

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2019

**LEONTÝNA
VARVAŘOVSKÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Porovnání testů pro určení barvocitu

Comparison of color vision tests

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Leontýna Varvařovská

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Varvařovská** Jméno: **Leontýna** Osobní číslo: **465429**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání testů pro určení barvocitu

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of color vision tests

Pokyny pro vypracování:

Studentka formou rešerše zpracuje problematiku barevného vidění lidí (fyziologie barevného vidění, poruchy vnímání barev, vyšetření barvocitu). V rámci teoretické části práce studentka dále popíše princip jednotlivých testů pro vyšetření barvocitu – Ishihariho pseudoisochromatické tabulky, tabulky pro vyšetření barvocitu (Stilling, Hertel, Valhagen), Farnsworth-Munsellův 100 Hue test a Lanthonyho desaturovaný test D-15. V praktické části práce studentka vyšetří skupinu min. 20 osob, srovná zjištěné výsledky jednotlivých testů a porovná je s procentuálním zastoupením udávaným v literatuře.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ROZSÍVAL, P. a kol., Oční lékařství, ed. 1, Galén, Karolínium, 2006, ISBN 80-7262-404-0
- [2] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [3] Česká oční optika, Současné metody vyšetřování barvocitu. Brno, 2010, roč 51, č.4, s.8. ISSN 1211-233X

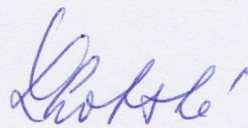
Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

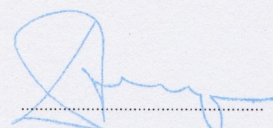
Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**



doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.
podpis vedoucí(ho) katedry



prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinnen(a) vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

4.3.2019

Datum převzetí zadání

Vanová

Podpis studenta(ky)

II. ÚBAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

(This section contains faint, mirrored text from the reverse side of the page, including a list of references and a signature area.)

Seznam doporučené literatury:

- [1] ROZSIVÁ, P. a kol. Oční lékařství, ed. J. Galen, Karolinum, 2006, ISBN 978-80-7382-404-0
- [2] KUČOVSKÁ, P. Oční lékařství, ed. J. Píška, Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-7471-201-8
- [3] Čestná oční optika. Současné metody výšetrovacího parvochmu. Brno, 2010, 165 s., k. b. ISBN 978-80-7382-404-0

Jméno a příjmení vedoucího(vedoucí) bakalářské práce: Mgr. Jana Lízová, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce: _____

Datum zadání bakalářské práce: 12. 03. 2019

Průběh zadání bakalářské práce: 20. 09. 2020

Název bakalářské práce: Porovnání testů pro určení barvocitu

Abstrakt:

V bakalářské práci se zaměřuji na problematiku poruch barvocitu a jejich možným vyšetřením. Důležitou částí práce je stručná teorie vztahující se k fyziologii barevného vidění, k samotným poruchám barvocitu a k jednotlivým testům, které se používají k vyšetření barvocitu. V další části práce jsou pak porovnány čtyři různé testy (Ishihariho pseudoisochromatické tabulky, Tabulky k vyšetření barvocitu, Lanthonyho test D-15 a Farnsworth-Munsellův 100 Hue test). Tyto testy jsou porovnány na základě přesnosti, podrobnosti a komfortu během testování. Nejpřesnějším využívaným testem je Farnsworth-Munsellův 100 Hue test, který má nepřehlédnutelný význam v oboru neurologie. Oftalmologie a optometrie naopak nejčastěji v praxi využívá pseudoisochromatické testy.

Klíčová slova:

Barvocit, poruchy barvocitu, vyšetření barvocitu, testy na barvocit

Bachelor's Thesis title: Comparison of color vision tests

Abstract:

The bachelor thesis focuses mainly on the issue of disorders of color vision and possibilities of an examination of color perception. The important part of this work is brief theory related to physiology of color vision, disorders of color vision and color vision tests. In the other part of this work there are a comparison of four color vision tests (Ishihara's pseudoisochromatic plates, Plates for testing color perception, Lanthony's test D-15 and Farnsworth-Munsell 100 Hue test). These tests are compared based on exactness, detail and comfort during the examination. The most accurate test is Farnsworth-Munsell 100 Hue test which has an unforgettable importance in the field of neurology. In ophthalmology and optometry are mostly used pseudoisochromatic plates.

Key words:

Color perception, disorders of color vision, an examination of color perception, color vision tests

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své práce Mgr. Janě Urzové, Ph.D. za pomoc s výběrem tématu bakalářské práce a za průběžné konzultace. Dále bych ráda poděkovala oční a neurologické klinice 1. LF UK za konzultaci a poskytnutí dvou testů pro tuto bakalářskou práci.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Porovnání testů pro určení barvocitu*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1. Úvod	1
2. Anatomie sítnice	2
2.1 Fotoreceptory	3
3. Fyziologie barevného vidění	5
3.1 Teorie barevného vidění	6
3.2 Mísení barev	7
3.2.1 Aditivní mísení barev	7
3.2.2 Subtraktivní mísení barev	7
4. Barvocit	8
4.1 Vnímání barev	8
4.2 Poruchy barvocitu	8
4.2.1 Vrozené poruchy barevného vidění	9
4.2.2 Získané poruchy barevného vidění	11
4.3 Vyšetření barvocitu	11
4.3.1 Pseudoisochromatické testy	12
4.3.2 Testy barevné preference	13
4.3.3 Světelné testy	16
5. Experimentální část	17
5.1 Úvod	17
5.2 Cíle práce	17
5.2.1 Motivace	17
5.2.2 Hypotézy	18
5.3 Metodika výzkumu	18
5.3.1 Vyšetřované osoby	18
5.3.2 Průběh vyšetření	18
5.4 Výsledky	28
6. Diskuse	36
7. Závěr	37
Seznam použité literatury	40
Seznam symbolů a zkratk	43
Příloha A: Šablona protokolů	44

1. Úvod

Zrak je jedním z pěti základních smyslů člověka a zároveň je jedním z nejdůležitějších. Člověk vnímá zrakem asi 80 % všech informací z okolí, a právě tento smysl hraje hlavní roli především v rozlišování předmětů okolo nás a v orientaci v prostoru.

Barevné vidění je pro člověka důležité v každodenním životě, kdy se například řídíme barevnými signály, a to ať už při jízdě automobilem nebo jako chodci při přecházení. Velká část populace však využívá tuto schopnost i v jejich profesním životě a při volnočasových aktivitách. Lidské oko vnímá záření o vlnových délkách v rozmezí 380-780 nm [1] a díky třem typům čípků sítnice (trichromatické vidění) je schopno rozlišit 150 různých barev a až 2 000 různých barevných odstínů.

Trichromatické vidění je v říši savců výsadou primátů, nicméně menší procento z lidské populace má nějakou poruchu vnímání barev. Na jedné straně jde o poruchy vrozené, kdy se člověk narodí s určitým omezením barevného vidění, na druhé potom o poruchy získané, které mohou souviset s celkovými onemocněními a otravami.

Vyšetření barvocitu by se běžně mělo provádět během preventivních prohlídek a při každé změně vnímání barev. Díky včasné identifikaci změny barvocitu u člověka může ošetřující lékař začít s vhodnou léčbou různých, většinou akutních onemocnění.

U profesionálních pracovníků, kteří jsou ve svém profesním životě ovlivněni vnímáním barev, se provádí specializovaná vyšetření. Taková vyšetření nesmí chybět například u profesionálních řidičů.

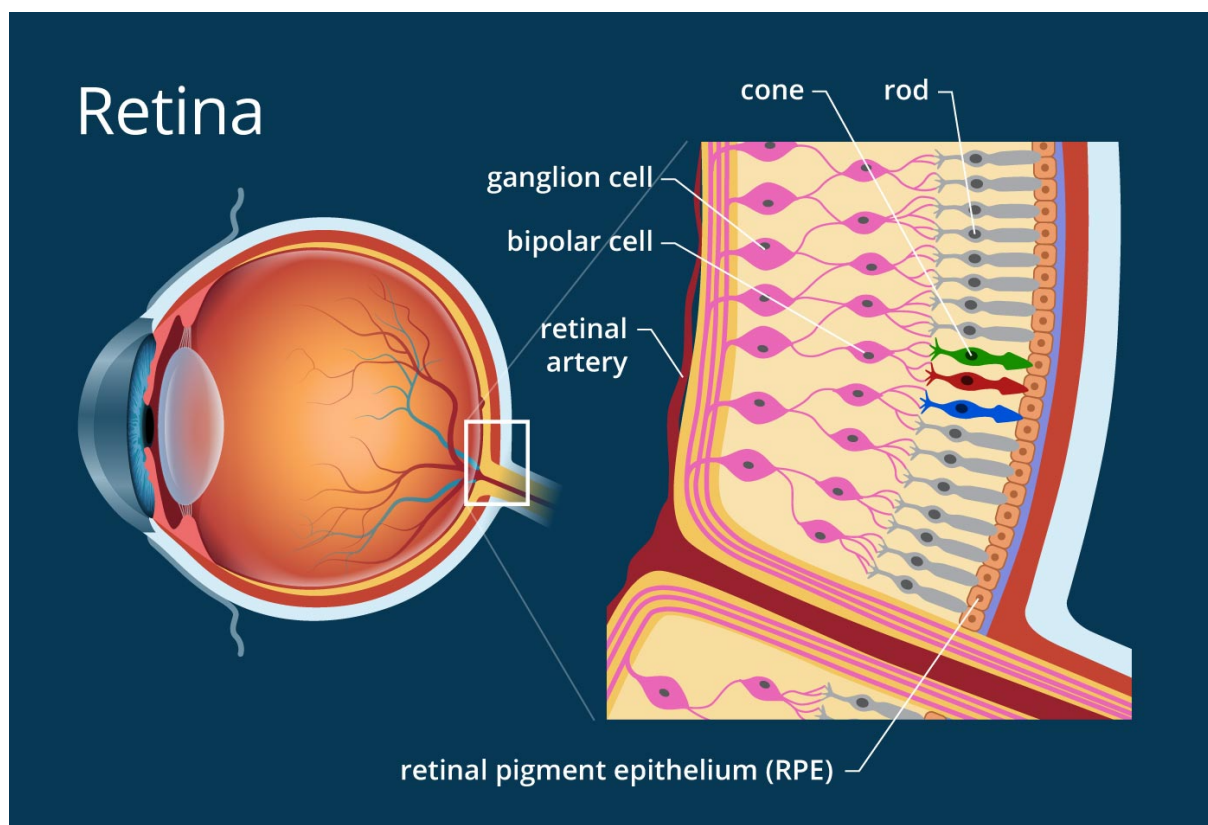
K základním testům pro vyšetření barvocitu se používají pseudoisochromatické tabulky, které by měl mít každý praktický lékař a oftalmolog. Pro vyšetření získané ztráty barvocitu jsou zapotřebí přesnější testy, jako je například Farnsworth-Munsellův Hue Test.

Ve své práci se budu věnovat porovnání čtyř různých testů pro vyšetření barvocitu, a to jak z hlediska přesnosti, tak z hlediska využití v běžné praxi. Nejprve přiblížím jednotlivé poruchy barvocitu, a to i s ukázkou vidění s takovými poruchami. Dále popíši jednotlivé testy a jejich využití. Nakonec v experimentální části porovnam čtyři vybrané testy.

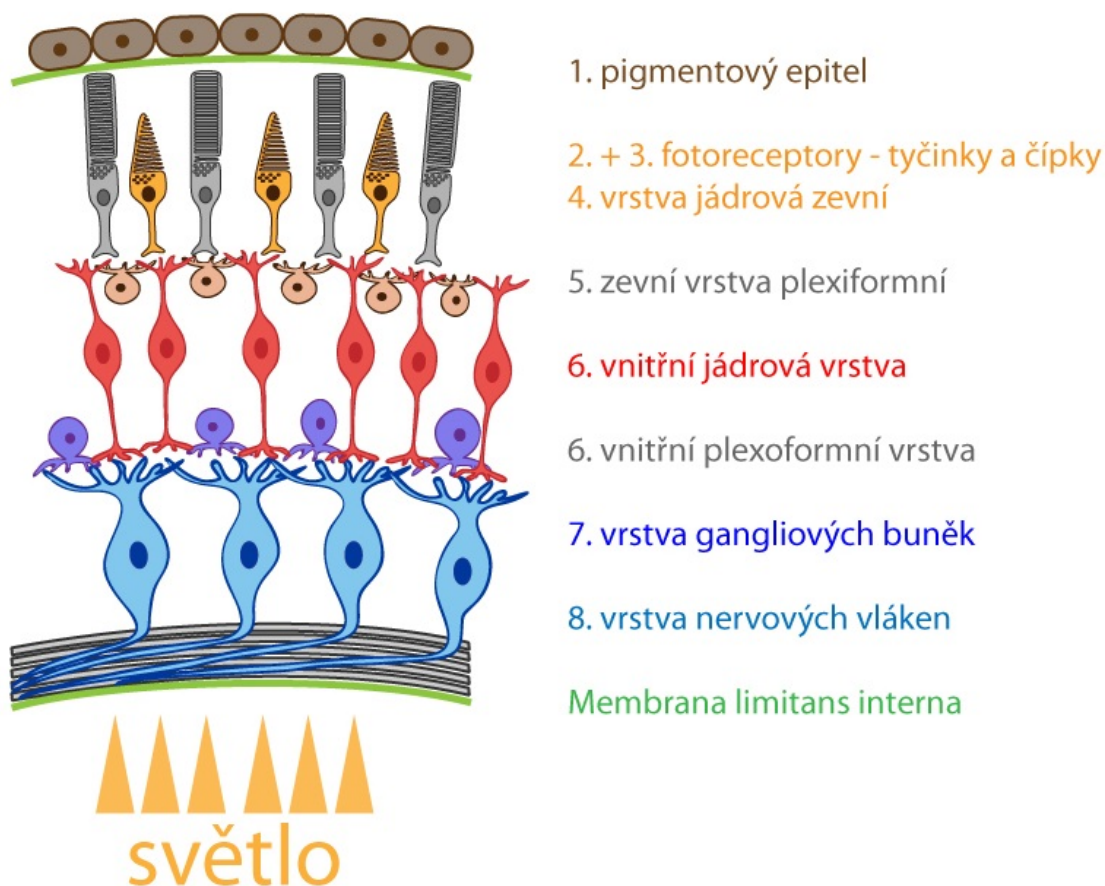
2. Anatomie sítnice

Sítnice (retina) je nejvnitřnější vrstva oční koule a v dospělosti je rozdělena na dvě části – pars coeca retinae, která je tvořena dvouvrstevným epitelem a pokrývá povrch corpus ciliare a iris, a pars optica retinae, která se skládá z pigmentového epitelu a nervové vrstvy sítnice a pokrývá zadní pól oka. Na sítnici oka lze rozlišit vnitřní vrstvu (neuroretina) a zevní vrstvu tvořenou jednovrstevným retinálním pigmentovým epitelem. Retinální pigmentový epitel je spojen s pars optica retinae, která je dále rozdělena podle histologické skladby na devět vrstev. První vrstvou je vrstva fotoreceptorů (tyčinek a čípků), která těsně naléhá na pigmentový epitel sítnice. Dalšími vrstvami je membrána limitans externa, zevní vrstva jádrová, zevní vrstva plexiformní, vrstva gangliových buněk, vrstva nervových vláken a poslední je membrána limitans interna. [2]

Sítnice také obsahuje tři neurony, které jsou součástí zrakové dráhy. Prvním neuronem jsou fotoreceptory (tyčinky a čípky), jejichž krátké axony jsou napojené na druhý neuron bipolární buňky. Třetí neuron je tvořen gangliovými buňkami a je obecně označován jako ganglion opticum. [2, 3, 4, 5, 6]



Obr. 2.1: Anatomie sítnice (retina) [7]



Obr. 2.2: Vrstvy sítnice [8]

2.1 Fotoreceptory

První vrstvou pars optica retinae je vrstva tyčinek a čípků. Sítnice lidského oka obsahuje přibližně 120 milionů tyčinek a 6 milionů čípků [9]. Počet čípků je v průběhu života konstantní, avšak počet tyčinek se vzrůstajícím věkem klesá (přibližně o 30 %). [2]

Tyčinky jsou specializované smyslové buňky, které jsou přizpůsobené pro vnímání rozdílů světla a jsou nejcitlivější především v modrozelené oblasti spektra (skotopické vidění). Citlivost na světlo v tyčinkách způsobuje barvivo rodopsin, které zachycuje fotony. Rodopsin je tvořen dvěma proteiny (opsin a retinal) a absorbuje především světlo o vlnové délce 500 nm. [2, 9, 10, 11, 12]

Čípky jsou naopak takové fotoreceptory, díky kterým dochází k vnímání různých vlnových délek, a tím k rozlišování barev. Uplatňují se pouze za jasného světla (fotopické vidění) a nejcitlivější jsou pro vlnovou délku 555 nm. Největší zastoupení čípků sítnice je v oblasti fovea centralis. Lidské oko, a také oko ostatních primátů, obsahuje tři různé typy

čípků. Jednotlivé typy čípků se liší v proteinu opsinu, na který se váže molekula retinalu, a také v oblasti světla, kterou absorbují. Rozlišujeme čípky pro modrou (S-čípky, maximum v 450 nm), zelenou (M-čípky, maximum v 530 nm) a červenou barvu (L-čípky, maximum v 565 nm). [2, 9, 10, 11, 12]

Podle studie z roku 1986 bylo zjištěno, že gen pro modrý pigment (S-čípky) je uložen na chromozómu 7 a pigment tyčinek na chromozómu 3. Gen pro zelený a červený pigment je uložen na chromozómu X. Z toho vyplývá, že poruchy vnímání červené a zelené barvy jsou děděny gonozomálně (dědičnost vázaná na X chromozóm) a poruchy vnímání modré barvy se dědí autozomálně. [9]

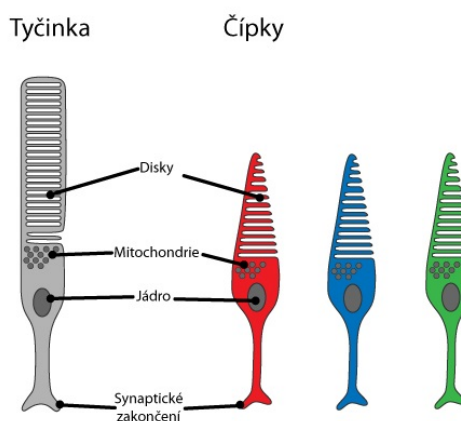
Anatomie fotoreceptorů

Tyčinky i čípky se skládají z několika částí. První z nich je vnější segment, který je tvořen svazkem membránových disků a obalen plasmalemou (cytoplazmatickou membránou). V této vrstvě se nachází fotosenzitivní barviva. [13]

Druhou vrstvou je cilium, které spojuje vnější a vnitřní segment fotoreceptorů. [13]

Vnitřní segment obsahuje buněčné struktury a lze jej rozdělit do dvou částí. První z nich (elipsoid) obsahuje velké množství mitochondrií. V druhé části (myoid) jsou potom všechny zbylé buněčné organely. [13]

Poslední částí fotoreceptorů je buněčné tělo, které se dále protahuje v synaptické zakončení. V buněčném těle se nachází buněčné jádro. [13]



Obr. 2.3: Fotoreceptory [8]

3. Fyziologie barevného vidění

Lidské oko vnímá elektromagnetické vlny v oblasti spektra (380-760 nm) a díky třem typům čípků lidské sítnice můžeme toto vidění označit jako trichromatické. Za fotopických podmínek (denní vidění), kdy pracují především čípky sítnice, získáme jinou křivku citlivosti než za podmínek skotopických (noční vidění), kdy jsou citlivější tyčinky. Barevný vjem je charakterizován barevným tónem, sytostí a jasem [14]. Lidské oko je schopno rozlišovat rozdíly v barevnosti v řádech 1 nm. [15]

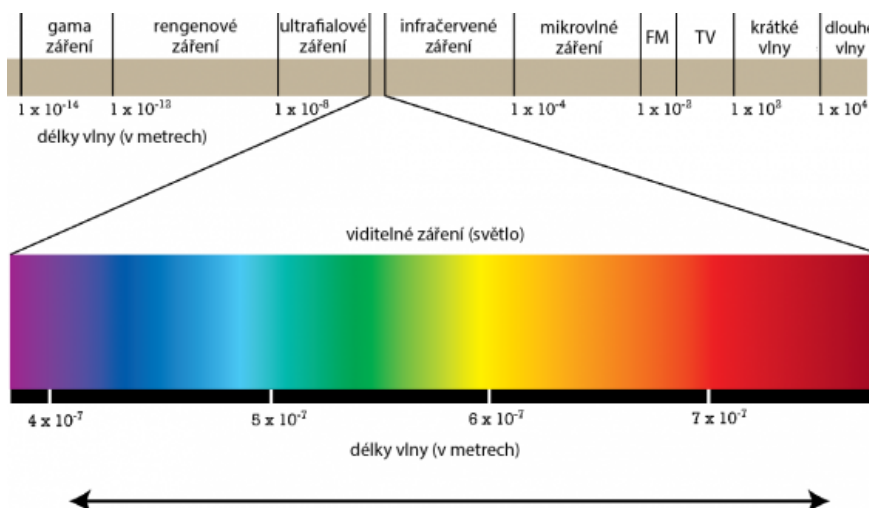
Nejvíce barev je lidské oko schopno vnímat za průměrného osvětlení. Pokud se intenzita osvětlení sníží, oko ztrácí schopnost rozlišovat barvy (funkci přebírají tyčinky). Podobně je tomu tak i při vyšších intenzitách, kdy vnímané barvy ztrácí sytost. [16]

Na barvě, jas a sytosti pozorovaného předmětu závisí velikost zorného úhlu. Pro bílou, žlutou a modrou barvu je zorný úhel největší, nejmenší zorný úhel je pro barvu zelenou. [16]

Fototransdukce

Fototransdukce je proces, při kterém dochází k přeměně dopadajícího fotonu na elektrický signál. Absorbovaný foton změní 11-cis-retinal (chromofor fotoreceptorů) na all-trans-retinal, čímž dojde k aktivaci tzv. 2nd messenger systému. Aktivovaný 2nd messenger systém následně uzavírá Na⁺ kanály, což má za následek hyperpolarizaci buněk. [13, 17]

V temnostním stavu fotoreceptory uvolňují neurotransmitter glutamát, který bipolární buňky hyperpolarizuje, nebo naopak depolarizuje. [17] Mezi fotoreceptory a bipolárními buňkami se nacházejí horizontální buňky, které přijímají a zpracovávají signály z čípků. Horizontální buňky jsou charakterizovány elektrickým potenciálem (S-potenciály) podle stimulace sítnice světlem. Jedná se o oponentní kódování, které zaobírá dva systémy pro červenou a zelenou barvu a pro modrou a žlutou barvu. Červená, resp. modrá způsobují hyperpolarizaci (zvyšování membránového potenciálu) a zelená, resp. žlutá naopak depolarizaci (snižování membránového potenciálu). [15]



Obr. 3.1: Barevné spektrum světla [18]

3.1 Teorie barevného vidění

V průběhu let vznikaly různé teorie, které se snažily vysvětlit vnímání barev okem.

1) Trichromatická teorie

V roce 1802 vytvořil Thomas Young Trichromatickou teorii barevného vidění.

Tato teorie vychází z poznatku, že se na sítnici nachází tři druhy čípků. Každý z čípků odpovídá na jednu část spektra. Odpovědi čípků a mícháním tří základních spektrálních barev (červená – R, zelená – G, modrá – B) vznikají jednotlivé barvy. Takovému míchání barev se říká „aditivní mísení barev“ a smícháním všech tří základních spektrálních barev nám vzniká vjem bílé barvy. Černá barva podle aditivního mísení barev vzniká díky absenci odpovědi receptorů. [19, 9]

2) Oponentní teorie barev

Oponentní teorie je založena na myšlence, že existují tři typy receptorů odpovídající antagonistické dvojici barev (červená – zelená, žlutá – modrá, černá bílá). To se odehrává na sítnici na úrovni horizontálních C – buněk. Jednotlivé barvy vznikají mísením barev podle hyperpolarizace a depolarizace. Černá a bílá barva jsou odpovědi na podráždění tyčinek. [19, 9]

3) Teorie zón (The Zone Theory)

Teorie zón spojuje trichromatickou teorii s teorií oponentní. Obě tyto teorie byly schopny vysvětlit podstatu barevného vidění jen z části, proto v roce 1930 vytvořil Muller takovou teorii, která tyto dvě předešlé teorie spojuje dohromady. [19] Teorie zón říká, že barevné vidění je iniciováno absorpcí fotonů a jejich přeměnou na elektrický signál („první zóna“). Ve „druhé zóně“ je signál rozdělen na tři nové

signály, z čehož jeden z nich je achromatický (černá a bílá) – „kanál jasu“. Zbylé dva signály fungují na principu oponentního mechanismu (červená – zelená, modrá – žlutá). [19]

3.2 Mísení barev

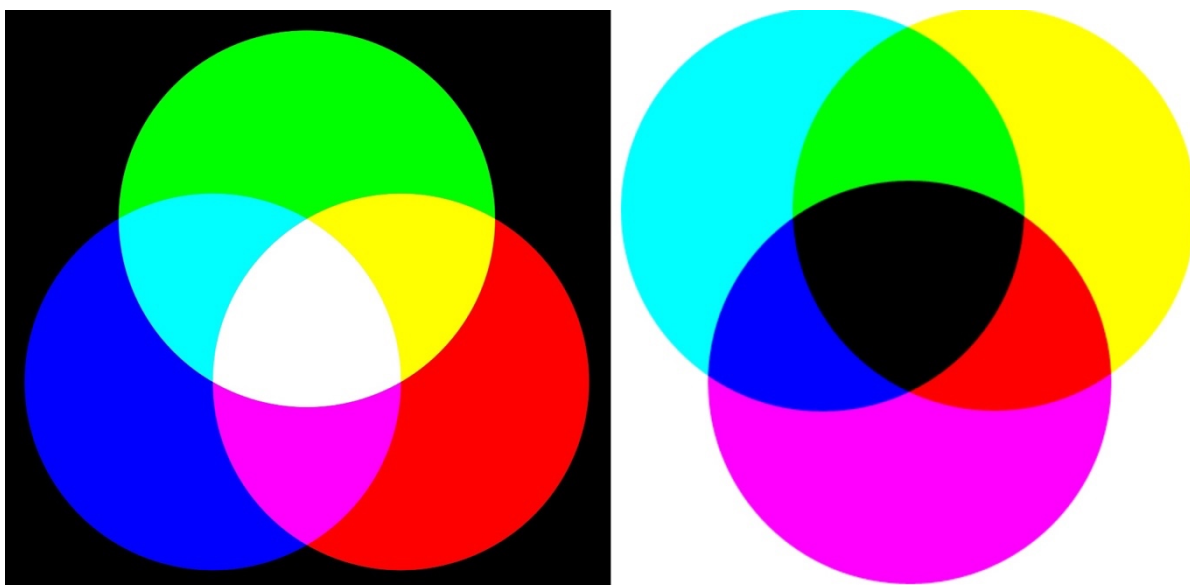
3.2.1 Aditivní mísení barev

Aditivní (sčítací) mísení barev je takový systém, ve kterém dochází k míchání barevných světél. Základními barvami jsou červená (R), zelená (G) a modrá (B) barva a při jejich mísení v různém poměru se jejich účinek sčítá, čímž vznikají barvy sekundární. Při plné intenzitě všech tří základních barev vzniká bílá barva. Pokud je intenzita nižší, ale poměr složek je vyrovnaný, hovoříme o barvě šedé. Pokud je intenzita nulová, vnímanou barvou bude černá (tma). [20]

Na tomto principu tvorby barev funguje oko a všechna zařízení, která reprodukuje barvu vyzařováním světla. [20]

3.2.2 Subtraktivní mísení barev

Subtraktivní (odčítací) mísení barev funguje na opačném principu než mísení barev aditivní. Je to systém, ve kterém dochází k odečítání složek světla od světla bílého. Základními barvami jsou azurová (C), purpurová (M) a žlutá (Y). Vzájemným překrytím základních barev vzniká barva černá. [20]



Obr. 3.2: Aditivní (vlevo) a subtraktivní (vpravo) mísení barev [21]

4. Barvocit

4.1 Vnímání barev

Barvocit (schopnost rozeznávat barvy) je psychologický proces, pro který je důležitá neporušená činnost oka, zrakové dráhy a příslušných mozkových center. [22]

Lidské oko může vnímat až 150 různých barev viditelného spektra a až 2000 odstínů. Barevný vjem vzniká podrážděním jednotlivých receptorů sítnice oka elektromagnetickým zářením s různou vlnovou délkou a jejich míšením. Fotopigmenty čípků jsou zatím prokázány pouze mikrospektrofotometricky a jejich struktura tak zůstává neznámá. Byly však identifikovány tři typy fotopigmentů s maximální absorpcí pro modrou (440-450 nm), zelenou (535-555 nm) a červenou barvu (570-590 nm). [22]

Funkce čípků závisí na osvětlení. Po překročení prahové hodnoty již oko přestává vnímat barvy. [22]

Člověk nejlépe vnímá barvy žlutou skvrnou (macula lutea), kde je největší zastoupení čípků. Počet čípků směrem k periférii klesá, počet tyčinek naopak roste. Z toho vyplývá, že směrem k periférii sítnice lidské oko ztrácí schopnost vnímání barev, a to nejprve pro barvu zelenou, poté červenou a nakonec modrou. [23]

Barevný vjem je charakterizován třemi parametry – barevným odstínem, saturací (sytostí) a jasnem. Odstín určuje, do jaké míry může být vizuální podnět popsán jako podobný nebo odlišný od podnětů základních spektrálních barev (červená, zelená, modrá). Z velké části závisí na tom, co oko a mozek vnímají jako převládající vlnovou délku světla odraženého od sledovaného objektu. Saturace (sytnost barvy) charakterizuje čistotu a bohatost barvy. Pokud je pozorované světlo tvořeno pouze jednou vlnovou délkou (monochromatické světlo), barva je plně nasycená. Čím více vlnových délek je v pozorovaném světle přítomno, tím bledší (desaturované) jsou výsledné barvy. Jas určuje úroveň intenzity, v níž je vizuální dojem vnímán. [11]

Černá, šedá a bílá se nedají popsat jako barvy, protože nemají odstín a sytnost, ale jsou určeny pouze jasnem. [11]

4.2 Poruchy barvocitu

Barvocit je schopnost oka vidět, vnímat barvy a zároveň schopnost rozlišovat různé barevné odstíny. Pokud je tato schopnost narušena, lze hovořit o poruše barvocitu. Poruchy barvocitu můžeme rozdělit na vrozené a získané poruchy. [16]

Vrozené poruchy barvocitu jsou trvalé stavy, které nelze vyléčit, ale na rozdíl od refrakčních vad se s věkem nemění. Jsou způsobeny především absencí některého typu čípků, nebo absencí pigmentů v daném typu čípků. [16]

Vrozené poruchy jsou dány funkční nedostatečností fotoreceptorů sítnice, získané jsou naopak ovlivněny vnějšími vlivy během života. [24]

Častější jsou vady vrozené, získané poruchy barvocitu se vyskytují při neuropatiích optiku, onemocnění sítnice, glaukomu, nebo jako nežádoucí účinek některých léků. [14]

4.2.1 Vrozené poruchy barevného vidění

Vrozené poruchy mají dědičný charakter a většinou se jedná o dědičnost vázanou na chromozóm X. Z toho vyplývá, že muži jsou postiženi častěji než ženy. V západní Evropě je to přibližně 8 % mužské populace a 0,4-0,5 % ženské populace. [22, 9] Jiným typem dědičnosti je dědičnost autozomálně recesivní, která je předpokladem například pro poruchu označovanou jako Achromatopsia congenita (vrozená úplná barvoslepost). [24]

Vrozené poruchy barvocitu můžeme systematicky rozdělit do několika skupin, a to podle závažnosti postižení.

Pokud nejsou v sítnici přítomny čípky, hovoříme o takzvané monochromasii (achromatopsie). V takovém případě postižený vidí pouze ve škále odstínů šedé barvy, což si můžeme představit pomocí černobílé fotografie. S achromatopsií je často spojena porucha centrální zrakové ostrosti, nystagmus a světloplachost. [24]

Dalším typem vrozené poruchy je dichromasie (dvoubarevné vidění), kdy v sítnici není přítomen jeden typ čípků a tím pádem oko nerozlišuje jednu ze tří základních barev. Dichromasie se dále dělí na tři typy podle barvy, kterou oko není schopno rozlišit. Protanopie je stav, kdy oko nerozlišuje červenou barvu, deuteranopie zelenou a tritanopie modrou barvu. Lidé s takovou poruchou vidí předměty stejně jako ostatní, pouze jejich barevnost se bude lišit. [24]

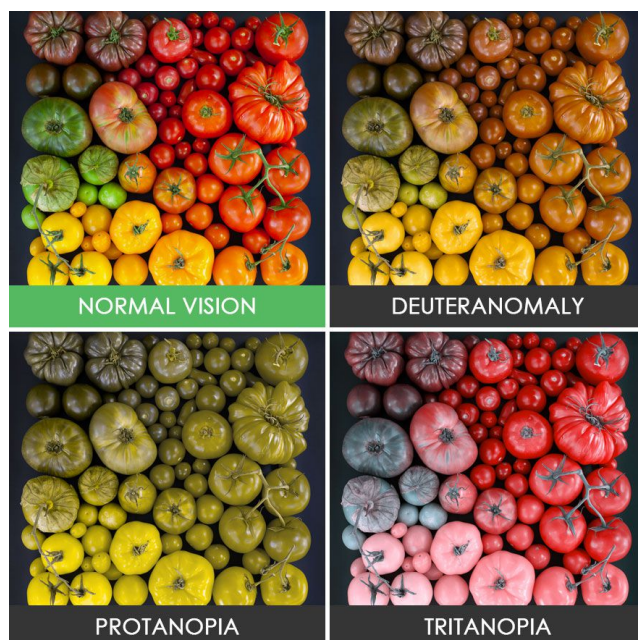
Anomální trichromasie je taková porucha vnímání barev, kdy nedochází k absenci některého z typů čípků, ale pouze ke změně poměru vnímání barev. Podle postižené barevné oblasti trichromasii dělíme na protanomálii (snížené vnímání červené barvy), deuteranomálii (snížené vnímání zelené barvy) a tritanomálii (snížené vnímání modré barvy). [24]

Z praktického hlediska jsou rozdíly mezi dichromasií a trichromasií tak malé, že lze tyto dvě skupiny sloučit. Hovoříme poté o protanii (protanopsie a protanomálie), deuteranii (deuteranopie a deuteranomálie) a o tritanii (tritanopie a tritanomálie). [24, 25]

Vzhledem k malému výskytu těchto poruch jsou v praxi významné pouze protanie a deuteranie. [24]



Obr. 4.1: Porovnání vrozených poruch barvocitu 1 [26]



Obr. 4.2: Porovnání vrozených poruch barvocitu 2 [26]

4.2.2 Získané poruchy barevného vidění

Získané poruchy jsou následkem různých stavů a nemocí, a proto je nelze schematicky řadit [24]. Příčinou získaných poruch barevného vidění je např. degenerace fotoreceptorů, onemocnění zrakového nervu, glaukom nebo krevní sraženiny na sítnici. Získané poruchy barvocitu ale mohou vzniknout také jako nežádoucí účinek některých léků nebo při otravách. [16]

Vzhledem k jejich vzniku, získané poruchy mohou být dočasné, mohou progredovat, nebo může docházet ke zlepšení stavu [24]. V průběhu života dochází také ke snižování schopnosti barevného vidění. Čočka a sklivec se během stárnutí barví do žluta, což má za následek snížení citlivosti na světlo kratších vlnových délek. Je tedy důležité, aby pro takové lidi byly podněty výrazněji zbarvené. [16]

Znalost získaných poruch barvocitu je významná pro diagnostiku některých chorob a otrav. [24]

4.3 Vyšetření barvocitu

Vyšetření barvocitu by mělo být součástí preventivních prohlídek u praktických lékařů, prohlídek profesionálních řidičů a při jakékoliv změně vnímání barev. Vyšetření barvocitu slouží k identifikaci poruch vnímání barev, ať už vrozených nebo získaných. Nejčastější jsou poruchy vrozené, které se vyznačují chybným vnímáním červené a zelené barvy. Takové vady jsou způsobeny převážně změnami genu kódujícího opsin na chromozómu X. Získané poruchy barvocitu jsou méně časté a bývají způsobeny různými očními onemocněními (VPMD, diabetická makulopatie, glaukom atd.) nebo jako reakce na léčiva. [27]

Metody pro vyšetření vrozených poruch vnímání barev byly použity již v 19. století a jsou založeny na skutečnosti, že pacient s danou poruchou nerozliší základní barvy. [27]

Pro vyšetření barvocitu se používá celá řada testů. Před samotným testováním je důležité pacientovi důkladně vysvětlit postup. Testy by se pro každé oko měly dělat zvlášť, neboť poruchy barvocitu mohou být i jednostranné. Pacient by měl během vyšetření používat stávající korekci. Dalším důležitým aspektem, který ovlivňuje vyšetření barvocitu je osvětlení, které je definováno pro jednotlivé testy. [25]

Testy pro vyšetření barvocitu můžeme rozdělit do několika skupin podle toho, na jakém principu fungují.

4.3.1 Pseudoisochromatické testy

Pseudoisochromatické testy jsou screeningové testy, které jsou vytvořeny z barevných bodů různé velikosti a barev. [28]

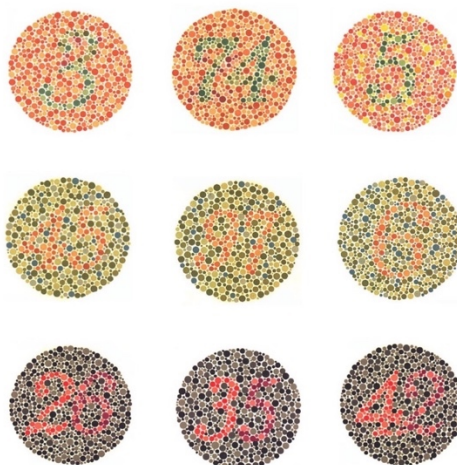
V roce 1945 Hardy, Rand a Rittler rozdělili pseudoisochromatické tabulky do čtyř skupin podle jejich konstrukce. Mizící design obsahuje znak, který je snadno viditelný pro normálního trichromata, nikoli však pro člověka s poruchou vnímání barev. Kvalitativně diagnostická tabulka je takový design, který umožňuje od sebe oddělit protanopii a deuteranopii. Design transformační tabulky je vytvořený tak, že na pozadí jsou dvě čísla. Jedna z nich je viditelná pouze pro normálního trichromata, druhá potom pro člověka s porušeným barvocitem. Posledním designem je tabulka se skrytým znakem. Ta je založena na takovém barevném rozložení, při kterém pouze člověk s poruchou barvocitu vidí daný znak. [29]

Tyto testy slouží především k vyšetření vrozených poruch barevného vidění vázaných na X-chromozóm. Senzitivita těchto testů se pohybuje v rozmezí 90-95 %. [27]

Pseudoisochromatické testy patří mezi nejčastěji používané testy a člověk se s nimi může setkat např. při lékařské prohlídce související s žádostí o řidičský průkaz.

Jednotlivé testy jsou pojmenovány podle jejich tvůrců. Z barevných bodů, které mají odlišný barevný tón než pozadí, jsou vyobrazena čísla (např. Ishiharovy tabulky), písmena (např. Stilling), obrázky nebo geometrické tvary. Jas všech bodů zůstává stejný. [30]

Vyšetřovací vzdálenost pro pseudoisochromatické tabulky je 40 cm a vyšetřovaný má během testu svou stávající korekci. [30, 25]



Obr. 4.3: Ishihariho pseudoisochromatické tabulky [31]

4.3.2 Testy barevné preference

Testy barevné preference fungují na principu sestavování barevné řady. Slouží k vyšetření vrozených i získaných poruch barvocitu [30] a poskytují hloubkovou analýzu dané poruchy [25].

U těchto testů je důležitá obratnost, trpělivost, soustředěnost a pochopení abstraktního uspořádání. Z tohoto důvodu nejsou tak vhodné pro děti jako např. Pseudoisochromatické testy. [29]

Mezi tyto testy patří:

1) Holmgrenovy bavlnky

Holmgrenovy bavlnky je test založený na Helmholtzově teorii vnímání barev. Je to soubor svazků bavlnek s různými barevnými odstíny a sytostí. Během vyšetření pacient vybírá vzorky stejných barev. Pacient s normálním barvocitem, vybírá vzorky bez problému, ale pacient, který má některou z poruch vnímání barev bude nejistý nebo bude vybírat vzorky jiných barevných tónů. [30]

Tento test slouží převážně pro vyšetření poruch v oblasti červené a zelené barvy. [29]



Obr. 4.4: Holmgrenovy bavlnky [32]

2) Daaova tabulka

Daaova tabulka je tvořena deskou s deseti řadami. V těchto řadách jsou obdélníková okénka s textilními vlákny o různých barevných odstínech a sytostech a jsou proloženy purpurovými, žlutými a hnědými barvami. [30]

3) Farnsworth-Munsell 100 Hue test

F-M 100 Hue test je test na vyšetření kvality barevného vidění. Slouží k tomu barevné terčíky, které má pacient správně seřadit. V základní verzi obsahuje 88 terčů s různými odstíny barev z celého viditelného spektra a jsou rozděleny do 4 řádků po 22 terčích [29]. Jas a sytost jednotlivých barev jsou stejné. Výsledek testu se hodnotí podle čísel na spodní straně terčů, jejich pořadí se zanesou do kruhového schématu a vypočítá se chybovost pro jednotlivé terče (TES). Přítomnost poruchy barevného vidění je dána výší amplitudy v grafu. [30]

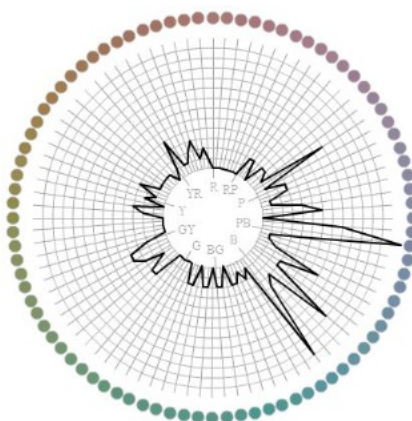
Tabulka 4.1: Hodnocení Farnsworth-Munsellova 100 Hue testu

TES	0-19	20-100	Více než 100
Hodnocení	Výborné	Průměrné	Špatné

O protanopii lze hovořit při chybovosti u terčů v rozmezí 62-70, deuteranopie v rozmezí 56-61 a tritanopie u terčů 46-52. [30]

Zkrácenou verzí 100 Hue testu je Lanthony desaturovaný test D-15, který je vhodnější pro praxi (obsahuje pouze 15 barevných terčů). [30]

Farnsworth-Munsellův 100 Hue test se vyšetřuje při standardizovaném osvětlení, které poskytuje minimálně 270 lx. Vyšetřovaný má pro splnění testu neomezené množství času. [29]



Obr. 4.5: Kruhové schéma F-M 100 Hue testu [31]



Obr. 4.6: Farnsworth-Munsellův 100 Hue test [33]

4) Lanthony desaturovaný test D-15

Lanthony desaturovaný test D-15 je modifikací Farnsworth-Munellova 100 Hue testu. Oproti F-M 100 Hue testu je použito pouze 15 barevných terčů, jejichž barvy v sobě mají určitý podíl bílé barvy. [30]



Obr. 4.7: Lanthonyho desaturovaný test D-15 [34]

5) Nagelův anomaloskop

Anomaloskop je přístroj pro vyšetření poruch barvocitu. Je modifikací spektroskopu (přístroj pro rozklad viditelného spektra na jednotlivé barevné složky). [30]

Úkolem pacienta je porovnat dvě poloviny barevného kruhu. Jedna polovina kruhu je tvořena čistě žlutým polem (vlnová délka 589 nm) a nelze ji měnit. Druhá polovina je tvořena poměrem zelené (546 nm) a červené barvy (671 nm) a pacient má za úkol docílit takového poměru těchto barev tak, aby obě poloviny kruhu byly stejné. [30]

Pomocí anomaloskopu lze vyšetřit pouze poruchy týkající se červené a zelené barvy. [30]



Obr. 4.8: Nagelův anomaloskop [35]

4.3.3 Světelné testy

Světelné test byly vytvořeny jako praktické prostředky pro měření barvocitu u námořníků, strojvedoucích, profesionálních řidičů a pilotů. Jedná se o identifikaci a rozlišení barevných signálů pro navigaci. [29]

Návrh světelných testů je jednoduchý – nevyžaduje konstrukci komplexních optických systémů jako např. Nagelův anomaloskop, ani vysoké nároky na kvalitu tisku jako je to např. u Pseudoisochromatických tabulek. [29]

Tyto testy mají simulovat pracovní podmínky, a proto neslouží jako plnohodnotný screening barvocitu. [29]

5. Experimentální část

5.1 Úvod

V této části své práce se budu zabývat experimentálním porovnáním vybraných testů pro vyšetření barvocitu. V běžné optometristické a oftalmologické praxi se využívají pouze testy ze skupiny pseudoisochromatických tabulek. Neurologická praxe však pracuje i s testy barevné preference, které jsou podrobnější a přesnější. V experimentální části budou mezi sebou porovnávány čtyři testy – dvě pseudoisochromatické tabulky a dva testy barevné preference.

5.2 Cíle práce

Cílem mé bakalářské práce je popsat principy čtyř vybraných testů pro vyšetření barvocitu a následně vyšetřit skupinu respondentů, která bude odpovídat náhodnému výběru. Pomocí naměřených výsledků porovnam jednotlivé testy – rozdíly ve výsledcích jednotlivých testů, kvalitu testů a komfort během vyšetření.

Nakonec naměřené výsledky srovnám s výsledky uváděnými v literatuře. Obecně se udává, že vrozenou poruchou barvocitu v západní Evropě trpí přibližně 8% mužské a 0,4-0,5% ženské populace. [9, 22]

5.2.1 Motivace

Motivací pro toto téma pro mě byla obecná neznalost testů barevné preference, které jsou však pro vyšetření vnímání barev velice přesné a podrobné. To se ukázalo již například během shánění jednoho z testů (Farnsworth-Munsellův 100 Hue test), který se mi nakonec podařilo sehnat s pomocí oční a neurologické kliniky 1. LF UK v Praze.

Druhým důvodem, proč jsem si téma „Porovnání testů pro určení barvocitu“ vybrala, bylo zjištění, že velké množství lidí nebylo při zdravotní prohlídce související s žádostí o řídičský průkaz vyšetřeno na barvocit. Nicméně právě určení vnímání barev je nedílnou součástí této zdravotní prohlídky.

Ve své práci bych proto chtěla některé z testů pro určení barvocitu blíže přiblížit a poukázat na jejich praktický význam.

5.2.2 Hypotézy

Hypotéza nemůže být dokázána, může být pouze potvrzena nebo vyvrácena. Ve své bakalářské práci jsem si vybrala následující hypotézu:

H₀: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu v testované skupině bude stejné nebo nižší než hodnoty uváděné v literatuře

H_A: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu v testované skupině bude vyšší než hodnoty uváděné v literatuře

5.3 Metodika výzkumu

Pro vyšetření vnímání barev probandů a následné porovnání testů byly vybrány dva testy ze skupiny pseudoisochromatických tabulek (Ishihariho pseudoisochromatické tabulky a Stillingovy tabulky pro vyšetření barvocitu) a dva ze skupiny testů barevné preference (Lanthonyho test D-15 a Farnsworth-Munsellův 100 Hue test). Tyto testy byly vybrány na základě četnosti použití a kvalitě.

5.3.1 Vyšetřované osoby

Výzkum probíhal na jednom pracovišti se stálým osvětlením o průměrné intenzitě 530 lx (optometristické laboratoře na FBMI ČVUT), kde bylo vyšetřeno 28 osob. Průměrná intenzita displeje, na kterém probíhaly testy barevné preference, byla 300 lx.

Během vyšetření měli probandi svou stávající korekci a testy měli ve vzdálenosti 35-50 cm.

Probandi byli vybíráni náhodně, takže naměřená skupina se skládá z 10 mužů a 18 žen. Věk probandů se pohybuje v rozmezí od 20 let po 77 let. Probandi byli dotazováni na trvale užívané léky a v případě vyššího věku na šedý zákal. Žádná z naměřených osob neuváděla glaukom nebo diabetes I. typu.

5.3.2 Průběh vyšetření

Vyšetření probíhalo v místnosti s daným standardizovaným osvětlením (Standard Illuminant C), které je definováno CIE (Commission Internationale d'Eclairage) [29], o minimálním jasu 270 lx. Osvětlení označené jako Standard Illuminant C by mělo simulovat denní světelné podmínky.

Se stávající korekcí probandi postupně prošli všemi čtyřmi testy, přičemž postupovali od snazších po těžší. Před každým testem byli probandi řádně poučeni.

Ishihariho pseudoisochromatické tabulky

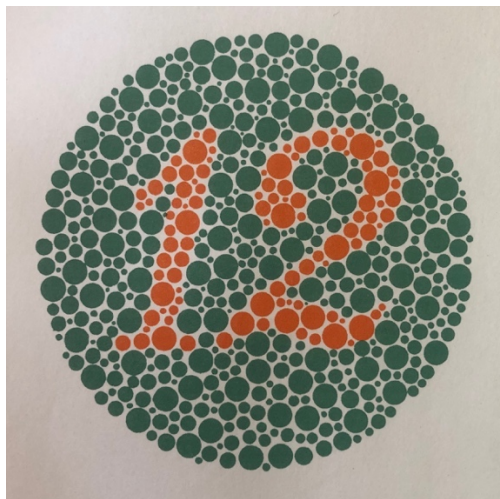
Prvním z testů byly Ishihariho pseudoisochromatické tabulky ve vydání se 14 tabulkami, na kterých jsou zobrazena pouze jednociferná nebo dvouciferná čísla. Tabulka označená číslem 1 je demonstrační – tzn. že číslo na tabulce je čitelné pro trichromaty stejně jako pro osoby s poruchou barvocitu. Ostatní tabulky se budou lišit podle kvality barvocitu probandů (viz. Tabulka 5.1). Tabulky 2 až 11 slouží k odlišení normálních trichromatů a lidí s poruchou vnímání červené a zelené barvy. Tabulky 12 až 14 slouží k odlišení protanopie a deuteranopie. Pokud však vyšetřovaná osoba trpí achromatopsií, bude schopna přečíst pouze demonstrační tabulku.

Na každou tabulku s bodovým obrázkem měl vyšetřovaný tři sekundy. Pokud do té doby číslici nerozpoznal nebo číslici přečtl nesprávně, zaznamená se chyba u dané tabulky.

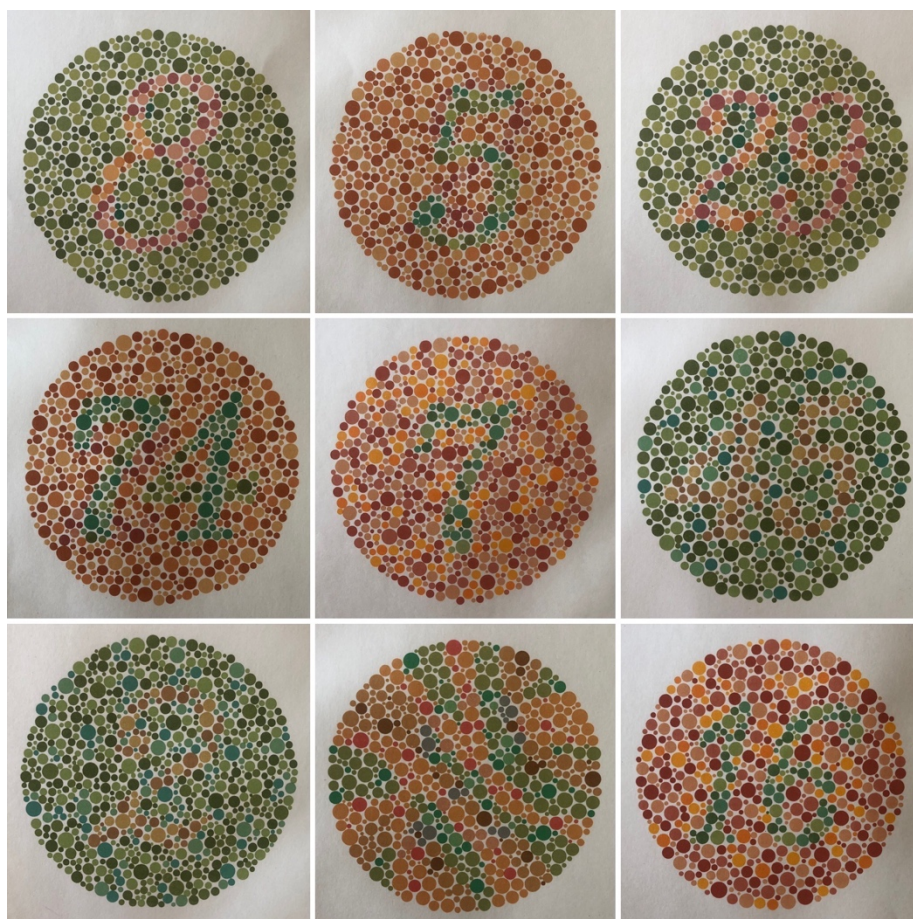
Pokud vyšetřovaný přečte správně 10 a více tabulek, jeho vnímání barvocitu je považováno za normální (tj. bez poruchy barvocitu). Pokud však čte pouze 7 tabulek nebo méně, dá se hovořit o poruše barvocitu. Skutečnost, že by vyšetřovaná osoba četla 8 nebo 9 tabulek správně, je velice vzácná a v tomto případě je vhodné použít další testy pro určení barvocitu. [36]

Tabulka 5.1: Odpovědi pro Ishihariho pseudoisochromatické tabulky [36]

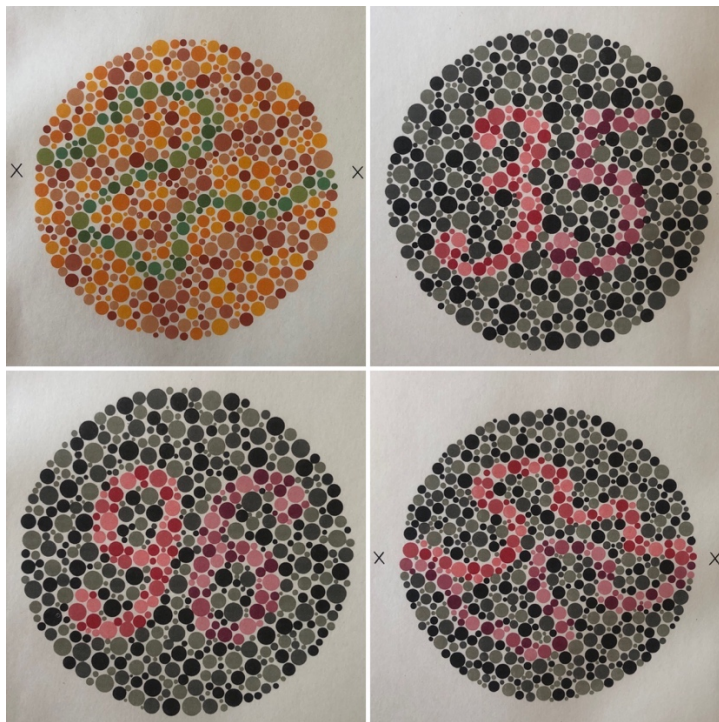
Číslo tabulky	Trichromat	Porucha vnímání červené a zelené barvy	
1	12	12	
2	8	3	
3	5	2	
4	29	70	
5	74	21	
6	7	X	
7	45	X	
8	2	X	
9	X	2	
10	16	X	
11	čára	X	
		Protanopie	Deuteranopie
12	35	5	3
13	96	6	9
14	dvě čáry	fialová	červená



Obr. 5.1: Demonstrační tabulka s číslem 12 [36]



Obr. 5.2: Tabulky 2 až 10 [36]



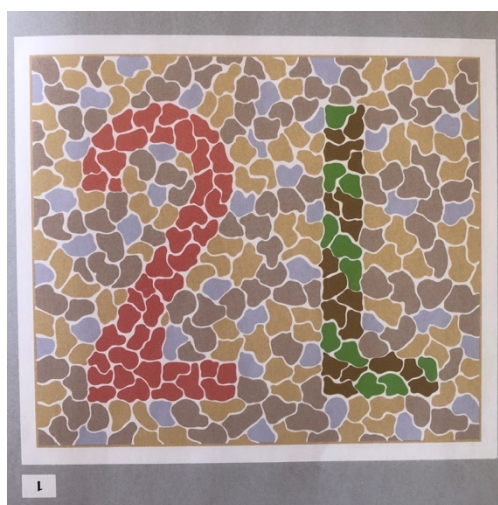
Obr. 5.3: Tabulky 11 až 14 [36]

Tabulky k vyšetření barvocitu (J. Stilling, E. Hertel, K. Velhagen)

Druhým testem byly tabulky od Stillinga. Tyto tabulky oproti Ishiharovým tabulkám zobrazují jak čísla, tak písmena. První tabulka je opět pouze demonstrační, takže je čitelná pro všechny. U tabulek 4-10 a 13-18 jsou znaky od pozadí odděleny barvou, ale jas zůstává stejný. Tyto tabulky zakládají na poznatku, že pacient s poruchou barvocitu písmena a číslice od pozadí nerozezná (princip pseudoisochromasie). Tabulky 2, 3, 11, 12 a 19 využívají kombinace pseudoisochromasie a pseudoanischromasie. Jsou to tzv. klamavé tabulky (tabulky s alternativními znaky). Na barevném podkladu jsou vyobrazeny číslice a písmena jiné barvy a stejného jasů a současně jsou zde znaky s odlišným jasem. Pro pacienta s normálním barvocitem bude snazší porovnat rozdíly v barvě, naopak pro pacienty s poruchou vnímání barev bude snazší pozorovat rozdíly v jasů. Tabulky 20-23 zakládají na skutečnosti, že u pacientů s poruchou barvocitu vzniká tzv. zvýšený simultánní barevný kontrast. To znamená, že pacient s poruchou barvocitu může vnímat šedé body jako barevné podle pozadí, na kterém se nachází. [24]

Tabulka 5.2: Odpovědi pro Tabulky k vyšetření barvocitu [24]

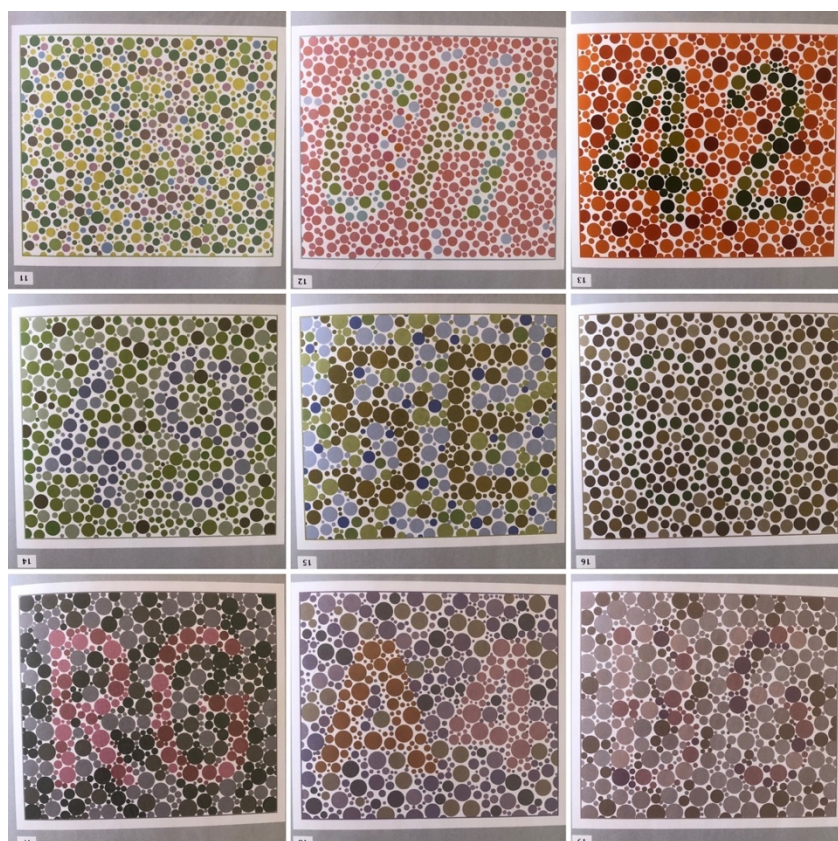
Číslo tabulky	Trichromat	Porucha barvocitu
1	2L	2L
2	182	ČZ: 8; MŽ: 12
3	69	ČZ: 60, 66, 00
4	H5	ČZ: -
5	3	ČZ: -
6	6R	ČZ: -
7	2	ČZ: -
8	F4	ČZ: -
9	6	ČZ: -
10	51	ČZ: -
11	3	ČZ: 8
12	CH	ČZ: 31, 37
13	42	ČZ: -
14	49	MŽ: -
15	5E	MŽ: -
16	65	ČZ: -
17	RG	ČZ: -
18	A4	ČZ: -
19	B5	ČZ: B6



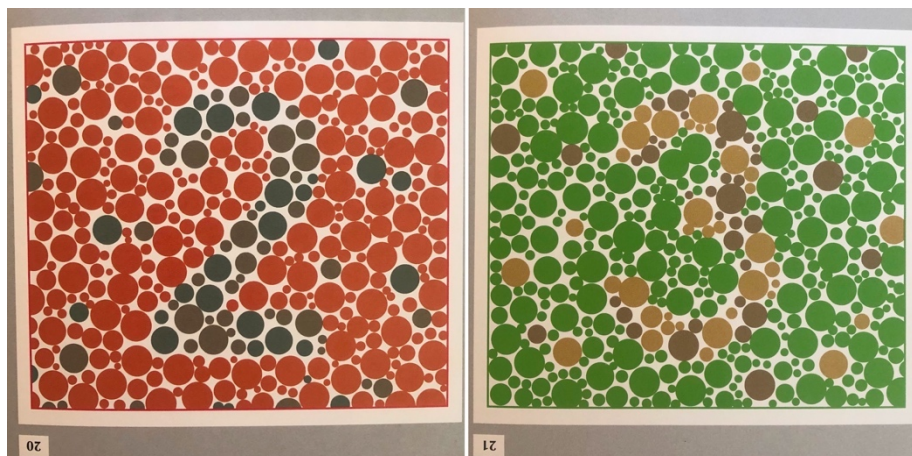
Obr. 5.4: Demonstrační tabulka se znakem 2L [24]



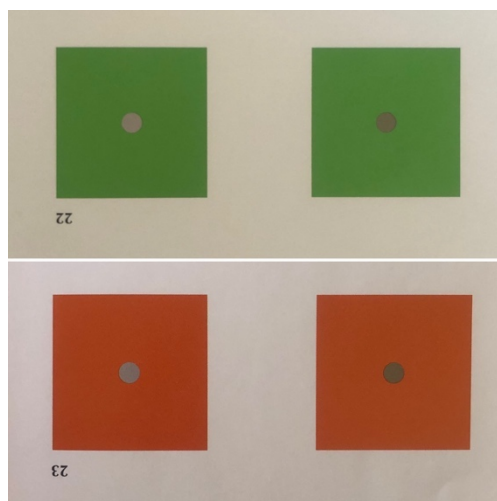
Obr. 5.5: Tabulky 2 až 10 [24]



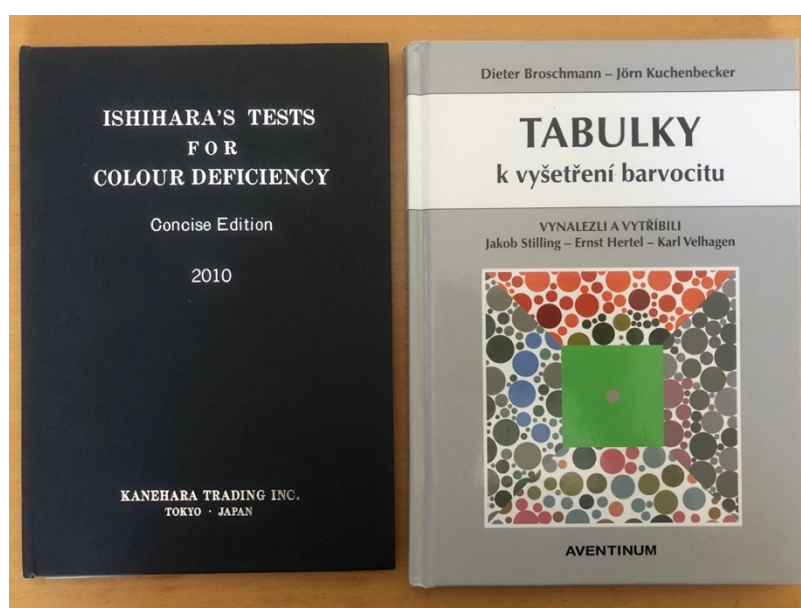
Obr. 5.6: Tabulky 11 až 19 [24]



Obr. 5.7: Tabulky 20 a 21 [24]



Obr. 5.8: Tabulky 22 a 23 [24]

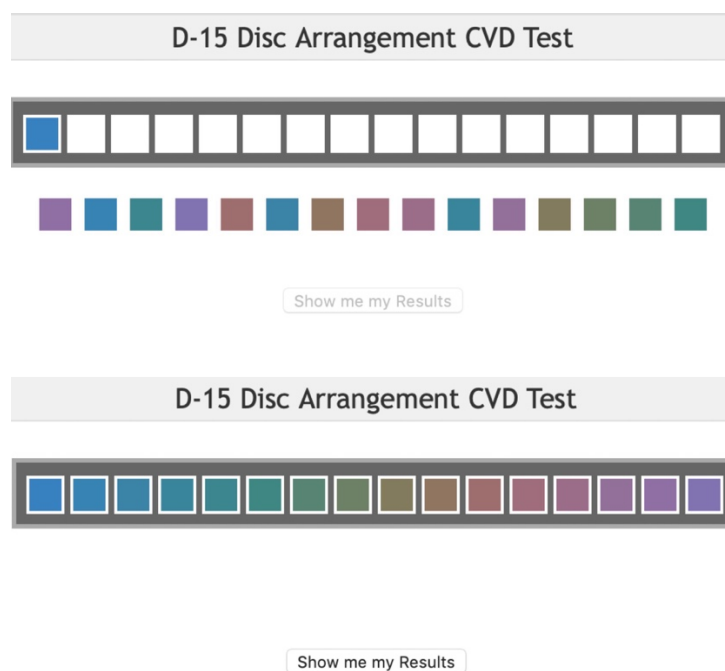


Obr. 5.9: Ishihariho pseudoisochromatické tabulky [36] a Tabulky k vyšetření barvocitu [24]

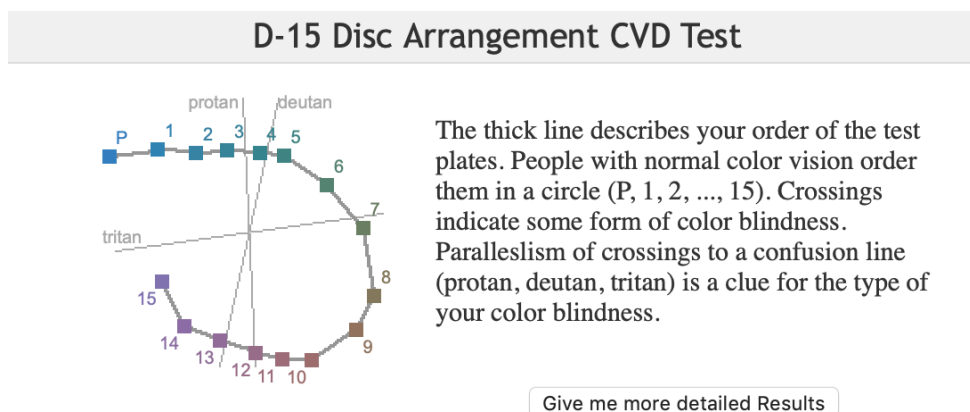
Lanthonyho test D-15

Dalším testem v pořadí byla počítačová verze Lanthonyho testu D-15. V tomto případě měl vyšetřovaný poskládat barevnou řadu z 16 různých barevných terčů – první terč je daný, zbylé terče je možné mezi sebou prohazovat (viz. Obr. 5.1). Tento test se stejně jako FM 100 Hue test hodnotí podle stupnice TES (chybovost pro jednotlivé terče). Čím vyšší číslo na stupnici, tím horší je výsledek. Nejnižší možný výsledek na stupnici TES v testu D-15 je 11,4.

Podle výsledného grafu (viz. Obr. 5.2) lze určit, o kterou poruchu vnímání barev se u vyšetřované osoby jedná. Pokud je řada terčů poskládána bezchybně, šedá čára spojující jednotlivé barevné terče bude uspořádána do spirály.



Obr. 5.10: Vstupní obrázek (nahore) a správně poskládané terče (dole) [31]



Obr. 5.11: Výsledek Lanthonyho testu D-15 [31]

Farnsworth-Munsellův 100 Hue test

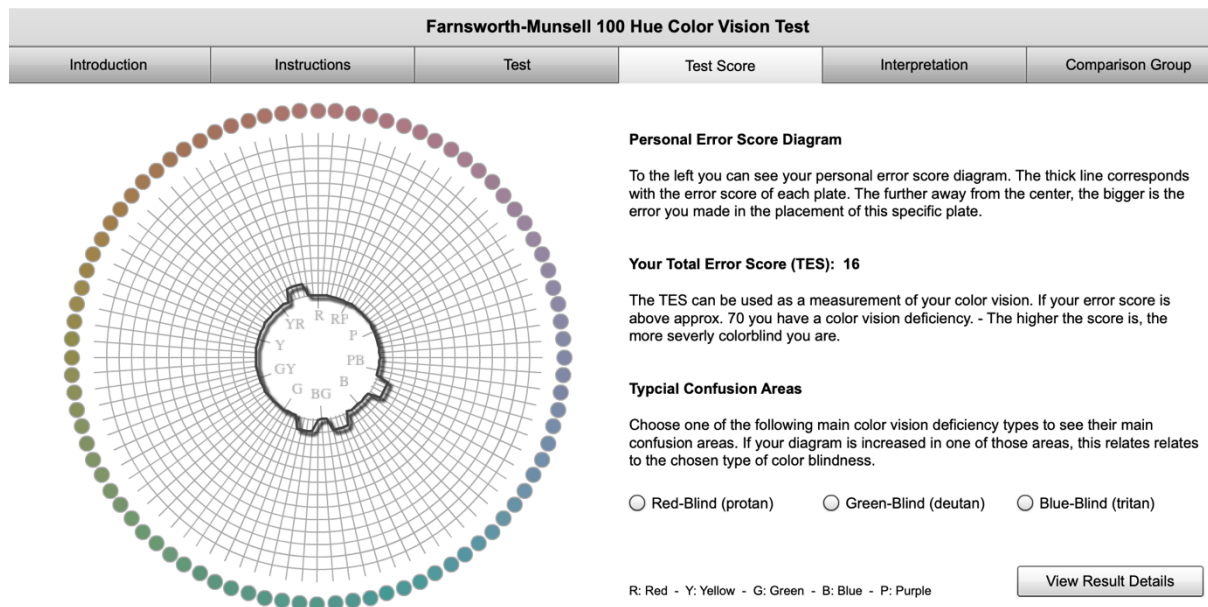
Posledním a zároveň nejtěžším testem byl FM 100 Hue test, který se skládá ze čtyř řádků. V každém řádku je 22 barevných terčů, první a poslední terč v každém řádku je pevně daný. S ostatními terči se dá volně pohybovat. Nelze je však přesouvat do zbylých řádků. Vyšetřovaná osoba má terče v každém řádku uspořádat tak, aby vznikly čtyři perfektní barevné řady (tzn. Tak, aby barevný rozdíl mezi dvěma sousedícími terči byl co nejmenší). Z výsledné chybovosti (stupnice TES) bude sestaveno kruhové schéma, díky kterému lze interpretovat výsledky testu. V tomto případě je nejnižším možným výsledkem 0, s vyšší chybovostí potom stupnice TES stoupá. [30]

Farnsworth-Munsell 100 Hue Color Vision Test

Introduction	Instructions	Test	Test Score	Interpretation	Comparison Group
--------------	--------------	------	------------	----------------	------------------

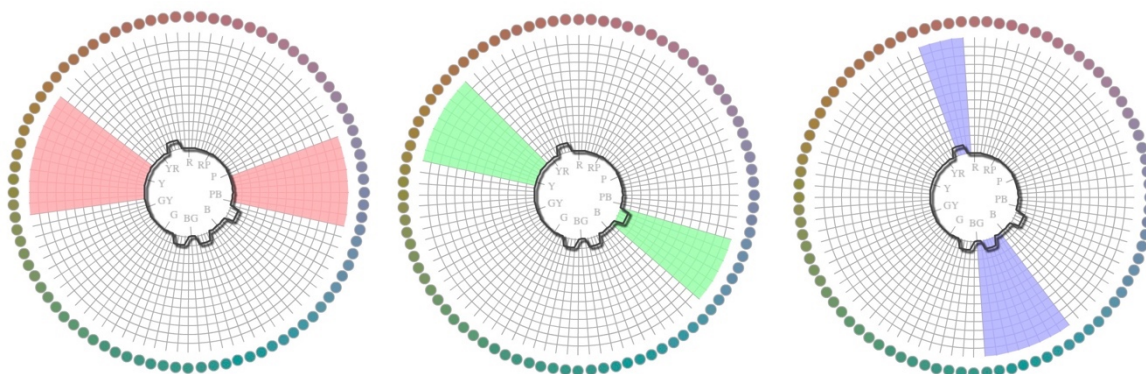
[I'm done](#)

Obr. 5.12: Barevné řady poskládané na chybovost TES 16 [31]



Obr. 5.13: Výsledek pro poskládané barevné řady z Obr. 5.3 [31]

Pomocí výsledného grafu lze určit o jakou poruchu barvocitu se jedná (viz. Obr. 5.5).



Obr. 5.14: Terče určující protanopii (vlevo), deuteranopii (uprostřed) a tritanopii (vpravo) [31]

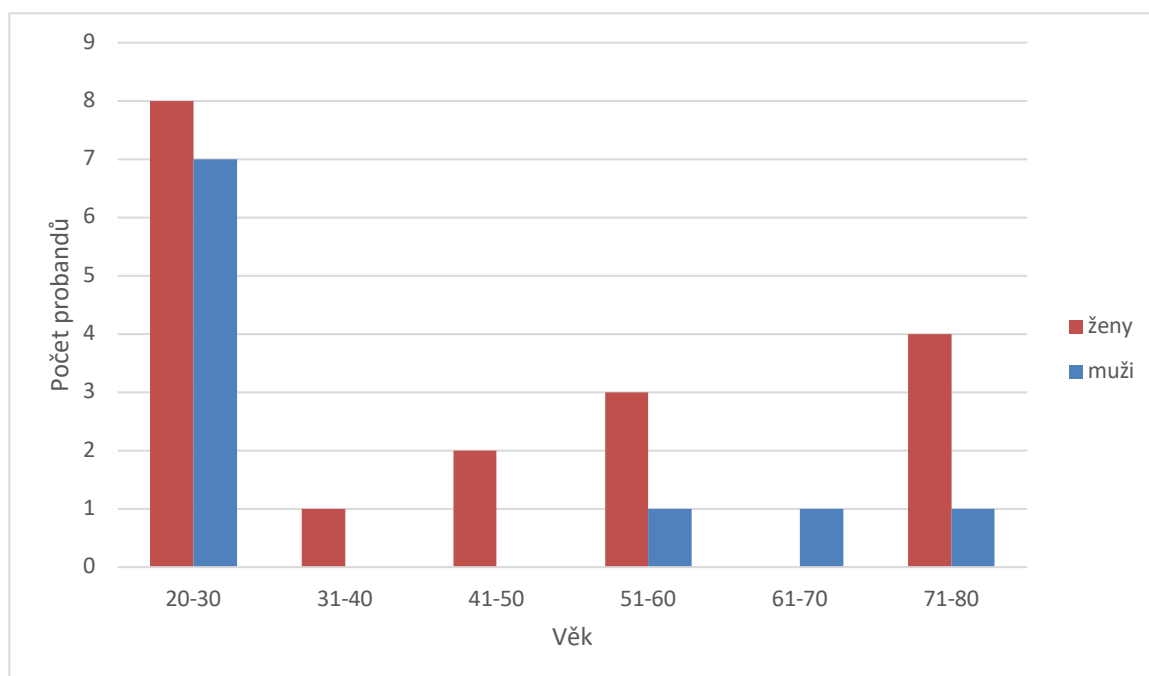
První dva testy (pseudoisochromatické tabulky) byly časově omezené, na zbylé dva měl vyšetřovaný neomezené množství času. Lanthonyho test D-15 a FM 100 Hue test byly použity z internetové stránky www.color-blindness.com a prováděny na notebooku firmy Apple (technické specifikace viz. Tabulka 5.3).

Tabulka 5.3: Technické specifikace pro MacBook Pro [37]

MacBook Pro (13palcový, 2016)
Retina displej
13,3palcový displej s LED podsvícením a technologií IPS; nativní rozlišení 2560x1600 bodů, 227 pixelů na palec s podporou miliónů barev
Jas 500 nitů
Široký barevný gamut (P3)

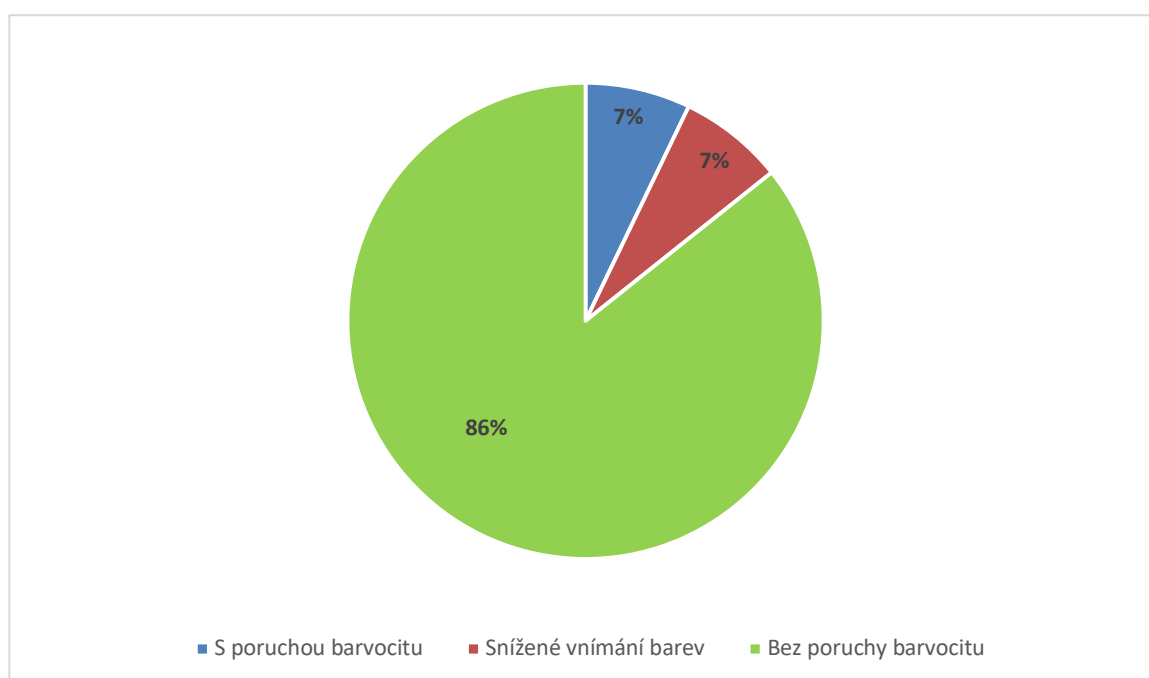
5.4 Výsledky

Do studie bylo zahrnuto 28 osob – 10 mužů a 18 žen ve věku od 20 do 77 let (průměrný věk 40,3 let se směrodatnou odchylkou 20,3 roku). Jednotlivé zastoupení v daných věkových skupinách je znázorněné na Grafu 5.1.



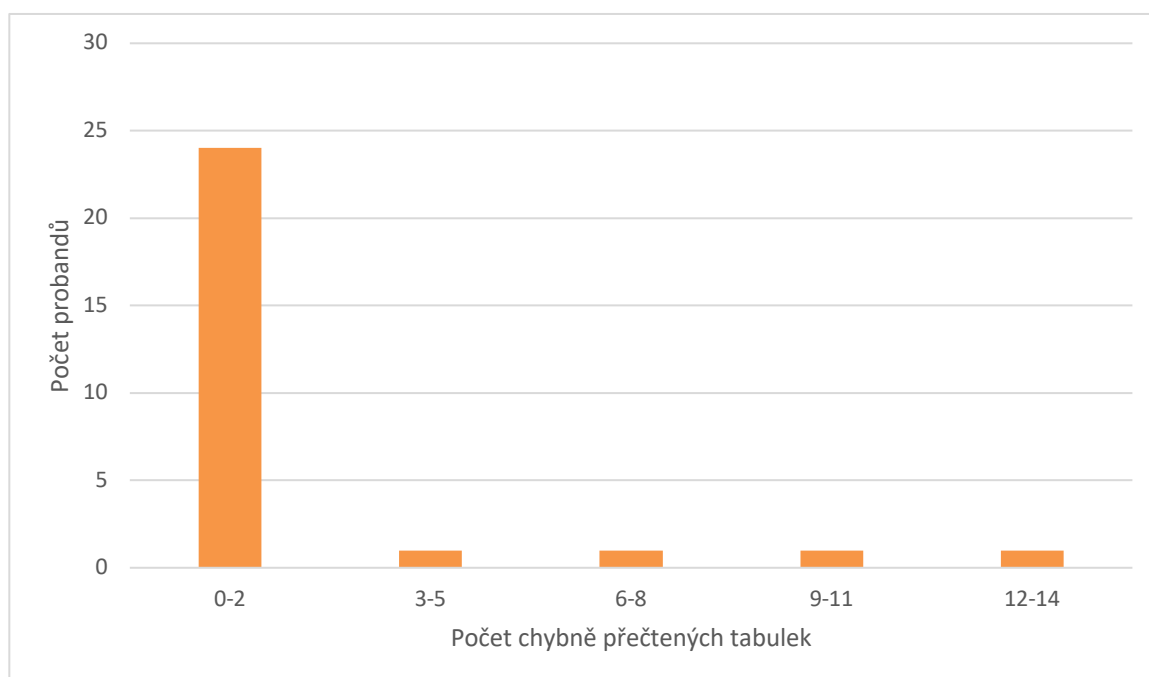
Graf 5.1: Rozložení věku v testované skupině

Na dalším grafu (Graf 5.2) je vyobrazeno procentuální zastoupení osob s dokazatelnou poruchou barvocitu (tzn. u více než dvou testů zjištěná porucha barvocitu). Z celé skupiny probandů pouze u dvou osob byla prokázána porucha barvocitu (v obou případech protanopie), u dalších dvou osob by se dalo hovořit o sníženém vnímání barev (opět v červené oblasti). Tato malá skupina čtyř probandů se skládala ze tří mužů a jedné ženy. Zajímavým poznatkem je skutečnost, že právě tato žena se sníženým vnímáním barev je matkou jednoho z mužů, kteří také trpí poruchou barvocitu (v tomto případě slabou formou).

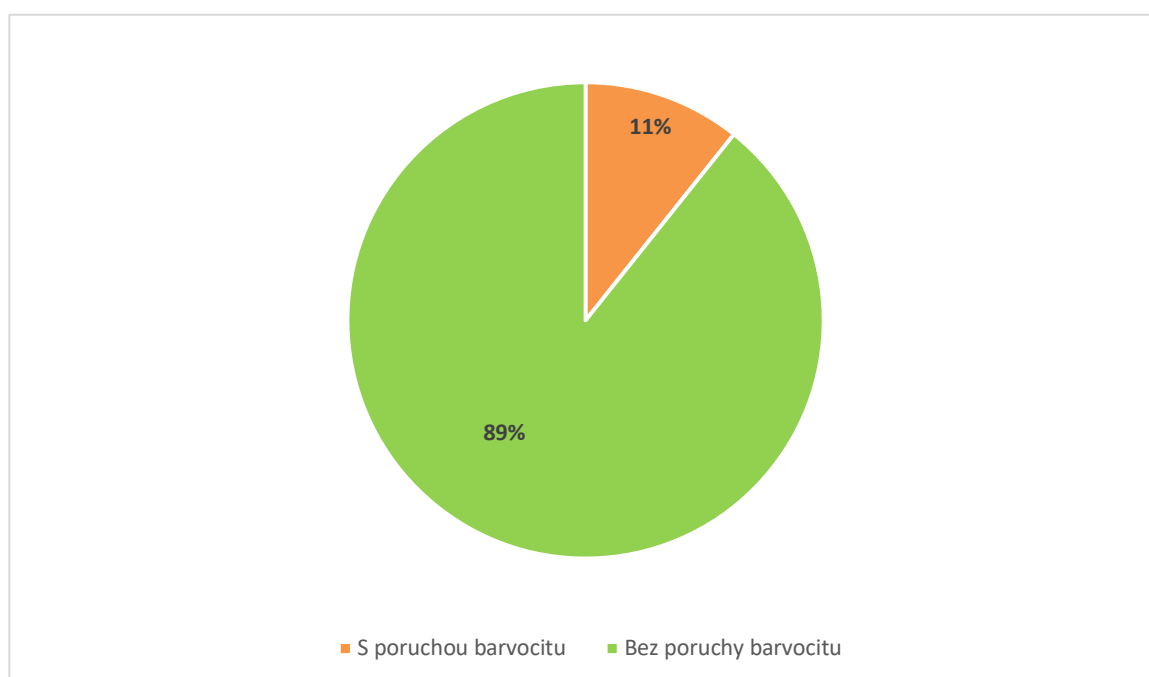


Graf 5.2: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu

Na dalších grafech (Grafy 5.3 až 5.11) jsou znázorněny výsledky jednotlivých použitých testů. U každého testů vycházelo jiné procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu. U pseudoisochromatických tabulek byl počet probandů se sníženým vnímáním barev nižší než u testů barevné preference. Již z tohoto výsledku je jasné, že právě testy barevné preference jsou podrobnější a přesnější než pseudoisochromatické tabulky. Druhou skutečností, která tento výrok potvrzuje, je fakt, že testy barevné preference slouží k vyšetření jak vrozených, tak získaných poruch barvocitu.

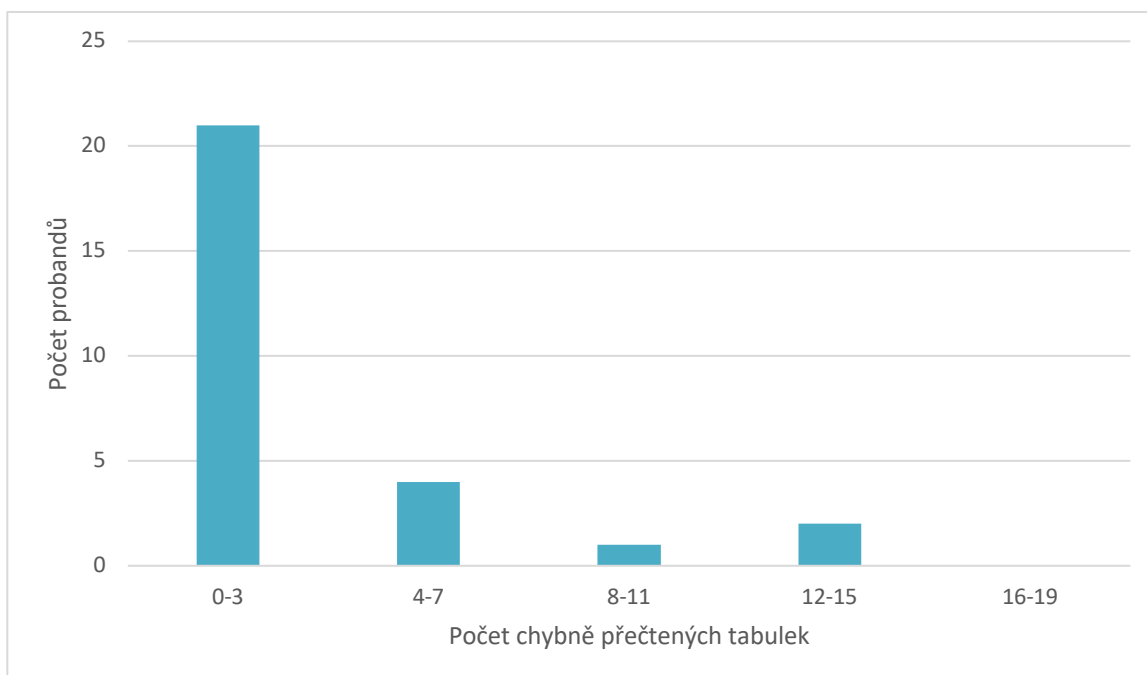


Graf 5.3: Ishihariho pseudoisochromatické tabulky – chybovost

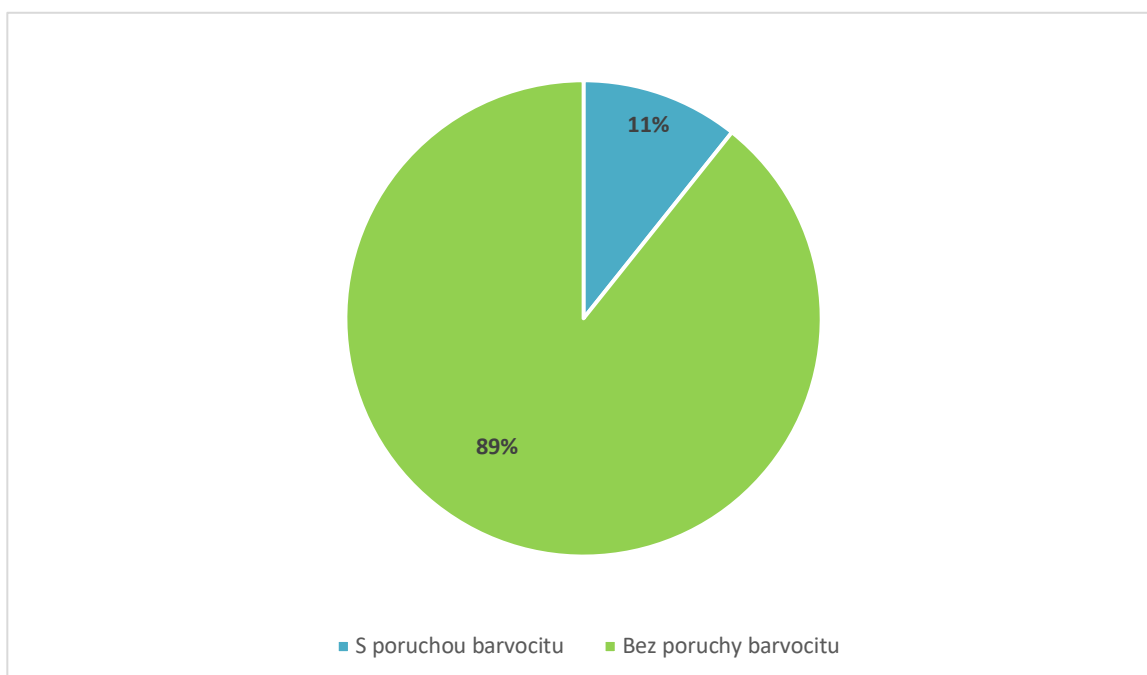


Graf 5.4: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu – Ishihariho tabulky

Z výše uvedených grafů 5.3 a 5.4 vyplývá, že chybovost při testování Ishihariho pseudoisochromatickými tabulkami byla téměř nulová. Díky tomu je procento osob s poruchou barvocitu poměrně nízké a přibližně odpovídá hodnotám uváděným v literatuře.



Graf 5.5: Tabulky k vyšetření barvocitu – chybovost



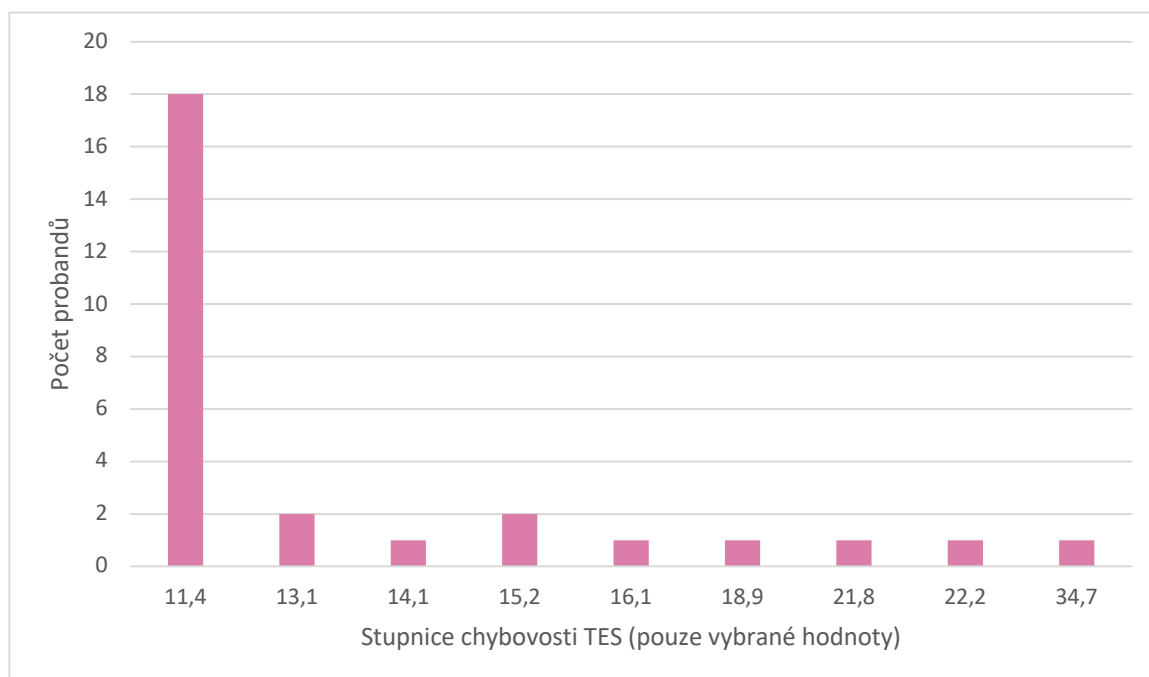
Graf 5.6: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu – Tabulky k vyšetření barvocitu

Vyšetření podle Tabulek od Stillinga mělo podobný výsledek jako vyšetření podle Ishihariho tabulek. V obou případech je procento osob s porušeným vnímáním barev nízké.

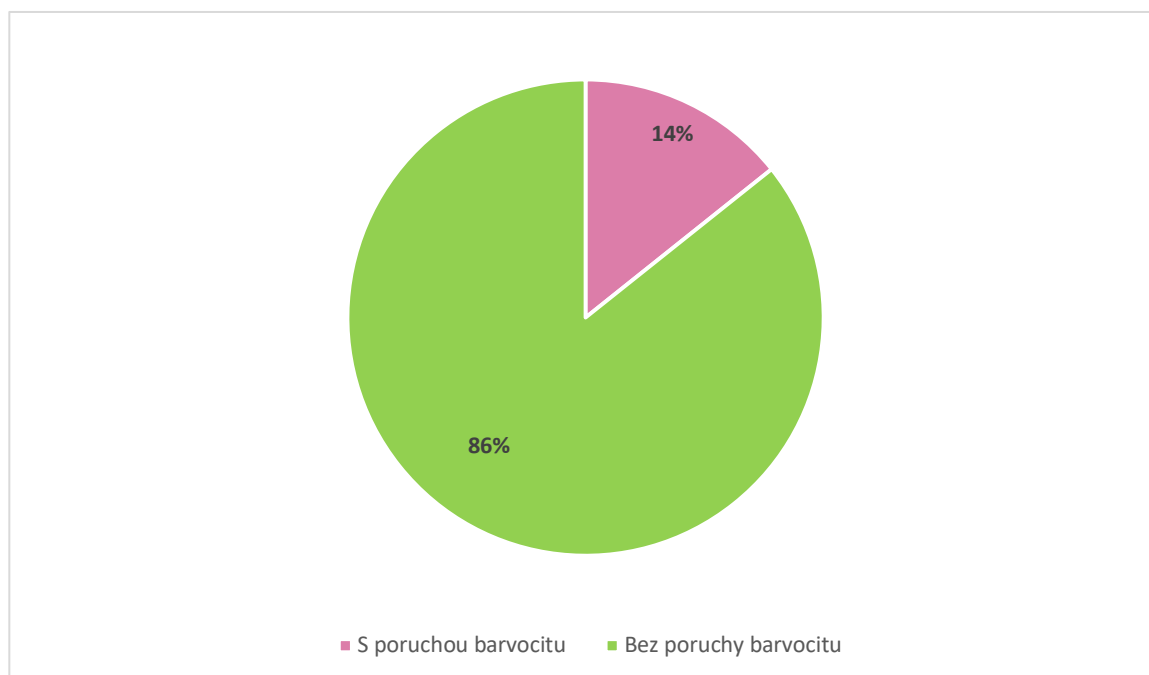
Nejobtížněji čtenou tabulkou (tabulka s nejvyšší chybovostí) byla tabulka č. 4. Nejčastější mylnou odpovědí bylo například „NS“, „XS“ nebo další varianty se záměnou pouze jednoho ze znaků.

Tabulky k vyšetření barvocitu však obsahují také tabulky, u kterých vyšetřovaný určuje barvy (jedná se o tabulky 20 až 23). U tabulek 20 a 21 byla chybovost větší. Vyšetřovaný určoval barvu čísel na jinak barevném pozadí (viz. Obrázky 5.7 a 5.8). U normálního trichromata by číslo 2 na tabulce 20 mělo být šedé až šedo-modré. Pro člověka s poruchou pro červenou a zelenou barvu bude mít číslo dva zelený odstín. U tabulky 21 je pak číslo 3 hnědo-okrové, pro člověka s poruchou barvocitu bude mít odstíny oranžové až červené. Třináct probandů přiřadilo k číslu 2 zelenou nebo šedo-zelenou barvu. U čísla 3 byly odpovědi většinou správné. U tabulek 22 a 23 pak probandi hodnotili barvu čtverečků a puntíků. V tomto případě špatně odpovědělo 8 probandů z celkového počtu. Většinou odpovídali špatně ti probandi, kteří měli horší výsledky u testů barevné preference.

Testy barevné preference se oproti pseudoisochromatickým tabulkám nehodnotí přímo podle počtu chyb, ale podle stupnice TES. U Lanthonyho testu D-15 byl nejnižší možný výsledek TES 11,4, u Farnsworth-Munsellova Hue testu to byl TES 0 (kterého však nikdo z probandů nedosáhl).



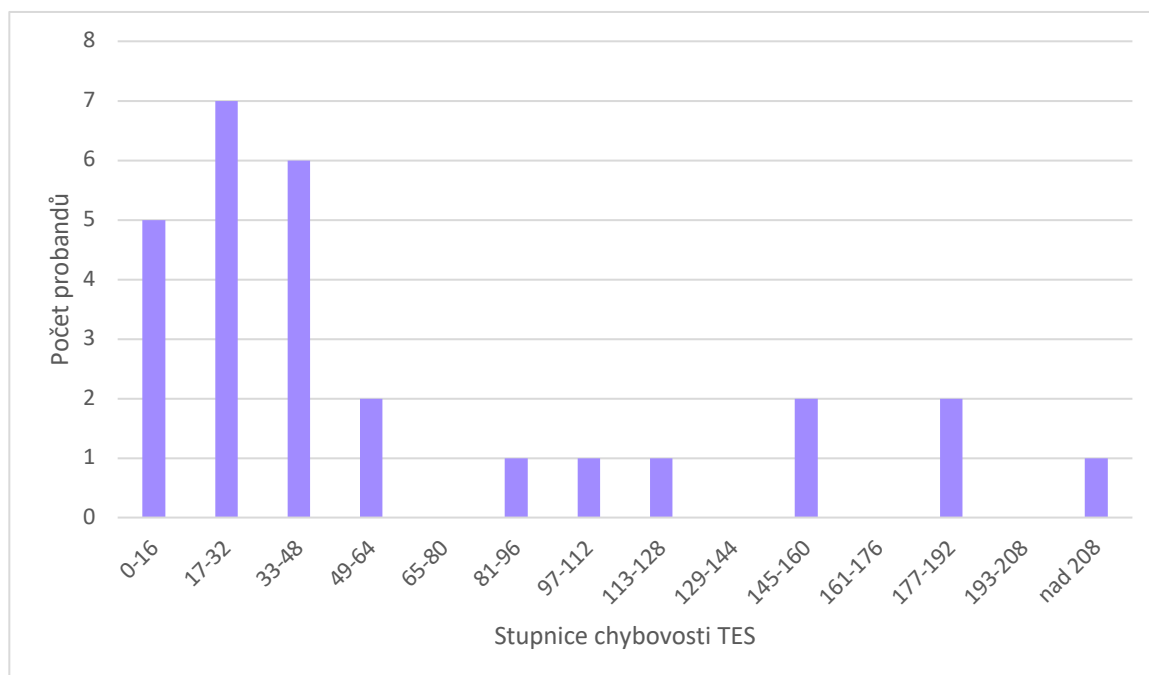
Graf 5.7: Zastoupení chybovosti probandů u testu D-15



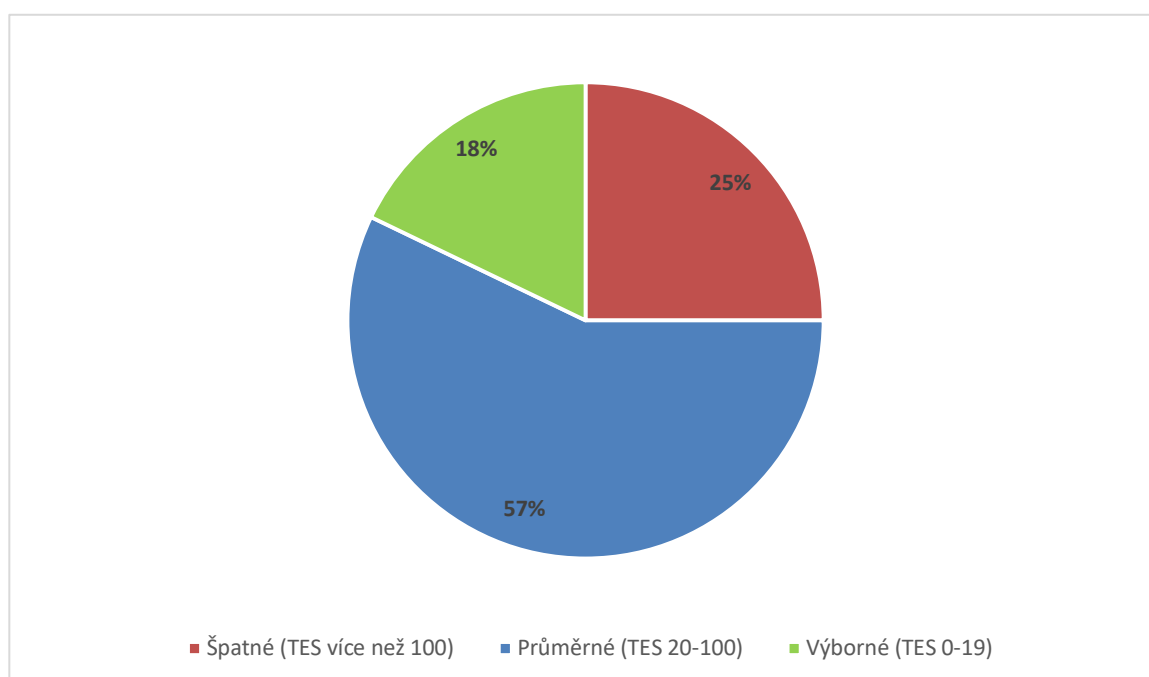
Graf 5.8: Procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu – Lanthonyho test D-15

Lanthonyho test D-15 patří k testům barevné preference, což znamená, že je to test, který slouží k rozdělení různých poruch barvocitu. Oproti pseudoisochromatickým tabulkám to není pouze screeningový test.

Vzhledem k vyšší podrobnosti a přesnosti testu došlo k mírnému zvýšení procentuálního zastoupení osob s poruchou barvocitu. Ve třech případech ze čtyř se jednalo o protranopii. V posledním případě byla výsledkem tritanopie. Nicméně právě v tomto případě se jednalo o probanda s šedým zákalem (operace by měla proběhnout v září roku 2019).



Graf 5.9: Zastoupení chybovosti probandů u FM 100 Hue Testu

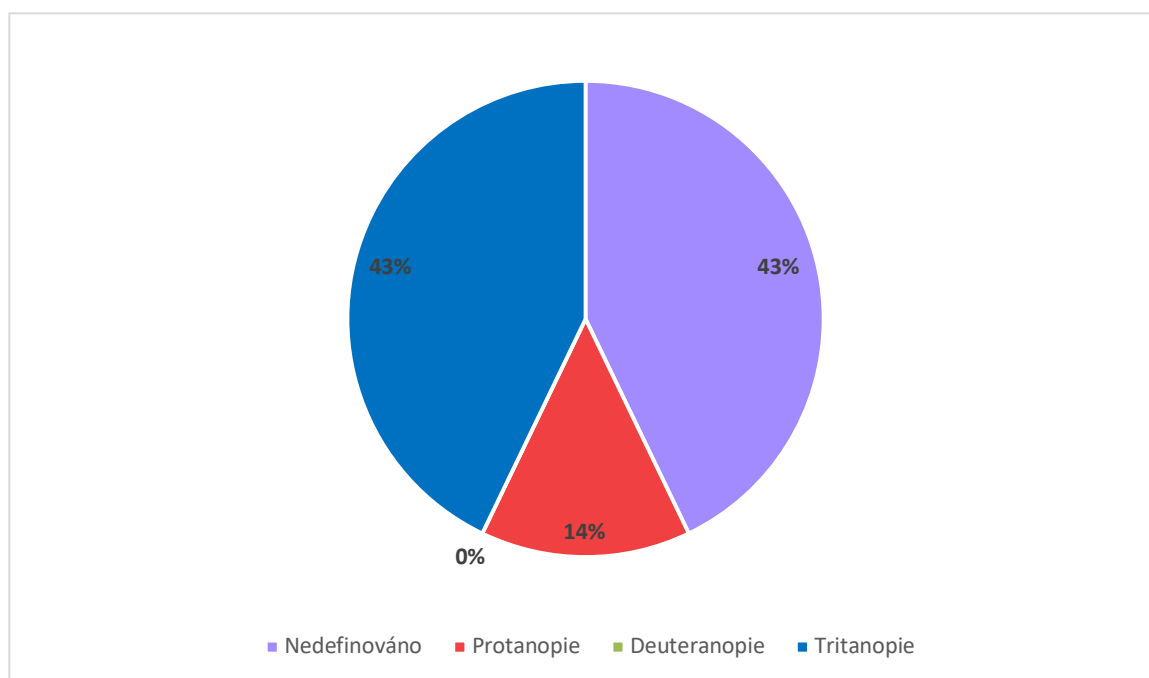


Graf 5.10: Procentuální zastoupení probandů podle stupnice TES

Farnsworth-Munsellův 100 Hue test byl ze všech využitých testů nejpodrobnější. Pomocí něho bylo možné zaznamenat nejjemnější odchylky ve vnímání barev, což má za následek značné zvýšení počtu probandů s poruchami barvocitu. Jednodušší hodnocení se dělá podle tabulky 4.1, podle které by právě 25 % probandů mělo porušený barvocit. Nicméně v několika případech i při vyšším výsledku se nedá definovat o jakou poruchu se jedná. Vyšší

výsledky na stupnici TES mohou být tedy ovlivněny několika faktory. Důležitým faktorem je nepochybně diskomfort, na který probandi během vyšetření upozorňovali (většina probandů měla problém s tím, že jim při delším pozorování barevných řad „přecházely oči“). Dalšími faktory pak mohou být účinky léků, které někteří s probandů užívají, případně pak i únava probandů. Ve dvou případech byl uveden také šedý zákal, což mohlo mít za následek značné zhoršení výsledků.

Na Grafu 5.11 je znázorněno zastoupení jednotlivých poruch barvocitu z výsledků FM 100 Hue testu. Tato procenta jsou brána pouze ze 14 výsledků – u probandů, kde TES vyšlo nad 40. U 43 % (tj. 6 ze 14 probandů) byla porucha barvocitu nedefinovatelná, což znamená, že tito probandi mají obecné snížení vnímání všech barev. U dalších 43 % to pak byla tritanopie. Největší chybovost byla právě v modrých barvách, a to i tehdy, pokud výsledek TES byl velice nízký. U 14 % (tj. 2 probandi ze 14) pak lze hovořit o protanopii. Deuteranopie ovšem nevyšla ani u jednoho z probandů.



Graf 5.11: Procentuální zastoupení jednotlivých poruch barvocitu – FM 100 Hue test

6. Diskuse

V praxi se nejčastěji používají pseudoisochromatické tabulky a některé z testů barevné preference. Z grafů (grafy 5.1 až 5.11) vyplývá, že testy barevné preference jsou mnohem přesnější a podrobnější. To má ovšem za následek zvýšení počtu osob s poruchou barvocitu. Testy barevné preference – nejčastěji Hue test – se používají například pro diagnostiku některých nemocí, a to většinou na neurologické klinice.

Přestože Farnsworth-Munsellův Hue test patří mezi nejpřesnější a nejdetailnější používané testy pro vyšetření barvocitu, průběh testování je zdoluhavý (u některých probandů tento test trval přes 60 minut) a v mnoha případech nepohodlný až nepříjemný. V běžné praxi (optometristické a oftalmologické) na takové testy většinou nezbyvá čas. Z tohoto hlediska je pochopitelné, že jsou častěji používané pseudoisochromatické tabulky. Ty jsou výhodné nejen díky snadnému použití a interpretaci výsledků, ale také díky časovému omezení testů.

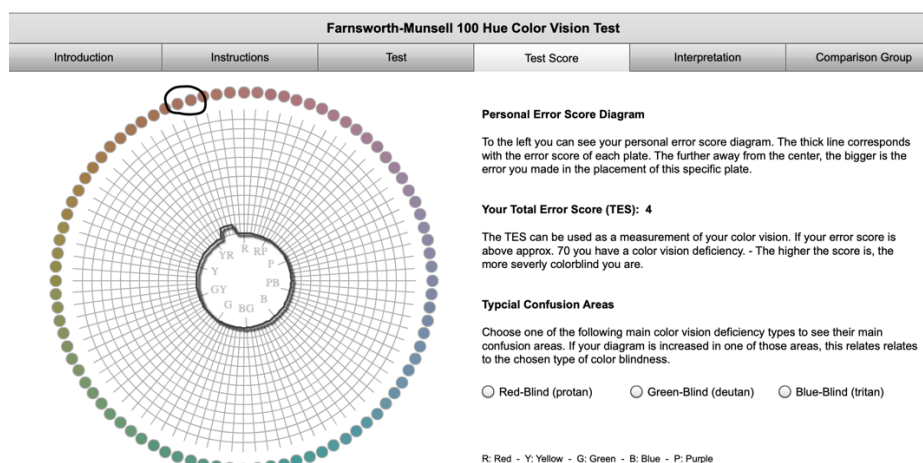
U testů pro vyšetření barvocitu je také problém s opakovatelností testů. V Ishihariho tabulkách i v Tabulkách k vyšetření barvocitu od Stillinga je upozorňováno na skutečnost, že pacienti jsou schopni sehnat a naučit se správné odpovědi. V takovém případě by vyšetření nebylo možné prohlásit za relevantní. Jediná možnost, jak se takové situaci vyhnout, je ukazovat pacientovi tabulky v náhodném pořadí. U FM 100 Hue testu k takové situaci nedochází. I z tohoto hlediska je možné označit testy barevné preference za přesnější.

7. Závěr

V teoretické části své bakalářské práce jsem se věnovala problematice spojené s poruchami barvocitu. Nejprve jsem stručně popsala anatomické struktury spojené s vnímáním barev. Dále jsem se pak zabývala fyziologií barevného vidění a samotnými poruchami barvocitu (vrozenými i získanými). Nakonec jsem popsala jednotlivé typy a příklady používaných testů.

V experimentální části jsem se věnovala porovnáním čtyř vybraných testů, se kterými jsem vyšetřovala skupinu 28 osob. Jak již bylo popsáno v 5. kapitole, vždy se postupovalo od snazších testů po ty nejsložitější. Jednotlivé testy byly porovnány na základě komfortu probandů a jednotlivých výsledcích. Nejpřesnějších výsledků se dosáhlo pomocí Farnsworth-Munsellova 100 Hue testu, díky kterému bylo možné posoudit závažnost i typ poruchy barvocitu. Tento test byl však ve většině případů poněkud zdlouhavý (u některých probandů tento test trval přes hodinu) a poněkud nepříjemný. Starší probandi také upozorňovali po dokončení Hue testu na únavu. Tato skutečnost také mohla vést k mírnému zkreslení výsledků.

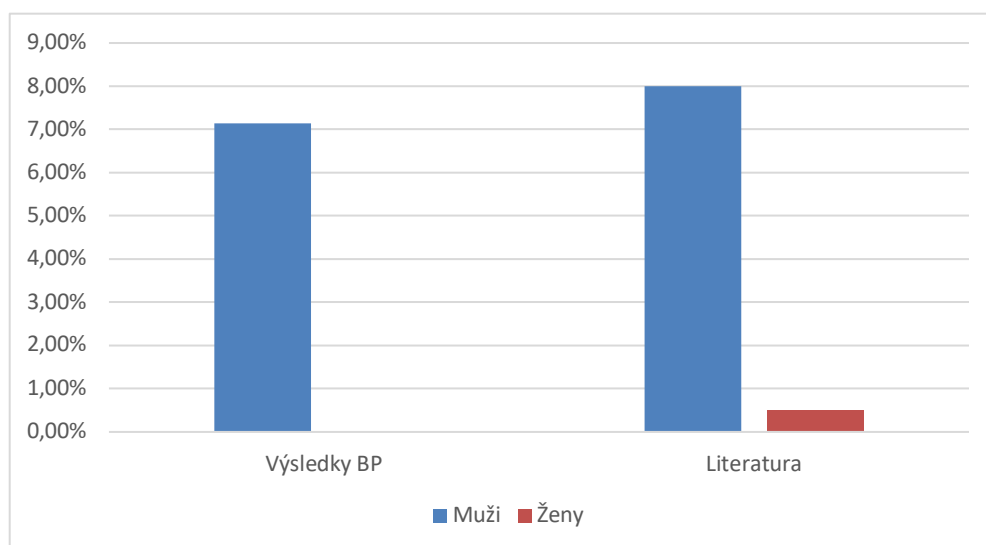
Důležitým poznatkem je skutečnost, že 25 probandů z celkového počtu mělo totožnou chybu u dvou terčů (obr. 7.1) z prvního řádku FM 100 Hue testu. V tomto případě nezáleželo na konečném výsledku celého testu. Zbylí tři probandi, kteří tyto terče měli správně, neměli celkově dobrý výsledek (spíše průměrný až špatný). Ve dvou případech ze tří se tedy jednalo o osoby s poruchou barvocitu (protanopie). Dalo by se tedy usuzovat, že chyba nebyla u většiny z probandů, ale v samotném testu. Nicméně se jedná pouze o dva terče, což by konečné výsledky příliš nezměnilo.



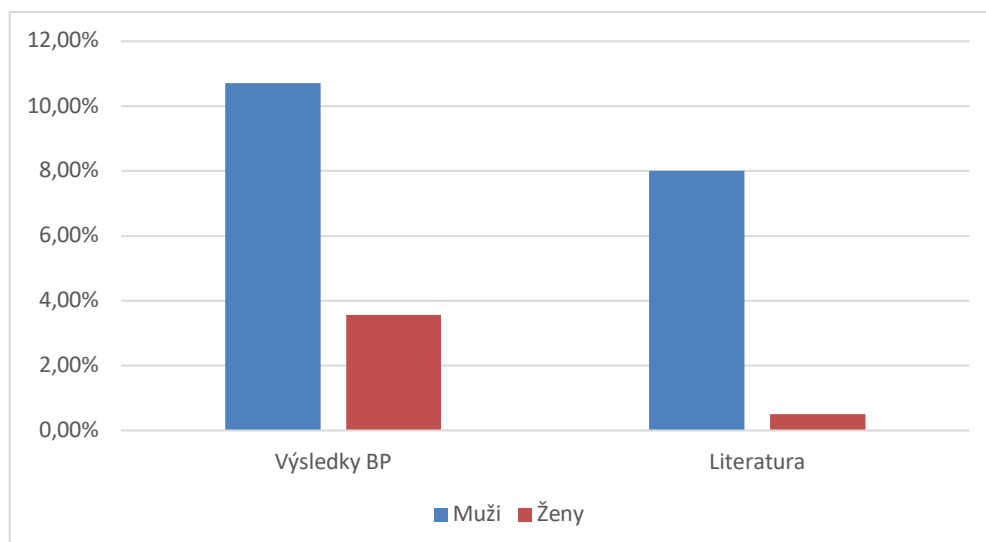
Obr. 7.1: Znázornění terčů s nejčastější chybovostí

Z experimentální části tedy vychází, že nejpřesnějším testem byl Farnsworth-Munsellův 100 Hue test. Naopak nejméně přesným byly Ishihariho pseudoisochromatické tabulky, kde byla nulová chybovost až u 24 probandů. Nicméně FM 100 Hue test byl nejvíce nepřijemný a také zdlouhavý. Pro běžnou praxi by proto byl ideální buďto Lanthonyho test D-15 nebo alespoň Tabulky k vyšetření barvocitu od Stillinga, které jsou pro klasický screeningu ideální – oproti Ishihariho tabulkám jsou poměrně složitější, obsahují větší počet různých typů tabulek a zaměřují se na poruchy v oblasti červené – zelené barvy a žluté – modré barvy.

Výsledky procentuálního zastoupení osob s poruchou barvocitu (v tomto případě tedy vrozenou poruchou barvocitu) v testované skupině přibližně odpovídá hodnotám uváděným v literatuře (tj. 8 % mužské a 0,4-0,5 % ženské populace). V testované skupině byl výsledek takový, že poruchou barvocitu 7,14 % mužské a 0 % ženské populace (Graf 7.1), což odpovídá dvěma probandům s protanopií. Nicméně další dva probandi mají snížené vnímání červené barvy, což by výsledek změnilo na 10,71 % mužské a 3,57 % ženské populace (Graf 7.2).



Graf 7.1: Porovnání výsledků BP s hodnotami uváděnými v literatuře – nižší hodnoty



Graf 7.2: Porovnání výsledků BP s hodnotami uváděnými v literatuře – vyšší hodnoty

Pokud tedy budeme brát v úvahu pouze hodnoty uvedené v Grafu 7.1, je možné potvrdit hypotézu H_0 (tj. procentuální zastoupení osob s poruchou barvocitu v testované skupině bude stejné nebo nižší než hodnoty uváděné v literatuře).

V této době už porucha barvocitu není vada, která by se nedala řešit. Pokud se jedná o získané poruchy barvocitu, navrácení normálního vnímání barev je zajištěno řešením problému, který tuto změnu způsobil. Pokud se však jedná o vrozenou poruchu barvocitu, řešení je poněkud jiné. „Léčba“ pro vrozené poruchy barvocitu neexistuje, nicméně již několik zahraničních firem vyrábí brýlové čočky, které upravují pozorované barvy tak, že vzniká vjem jako u normálního trichromata. Z tohoto důvodu je tedy důležité, aby se jednotlivé poruchy barvocitu rozlišovaly, a tím, aby mohlo dojít ke správnému řešení problému.

Seznam použité literatury

- [1] ATCHISON, David A. a George SMITH. *Optics of the Human Eye*. Reprinted 2002. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, Elsevier Science, 2000. ISBN 0-7506-3775-7.
- [2] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [3] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-726-2404-0.
- [4] SKORKOVSKÁ, Karolína. *Perimetrie*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5282-2.
- [5] ČIHÁK, Radomír, DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM, ed. *Anatomie*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [6] AMBLER, Zdeněk, Josef BEDNAŘÍK a Evžen RŮŽIČKA. *Klinická neurologie*. Vyd. 2. Praha: Triton, 2008-. ISBN 978-80-7387-157-4.
- [7] Gary Heiting, OD. *All about vision* [online]. AAV Media, c2000-2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.allaboutvision.com/resources/retina.htm>
- [8] FONTANA, Josef. *Funkce buněk a lidského těla: Multimediální skripta se cvičebnicí*. Praha: 3rd Faculty of Medicine, Charles University, 2014.
- [9] TOVÉE, Martin J. *An introduction to the visual system*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-0-521-70964-4.
- [10] KEATING, Michael P. *Geometric, physical, and visual optics*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c2002. ISBN 07-506-7262-5.
- [11] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2014. ISBN 978-3-527-41068-2.
- [12] MALÝ, Petr. *Optika*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1342-0
- [13] REMINGTON, Lee Ann a Lee Ann REMINGTON. *Clinical anatomy and physiology of the visual system*. 3rd ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Butterworth Heinemann, c2012. ISBN 978-1-4377-1926-0.
- [14] ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.

- [15] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [16] DANNHOFEROVÁ, Jana. *Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7.
- [17] VALÁŠEK, Petr. *Zrakové ústrojí. Zraková dráha. Zornicový a rohokový reflex*. [online]. Univerzita Karlova v Praze - 1. lékařská fakulta, 2012 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://anat.lf1.cuni.cz/souhrny/lekls1401.pdf>. Učební prezentace pro předmět Anatomie 2. 1. LF UK v Praze.
- [18] Elektromagnetické spektrum. *Pion* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.pion.cz/cs/clanek/elektromagneticke-spektrum>
- [19] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to visual optics*. 4th ed. London: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 978-0-900-09928-1.
- [20] DVOŘÁKOVÁ, Zdenka. *DTP a předtisková příprava: kompletní průvodce od grafického návrhu po profesionální tisk*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1881-8
- [21] Barevný model. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevný_model
- [22] MYSLIVĚČEK, Jaromír. *Základy neurovědy*. 2., rozš. a přeprac. vyd. Praha: Triton, 2009. ISBN 978-80-7387-088-1.
- [23] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-701-3362-7.
- [24] BROSCHMANN, Dieter a Jörn KUCHENBECKER. *Tabulky k vyšetření barvocitu: vynalezli a vytříbili Jakob Stilling, Ernst Hertel, Karl Velhagen*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Aventinum, 2012. ISBN 978-80-7151-267-7.
- [25] KOLARČÍK, Lukáš, Václav DEDEK a Michal PTÁČEK. *Příručka pro sestry v oftalmologii*. Praha: Grada Publishing, 2016. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-5458-1.
- [26] Jak vidí svět barvoslepi lidé?. *Refresher* [online]. c2011-2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://refresher.cz/40231-Jak-vidi-svet-barvoslepi-lide-Zde-je-nekolik-ukazek-ruznych-onemocneni-postihujicich-zrak?gdpr-accept=1>
- [27] KOLÁŘ, Petr. *Věkem podmíněná makulární degenerace*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2605-2.
- [28] ŘEHÁK, Jiří a Matúš REHÁK. *Venózní okluze sítnice*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3480-4.

- [29] National Research Council. *Procedures for Testing Color Vision: Report of Working Group 41 (1981)*. Washington, DC: The National Academies Press, 1981. ISBN 978-0-309-07761-3.
- [30] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [31] Colblindor. *Colblindor* [online]. c2006-2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.color-blindness.com/category/tests/#prettyPhoto>
- [32] Colour blindness test. *Brought to life: Exploring the history of medicine* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://broughttolife.sciencemuseum.org.uk/broughttolife/objects/display?id=92915>
- [33] FARNSWORTH MUNSELL 100 HUE TEST. *Color Confidence* [online]. 2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://hq.colorconfidence.com/farnsworth-munsell-100-hue-test.html?SID=vbjd0io55rjmgvg6eqcgh4l4a2&__store=cc_hq&__from_store=cc_gb
- [34] Lanthony Desaturated Color Test. *Good-Lite* [online]. c2004-2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.good-lite.com/Details.cfm?ProdID=375>
- [35] Oculus Anomaloscope. *Good-Lite* [online]. c2004-2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.good-lite.com/Details.cfm?ProdID=570>
- [36] ISHIHARA M. D., DR. MED. SC., Shinobu. *Ishihara's tests for colour deficiency: Concise Edition*. Tokyo: Kanehara Trading, 2010.
- [37] MacBook Pro (13palcový, 2016, čtyři porty Thunderbolt 3) - Technické specifikace. *Support apple* [online]. 1.11.2017 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://support.apple.com/kb/SP748?locale=cs_CZ

Seznam symbolů a zkratk

Seznam symbolů

Zkratka	Význam
H_0	Nulová hypotéza
H_A	Alternativní hypotéza

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
nm	Nanometr
cm	Centimetr
FM 100 Hue test	Farnsworth-Munsellův 100 Hue test
lx	Lux

Příloha A: Šablona protokolů

Příjmení:	Jméno:
Ročník narození:	
Datum:	

Ishihariho pseudoisochromatická tabulka

12 - demonstrace		2	
8		X	
5		16	
29		Čára	
74		35	
7		96	
45		Dvě čáry	

Počet chyb:

Výsledek:

Tabulky k vyšetření barvocitu (J. Stilling, E. Hertel, K. Velhagen)

2L - demonstrace		3 (ČZ 8)	
182 (ČZ 8, MŽ 12)		CH (ČZ 31, 37)	
69 (ČZ 60, 66, 00)		42 (ČZ -)	
H5 (ČZ -)		49 (MŽ -)	
3 (ČZ -)		5E (MŽ -)	
6R (ČZ -)		65 (ČZ -)	
2 (ČZ -)		RG (ČZ -)	
F4 (ČZ -)		A4 (ČZ -)	
6 (ČZ -)		B5 (ČZ B6)	
51 (ČZ -)			

Kontrastní tabulky (20 a 21)

2	Číslo:	Barva:
3	Číslo:	Barva:

Tabulky 22 a 23

Zelené čtverce	Čtverec:	Kroužek:
Červené čtverce	Čtverec:	Kroužek:

Počet chyb:

Výsledek:

Lanthonyho desaturovaný test D-15

TES	
Porucha barvocitu	

Pozn.:

Farnsworth-Munsellův 100 Hue test

TES	
Porucha barvocitu	

Pozn.:

Souhlas se zpracováním osobních údajů

Udělují tímto souhlas Leontýně Varvařovské, aby ve smyslu nařízení č. 679/2016 o ochraně osobních údajů fyzických osob (dále jen „GDPR“) zpracovávala tyto osobní údaje:

- Jméno a příjmení
- Datum narození

Tyto osobní údaje je nutné zpracovat za účelem tvorby bakalářské práce s názvem „Porovnání testů pro určení barvocitu“ v akademickém roce 2018/2019 na FBMI ČVUT. Tyto údaje budou zpracovány po dobu platnosti zadání bakalářské práce, tj. do 20.9.2020.

S výše uvedeným zpracováním udělují výslovný souhlas. Souhlas lze vzít kdykoli zpět, a to například zasláním e-mailu na adresu Lelda@me.com.

Dle GDPR máte právo:

- Vzít souhlas kdykoliv zpět
- Požadovat informaci, jaké vaše osobní údaje zpracováváme
- Požádat vysvětlení ohledně zpracování osobních údajů
- Vyžádat si přístup k těmto údajům a tyto nechat aktualizovat nebo opravit
- Požadovat opravu, výmaz osobních údajů, omezení zpracování a vznést námitku proti zpracování

Dne:

Podpis: