

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2017

**BARBORA
FRÖMMELOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Porovnání různých testů pro detekci poruch barvocitu

Comparison of different tests for detection of colour vision deficiency

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Barbora Frömmelová

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Přemysl Kučera

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2016/2017

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Barbora Frömmelová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Porovnání různých testů pro detekci poruch barvocitu**
Téma anglicky: Comparison of different tests for detection of colour vision deficiency

Zásady pro vypracování:

Studentka zpracuje teorie barevného vidění, provede klasifikaci poruch barevného vidění a popíše symptomy. Představí metody vyšetření barvocitu včetně výčtu a popisu jednotlivých testů a digitálních technologií. Studentka popíše možnosti kompenzace deficitu barevného vidění a dále zmíní bezpečnostní a profesní požadavky na kvalitu barvocitu. Výzkum se zaměří na porovnání různých metod zjištění a diagnostiky poruch barvocitu (Hue test, pseudoizochromatické tabulky). Připraví vhodný protokol pro zápis zjištěných údajů a výsledky statisticky zpracuje.

Seznam odborné literatury:

- [1] SKUSEVICH D., MATIKAS, P., Color Perception - Physiology, Processes and Analysis, ed. 1., Nova Science Publishers Inc., 2010, 286 s., ISBN 978-1-60876-077-0
- [2] BENJAMIN, W. J., Borish's Clinical Refraction, ed. 2., Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, 1694 s., ISBN ISBN: 978-0-7506-7524-6
- [3] DOSHI, S., HARVEY, W., Eye Essentials: Assessment & Investigative Techniques, ed. 1., Elsevier, 2005, 186 s., ISBN 978-0-7506-8853-6

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Bc. Přemysl Kučera



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce:

Porovnání různých testů pro detekci poruch barvocitu

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je ucelení informací o vzniku barevného vidění, poruchách barvocitu, jeho vyšetření a vlivu poruch barvocitu na výběr zaměstnání. První část je věnována teorii - obsahuje popis fotoreceptorů a procesu barevného vidění, vrozených i získaných poruch barvocitu a možnosti jejich vyšetřování. V praktické části mé bakalářské práce jsou porovnány dva testy na detekci poruch barvocitu a jejich srovnání s jinými výzkumy.

Klíčová slova:

Barvocit, poruchy barvocitu, vyšetření barvocitu, vyšetřovací testy, pseudoizochromatické tabulky

Bachelor's thesis title:

Comparison of different tests for detection of colour vision deficiency

Abstract:

The goal of this bachelor thesis is comprehensive information and about formation of colour vision, its disorders, ways of examination and the influence of colour disorders on a career choice. First part is dedicated to the theory - it contains description of photoreceptors and colour vision process, congenital and acquired defects of color perception and the possibilities of its therapy. In the second part is practical part of the bachelor thesis are compared two tests for detection of colour vision deficiency.

Key words:

Colour sens, colour deficienc, testing of colour sens, examination tests, pseudoisochromatic tables

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Bc. Přemyslovi Kučerovi za cenné rady a poskytnuté materiály, které mi byly velkou pomocí při vypracování bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Porovnání různých testů pro detekci poruch 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).

V dne

.....

podpis

Obsah

Úvod	1
1 Fyzikální a anatomicko-fyzikální východiska	2
1.1 Fotoreceptory	2
1.1.1 Tyčinky.....	2
1.1.2 Čípky	2
1.2 Fotochemie zrakových pigmentů	3
1.3 Elektrofyzilogie barevného vidění	4
1.4 Zraková dráha	5
2 Teorie barevného vidění	6
2.1 Young-Helmholzova teorie	6
2.2 Heringova teorie.....	7
3 Klasifikace poruch barevného vidění	8
3.1 Poruchy vrozené.....	8
3.1.1 Anomální trichromázie.....	9
3.1.2 Dichromázie.....	9
3.1.3 Monochromázie	10
3.2 Poruchy získané	13
4 Metody vyšetření barvocitu	14
4.1 Rozlišovací testy	14
4.1.1 Pseidoizochromatické tabulky	14
4.2 Seřazovací testy.....	15
4.3 Míchací testy.....	16
4.4 Pojmenovávací testy.....	19
5 Možnosti kompenzace deficitu barevného vidění	20
5.1 Korekce vad barvocitu pomocí barevných filtrů	20
5.2 Posun absorpčních křivek.....	20
5.3 Korekce barevnými filtry.....	21
5.4 Nevýhody barevných filtrů.....	21
6 Profesionální požadavky na kvalitu barvocitu.....	22
6.1 Poruchy barvocitu a jeho význam v zaměstnání.....	22
6.2 Speciální požadavky na barvocit v silniční dopravě	22
6.3 Speciální požadavky na barvocit v železniční dopravě.....	23

6.4	Speciální požadavky na barvocit v říční dopravě	23
6.5	Speciální požadavky na barvocit v letecké dopravě	23
7	Vlastní výzkum.....	25
7.1	Vymezení cíle a výběr metody	25
7.2	Výzkumný vzorek	25
7.3	Průběh výzkumu	26
7.4	Metodika	27
7.5	Předpoklady (hypotézy).....	31
7.6	Vyhodnocení.....	32
7.7	Analýza hypotéz.....	34
7.8	Diskuze	36
	Závěr.....	38
	Seznam použité literatury	39
	Seznam symbolů a zkratk	43
	Seznam obrázků	44
	Seznam tabulek	45
	Seznam grafů	46
	Seznam příloh	47
	Přílohy	48

Úvod

Zrak je nejdůležitějším smyslem člověka, zprostředkovává kolem 80% našeho smyslového vnímání. Světelné podněty z našeho okolí, které vnímáme fotoreceptory, se převádí na vzruch, který se pomocí neuronů dostane až do mozku, kde se tvoří výsledný obraz. Díky dvěma druhům fotoreceptorů jsme schopni vnímat okolní prostředí jak černobíle, tak barevně. Pro černobílé vidění slouží tyčinky a pro barevné vidění slouží čípky. Pokud je porušen jeden fotoreceptor pro barevné vidění, tak vzniká porucha barvocitu.

Neschopnost rozeznávání barev může člověka omezovat jak v běžném životě, tak i při výběru profese. V některých povoláních, především v dopravě, je nezbytné, aby byl barvocit neporušen (piloti, námořníci, strojvedoucí...)

V této práci se budu zabývat vyhledáváním a zpracováním doposud známých informací o dané problematice. Představím fyzikální a anatomicko-fyziologická východiska, teorii barevného vidění. Uvedu klasifikaci poruch barvocitu, možnosti vyšetření barvocitu a případné možnosti kompenzace poruchy. V poslední kapitole se budu zabývat profesními požadavky na kvalitu barevného vidění.

V praktické části budu porovnávat testy na vyšetření poruch barvocitu. Jedním testem jsou pseudoizochromatické tabulky v mechanické verzi a druhý je zkrácený hue-test v online verzi. Práce směřuje k ověření toho, zda k vyšetření barvocitu stačí volně dostupná online verze.

Cílem práce bude ověření hypotéz, které jsou stanoveny na začátku praktické části bakalářské práce, ověření procentuálního zastoupení poruch barvocitu v populaci a možnost replikace výsledků u různých testů.

1 Fyzikální a anatomicko-fyzikální východiska

1.1 Fotoreceptory

Lidská sítnice obsahuje dva typy fotoreceptorů-tyčinky a čípky, tyto fotoreceptory jsou stimulovány světlem, které se na sítnici dostává průchodem přes všechna optická prostředí. Fotoreceptory se liší tvarem zevních a vnitřních segmentů, umístěním jádra a tvarem synaptických zakončení. Všechny fotoreceptory mají zevní segment, ve kterém je obsažen zrakový pigment, a vnitřní segment, ve kterém probíhají metabolické procesy. [1, 2]

1.1.1 Tyčinky

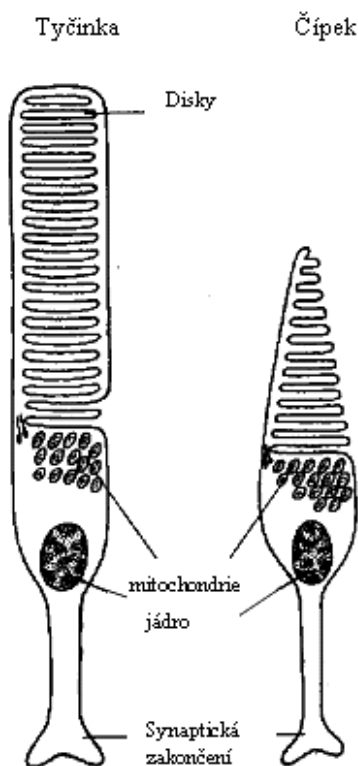
Prvním typem fotoreceptoru jsou tyčinky, kterých je asi 130 milionů [6], jejich počet se stárnutím nemění, ale jejich hustota se stárnutím mění a klesá asi o 30% [2]. Tyčinky jsou specializované pro vnímání světelných rozdílů i za velmi nízkých hladin osvětlení, mají velkou senzitivitu zvláště v modrozelené oblasti (fotopické vidění). Tyčinky jsou citlivé na světlo, protože obsahují pigment rodopsin, který je schopný zachytit fotony. Rodopsin můžeme znát také pod názvem zrakový purpur. Jeho vrchol pro vnímání světla je kolem 500 nm. Rodopsin je umístěn v discích jako jedna molekulární vrstva a je složen ze dvou částí-z chromoforu vitamínu A a opsin. [1, 2, 3]

1.1.2 Čípky

Druhým typem fotoreceptorů jsou čípky, kterých je asi 7 milionů [6], jejich hustota se stárnutím nemění. Největší počet čípků je v centru sítnice, v tzv. fovee centralis, směrem od fovei jejich hustota rychle klesá. Čípky umožňují barevné vidění a zrakovou ostrost za jasného světla. Pokud je intenzita osvětlení příliš velká nebo příliš malá, přestáváme vnímat jednotlivé barvy. Při vyšší intenzitě přestáváme nejdříve vnímat kratší vlnové délky, což znamená od modré barvy k červené barvě. Při klesající intenzitě naopak přestáváme vnímat vyšší vlnové délky, takže od červené barvy k modré barvě. V buňkách čípku jsou zrakové pigmenty rovněž složeny ze dvou částí. [1, 2, 3, 4, 5, 8]

Rozeznáváme tři typy čípků. Dělíme je podle toho, jakou vlnovou délku jsou schopni vnímat. Prvním typem jsou čípky s označením S, které jsou schopné vnímat světlo o vlnové délce 440-450 nm [10], což je modrá barva. Druhým typem jsou čípky s označením M, které vnímají světlo o vlnové délce 535-555 nm [10], tato vlnová délka odpovídá zelené barvě.

Posledním typem čípků, jsou čípky s označením L, které mají maximum vnímání světla o vlnové délce kolem 570-590 nm [10], což odpovídá červené barvě. [1, 2, 3, 4, 5, 8]



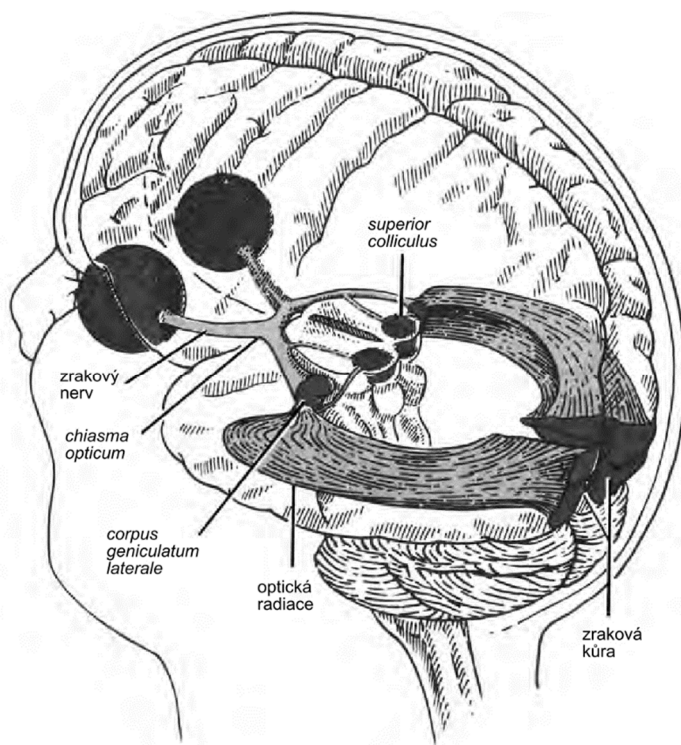
Obrázek 1: Tyčinka a čípek [31]

1.2 Fotochemie zrakových pigmentů

V zevních segmentech fotoreceptorů začíná zrakový vjem absorpcí fotonů. Zrakový pigment je uložen v zevních segmentech tyčinek a čípků, obnovuje se asi během 10 dnů. Retinal se vyskytuje ve dvou formách-regenerovaný stav a stav po ozáření. V regenerovaném stavu se vyskytuje v 11-cis formě, tato forma přesně zapadá do opsinové části molekuly. Po ozáření se forma 11-cis retinalu mění na konečnou all-trans-formu retinalu a opsinu. Podstatou adaptace na tmu je regenerace rhodopsinu z vitamínu A a opsinu. Nejprve se transforma retinalu mění na cis-formu vitamínu A. Poté se mění vitamin na aldehyd a následuje vazba na opsin. Tento děj vyžaduje energii ve formě adenosintrifosfátu. Při všech těchto změnách vznikají v receptorech při osvětlování rané receptorové potenciály. Potenciál je bifázický a nemá žádnou latenci proti začátku světelného podnětu. Na základě mnoha experimentů bylo prokázáno, že podstatou raných receptorových potenciálů jsou přesuny náboje v molekule rhodopsinu. [6, 8, 9]

1.3 Elektrofyziologie barevného vidění

Horizontální buňky v sítnici, které přijímají signály z čípků, zpracovávají informace o barvě. Tyto buňky jsou důležité pro tzv. S-potenciály, což jsou odpovědi na podráždění, které je způsoben při osvitu sítnice různou částí barevného světla. Tento systém je nazýván tzv. oponentní kódování, což znamená, že červená barva způsobí hyperpolarizaci a zelená depolarizaci. Druhý systém se týká modré a žluté barvy, kdy modrá působí hyperpolarizaci a žlutá depolarizaci. Na stejném principu fungují i buňky, které se nacházejí ve vyšších etážích zrakové dráhy. U gangliových buněk rozeznáváme dva jejich dva typy. Jedním typem je typ P a druhým typ M. Typ P reaguje na počátek osvitů centra (on-reakce) zvýšením počtu akčních potenciálů, při ukončení osvitů periferie (off-reakce) se počet akčních potenciálů snižuje. Druhý typ, typ M, má opačný výskyt odpovědí. Při současném osvětlení obou částí receptivního pole se tlumí aktivita buňky. [1, 6, 17]



Obrázek 2: Zrakový systém člověka [11]

1.4 Zraková dráha

Zraková dráha spojuje fotoreceptory (tyčinky a čípky) se zrakovým centrem v týlním mozkovém laloku. Bývá definována jako třineuronová. První neuron tvoří bipolární buňky, uloženými v sítnici, jež se označují jako ganglion retinae. Druhý neuron tvoří gangliové buňky, jejichž dlouhé axony začínají ve střední vrstvě sítnice a probíhají k terči zrakového nervu, dále se spojují do zrakového nervu. Začátek zrakového nervu je patrný na sítnici jako papila zrakového nervu. Až k chiasma opticum (zkřížení zrakových nervů) je zrakový nerv nazýván optickou dráhou (fasciculus opticus), poté se označení mění na optický trakt (tractus opticus). Třetí neuron, který představují velké multipolární neurony, se nachází v corpus geniculatum laterale (primární zrakové dráha). Corpus geniculatum laterale je šestivrstevný ganglion, který leží v hypotalamu. Dochází zde k synapsím mezi druhým a třetím neuronem. Neurity třetího neuronu směřují jako Gratioletův svazek či zraková radiace do korového zrakového centra, kolem fissura calcarina (area striata, jiným názvem area 17). Korová zraková dráha leží na vnitřní straně týlního laloku. Zde dochází ke vzniku zrakových vjemů, ty se spojují s ostatní mozkovou činností a vzniká vjem okolního prostředí, uvědomění si toho, co vidíme. Zrakovou dráhu můžeme rozdělovat také z klinického hlediska a to na periferní, neboli primární, a centrální úseky. Primární zrakovou dráhu můžeme dále členit na několik úseků, tyto úseky mají charakteristické uspořádání probíhajících axonů. [1, 4, 6, 8, 10, 11]

2 Teorie barevného vidění

Lidské oko je schopno vnímat světlo o vlnové délce v rozsahu 380 - 760 nm, přičemž náš zrakový systém je schopný přeměnit různé vlnové délky na barevné odstíny. Rozlišujeme tři základní barvy - modrou, zelenou a červenou, každý z barev má jinou vlnovou délku. Modrou barvu vnímáme při vlnové délce 400-450 nm, zelenou barvu při 500-570 nm a červenou barvu při 650-780 nm. Barvu můžeme charakterizovat třemi parametry. Mezi tyto parametry řadíme odstín, jiným názvem barevný tón, který popisuje kvalitu a je subjektivním vjemem lidského oka. Odstín je určen barevnou délkou. Dalším parametrem je jas, určující množství světla, které se odráží od předmětu. Posledním parametrem je sytost, která udává ryzost barvy. Celkově jsme schopni rozeznat asi 150 odstínů, které se mohou lišit ještě jasem a sytostí, což je ve výsledku přes sedm milionů barevných odstínů. [4, 12, 13, 14]

2.1 Young-Helmholzova teorie

Tuto teorii vytvořil v roce 1807 britský lékař Thomas Young. Byla vytvořena dávno před zjištěním, že existují čípkové buňky. Teorii o padesát let později rozvinul Hermann von Helmholtz. [4, 11, 12]

Teorii můžeme také znát pod pojmem trichromatická teorie, která hovoří o tom, že k vnímání barev slouží pouze tři receptory. Každý z receptorů vnímá široké spektrum vlnových délek, ale nejcitlivější jsou pouze v malém rozsahu. Všechny tři receptory dohromady určují vnímání barvy. Označení S-small, M-medium, L-long pochází z anglických slov. Krátké S-receptory jsou citlivé pro krátkou vlnovou délku, tedy pro barvu modrou. Střední M-receptory jsou citlivé pro střední vlnovou délku, která představuje zelenou barvu, a dlouhé L-receptory jsou citlivé pro dlouhé vlnové délky, což odpovídá barvě červené. Pokud jsou všechny tři receptory podrážděny stejnoměrně, tak vzniká dojem bílé barvy. [4, 11, 12]

2.2 Heringova teorie

V roce 1878 Edward Hering zjistil, že můžeme barvy fenomenologicky popsat jako výsledek jednoho nebo dvou počítků. Mezi počítky patří modrá, zelená, žlutá a červená. Také si všiml toho, že žádnou z barev nevnímáme jako červeno-zelenou nebo jako žluto-modrou. Směs červené a zelené vypadá jako žlutá a směs žluté a modré vzniká bílá. To ho vedlo k závěru, že barvy tvoří protiklady. Červená je protiklad zelené a žlutá je protiklad modré a tyto barvy nemohou být vnímány současně. Od těchto pozorování Hering odvodil teorii protikladných barev. V teorii hovoří o existenci dvou typů jednotek citlivých na světlo. Každý typ jednotky reaguje na jinou barvu. První typ jednotky reaguje na zelenou nebo červenou a druhý typ jednotky na žlutou nebo modrou. Každý typ jednotky reaguje na své dvě protikladné barvy opačným způsobem. Pro jednu barvu svou reakci zvyšují a pro druhou snižují. Pokud jsou přítomny dvě protikladné barvy, je vnímána barva bílá, protože jednotka nemůže reagovat oběma způsoby. [11, 12]

3 Klasifikace poruch barevného vidění

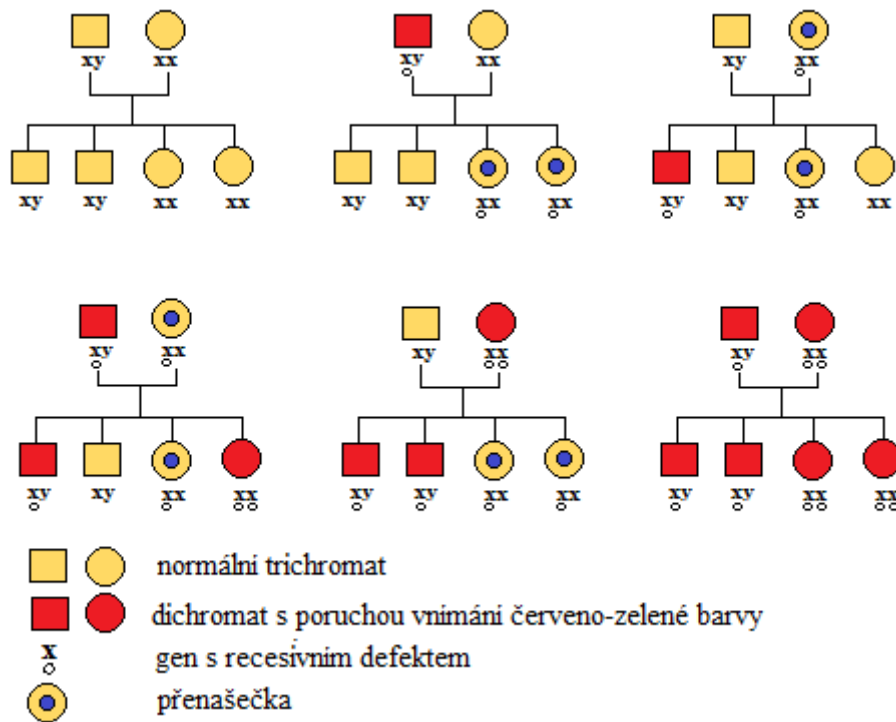
3.1 Poruchy vrozené

Poruchy barevného vidění mají dědičný charakter. Vyskytují se více u mužů než u žen, protože gen pro tuto poruchu je vázaný na chromozomu X a u muže není možné nahradit genetickou informaci z druhého chromozomu. Ženy většinou bývají přenašečkami poruchy barvocitu. V procentuálním vyjádření touto poruchou trpí asi 8% mužů a 0,5% žen. [5, 10]

Podle závažnosti poruch barvocitu rozeznáváme několik podskupin - anomální trichromázie, dichromázie a monochromázie. Vrozené poruchy barevného vidění mohou být označeny také jako barvoslepost či daltonismus, podle jména anglického chemika a fyzika Johna Daltona (1766 – 1844). Závažnost se určuje podle počtu nefunkčních receptorů. S úplnou barvoslepostí většinou souvisí i pokles zrakové ostrosti, podmíněný hypoplasií žluté skvrny, světloplachostí a nystagmem. [5, 10, 15, 16, 17, 30]

Tabulka 1: Procentuální zastoupení jednotlivých poruch barvocitu [5]

Typ poruchy	Označení podskupin	Výskyt	
		Muž	Žena
Monochromázie	Achromatopsie	0,00003%	
Dichromázie	Protanopie	1,01%	0,02%
	Deuteranopie	1,27%	0,01%
	Tritanopie	0,0001%	
Anomální trichromázie	Protanomálie	1,08%	0,03%
	Deuteranomálie	4,63%	0,36%
	Tritanomálie	0,0002%	



Obrázek 3: Pravděpodobnost dědičnosti poruch barvocitu (převzato a upraveno) [16]

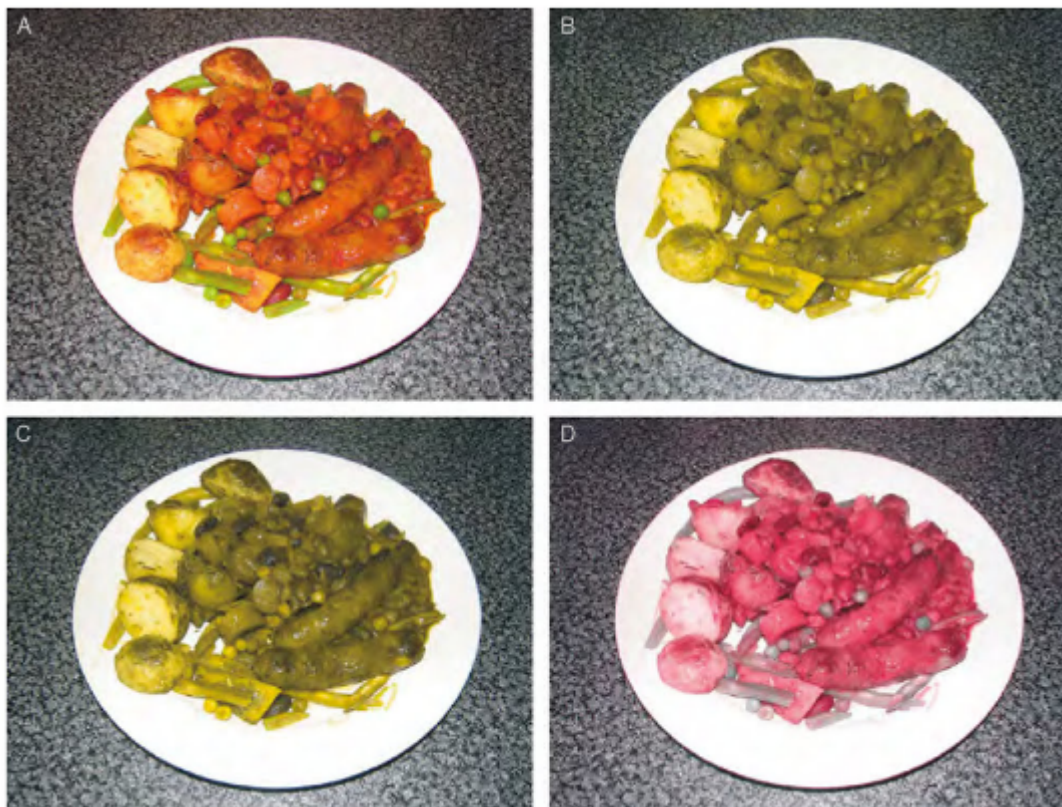
3.1.1 Anomální trichromázie

Anomální trichromázie se projevuje tím, že je posunuta spektrální citlivost jednoho typu čípků. Při anomální trichromázii se používá přípona -anomálie. Rozeznáváme tři podskupiny, podle toho, u kterého typu receptoru je posunuta spektrální citlivost. Protanomálie je porucha vnímání červené barvy. Deuteranomálie je porucha vnímání zelené barvy. Tritanomálie je porucha vnímání modré barvy, je velmi vzácná a téměř se nevyskytuje. Mnohem častější je porucha vnímání červeno-zelené barvy. Ve většině případů anomální trichromázie život svého nositele nijak neovlivní, někdo si ani nevšimne, že touto poruchou barvocitu trpí. [11, 15, 18, 19, 20]

3.1.2 Dichromázie

Jedná se o nejčastější typ vrozené poruchy barvocitu. U dichromatů není rozlišována jedna ze základních barev, protože mají funkční jen dva typy čípků. Barevný vjem tedy skládají jen ze dvou barev. U dichromázie používáme koncovku -anopia a rozeznáváme tři typy dichromatů - protanopie, deuteranopie a tritanopie. Při protanopii se jedná o úplnou absenci červených receptorů, při deuteranopii o absenci zelených receptorů a při tritanopii o absenci modrých receptorů. I přes poruchu barvocitu jsou schopni vidět barevně. Pomocí

fungujících typů receptorů se snaží dotvářet všechny odstíny barev. Některé barvy však vidí jen jako hnědé odstíny, jiné vnímají normálně. Orientace dichromatů v barvách není podle tónů, ale podle jasů jednotlivých barevných odstínů. [12, 15, 18]



Obrázek 4: Simulace dichromázie. Jak se barevný podnět, jakým je v tomto případě talíř s jídlem, může jevit člověka bez poruchy barvocitu (A), postiženým protanopií (B), deuteranopií (C) a tritanopií (D) [11]

3.1.3 Monochromázie

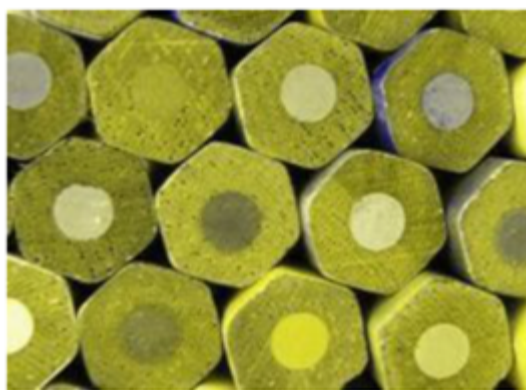
Jiným názvem také achromatopsie. Tento typ poruchy je velmi vzácný. Monochromaté trpí úplnou barvoslepostí, dělí se buď na typické nebo atypické monochromaty. Typický monochromat nemá funkční ani jeden typ čípků. Atypická monochromat má funkční jen jeden typ čípků, nemůže vnímat světlo více vlnových délek a neposkládá proto žádný barevný vjem. Většinou s touto poruchou souvisí i další poruchy zraku jako např. snížená zraková ostrost, nystagmus, vysoký astigmatismus, při nízké zrakové ostrosti může monochromat trpět i fotofobií. [4, 12, 15, 16, 19, 20]

Tabulka 2: Rozdělení vrozených poruch barvocitu-přehledně

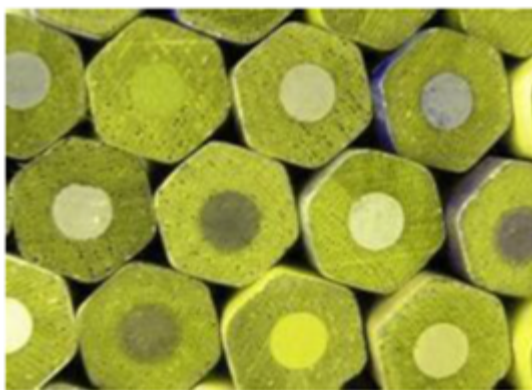
3 základní typy rozdělení	Podskupiny
Anomální trichromázie	Protanomálie
	Deuteranomálie
	Tritanomálie
Dichromázie	Protanopie
	Deuteranopie
	Tritanopie
Monochromázie	



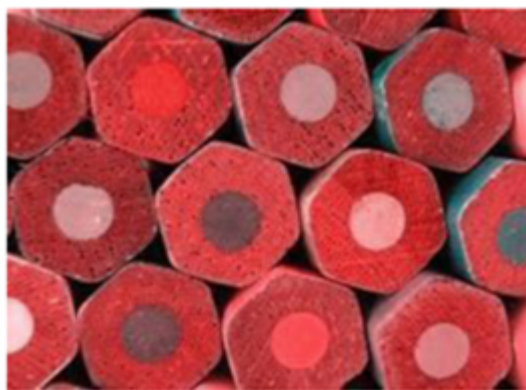
Normální barevné vidění



Protanopie



Deuteranopiae



Tritanopiae

Obrázek 5: Jak člověk vidí s jednotlivými poruchami barvocitu [5]

Tabulka 3: Problémy s rozlišením jednotlivých barev u různých typů poruch barvocitu (převzato a upraveno) [16]

Špatné rozpoznání barev	Typy poruch barvocitu		
	Protan	Deutan	Tritan
Červená/oranžová/žlutá/zelená	✓	✓	
Hnědá/zelená	✓	✓	
Zelená/bílá	✓	✓	
Červená/bílá	✓	✓	
Modro-zelená/šedá/červeno-fialová	✓		
Zelená/šedá/modro-fialová		✓	
Červená/černá	✓		
Zelená/černá		✓	
Fialová/žluto-zelená			✓
Červená/červeno-fialová			✓
Tmavě modrá/černá			✓
Žlutá/bílá			✓

3.2 Poruchy získané

Získané poruchy můžeme dále dělit na trvalé a přechodné poruchy. Mezi trvalé poruchy patří poruchy, které mají příčinu ve změněné průhlednosti optických prostředí. Mezi tyto poruchy se řadí např. katarakta, afakie, hemoftalmus. Mezi další trvalé poruchy řadíme afekci sítnice, při níž vniká zhoršené vnímání modrožluté barvy, postižení zrakové dráhy, při níž vzniká porucha vnímání červenozelené barvy. Dále sem řadíme zelený zákal, centrální skotom, různé otravy, při těchto poruchách nastává změna rozsahu zorného pole. Mezi přechodné poruchy patří xantopsie, která vzniká při žloutence, erytropsie, která vzniká například při afakii nebo po otravách nikotinem, chininem, sirouhlíkem a skopolaminem. Mezi vzácnější případy přechodných poruch řadíme chloropsie, kyanopsie a iantinopsie. Občas vznikne porucha barvocitu, např. po úrazu nebo po operaci, jejich trvalost a závažnost je velmi individuální. [4, 10]



Obrázek 6: Vidění bez katarakty, vidění s kataraktou [32]

4 Metody vyšetření barvocitu

Existuje mnoho testů, pomocí kterých se vyšetřuje barvocit. V praxi praktického lékaře se ale obvykle objeví jen jeden, maximálně dva tyto testy. Pacienti jsou poté pro přesné zjištění závažnosti poruchy barvocitu odkázáni na nějaká specializovaná pracoviště, kde mají více testů. Testy můžeme rozdělit do 4 skupin - rozlišovací, seřazovací, míchací a pojmenovávací testy. Testy se v dnešní době díky modernější technice mohou provádět i na LCD monitorech. [16, 21]

4.1 Rozlišovací testy

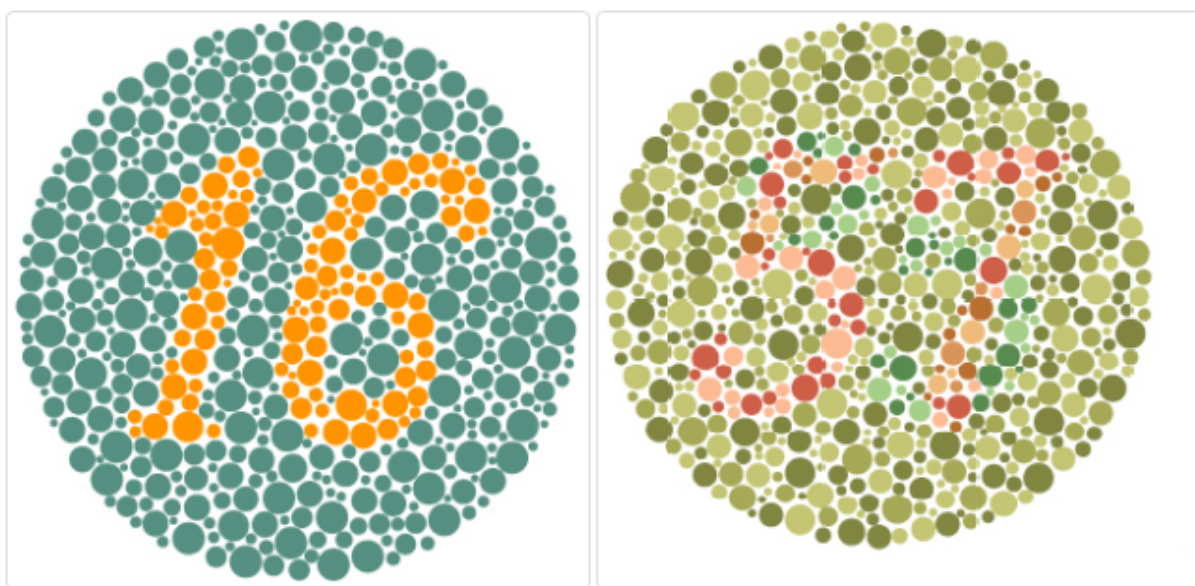
V kategorii rozlišovacích testů nalezneme pseudoizochromatické testy, tzv. PIC tests. Testy obsahují čísla, písmena nebo geometrické tvary. Jsou složeny z různě velikých, různě barevných bodů, s různým jasnem a jsou obklopena jinak barevnými body.

Do této kategorie patří Ishiharovy pseudochromatické tabulky. Dále pak American Optical HardyRand-Rittler Plates (AOHRR). Testy AOHRR byly poprvé publikovány v roce 1955 firmou Richmond Products a v současné době je na trhu již čtvrtá verze. Dalším testem je Standard Pseudochromatic Plates (SPP). Testy SPP jsou k dispozici ve dvou vydáních. První vydání je zaměřeno na vyšetřování poruch barvocitu v oblasti červená-zelená. Druhé vydání se specializuje na získané poruchy barvocitu. Nesmíme opomenout ani Color Vision Testing Made Easy (CVTME). Tyto testy, publikované Waggonerem, jsou určeny především pro vyšetřování barvocitu u dětí. Na testech se neobjevují ani písmena ani číslice, pouze symboly. [10, 18, 21, 22]

4.1.1 Pseudoizochromatické tabulky

Nejrozšířenější z těchto testů jsou Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky. Poprvé byl představen v roce 1917. Získal si celosvětový ohlas. Slouží k předběžnému vyšetření barvocitu. Při testu musí být vyšetřovaný odpočatý a nesmí pohybovat hlavou. Test je ideální provádět při denním světle, držíme ho kolmo, ve vzdálenosti jednoho metru od očí vyšetřovaného. Na rozpoznání jednoho obrázku by mělo stačit maximálně 15 vteřin. Plná verze tohoto testu má 38 obrázků, zkrácená verze má 24 obrázků a stručná verze má 14 obrázků. [16] Obrázky, které test obsahuje, můžeme rozdělit do čtyř skupin. První skupinou jsou mizející tabulky (vanishing design), které může vidět jen člověk s neporušeným barevným viděním, člověk s porušeným barvocitem znak nerozpozná. Druhou skupinou jsou transformační tabulky, tyto tabulky tvoří dva znaky. První znak vidí pouze člověk

s normálním barvocitem, druhý znak vidí člověk s poruchou barvocitu. Třetí skupinou tvoří tabulky se skrytým znakem, tento znak vidí pouze osoba, která trpí poruchou barvocitu. Ve čtvrté skupině jsou tabulky pro kvalitativní diagnostiku, které slouží pro odlišení lidí s poruchou pro vnímání červené barvy od lidí s poruchou pro vnímání zelené barvy. Pro zkrácení testu se doporučuje použít pouze 8 obrázků. První a poslední obrázek, čtyři z proměnných obrázků, konkrétně čísla 2, 3, 5 a 9 a dva mizející obrázky 12 a 16. Bohužel pomocí pseudoizochromatické tabulky nezjistíme stupeň závažnosti poruchy barvocitu. [4, 5, 10, 16, 18, 21, 22]



Obrázek 7: Ukázka dvou obrázků pseudoizochromatických tabulek [33]

4.2 Seřazovací testy

Mezi seřazovací testy patří Farnsworth-Munsell 100 hue-test (FM100), Farnsworth-Munsell Dichotomous D-15 nebo Panel D-15 test (D-15), Lanthonyho Desaturated D-15 test, Adams Desaturated D-15 test a Lanthony New Colour test.

Test FM100 byl vyvinut v roce 1940 na základě Munsellova systému barev (Munsell hue, chroma, value). Munsellův systém barev je příkladem barevného pořadí založeného na základě stejných percepčních úrovní. Barvy testu FM100 se proto shodují v jasnosti (value) a sytosti (chroma) a odlišují se v odstínu (hue). V Munsellově systému barev rozlišujeme pět odstínů – červený (R), žlutý (Y), zelený (G), modrý (B) a fialový (P), které spolu vytvářejí ještě další typy – RY, YG, GB, PB a RP. Každý odstín se dělí na 10 pododstínů (1 RP až 10 RP), takže Munsellův systém obsahuje celkem 100 odstínů barev. Farnsworthův test ale obsahuje pouze 85 odstínů, protože Farnsworth zjistil, že vyšetřovaný by mohl mít potíže s tím rozlišit

některé odstíny barev. Tyto odstíny jsou rozděleny do čtyř boxů. První box obsahuje terče 85–21, druhý 22–42, třetí 43–63 a poslední 64–84. První a poslední terč v každém boxu je pevný a ostatní jsou pohyblivé. Vyšetřovaná osoba má za úkol seřadit pohyblivé terče dle jejich odstínu mezi pevnými terči. Na základě pořadových vztahů mezi jednotlivými terči u testu určujeme tzv. celkové chybové skóre (TES). Hodnota TES je závislá na věku. Do dvaceti let klesá a poté pozvolna narůstá. Tento test je vhodný zejména pro testování získaných poruch barvocitu a také pro zjišťování kvality barvocitu u jedinců s normálním barvocitem, kteří pracují v textilním nebo módním průmyslu. Nevýhodou tohoto testu je horší rozlišení mezi normálním barvocitem a anomální trichromázií. [18, 21]



Obrázek 8: Farnsworth-Munsell 100 hue-test [34]

4.3 Míchací testy

Další kategorií jsou tzv. míchací testy, je to velká kategorií testů. Řadíme sem anomaloskop, OSCAR (Medmont C-100), The City University Test (CUT) a Inter Society Color Council Colour Matching Aptitude Test (CAT). Tyto testy jsou založeny na principu Rayleighova vztahu, spojením červené a zelené barvy musí vzniknout žlutá barva (červená (670 nm) + zelená (535 nm) = žlutá (589nm)). Testy jsou standardem pro rozlišení poruch pro červenou a zelenou barvu.

První anomaloskop, který byl komerčně vyráběný, se nazýval The Schmidt and Haensch Nagel Anomaloscope Mark. Tento přístroj je považovaný za standard pro diagnostiku poruch pro červenou a zelenou barvu. Na trhu jsou i dostupnější varianty anomaloskopu. Jednou z těchto variant anomaloskopu je Neitz OT anomaloskop, který používá filtry místo disperzních prizmat. Další variantou je Oculus Heidelberg MK 2, který

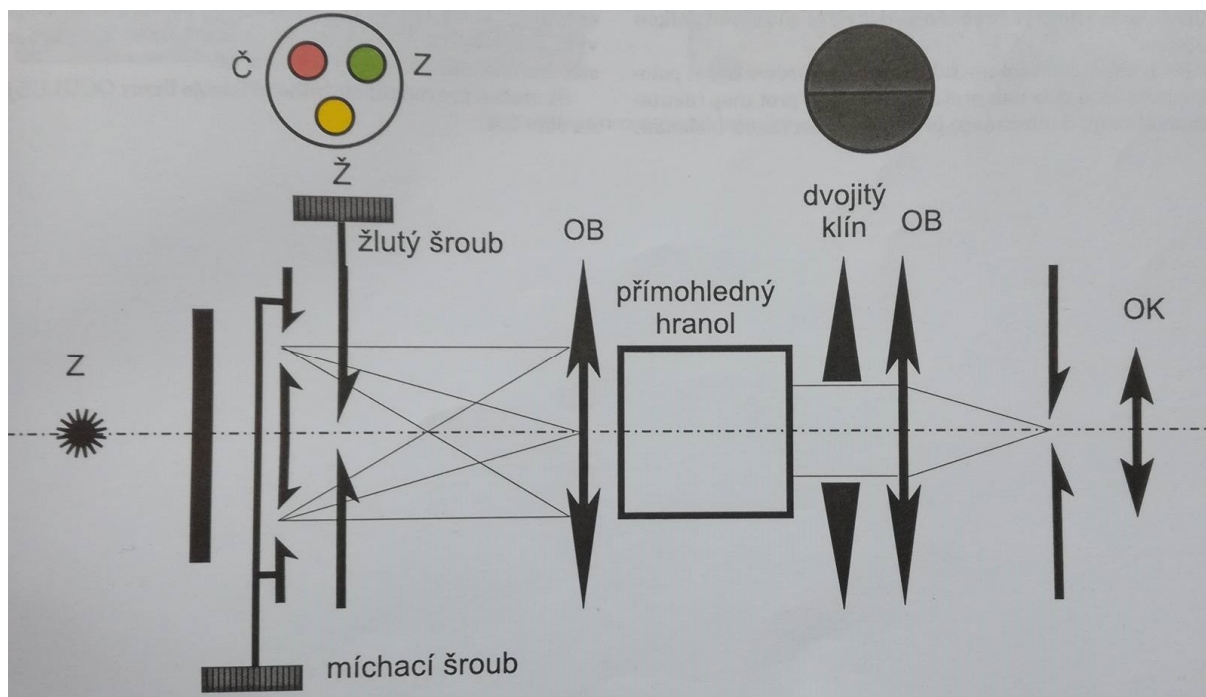
využívá LED diody. Kromě Rayleighova vztahu, který slouží pro plnou klasifikaci vrozených poruch barvocitu, ale také pro rozlišení mezi anomální trichromázií a normálním barvocitem, mezi anomální trichromázií a dichromázií, a identifikuje extrémní anomální trichromáty, obsahuje ještě Morelandův vztah, tj. modrá (436 nm) + zelená (490 nm) = modrozelená (480 + 580 nm), který slouží pro odlišení poruch pro modrou barvu. Oba tyto přístroje využívají škálu od 0 do 73, přičemž za správnou hodnotu u normálního barvocitu je považována hodnota 42. Díky Rayleighově vztahu u anomaloskopu můžeme plně klasifikovat vrozené poruchy barvocitu. Poznáme rozdíly mezi anomální trichromázií a normálním barvocitem, mezi anomální trichromázií a dichromázií a identifikuje extrémní anomální trichromáty.

Princip vyšetření u anomaloskopu spočívá v míchání dvou světél, která mají jednu vlnovou délku, a porovnání smíšené barvy s třetí určenou spektrální barvou. V okuláru anomaloskopu je možno nastavit v horním kontrolním poli přístroje poměr mezi spektrální zelenou barvou s vlnovou délkou 546 nm a spektrální červenou s vlnovou délkou 671nm pomocí otočných šroubů. Dolní polovina kontrolního okénka má předvolený jas a svítí žlutou barvou, odpovídající vlnové délce 589 nm. Pokud je vyšetřován protanomal, resp. protanop (deuteranomal, resp. deuteranop) pak v horní polovině testovaného pole předávákuje červenou (zelenou) složku a jeho anomálie je tak odhalena.

Používá se termínu anomálního kvocientu (AQ), pro nějž platí rovnice

$$AQ = \frac{N(73-P)}{P(73-N)} \quad [1]$$

kde P představuje díl červené barvy, zatímco (73-P) je díl zelené barvy, které vyšetřovaná osoba nastavila. Výraz (73-N) a N odpovídá středním normálovým hodnotám. U člověka s normálním barvocitem vychází tedy anomální kvocient roven jedné, zatímco deuteranomal (protanomal) vykazuje anomální kvocient větší (menší) než jedna. Hodnoty mezi 0,7 a 1,4 lze považovat ještě za normální. Odpovídá to odchylce šesti dílků stupnice v obou směrech od střední normální hodnoty na čísle 40. [4, 18, 22]



Obrázek 9: Zjednodušené optické schéma Nagelova anomaloskopu [22]

Test OSCAR (Medmont C-100) je založen na principu dvou blikajících LED diod, přičemž červená dioda má vlnovou délku 650 nm a zelená dioda 560 nm. Úkolem vyšetřovaného nastavit frekvenci blikání jednotlivých barev tak, aby světlo blikalo žlutě a zároveň s nejmenší frekvencí. Jedinci s poruchou vnímání červené barvy musí proto nastavit větší frekvenci u červené barvy. Nevýhodou tohoto zařízení je nižší rozlišení deuteranomálie. [18, 22]

The City University Test (CUT) není pravý míchací test. Jedná se o úpravu D-15 testu, ze kterého se použije 5 barev. Jedna barva se položí do středu listu papíru. Na okraje papíru se položí jedna barva sousední k centrální barvě z D-15 testu a další tři barvy, které leží na liniích záměny D-15 testu, se rozloží ke zbývajícím třem hranám listu papíru. V současné době je na trhu již třetí vydání tohoto testu, které vyšlo v roce 1998. [16, 18, 22]

Inter-Society Color Council Colour Matching Aptitude Test (CAT) slouží k vyhodnocení nadprůměrného barvocitu. Vyšetřovaný má za úkol najít k danému barevnému terči takový, který se liší pouze v sytosti. K dispozici jsou červené, zelené, žluté a modré série terčů. Tento test se často používá jako alternativní k testu FM100. Tento test není komerčně dostupný, je však možné použít test Graham HSV, který je vystaven na stejném principu. [18, 22]

4.4 Pojmenovávací testy

Tyto testy slouží k testování především strojvůdců, námořníků, pilotů nebo řidičů, protože nejlépe simulují reálné životní situace. Do této kategorie testů patří Farnsworth Lantern (FaLant) Test, Holmes - Wright Lantern Test (H-W) a další.

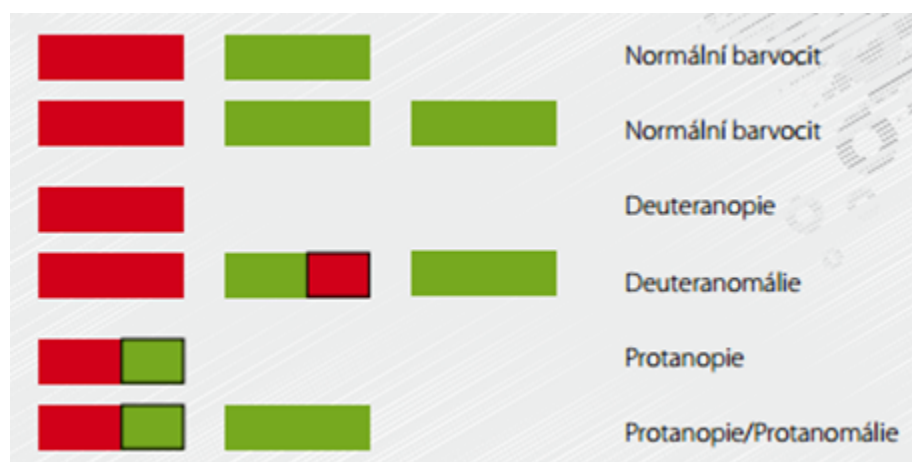
FaLant test byl vyvinut pro americké námořnictvo. V tomto testu se používá červená, zelená a bílá barva, protože tyto barvy se používají u námořnictva. FaLant test se používal ke konkrétnější klasifikaci barevného defektu, který lze zjistit u méně náročného D-15 testu. FaLant test není v současné době komerčně dostupný, je možné místo něj použít zařízení Stereo Optical OPTEC 900.

Holmes - Wright Lantern Test (H-W) se v současné době již nepoužívá. Dříve se používal pro zjišťování poruch u námořníků a letců. Test obsahoval červenou, zelenou a bílou barvu, kterou vyšetřovaný musel umět rozpoznat a pojmenovat. [18]

5 Možnosti kompenzace deficitu barevného vidění

5.1 Korekce vad barvocitu pomocí barevných filtrů

Barevné filtry lze bohužel použít jen u dvou variant vrozených poruch barvocitu. U deuteranomálie, protože posun absorpčního maxima M-opsinu se posouvá k delším vlnovým délkám. Druhou poruchou, kterou lze řešit pomocí barevných filtrů je protanomálie, kdy se absorpční maximum L-opsinu posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám. [23]



Obrázek 10: Genetické příčiny deuteranomálie a protanomálie [23]

Jeden ze základních principů barevných filtrů je posun spektrální citlivosti anomálního opsinu na jeho normální pozici. Druhým principem je ovlivnění velkých gangliových buněk zrakového nervu. [23]

5.2 Posun absorpčních křivek

Spektrální složení světla absorbovaného opsiny v sítnici se při průchodu přes rohovku, čočku a makulu změní. Absorpci opsinů lze ovlivnit filtry. Tato vlastnost opsinů je důležitá při teoretickém zdůvodnění účinnosti barevných filtrů při korekci vad barvocitu. Důležitým předpokladem je, že filtry jsou schopny posunout absorpční maxima u tří opsinů. Tento posun však nezmění polohu jejich absorpčních maxim, ale změní výšku absorpce v závislosti na propustnosti filtrů. Překrytí absorpčních křivek se nebude výrazně lišit od původních. Korekce vad barvocitu pomocí filtrů je podmíněna tím, že při posunu absorpčního maxima anomálního opsinu nesmí být ovlivněna změna spektra normálního opsinu. Tato podmínka je ale téměř nereálná, protože změna spektra bude působit i na normální opsiny. Při poruše

barvocitu mají normální i anomální M a L opsiny dost podobné absorpční vlastnosti, takže při zpracovávání barevných vjemů budou změněny stejným způsobem bez ohledu na to, zda se jedná o opsiny normální či anomální. Proces adaptace nám může vysvětlit fakt, že by se příspěvek normálního receptoru k vnímání barev vzdor barevným filtrům neměl pozměnit. Procesy adaptace však nefungují pouze na normální typy čípků, ale těmito adaptačním procesům podléhají i anomální čípkové. Barevná adaptace vzniká díky vizuálního systému, při kterém je vnímání jedné barvy nezávislé na počtu absorbovaných světelných kvant neboli fotonů. Barevné filtry tedy působí na všechny typy čípků přibližně stejným způsobem, rozdíly mezi absorpčními vlastnostmi různých čípků se výrazně nemění. [23]

5.3 Korekce barevnými filtry

Pokud použijeme binokulárně barevné filtry, ovlivníme tím obě oči stejným způsobem a mozek získá také stejné stimuly. Barevné filtry můžeme použít i monokulárně tím, že před každé oko předsadíme jiný filtr a do mozku putují výrazně odlišné stimuly. Před nedominantní oko předložíme korekci ve formě kontaktní čočky nebo brýlové čočky s optimální barvou. U takto „léčených“ pacientů se zlepšilo jak barevné vidění, tak i prostorové vnímání. Lze to vysvětlit pomocí Pulfrichova fenoménu. U oka s barevným filtrem se vytváří tmavší sítnicový obraz, který se zpracovává pomaleji než obraz z druhého oka. Barvy nejsou binokulárním fenoménem, ale jsou vypočteny z rozdílu výstupu signálů čípků jedné sítnice, ne rozdílu obou očí. [23]

5.4 Nevýhody barevných filtrů

Spektrum světla, které se dostane na sítnici, je pomocí barevných filtrů pozměněno. Tím je vyvolaná uměle získaná porucha barvocitu, která se s původní vrozenou poruchou překryje. Červený filtr absorbuje téměř všechny barvy spektra kromě červené. Zpracování krátkovlnného podílu viditelného světla, které je i u osob s narušeným barvocitem bez omezení možné, je díky filtru zhoršené. Dopravní signalizace používá takové barvy, aby je vnímaly také osoby s poruchami barvocitu. Není nutné, aby rozeznali barvy dopravní signalizace správným způsobem. Pokud už musí být barevná skla použita, nesmí se stát, že vnímání signálních barev, případně informací, bude znemožněno. Pro taková skla platí přísné standardy, které se musí dodržet. [23]

6 Profesní požadavky na kvalitu barvocitu

6.1 Poruchy barvocitu a jeho význam v zaměstnání

V dnešní době se lidé s poruchou barvocitu každodenně setkávají s problémy. Barva je dnes mnohem častěji používaná v tištěných materiálech, na displejích počítačů a mobilních telefonů, u obrazovek televizí. Lidé s poruchou barvocitu mohou mít problém i při nákupu, při zjišťování zralosti ovoce, kvality masa. Barva ovlivňuje i naši náladu, upozorňuje na různá nebezpečí atd. [14, 24]

Podle zákona č. 262/2006 nemohou být lidé s poruchou barvocitu nebo s absolutní barvoslepostí diskriminováni. Zaměstnavatel musí vždy prokázat, že žadatel by tuto práci nemohl vykonávat z důvodu snížení barvocitu. V některých zaměstnáních je potřeba absolutní barvocit a také neporušená zraková ostrost. Platí to především v dopravě, kde má řidič zodpovědnost i za pasažéry.

Existují zaměstnání, kde je diskutabilní, jak moc porucha barvocitu ovlivňuje jejich práci. Např. u lékaře, který by měl diagnostikovat příznaky, jako je zarudnutí, bledost, cyanóza, žloutenka atd. Dále lidé, kteří pracují v chemickém průmyslu, mechanici, umělci, designěři. [14, 24]

6.2 Speciální požadavky na barvocit v silniční dopravě

Posuzování zdravotní způsobilosti k řízení motorových vozidel upravuje vyhláška č.277/2004 Sb., která stanovuje nutnou lékařskou prohlídku, na jejímž základě je žadateli o řidičský průkaz vyhověno. Žadateli, který trpí závažnou poruchou barvocitu v oblasti základních barev a není schopen bezpečného provozu na silnicích, nebude povoleno vydání řidičského průkazu. [26]

Barvocit se testuje v rozmezí 380 - 760 nm pomocí jednoduchých pomůcek pseudoizochromatických tabulek (Stilling, Rjabkin), Worthových světel nebo pomocí Holmgrenových bavlněk. Dále můžeme použít anomaloskop. Také se používá Farnsworth-Munsellův 100-hue-test, jeho alternativou je Lanthonyho 40-hue-test, který funguje na stejném principu, jen má 40 terčů. [10, 25]

6.3 Speciální požadavky na barvocit v železniční dopravě

Podle vyhlášky Ministerstva Dopravy č. 101/1995 Sb. je nutná zkouška barvocitu (provádí se pomocí pseudoizochromatických tabulek) u uchazečů o vydání licence strojvedoucího a strojvedoucího řídicí drážní vozidlo na dráze celostátní a regionální, u žadatele o vydání průkazu způsobilosti k řízení drážního vozidla, stejně tak jako u fyzických osob provádějících ostatní činnosti při provozování dráhy a drážní dopravy a uchazečů o výkon těchto činností. Jakákoliv porucha barvocitu je překážkou v plnění této profese. [26, 27]

6.4 Speciální požadavky na barvocit v říční dopravě

Pracovníci říční plavby musí splnit požadavky, které jsou stanovené ve směrnici ministerstva zdravotnictví, č. 17/1970, ze dne 16. prosince 1967, aby prokázali, že jsou zdravotně způsobilí k výkonu své práce na plavidlech vnitrozemské říční plavby. Znění směrnice zní: „Při vstupní prohlídce: bezpečné rozeznávání zelené, červené, žluté a modré barvy při vyšetření umělým světelným zdrojem s barevnými filtry, pokud nebyl zjištěn normální barvocit podle Stillingových tabulek. Zjištění barvocitu není nutné u pracovníků strojní a pomocné skupiny. Při periodické prohlídce: jako při vstupní prohlídce.“ Pracovníci říční dopravy podstupují prohlídky každé dva roky, pokud jim je od 21 let do 50 let, pokud jsou mimo toto věkové rozpětí, musí prohlídky podstupovat každoročně. [28]

6.5 Speciální požadavky na barvocit v letecké dopravě

Zdravotní způsobilost žadatelů a držitelů se v letecké dopravě dělí na tři třídy. Žadatel a držitel průkazu způsobilosti 1. třídy (obchodní nebo dopravní pilot letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku, pilot ve vícečlenné posádce letounu).

Žadatel a držitel průkazu způsobilosti 2. třídy (letecký navigátor, palubní inženýr, pilot kluzáků, palubní průvodčí, pilot volných balonů, soukromý pilot letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku). A žadatel a držitel průkazu způsobilosti 3. třídy (řídicí letového provozu). Všechny tyto skupiny musí prokázat schopnost snadno rozeznávat barvy, které jsou pro výkon této profese nezbytné. [29]

„Žadatel musí prokázat schopnost správně identifikovat sérii pseudoizochromatických destiček za denního světla, nebo za umělého světla stejné barevné teploty, jako je světlo

„dodávané standardním světelným zdrojem C nebo D65, jak je specifikován Mezinárodní komisí pro osvětlení (CIE).“ [29]

„Žadatel, který dosáhl uspokojivého výsledku, jak je předepsán orgánem vydávajícím průkazy způsobilosti, musí být uznán za způsobilého. Žadatel, který neprokázal při takovém vyšetření uspokojivý výsledek, může být přesto uznán způsobilým, pokud je schopen snadno rozlišovat barvy používané v leteckém provozu a správně identifikovat letecká barevná návěstidla. Žadatelé, kteří nesplňují tato kritéria, musí být uznáni za nezpůsobilé, s výjimkou uznání zdravotní způsobilosti 2. třídy s tímto omezením: Platné pouze pro denní dobu.“ [29]

7 Vlastní výzkum

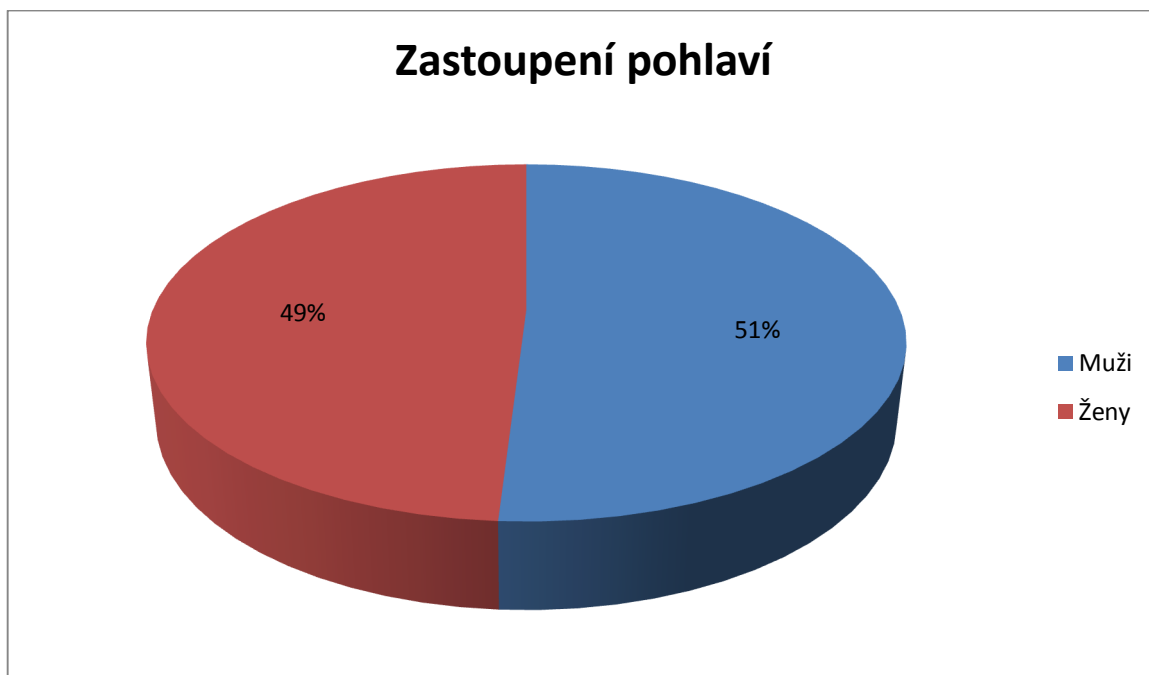
7.1 Vymezení cíle a výběr metody

V praktické části bakalářské práce jsem se rozhodla porovnat dva testy pro detekci poruch barvocitu. Prokázat procentuální zastoupení poruch barvocitu mezi studenty a zaměstnanci na půdě Fakulty biomedicínského inženýrství v Kladně, ČVUT v Praze. Zjistit poruchy barvocitu u mužů a poruchy barvocitu u žen. Výsledky testování jsem porovnávala se stávajícími výzkumy.

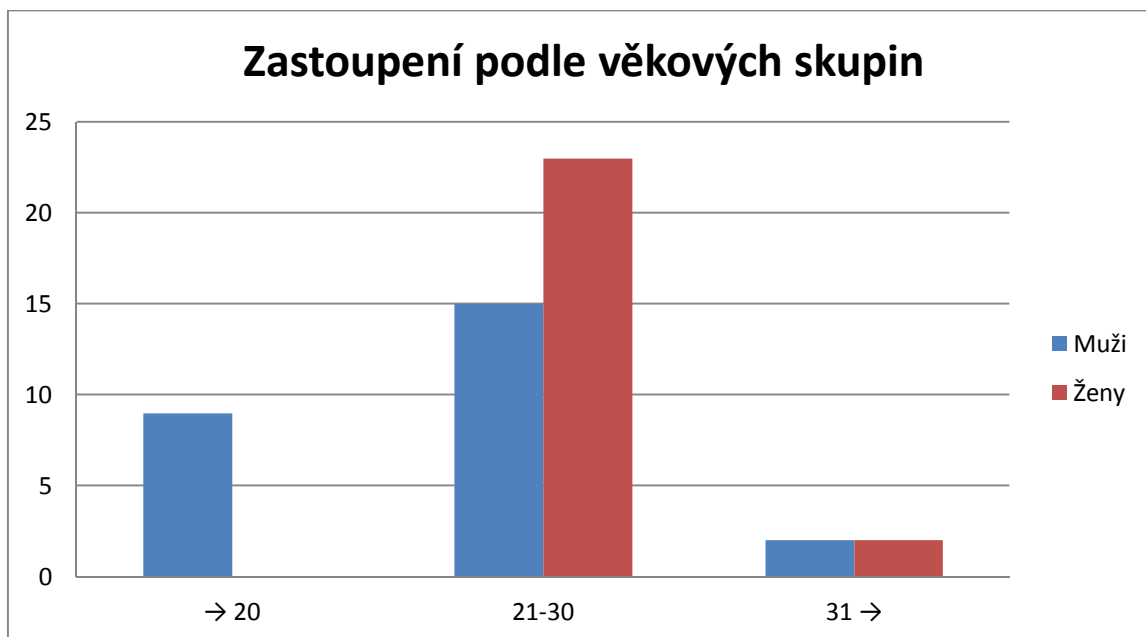
Probandy jsem testovala pomocí dvou testů za stejných podmínek. Prvním testem jsou Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky a druhým testem je online verze zkráceného hue-testu.

7.2 Výzkumný vzorek

Tohoto testování se celkem zúčastnilo 51 lidí z toho 25 žen a 26 mužů. Ve věkovém rozpětí od 17 do 67 let z toho 9 lidí ve věku do 20 let, 38 lidí ve věkovém rozpětí 21-30 let a 4 lidí ve věku od 31 let výše. Z celkového počtu 51 lidí je 41 lidí řidičů a 10 lidí je bez řidičského oprávnění.



Graf 1: Procentuální zastoupení probandů podle pohlaví



Graf 2: Četnost probandů v jednotlivých věkových skupinách

Tabulka 4: Četnost a průměrný věk probandů

Celkový počet probandů	51	Průměrný věk všech probandů	24,5
Počet žen	25	Průměrný věk žen	24,7
Počet mužů	26	Průměrný věk mužů	24,3

7.3 Průběh výzkumu

Testování probíhalo na území fakulty biomedicínského inženýrství v Kladně, v čase od 9.00 do 15. 00 hodin. Tento čas byl zvolen z důvodu vyhnutí se únavě probandů a také kvůli dennímu osvětlení. Se všemi účastníky jsem vyplnila dotazník. Ptala jsem se jich na jméno a kontakt, tyto informace v dotazníku nepoužiji, zjišťovala jsem je pro případnou zpětnou vazbu. Zaznamenala jsem jejich pohlaví, tento údaj jsem použila v další části výzkumu, kdy jsem výsledky rozdělila na dvě části - muži a ženy a porovnávala jsem je mezi sebou a s výzkumy. Další otázka se týkala ročníku narození. Také jsem zjišťovala jejich anamnézu. Její součástí bylo i zjištění jejich aktuální korekce, se kterou byly testy prováděny. Nebylo cílem zjistit maximální korekci, ale aktuální korekci, kterou nosí každý den a kterou používají v běžném životě. V anamnéze jsem se ptala i na onemocnění, která mohou způsobit sníženou citlivost pro barevné vidění nebo poruchy barvocitu. Po anamnéze následovalo několik otázek na zjištění zhoršeného vidění za určitých podmínek a na to, zda má účastník

deficit barevného vidění a problém s rozeznáním základních barev. Všech probandů jsem se ptala, zda už někdy absolvovali test na poruchu barvocitu. Pokud byla jejich odpověď záporná, tak jsem jim položila podotázku, zda neabsolvovali tento test u praktického lékaře při žádosti o řidičské oprávnění.

Po zodpovězení všech otázek jsme pokračovali k testům. Nejdříve jsem jim vysvětlila, jak bude testování probíhat a jaký je princip testů. Řekla jsem jim, co po nich budu chtít a že jde hlavně o správnost a ne o rychlost, i když součástí testování bylo i měření času.

Prvním testem byly Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky. Tabulky jsme umístili do požadované vzdálenosti (70 cm). Po otevření tabulek jsem začala měřit čas. Na rozpoznání každého obrázku bylo maximálně 15 vteřin (tento čas je stanoven v metodice Ishiharových pseudoizochromatických tabulek).

Druhým testem byl zkrácený hue-test, který byl prováděn v online verzi na počítači s maximálním jasnem obrazovky (hodnoty jasů obrazovky jsou na konci kapitoly 7.4).

7.4 Metodika

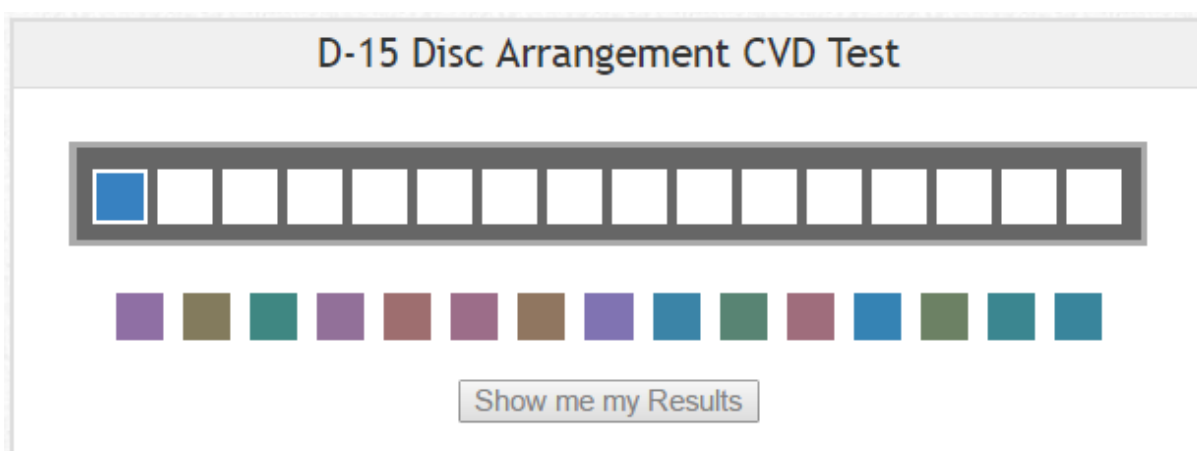
Prvním testem byly Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky. Vyšetřování pomocí pseudoizochromatických tabulek dle Ishiary by mělo podle jejich metodiky probíhat při denním osvětlení. Byl používán Ishiara test, který se skládá ze 14 obrázků. Vyšetřovaný bez poruchy barvocitu uvidí na jedenácti obrázcích čísla, na dvou obrázcích barevné cesty a na jednom obrázku nebyl žádný rozpoznatelný obrázek. Na rozpoznání každého obrázku měl vyšetřovaný maximálně 15 vteřin. Tabulky jsme umístili do 70 cm od vyšetřovaného. Při testu by vyšetřovaný neměl vykazovat známky únavy a nesmí pohybovat hlavou. U této metody zjistíme pouze vady v červené a zelené oblasti, tedy protanomálii, protanopii, deuteranomálii a deuteranopii. [4, 5, 10, 16, 18, 21, 22]

Tabulka 5: Vyhodnocení výsledků Ishiharova testu (převzato a upraveno) - Ishiharovy tabulky [35]

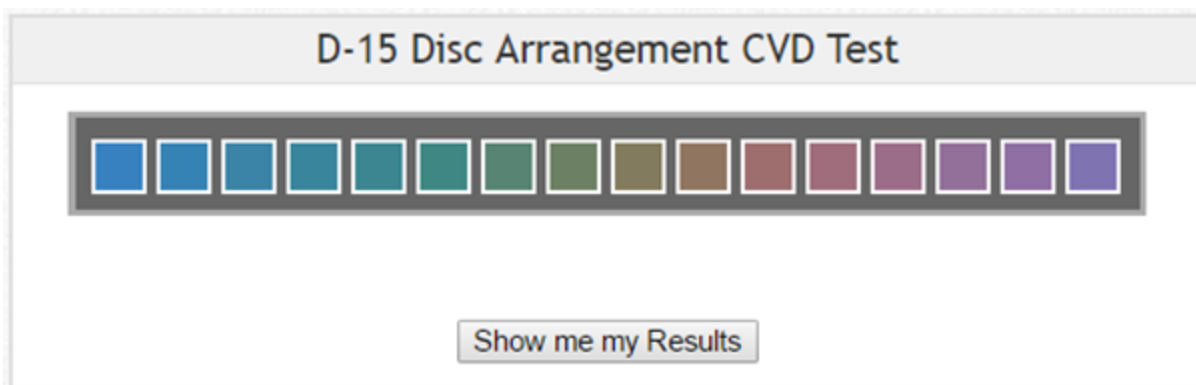
Číslo obrázku	Osoba s normálním barvocitem	Osoba s poruchou vnímání červeno-zelené barvy				Osoba s absolutní barvoslepostí
		protanopie		deutaranopie		
		silný	slabý	silný	slabý	
1	12	12				12
2	8	3				x
3	5	2				x
4	29	70				x
5	74	21				x
6	7	x				x
7	45	x				x
8	2	x				x
9	x	2				x
10	16	x				x
11	jedna cesta - zelená	x				x
		protanopie		deutaranopie		
		silný	slabý	silný	slabý	
12	35	5	(3) 5	3	3 (5)	
13	96	6	(9) 6	9	9 (6)	
14	dvě cesty - horní růžová, spodní fialová	fialová	fialová (červená)	červená	červená (fialová)	x

Druhým testem byl zkrácený hue-test v online verzi. D-15 test se skládá z 16 barevných čtverců a proband má za úkol tyto čtverce seřadit. První čtverec je napevno ukotven (zůstává na místě) a určuje výchozí odstín barvy. Od této barvy se vyšetřovaný orientuje a snaží se vytvořit barevnou škálu. Během testu se mohou čtverce měnit.

Test dělí vyšetřované osoby na dvě skupiny. Do jedné skupiny patří lidé s neporušeným barvocitem a barvocitem mírně porušeným (žádné nebo malé chybové skóre), do druhé skupiny patří osoby s barvocitem porušeným (velké chybové skóre). [36]

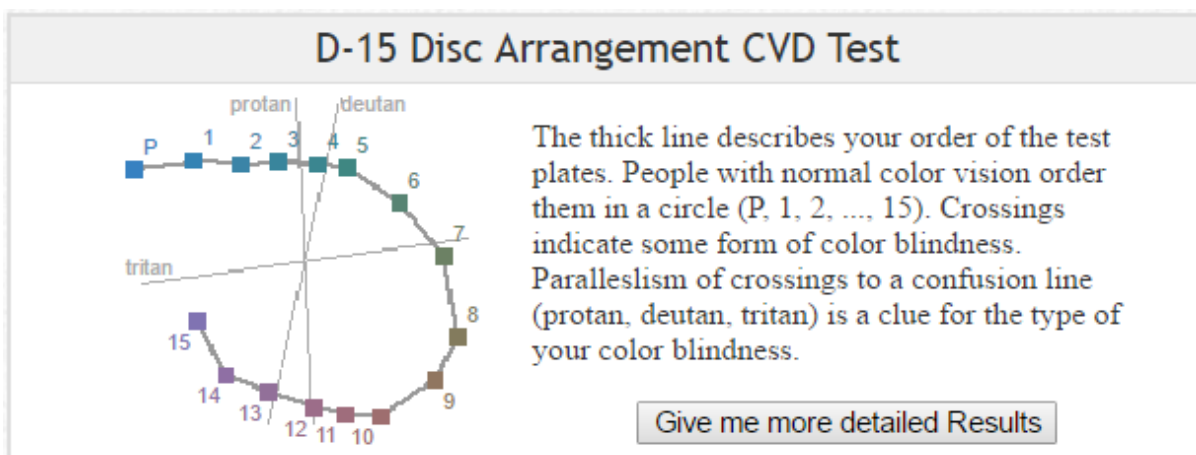


Obrázek 11: Nevyplněný hue-test [5]



Obrázek 12: Vyplněný hue-test [5]

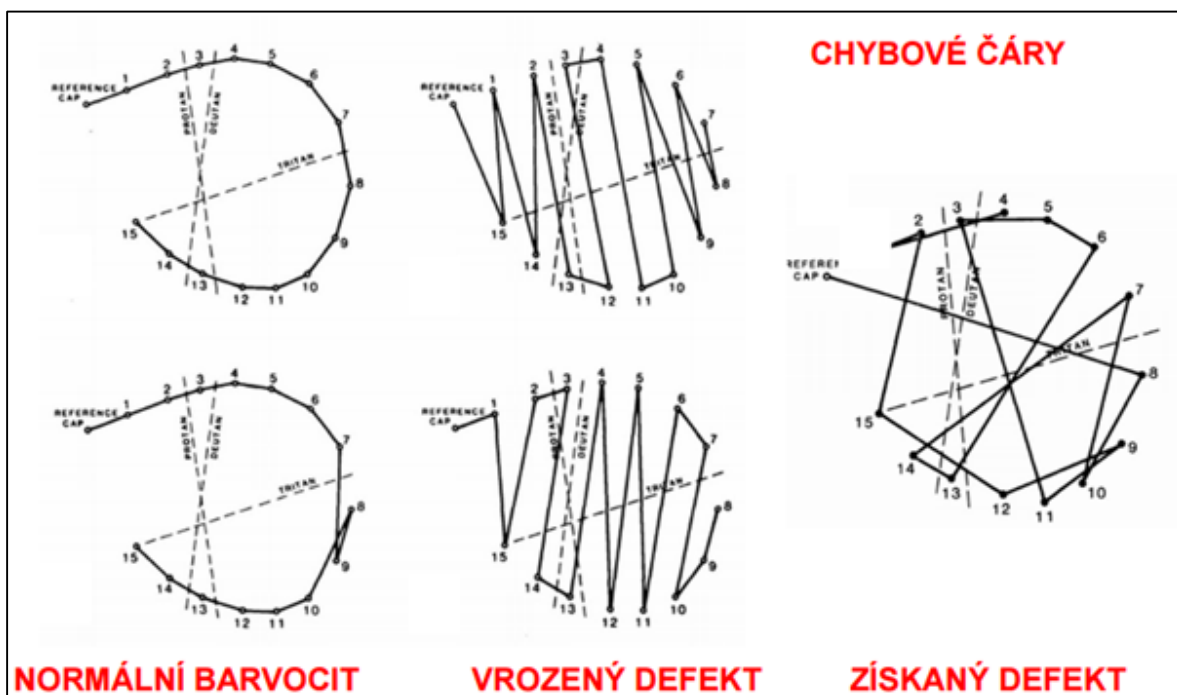
Po zaplnění všech čtverců klikneme na tlačítko „ukaz mi mé výsledky“ (show me my results). Výsledky našeho testu byly zaznamenány do předem daného schématu.



Obrázek 13: Vyhodnocení hue-testu [5]

Při vyhodnocování můžeme také určit, zda se jedná o poruchu vrozenou či získanou (obr. č. 13).

Pokud má proband neporušený barvocit, tak budou čísla propojena od 1-15. Pokud se jedná o vrozený defekt, tak čísla nebudou spojena od 1-15, ale mezi propojenými čísly bude určitý systém a čáry se nebudou překrývat. A pokud se jedná o získaný defekt, tak čísla budou spojena nahodile, mezi spojení jednotlivých čísel není žádný systém jako u vrozeného defektu, ale nepřehledně, čáry se budou různě křížit. [36]



Obrázek 14: Vyhodnocení Lanthonyho D-15 testu [37]

Pomocí tohoto testu zjistíme 6 hodnot - úhel anomálie (angle), maximální moment ochabnutí barvocitu (major radius), minimální moment ochabnutí barvocitu (minor radius), C-index (confusion index) neboli index záměny, S-index (selectivity index) neboli index výběru, poslední číselnou hodnotou je celkové chybové skóre (total error score neboli TES).

D-15 Disc Arrangement CVD Test					
ANGLE	MAJOR	MINOR	TES	S-INDEX	C-INDEX
61.9	9.2	6.7	11.4	1.38	1.00

Find an explanation of the resultset and sample values to compare in the description below.

According to this test result you are **not colorblind**.

severity

slightly moderate strong

Obrázek 15: Číselné výsledky hue-testu [5]

Index záměny určuje poruchu barvocitu, do hodnoty 1, barvocit není porušen, od 1 do 1,6 jsou hraniční hodnoty, pokud bude index záměny vyšší, než 1,6 jedná se o porušený barvocit. Index výběru je ukazatelem polarizace defektu. Do hodnoty 2,00 mluvíme o náhodném rozložení terčů. Čím vyšších hodnot nabírá index výběru, tím větší je polarizace

defektu. Celkové chybové skóre (Total error score), získáme tak, že naměřená data major radius umocníme na druhou a sečteme s hodnotami minor radius umocněné na druhou, tento výsledek následně odmocníme. Hodnoty pro vyhodnocení jsou představeny v tabulce 4. [36, 38]

Tabulka 6: Vyhodnocení poruch barvocitu dle Vingryse a Kinga (převzato a upraveno) [5]

	Úhel anomálie	Maximální moment ochabnutí barvocitu	Minimální moment ochabnutí barvocitu	Celkové chybné skóre	Index výběru	Index záměny
Normální barvocit	+62.0	9.2	6.7	11.4	1.38	1.00
Protanopie	+8.8	38.8	6.6	39.4	6.16	4.20
Protanomálie	+28.3	18.0	8.2	20.4	1.97	1.95
Deuteranopie	-7.4	37.9	6.3	38.4	6.19	4.10
Deuteranomálie	-5.8	25.4	9.6	27.5	2.99	2.75
Tritanomálie	-82.8	24.0	6.4	24.9	3.94	2.60

Mezi další parametry patří jas počítače a osvětlení prostředí, ve kterém měření probíhalo.

Jas obrazovky změřil Mgr. Jakub Hlaváček pomocí přístroje Spyder v Medicemu v Kamenných Žehrovicích. Počítač byl před měřením jasu zapnutý a měření probíhalo s maximálním jasnem obrazovky stejně jako vyšetření. Měření probíhalo třikrát, kdy při prvním měření vyšla hodnota 147 cd/m², při druhém měření vyšla hodnota 145 cd/m² a při posledním měření vyšla hodnota 146 cd/m². Měření jsem sečetla, vydělila počtem měření a výsledkem je 146 cd/m².

Osvětlení prostředí jsem měřila pomocí luxmetru Extech Instruments LT40. Měření probíhalo ve vestibulu školy při denním osvětlení. Měření probíhalo čtyřikrát, viz příložená tabulka. Průměrná hodnota měření je 678,1 lux.

7.5 Předpoklady (hypotézy)

Hypotéza 1:

Vyšetřením pomocí Ishiharových pseudoizochromatických tabulek zjistím rozdílnou poruchu barvocitu u žen a mužů. U žen odhalím 0% poruch barvocitu a u mužů odhalím 8,75% poruch barvocitu. Tyto hodnoty jsem zvolila na základě výzkumu - Ishihara electronic color blindness test: An evaluation study. [39]

Hypotéza 2:

Vyšetřením pomocí online verze zkráceného hue-testu zjistím rozdílnou poruchu barvocitu u žen a mužů. U žen odhalím 0,5% poruch barvocitu a u mužů odhalím 8% poruch barvocitu. Toto procentuální zastoupení poruch barvocitu jsem zvolila na základě hodnot uváděných v literatuře.

7.6 Vyhodnocení

Tímto výzkumem jsem chtěla prokázat, že v populaci je více mužů s poruchou barvocitu než žen. Dále jsem chtěla prokázat, že poruchy barvocitu je možno zjistit i pomocí volně přístupného testu na internetu. Z důvodu přehlednosti naměřených hodnot uvádím výsledky v následujících tabulkách. Tyto tabulky jsou rozdělené na hodnoty naměřené zvlášť u žen a zvlášť u mužů. Výsledky jsou zaznamenány od všech pacientů, i když porucha barvocitu naměřena nebyla.

Tabulka 7: Věk, chyby a čas Ishihara testu, chyby a čas hue-testu u žen

Ženy	Věk	Insihara chyby	Čas Ishihary	Hue-test chyby	Čas hue-test
Ž1	23	3	31.54	Tritanomálie slabá	1:28.06
Ž2	24	0	47.85	0	3:49.42
Ž3	22	2	20.80	0	2:19.99
Ž4	24	0	28.69	0	1:25.05
Ž5	34	0	27.49	0	1:30.53
Ž6	23	0	20.01	0	56.85
Ž7	22	0	37.33	0	1:25.31
Ž8	22	0	34.85	0	48.21
Ž9	64	0	28.89	Deuteranomálie slabá	2:36.99
Ž10	21	0	43.65	0	1:02.44
Ž11	25	0	17.15	0	51.45
Ž12	21	0	25.92	0	59.23
Ž13	22	0	25.34	0	46.19
Ž14	22	0	27.34	0	1:02.09
Ž15	21	2	43.15	0	1:00.26
Ž16	24	0	23.32	0	1:03.76
Ž17	26	0	42.73	0	1:20.03
Ž18	21	0	1:02.87	0	1:48.93
Ž19	22	0	25.16	0	59.68
Ž20	23	0	35.93	0	2:01.28
Ž21	21	1	32.80	0	1:14.17
Ž22	22	0	29.09	0	48.88
Ž23	23	0	31.02	0	1:13.83
Ž24	23	0	38.41	0	1:05.12
Ž25	22	0	43.09	0	1:10.45

Při testování žen pomocí Ishiharových pseudoizochromatických tabulek jsem zjistila u čtyř žen jen drobné chyby, které neprokazují žádnou poruchu barvocitu.

Při testování žen pomocí online verze zkráceného hue-testu jsem zjistila dvě poruchy. První žena (Ž1) trpí tritanomálií, což je porucha vnímání modré barvy. Druhá žena (Ž9) trpí deuteranomálií, což je porucha vnímání zelené barvy.

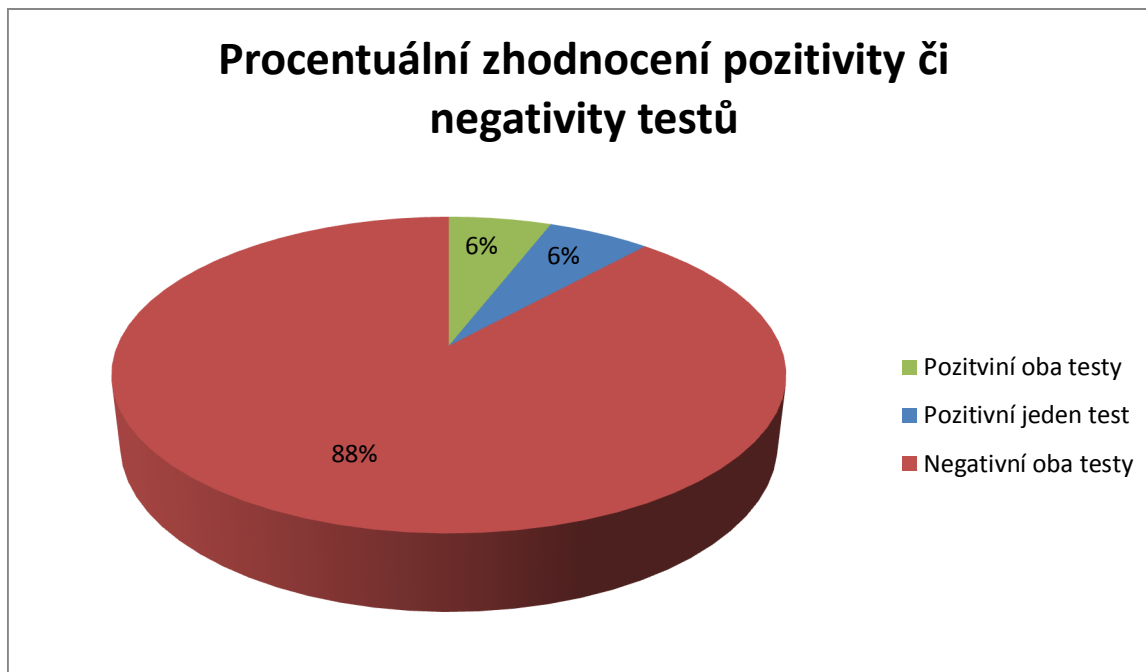
Tabulka 8: Věk, chyby a čas Ishihara testu, chyby a čas hue-testu u mužů

Muži	Věk	Ishihara chyby	Čas Ishihary	Hue-test chyby	Čas hue-test
M1	27	0	16.48	0	1:00.52
M2	21	0	21.69	0	45.09
M3	20	0	33.26	0	1:19.87
M4	67	1	43.31	0	2:22.13
M5	20	0	17.46	0	1:19.66
M6	23	0	35.45	0	2:14.87
M7	29	0	29.64	0	56.89
M8	25	0	36.22	0	1:20.24
M9	25	0	30.13	0	49.74
M10	20	0	31.12	0	1:29.99
M11	23	2	58.57	0	56.82
M12	42	0	45.04	0	2:26.69
M13	20	0	36.05	0	38.51
M14	20	0	25.74	0	1:24.98
M15	21	0	29.98	0	49.84
M16	21	1	1:20.60	Deuteranomálie slabá	1:49.45
M17	20	Protanopie silná	1:20.64	Deuteranopie střed	1:30.57
M18	18	0	30.05	0	43.13
M19	17	0	25.46	0	54.55
M20	23	Protanopie silná	2:15.32	Protanopie silná	3:59.05
M21	18	Protanopie silná	2:10.41	Protanopie silná	4:01.52
M22	23	0	35.01	0	1:01.56
M23	23	0	27.59	0	1:05.13
M24	21	0	30.11	0	1:11.09
M25	22	0	24.13	0	55.07
M26	23	0	26.18	0	58.05

Při testování mužů pomocí Ishiharových pseudoizochromatických tabulek jsem zjistila u třech mužů jen drobné chyby, které neprokazují žádnou poruchu barvocitu. U tří dalších mužů byla zjištěna silná protanopie, což je porucha vnímání červené barvy.

Při testování mužů pomocí online verze zkráceného hue-testu jsem zjistila poruchy u čtyř z nich. První muž (M16) trpí slabou deuteranomálií, což je porucha vnímání zelené

barvy. Druhý muž (M17) trpí středně silnou deuteranopií, což je porucha vnímání zelené barvy. Třetí muž (M20) a čtvrtý muž (M21) trpí silnou protanopií.



Graf 3: Procentuální zhodnocení pozitivity či negativity testů

Tabulka 9: Zjištěné poruchy barvocitu

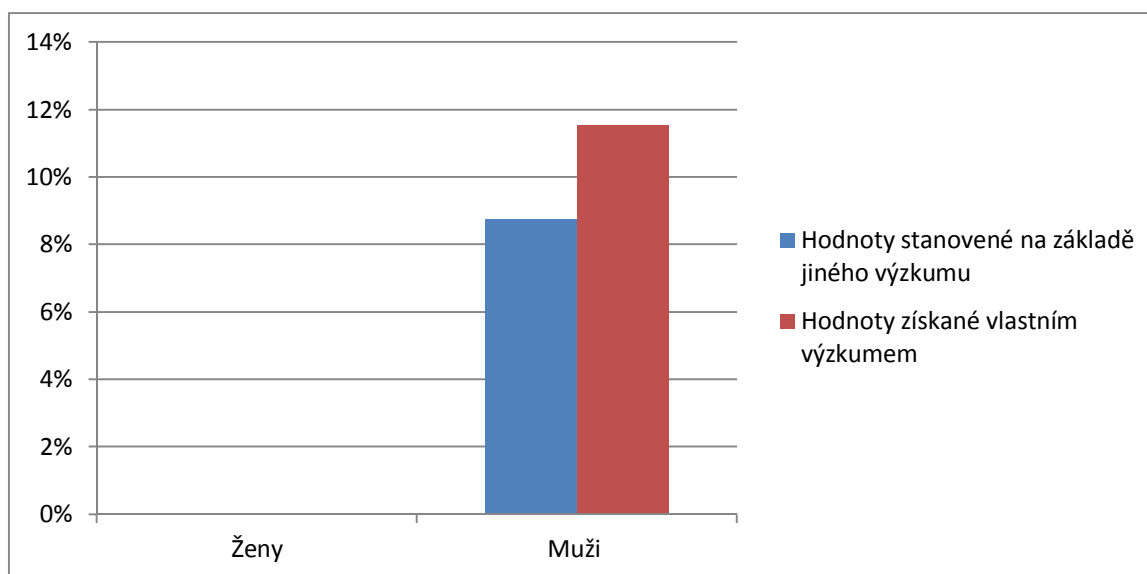
Žena/Muž	Ishihara test	Hue-test
Ž1	Bez nálezu	Tritanomálie slabá
Ž9	Bez nálezu	Deuteranomálie slabá
M16	Bez nálezu	Deuteranomálie slabá
M17	Protanopie silná	Deuteranopie střed
M20	Protanopie silná	Protanopie silná
M21	Protanopie silná	Protanopie silná

7.7 Analýza hypotéz

Hypotéza 1:

Vyšetřením pomocí Ishiharových pseudoizochromatických tabulek zjistím poruchu barvocitu. U žen odhalím 0% poruch barvocitu a u mužů odhalím 8,75% poruch barvocitu. Tyto hodnoty jsem zvolila na základě výzkumu - Ishihara electronic color blindness test: An evaluation study.

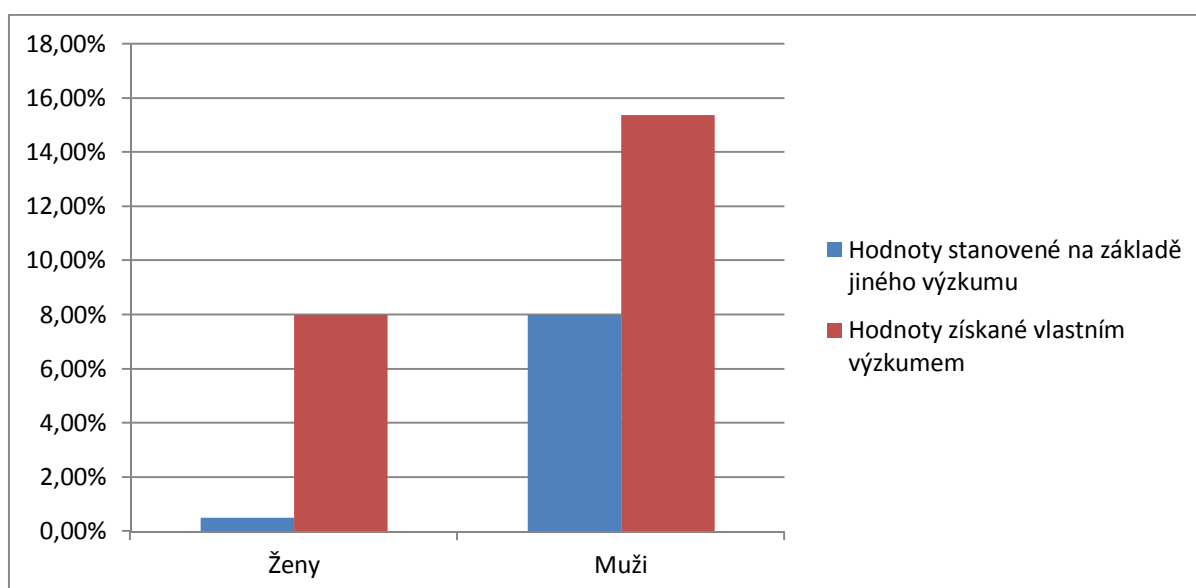
Výsledky první hypotézy jsou takové, že z celkového počtu 25 žen nebyla ani jedna s poruchou barvocitu. V tomto případě lze tedy hypotézu potvrdit. A z celkového počtu 26 byli tři, tedy 11,54%, kteří trpí poruchou barvocitu.



Hypotéza 2:

Vyšetřením pomocí online verze zkráceného hue-testu zjistím poruchu barvocitu. U žen odhalím 0,5% poruch barvocitu a u mužů odhalím 8% poruch barvocitu. Toto procentuální zastoupení poruch barvocitu jsem zvolila na základě hodnot uváděných v literatuře.

Výsledky první hypotézy jsou takové, že z celkového počtu 25 žen byly dvě s poruchou barvocitu, tedy 8%. A z celkového počtu 26 byli čtyři, tedy 15,38%, kteří trpí poruchou barvocitu.



7.8 Diskuze

Výsledky obou testů, které jsem při testování použila, jsem porovnávala s výzkumy. U Ishiharových pseudoizochromatických tabulek jsem zjistila 0% porucha barvocitu u žen, což je stejné procento jako ve výzkumu, který jsem našla. U mužů jsme zjistila 11,54%, tedy o 3% vyšší, než výsledky ve výzkumu, se kterým jsem své výsledky porovnávala.

Výsledky u hue-testu byly i u žen i u mužů vyšší. V literatuře jsme dohledala hodnoty 0,5% poruch barvocitu u žen a 8% poruch barvocitu u mužů. Z mého testování jsem získala hodnoty 8% poruch barvocitu u žen a 15,38% u mužů. Tyto odchylky mohly způsobit vnější vlivy, např.: únava, osvětlení, jas a lesk obrazovky.

Oba testy mají nějaká své výhody i nevýhody. U Ishiharových pseudoizochromatických tabulek je výhodou rychlost provedení testu, naopak nevýhodou by mohla být pro někoho cena. Výhoda u hue-testu je taková, že kromě typu poruchy barvocitu nám ukáže, jak silně je barvocit poškozen. Další výhodou je to, že test je volně přístupný na internetu. Nevýhodou pro někoho může být větší časová náročnost.

Nejzajímavější jsou případy M20 a M21, kteří trpí protanopií, což je porucha vnímání červené barvy. Probandi M20 a M21 jsou sourozenci a nikdo jiný u nich v rodině poruchu barvocitu nemá. Porucha barvocitu je vázaná na chromozom X, tak předpokládám, že jim jejich matka předala tento chromozom s poruchou.

Dalším zajímavým případem je proband M17, kterému u testování pomocí Ishiharových pseudoizochromatických tabulek vyšlo, že trpí protanopií (absence čípků pro červenou barvu) a u hue-testu bylo zjištěno, že trpí deuteranopií (absence čípků pro zelenou barvu). Tato odchylka mohla být způsobena únavou nebo odlesky obrazovky počítače.

Zbýlé tři případy u Ž1, Ž9 a M16 byly zjištěny jen pomocí hue-testu. Jedná se jen o anomálie, tedy jen o posunutí spektrální citlivosti jednotlivých čípků. U Ž1 je posunuta spektrální citlivost pro modrou barvu. U Ž9 a M16 je posunuta spektrální citlivost pro zelenou barvu.

I přesto, že jsem testovala probandy v čase od 9.00 do 15.00, tak někteří z nich mohli být unaveni, proto jsem zjistila vyšší procento poruch barvocitu.

Testování mohlo ovlivnit i osvětlení nebo jas obrazovky počítače. Někomu mohli vadit i odlesky na obrazovce.

Vzhledem k tomu, že jsem měla relativně malý výzkumný vzorek, nebyly mé výsledky přesné.

Při pokračování výzkumu bych navrhla větší počet probandů, aby byl výskyt poruch barvocitu prokazatelnější. Dále bych doporučila testování pomocí více testů, jak v mechanické, tak i v online verzi. Díky porovnání mechanických forem a online forem různých testů pro detekci barvocitu by mohlo být zjištěno, že k detekci poruch barvocitu by mohli stačit finančně nenáročné online verze.

Při testování probandů jsem měřila i čas pro porovnání časové náročnosti. Při ukončení testování bylo na první pohled zřejmé, že časově náročnější byl hue-test.

Většině probandů více vyhovovaly Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky z důvodu menší časové náročnosti.

Při testování jsem se účastníků ptala na to, zda už někdy byli vyšetřeni na poruchy barvocitu. Pokud byla jejich odpověď záporná, zajímalo mě, zda nebyli vyšetřeni ani u praktického lékaře při žádosti o řidičské oprávnění. Zjistila jsem, že mezi ženami je 18 řidiček a z toho 9 nebylo nikdy na poruchy barvocitu vyšetřeno. Mezi muži je 23 řidičů a z toho 11 z nich nebylo nikdy vyšetřeno na poruchy barvocitu.

Závěr

Cílem teoretické části mé bakalářské práce bylo shrnutí poznatků o barvocitu, jeho poruchách a metodách vyšetření. Prostudovala jsem dostupné zdroje informací a vytvořila přehled teoretických poznatků o barevném vidění a jeho vlivech na kvalitu života jedince. Dále jsem se zabývala teorií vzniku barevného vjemu, kde jsem zpracovala informace o fotoreceptorech a zrakové dráze. V další kapitole jsem se věnovala rozdělení poruch barevného vidění a popisu vyšetřovacích metod zaměřených na barvocit a možnosti kompenzace tohoto deficitu. Vyhledala jsem a vypsala profese, pro jejichž výkon je zapotřebí mít výborné barevné vidění.

Z dostupných informací jsem zjistila, že poruchami barvocitu je více zatížena mužská populace. Tato porucha je vázána na chromozom X.

V praktické části bakalářské práce jsem porovnávala dva testy pro detekci poruch barvocitu. Prvním testem byly Ishiharovy pseudoizochromatické tabulky a druhým byla online verze zkráceného hue-testu. Před začátkem testování jsem si stanovila dvě vlastní hypotézy, které jsme srovnávala s výsledky výzkumů a s hodnotami uváděnými v literatuře. [5, 10]

První hypotéza se potvrdila jen z části a druhá hypotéza se nepotvrdila vůbec. Z mého vlastního zkoumání vyšlo vyšší procento poruch barvocitu v populaci, než bylo u výzkumu a v literatuře se kterými jsem své výsledky porovnávala.

Zjistila jsem, že pokud objevíme poruchu barvocitu u Ishiharových pseudoizochromatických tabulek, tak se tento výsledek prokáže i u hue-testu.

Případnému zájemci o zpracování práce na stejné nebo podobné téma bych doporučila rozšíření práce - větší počet respondentů a větší počet testů pro detekci poruch barvocitu.

Seznam použité literatury

1. KUCHYŇKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
2. BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. Philadelphia: W.B. Saunders Company, c1998. ISBN 0-7216-5688-9.
3. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Stavba oka. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 - 2013 [cit. 2013-11-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/486-stavba-oka>
4. BALÍK, J. a J. BOBEK. *Technický sborník oční optiky*. Edited by J. Polášek. 2. vyd. Praha: Oční optika, 1975. 579 s
5. COLBLINDOR. *Color Blind Essentials* [online]. *Color Blind Essentials*, 2006-2016. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.color-blindness.com>
6. SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
7. ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
8. HOLIŠOVÁ, Klára. *Barevné vidění*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce MUDr. Tomáš Jurečka
9. SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X.
10. AUTRATA, Rudolf a Jana ČERNÁ. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
11. ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
12. ATKINSON, Rita L. *Psychologie*. Přeložil Erik HERMAN, přeložil Miroslav PETRŽELA, přeložil Dagmar BREJLOVÁ. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-640-3.
13. SWAMI s.r.o.. Barevné vidění. *Vidění.cz* [online]. 2009-2014. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.videni.cz/oko/29-barevne-videni>
14. ANTON, Milan. Co je to barva?. *Česká oční optika* [online]. 2006, 47(1), 28-30. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2006_01.pdf
15. SWAMI s.r.o.. Barvoslepost. *Vidění.cz* [online]., 2009-2014. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.videni.cz/nemoci-oci/25-barvoslepost>

16. DOSHI, Sandip a William HARVEY. *Assessment and investigative techniques*. Edinburgh. Edinburgh [etc]: Elsevier Butterworth Heinemann, 2005. ISBN 0-7506-8853-X.
17. TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
18. VESELÝ, Milan. Současné metody vyšetřování barvocitu. *Česká oční optika* [online]. 2010, 53(4), 54-66. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2010_04.pdf
19. MAZAL, Zdeněk a Petr HERLE, ed. *Oftalmologie pro všeobecné praktické lékaře*. Praha: Raabe, 2011. Ediční řada pro všeobecné praktické lékaře. ISBN 978-80-86307-89-3.
20. BUZZLE.COM. The facts about coloe blindness genetics will take you by surprise. *Buzzle.com*. [online]. 2000-2015, 2016. [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.buzzle.com/articles/color-blindness-genetics.html>
21. DAIN, J. Stephen. Clinical and experimental optometry. *Clinical colour vision tests* [online]. 2009, 4-5, 87. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05057.x/pdf>
22. RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
23. HABERLAND, Tomáš. Korigovat vrozené poruchy barvocitu pomocí barevných skel a kontaktních čoček?. *Česká oční optika* [online]. 2010, 51(2), 20-24. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2010_02.pdf
24. WILEY ONLINE LIBRARY. Colour blindness and driving. *Clinical and experimental optometry*. [online]. 1999-2017. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cxo.12396/full>
25. *Aktuality lékařské posudkové služby*. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí ve vydavatelství Kufř, 2008. ISBN 978-80-86878-68-3. Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/files/clanky/5432/posudkova.pdf>
26. ŠŤASTNÁ Zuzana. *Poruchy barevného vidění a jejich na kvalitu života*. Olomouc 2011/2012. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, katedra optiky. Vedoucí práce Mgr. Eliška Hladíková

27. MINISTERSTVO VNITRA. 101/1995 Sb. Portál veřejné správy. [online]. 2016. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z:
<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=42957&fulltext=&nr=101~2F1995&part=&name=&rpp=15>
28. BOZP ZEMAN. CZ. Směrnice ministerstva zdravotnictví. Bozpzeman.cz [online] 2007-2011. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z:
http://www.bozpzeman.cz/userfiles/file/SMERNICE_MZD_47_1967.pdf
29. ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR, s.p.. Hlava 6-zdravotní ustanovení pro vydání průkazu způsobilosti Letecká informační služba. [online]. 2017 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-1/data/effective/h6.pdf>
30. BUREŠ, Jirí. John Dalton. *Converter.cz* [online]. 2002 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/dalton.htm>
31. PANWIKI. Lidské oko. PanWiki [online]. 2006-2013. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://panwiki.panska.cz/index.php/Lidsk%C3%A9_oko
32. OČNÍ ODDĚLENÍ HAVLÍČKŮV BROD. Co je to šedý zákal?. Oční oddělení Havlíčkův Brod [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://ocnihb.cz/lecba-sedeho-zakalu/sample-page/>
33. COLOR VISION TESTING-COLOR HOME PAGE. PseudoIsochromatic Plate (PIP) Color Vision Test 24 Plate Edition. Colorblind home page. [online]. 2014. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://colorvisiontesting.com/ishihara.htm>
34. COLORMANAGEMENT. Farnsworth-Munsell Color Vision Tests. Color management. com. [online]. 2017. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <https://www.colormanagement.com/store/PID446>
35. Ishihara's tests for colour deficiency. Tokyo - Japan: Kanehara Trading Inc., 2010
36. BÍBROVÁ, Petra. *HUE test, porovnání výsledků mechanické a PC varianty*. Brno, 2012. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Petr Veselý, DiS
37. VESELÝ, Petr. *Význam vyšetření barvocitu a klinické testování barvocitu*. Brno, OPTA 2012. Dostupné z: http://scoo.cz/wp-content/uploads/2012/03/vesely_vysetreni_barvocitu_LCD_opta2012_v5-p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka-Mgr.-Vesel%C3%BD.pdf
38. PATOČKOVÁ, Lucie a Petr VESELÝ. Porucha barvocitu u pacientů s onemocněním žluté skvrny - klinická studie. *Trendy v oční optice 2017* [online]. 2017. ISBN 978-80-87862-11-7. Dostupné z: http://www.s-presspublishing.cz/archiv/201703_trendy.pdf

39. MAREY, Hatem, Noura SEMARY a Sameh MANDOUR. *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>

Seznam symbolů a zkratk

nm - nanometr

PIC - pseudoizochromatické tabulky

AOHRP - druh pseudoizochromatických tabulek (American Optical Hardy Rand - Rittler Plates)

SPP - druh pseudoizochromatických tabulek (Standart Pseudoisochromatic Plates)

CVTME - Color Vision Testing Made Easy

TES - total error score = celkové chybové skóre

CUT - The City University Test

CAT - Inter Society Color Council Colour Matching Aptitude Test

AQ - anomální kvocient

H-W - Holmes-Wright Lantem Test

FaLant - Farnsworth Lantem

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Tyčinka a čípek [31]</i>	<i>3</i>
<i>Obrázek 2: Zrakový systém člověka [11]</i>	<i>4</i>
<i>Obrázek 3: Pravděpodobnost dědičnosti poruch barvocitu (převzato a upraveno) [16]</i>	<i>9</i>
<i>Obrázek 4: Simulace dichromázie. Jak se barevný podnět, jakým je v tomto případě talíř s jídlem, může jevit člověka bez poruchy barvocitu (A), postiženým protanopií (B), deuteranopií (C) a tritanopií (D) [11]</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 5: Jak člověk vidí s jednotlivými poruchami barvocitu [5]</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 6: Vidění bez katarakty, vidění s kataraktou [32]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 7: Ukázka dvou obrázků pseudoizochromatických tabulek [33]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 8: Farnsworth-Munsell 100 hue-test [34]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 9: Zjednodušené optické schéma Nagelova anomaloskopu [22]</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 10: Genetické příčiny deuteranomálie a protanomálie [23]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 11: Nevyplněný hue-test [5]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 12: Vyplněný hue-test [5]</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 13: Vyhodnocení hue-testu [5]</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 14: Vyhodnocení Lanthonyho D-15 testu [37]</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 15: Číselné výsledky hue-testu [5]</i>	<i>30</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Procentuální zastoupení jednotlivých poruch barvocitu [5]</i>	8
<i>Tabulka 2: Rozdělení vrozených poruch barvocitu-přehledně.....</i>	11
<i>Tabulka 3: Problémy s rozlišením jednotlivých barev u různých typů poruch barvocitu (převzato a upraveno) [16]</i>	12
<i>Tabulka 4: Četnost a průměrný věk probandů</i>	26
<i>Tabulka 5: Vyhodnocení výsledků Ishiharova testu (převzato a upraveno) - Ishiharovy tabulky [35]</i>	28
<i>Tabulka 6: Vyhodnocení poruch barvocitu dle Vingryse a Kinga (převzato a upraveno) [5]</i>	31
<i>Tabulka 7: Věk, chyby a čas Ishihara testu, chyby a čas hue-testu u žen.....</i>	32
<i>Tabulka 8: Věk, chyby a čas Ishihara testu, chyby a čas hue-testu u mužů.....</i>	33
<i>Tabulka 9: Zjištěné poruchy barvocitu</i>	34

Seznam grafů

<i>Graf 1: Procentuální zastoupení probandů podle pohlaví.....</i>	25
<i>Graf 2: Četnost probandů v jednotlivých věkových skupinách</i>	26
<i>Graf 3: Procentuální zhodnocení positivity či negativity testů</i>	34

Seznam příloh

<i>Příloha 1: Dotazník.....</i>	48
<i>Příloha 2: Vyplněný dotazník</i>	50
<i>Příloha 3: Vyhodnocení hue-testu vztahující se k vyplněnému protokolu (viz výše).....</i>	51
<i>Příloha 4: Obrázek 1 - číslo 12</i>	52
<i>Příloha 5: Obrázek 2 - číslo 8</i>	52
<i>Příloha 6: Obrázek 3 - číslo 5</i>	53
<i>Příloha 7: Obrázek 4 - číslo 29</i>	53
<i>Příloha 8: Obrázek 5 - číslo 74</i>	54
<i>Příloha 9: Obrázek 6 - číslo 7</i>	54
<i>Příloha 10: Obrázek 7 - číslo 45</i>	55
<i>Příloha 11: Obrázek 8 - číslo 2</i>	55
<i>Příloha 12: Obrázek 9 - žádný obrazec k rozeznání.....</i>	56
<i>Příloha 13: Obrázek 10 - číslo 16</i>	56
<i>Příloha 14: Obrázek 11 - zelená cesta.....</i>	57
<i>Příloha 15: Obrázek 12 - číslo 35</i>	57
<i>Příloha 16: Obrázek 13 - číslo 96</i>	58
<i>Příloha 17: Obrázek 14 - dvě cesty - horní růžová, spodní fialová.....</i>	58
<i>Příloha 18: Výsledek hue-testu Ž9.....</i>	59
<i>Příloha 19: Výsledek hue-testu M20.....</i>	59

Přílohy

Příloha 1: Dotazník

Protokol k praktické části bakalářské práce

Jméno:	Datum:
Pohlaví: Muž/žena	Ročník narození:
Tel:	E-mail:

Anamnéza

Poslední vyšetření zraku:	optometrista - oftalmolog
Nositel brýlí:	
Nositel KČ (BC,DIA, režim a doba nošení, výrobce):	
Oční anamnéza, refrakční vada:	
- myopie, hypermetropie, astigmatismus, strabismus	
- katarakta, glaukom	
Celková anamnéza:	Rodinná anamnéza:
Pracovní anamnéza:	PC: ano ne Řidič: ano ne
Léky:	

Vidění

- Zhoršené vidění za skotopických podmínek.....
- Zhoršené vidění za mezopických podmínek.....

- Oslnění v noci.....
- Adaptace na tmou.....
- Řízení dopravních prostředků.....
- Rozsvícené světlo v autě.....

Barvocit

- Poruchy barvocitu ano x ne
 - Vrozené
 - Monochromázie
 - Dichromázie
 - Anomální trichromázie
 - Získané
- Problémy se základními barvami ano x ne
 - Modrá
 - Zelená
 - Červená
- Byl jste někdy vyšetřovaný na poruchu barvocitu ano x ne
- Má někdo v rodině poruchy barvocitu ano x ne

Pseudoizochromatické tabulky

Co má vyšetřovaný vidět	Co vyšetřovaný vidí
12	
8	
5	
29	
74	
7	
45	
2	
x	
16	
Jedna cesta - zelená	
35	
96	
Dvě cesty - růžová/fialová	

Čas:

Pozn.:

HUE test (H-15)

Angle	Major	Minor	TES	S - index	C - index

Čas:

Pozn.:

Příloha 2: Vyplněný dotazník

Protokol k praktické části bakalářské práce

Jméno: MATĚJ SEDLAČEK	Datum: 18.4.2017
Pohlaví: <input checked="" type="radio"/> Muž <input type="radio"/> Žena	Ročník narození: 1997
Tel:	E-mail: matej.975@centrum.cz

Anamnéza

Poslední vyšetření zraku:	optometrista - <input checked="" type="radio"/> oftalmolog
Nositel brýlí:	jaro 2016
Nositel KČ (BC, DIA, režim a doba nošení, výrobce):	/
Oční anamnéza, refrakční vada:	
- myopie, hypermetropie, astigmatismus, strabismus	
- katarakta, glaukom	
Celková anamnéza:	Rodinná anamnéza:
/	glaukom - babička
	DM, rakovina - babička, děda
Pracovní anamnéza:	PC: <input checked="" type="radio"/> ano <input type="radio"/> ne
student	Řidič: ano <input checked="" type="radio"/> ne
Léky:	/

Vidění

- Zhoršené vidění za skotopických podmínek..... nepocituje
- Zhoršené vidění za mezopických podmínek..... nepocituje
- Oslnění v noci..... nepocituje
- Adaptace na tmou..... rychle
- Řízení dopravních prostředků..... neřídí
- Rozsvícené světlo v autě..... nevadí

Barvocit

- Poruchy barvocitu ano x ne
 - Vrozené
 - Monochromázie
 - Dichromázie
 - Anomální trichromázie
 - Získané
- Problémy se základními barvami ano x ne
 - Modrá
 - Zelená
 - Červená
- Byl jste někdy vyšetřovaný na poruchu barvocitu ano x ne
- Má někdo v rodině poruchu barvocitu ano x ne

Pseudoizochromatické tabulky

Co má vyšetřovaný vidět	Co vyšetřovaný vidí
12	✓
8	3
5	2
29	40
74	21
7	nevidí
45	nevidí
2	nevidí
x	nevidí
16	nevidí
Jedna cesta - zelená	nevidí
35	5
96	6
Dvě cesty - růžová/fialová	jedna cesta - spodní

Čas: 1.20.64

Pozn.: protanopia - silná

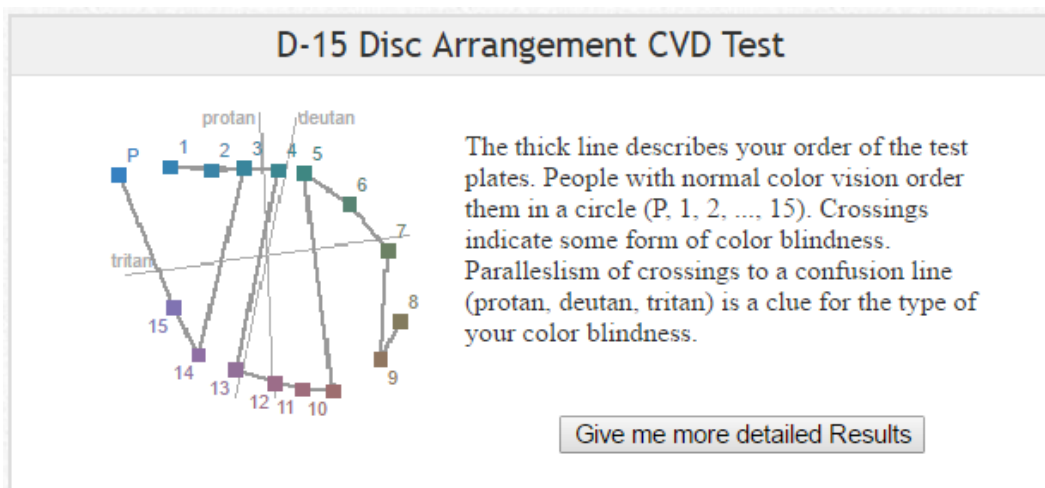
HUE test (H-15)

Angle	Major	Minor	TES	S - index	C - index
0,4	25,3	11,1	27,6	2,29	2,74

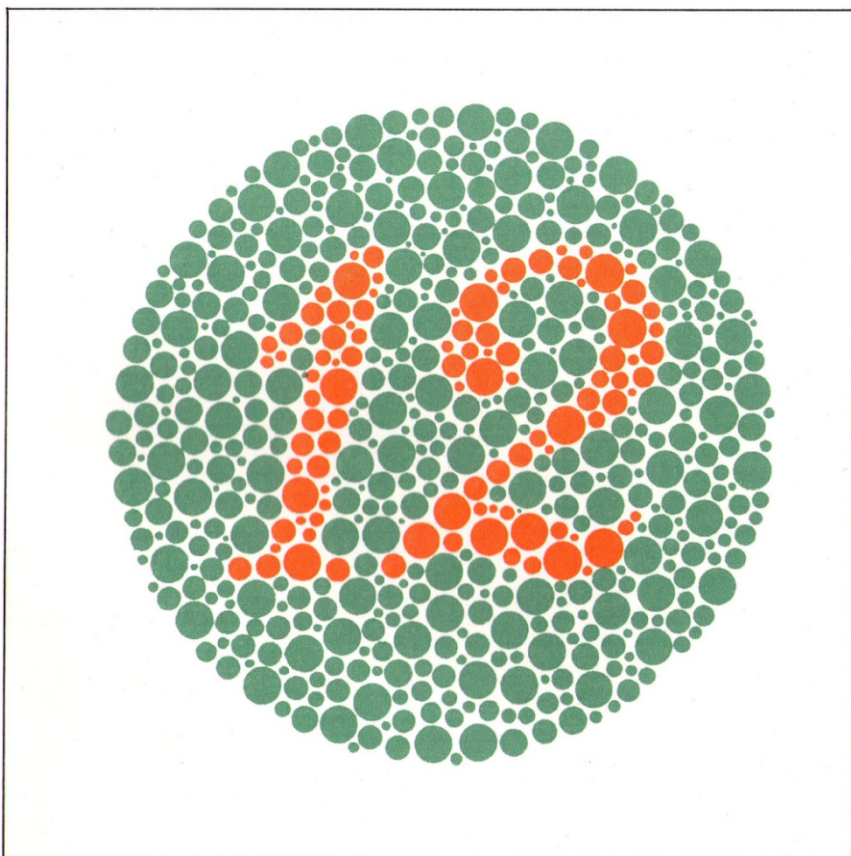
Čas: 1.30.57

Pozn.: deuteranopia - střední

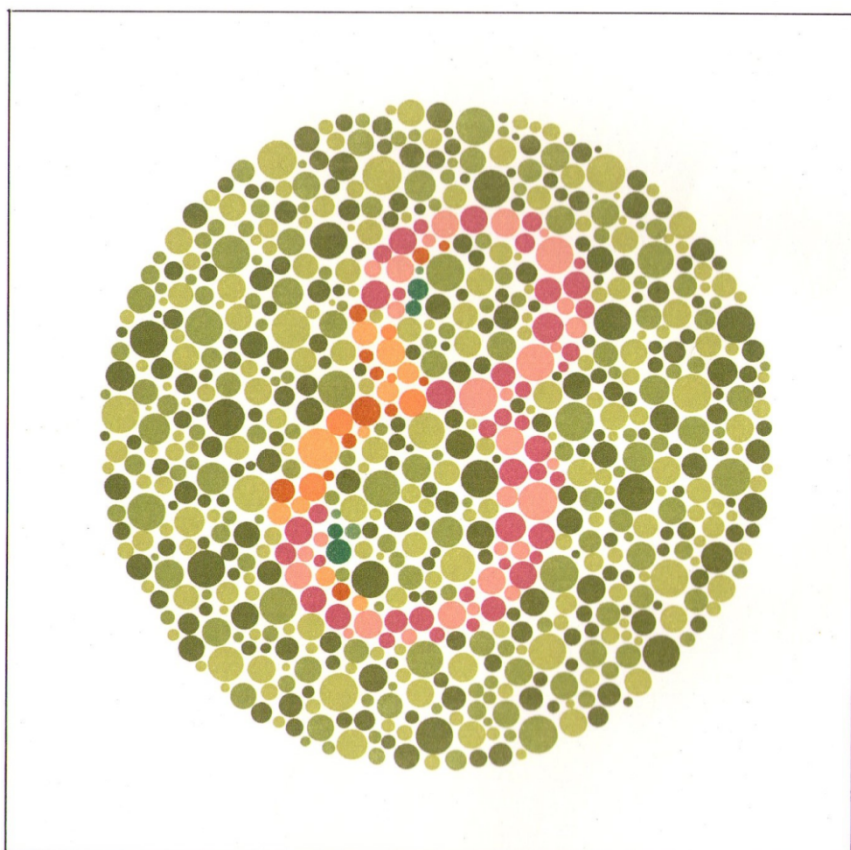
Příloha 3: Vyhodnocení hue-testu vztahující se k vyplněnému protokolu (viz výše)



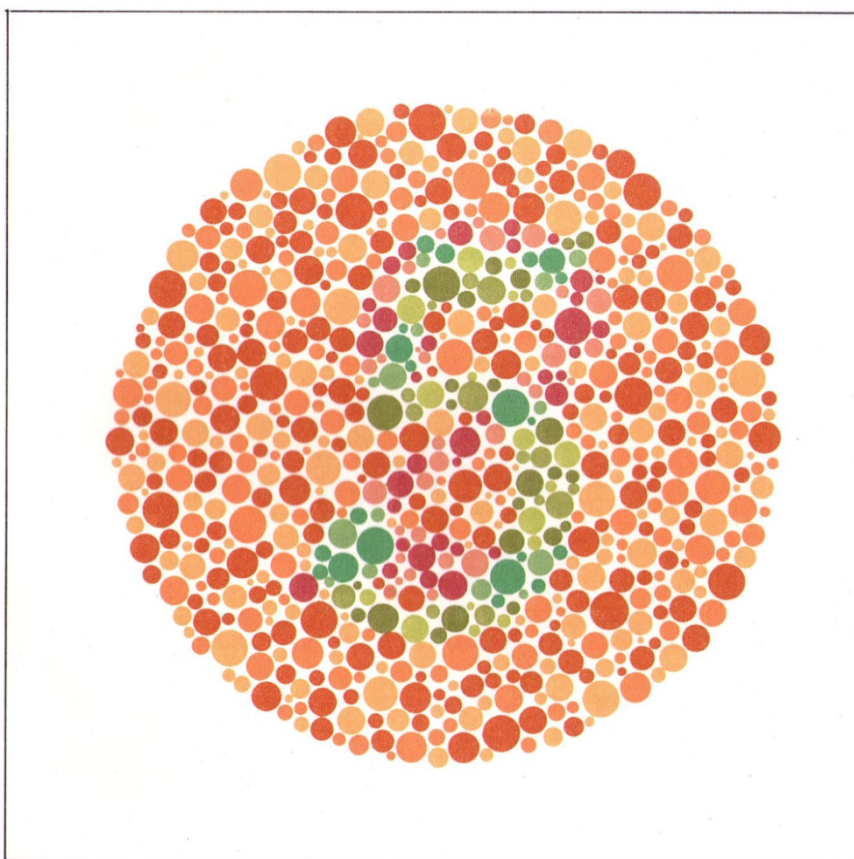
Příloha 4: Obrázek 1 - číslo 12



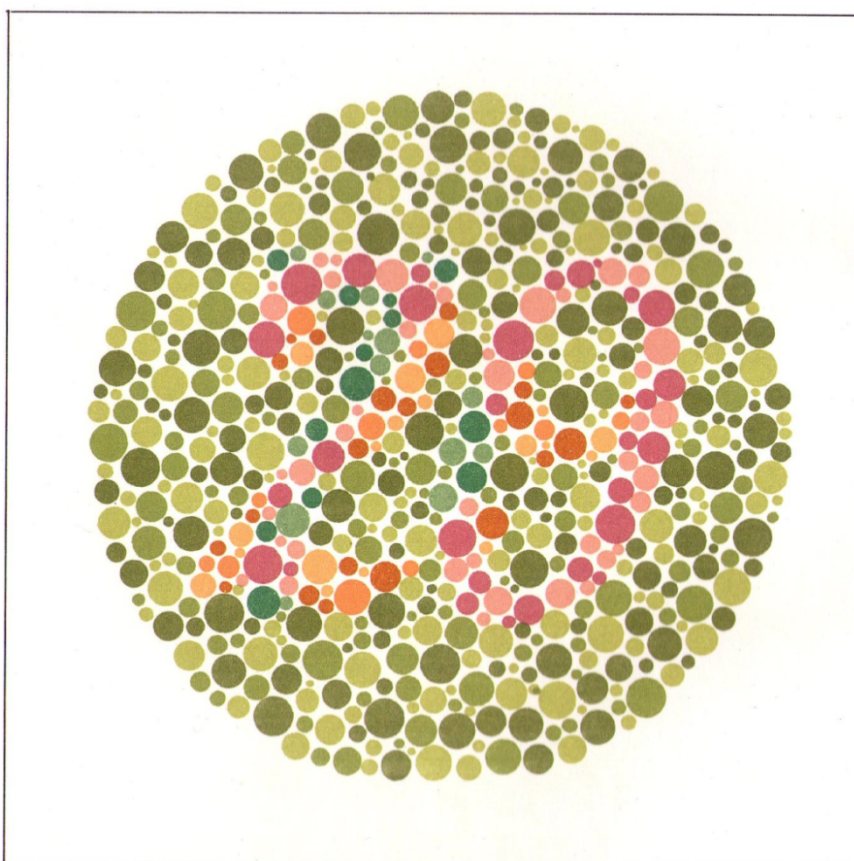
Příloha 5: Obrázek 2 - číslo 8



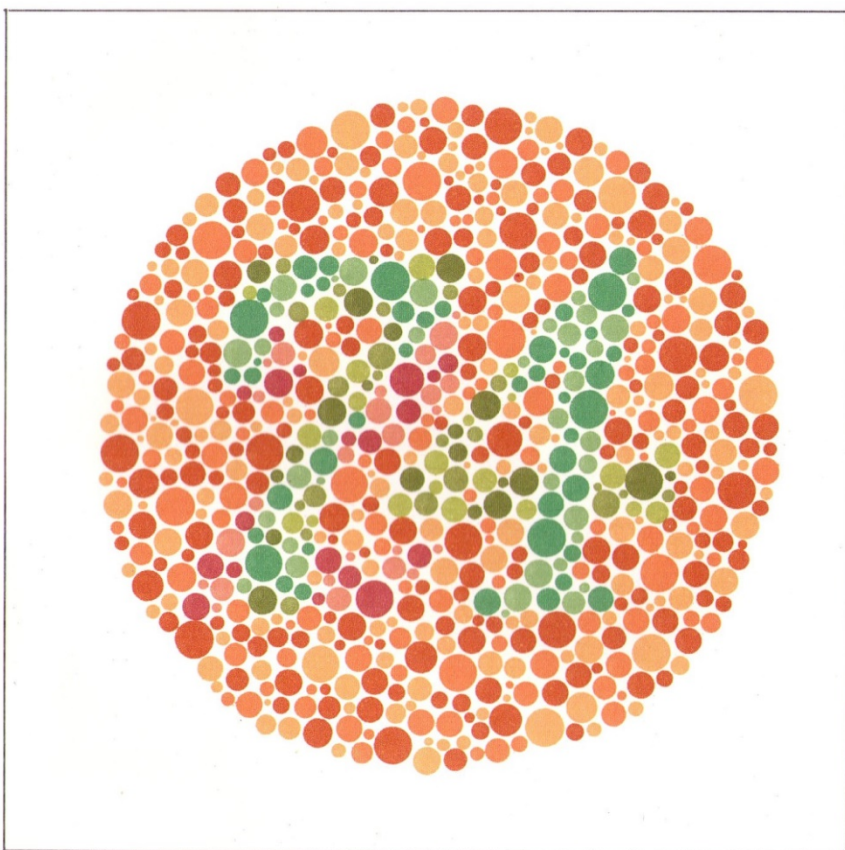
Příloha 6: Obrázek 3 - číslo 5



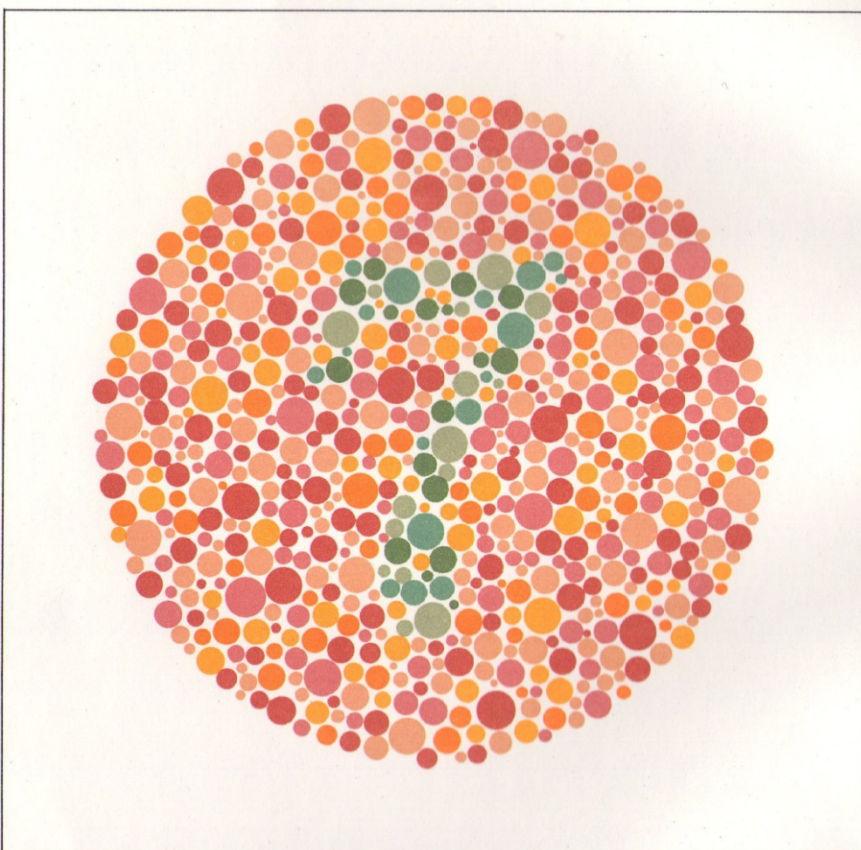
Příloha 7: Obrázek 4 - číslo 29



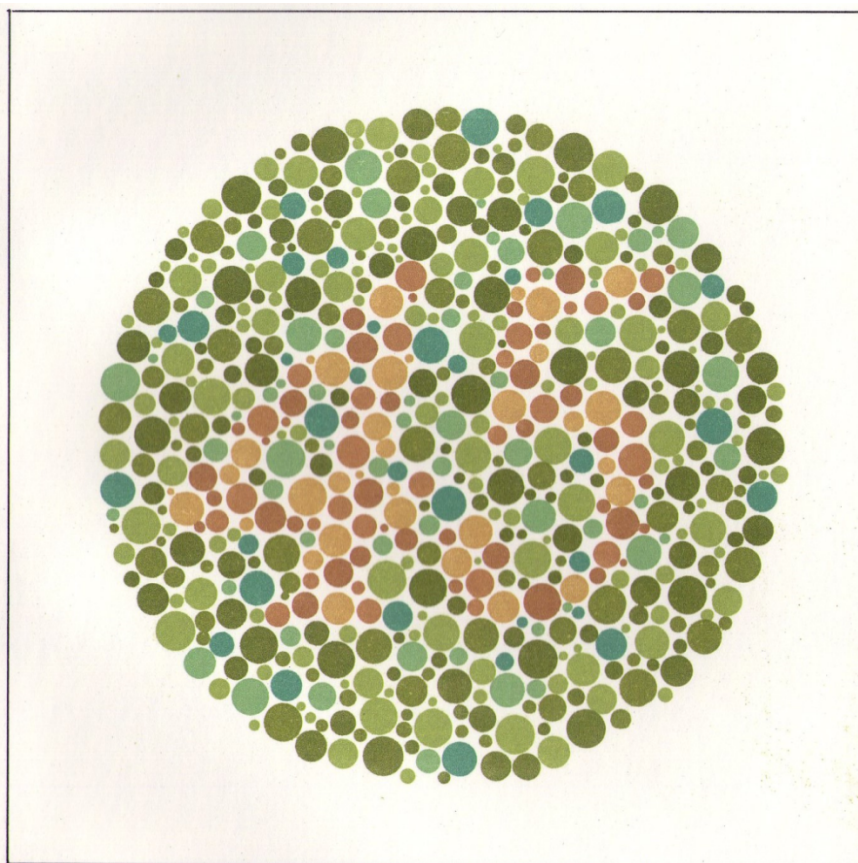
Příloha 8: Obrázek 5 - číslo 74



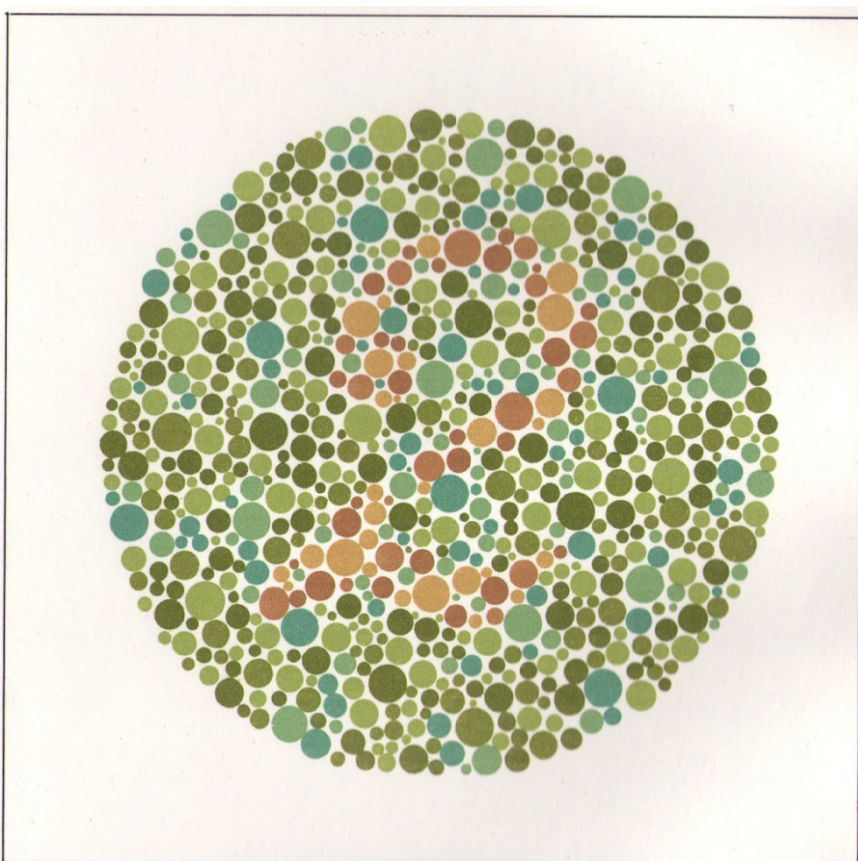
Příloha 9: Obrázek 6 - číslo 7



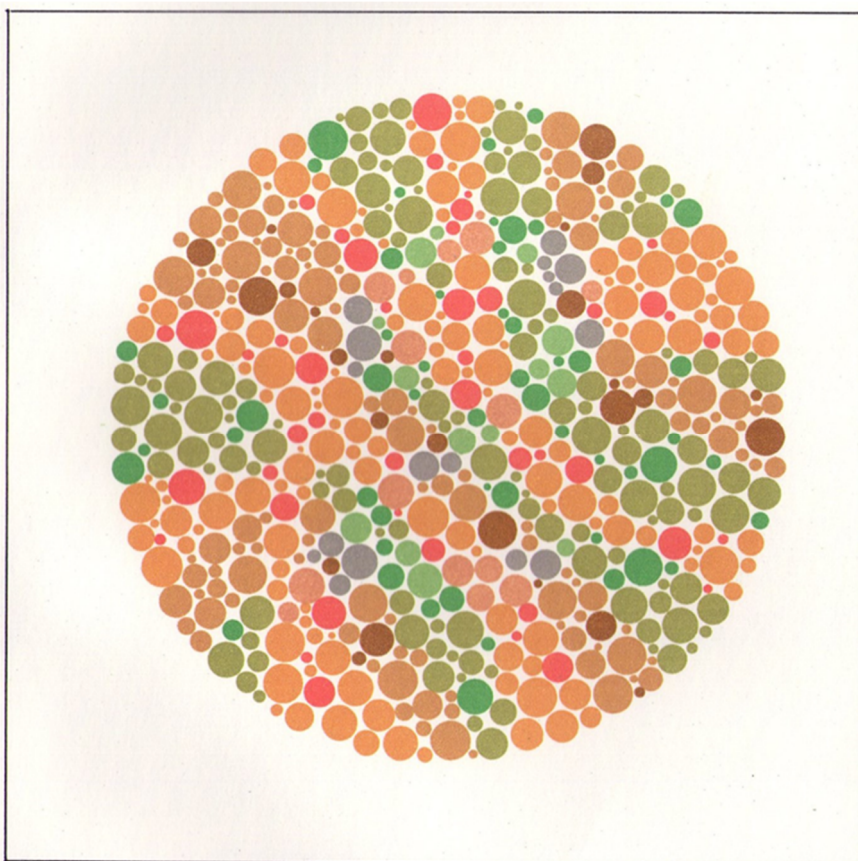
Příloha 10: Obrázek 7 - číslo 45



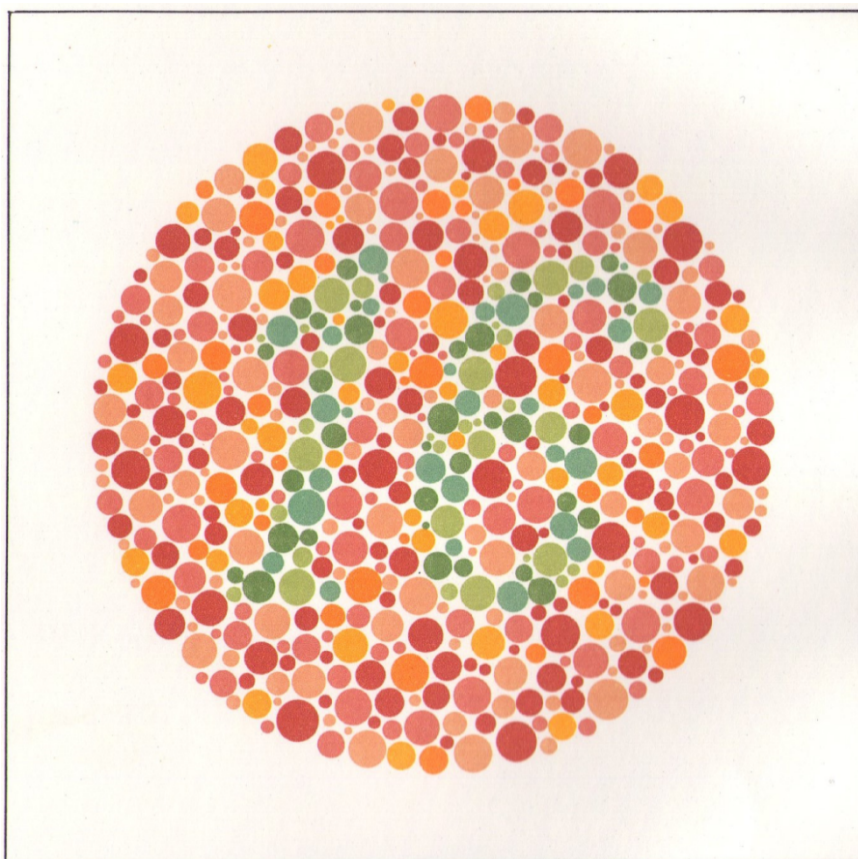
Příloha 11: Obrázek 8 - číslo 2



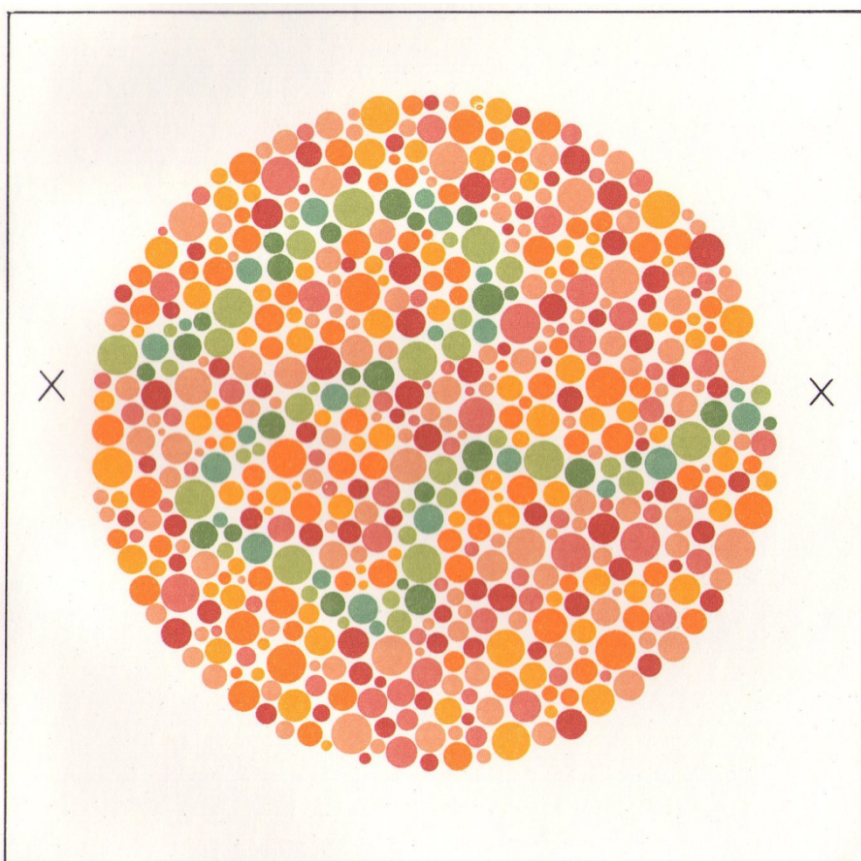
Příloha 12: Obrázek 9 - žádný obrazec k rozeznání



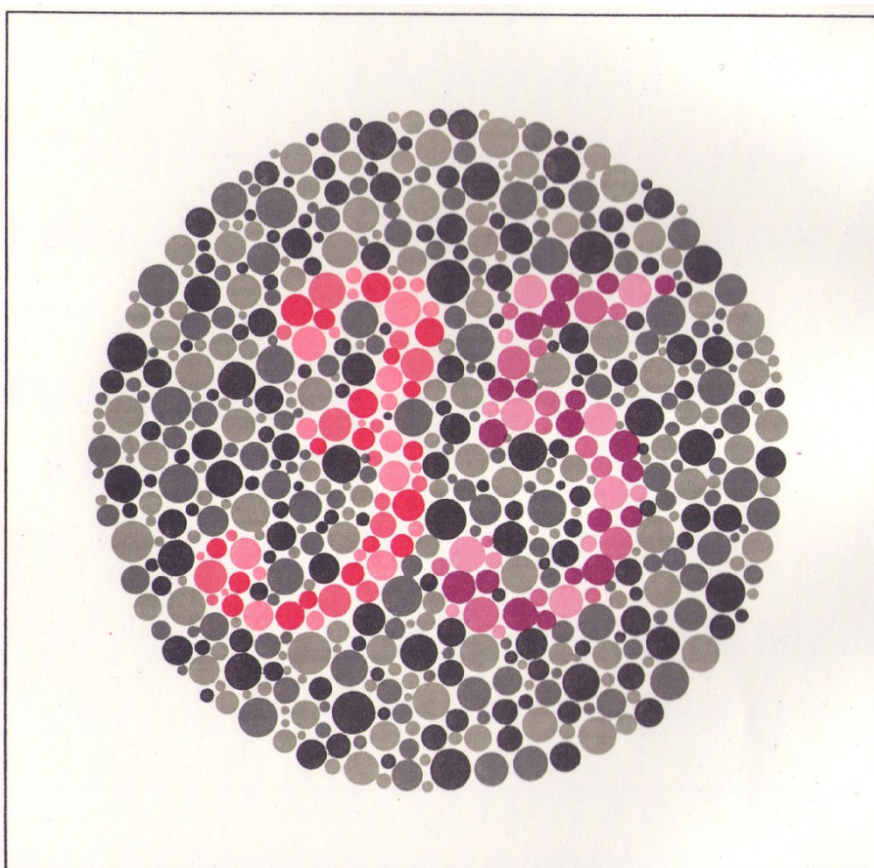
Příloha 13: Obrázek 10 - číslo 16

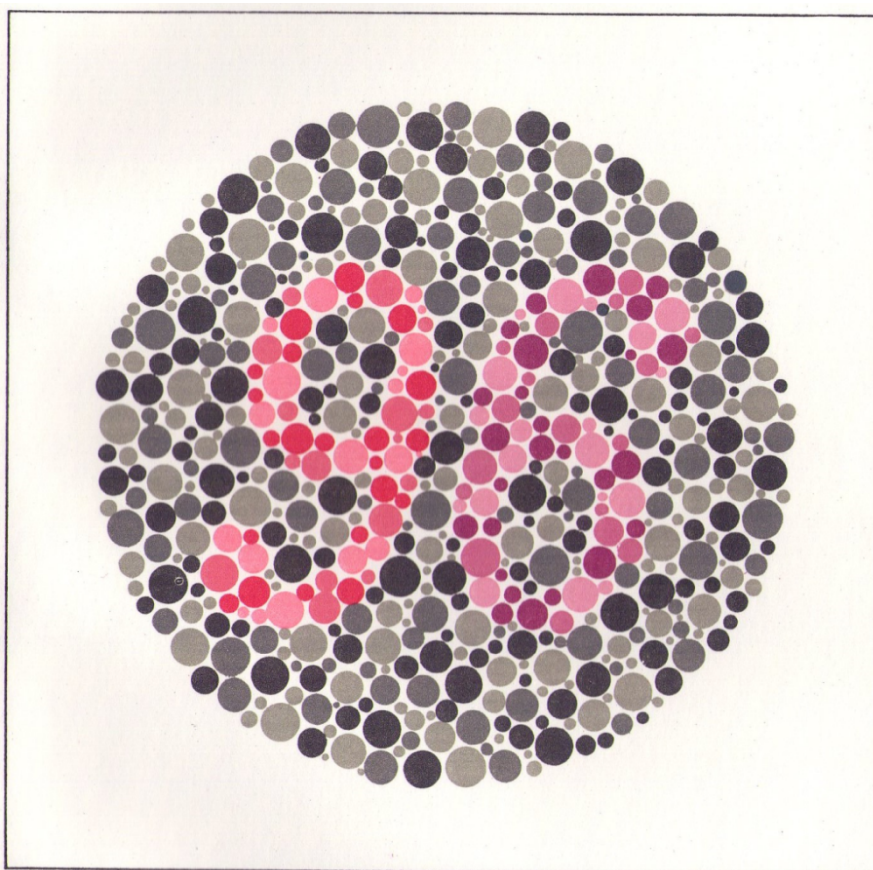
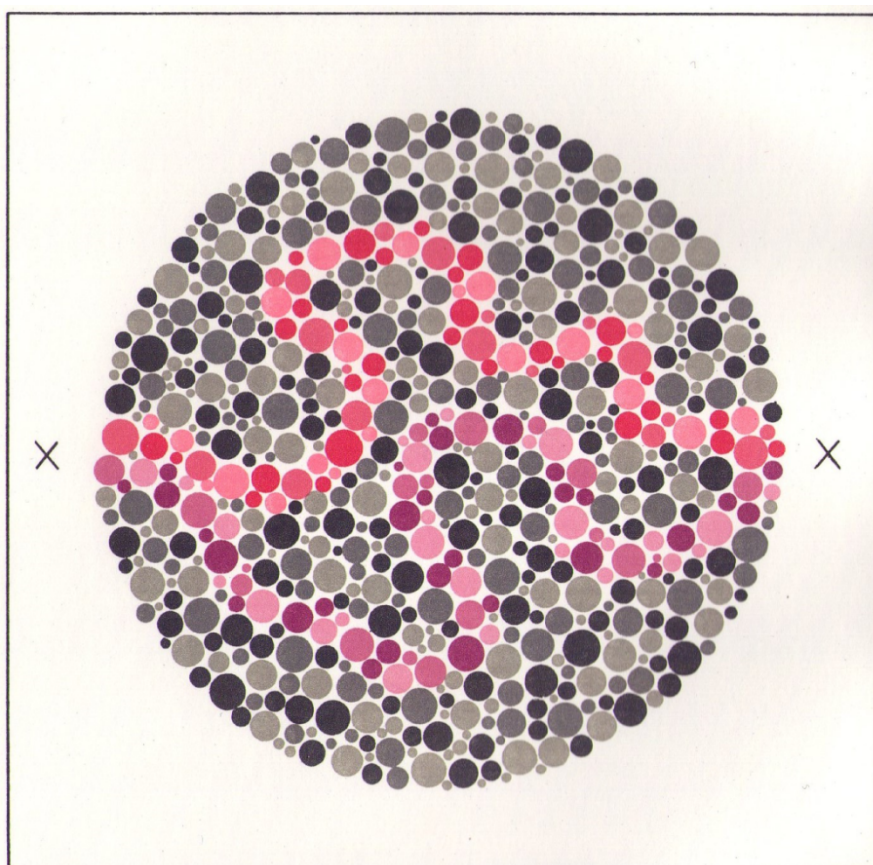


Příloha 14: Obrázek 11 - zelená cesta

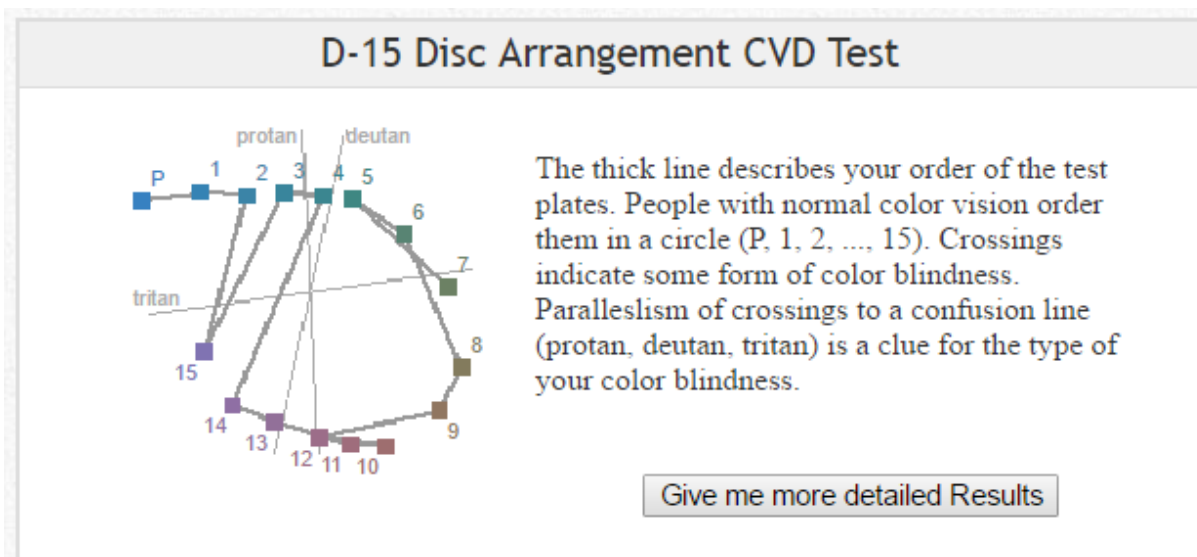


Příloha 15: Obrázek 12 - číslo 35



Příloha 16: Obrázek 13 - číslo 96*Příloha 17: Obrázek 14 - dvě cesty - horní růžová, spodní fialová*

Příloha 18: Výsledek hue-testu Ž9



Příloha 19: Výsledek hue-testu M20

