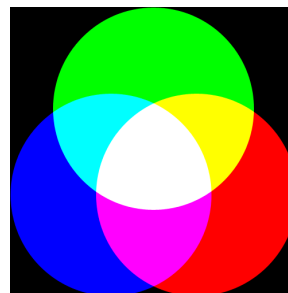
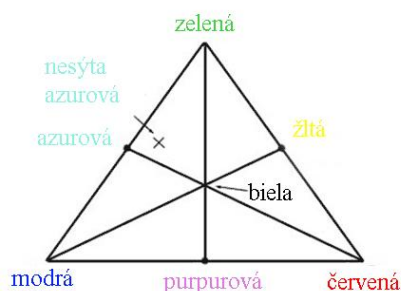
3.2 Miešanie farieb

Celkovo rozdeľujeme na dva typy: prvé tzv. aditívne miešanie farieb a druhé tzv. subtraktívne miešanie. My si podrobnejšie priblížime prvý typ, ktorý je pre danú prácu dôležitejší.

Aditívne miešanie farieb

Pri tomto miešaní sa jednotlivé zložky farieb sčítajú a vytvárajú svetlo väčšej intenzity. Výsledná intenzita sa teda rovná súčtu intenzít jednotlivých zložiek. Používajú sa tri základné farby (červená - Red, zelená - Green, a modrá - Blue). Zmiešaním svetla všetkých troch základných farieb vo vhodnom pomere vznikne svetlo bielej farby. Pokiaľ zmiešame svetlá dvoch základných farieb, vznikajú farby komplementárne (doplnkové) – žltá (červená a zelená), azúrová (modrá a zelená) a purpurová (červená a modrá). Kombináciou dvoch doplnkových farieb získame biele svetlo. Ďalšie farby získame zmenou pomeru základných farieb. Rozlišujeme aditívne miešanie farieb *objektívne* (k miešaniu dochádza mimo oka – napr. farebné reflektory svietiace na stenu) a *subjektívne* (vzniká na sietnici, alebo v mozgu – preukázateľne na rotujúcom kotúči s farebnými výsekmi).

Zákonitosti RGB trojuholníka (obr.č.3): Možné zmesi akýchkoľvek farieb sa nachádzajú na ich spojnici. Uprostred trojuholníka sa nachádzajú nesýte farby . Po obvode trojuholníka (okrem purpurových farieb – základňa trojuholníka) sa nachádzajú spektrálne farby. Zmiešaním doplnkových farieb vo vhodnom pomere získame bielu farbu [azúrová (Cyan) + žltá (yellow) + purpurová (magenta) = biela farba]. Viac v časti trichromatický farebný trojuholník.



Obr. č.3: RGB trojuholník (vľavo) a ukážka aditívneho miešania (vpravo)

Princíp aditívneho miešania farieb sa uplatňuje napr. na LCD monitoroch a TV obrazovkách.

Subtraktívne miešanie farieb

Pri tomto miešaní sa z mnohofarebného spektra odoberajú spektrálne zložky, prostredníctvom použitia farebných filtrov. Základné farby sú azurová (C), purpurová (M) a žltá (Y), zodpovedajú farebnej sústave CMY. Pre tlačiarne známa ako CMYK, kde K je čierna farba (pridaná z ekonomického dôvodu). Najväčší rozdiel medzi subtraktívnym a aditívnym miešaním farieb je, že nepracuje so svetlom, ale s pigmentmi.

[1, 2, 3, 4, 11, 13]

3.3 Meranie farieb

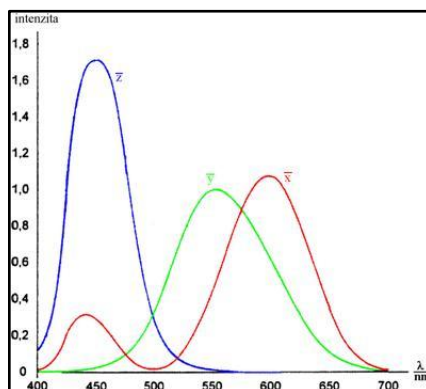
Pre niektoré účely potrebujeme určiť farbu jednoznačne a presne. K týmto účelom sa používa pomerne veľa rôznych systémov, medzi ktoré patrí aj **trichromatický systém CIE**, ktorý je používaný medzinárodne a **Munsellov systém farieb**, na základe ktorého sú založené tzv. zoraďovacie testy farebného videnia (viď. kapitola 5.2)

Trichromatický systém CIE

Tento systém je ako jediný medzinárodne uznávaný a štandardizovaný. Vychádza zo skutočnosti, že každú farbu môžeme napodobniť zmiešaním troch základných farieb a množstvo týchto troch základných farieb presne napodobňuje meranú farbu, a sú tak presnou charakteristikou tejto farby.

Trichromatický merací systém CIE používa tri základné svetlá X, Y, Z, ktoré sú ireálne. Tieto ireálne svetla môžu napodobniť všetky existujúce farby. Pri meraní

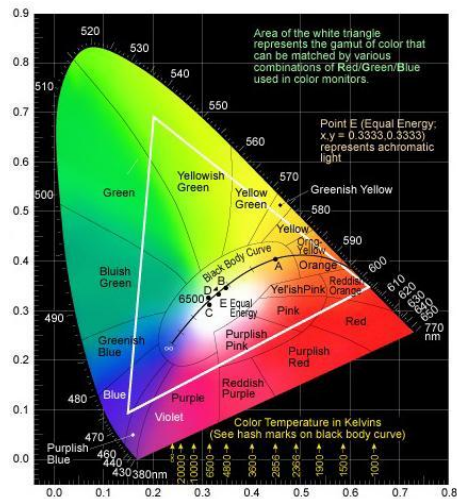
sa farba analyzuje podľa troch trichromatických členiteľov x , y , z , ktorých spektrálny priebeh je odvodený od vlastností ľudského oka pre vnímanie farieb (obr.č.4).



Obr. č.4: Trichromatické členy CIE

Takto zistíme, aké veľké množstvo ktorého členiteľa bolo potrebné k napodobneniu meranej farby. Tieto množstvá sa nazývajú trichromatické zložky a označujú sa veľkými písmenami X , Y , Z . Z nich potom normalizáciou (delenie každej zložky ich súčtom) získame trichromatické súradnice x , y , z a tie charakterizujú polohu farby v **trichromatickom (farebnom) trojuholníku CIE** (obr.č.5) a určujú chromaticnosť farby.

Farebný (RGB) trojuholník: Rohy tohto trojuholníka sú tvorené troma základnými farbami (červená, zelená, modrá) a na jeho obvode môžeme pozorovať vlnové dĺžky týchto čistých spektrálnych farieb, ktoré plynulo prechádzajú jedna do druhej. Určitý odtieň, ktorý sa nachádza v priestore tohto trojuholníka, môžeme potom lokalizovať a presne spočítať, pokiaľ vytvoríme spojnice medzi spektrálnymi farbami v grafe. Logicky sa v strede bude nachádzať biela farba. V spodnej časti môžeme vidieť purpurové farby, ktoré nemajú priradené vlnové dĺžky, pretože tvoria spojnicu medzi červeným a modrým koncom spektra. Ak zmiešame základné farby v rovnakom pomere dostaneme bielu farbu. Toto biele sfarbenie môžeme dosiahnuť, ak zmiešame dve komplementárne (doplňkové) farby. To sú tie, ktoré sa nachádzajú v trojuholníku oproti sebe a povahou sú si najviac odlišné. Týchto dvojíc je veľa. Medzi základne dvojice radíme červenú so zelenou, modrú s oranžovou, žltú s fialovou.



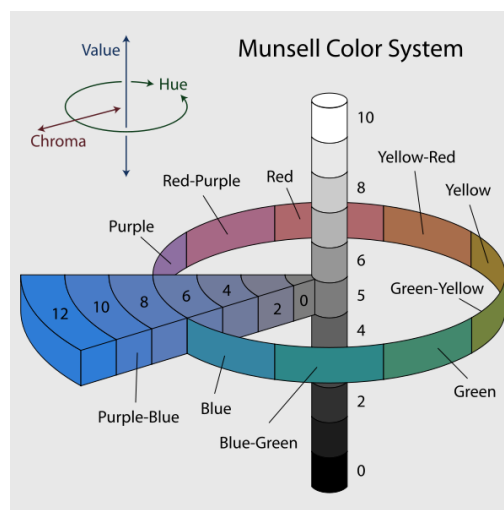
Obr. č.5: Trichromatický trojuholník

Munsellov systém farieb

Do tejto kategórie som ho zaradil, pretože na tomto systéme sú založené niektoré testy farebného videnia (FM100 Hue test, FM D15 a ďalšie).

Munsellov systém je farebný priestor, ktorý je určený podľa troch farebných rozmerov: tón (hue), jas (value) a sýtosť (chroma). Bol vytvorený profesorom Albertom H. Munsellom v prvom desaťročí 20. storočia. Prvý systém, ktorý bol systematicky navrhnutý trojrozmerný. Rozlišujeme päť odtieňov – červený (R), žltý (Y), zelený (G), modrý (B) a purpurový (P). Tieto odtiene vytvárajú ďalšie typy: RY, YG, GB, PB a RP. Každý odtieň sa delí na desať pododtieňov (1 RP – 10 RP). Z toho vyplýva, že Munsellov systém obsahuje celkom 100 odtieňov farieb.

[1, 2, 3, 4, 11, 13]



Obr. č.6: Munsellov systém farieb

3.3.1 Farebné videnie

Koncepcia farebného videnia je pomerne zložitá a základom je veľké množstvo rôznych skúsenosti, ktoré sú čiastočne závislé od povahy fyzikálnych stimulov a čiastočne závisia na štrukturálnej a funkčnej zvláštnosti vizuálneho pozorovacieho mechanizmu.

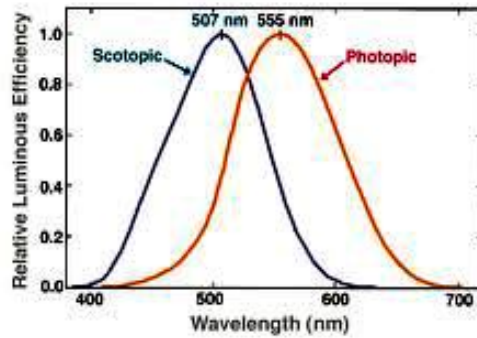
Najpodstatnejšou premennou je úroveň okolitého osvetlenia, ktorá určuje úroveň vizuálnej úpravy a tým aj zodpovedajúci vizuálny proces. Fotopické videnie je také, ak je oko prispôsobené dennému svetlu, mezopecké, ak je prispôsobené na šero, a skotopické, keď je oko prispôsobené minimálnemu množstvu svetla. Skotopické videnie produkuje iba rozdiely v jase, zatiaľ čo fotopické sprostredkúva aj farebné funkcie. Za týchto podmienok jas i farebné vlastnosti, ako je farebný odtieň a sýtosť, sú možné. Tieto vlastnosti spolu súvisia navzájom previazane. V situácii testovania je dôležité, že môžu byť od seba izolované. Napríklad, ak je možné rozlíšiť medzi položkami podľa pozorovania jasových rozdielov, potom aj v prípade, ak rozdiely odtieňa, alebo sýtosti sú prítomne, nemôže byť žiadny platný záver o farebnej poruche. Je preto nutné kontrolovať takéto premenné, ale bohužiaľ, nie je vždy možné urobiť skúšku materiálu (testu), a tak je dôležité, aby vyšetrujúci si bol vedomý týchto nedostatkov a testovanie bral s „kritickou“ myslou.

Môžeme teda povedať, že farba z fyzikálneho hľadiska neexistuje, a to, že farbu vnímame, je reakcia vzniku farebného vnemu na svetlo určitej vlnovej dĺžky.

[1, 2, 3, 4, 11, 13]

3.4 Spektrálna citlivosť oka

Ľudské oko je citlivé na svetelné lúče v oblasti 380 – 760 nm, pokiaľ sú lúče kratšie ako 380 nm sú pohlcované šošovkou. Pri testovaní citlivosti oka na rôzne zložky svetelného spektra za fotopických podmienok (pri adaptácii na svetlo) a za skotopických podmienok (adaptácia na tmu), získame dve rôzne krivky citlivosti. Fotopická čapíková citlivosť má maximum pri 555 nm, to zodpovedá žltozelenej farbe. Skotopická má maximum okolo 507 nm, zodpovedá modrozelennej farbe. Tyčinky majú nulovú citlivosť na vlnovú dĺžku v rozmedzí 620 – 770 nm, čo zodpovedá červenej farbe. (obr. č.7)



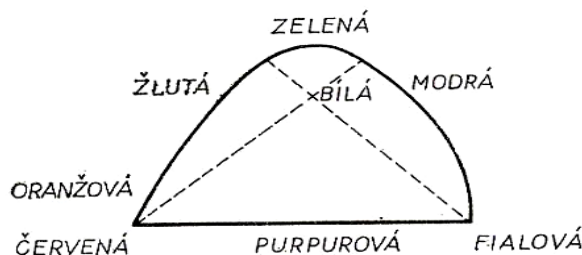
Obr. č.7: Spektrálna citlivosť oka

3.5 Teórie farebného videnia

Tento mechanizmus nie je ešte do dnes jednoznačne vyriešený. Preto existuje viac ako 40 teórií. My si uvedieme dve hlavné.

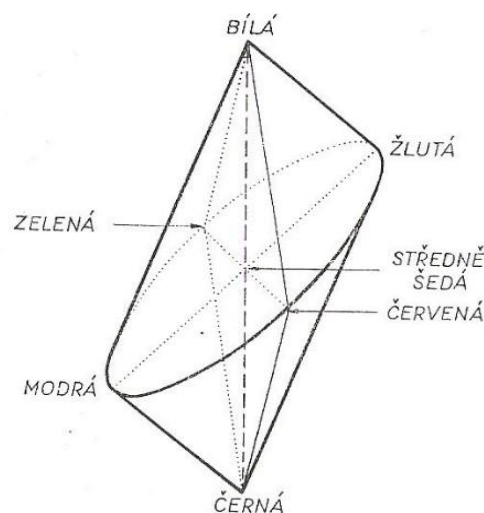
Prvá, ktorú si uvedieme, je tzv. **trichromatická teória farebného videnia**, je najrozšírenejšia. Táto teória sa zhoduje s modelom farebné videnia RGB (red-green-blue).

Trichromatická teória bola objavená už v 19. storočí a je spájaná s menami M.V. Lomonosova, Th. Younga a H. Helmholtza. Títo traja autori nezávisle od seba v rôznom časovom období dospeli k názoru, že všetky farby spektra je možné získať zmiešaním troch základných monochromatických farieb. Helmholtz predpokladal červenú, zelenú a violet. Lomonosov a Young za ne považovali červenú, žltú a modrú. Pre vnímanie týchto farieb tiež predpokladali, že v sietnici sa nachádzajú tri jednotlivé druhy elementov. Pri podráždení len jedného druhu tohto elementu vnímame jednu základnú farbu. Pri podráždení dvoch alebo troch súčasne vidíme farbu zmiešanú. Rovnomerné vnímanie všetkých troch vnímame ako bielu až odtiene šedej farby. Pokiaľ sietnica nie je dráždená žiadnym svetelným podnetom vnímame farbu čiernu. Možnosti miešania základných aj zmiešaných farieb vyplývajú z farebného trojuholníka J. Kriesa.



Obr. č. 8: Trojuholník podľa J. Kriesa

V dnešnej dobe je komplementárne k trichromatickej teórii braná aj tzv. oponentná **Heringhova teória farebného videnia** z roku 1872. Spektrálne farby môžeme zoradiť v rovnakom poradí, v akom sú v spektre do tzv. farebného kruhu a práve preto z tohto usporiadania farieb vychádzal pri vypracovaní svojej teórie E. Hering. Hering rozlišuje tri dvojice základných farieb, ktoré označuje ako „unfarben“ (prafarby). Tieto tri dvojice tvoria farby: červená a zelená, žltá a modrá, biela a čierna. Pre vnímanie týchto troch dvojíc predpokladal existenciu troch zložiek nervových elementov sietnice. V dvojiciach prebieha nepretržitá asimilačná a disimilačná činnosť, ktorých výsledkom je farebný vnem. Asimilačným pochodom vzniká vnem farby zelenej, modrej a červenej a výsledkom disimilačného pochodu je vnem farby červenej, žltej a bielej. Vzájomný pomer prafarieb a tiež ich možnosti miešania vyjadril Podesta šikmým dvojkuželom s elipsovitou základňou.



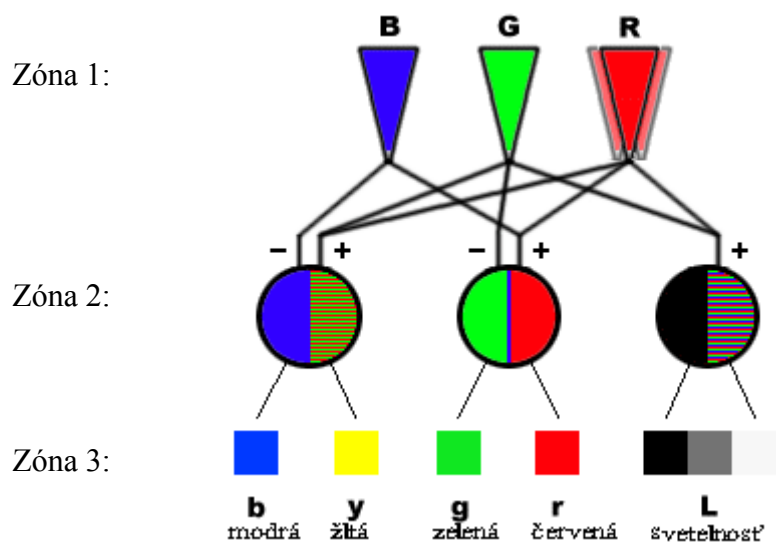
Obr. č.9: Podestov šikmý dvojkužel

Teória zón

Spojuje trichromatickú Young-Helmholtzovú a Heringovú teóriu. Dlhú dobu sa myslelo, že si navzájom odporujú, až ďalšími výskumami sa dokázalo, že obe tieto teórie majú význam pri vysvetľovaní procesu farebného videnia.

Teória procesu farebného videnia sa skladá podľa vedcov minimálne v dvoch fázach. Na úrovni receptorov prebieha podľa Young-Helmholtzovej teórie, ale signály z čapíkov pravdepodobne prechádzajú na úrovni nervových buniek kódovacím mechanizmom, ktorého princíp popísal Hering (ale, chybné ho umiestil na úroveň receptorov miesto nervových buniek). V nervovom spracovaní farebnej informácie ide o procesy vzruchov a útlmov (asimilácia a disimilácia) (obr. č.10).

Táto teória sa skladá z troch zón: 1. zóna: tri typy čapíkov absorbujú svetlo. 2. zóna: Signál z čapíkov je kódovaný do troch kanálov receptívnych polí. 3. zóna: na úrovni vyšších centier zrakovej dráhy (obr. č.10). [1, 2, 3, 4, 11, 13]



Obr. č.10: Teória zón

4 PORUCHY FAREBNÉHO VIDENIA

John Dalton, britský fyzik a chemik, ktorý ako prvý v roku 1974 vedecky vysvetlil podstatu farbosleposti. Po ňom bola nazvaná farbosleposť – daltonizmus.

Príčinou farbosleposti je absencia, alebo defekt pigmentu čapíku na sietnici oka. Väčšina farboslepých ľudí má poškodený len jeden z troch pigmentov, a preto stále dokážu rozpoznať niektoré farby. Závažnejšie poškodenie (dvoch aj všetkých troch druhov pigmentu) sa vyskytuje veľmi vzácnne.

Poruchy farbocitu môžeme deliť:

- Podľa pôvodu: vrodené a získane
- Podľa stupňa postihnutia: čiastočné a celkové
- Podľa postihnutej farby: protan, deutan a tritan

4.1 Vrodené poruchy farbocitu

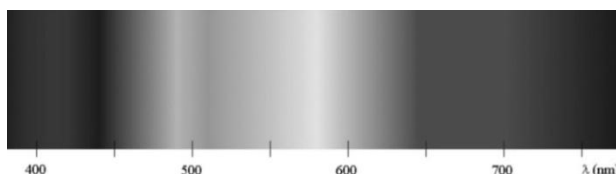
Vrodené poruchy majú dedičný charakter. Poruchy pre červenú – zelenú farbu, čo sú protanomália/-anopia, deuteranomália/-anopia, sú prenášané recesívnymi génmi, viazané na chromóm X (z tohto dôvodu je častejší výskyt u mužov ako u žien). Tritanomáliou/-anopiou sú postihnutí rovnako muži aj ženy, pretože postihnutý gen leží na siedmom autozóme. Výskyt vrodených porúch farebného videnia v populácii sa uvádza okolo 8% u mužov a len 0,5% u žien. [2, 3, 4, 5, 8, 10, 13]

Vrodené poruchy farbocitu – základné rozdelenie:

- Anomálna trichromázia
- Dichromázia
- Monochromázia

4.1.1 Monochromázia

Monochromázia je totálna strata farbocitu kvôli absencii alebo nefunkčnosti dvoch alebo všetkých troch druhov čapíkov. Pacientovi sa javí svet ako na čiernobielej fotografii. Vyskytuje sa pomerne zriedkavo.

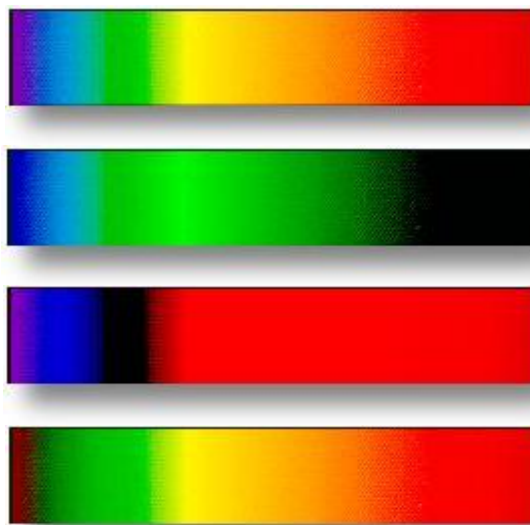


Obr. č. 11: Monochromázia

4.1.2 Dichromázia

Ľudia trpiaci touto poruchou majú k dispozícii len dva druhy čapíkov. Jeden druh chýba. Dôsledkom toho je, že sú schopný kvalitne rozlíšiť len tie farby, ktoré je možné namiešať z dvoch základných farieb. Pre tieto odchýlky používame príponu – anopia.

- Protanopia – porucha videnia červenej farby. Ľudia s touto poruchou nevedia rozoznať červenú farbu, ale odchýlne vnímajú aj farby v modrozelennej oblasti farebného spektra. Tieto farby rozlišujú len pomocou jasnosti a sýtosti. Výskyt je okolo 1% u mužov (obr.č.12).
- Deuteranopia – porucha vnímania zelenej farby, výskyt okolo 1,1% u mužov. Ľudia trpiaci touto poruchou nevnímajú odlišne len zelenú farbu, ale celé spektrum je posunuté k červenej oblasti. To znamená, že pacient má problémy najmä v červenozelenej oblasti (obr.č.12).
- Tritanopia – je to porucha vnímania modrej farby. Pomerne vzácna porucha asi 0,001% mužov v populácii (obr.č.12). [2, 3, 4, 5, 8, 10, 13]



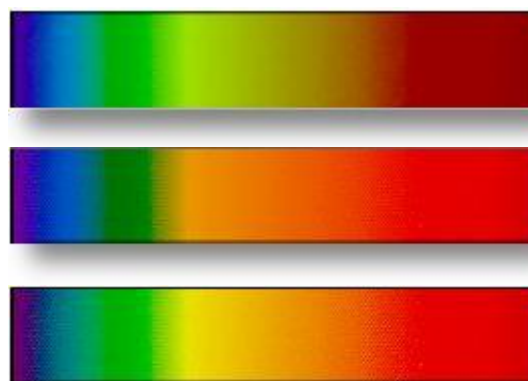
Obr. č.12: Zvrchu: normálne videnie, protanopia, deuteranopia a tritanopia

4.1.3 Anomálna trichromázia

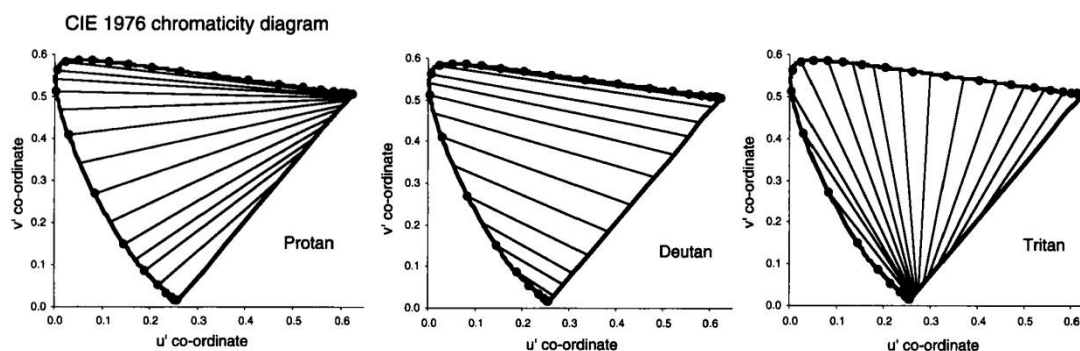
Sietnica s danou poruchou obsahuje všetky tri typy čapíkov, ale jeden z čapíkov má oslabenú funkciu. V dôsledku tohto dochádza k nesprávnemu miešaniu farieb, a tým k zníženiu vnímania niektorých farieb. Pre tieto odchýlky používame príponu - anomália.

Delíme ju na:

- Protanomália – znížené vnímanie pre červenú farbu. Vyskytuje sa asi u 1% mužov (obr. č.13).
- Deuteranomália – znížené vnímanie pre zelenú farbu. Najčastejšia porucha. Postihnutých je približne 5% mužov (obr. č.13).
- Tritanomália – znížené vnímanie pre modrú farbu. Pomerne vzácne sa vyskytujúca porucha (obr. č.13).



Obr. č. 13: Zvrchu: protanomália, deuteranomália a tritanomália



Obr. č. 14: Schematické znázornenie farebného trojuholníka so zámenou líniou pre protan, deutan a tritan poruchy

Protan – súhrnné označenie pre protanomáliu a protanopiu

Deutan – súhrnný názov pre deuteranomáliu a deuteranopiu

Tritan – súhrnný názov pre tritanomáliu a tritanopiu

[2, 3, 4, 5, 8, 10, 13]

4.2 Získané poruchy farbecitu

Získané poruchy farbecitu nemožno jednoznačne rozdeliť. Väčšinou sú dôsledkom chorôb a otravy (viď. tab.1), ale môžu mať tiež príčinu v zmenách optických prostredí oka, poruchách sietnice (spôsobuje problémy vo videní modrej a žltej časti spektra), alebo poškodenie zrakovej dráhy (zhoršené vnímanie červenej a zelenej oblasti). Na rozdiel od vrodených porúch sa vo väčšine prípadov vyznačujú nestálosťou, takže sa môžu časom zlepšiť alebo zhoršiť.

Ďalšiu skupinu získaných porúch farebného videnia tvoria chromatopsie (farebné vidy, majúce prechodný charakter). Patria tam napr. xantopsia (žltavé videnie), ktoré vzniká pri žltacke a predávkovaní niektorými liekmi. Erytropsia (červené videnie), ktorá môže vzniknúť pri oslnení oka. Ďalšie chloropsia (zelené videnie) a kyanopsia (modré videnie).

V tab. 2 uvediem základné rozdiely medzi vrodenými a získanými poruchami farbecitu.

Tabuľka 1: Poruchy farbecitu pri daných chorobách

Červeno-zelené poruchy	Zápal očného nervu, zápal papily, optická atrofia a ďalšie
Modro-žlté poruchy	Glaukom, Diabetes mellitus, odlúčenie sietnice, edém papily

.

Tabuľka 2: Rozdiely medzi vrodenými a získanými poruchami

Vrodené poruchy farebného videnia	Získané poruchy farebného videnia
Typ a závažnosť poruchy vždy rovnaká	Typ a závažnosť sa mení
Typ poruchy môžeme určiť presne	Typ poruchy nemusí byť jednoduché určiť. Výskyt kombinovaných alebo nešpecifických porúch je častý.
Oboje oči rovnako postihnuté	Monokulárne rozdiely v type a závažnosti.
Zraková ostrosť v norme (okrem monochromatizmu) aj zorné pole.	Zraková ostrosť často znížená a častý výskyt porúch zorného poľa
Prevažne buď deutan alebo protan	Prevažne tritan
Väčší výskyt u mužov	Rovnaký výskyt u žien aj mužov

5 VYŠETRENIE FAREBNÉHO VIDENIA

Vyšetrenie farebného videnia by malo byť jedno zo základných očných vyšetrení. Na druhej strane orientovať sa v nich nie je vôbec jednoduché, preto sa o to pokúsime čo naj dôveryhodnejšie v tejto kapitole. Pre lepšiu orientáciu uvediem tabuľky.

Existuje mnoho testov na zistenie farebného videnia. Ako sa ich počet zvyšuje, je dôležité zistiť, ktoré sú najviac užitočné, platné a spoľahlivé. Neexistuje jeden univerzálny test na vyšetrenie farbcitu, preto je vždy potrebné použiť určitú sadu testov pre zistenie typu poruchy (vrodená/získaná), miery poškodenia farbcitu (mierna/stredná/veľká) a ďalšie parametre, o ktorých sa dozvieme viac v ďalších častiach.

Základné rozdelenie testov farebného videnia. Podľa spôsobu prevedenia a vyhodnotenia delíme testy do 4 skupín:

- 1) Rozlišovacie testy (pseudoisochromatic plate test - PIC) sú najčastejšie používané testy, ktoré nie sú nijako komplikované. Väčšina z nich je určená pre skríningové vyšetrenie červeno-zelených dedičných farebných porúch.
- 2) Zorad'ovacie testy (arrangement test) sú schopné odlíšiť dedičné poruchy od získaných porúch. Výsledky umožňujú diagnostiku typu poruchy, ale môžu byť tiež analyzované kvantitatívne pre posúdenie závažnosti.
- 3) Anomaloskop je všeobecne uznávaný ako najpresnejší pre diagnózu, ale na rozdiel od väčšiny testov, vyžaduje nutnú dávku zručnosti na strane skúšajúceho. Do tejto skupiny zaraďujeme aj testy, ktoré sú založené na princípe miešania farieb.
- 4) Pracovné skúšky (occupational test) sú všeobecne rovnaké ako klinické testy 1) a 2), ale sú špeciálne určené pre konkrétne odborné požiadavky.

[3, 4]

5.1 Rozlišovacie testy – PIC

PIC testy sú založené na základe farebných zámen zo strany osôb s farebnými poruchami. Na podklade sú zobrazené znaky odlišnej farby a rovnakého jasú a súčasne znaky s odlišným jasom. Osoba s normálnym farebným videním vníma výraznejšie farebný kontrast, zatiaľ čo osobe s poruchou farebného videnia pripadajú výraznejšie rozdiely jasú. PIC testy sa používajú predovšetkým ako skríningové testy na vyšetrenie pacientov s dedičnými farebnými poruchami, aj keď niektoré z nich umožňujú diagnózu typu a závažnosti (napr. HRR 4th edition).

PIC dosky sú navrhnuté štyrmi rôznymi dizajnmi:

- 1) Transformačné dosky, v ktorých osoba s farebnou poruchou vidí iný znak/symbol ako osoba s normálnym farebným videním.
- 2) Miznúce dosky, v ktorých človek s farebnou poruchou nemôže prečítať znak, ktorý je ľahko viditeľný pre osobu s normálnym farebným videním
- 3) Dosky so skrytými znakmi, v ktorých osoba s normálnym farebným videním nie je schopná prečítať znaky, ktoré osoba s abnormálnym farebným videním vidí.
- 4) Diagnostické dosky, v ktorých je údaj izochromatický pre jeden typ poruchy (napr. jedno číslo vidí pacient s poruchou deutan a druhé číslo pacient s poruchou protan).

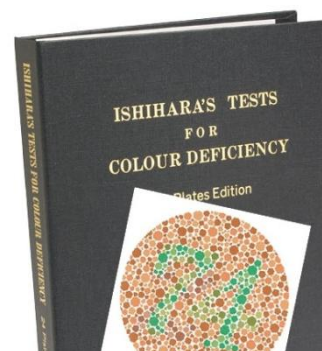
V závislosti od účelu testu sú vybrané rôzne farby. Napríklad Ishiharové tabuľky sú navrhnuté ako skríningové testy a obsahujú farby z oblasti červeného a zeleného priestoru. Keďže protanopia a deuteranopia má takmer rovnaký sklon k týmto farbám, tieto farby sú užitočné pre identifikáciu osôb s červeno-zelenou poruchou, ale nie sú vhodné pre ich vzájomné rozlíšenie. Nedovoľujú presné určenie porúch farbecitu v modro-žltej oblasti. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

5.1.1 Ishiharové tabuľky

Ishiharové tabuľky navrhol Shinoba Ishihara (1879 – 1963), ktorý bol chirurgom v Japonskej armáde, neskôr sa začal špecializovať na oftalmológiu. Prvá publikácia s arabskými číslami bolo publikované v roku 1917.

Ishiharové tabuľky (obr.č.14) sú jedny z najrozšírejších skríningových PIC testov a vyskytujú sa v troch variáciách: 16, 24 a 38 tabuľkové. Sú jedinečné v tom, že zahrňujú všetky štyri dizajny PIC testov. Nachádzajú sa tam číslce alebo bludné

cestičky, na ktorých nám pacient ukazuje trasu. Jednotlivé tabuľky sú ukazované po dobu 3 sekúnd. Vyšetrovacía vzdialenosť sa uvádza 75 cm. Dôležité je použiť správne osvetlenie, ktoré je všeobecne povolené v rozmedzí od 100 do 600 lux. Denné svetlo sa neodporúča, pretože množstvo a spektrálna kvalita je príliš nestála, preto je dobré používať elektronické osvetlenie pre PIC testy (napr. od firmy Richmond Products).



Obr. č. 15: Ishiharové tabuľky

Kritéria pre vyhodnotenie testu (zameriame sa na 24 doskovú verziu, ktorá je jedna z najpoužívanejších). Hodnotí sa prvých 15 doskách v zložení: prvá je videná každým, nasledujúcich šesť (č. 2 – 7) je transformačného dizajnu, šesť sú (č. 8 – 13) miznúce dosky a dve dosky so skrytými znakmi (č. 14 – 15). Päť a viac chýb je kritérium pre neúspešné vyhodnotenie testu. Dosky 16 a 17 sa nachádzajú v teste pre diferenciálny rozdiel silných deutan a protan porúch. Zvyšných sedem dosiek sú bludné chodníčky, ktoré majú rovnaké funkcie ako predošlé dosky, ktoré používajú čísla (viď. tabuľka 4). [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12]

Tabuľka 3: Možné odpovede pre rozdielne poruchy

Doska	Bez poruchy	Osoba s protan a deutan poruchou		Osoba s totálnou farbosleposťou	
1	12	12		12	
2	8	3		X	
3	29	70		X	
4	5	2		X	
5	3	5		X	
6	15	17		X	
7	74	21		X	
8	6	X		X	
9	45	X		X	
10	5	X		X	
11	7	X		X	
12	16	X		X	
13	73	X		X	
14	X	5		X	
15	X	45		X	
		Protan Deutan			
		Silný	Slabý	Silný	Slabý
16	26	6	(2) 6	2	2 (6)
17	42	2	(4) 2	4	4 (2)

X - nerozozná číslo

Čísla v zátvorke ukazujú na možnosť ich videnia, ale sú pomerne nejasné.

Najčastejšie chyby pri pracovaní s Ishiharovými tabuľkami:

- 1) Použite nevhodného osvetlenia.
- 2) Hodnotenie získaných porúch len na základe Ishiharových tabuliek.
- 3) Príliš dlhé pozorovanie čísel (viac než 3 sekundy).
- 4) Pri vyšetrowaní pacienta na dané povolanie s používaním Ishiharových tabuliek, namiesto testov príslušných odborných štandardov pre dané povolanie.

5.1.2 Richmond HRR test 2002 4th edícia

HRR pseudoizochromatický test bol vyvinutý Hardlym, Rittlerom a Randem. Najprv bol vydávaný americkou optickou spoločnosťou (AO) v roku 1955, a preto je známy ako AO HRR. Druhé vydanie v roku 1957, ktoré bolo z rovnakého materiálu ako prvá edícia, ale z novo zostaveného poradia dosiek. Richmond Product publikoval v roku 1991 tretiu edíciu testu, ale nebola dobre prijatá. Na základe kolorimetrickej analýzy, Dian prišiel k záveru, že „to bola vyblednutá imitácia druhej edície“. Preto v roku 2002 Richmond Product vydal štvrté vydanie, v ktorom boli farby dôkladne pripravené v spolupráci s Maureen Neitz a James Bailey. Podľa jednej štúdie z roku 2005 dopadol HRR test lepšie ako Ishiharové tabuľky (viď. porovnanie testov).



Obr. č. 16: HRR 4th edícia

HRR test sa skladá z 24 dosiek, kde prvé štyri slúžia ako demonštračné dosky (1–4), ďalších šesť dosiek je skríningových (5 – 10), ostatné slúžia k zisteniu typu a rozsahu poruchy farebného videnia (11 - 24). Osvetlenie a vyšetrovacia vzdialenosť je rovnaká ako pri Ishiharových tabuľkách. Test je výhodnejší oproti Ishiharovým tabuľkám v tom, že sa na doskách nachádzajú geometrické útvary (krížik, koliesko, trojuholník), čiže sú použiteľné i pre osoby, ktoré nepoznajú čísla (napr. deti).

K vyhodnoteniu slúži vyhodnocovací list (obr. č.17), v ktorom je priehľadne naznačený priebeh celého testu a aj jeho vyhodnotenie. Menšia nepresnosť sa vyskytuje pri nízkych tritan poruchách. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

H R R PSEUDOISCHROMATIC PLATES

NAME..... DATE..... EXAMINER.....

1-4 DEMONSTRATION SERIES
Four plates. Do NOT score.

SCREENING SERIES

	OD	OS
5 O.X		
6 O.V		
7 X		
8 O		
9 O		
10 X		

DIAGNOSTIC SERIES

	OD	OS
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		

EXTENT:

Normal.....

Defective.....

B-Y.....

R-G.....

Type:

Protan.....

Deutan.....

Tritan.....

Unclassified.....

505-275-2406
FAX 810-885-8319
Sales@RichmondProducts.com

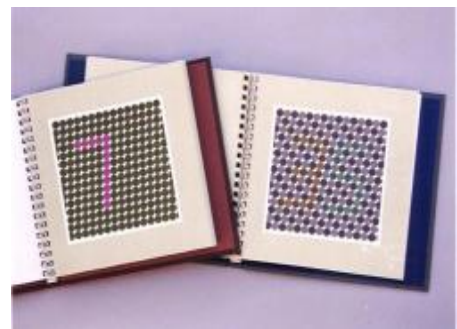
Richmond Products Inc
4409 Silver Ave SE
Albuquerque, NM 87108

Obr. č. 17: HRR vyhodnocovací list

5.1.3 Štandardný pseudoizochromatický test

Štandardný pseudoizochromatický test (SPP) má dve varianty (SPP-1 a SPP-2). Publikovaný bol v roku 1978 (verzia SPP-1).

SPP-1 je skriningový test pre vyšetrenie deutan a protan defektov. Na doskách sa nachádza jedno, alebo dve čísla, ktoré zapisujeme do vyhodnocovacieho listu. Test sa skladá z 19 dosiek, kde prvé štyri sú demonštračné, ďalších 10 je skriningových pre deutan a protan poruchy. Posledných 5 slúži na rozlíšenie deutan a protan poruchy. Test je menej citlivý k týmto poruchám ako Ishiharové tabuľky.



Obr. č. 18: SPP-1

SPP-2 skriningový test pre vrodené poruchy farebného videnia. Na každej doske sa nachádzajú dve čísla. Test sa skladá z 12 dosiek. Prvé 2 sú demonštračné a ostatné sú diagnostické. Dosky číslo 3-12 majú vždy jedno číslo pre jednu poruchu a druhé je prirovnávané z inej poruchy. Je dôležité urobiť test pre každé oko zvlášť.

[3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

5.1.4 Ďalšie PIC testy

V tejto kapitole sú uvedené ďalšie PIC testy, ktoré nie sú tak rozšírené a používané ako predošlé. Popísané budú len v stručnom rozsahu.

1) Matshubara Pediatric Color Test

Test pre vyšetrenie detí, v ktorom sa namiesto čísiel nachádzajú znaky (väčšinou zvieratá), ktoré dieťa popíše. Skladá sa z 10 dosiek pre vyšetrenie protan a deutan poruchy. Neurčuje typ ani veľkosť deficitu.

2) Dvorine test

Test skladajúci sa z dvoch častí. Prvá je na princípe PIC testu (15 dosiek) a druhá na princípe pomenovacieho testu. Prestal sa vyrábať a ako náhradu za neho doporučujú HRR 4th edíciu.

3) Lanthony Tritan Album

Špeciálny test určený pre klinickú diagnózu získaných farebných porúch, najmä sietnicových porúch. Zložený zo šiestich dosiek.

4) American Optical Company Plates

Skríningový test pre deutan a protan poruchy, kombinácia ostatných testov. Zložený z 14 dosiek (6 je transformačného dizajnu a 8 je miznúceho dizajnu).

5) Heideberská farebná knížka

Tato metóda je menej obvyklá a je založená na simultánnom kontraste. Značky podkladu sú tvorené neutrálnou sivou na farebnom pozadí (červenej alebo zelenej). Pri pozorovaní normálnym okom sa značky zdajú vo farebnom tóne, ktorý je komplementárny k farbe podkladu.

5.1.5 Porovnanie testov

Ako skríningové vyšetrenie farebného videnia môžeme použiť väčšinu predchádzajúcich testov. Najkomplexnejšie vyšetrenie farbecitu nám poskytne HRR 4th Edition test, ktorý na rozdiel od ostatných testov dokáže rozlíšiť vrodenú poruchu od získanej a k tomu všetkému sa zaraďuje medzi najrýchlejší test. Ďalšie rozdiely vid'. tabuľka 5.

Porovnanie Ishiharových tabuliek a HRR 4th Edition testu

Hlavný rozdiel medzi Ishiharovými tabuľkami a HRR 4th Edition test (HRR) je v určovaní rozsahu a typu poruchy farebného videnia. Pri skrínigovom vyšetrovaní vrodených farebných porúch (protan a deutan) neboli preukázané žiadne rozdiely, ale pri určovaní medzi protan a deutan už je jednoznačne lepší HRR test (Ishiharové tabuľky obsahujú dve tabuľky na rozdelenie protan a deutan porúch, zatiaľ čo HRR až desať). Ako ďalšie zisťujeme rozsah poruchy (mierna, stredná a veľká). V tomto je opäť lepší HRR test, keďže Ishiharové tabuľky neumožňujú toto triedenie. Ak pristúpime k vyšetrovaniu získaných porúch (tritan) zistíme, že pomocou Ishiharových tabuliek to nebude možné. Na druhej strane HRR test obsahuje tabuľky na zistenie tritan porúch a navyše aj jeho rozčlenenie v rozsahu stredná a veľká porucha. V publikácii *Clinical and Experimental Optometry* [9], ktorá bola zameraná na vzájomné porovnanie týchto testov bolo uvedené, že test HRR by mohol byť voľbou pre doktorov (optometristov), ktorí by chceli používať jeden test na hodnotenie celkového stavu farebného videnia. Pre dôkladné vyšetrenie je potrebné výsledky overiť na o niečo spoľahlivejších testoch ako napr. Anomaloskop, Medmont C-100, atď. [9, 10]

Tabuľka 5: Stručný prehľad využitia rozlišovacích testov

Test	Skrínig	Vrodené	Získané	Schopnosť klasifikovať	Určiť rozsah	Detská verzia	Čas trvania testu
Ishiharové tabuľky	Áno	Áno	Nie	Nie	Nie	samostatne	Priemerný test
HRR 4th Edition	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno	Rýchly test
SPP 1	Áno	Áno	Nie	Áno	Nie	Nie	Pomalší
SPP 2	Áno	Niektoré	Áno	Áno	Nie	Nie	Pomalší
Dvorine	Áno	Áno	Nie	Nie	Nie	Nie	priemerný
Lanthony Tritan album	Áno	Nie	Áno	Nie	Áno	Nie	Rýchly

5.2 Zorad'ovacie testy

Tieto testy fungujú na základe Munsellového systému farieb (viď. kapitola 3.3 Miešanie farieb). Zorad'ovacie testy fungujú na princípe triedenie farieb do radu (zvyčajne na základe odtieňa), alebo do skupín (najčastejšie šedé vs farebné).

5.2.1 Farnsworth Munsell 100 Hue Test

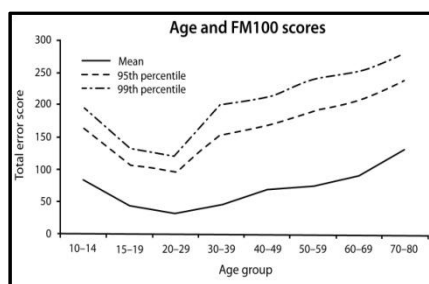
Farnsworth Munsell 100 Hue Test (FM100) bol vyvinutý Farnsworthom v 40 rokoch minulého storočia. Farnsworth odstránil s Munsellovho systému farieb 15 odtieňov, kvôli problémovému rozpoznávaniu medzi ostatnými farbami.

Test obsahuje 85 odtieňov, ktoré pacient zoradzuje do 4 boxov. Prvý box obsahuje disky 85 – 21, druhý 22 – 42, tretí 43 – 63 a posledný 64 – 84. Prvý a posledný disk v boxe je pevný a ostatné sú pohyblivé. Vyšetrovaná osoba má za úlohu zoradiť pohyblivé terče podľa ich odtieňa medzi pevnými diskami. Na základe poradových vzťahov medzi jednotlivými diskami testu určujeme celkové chybové skóre



Obr. č. 19: FM 100 Hue Test

(TES – total error score). Hodnota TES je závislá do veku. Do dvadsiatich rokov klesá a potom pozvoľna narastá (Obr. č.20).



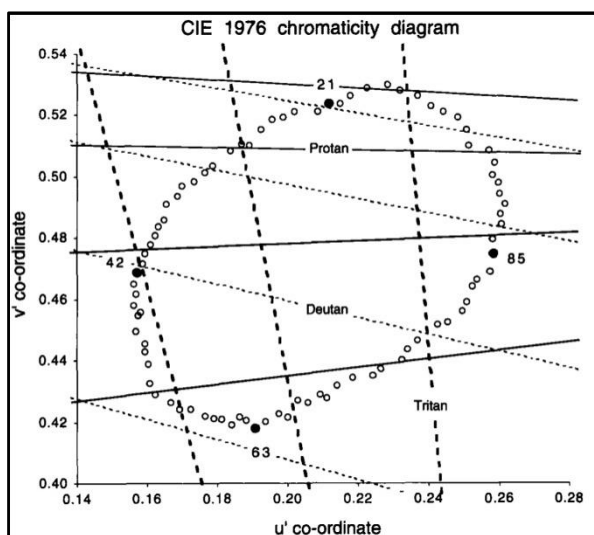
Obr. č. 20: Závislosť TES na veku

Pre lepšie a dôkladnejšie vyšetrenie sa odporúča nasadiť pacientovi rukavičky, ktoré zabraňujú znečisteniu diskov. Druhá možnosť je kúpiť FM 100 Hue Test na princípe magnetov, kde sa k presúvaniu diskov používa magnetické pero a tým sa zabraňuje znečisteniu. Test je obzvlášť náchylný na rozdielne osvetlenie, preto sa odporúča kúpa originálneho osvetlenia (napr. od firmy Richmond Products vid'. obr. č.21). Podľa štúdie Bowmana a Daina je optimálne osvetlenie v rozmedzí od 200 do 250 lux. Na vyhodnotenie slúži aplikácia v MS-Excel, ktorá býva väčšinou súčasťou testu.



Obr. č. 21: Osvetlenie pre zorad'ovacie testy od firmy Richmond Products

Z obr. č.22 je vidieť, že v dvoch oblastiach kruhu, je zmena farebného odtieňa spojená, alebo je blízko k farebným zámenným líniam dichromatov. V dôsledku toho dichromati budú robiť chyby v tejto oblasti. V iných oblastiach sú odtieňové zmeny kolmé na zámenné línie a dichromati budú vidieť rovnako ako osoba s normálnym videním. Keď je test dokončený a zaznamenaný v diagrame, v súlade s návodom Farnswortha, výsledky nám vytvoria schému chýb charakterizujúcich nedostatok umožňujúci protan, deutan a tritan diagnózu. Preto FM 100 môže byť použitý ako kvantitatívny test, tak aj ako kvalitatívny test. [4, 5, 6, 8, 9, 10, 11]



Obr. č. 22: Rozloženie diskov v FM 100 Hue Teste

čierne bodky sú pevné disky na začiatku a konci každého boxu

On-line verzia testu

Obmedzená funkčná verzia testu FM 100 od firmy X-Rite v softwarovej podobe je voľne prístupná na internetovej stránke:

http://www.xrite.com/custom_page.aspx?PageID=77®ion=63&lang=en.

Je to upravená verzia počítačového FM 100 testu, takže postup vyšetrenia je rovnaký, a to zoradiť štvorce do poradia, ktoré je určene vždy prvým a posledným štvorcom. Na záver sa zobrazí vyhodnotenie (obr.č.23), kde sa v pozadí nachádza spektrum farieb. V mieste, kde človek chyboval sa vyhodnotí podľa zložitých rovníc chybové skóre. V danom mieste sa objaví graf s príslušnou výškou podľa chybového skóre. Na obrázku je vyhodnotenie z výsledkom 1021, ktoré bolo vyhodnotené ako veľmi nízke (čím nižšie číslo, tým lepší výsledok).



Obr. č. 23: On-line test hlavná časť (vľavo) a vyhodnotenie testu (vpravo)

Test bol overovaný na ôsmich subjektoch. Subjekty boli požiadané, aby v pokoji, nijako obmedzované časom vypracovali test. Hodnotili náročnosť testu, dĺžku spracovávania a či pochopili vyhodnotenie testu. Štyri subjekty skúšali test na dvoch rôzne nastavených monitoroch a vo všetkých štyroch prípadoch boli výsledky rozdielne, ale výsledné hodnotenie sa veľmi nezmenilo (u troch subjektov bolo skoro rovnaké, ale v jednom prípade sa zhoršilo o podstatnú časť). Výsledky vyhodnotenia: test bol pre testovaných pochopiteľný hneď spočiatku, ale dosť náročný, keďže medzi farbami sa nachádzali malé rozdiely v odtieni farby a človek sa musel sústrediť. Na dobe trvania sa zhodli, že bola príliš zdĺhavá. Najväčší problém, ktorý uvádzali, bol pri vyhodnotení. Bolo pre nich zložitá (väčšinou kvôli neznalosti anglického jazyka). Výsledky sú na základe malého počtu subjektov, preto ich musíme brať s rezervou. Na záver stručné zhodnotenie. Tento test je dobre spracovaný v on-line verzii, ale musíme ho brať len ako skríningové vyšetrenie z viacerých dôvodov: rozdielne osvetlenie pri vykonávaní testu, nastavenie monitora a nie len to, aj kvalita monitorov je dôležitá. Preto pre dôkladnú diagnózu farebného videnia je dobré navštíviť centra na to zamerané.

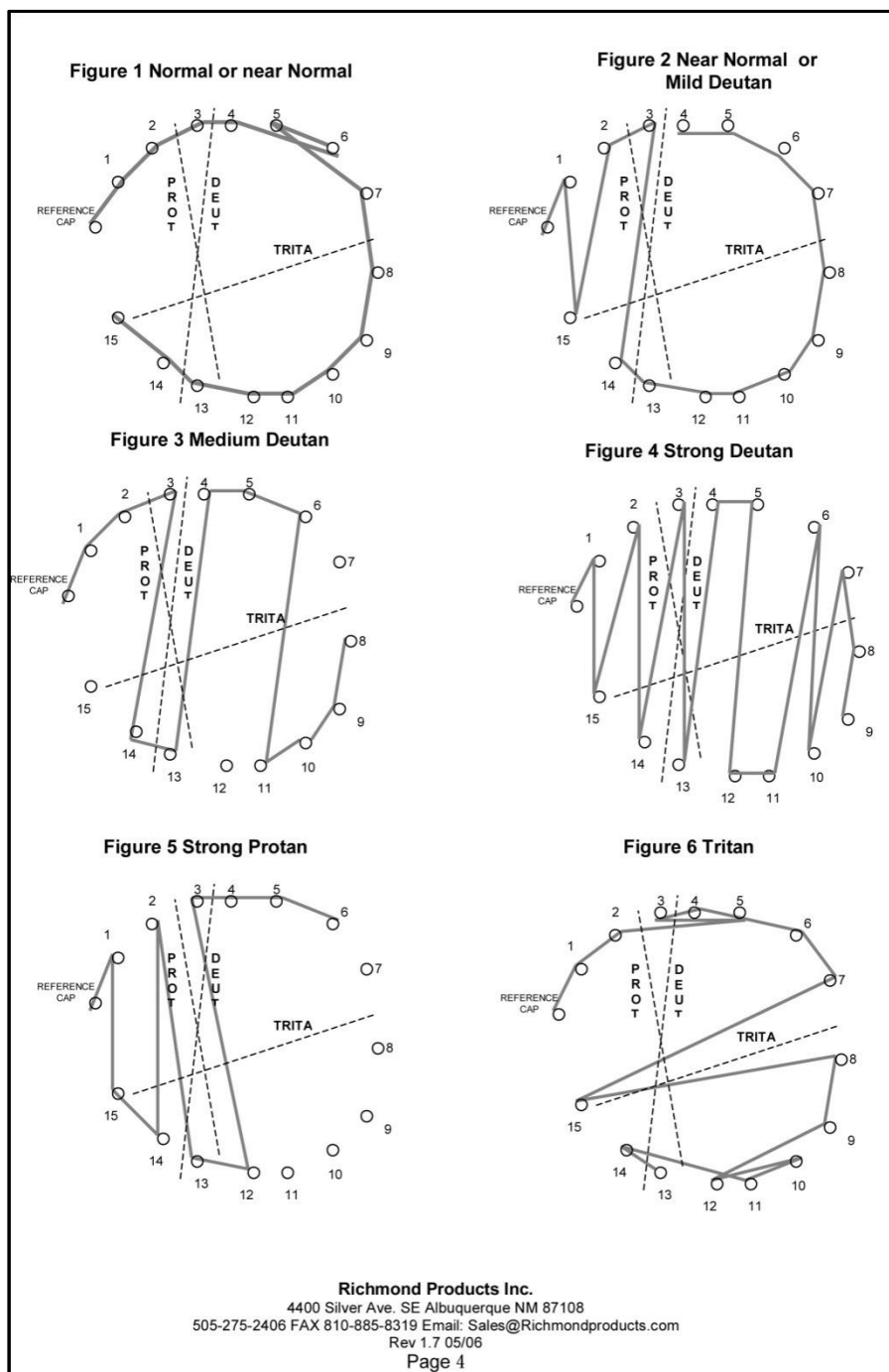
5.2.2 Farnsworth-Munsell Dichotomous D15

Tiež známy pod menom Panel D 15. Bol založený v roku 1947. Test roztrieduje pacientov do dvoch skupín. V prvej skupine sa nachádzajú osoby s normálnym farebným videním, alebo miernymi poruchami, ktoré sú schopné test spraviť s maximálne jednou až žiadnou chybou. V druhej skupine sú osoby so závažnými poruchami. Test použiteľný na zistenie vrodených aj získaných porúch.



Obr. č. 24: Magnetický D-15

Test je skrátená forma FM 100 Hue testu. Obsahuje 16 farebných terčov vybraných z Munsellovho systému farieb v hodnotách jasnosti 5 a sýtosti 4. Úlohou vyšetrovaného je opäť zostaviť farebné disky podľa farebného spektra určeného prvým prichyteným diskom. Vyhodnotenie testu sa zakresľuje do kruhového diagramu, kde sa spoja čísla podľa zoradenia vyšetrovanou osobou (obr. č.25).



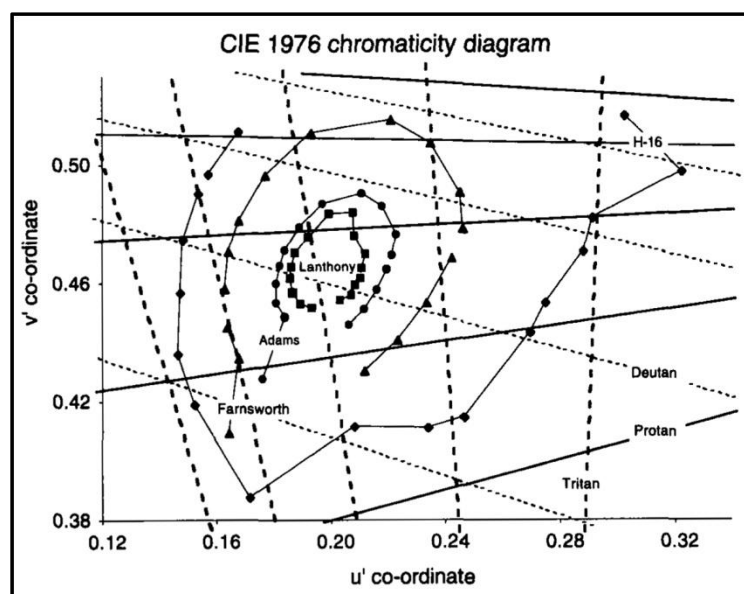
Obr. č. 25: Pár príkladov na vyhodnotenie D-15 testu

Pre ľudí so slabým videním existuje variant tzv. zväčšený D-15, kde má každý disk veľkosť až 5 cm (trikrát väčší ako normálny disk v D-15) a nie sú zoradované do rovného boxu, ale zoradujú sa do kruhu. Pevný disk býva na pozícii 9:00. [3, 4, 8, 9, 10, 11]

5.2.3 Lanthony Desaturated D-15 Test

Lanthony Desaturated D-15 test je podobný ako Panel D-15 okrem farieb, ktoré sú v jase o tri jednotky vyššie a v sýtosti o dve jednotky nižšie podľa Munsellového systému farieb (jas 8 a sýtosť 2). Test je viac citlivý k slabším poruchám ako Panel D-15, preto je predurčený predovšetkým k zisťovaniu slabých získaných porúch.

Vyhodnotenie prebieha rovnako ako pri Panel D-15 teste. Kombináciou výsledkov Panel D-15 (saturovaný) a D-15 (nesaturovaný) získame detailnejšie zhodnotenie poruchy farebného videnia. Ako u všetkých zoraďovacích testoch aj pri tomto je dôležité osvetlenie (doporučuje sa 600 – 800 luxov). [4, 10, 11, 12]



Obr. č. 26: Chromaticnosť testov Lanthony, Adams, Farnsworth D-15 a Farnsworth H-16, ktorá ukazuje zmeny rozdielov farieb.

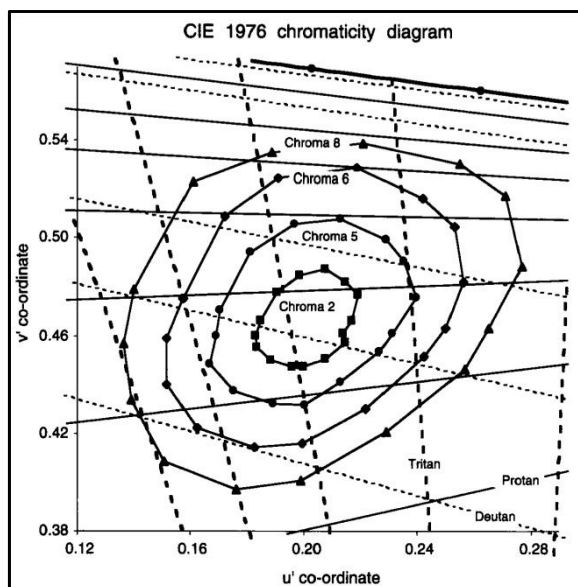
Testy Adams a H-16 nie sú komerčne dostupné, preto som ich nerozpisoval.

5.2.4 Lanthony New Colour Test

Lanthony navrhol tento test pre získané poruchy farbocitu, ale test môže byť tiež použitý na vrodené poruchy farbocitu. Test sa skladá zo štyroch boxov po pätnástich farebných diskoch, kde všetky boxy majú rovnaký jas, ale rozdielnu sýtosť (8, 6, 4, 2). Test okrem týchto šesťdesiatich diskov obsahuje ešte desať sivých diskov s rôznymi hodnotami jasů od 4 do 8 v odstupňovaní po 0,5 (dva terče majú hodnotu 6).

Priebeh vyšetrenia má dve fázy roztried'ovaciú a zoraď'ovaciú. V prvej fáze osoba oddelí farebné disky od sivých. V druhej osoba najprv zoradí sivé disky podľa jasů, a potom nasleduje zoradenie farebných diskov. Rozdiel od testu Panel D-15 je

v tom, že žiaden disk nie je pevne uchytený. Každá fáza sa vyhodnocuje zvlášť do kruhových diagramov podobných D-15. [4, 5, 6, 8, 10, 12]



Obr. č. 27: Rozdielna chromatičnosť v Lanthony New Color Test

V tabuľke 6 je stručný prehľad vyššie popísaných testov pre lepšie utriedenie si ich rozdielov. Netreba zabúdať, že vyšetrenie vrodených porúch je väčšinou vyšetrované binokulárne, ale získané poruchy vyšetrujeme monokulárne.

Tabuľka 6: Stručná charakteristika zorad'ovacích testov

Test	Vrodené	Získané	Rozsah	Čas trvania testu
FM 100	Áno	Áno	Celý	Veľmi zdĺhavý
Farnsworth D-15	Áno	Limitované	Slabý až Veľký	Priemerný
Lanthony D-15	Nie	Áno	Slabý vs. Normálny	Priemerný
Lanthony New color vision test	Áno	Áno	Slabý až Veľký	Zdĺhavý

5.2.5 Holmgrenové bavlnky

Jeden z testov, ktorý je používaný v dnešnej dobe hlavne v menej rozvinutých krajinách vďaka jeho nižšej cene. Test obsahuje súbor bavlniek rôznych farebných odtieňov a sýtosti. Vyšetrovanej osobe ukážeme jednu bavlnku a vyzveme ho, aby vybral všetky bavlnky v rovnakom farebnom tóne. Pacient s poruchou farebného

videnia orientujúci sa podľa jasu, vyberie aj vzorky s iným farebným tónom. Na podobnom princípe funguje aj tzv. Daaova tabuľka.

5.3 Anomaloskop

V tejto časti uvedieme stručný popis anomaloskopu, pretože je využívaný najčastejšie na vedecké účely. V optometristických vyšetroviach sa s ním nestretneme. Aj jeho cena je vyššia ako predchádzajúce testy.

Anomaloskop je prístroj na testovanie farebného videnia a určí kvantitatívnu aj kvalitatívnu poruchu farbcitu. Funguje na princípe aditívneho miešania svetiel pri určitých vlnových dĺžkach. Pri testovaní sa vychádza z Rayleighovej rovnice: Zelená (570 nm) + Červená (66 nm) = Žltá (589 nm). Vyšetrovaná osoba vidí v okuláre prístroja kruh rozdelený na dva polkruhy. V ľavom polkruhu sa nachádza žltá farba, ktorá je stála. V druhom sa nachádza zmes zelenej a červenej. Pomer týchto farieb je meniteľný. Úlohou testovanej osoby je nastaviť druhý polkruh tak, aby obe polovice mali zhodnú farbu. Podľa toho či pridá viac červenej (ide o protan poruchu) alebo zelenej (ide o deutan poruchu). Najznámejší je tzv. Nagelov anomaloskop typu I. a II. Vyšetrenie je v tmavom prostredí každým okom zvlášť.

Pre určenie tritan porúch sa používa typ anomaloskopu založený na princípe Morelandovej rovnice: Modrá (436 nm) + Zelená (490 nm) = modrozelená (480 nm) + žltá (589 nm), ale tiež obsahuje aj Rayleighovú rovnicu, tzv. HMC - MR anomaloskop (Heidelberg Multi Color), ktorý je komerčne dostupný. [3, 4, 5, 6, 7,12



Obr. č. 28: Anomaloskop

Do tejto kategórie testov môžeme zaradiť aj zariadenie **Medmont C-100**.

Medmont C-100 (obr.č.28) je ručný prístroj na vyšetrenie červeno – zelených porúch farebného videnia. Princíp testu: osoba sleduje testové pole v prístroji, ktoré je osvetlené dvomi LED diódami (jedna červená a druhá zelená) a vyšetrovaný má

za úlohu nastaviť frekvenciu blikania tak, aby svetlo blikalo žltó (zároveň s najmenšou frekvenciou). [4, 5, 6, 10, 11, 13]



Obr. č. 29: Medmont C-100

5.4 Pracovné skúšky

Tieto testy sú najčastejšie využívané pre testovanie námorníkov, pilotov, šoférov z povolania a rušňovodičov. Základom týchto testov je nasimulovanie čo najrealistickejšieho prostredia a osvetlenia v daných pracoviskách (napr. zmena počasia a rôznych vzdialeností, atď.). Testy sú vždy doplnkom vyššie spomínaných testov. Úlohou vyšetrovaného je rozpoznať farbu a pomenovať ju. Uvedieme zopár takýchto testov.

Farnsworth Lantern Test

Známy pod skratkou FaLant. Vyvinutý pre americké námorníctvo, ale bol tiež používaný ako test potrebný k získaniu pilotnej licencie. V teste boli zaradené najpoužívanéjšie farby v námorníctve, a to biela, červená a zelená. Tento test je náročnejší ako D-15, preto je používaný k lepšej klasifikácii slabších farebných nedostatkov. Táto verzia dnes už nie je komerčne dostupná, ale existuje prístroj Optec 900, ktorý je jeho plnohodnotnou náhradou. [4, 10, 12]

Holmes Wright Lanterm Test

Známy tiež pod skratkou H-W. V minulosti používaný na zisťovanie porúch v námorníctve a letectve. Dnes sa už nepoužíva. Existujú moderné prístroje založené na podobnom princípe. [4, 10, 12]

6 ZÁVER

Farby sú neoddeliteľnou súčasťou každodenného života. Majú veľký význam pre vnímanie vecí ako celku. Preto je dôležité vedieť o prípadných nedostatkoch.

V bakalárskej práci sme sa zaoberali možnosťami vyšetrenia farebného videnia, a to pomocou testov, s ktorými sa máme možnosť stretnúť v optometristických vyšetroviach. Testy sme rozdelili do dvoch základných typov a to podľa princípu vyšetrovania na PIC testy a testy zoraďovacie. Zistili sme, že ako skríningový test je možné použiť z najrozšírenejších Ishiharové tabuľky a HRR 4th edition test. Na vyšetrenie získaných porúch farbecitu by sme sa opäť mohli prikloniť k verzii HRR 4th edition, ale mohli by sme použiť aj SPP 2 test a Lanthony Tritan album. Omnoho detailnejší test na vyšetrenie získaných porúch je FM 100 Hue Test (patrí medzi druhú skupinu, tzv. zoraďovacích testov), ktorý nám určí rozsah aj presnejšiu klasifikáciu porúch farbecitu, ale pri testoch tohto typu je veľmi dôležité osvetlenie. U ďalších možných testov sme sa snažili určiť ich rozdiely a možnosti zistenia kvantitatívneho aj kvalitatívneho rozsahu poruchy farbecitu. Na konci každej kapitoly zameranej na vyšetrenie farbecitu sme uviedli stručnú charakteristiku testov v tabuľkách.

V jednej časti sme sa zamerali na test voľne prístupný na internete a došli sme k záveru, že test nie je dobré používať ako rozhodujúci o poruche farbecitu a to hneď z niekoľkých dôvodov (osvetlenie, kvalita a nastavenie jednotlivých monitorov), preto by sme ho mali používať maximálne ako skríningový test. Treba to mať na pamäti, keďže v dnešnej dobe veľa ľudí si testuje farbecit na takýchto podobných testoch, ktorých je na internete veľký počet (aj horšie spracovaných ako náš testovaný) a robia z toho unáhlené výsledky.

Neporušený farbecit má zásadnú úlohu pri výkone určitých druhov povolania, napr. fotograf, šofér z povolania a profesionálny vojak. Nezmieňovali sme sa o možnostiach liečby vrodených porúch, keďže ani v dnešnej dobe ešte žiadna liečba nie je. Existuje len možnosť korigovania okuliarovými sklami alebo kontaktnými šošovkami. Obe tieto možnosti sú založené na princípe filtrov.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] OLÁH, Z. a kolektív: *Očné lekárstvo*, Vydavateľstvo: Osveta, Martin 1998, 255 str., ISBN 8088824745
- [2] KVAPILÍKOVÁ, K.: *Anatomie a embryologie oka*, Vyd.: Institut pro vzdelávaní pracovníku ve zdravotnictví, Brno 2000, 206 str., ISBN 8070133139
- [3] POLÁŠEK, J. a kolektív: *Technický sborník oční optiky*, SNTL Praha, 1975, 579 str.
- [4] BENJAMIN, W., konzultant BORISH, M. Irvin: *Borish's Clinical Refraction*, 2nd edition, Vyd.: Butterworth-Heinemann, St. Louis 2006, 1694 str., ISBN 0-7506-7524-1
- [5] GROSVENOR, T.: *Primary care optometry*, 5th ed., Vyd.: Butterworth-Heinemann, St. Louis 2007, 510 str., ISBN 978-0-7506-7575-8
- [6] ELLIOTT, B.David: *Clinical Procedures in Primary Eye Care*, 3th ed., Vyd.: Butterworth-Heinemann, Edinburgh 2007, 342 str., ISBN 978-0-7506-8896-3
- [7] RUTRLE, M.: *Přístrojová optika*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, Brno 2000, 189 str., ISBN 80-7013-301-5

Odborné časopisy:

- [8] VESELÝ, P.: *Současné metody vyšetřování barvocitu*, Česká oční optika, č. 04/2010, str. 54 – 66, ISSN 1211-233X
- [9] BARRY, L. Cole a další: *The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test*, Clinical and Experimental Optometry 2006; Volume 89: Issue 2: str. 73 – 80, ISSN 1444-0938
- [10] LAKOWSKI, R.: *Theory and practice of colour vision testing*, Brit. J. industr. Med., 26, str. 173 – 189
- [11] DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 276 – 293, ISSN 1444-0938

Internetové zdroje:

- [12] Stránky firmy Richmond Products, na ktorých boli dostupné návody na používanie testov farebného videnia: <http://www.richmondproducts.com/>
- [13] Stránky Perret Opticians: http://www.perret-optic.ch/optometrie/optometrie_gb.htm

Zdroje obrázků:

Obr.č. 1: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/Cone-fundamentals-with-srgb-spectrum.svg>

Obr.č. 2: <http://camelot.lf2.cuni.cz/tomasekm/img/Obrázky/VisualPath.gif>

Obr.č.3:<http://www.optics4kids.org/osa.ok4/media/optics4kids/teachersparents/articles/images/compositionofcolor01.gif>

Obr.č. 4: BENJAMIN, W., konzultant BORISH, M. Irvin: *Borish's Clinical Refraction*, 2nd edition, Vyd.: Butterworth-Heinemann, St. Louis 2006, str.303, ISBN 0-7506-7524-1

Obr.č. 5:http://www.ped.muni.cz/wphy/publikace/jancovicdiplomka2_soubory/image200.jpg

Obr.č. 6: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/Munsell-system.svg/290px-Munsell-system.svg.png>

Obr.č. 7: <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/Kall5.jpeg>

Obr.č. 8: POLÁŠEK, J. a kolektiv: *Technický sborník oční optiky*, SNTL Praha, 1975, str. 149

Obr.č. 9: POLÁŠEK, J. a kolektiv: *Technický sborník oční optiky*, SNTL Praha, 1975, str. 150

Obr. č.10: http://survivor99.com/colorforum/images/opponent_RG_W.gif

Obr.č. 11 – 13: http://www.perret-optic.ch/optometrie/Vision_des_couleurs/vis-couleur_gb.htm

Obr.č. 14: DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 277, ISSN 1444-0938

Obr.č. 15: http://www.graftonoptical.com/assets/products/766/thumbs/large_1278346389_ishihara_test_comp.jpg

Obr.č. 16:
<http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/1s/13396%20for%20web1-250x250.jpg>

Obr.č. 17:
<http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/products/13397Rhrr-250x250.jpg>

Obr.č. 18:

<http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/New%20pics%20/SPP1-01PlatesFromBothBooks-250x250.jpg>

Obr.č. 19: <http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/products/F100R-103%20full%20set%205%20in%20300%20DPI-250x250.jpg>

Obr.č. 20: DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 284, ISSN 1444-0938

Obr.č. 21: <http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/products/5139R-01%20Tray%20Illuminator%20300%20dpi-250x250.jpg>

Obr.č. 22: DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 283, ISSN 1444-0938

Obr.č. 23: vyfotená verzia on-line testu

Obr.č. 24: <http://www.richmondproducts.com/shop/image/cache/data/products/4528-01Mag%20Farnsworth%20Hand%20300%20DPI%205%20inch-500x500.jpg>

Obr.č. 25: Súčasť návodu na používanie testu D-15, dostupný na internete:

http://www.richmondproducts.com/files/8113/1550/0538/FR_15_Farnsworth_and_LanthonyD15_Instructions_Rev_1.7_0506.pdf

Obr.č. 26: DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 285, ISSN 1444-0938

Obr.č. 27: DAIN, J. Stephen: *Clinical colour vision tests*, Clinical and Experimental Optometry 2004, Volume 87, Issues 4 – 5, str. 286, ISSN 1444-0938

Obr.č. 28: http://www.oculus.de/cz/images/dyn/produkt/hmc/hmc_pf_1.gif

Obr.č. 29: http://www.medmont.com.au/media/2722/c100_top.jpg