

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI
KATEDRA OPTIKY

VYŠETŘOVÁNÍ BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Barbora Otrubová

Obor 5345008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2014/2015

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Mgr. Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Františka Pluháčka, Mgr. Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 29. dubna 2015

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce RNDr. Františku Pluháčkovi, Mgr. Ph.D. za jeho ochotu, vstřícnost a za čas věnovaný konzultacím.

Tato práce byla vypracována za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem Optometrie a její aplikace č. IGA_PrF_2015_016.

OBSAH

1 ÚVOD.....	6
2 BARVA	7
2.1 Míchání barev	7
2.1.1 Aditivní míchání	7
2.1.2 Substraktivní míchání.....	8
2.2 Objektivní popis barev	8
2.2.1 Trichromatický systém CIE.....	8
2.2.2 Munsellův systém barev	10
3 FYZIOLOGIE BAREVNÉHO VIDĚNÍ	11
3.1 Stavba sítnice.....	11
3.1.1 Tyčinky a čípky	11
3.1.2 Fovea	12
3.2 Zraková dráha.....	12
3.3 Vnímání barev	13
3.3.1 Young-Helmholtzova teorie	13
3.3.2 Heringova teorie protibarev.....	13
3.3.3 Teorie zón.....	14
4 PORUCHY BAREVNÉHO VIDĚNÍ.....	15
4.1 Etiologie poruch barevného vidění	15
4.2 Typy poruch barevného vidění.....	16
4.2.1 Anomální trichromázie.....	16
4.2.2 Dichromázie	17
4.2.3 Monochromázie.....	17
5 VYŠETŘOVÁNÍ BARVOCITU.....	19
5.1 Zásady při vyšetřování a manipulace s testy	19
5.2 Rozlišovací (pseudoizochromatické) testy.....	20
5.2.1 Taktika testů	20
5.2.2 Ishiharovy tabulky.....	21

5.2.3 American Optical Hardy-Rand-Rittler Plates (AOHRR).....	22
5.2.4 Standartní pseudoizochromatické tabulky (SPP)	22
5.2.5 Colour Vision Testing Made Easy (CVTME).....	22
5.3 Seřazovací testy.....	23
5.3.1 Farnsworth Munsell 100 Hue Test (FM100).....	23
5.3.2 Farnsworth D-15.....	25
5.3.3 Lanthonyho desaturovaný D-15 a Adamsův desaturovaný D-15	26
5.4 Míchací testy	26
5.4.1 Anomaloskop.....	26
5.4.2 Medmont C-100	27
5.5 Pojmenovávací testy.....	28
5.5.1 Farnsworth Lantern (FaLant)	28
5.5.2 Holmes-Wright Lantern (H-W).....	28
5.5.3 Spectrolux lantern, Beynes lantern.....	28
5.6 Ostatní testy.....	29
5.6.1 City University Test (CUT).....	29
5.6.2 Intersociety Color Council Colour Matching Aptitude Test (CAT)	29
6 POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŽIVOTĚ	30
6.1 Silniční doprava.....	30
6.2 Letecká doprava	31
6.3 Lodní doprava	31
6.4 Drážní doprava	32
7 ZÁVĚR.....	33
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	34

1 ÚVOD

Zrak je pro každého člověka cenným smyslem, protože díky němu vnímá své okolí. Kdo si zkusil, byť jen na chvíli, život zrakově postiženého člověka, si jistě uvědomuje, že je zrak nenahraditelný. Barvocit je jednou z kvalit vizuálního vjemu a velmi nám usnadňuje komunikaci. Označení barev často používáme pro domluvu či upřesnění předmětu, který máme na mysli, nebo pro označení předmětů barvami pro rychlejší a jednoznačnou orientaci (turistické značky, orientační tabule ve veřejných budovách, kontejnery na tříděný odpad). Při takové komunikaci se předpokládá, že všichni lidé vnímají barvy stejně, ale ne vždy je to pravda.

Tato bakalářská práce pojednává o barevných poruchách a způsobech, jak je odhalit. Po úvodní kapitole o barvě a možnostech jejího objektivního popisu následuje kapitola, ve které jsou z hlediska anatomie popsány některé struktury oka, především ty, které hrají důležitou roli v procesu barevného vjemu. Dále je zde nastíněna fyziologická stránka barevného vidění, tedy procesy, které v oku probíhají po posvícení barevného paprsku do oka. Další kapitola pojednává o poruchách barvocitu, které se v populaci vyskytují, je uvedena jejich etiologie, klasifikace a procentuální zastoupení. Těžiště této bakalářské práce leží v kapitole 5 s názvem Vyšetřování barvocitu, která rozebírá možnosti vyšetření barevných vad, jak je popisují současní vědci v tomto oboru. U některých testů je zdůrazněna jejich velká výhoda, totiž možnost provedení na LCD tabulích. Poslední kapitola je věnována přehledu požadavků na barvocit v běžných životních situacích, zvláště pak v dopravě.

Mým cílem je pomocí následujícího textu zprostředkovat tuto oblast vidění širšímu okruhu lidí, od laiků se základním povědomím o zraku až po zájemce z řad optometristů či očních lékařů. Práce chce nabídnout ucelený přehled dané problematiky s ohledem na současné studie a výzkumy.

2 BARVA

Viditelné světlo, díky kterému se uskutečňují všechny naše vizuální vjemy, je polychromatické, to znamená, že je složeno z více monochromatických světél. Rozložení bílého světla na jeho jednotlivé složky je možné dosáhnout například pomocí optického hranolu, ve kterém se díky změně optického prostředí jednotlivá barevná světla lámou pod různým úhlem. Rozsah spektra, které je lidské oko schopno vnímat, se udává od 380 nm do 760 nm.

Člověk vnímá objekty kolem sebe jako barevné. Vlastně jsou to ale spíš nevlastní zdroje světla, které odrážejí jenom určitou část světelného spektra, které na ně dopadá z vlastního zdroje, který světlo vyzařuje, např. Slunce nebo žárovky. Například na trávu dopadá polychromatické bílé světlo, ale odrazí se od ní jen zelené, které dopadne na sítnici člověka. Ten potom vnímá trávu jako zelenou. [1]

2.1 MÍCHÁNÍ BAREV

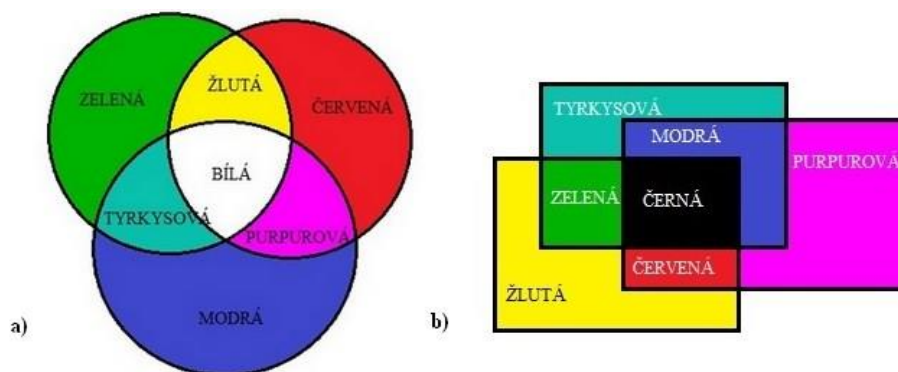
Jako primární barvy označujeme trojici barev, z nichž každá má tu vlastnost, že nemůže být namíchána pomocí zbylých dvou. Ve své práci budu za primární považovat nejčastější trojici - červenou, zelenou a modrou barvu. Tyto barvy také přibližně odpovídají vlnovým délkám, pro které mají tři typy čípků na sítnici nejvyšší citlivost (kap. 3.1.1). Aditivním nebo substraktivním mícháním těchto barev je možné získat ostatní barvy. [1]

2.1.1 Aditivní míchání

Aditivní míchání barev je přidávání barevných světél k jednomu barevnému světlu. Vzniká tak bohatší barevné spektrum. Na obrázku 1 a) je znázorněno aditivní míchání primárních barev, jejichž vhodnou směsí se získá barva bílá. Jako doplňkové barvy označujeme dvojici barev, jejichž smícháním vzniká bílá barva – jsou to například zelená a purpurová, modrá a žlutá nebo červená a tyrkysová. Aditivní míchání barev je možné zrealizovat např. promítáním jednotlivých světél na stěnu, ale zcela přirozeně se děje v lidském zrakovém aparátu, když skládá signály z jednotlivých čípků. Toho využíval umělecký styl pointilismus – malíři nanášeli v těsné blízkosti různě barevné malé body a nechávali na oku pozorovatele, aby si je spojilo v jeden objekt jedné barvy. [1]

2.1.2 Substraktivní míchání

V tomto případě se ze spektra polychromatického světla odebírají jednotlivé složky, a to např. pomocí barevných filtrů předkládaných před bílý zdroj světla. Za primární barvy se zde považují žlutá, azurová a purpurová (tedy doplňkové barvy k aditivním primárním barvám) a jejich substraktivním mícháním vzniká černá barva, což znázorňuje obrázek 1 b). Každý barevný předmět (nebo jeho barvivo) pohlcuje doplňkové barvy a odráží jen ty složky původního světla, ze kterých člověk aditivním mícháním vytvoří výslednou barvu předmětu. [1]



Obr. 1 Aditivní (a) a substraktivní (b) míchání barev

2.2 OBJEKTIVNÍ POPIS BAREV

Jakýkoli vizuální vjem je subjektivní záležitostí, jeho reprodukce je věci vyjadřování jedince, tedy schopnosti barvy pojmenovat. Aby bylo možné barvy objektivně popsat nebo uspořádat, vznikly různé systémy barev, jako například RGB systém nebo Newtonův barevný kruh. V této práci však více rozvedeme dva systémy, jejichž vysvětlení bude důležité pro dále uvedené testy. Jedná se to trichromatický systém CIE a Munsellův systém barev.

2.2.1 Trichromatický systém CIE

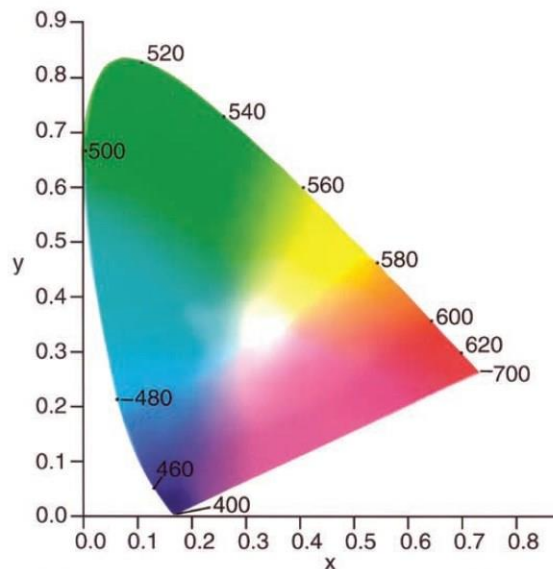
Tento systém je založen na tvrzení, že jakákoliv barva je směs tří základních barev v určitém poměru. Využívá tedy tři základní nereálná světla X, Y a Z, která ale mohou nahradit všechny existující barvy. Nereálná světla jsou prakticky charakterizována pomocí trichromatických činitelů \bar{x} , \bar{y} a \bar{z} , jejich průběh je odvozen od vlastností oka při vnímání barev. Míra zastoupení jednotlivých světél ve světle dané barvy, to je odpovídající trojbarevné souřadnice X, Y, Z, je pak definována vztahy

$$X = \int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot x(\lambda) d\lambda, \quad Y = \int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot y(\lambda) d\lambda, \quad Z = \int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot z(\lambda) d\lambda,$$

kde je λ vlnová délka a $F(\lambda)$ spektrální složení. Pro barvu předmětu je potřeba konkrétní hodnoty, ale pro barvu světla je zapotřebí jejich poměr $X : Y : Z$, proto pomocí vztahů

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

zavádíme poměrné souřadnice x , y a z , pro které platí $x : y : z = X : Y : Z$. Poměrné souřadnice určují polohu dané barvy světla v barevném trojúhelníku CIE. Každá osa představuje jednu primární barvu a její množství přítomné ve výsledné barvě (procentuální zastoupení vyjádřené desetinným číslem). Protože součet těchto tří množství je vždy 1 (tedy $x + y + z = 1$), je možné jednu ze souřadnic odstranit a vznikne dvojrozměrný plošný diagram, ve kterém je každá barva určena pomocí dvou souřadnic x a y . Říká se mu chromatický diagram. V roce 1931 definovala komise Committee Internationale de l'Eclairage (CIE 1931) referenční diagram založený na míchání barev průměrného člověka. V roce 1976 (CIE 1976) byl chromatický diagram mírně upraven tak, aby vzdálenosti mezi jednotlivými barvami odpovídaly rozdílům v jejich vnímání (obrázek 2). [2]

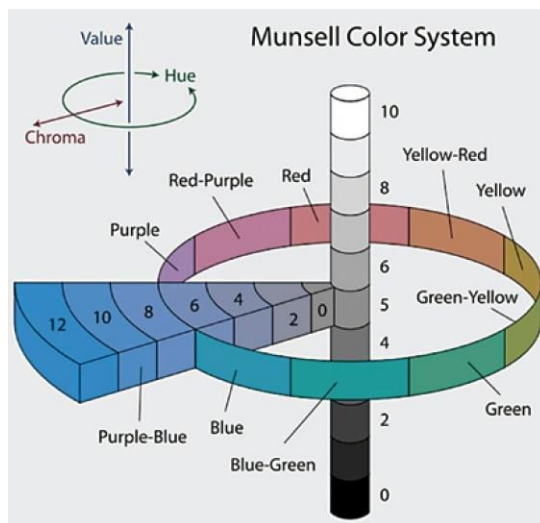


Obr. 2 Chromatický diagram dle CIE [3]

2.2.2 Munsellův systém barev

Využívá uspořádání podle tří vlastností barev: odstínu (hue), jasů (value) a sytosti (chroma). Odstín barvy se učí rozeznávat už malé děti, jedná se o známé názvy barev. Munsellův systém používá tyto odstíny: modrá (B), zelená (G), žlutá (Y), červená (R) a růžová (P). Mezi nimi jsou tyto: modro-zelená (BG), zeleno-žlutá (GY), žluto-červená (YR), červeno-růžová (RP) a růžovo-modrá (PB) a každá z těchto to deseti barev je rozdělena na dalších 10. Vzniká tak 100 různých odstínů barev. Jas je určen množstvím světla, které se od barevného vzorku odráží. V případě černé barvy, od které se žádné světlo neodráží, je hodnota jasů 0 a například bílá barva, odrážející veškeré dopadající světlo, má hodnotu jasů 10. Třetím faktorem je sytost, která určuje množství barvy, které je ve vzorku obsaženo. Zápis barev v Munsellově systému se provádí ve formě odstín, jas/chroma, tedy například 5YR 5/8. Stejně kroky mezi barvami v Munsellově systému odpovídají stejným rozdílům ve vnímání těchto barev.

Uspořádání odstínů barev v Munsellově systému může být znázorněno pomocí modelu na obrázku 3. [4]



Obr. 3 Munsellův systém barev [5]

3 FYZIOLOGIE BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Pro dobré pochopení problematiky barvocitu bude nejprve vysvětlena anatomická a fyziologická stránka barevného vidění a také teorie, které tyto vjemy popisují. Zmíněn bude jejich historický vývoj a současné odborné stanovisko. Na vnímání barev se podílí sítnice obsahující tyčinky a čípky a dále neurony zrakové dráhy vedoucí vzruchy až do mozku. Správná funkce každé části je důležitá pro vznik a uvědomění barevného vjemu.

3.1 STAVBA SÍTNICE

Sítnice je průhledná blanka tenká asi 0,5 mm. Je volně přiložena ke stěně oka, pevně je uchycena pouze v okraji papily a ora serrata. Pokud pohlížíme na sítnici jako vysoce diferencovanou nervovou tkáň, je možné ji rozdělit na tři nervové elementy. První, vnější část, je sensorický epitel tvořený tyčinkami a čípkami. Střední část obsahuje bipolární buňky a vnitřní vrstva sítnice se skládá z gangliových buněk, jejichž dlouhá vlákna se sbíhají, v terči zrakového nervu společně vystupují z oka a tvoří zrakový nerv. [6]

3.1.1 Tyčinky a čípky

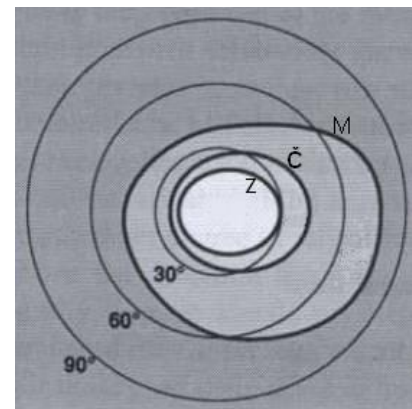
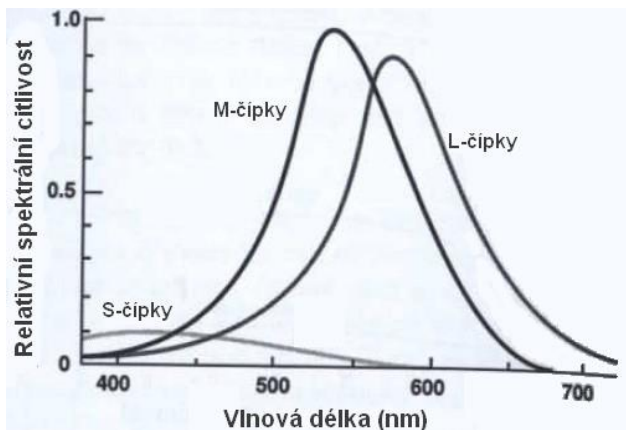
Na sítnici lidského oka jsou umístěny fotoreceptory – tyčinky a čípky. Tyčinky jsou zodpovědné za tzv. skotopické vidění, tedy vidění v noci. Na sítnici se jich nachází asi 120 milionů. Obsahují červené barvivo rhodopsin, které se při podráždění světlem rozpadá na retinin a protein (zraková žluť), a poté na vitamin A a protein (zraková běl). Ve tmě probíhá regenerace rhodopsinu, která trvá 30 – 50 minut.

Čípků je na sítnici asi 6 milionů a zprostředkovávají denní, tedy fotopické, a barevné vidění. Rozlišujeme tři typy čípků (viz dále). Jejich pigmentem je iodopsin, který se po dopadu světla rozpadá na aldehyd vitaminu A a protein. Novotvoření iodopsinu je mnohem kratší než novotvoření rhodopsinu – trvá pouze 2 – 3 minuty. Čípky pro své podráždění potřebují světlo vyšší intenzity a poskytují velkou ostrost vidění, tyčinky jsou citlivější a pro jejich podráždění stačí i malé množství světla, ale nezajišťují takovou ostrost vidění jako čípky. [7, 8]

Jak již bylo zmíněno, čípky, obsahující fotolabilní pigment, je možné rozdělit na tři druhy. Krátkovlnné čípky (tzv. S-čípky) mají maximální citlivost na světlo o vlnové délce 445 nm, tedy v oblasti modré barvy, středněvlnné čípky (M-čípky) jsou nejcitlivější pro zelenou barvu (535 nm) a dlouhovlnné čípky (L-čípky) v oblasti pro červenou barvu

(570 nm). Průběh citlivosti jednotlivých typů čípků je znázorněn na obrázku 4. Je tedy umožněno vnímání celého rozsahu barevného spektra podle toho, v jakém poměru a s jakou účinností jsou tyto tři druhy čípků podrážděny. Na základě toho je normální barevné vidění nazýváno jako trichromatické. [9,10]

Rozmístění čípků na sítnici není rovnoměrné. Nejvíce se jich nachází ve fovee, místě nejostřejšího vidění, a směrem do periferie jich ubývá. Mírně se tedy liší i zorné pole červené, zelené a modré barvy, jak je možné vidět na obrázku 5. Ten znázorňuje přibližné zorné pole pravého oka. [10]



Obr. 4 Relativní spektrální citlivost S-, M- a L-čípků [10] Obr. 5 Zorné pole pro různé barvy [10]

3.1.2 Fovea

Fovea je místo na sítnici, kde se nacházejí pouze čípkové, a to jen jejich vnější segment. Ostatní vrstvy sítnice jsou v tomto místě odsunuty stranou, a vzniká tak mírná jamka. Fovea je avaskulární, a proto světlo na ni dopadající není rozptýleno buněčnými strukturami. Tímto uspořádáním čípků ve fovee je možné vysvětlit vysokou rozlišovací schopnost této části sítnice. Fovee se proto říká místo nejostřejšího vidění sítnice a oči se během postnatálního období vyvíjejí tak, aby díky správnému natočení očí byly objekty fixovány právě foveou, a vznikl tak co nejlepší jednoduchý obraz. [6]

3.2 ZRAKOVÁ DRÁHA

Propojení mezi fotoreceptory sítnice a zrakovým centrem v koncovém mozku zajišťuje zraková dráha. Je třineuronová, to znamená, že ji tvoří tři typy neuronů a jejich výběžky. První neuron zrakové dráhy tvoří bipolární buňky, které jsou v zevní plexiformní vrstvě sítnice napojeny na fotoreceptory. Celý první neuron se nachází v sítnici. Druhý

neuron zrakové dráhy je tvořen vlákny gangliových buněk sítnice. Jejich výběžky společně vystupují z oka jako optický nerv (nervus opticus) a pokračují do chiasmatu, kde se vlákna buněk z nazálních částí sítnice kříží. Za chiasmatem mluvíme o optickém traktu (tractus opticus), který pokračuje až do postranního kolínkovitého tělesa (corpus geniculatum laterale). Odtud vybíhá třetí neuron, který vede přes zrakovou radiaci až do zrakového centra mozkové kůry v týlním laloku. Zde dochází ke zpracování vjemu a jeho uvědomění si. [11]

3.3 VNÍMÁNÍ BAREV

To, jak vlastně barevné vidění funguje, bylo předmětem zkoumání mnoha vědců. Thomas Young a Ewald Hering přispěli svými teoriemi k vývoji názorů na tuto oblast, a to hlavně proto, že z jejich poznatků vycházíme dodnes (kap. 3.3.3). Teorie budou vysvětleny v následujícím textu.

3.3.1 Young-Helmholtzova teorie

Anglický fyzik Thomas Young (1773 – 1829) vyslovil domněnku, že existují tři druhy receptorů, umístěných v nervových vláknech sympatiku, a každý z nich obsahuje pigment citlivý k jedné ze tří základních barev – červené, zelené a modré. Vnímání barev je tedy proces odezvy tří typů receptorů na dané vlnové délky. Hermann von Helmholtz (1821 – 1894) tuto teorii později doplnil. Za tři typy receptorů už nepovažoval nervová vlákna, ale čípky. Podle něj dopadající světlo jakékoli vlnové délky podráždí všechny typy čípků, ale v různé míře. Míru aktivace určuje blízkost vlnové délky dopadajícího světla a vlnové délky, na kterou je daný čípek maximálně senzitivní. Čím více se tyto dvě hodnoty blíží, tím více je receptor podrážděn. Tato teorie byla akceptována až do 70. let 19. století, kdy svou alternativní teorii uveřejnil Ewald Hering. [1]

3.3.2 Heringova teorie protibarev

Německý fyziolog Ewald Hering (1834 – 1918) publikoval svoji teorii v roce 1878. Vycházel z pozorování, že člověk vnímá odstíny červeno-žluté (oranžové) barvy, červeno-modré (fialové) barvy, modro-zelené barvy a zeleno-žluté barvy, není ale schopen vnímat červeno-zelenou barvu a žluto-modrou barvu. Podle něj se na sítnici nacházejí tři páry receptorů odpovídající třem dvojicím protichůdných barev – modrá a žlutá, červená a zelená a černá a bílá. První dvě dvojice určují výsledný odstín vjemu a dvojice barev černá

a bílá určují, jaký bude jeho jas. Pokud je reakce na červenou barvu pozitivní, tzn. vlnová délka odpovídající červené barvě danou buňku aktivuje, zelená barva vyvolá reakci opačnou, tedy buňku utlumí. Totéž platí i pro zbývající dvojice protichůdných barev. [7, 12]

Dnes víme, že tato teorie souvisí s receptivním polem gangliové buňky. Receptivní pole neuronu je oblast na sítnici, jejíž podráždění vyvolá odpověď neuronu. Některé gangliové buňky mají receptivní pole přibližně kulaté. Při podráždění jejich centra červeným světlem se buňka aktivuje, při podráždění periferie receptivního pole se utlumí. Taková buňka reaguje opačně při osvětlení receptivního pole zeleným světlem – při dopadu do centra se buňka utlumí a při osvětlení periferie se aktivuje. Jiný typ receptivních polí reaguje na červené a zelené světlo přesně obráceně. Některá receptivní pole jsou jednodušší a nečlení se na centrum a periferii – to platí pro dvojici barev modrá a žlutá. Podráždění takového pole modrou barvou gangliovou buňku aktivuje a žlutá ji utlumí, a obráceně. [10]

3.3.3 Teorie zón

Dnes se zdá, že obě výše zmíněné teorie skutečně popisují mechanismus vnímání barev, ale každá se uplatňuje v jiné části zrakové dráhy. V první zóně na sítnici platí Young-Helmholtzova teorie, tedy to, že barvy rozlišujeme díky třem typům čípků a jejich pigmentům citlivým k různým vlnovým délkám světla. V dalších vrstvách sítnice je signál z čípků veden třemi kanály. Dva jsou chromatické (vypovídající o barvě – žluto-modrý kanál a červeno-zelený kanál) a jeden achromatický (vypovídající o jasu – černo-bílý kanál). To koresponduje s Heringovou teorií. [10]

4 PORUCHY BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Jak bylo popsáno v kapitole 3, barevné vidění je umožněno díky třem typům fotopigmentu. Pro správné rozlišování všech barev je třeba, aby všechny tři druhy čípků fungovaly správně, tj. aby obsahovaly správný pigment přiměřeně reagující na danou vlnovou délku. Jakákoli odchylka od tohoto ideálního modelu je považována za barvoslepost. První práci o poruchách vnímání barev publikoval v 90. letech 18. století anglický chemik a meteorolog John Dalton, který sám barvoslepostí trpěl, a to ho přimělo zabývat se touto problematikou. Podle něj vznikl název daltonismus, který označuje poruchu barvocitu.

Ty je možné rozdělit podle několika kritérií, v této práci budou následně rozděleny podle etiologie a podle typu poruch. [5, 13]

4.1 ETIOLOGIE PORUCH BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Poruchy barevného vidění je možné rozdělit na vrozené a získané. Vrozené poruchy způsobují problémy ve vnímání v oblasti nejčastěji červené nebo zelené barvy. Jsou dědičné, přenášejí se recesivně na X chromozomu, a proto jimi trpí více muži než ženy. Mluví se o 8 % mužů a 0,5 % žen. Tyto defekty postihují obě oči stejnoměrně, během života zůstávají stabilní – jejich druh ani závažnost se nemění – a nebývají provázány dalšími poruchami zraku. [14]

Získané poruchy barevného vnímání bývají zjištěny v oblasti žluto-modrého vidění. Postihují rovnoměrně muže i ženy. Mohou se vyskytnout pouze na jednom oku, nebo mohou zasáhnout obě oči. V tom případě pak jedno oko bývá postiženo více než druhé. Získané poruchy barevného vidění mohou být doprovázeny i jinými zrakovými problémy, jako je snížená zraková ostrost nebo patologický rozsah zorného pole. Na to je třeba brát ohled při výběru vhodného testu. Problémem netrpí postižený od narození, ale získává jej v průběhu života, například jako důsledek systémového onemocnění nebo úrazu. Druh vady i její závažnost se navíc mohou v průběhu času vyvíjet v závislosti na vývoji choroby, která defekt způsobuje. Například fyziologické změny v propustnosti čočky pro světlo mají za následek větší absorpci světla o krátké vlnové délce, tedy modrého světla, a dávají tak vzniknout tritanovým vadám (bude vysvětleno později). Z očních nemocí je to například primární glaukom s otevřeným úhlem – jeho vlivem na barvocit se zabývala studie [15]

a vyšlo najevo, že 20 - 40 % pacientů s tímto onemocněním má normální barevné vidění, 30 - 50 % má tritanovou vadu, 5 % vykazuje červeno-zelený defekt a 20 - 30 % má úplnou ztrátu rozlišování barev. Mezi další oční choroby postihující barvocit patří věkem podmíněná makulární degenerace, centrální serózní chorioretinopatie nebo optická neuritida. Při úrazech mozku a následném poškození zrakové dráhy může být zjištěn barevný defekt i u pacientů, kteří netrpí žádnými dalšími příznaky poruchy vidění. Poruchy vnímání barev jsou pozorovány i jako vedlejší účinky užívání farmak např. k léčbě srdeční arytmie, revmatické artritidy, tuberkulózy nebo epilepsie. Také expozice chemikáliím, např. rozpouštědly, nebo otrava, např. nikotinem nebo chininem, má za následek zkreslené barevné vjemy, jejichž závažnost je závislá na dávce, které je člověk vystaven. [2, 14, 16]

4.2 TYPY PORUCH BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Další možností klasifikace barevných poruch je rozčlenění podle povahy defektu, tedy podle oblasti barev, které postižený jedinec vnímá chybně, a podle míry tohoto poškozeného vnímání. Přehledná tabulka poruch bude uvedena na konci kapitoly (tab. 1).

4.2.1 Anomální trichromázie

Ideální situaci, kdy funkce všech tří typů čípků jsou neporušené, a tak i barevné vidění je v ideálním stavu, nazýváme trichromázie. Podobně člověk, který správně vnímá všechny barvy, je označován jako trichromat. Existuje však situace, kdy jeden typ čípků má sníženou citlivost. Takový stav se označuje jako anomální trichromázie. Jedná se o nejlehčí formu barvosleposti. Člověk trpící touto poruchou vnímá slaběji jednu ze tří základních barevných složek, které výslednou barvu určují. Výsledná barva se dá namíchat pomocí tří základních barev v určitém poměru – červené, zelené a modré (podobně jako v mozku je konečný vjem barvy složen ze signálů tří typů čípků, které jsou citlivé pro základní barvy - červenou, zelenou a modrou). Proto pokud bude takto postižený člověk (tedy anomální trichromat) požádán, aby výslednou barvu pomocí tří základních namíchal, použije jedné barvy více, než by bylo objektivně správné, a to té, pro kterou má sníženou citlivost.

Anomální trichromázii je možné rozdělit na tři typy:

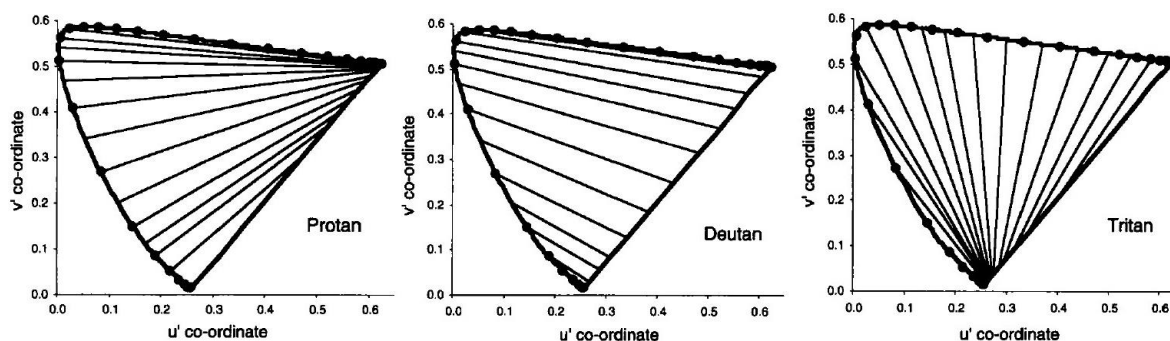
- Protanomálie je porucha ve vnímání červené barvy, poškozené jsou L-čípky a trpí jí asi 1,1 % mužů a 0,03 % žen.

- Deuteranomálie označuje sníženou citlivost M-čípků, tedy porušené vnímání zelené barvy. Tato vada postihuje zhruba 4,6 % mužů a 0,4 % žen, a je tak nejčastějším typem barvosleposti.
- Tritanomálie se vyskytuje jen naprosto výjimečně; jedná se o poruchu vnímání v oblasti vlnových délek modré barvy, tedy o poruchu S-čípků. [4]

4.2.2 Dichromázie

Dichromázie je vada, při níž jsou funkční jen dva typy čípků, třetí je zcela vyřazen z funkce. Podobně jako u anomální trichromázie se vyskytují tři typy – protanopie, deuteranopie a tritanopie. Předpony prot-, deuter- a trit- opět nesou informaci o tom, který typ čípků je kompletně porušen. Protanopie je diagnostikována u zhruba 1 % mužů a 0,02 % žen; deuteranopie se objevuje v podobném množství – asi 1,3 % mužů a 0,01 % žen. Výskyt tritanopie je minimální, Tunnacliffe [10] udává jednoho nemocného na 13 000 zdravých jedinců.

Dichromatům stačí k vytvoření jakéhokoli barevného vjemu pouze dvě primární barvy, protože třetí nejsou schopni vnímat. Existují barvy, které se jim zdají velmi podobné nebo stejné. Pokud jsou tyto barvy vyneseny do barevného prostoru CIE, vzniknou přímky zvané záměnné linie (znázorněné na obrázku 6), protože barvy ležící na těchto přímkách jsou dichromaty zaměňovány. Tyto potíže mají i anomální trichromaté, avšak v menším měřítku. [10, 17]



Obr. Záměnné linie v CIE 1976 diagramu [18]

4.2.3 Monochromázie

Nejtěžší vadou barevného vidění je monochromázie. Můžeme ji rozdělit na čípkovou a tyčinkovou.

Při čípkové monochromázii je zachována funkce pouze jednoho typu čípků. L-čípková nebo M-čípková monochromázie se vyskytuje jen výjimečně a zdá se, že její příčinou je porucha v pozdějších částech zrakové dráhy. Častěji (asi 1 nemocný na 100 000 nemocných) se popisuje S-čípková monochromázie. Postižení mívají kromě ztráty barvocitu nízkou zrakovou ostrost, nystagmus a malý centrální skotom, který vzniká kvůli absenci S-čípků v centrální části sítnice. [4, 17]

Pokud jsou nefunkční všechny čípky, mluvíme o tyčinkové monochromázii. Právě kvůli absenci funkce čípků bývá doprovázena špatnou zrakovou ostrostití, nystagmem a úplnou ztrátou barevného vidění; vzhledem k nepřítomnosti tyčinek ve fovee bývá dalším příznakem centrální skotom. Postižený trpí také fotofobií, protože tyčinky nejsou adaptovány na velkou intenzitu světla. [4, 17]

	PORUCHA	ČERVENÁ	ZELENÁ	MODRÁ
ČÍPKY	částečná	protanomálie	deuteranomálie	tritanomálie
	úplná	protanopie	deuteranopie	tritanopie
	souhrnně	protanie	deutanie	tritanie
ČÍPKOVÁ MONOCHROMÁZIE			funguje pouze jeden typ čípků	
TYČINKOVÁ MONOCHROMÁZIE			fungují pouze tyčinky	

Tab. 1 Přehled poruch barvocitu

5 VYŠETŘOVÁNÍ BARVOCITU

V dnešní době by při každém běžném očním vyšetření optometristou mělo v rámci screeningu proběhnout i orientační vyšetření barvocitu, které odhalí případný vrozený nebo získaný defekt. V případě pozitivního nálezu se dále určuje typ a závažnost poruchy. Nejčastějším důvodem cíleného vyšetřování barevného vidění jsou pracovní prohlídky, ke kterým se dostaví žadatel o zaměstnání, které má speciální nároky na barevné vidění.

Účinnost každého testu je možné popsat dvěma parametry: senzitivita je procento abnormálních jedinců, kteří jsou testem správně určeni jako abnormální, zatímco specificita je procento normálních jedinců, kteří jsou testem správně identifikováni jako normální. Za referenční test se považuje anomaloskop (podrobněji kap. 5.4.1). [19]

5.1 ZÁSADY PŘI VYŠETŘOVÁNÍ A MANUPULACE S TESTY

Při vyšetřování barevného vidění je třeba zajistit vhodné podmínky, aby bylo vyšetření směrodatné. Konkrétní podmínky by měly vždy být uvedeny v návodu daného testu. V první řadě je nutné zvolit osvětlení, při kterém nebudou barvy testu nijak zkresleny; v případě nedodržení standartu by mohl být ovlivněn výsledek vyšetření. Pro pohodlné absolvování testu je dobré vyšetřovat s korekcí, aby bylo dosaženo nejlepší možné zrakové ostrosti. Pacient by ale neměl mít na sobě žádné zabarvené brýle nebo kontaktní čočky – test by pak mohl být falešně negativní, což je nežádoucí hlavně při pracovních prohlídkách. Standardně se provádí testy monokulárně, zvláště pokud je podezření na získanou poruchu. Pokud se ale s velkou pravděpodobností jedná o vrozenou patologii, může být pacient vyšetřen binokulárně. Zvláštní pozornost by měla být zaměřena na zacházení s testy, aby nedošlo k jejich poničení, např. kvůli nadbytečnému vystavování světlu by mohly barvy tištěné verze vyblednout, a test by tak ztratil výpovědní hodnotu. Vyšetřující by se neměl barevných částí testů dotýkat a také pacient by měl být na tento požadavek upozorněn. [20]

Podle typu, konstrukce a taktiky můžeme testy rozdělit do čtyř skupin: rozlišovací, seřazovací, míchací a pojmenovávací. Každé z těchto skupin bude věnována zvláštní pozornost v následujícím textu.

5.2 ROZLIŠOVACÍ (PSEUDOIZOCHROMATICKÉ) TESTY

Rozlišovací testy sestávají z několika tabulek. Na každé tabulce se nachází znak utvořený pomocí bodů (terčičků) určité barvy. Znak je umístěn na pozadí tvořeném terčičky odlišné barvy a velikosti, ale stejného jasu. Úkolem vyšetřovaného je znak přečíst. Stejný jas je vyžadován proto, že barvoslepý pacient rozdíly v jasech vnímá, a mohl by tak na základě těchto rozdílů znak přečíst. Při vyšetření barvocitu ale vyžadujeme, aby byl znak přečten na základě rozlišení barev.

Objektem umístěným na pozadí bývají číslce, písmena, geometrické tvary, obrázky, optotypy (Landoltovy prstence nebo Pflügerovy háky) nebo vzory, například zakroucené čáry, které má vyšetřovaný ukazovátkem „obtáhnout“ od jedné značky k druhé. [20]

5.2.1 Taktika testů

Existuje několik typů tabulek. Prvním z nich jsou úvodní tabulky. Znak na takové tabulce je viditelný pro jedince s normálním i poškozeným barevným viděním. Znak je od pozadí odlišen výrazným jasovým rozdílem, takže k jeho rozeznání není barvocit potřeba. Úvodní tabulky slouží k ujištění vyšetřujícího, že vyšetřovaný porozuměl svému úkolu, a také by měl odhalit případné simulanty.

Na mizejících tabulkách jsou barvy znaku a pozadí barvy ležící v oblasti protanových a deutanových záměnných linií, a tak osoba s poškozeným barvocitem neuvidí znak žádný, ale zdravý člověk ho rozliší.

Opačně je tomu u skrytých tabulek – znak vidí pouze člověk s vadou, zdravý nerozpozná nic díky tomu, že je schopen vnímat i drobné rozdíly v barevnosti terčičků, kdežto postižený toho schopen není a některé terčičky se mu spojí a bude je vnímat jako znak.

Na dvojznačných tabulkách jsou některé terčičky zabarveny tak, že mohou být barvoslepým vnímány jako součást znaku, kdežto zdravý jedinec je bude vnímat jako pozadí. Proto oba nahlásí nějaký znak, ale každý jiný – nemocnému se bude například číslo 3 jevit jako číslo 5.

Na kombinované tabulce najdeme dva znaky – jeden je konstruován jako úvodní a jeden jako mizející tabulka. Pokud je vyšetřovaný v pořádku, ohlásí dva znaky, pokud je přítomen defekt, nahlásí znak jeden. U mizejících (skrytých) tabulek může být postižený (zdravý) jedinec znervózněný, že nerozpoznal žádný znak. Proto je dobré, aby následovaly

dvojznačné nebo kombinované tabulky, kde každý, ať postižený nebo zdravý, něco vidí, což mu přináší uklidnění.

Následují tabulky, které slouží pro určování typu a závažnosti defektu. Diagnostické tabulky obsahují dva znaky – jeden pro protanové a jeden pro deutanové vady. Podle toho, který znak nebude rozlišen, se určí typ poruchy. Posledním typem jsou kvantitativní tabulky. Jedná se o sadu se zvyšujícím se rozdílem v barvách znaku a pozadí. Díky nim se dá orientačně určit závažnost poruchy.

Ideální je přirozené denní osvětlení, ale v optometrických vyšetřovnách se ho těžko dosahuje, proto je možné použít vhodnou zářivku. Naopak není doporučena wolframová žárovka. Teplota umělého zdroje světla by měla dosahovat např. pro Ishiharovy tabulky alespoň 6500 K, doporučené osvětlení je 250 – 600 lx. [18, 20]

5.2.2 Ishiharovy tabulky

První vydání Ishiharových tabulek bylo se objevilo v roce 1917 a od té doby vyšlo mnoho dalších edicí a úprav tohoto testu. Jedná se o nejčastěji používaný test a je považován za „zlatý standart“, co se týče rychlé identifikace vrozených červeno-zelených poruch. Obsahuje úvodní tabulku, dále mizející, dvojznačné, skryté a diagnostické tabulky. Plná edice má 38 tabulek (25 s čísly a 13 s čárami), zkrácená pak 24 tabulek (poměr 17:7). Tabulky s čárami byly zamýšlené jako vhodné pro děti, které neumí číst, ale i tak jsou považovány za příliš obtížné; speciálně pro děti tedy existují jiné testy. Ishiharův test by se měl provádět na vzdálenost 66 cm nebo na vzdálenost délky ruky a pacient by se měl na každou tabulku dívat maximálně 4 sekundy.

Některá čísla na Ishiharových tabulkách jsou náchylná ke špatnému přečtení – až 45 % normálních dospělých udělá alespoň jednu chybu. U dětí je toto procento vyšší. Senzitivita tohoto testu je 99 % a specificita 94 %, pokud počítáme se třemi chybami jako hranicí úspěšnosti. Počet chyb, které udělá abnormální figurant, je většinou výrazně vyšší než tři. Na základě tohoto počtu se nedá posuzovat závažnost defektu.

Test má i přes své velké výhody dva nedostatky: neobsahuje tabulky ke zjištění tritanových vad a není možné určit závažnost poruchy.

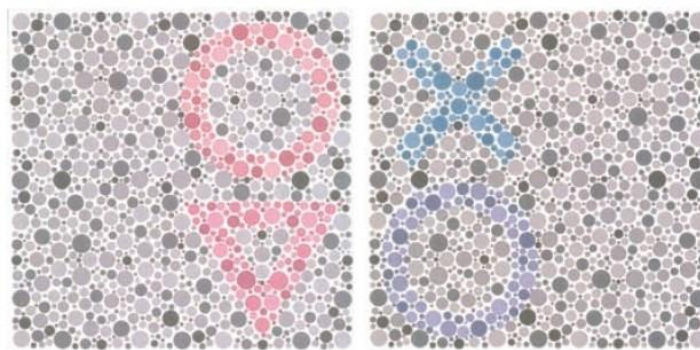
Dnes je možné použít Ishiharovy tabulky v elektronické verzi na LCD tabuli. Čerstvá studie [21] ukazuje, že senzitivita a specificita této verze je téměř stejná jako u

papírové verze. Navíc je velkou výhodou rychlé vyhodnocení výsledku a nižší pořizovací náklady. [18, 20, 22]

5.2.3 American Optical Hardy-Rand-Rittler Plates (AOHRR)

Původní edice z roku 1955 již není k dostání. Na trhu se vyskytují pouze další upravená vydání, která se od původního liší sytostí. Pomocí AOHRR je možné vyšetřit protanové, deutanové i tritanové vady i jejich závažnost, což je bezesporu velká výhoda proti Ishiharovu testu. Na tabulkách jsou (podobně jako na obrázku 6) symboly (kříž, trojúhelník nebo kruh) na šedém pozadí.

Senzitivita nejnovější verze (Richmond HRR) je podle studie [23] 100 % a specifická 97,5 %, pokud se počítá s hranicí neúspěchu dvě nebo více chyb. [18, 20]



Obr. 6 AOHRR (vlevo – červenozelené vady, vpravo - tritanové vady) [3]

5.2.4 Standardní pseudoizochromatické tabulky (SPP)

Test SPP obsahuje 2 díly. První je určen pro vyšetřování červeno-zelených vad. Terčíky, v rámci kterých má vyšetřovaný rozpoznat znak, jsou jedné velikosti a nejsou rozmístěné nahodile, ale v pravidelné husté síti. Obsahují úvodní, kombinované, mizející a diagnostické tabulky. Senzitivita a specifická SPP je velmi podobná jako u Ishiharových tabulek. Tento test má tu výhodu, že není tak snadno dostupný jako Ishiharovy tabulky, a tak je zabráněno osobám s porušeným barvocitem, aby si test předem nastudovali, naučili se ho, a tak v něm pak spíše uspěli. V druhém díle vypadají tabulky stejně, ale jsou určeny k zjištění získaných poruch ve všech barevných oblastech. [18]

5.2.5 Colour Vision Testing Made Easy (CVTME)

Tento pseudoizochromatický test je vyvinut speciálně pro děti. Obsahuje pouze symboly. V první sadě nalezneme jednoduché tvary, jako kružnici, čtverec nebo hvězdu, a v druhé komplexnější symboly, například psa, loď nebo balón. Test neobsahuje tritanové

tabulky, nedá se pomocí něho určit typ ani závažnost defektu. Hodnoty senzitivity a specificity jsou podobné jako u Ishiharových tabulek. [18]

5.3 SEŘAZOVACÍ TESTY

Jak název napovídá, úkolem vyšetřovaného je uspořádat barevné terče tak, aby na sebe jejich barvy plynule navazovaly. Podrobnější představení testů následuje níže.

5.3.1 Farnsworth Munsell 100 Hue Test (FM100)

FM100 pochází ze 40. let minulého století a využívá Munsellova systému barev, který byl podrobněji popsán v kapitole 2.2. Systém obsahuje 100 odstínů barev, avšak ne všechny jsou použity v FM100, protože obtížnost rozlišení dvou sousedících barev není v celé šíři odstínů stejná. Bylo proto vyřazeno 15 odstínů barev, a tak jich FM100 obsahuje ve skutečnosti jen 85. Jsou téměř rovnoměrně rozděleny do čtyř boxů, jak je možné vidět na obrázku 7. Každý tedy obsahuje 21 nebo 22 terčů – koleček o průměru asi 2 cm, různě barevných. V boxu je vždy první a poslední barevný odstín fixně daný. Všechny barvy v tomto testu mají stejnou sytost a jas a liší se pouze v odstínu. Pro rychlou kontrolu jsou terče ve správném uspořádání ze spodní strany očíslovány.

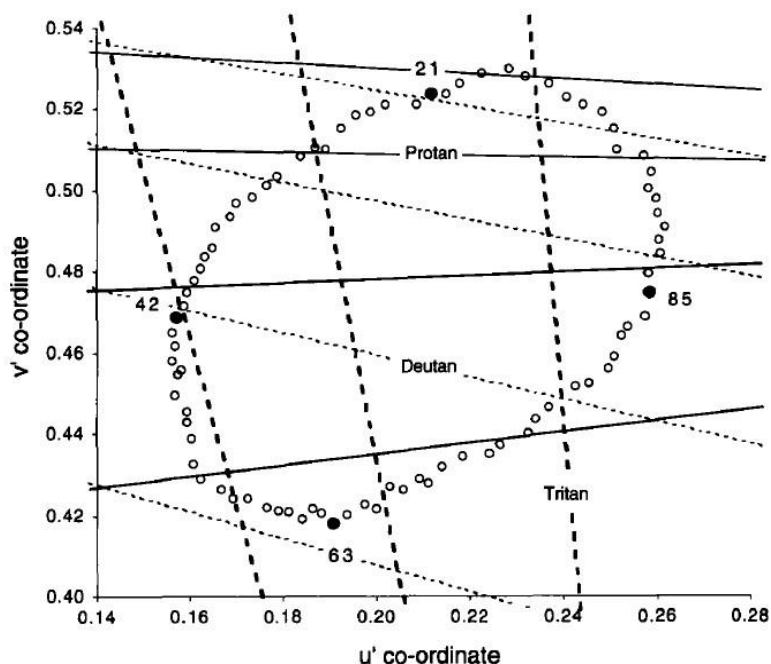


Obr. 7 Test FM100 [24]

Pro provádění vyšetření je doporučená hodnota osvětlení 200 - 250 lx. Vyšetřovaný by měl stihnout seřadit všechny terčiky asi za 20 minut. Výsledky testu jsou zpracovány pomocí skóre. To je přiřazeno každému terči jako součet absolutních hodnot rozdílů čísla terče a terčů, které s ním sousedí na obou stranách. Například skóre terče čísla 15 v případě uspořádání 13, 15, 16 bude $(15 - 13) + (16 - 15)$, tedy 3. Pokud jsou okolní terče uspořádány správně, tedy 14, 15, 16, skóre terče čísla 15 bude 2, tedy nejmenší možné. Zvýšené skóre v určitých oblastech spektra bude odpovídat protanové, deutanové a

tritanové vadě. Součet skóre všech terčů pak nazýváme totální chybové skóre (total error score, TES).

Na obrázku 8 jsou barvy jednotlivých terčů zaneseny do diagramu CIE 1976, černě jsou označené terčíky, které jsou fixně umístěné na kraji každého boxu. Je zde patrné, že některé barvy se mění paralelně s liniemi záměny, a tyto barvy budou figurantem s příslušnou poruchou barvocitu pravděpodobně spleteny a jejich pořadí bude špatně určeno. Naopak seřadit barvy, které jdou kolmo na tyto linie, mu nebudou dělat větší problémy.



Obr. 8 Barvy FM100 v CIE diagramu [18]

Vyhodnocení tohoto testu však není vždy snadné. Je potřeba vzít v úvahu několik faktorů, které zde hrají roli. V první řadě je to věk pacienta. Studie [25] zkoumala TES zdravých jedinců ve vztahu k jejich věku a vyšlo najevo, že nejlépe v testu obstáli (měli tedy nejnižší TES) figuranti ve věku 19 let, u mladších i starších jedinců se výsledek postupně zhoršoval. Proto je důležité při vyhodnocení FM100 výsledek porovnávat s průměrem dané věkové skupiny. Na výsledek může mít vliv také makulární pigment. Studie [26] ukázala, že způsobil různé výsledky mezi Asiaty (u kterých se předpokládá větší množství pigmentu) a modrookými bělochy (méně pigmentu). Mezi Asiaty a hnědookými bělochy se žádný významnější rozdíl neprokázal.

Tento test vzhledem ke své konstrukci předem nepředpokládá, ve kterých oblastech spektra bude testovaný chybovat (naopak je tomu např. u Ishiharových tabulek, kde jsou některé speciálně navrženy pouze pro odhalení jednoho typu defektu), a tak je vhodný pro vyšetřování získaných poruch barevného vidění, které se svou povahou vymykají a nedají se zařadit mezi protanové, deutanové či tritanové. Dále se hojně využívají pro hodnocení lidí, kteří jsou schopni výjimečně dobře rozlišovat barvy, což je užitečné při pracovních prohlídkách v případě povolání s vysokými nároky na barevné vidění. Je to možné proto, že test je velmi obtížný a jen několik lidí bez poruchy barvocitu jej zvládne bezchybně. Naopak o něco méně vhodný je FM100 pro vyšetřování vrozených poruch barevného vidění, protože ne vždy správně rozliší trichromázii od anomální trichromázie a protanopii od deutanopie.

Velkou nevýhodou testu FM100 je to, že jeho absolvování trvá příliš dlouho na to, aby byl používán jako běžný test. Byly proto vyvinuty další testy (popsány v dalších kapitolách), které obsahují celý rozsah Munsellova systému, ale počet terčků je menší.

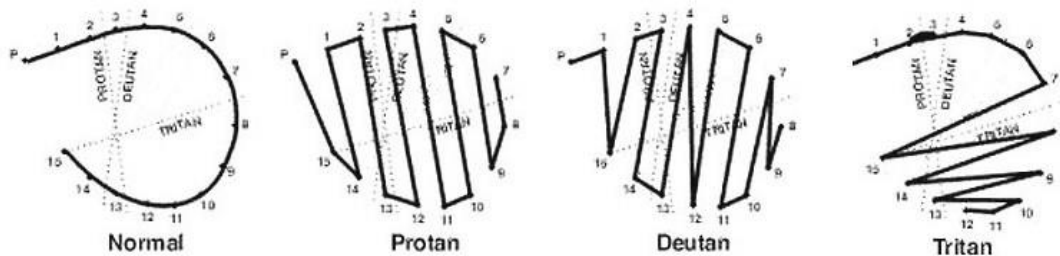
Existuje i počítačová verze FM100 realizovaná na LCD obrazovkách, jejíž výhody zkoumala studie [27]. Podle ní je elektronická verze až dvakrát rychlejší (ruční verze trvá průměrně 16 minut, elektronická 7,4 minut). Nedochozí zde ke kontaktu vyšetřovaného s terčíky, a tím je vyloučeno jejich poškození. Software je schopen provést rychlé vyhodnocení výsledku testu a jeho porovnání se statistickou normou. [18, 20]

5.3.2 Farnsworth D-15

Prvním ze série testů D-15 je Farnsworth D-15, který obsahuje jeden fixní začáteční terčík a 15 volných, které má vyšetřovaný seřadit. Protože jsou barevné rozdíly mezi sousedícími barvami poměrně velké, lidé bez vady nebo s jen velmi malou vadou tento test úspěšně složí. Test není příliš náročný a je možné ho zařadit jako druhý do série testů při každém vyšetřování barevného vidění (po Ishiharových tabulkách). Všechny jeho barvy jsou obsaženy v původním testu FM100, je tedy možné si jej z původní verze vytvořit.

Vyhodnocení se provádí zápisem do schématu, jak je ukázáno na obrázku 9. Číslo 1 – 15 v něm korespondují s čísly testových terčků. Vyšetřující spojí čísla tak, jak je pacient seřadil, a může zjistit, zda je přítomen defekt, a případně určit jeho typ podle toho, které záměnné linie spojnice kopírují. [18, 28]

Existují dvě desaturované verze tohoto testu popsané v kapitole 6.3.3.



Obr. 9 Výsledky D15 pro člověka bez vady, pro protanovou, deutanovou a tritanovou vadu [29]

5.3.3 Lanthonyho desaturovaný D-15 a Adamsův desaturovaný D-15

Zvláštností Lanthonyho testu je, že je při něm vyžadováno osvětlení 600 – 800 lx, což je více než při jiných testech. Rozdíly mezi barvami jsou menší než při předcházejícím testu, a tak je o něco obtížnější. Je využíván hlavně pro odhalování získaných barevných defektů.

Obtížnost Adamsova testu se pohybuje mezi obtížností Farnsworthova a Lanthonyho testu. Je spolehlivý pro vyšetření vrozených defektů, i když původně byl určen ke zkoumání získaných vad. Nikdy však nebyl komerčně dostupný. [18]

5.4 MÍCHACÍ TESTY

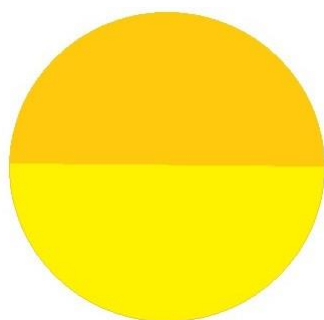
Tyto testy, nebo spíše přístroje, využívají aditivního míchání primárních barev. Jejich důležitým zástupcem je anomaloskop.

5.4.1 Anomaloskop

Tento přístroj je považován za „zlatý standart“ a používá se pro referenční měření. Pro jeho velkou přesnost a ne zrovna nízkou cenu je používán hlavně ve výzkumné oblasti, zřídka se objeví v běžné praxi. Pacient při pohledu do okuláru vidí kolečko rozdělené na dvě pole (podobně jako na obrázku 10) – jedno je žluté a druhé je směsicí červené a zelené barvy. Jeho úkolem je upravit políčka tak, aby byla stejně barevná. Jedním šroubem manuálně mění množství červené a zelené barvy, druhým šroubem mění jas žluté barvy v dolním políčku. Všechny anomaloskopy používají Rayleighovu rovnici: červená (670,8 nm) + zelená (546 nm) = žlutá (589,3 nm). Dnes používané vlnové délky se od těch původních, které navrhl Rayleigh, mírně změnil.

Prvním komerčně dostupným přístrojem založeným na tomto principu byl Schmidt and Haensch Nagel Anomaloscope Mark 1. K vytvoření příslušných barev používal metodu

disperze světla na optickém hranolu. Dnes už se však zakoupit nedá. Tento přístroj používá škálu od 0 (čistá zelená) po 73 (čistá červená). Člověk bez vady barvocitu určí jako výslednou směsici jen úzké rozpětí výsledků, a to kolem 42. Test je schopen rozlišit anomální trichromaty od normálních pacientů, dichromaty od anomálních trichromatů a protanové vady od deutanových. Anomální trichromaté k vytvoření směsi použijí nesprávný poměr červené a zelené – člověk s protanomálií přidá více červené, protože má pro ni sníženou citlivost, a člověk s deuteranomálií zase více zelené. Také budou akceptovat širší škálu řešení. Člověk s protanopií vůbec nevnímá červenou barvu, proto hornímu poli, kde se mu zdá, že se pouze mění typ zelené barvy, přizpůsobí dolní pole zvýšením jasu.



Obr. 10 Pole viditelné v anomaloskopu



Obr. 11 Anomaloskop Oculus Heidelberg [30]

Ekvivalentní přístroje, které jsou dnes komerčně dostupné, jsou Neitz OT, který vytváří testové barvy pomocí interferenčních filtrů, a Oculus Heidelberg (obr. 11), který používá kombinaci LED diod a interferenčních filtrů. Oculus Heidelberg se vyskytuje ve dvou typech, Mk1 a Mk2. Oculus Heidelberg Mk2 má rozšíření na vyšetření tritanových vad a používá k tomu Morelandovu rovnici: modrá (436 nm) + zelená (490 nm) \approx modrozelená (480 nm + 580 nm). [18]

5.4.2 Medmont C-100

Medmont C-100 je přístroj, který používá blikající LED diody – červenou a zelenou. Vyšetřovaný ovládá frekvenci blikání jednotlivých diod a má za úkol dosáhnout toho, aby světýlko, které je na jeho straně přístroje, blikalo žlutě a s co nejnižší frekvencí. Identifikovat u člověka protanovou vadu je snadné – přidá totiž do směsi více červené

barvy. U deutanových vad je to obtížnější – snížená citlivost deutanopů na zelenou barvu je ve srovnání se sníženou citlivostí protanopů na červenou daleko méně výrazná. Proto je nevýhodou tohoto testu nespolehlivé rozlišení deutanopů od normálních jedinců. Stejně funguje i přístroj OSCAR, který již ale není běžně k dostání. [18, 31]

5.5 POJMENOVÁVACÍ TESTY

Rozpoznávání barev a jejich pojmenování je stěžejní v některých pracovních oblastech, jako je například letecká a námořní doprava. Pojmenovací testy byly vytvořeny tak, aby co nejvíce imitovaly reálné podmínky těchto povolání. Významnými testy z této kategorie jsou Farnsworth Lantern a Holmes-Wright Lantern.

5.5.1 Farnsworth Lantern (FaLant)

FaLant byl vytvořen původně pro vojenské námořnictvo USA. Obsahuje barvy používané v tomto oboru, tedy červenou, zelenou a bílou. Je obtížnější než Farnsworth D-15, a proto je možné ho použít pro odhalení jemnějších rozdílů mezi mírnými vadami. Jeho použití je jednoduché a rychlé a nevyžaduje speciální osvětlení – vyšetřovanému jsou prezentovány barevná světla, která má pojmenovat. Dnes už test není komerčně dostupný, ale jako jeho plnohodnotná náhrada se na trh dostal Stereo Optical OPTEC 900. [18]

5.5.2 Holmes-Wright Lantern (H-W)

Jednalo se o náhradu již nedostupného testu Board of Trade lantern, ale ani H-W už dnes není běžně dostupný. Podobně jako FaLant obsahuje červenou, zelenou a bílou barvu. Existují dva typy H-W, a to A a B. Nejčastější chybou postižených vyšetřovaných bývá záměna bílé a zelené barvy, ale podobného omylu se dopouští i lidé s normálním barvocitem, pokud se při testování nedostatečně koncentrují. Tento test se používá v Royal Air Force a Royal Navy. [18]

5.5.3 Spectrolux lantern, Beyne lantern

Oba testy se využívají v oblasti letecké dopravy a jejich použití je podobné. Při testování na Spectroluxu vyšetřovaný vidí postupně 12 párů barev (červená, zelená, bílá). Beyne lantern obsahuje 5 barev, které jsou vyšetřovanému okázány v pořadí bílá, zelená, červená, modrá a žluto-oranžová. U obou testů je vyšetřovaný předem informován, které barvy může při testu očekávat, a jeho úkolem je správně všechny barvy pojmenovat, aby testem prošel. [32]

5.6 OSTATNÍ TESTY

Některé testy se svou povahou jen těžko zařazují do některé z výše uvedených skupin. Proto jsou shrnuty ve zvláštní kapitole.

5.6.1 City University Test (CUT)

Nepanuje jednotný názor, do které skupiny tento test patří. Článek [20] na něj pohlíží jako na rozlišovací testy, článek [18] ho řadí do míchacích testů. První vydání CUT obsahuje barevný terčik obklopený dalšími čtyřmi jinak barevnými. Pacient by měl určit, který terč se nejvíce podobá tomu prostřednímu. Tři z periferních terčků leží na záměnných liniích, čtvrtý je normálním pacientem viděn jako velmi podobný terčiku uprostřed. V testu D-15 (kapitoly 6.3.2 a 6.3.3) tyto dvě barvy sousedí. Test se skládá z 10 listů, na každém je daná pětice barev. Druhé vydání vypadá podobně, pouze je zkrácené na 6 listů. Podle článku [33] 100 % deutanopů a 96 % protanopů testem neprošlo; dále neuspělo 44 % deuteranomalů a 26 % protanomalů. U deutanových vad se dá dle počtu chyb určit stupeň závažnosti defektu. Do třetí edice byla přidána část, kdy jsou pacientovi předkládány trojice terčků a jeho úkolem je určit, zda jsou v dané trojici všechny barvy stejné, nebo se jedna odlišuje. Pro zdravého člověka by to měl být snadný úkol. [18, 20]

5.6.2 Intersociety Color Council Colour Matching Aptitude Test (CAT)

Tento test byl vytvořen za účelem rozpoznání výjimečně dobrých schopností rozlišovat barvy. Provádí se tak, že vyšetřovaný k dané barvě vybírá z nabídky čtyř dalších barev takovou, která se liší pouze sytostí. Používají se červené, modré, zelené a žluté sady barev. Nyní už tento test není komerčně dostupný, ale jako náhrada za něj byl vyvinut test Graham HSV, který funguje na stejném principu. [18]

6 POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŽIVOTĚ

Poškozený barvocit může omezovat lidi v jejich zaměstnáních či koníčcích. Ve sportu je důležitý dobrý barvocit pro rozpoznání odlišně barevných dresů, dobrou identifikaci míčku proti barevnému pozadí (trávě, antuce), ve škole mají děti barevně rozlišené pomůcky, turisté se orientují podle barevných značek. V některých zaměstnáních je barvocit nezbytnou potřebou pracovníka, aby nedošlo k nežádoucím výsledkům. Někdy se jedná o chyby ve výrobcích a špatně odvedenou práci (např. v textilním průmyslu nebo při barvení brýlových čoček), ale mnohdy by kvůli poruše barvocitu bylo ohroženo zdraví, nebo i život zaměstnanců a okolních lidí, a někdy by daná pracovní činnost byla prakticky nemožná. To je patrné především v oblasti dopravy, proto je tato kapitola podrobněji zaměřena na požadavky na zdravotní způsobilost (barvocit), jak je stanovuje zákon. [34]

6.1 SILNIČNÍ DOPRAVA

Zdravotní způsobilost k řízení motorového vozidla popisuje Ministerstvo zdravotnictví ČR. Řidiči a žadatelé o řidičské oprávnění se pro potřeby vyhlášky č. 277/2004 Sb. zařazují do skupiny 1 (skupiny A, B a B + E a AM a podskupiny A1 a B1) a do skupiny 2 (skupiny C, C + E, D, D + E a T a podskupiny C1, C1 + E, D1 a D1 + E; řidiči, kteří mají řízení automobilu uvedené v pracovní smlouvě nebo OSVČ, které řízení využívají k výkonu své činnosti, dále řidiči, kteří při výkonu pracovní činnosti používají výstražné modré světlo a instruktoři výcviku autoškoly).

Jako jeden ze stavů zraku ohrožující provoz na pozemních komunikacích vyhláška uvádí pro skupinu 1 závažné poruchy barvocitu v oblasti základních barev a pro skupinu 2 závažné poruchy barvocitu. Při zjištění těchto nedostatků musí být žadatel o řidičské oprávnění vyšetřen odborným lékařem, který zhodnotí, zda je žadatel zdravotně způsobilý k řízení motorového vozidla. [35]

Řidičům spadajícím do skupiny 2 je nařízeno dostavit se na lékařskou prohlídku každé dva roky, než dosáhnou 50 let věku, a poté každoročně. Řidiči skupiny 1 mají povinnost dostavit se k prohlídce půl roku před 65. a 68. rokem věku, ale nejpozději v den svých narozenin, a poté každé dva roky. [36]

Ministerstvo práce a sociálních věcí uveřejňuje na svých webových stránkách příručku pro posudkové lékaře vydanou Lékařskou posudkovou službou. V ní jsou

stanoveny možnosti, jak barvocit při pracovních prohlídkách vyšetřit. K vyšetření nabízí Worthova světla, Holmgreenova přádénka a pseudoizochromatické tabulky, dále anomaloskop nebo FM-100. [37]

6.2 LETECKÁ DOPRAVA

Letecký předpis (JAR-FCL 3 Způsobilost členů letových posádek) uveřejňuje Ministerstvo dopravy prostřednictvím Letecké informační služby. Má mezinárodní rozsah a řídí se jím více než 40 států, mezi něž patří i Česká republika.

Hlava B popisuje požadavky na zdravotní způsobilost 1. třídy, kam se řadí piloti letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku a piloti ve vícečlenné posádce letounu. Aby byl žadatel uznán jako zdravotně způsobilý, musí prokázat na Ishiharově testu normální barvocit. Pokud se tak nestane, musí být uznán jako bezpečně rozeznávající barvy, pokud to prokáže na anomaloskopu nebo na pojmenovávacích testech.

Je dobré uvést, že 24-tabulková verze Ishiharova testu je považována za splněnou, pokud je jeho prvních 15 tabulek náhodně předkládaných rozlišeno správně a bez zaváhání. Test na anomaloskopu je považován za splněný, pokud je odchylka na stupnici 4 jednotky nebo méně. Pojmenovávací testy jsou splněné, pokud žadatel bezchybně označí všechna světla. Za přijatelné testy je považován Holmes Wright, Beynes nebo Spectrolux. Neúspěšný žadatel je kvůli nedostatečné zodpovědnosti při rozeznávání barev označen za zdravotně nezpůsobilého.

Hlava C se zabývá zdravotní způsobilostí 2. třídy, která zahrnuje leteckého navigátora, palubního inženýra, soukromého pilota letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku, pilota kluzáků a volných balónů a palubního průvodčího. Požadavky na barvocit i kritéria splnění testu jsou stejné jako pro 1. třídu. Rozdílné je pouze výsledné vyhodnocení – pokud žadatel nerozeznává bezpečně barvy, je uznán za zdravotně způsobilého k létání pouze ve dne. [38]

6.3 LODNÍ DOPRAVA

Ministerstvo dopravy ČR stanovuje zdravotní překážky, které znemožňují přijetí do pracovního poměru vykonávaného na námořních lodích a nalodění na námořní obchodní loď, a patří mezi ně i porušený barvocit. Spadají sem ovšem pouze pracovníci palubního a strojního oddělení; na pracovnících hospodářského oddělení se dokonalé barevné vidění nepožaduje.

V rámci vnitrozemské plavby jsou překážky ke zdravotní způsobilosti v případě vůdce plavidla s výjimkou vůdce malého plavidla porucha barvocitu a v případě vůdce malého plavidla porucha barvocitu při zachovaném rozeznávání zelené, červené, modré a žluté barvy při vyšetření umělým světelným zdrojem s barevnými filtry. Do 60 let věku je doba platnosti posudku 10 let u vůdce plavidla provozujícího nekoncesovanou vodní dopravu a 3 roky u člena posádky plavidla a vůdce plavidla provozujícího koncesovanou vodní dopravu. Nad 60 let věku se platnost pro všechny skupiny zkracuje na 2 roky. [39, 40]

6.4 DRÁŽNÍ DOPRAVA

V případě osob provozujících dráhu a drážní dopravu je vyšetření barvocitu tabulkami podle vyhlášky nezbytnou součástí každého vyšetření u lékaře závodní preventivní péče. Na základě komplexní prohlídky je takový člověk prohlášen za zdravotně způsobilého, nezpůsobilého nebo způsobilého za určitých podmínek. Doba platnosti takového posudku je závislá na přesné pracovní pozici a věku zaměstnance a pohybuje se mezi jedním a pěti roky. [41]

V roce 1958 byl Jaroslavu Netušilovi udělen patent na nový přístroj ke zkoušení zraku na barvocit, který byl určen speciálně pro potřeby dráhy. Vyšetřovaný pojmenovává barvy (červená, zelená, žlutá), které mu jsou promítány. Vyšetřující k nim postupně přidává bílou barvu (snižuje jejich sytost) a je těžší je rozeznat. Přístroj má simulovat nepříznivé počasí, jako je mlha, déšť nebo oslnění. [2, 42]

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce shrnula problematiku barevného vidění. Stručně popsala barevné vidění a teorie vysvětlující jeho funkci. Dále byla věnována pozornost tomu, jak bývá barvocit poškozen. Barevné vady jsou vrozené nebo získané a nazýváme je podle toho, jestli se jedná o částečnou nebo úplnou poruchu a jaká oblast spektra je špatně vnímána. Hlavní a největší část textu byla věnována možnostem vyšetření barvocitu, tedy přehledu testů, které jsou nebo byly na trhu k dispozici. Nyní se mezi lékaři k základnímu vyšetření používají nejčastěji Ishiharovy tabulky, Farnsworth D-15 nebo některý z pojmenovávacích testů. V optometrické praxi ale zřídka najdeme jiný test než Ishiharovy tabulky, a to i přes to, že neobsahuje tabulky pro tritanové vady a pro zjištění míry defektu. V dnešní době je také možné vyšetření urychlit a zjednodušit pomocí verzí testů pro LCD obrazovky. Poslední část představila oblasti dopravy, ve kterých je na barvocit kladen velký důraz, a konkretizovala požadavky stanovené zákonem. Zajímavé je, že do této problematiky významně zasáhl i český vědec Jan Netušil, a byl mu dokonce udělen patent na přístroj ke zkoušení barvocitu pro drážní dopravu.

Práce by měla sloužit jako přehledný text seznamující čtenáře s daným tématem. Přínosem by měla být zvláště těm, kdo nemají příliš velké povědomí o fungování barvocitu, avšak zachovává si svůj akademický charakter, takže je vhodná i pro zájemce z odborné veřejnosti. Toto téma není v optometrii primární, protože ta se zaměřuje spíše na vyšetřování základních zrakových funkcí, jako je zraková ostrost a binokulární vidění, a proto může tato bakalářská práce sloužit i optometristům jako podklad pro jejich další studium v oblasti barevného vidění.

Zpracované téma má velký potenciál v oblasti výzkumu. Nabízí se zjistit, jaký vliv na výsledek některých testů mají různé extrémy osvětlení, věk nebo oční anamnéza figuranta, popřípadě únava. Dalším zajímavým námětem by mohlo být řešení barevných poruch - účinnost případné léčby, zrakového tréninku nebo nošení zabarvených brýlových čoček.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction*. 2nd edition. St. Louis: Butterworth Heinemann, 2006. ISBN 987-0-7506-7524-6.
- [2] POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [3] MELAMUD, A., HAGSTROM, M., TRABOULSI, E.I. *Color Vision Testing*. *Ophthalmic Genetics*, Vol. 25, 2004, No. 3, pp. 159 – 187. ISSN: 1744-5094.
Dostupné z:
<http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=7c58609c-d4c1-46da-8ce7-060e35bb7c2d%40sessionmgr198&hid=127>
- [4] FORMANKIEWICZ, M. *Normal Colour Vision and inherited colour vision deficiencies*. Continuing Education&Training, C-11858, 2009. Dostupné z:
<http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/c11858.pdf>.
- [5] VESELÝ, P. *Současné metody vyšetřování barvocitu*. *Česká oční optika*, roč. 56, 2010, č. 4, str. 54 – 66. ISSN 1211-233X.
- [6] KOLÍN, J. *Oční lékařství*. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [7] PLUHÁČEK, F. *Fyziologická optika – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.
- [8] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [9] TROJAN, S. a kol. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [10] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0 9009 928 3.
- [11] CHRAPEK, O. *Zrakový nerv, zraková dráha – výukové materiály k předmětu Anatomie a fyziologie oka*, Oční klinika Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a Fakultní nemocnice Olomouc, Olomouc, 2013.
- [12] Wikipedia. *Gegenfarbtheorie* [online]. © 2014 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gegenfarbtheorie>
- [13] OREL, M. a kol. *Člověk, jeho smysly a svět*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-2946-6.
- [14] ASBURY, T. a kol. *General ophthalmology*. Stamford: Appleton and Lange, 1999. ISBN: 0-8385-3137-7.

- [15] PACHECO-CUTILLAS, M. a kol. *Acquired colour vision defects in glaucoma—their detection and clinical significance*. British Journal of Ophthalmology, Vol. 83, 1999, No. 12, pp. 1396 – 1402. ISSN: 1468-2079. Dostupné z: <http://bjo.bmj.com/content/83/12/1396.full.pdf+html>
- [16] FORMANKIEWICZ, M. *Acquired Colour Vision Deficiencies*. Continuing Education&Training, C-12174, 2009. Dostupné z: http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/CET_NAV_0611.pdf.
- [17] GEGENFURTNER, K. R. *Color Vision From Genes to Perception*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0521590531.
- [18] DAIN, S. J. *Clinical colour vision tests*. Clinical and Experimental Optometry, Vol. 87, 2004, No. 4-5, pp. 276 – 293. ISSN: 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05057.x/epdf>
- [19] BIRCH, J. *Efficiency of the Ishihara Test for identifying red-green colour deficiency*. Ophthalmic and Physiological Optics, Vol. 17, 1997, No. 5, pp. 403 – 408. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1475-1313.1997.97000227.x/epdf>
- [20] FORMANKIEWICZ, M. *Assessment of Colour Vision*. Continuing Education&Training, C-11998, 2009. Dostupné z: <http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/CET231009.pdf>.
- [21] MAREY, H. M. a kol. *Ishihara Electronic Color Blindness Test: An Evaluation Study*. Ophthalmology Research: An International Journal, Vol. 3, 2015, No. 3, pp. 67 – 75. ISSN: 2321-7227. Dostupné z: <http://www.sciencedomain.org/issue.php?iid=889&id=23>
- [22] MIYAHARA, E. *Errors Reading Ishihara Pseudoisochromatic Plates Made by Observers with Normal Colour Vision*. Clinical and Experimental Optometry, Vol. 91, 2008, No. 2, pp. 161 – 165. ISSN: 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2007.00210.x/epdf>
- [23] COLE, B. L. *The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test*. Clinical and Experimental Optometry, Vol. 89, 2006, No. 2, pp. 73 – 80. ISSN: 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2006.00015.x/epdf>
- [24] Munsell Store. *MunsellStore.com* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.munsellstore.com/files/CPB00005/752.jpg>
- [25] KINNEAR, P. R., SAHRAIE, A. *New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5–22 and for age decades 30–70*. British Journal of Ophthalmology, Vol. 86, 2002, No. 12, pp. 1408 – 1411. ISSN: 1468-2079. Dostupné z: <http://bjo.bmj.com/content/86/12/1408.full.pdf+html>

- [26] DAIN, S. J., CASSIMATY, V. T., PSARAKIS, D.T. *Differences in FM100-Hue test performance related to iris colour may be due to pupil size as well as presumed amounts of macular pigmentation*. *Clinical and Experimental Optometry*, Vol. 87, 2004, No. 4-5, pp. 276 – 293. ISSN 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05061.x/pdf>
- [27] GHOSE, S. a kol. *A new computer-based Farnsworth Munsell 100-hue test for evaluation of color vision*. *International Ophthalmology*, Vol. 34, 2014, No. 4, pp. 747 – 751. ISSN: 1573-2630. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10792-013-9865-9>
- [28] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry*. 5th ed. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.
- [29] KALLONIATIS, M., LUU, Ch. *Color Perception* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://webvision.med.utah.edu/gifswv/KallColor25.GIF>
- [30] Good-lite. *Good-lite* [online]. © 2015 [2015-04-24]. Dostupné z: https://www.good-lite.com/cw3/assets/product_full/466600_lg.png
- [31] HARRIS, B. W., COLE, B. L. *Diagnosing protan heterozygosity using the Medmont C-100 colour vision test*. *Clinical and Experimental Optometry*, Vol. 88, 2005, No. 4, pp. 240 – 247. ISSN: 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2005.tb06702.x/epdf>
- [32] SQUIRE, T. a kol. *Color Vision Tests for Aviation: Comparison of the Anomaloscope and Three Lantern Types*. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 76, 2005, No. 5, pp. 421 – 429. ISSN: 0095-6562. Dostupné z: <http://www.ingentaconnect.com/content/asma/ asem/2005/00000076/00000005/art00001?token=005319d8084f14ce867232d45232b6d247a7b2d3b6b67217a6b3568293c62207d673f582f6bdecbfcc4>
- [33] BIRCH, J. *Clinical use of the City University Test*. *Ophthalmic & physiological optics* (2nd Edition), Vol. 17, 1997, No. 6, pp. 466 – 472. ISSN: 1475-1313. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1475-1313.1997.9700029x.x/abstract>
- [34] COLE, B. L. *The handicap of abnormal colour vision*. *Clinical and Experimental Optometry*, Vol. 87, 2004, No. 4-5, pp. 258 – 275. ISSN: 1444-0938. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05056.x/epdf>

- [35] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 277/2004 Sb., *O stanovení zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel, zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel s podmínkou a náležitosti lékařského potvrzení osvědčujícího zdravotní důvody, pro něž se za jízdy nelze na sedadle motorového vozidla připoutat bezpečnostním pásem (o zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel)*. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/Silni%C4%8Dn%C3%AD+doprava/
- [36] Zákon č. 361/2000 Sb., *O provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)*. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_silnicni/Silni%C4%8Dn%C3%AD+doprava/
- [37] Ministerstvo práce a sociálních věcí. *Aktuality lékařské posudkové služby* [online]. © 2009 [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/files/clanky/5432/posudkova.pdf>
- [38] Předpis JAR-FCL 3 *Způsobilost členů letových posádek*. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/Jar/JAR-FCL_3/index.htm
- [39] Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 450/2000 Sb., *O kapitánském slibu, zkouškách, odborné a zdravotní způsobilosti členů posádky lodě, průkazech způsobilosti, námořnických knížkách a o zdravotní péči o členy posádky lodě*. Dostupné z: <http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa+CR+-+vodni/>
- [40] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 224/1995 Sb., *O způsobilosti osob k vedení a obsluze plavidel*. Dostupné z: <http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa+CR+-+vodni/>
- [41] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 101/1995 Sb., *Řád pro zdravotní a odbornou způsobilost osob při provozování dráhy a drážní dopravy*. Dostupné z: http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Legislativa/Legislativa_CR_drazni/
- [42] Úřad průmyslového vlastnictví. *Patentní spis č. 91833 Přístroj ke zkoušení zraku na barvocit* [online]. © 2008 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FirstPages/FPPV0091/0091833.pdf>