

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

PORUCHY BAREVNÉHO VIDĚNÍ A JEJICH VLIV NA KVALITU ŽIVOTA

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Zuzana Šťastná

Obor: 5345R008 Optometrie

Studijní rok: 2011/2012

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Mgr. Eliška Hladíková

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Elišky Hladíkové za použití literatury a zdrojů uvedených v závěru práce.

V Olomouci dne

Děkuji Mgr. Elišce Hladíkové za vedení mé práce a za odborné rady a podněty, které mi v průběhu psaní poskytla.

OBSAH

1	ÚVOD.....	6
2	ANATOMIE A FYZIOLOGIE SÍTNICE.....	9
2.1	ZEVNÍ VRSTVA JEDNOVRSTEVNÉHO PIGMENTOVÉHO EPITELU (STRATUM PIGMENTOSUM).....	9
2.2	VNITŘNÍ VRSTVA SÍTNICE (NEURORETINA).....	9
2.3	HISTOLOGICKÁ STAVBA.....	10
2.4	FOTORECEPTORY.....	11
2.5	MACULA LUTEA A FOVEA CENTRALIS.....	13
2.6	CÉVNÍ ZÁSOBNÍ SÍTNICE.....	14
2.7	AFERENTNÍ ZRAKOVÝ SYSTÉM.....	14
3	PORUCHY BAREVNÉHO VIDĚNÍ.....	18
3.1	VROZENÉ PORUCHY.....	19
3.1.1	ANOMÁLNÍ TRICHROMAZIE.....	19
3.1.2	DICHROMAZIE.....	20
3.1.3	MONOCHROMAZIE.....	20
3.2	ZÍSKANÉ PORUCHY.....	22
3.3	VLIV PORUCH BAREVNÉHO VIDĚNÍ NA KAŽDODENNÍ ŽIVOT.....	23
3.4	PORUCHY BARVOCITU A POVOLÁNÍ.....	24
3.4.1	SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V SILNIČNÍ DOPRAVĚ.....	25
3.4.2	SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŽELEZNIČNÍ DOPRAVĚ ..	25
3.4.3	SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŘÍČNÍ DOPRAVĚ.....	26
3.4.4	SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V LETECKÉ DOPRAVĚ.....	27
4	VYŠETŘOVACÍ METODY PORUCH BARVOCITU.....	28
4.1	KLASIFIKACE.....	29
4.2	PSEUDOIZOCHROMATICKÉ TABULKY.....	30
4.2.1	ISHIHARA'S TEST.....	31
4.2.2	AMERICAN OPTICAL HARDY-RAND-RITTLER PLATES.....	31
4.2.3	STANDART PSEUDOISOCHROMATIC PLATES.....	31
4.2.4	COLOUR VISION TESTING MADE EASY.....	32
4.3	TESTY BAREVNÉ PREFERENCE.....	32
4.3.1	FARNSWORTH MUNSELL 100 HUE TEST.....	32
4.3.2	LANTHONY NEW COLOUR TEST.....	33
4.4	TESTY ZALOŽENÉ NA PRINCIPU MÍŠENÍ BAREV - ANOMALOSKOP.....	34

4.5	KOREKCE PORUCH BARVOCITU	35
4.5.1	POSUN ABSORPČNÍCH KŘIVEK OPSINU	35
4.5.2	OVLIVNĚNÍ VELKÝCH GANGLIOVÝCH M- BUNĚK.....	36
4.5.3	CHROMAGEN	36
5	PRAKTICKÁ ČÁST.....	39
5.1	METODIKA PRÁCE.....	40
5.2	VÝSLEDKY	41
6	ZÁVĚR	48

1 ÚVOD

Každý den se pohybujeme ve světě, který je plný barev. Ve skutečnosti je však tento svět nebarevný. Všechny barvy jsou totiž ukryty ve světle, které se jeví našemu zraku jako čiré. Barva jako taková je elektromagnetické záření o vlnové délce v rozmezí od 380-780 nm a to, že ji vnímáme, je výsledek složitých fyziologických procesů. Barva bývá často to první, co vnímáme, teprve pak si všimáme tvarů, velikostí a detailů. I když si to možná přímo neuvědomujeme, barvy velice ovlivňují náš život. Mají vliv na naši náladu, na to jak se cítíme. Barvy v nás vyvolávají emoce a vzpomínky, některé odstíny v nás vzbuzují pocit radosti a u jiných se ošíváme, jakmile je zahlédneme koutkem oka. Psychologie barev se využívá v nejrůznějších oblastech, kdy je potřeba působit na lidské vnímání. Především v reklamě je to nepostradatelný nástroj, který působí na naše rozhodování. Příkladem může být použití červené barvy, která stimuluje chuť k jídlu a je tak velice často používána mnohými restauracemi a fast foody. Nebo růžová barva, která je symbolem lásky, něhy a jemnosti, je upřednostňována značkami primárně cílenými na ženy. Člověk je tedy celý život vystaven působení barev, doprovázejí nás na každém kroku a ovlivňují nás, ať chceme nebo nechceme. Existují ale lidé, kteří mají vrozenou nebo získanou poruchu barevného vidění a ti vnímají svět kolem sebe jinak. Ve většině případů se jim okolní prostředí jeví barevné, ale barvy jsou podle typu vady různě změněné. Jsou i případy, kdy jsou lidé zasaženi určitým typem této poruchy ochuzeni o barvy úplně a svět vnímají pouze černobíle. Jak se tyto vady dělí a jak moc zasahují do každodenního života je předmětem této práce.

S problematikou barevného vidění úzce souvisí i vyšetřování barvocitu, což je schopnost rozeznávat barvy vnímané lidským okem. Tato schopnost je striktně posuzována v některých oborech (především v dopravě, ale i v textilním, grafickém, technickém průmyslu). V mé práci se zaměřuji především na oblast dopravy a legislativu, která upravuje požadavky na barvocit, rozdělují a popisují vyšetřovací metody. V neposlední řadě se věnuji také aktuálním možnostem korekce poruch barvocitu.

V praktické části této práce se zaměřuji na rozdílné vnímání barev mezi muži a ženami. Podle některých teorií je evolučně i anatomicky dáno, že ženy mají lépe

vyvinutou schopnost rozlišovat barvy a rozeznávají a pojmenovávají daleko více odstínů barev, a proto se dá předpokládat, že budou také úspěšnější v testech, které vyšetřují barvocit. U mužů se také častěji projevuje geneticky podmíněná vada barevného vidění, což je další předpoklad, že budou mít s takovými testy větší obtíže.

TEORETICKÁ ČÁST

2 ANATOMIE A FYZIOLOGIE SÍTNICE

Sítnice (retina) tvoří vnitřní vrstvu stěny oční koule. Je to průhledná blanka, jejíž tloušťka kolísá od 0,1 mm při ora serrata, k 0,2 mm na ekvátoru, až na 0,5 mm při papile a při okraji fovey. Sítnici rozdělujeme na dvě části- **pars coeca retinae**, která v podobě dvouvrstevného epitelu pokrývá vnitřní stranu řasnatého tělesa a zadní plochu duhovky, a **pars optica retinae**, zadní část pokrývající celý vnitřní povrch cévnatky. Tato druhá část obsahuje světločivé buňky- tyčinky a čípky, a slouží tedy k zrakové funkci. Obě tyto části jsou odděleny takzvanou zubovitou linií ora serrata. V tomto místě a také při okraji zrakového terče je sítnice pevně fixována, k cévnatce je volně přiložena. [1,2]

2.1 ZEVNÍ VRSTVA JEDNOVRSTEVNÉHO PIGMENTOVÉHO EPITELU (STRATUM PIGMENTOSUM)

Je tvořena bazální membránou a Bruchovou membránou. Diferencovala se ze zevního listu embryonálního očního pohárku a leží na choriokapilaris cévnatky. Pigmentový epitel zajišťuje a kontroluje látkovou výměnu mezi choriokapilaris a zadními vrstvami sítnice. [1,2]

2.2 VNITŘNÍ VRSTVA SÍTNICE (NEURORETINA)

Diferencovala se z vnitřního listu embryonálního očního pohárku a obsahuje světločivé a nervové buňky. Tato vrstva hraničí s pigmentovým epitelem a výběžky světločivých buněk - tyčinky a čípky jsou do pigmentového epitelu zanořeny. Vodivé výběžky tyčinek a čípků se napojují na dendrity malých bipolárních buněk, které představují ganglion retinae. Krátké neurity bipolárních buněk směřují dovnitř a připojují se na dendrity velkých multipolárních gangliových buněk, které představují ganglion opticum a jejichž axony se sbíhají ke zrakovému terči, kde tvoří vrstvu nervových vláken a opouští bulbus v tzv. lamina cribrosa sclerae jako zrakový nerv. Primární zraková dráha pokračuje dále přes chiasma opticum

a tractus opticus do corpus geniculatum laterale, kde končí. Toto je popis tzv. vertikálního spojení, sítnice má tedy tři vertikální neurony: 1. neuron je vrstva fotoreceptorů (zevní a vnitřní segmenty) a zevní nukleární vrstva (jádra fotoreceptorů), 2. neuron tvoří bipolární buňky a 3. neuron tvoří gangliové buňky. [1,2]

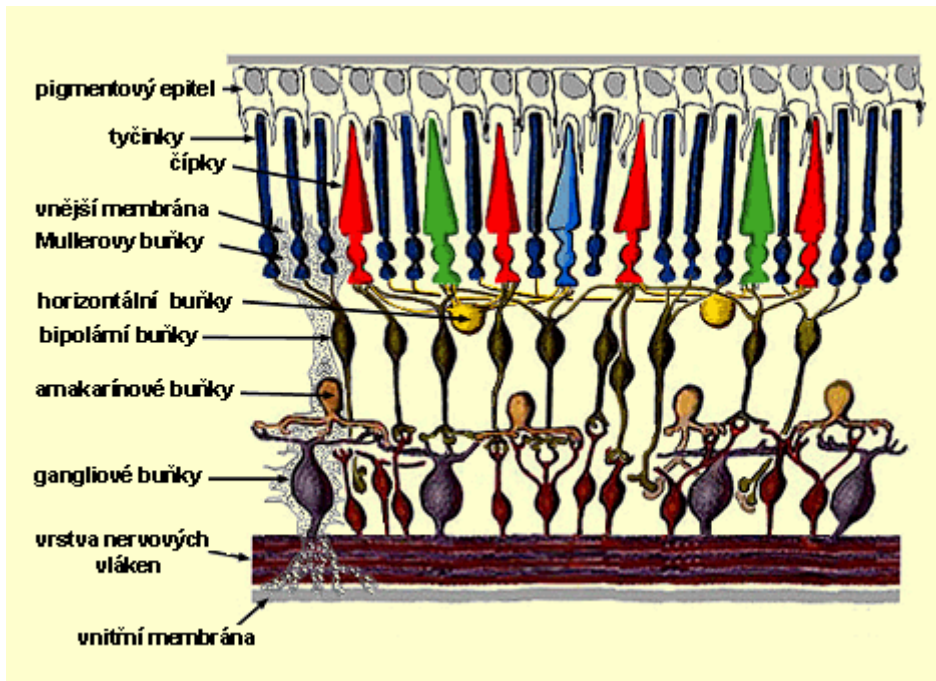
Vedle tohoto vertikálního spojení existuje i horizontální spojení, které zajišťují horizontální a amakrinní buňky mezi světločivými, bipolárními či gangliovými buňkami. [1,2]

2.3 HISTOLOGICKÁ STAVBA

Podle histologické skladby se sítnice skládá z deseti vrstev:

- **Jednovrstevný pigmentový epitel**
- **Zevní výběžky světločivých buněk** (tyčinek a čípků).
- **Membrana limitans externa** - která je tvořena tzv. dezmozomálními spoji odvozenými z Mullerových buněk. Mullerovi buňky se odvozují z glie a mají významnou podpůrnou roli ve stavbě sítnice. Jejich jádra jsou uložena většinou mezi bipolárními buňkami a jejich výběžky prostupují všemi vrstvami sítnice a spojují se v zevní a vnitřní hraniční membráně (lamina limitans externa et interna).
- **Zevní jádrová vrstva** – obsahuje jádra tyčinek a čípků.
- **Zevní plexiformní vrstva** (tzv. Henleyova vrstva vláken) – tvoří ji spoje mezi světločivými a bipolárními buňkami. V místě označovaném jako střední hraniční membrána dochází k synapsím čípků (pedikly) a tyčinek (sferuly) s bipolárními a horizontálními buňkami. Tato membrána je důležitá fyzikální bariéra pro exsudáty.
- **Vnitřní jádrová vrstva** – bohatě vaskularizovaná vrstva obsahující jádra bipolárních, amakrinních, horizontálních a Mullerových buněk.
- **Vnitřní plexiformní vrstva** – obsahuje axony bipolárních a amakrinních buněk, dendrity gangliových buněk a jejich synapse.
- **Vrstva gangliových buněk** – v makulární krajině je mnohovrstevná, ale ve většině periferie sítnice je tvořena jednou řadou buněk.

- **Vrstva nervových vláken** – je tvořena svazky nemyelinizovaných axonů gangliových buněk.
- **Membrana limitans interna** – skládá se z bazální membrány (modifikace povrchu sklivce a výběžků Mullerových buněk). [1,2]



Obrázek 1: Struktura sítnice

2.4 FOTORECEPTORY

Lidská sítnice obsahuje asi 5 milionů čípků a 140 milionů tyčinek, kdy hustota čípků je největší ve fovee (obsahuje asi 10% všech čípků), v makule jejich hustota rychle klesá a za jejími hranicemi je asymetrická - vyšší nazálně než temporálně. Přesněji je denzita čípků v centru asi $145\,000/\text{mm}^2$ a dále každých 10 stupňů excentricky klesá o $10\,000/\text{mm}^2$ až na hodnotu $8\,000/\text{mm}^2$ v periférii. Denzita tyčinek je maximální 18° nazálně a temporálně od fovey, kdy dosahuje hodnot $135\,000/\text{mm}^2$, klesá na $115\,000/\text{mm}^2$ ve 35° temporálně a 50° nazálně a v centrální sítnici se tyčinky již nenacházejí. Počet čípků se s věkem nemění, ale hustota tyčinek se snižuje o 30%. [3]

Tyčinky jsou fotoreceptory se schopností prostorového a časového rozlišení zrakových podnětů. Nerozeznávají barvy, jsou specializované pro vnímání světelných rozdílů i za velmi nízkých hladin osvětlení, kdy jsou mnohem citlivější než čípky (skotopické vidění), při normálním denním světle je jejich reakce nenasytlena. Velkou senzitivitu mají v modrozelené oblasti spektra. Čípky se uplatňují zejména za jasného světla a umožňují zrakovou ostrost a barevné vidění (fotopické vidění). [3]

Všechny fotoreceptory jsou tvořeny zevním segmentem, který obsahuje zrakový pigment, a vnitřním segmentem, v němž se uskutečňují metabolické procesy. Fotoreceptory se odlišují podle speciálních rysů, jako je tvar těchto segmentů, tvar synaptických zakončení nebo umístění jádra. Čípky se od vnitřního segmentu k zevnímu zužují, zatímco u tyčinek je zevní segment cylindrický. K synapsím mezi čípkem a jinou buňkou dochází prostřednictvím receptorového zakončení zvaného „pedicle“, u tyčinek je to „spherule“ a je menší. U člověka jsou také čípky masivnější než tyčinky. [3]

Vnitřní segment fotoreceptoru

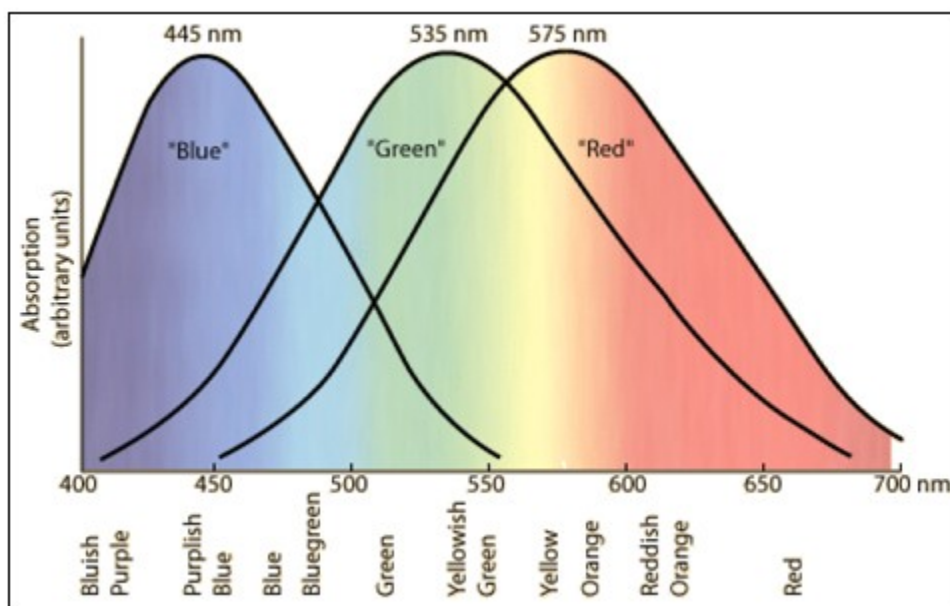
Probíhají zde oxidační pochody. Tvoří ho velké množství mitochondrií a tzv. myoid, který obsahuje Golgiho komplex, glykogen a ribozomy. [3]

Zevní segment fotoreceptoru

Tyčinky a čípky mají membranózní disky (duté terčíky), které jsou složeny z lipoproteinových membrán a obsahují pigmenty. Tato část zevních segmentů neustále dorůstá a je následně pohlcována buňkami retinálního pigmentového epitelu. Degradace a fagocytóza mají svůj denní rytmus – k fagocytóze disků tyčinek dochází ve dne, čípků v noci. Tyčinky obsahují pigment rodopsin, který je schopný zachytit fotony a způsobuje tak citlivost tyčinek na světlo (vrchol vlnové délky má kolem 500 nm). Rodopsin je tvořen dvěma částmi, jedna je retinal (absorbující světlo a chemicky příbuzný vitamínu A) a druhou částí je opsin. Pigmenty obsažené v buňkách čípku jsou rovněž složeny ze dvou částí. Světlo absorbující část se zdá podobná retinalu, senzitivita této molekuly na určitou vlnovou délku je ale určena specifickým druhem proteinu (opsinu), na který je vázán. Čípkové pigmenty absorbují maximálně v modré části spektra (asi 450 nm), zelené (asi 530 nm) a žluté (asi 565 nm) části. [3]

Čípky tedy dělíme na 3 typy podle fotopigmentu, který obsahují:

- **S-čípky**, citlivé na světlo krátkých vlnových délek s vrcholem asi kolem 445 nm (modrá)
- **M-čípky**, citlivé na světlo středních vlnových délek s vrcholem asi kolem 535 nm (zelená)
- **L-čípky**, citlivé na světlo dlouhých vlnových délek s vrcholem asi kolem 575 nm (červená) [4]



Obrázek 2: Spektrální citlivost lidského oka na světlo

Smícháním informací z čípků vzniká naše barevné vidění. Existence těchto tří rozdílných druhů čípků je důvod, proč je třeba pouze tří hlavních barev k vytvoření dalších viditelných barev spektra. [4]

2.5 MACULA LUTEA A FOVEA CENTRALIS

Macula lutea neboli žlutá skvrna je klinicky velice významná část v centrální oblasti sítnice. Tato oblast zadního pólu oka je více pigmentovaná a charakteristické žluté zabarvení dodává macule xantofyl obsažený ve vnitřních vrstvách sítnice. Macula lutea má průměr asi 5,5 mm a je histologicky charakterizována více

než jednou vrstvou gangliových buněk, zatímco periferní sítnice, která ji obklopuje, je tvořena pouze jednou vrstvou gangliových buněk. [1,2]

Významnou topografickou částí žluté skvrny je fovea centralis o průměru asi 1,5 mm a její vyhloubený střed foveola centralis o průměru asi 0,35 mm. Tloušťka sítnice ve fovea centralis progresivně klesá směrem k centru v důsledku ztráty vnitřních vrstev sítnice. Nejtenčí je sítnice v oblasti foveola centralis. Tato oblast je avaskulární, má průměr 400 - 500 mikrometrů a je vyživována difúzí z choriokapilaris. Skládá se z hustě nakupených čípků, kdy jednotlivé čípky mají své bipolární a gangliové buňky. Vzhledem k tomuto anatomickému uspořádání je foveola centralis místem nejostřejšího vidění a místem fixace. [1,2]

2.6 CÉVNÍ ZÁSOBENÍ SÍTNICE

Sítnice je vyživována ze dvou cévních systémů: Z retinálních a choroidálních cév, kdy oba tyto systémy pocházejí z a. ophthalmica, první větve vnitřní karotické arterie. Vnitřní vrstvy sítnice jsou vyživovány a. centralis retinae, která se větví ve vrstvě gangliových a bipolárních buněk. Fovea centralis vnitřní vrstvy sítnice postrádá, je tudíž avaskulární a výživa je zajištěna difúzí z choriokapilaris. Zevní vrstvy sítnice spolu s pigmentovým epitelem a fotoreceptory nemají vlastní kapiláry a jsou vyživovány z choriokapilaris. Hranicí mezi těmito dvěma systémy zásobování je zevní plexiformní vrstva. [1,2]

2.7 AFERENTNÍ ZRAKOVÝ SYSTÉM

Po vniknutí do oka procházejí světelné paprsky optickým systémem a dopadají na sítnici, kde vzniká inverzní a reverzní obraz. (Informace z horní části zorného pole se promítá na spodní část sítnice každého oka a naopak. Stejně tak pravá část zorného pole se promítá na levou polovinu sítnice a naopak.) Oblast sítnice s nejvyšší zrakovou ostrostí je fovea, zaznamenává oblast asi 1 - 2° ve středu zorného pole. Informace z tohoto centrálního fixačního bodu jsou vedeny asi polovinou vláken zrakového nervu do poloviny buněk primárního zrakového kortexu. Foveu obklopuje makula, oválná

oblast o velikosti asi 3 - 5 mm, která zobrazuje asi 5° ve středu zorného pole. Slepá skvrna se nachází asi 15° laterálně (temporálně) a níže směrem ke každému centrálnímu fixačnímu bodu každého oka a je to místo, které nemá žádné fotoreceptory, a vystupují zde nervové výběžky z celé sítnice a vytvářejí tak zrakový nerv. Toto místo označujeme také jako optický disk. Slepé skvrny obou očí se nepřekrývají, naše zrakové vnímání kompenzuje tuto skvrnu i při otevřeném jednom oku. Díky tomu si ji neuvědomujeme (pokud ji záměrně netestujeme) a nedochází tak k žádnému funkčnímu deficitu. [5]

Fotoreceptory obsažené v sítnici reagují na světlo ve svých receptivních polích a vytvářejí tak excitační nebo inhibiční synapse na bipolárních buňkách, které poté tvoří synapse s buňkami gangliovými. Informace se takto přenáší formou pasivního elektrického okruhu, nevznikají akční potenciály, komunikace mezi těmito buňkami je zajištěna pomocí synapsí, které v závislosti na potenciálu membrány uvolňují neurotransmitery. Vedle této přímé vertikální dráhy sítnicí popisujeme ještě interneurony, kam se řadí horizontální a amakrinní buňky. Tyto buňky mají laterální inhibitory a excitační spoje s okolními bipolárními a gangliovými buňkami a v důsledku těchto spojů mají bipolární a gangliové buňky receptivní pole s koncentrickým uspořádáním a fungují dvojím způsobem. Buňky mohou reagovat na světlo v centru svého receptivního pole a jsou inhibovány světlem v okolní oblasti nebo jsou naopak inhibovány světlem v centru a excitovány světlem v okolní oblasti. [5]

Gangliové buňky dělíme na dva typy: Buňky M, které mají větší receptivní pole a lépe tak reagují na silné podněty a pohyby, a početnější buňky P, které mají menší receptivní pole a reagují na drobné zrakové podněty a barvy. Buňky M vedou do magnocelulární vrstvy v CGL (corpus geniculatum laterale) a mají silnější vlákna, zatímco buňky P mají menší průměr vláken a směřují do parvocelulární vrstvy CGL. Oba typy těchto buněk mohou být s centrem-on tak i centrem-off. [5]

Axony gangliových buněk tvoří **zrakový nerv**, který prochází orbitálním apexem a optickým kanálkem kosti klínové do dutiny lebeční. Zrakový nerv (n.II.) měří asi 50 mm a můžeme jej anatomicky rozdělit na intraokulární, intraorbitální, intrakanalikulární a intrakraniální část. [5]

Vlákna n.II. se na spodině mozku sbíhají a částečně kříží v místě označovaném jako **chiasma opticum**. Je umístěno na diaphragma sellae nad hypofýzou. Vlákna z nazálních kvadrantů sítnice se zde kříží a procházejí do druhostranného optického

traktu, zatímco vlákna z temporálních částí sítnice se nekříží a procházejí laterálními částmi chiazmatu do stejnostranného optického traktu. [5]

Za chiazmatem pokračuje zrková dráha prostřednictvím **optických traktů**. Většina jejich vláken se zanořuje do mozkové tkáně a končí synapsí na neuronech v CGL. Pouze malá část těchto vláken obchází CGL a proniká do area preteectalis a colliculus superior, tyto oblasti jsou významné především při řízení zraku a pohybu očí směrem k podnětu. [5]

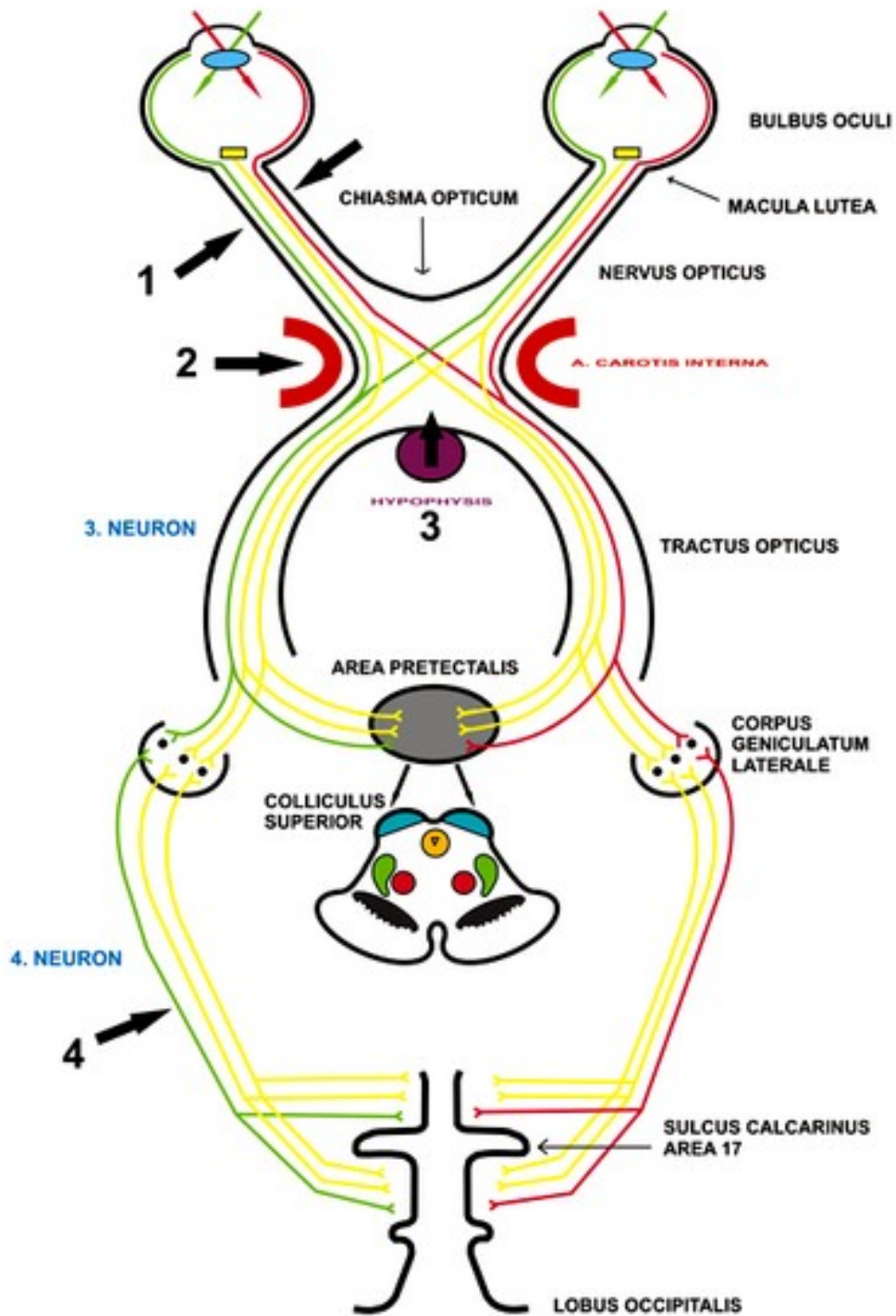
Corpus geniculatum laterale je párová struktura, která je složená z 6 vrstev. První dvě magnocelulární vrstvy přenášejí informace z M buněk sítnice a zbylé vrstvy přenášejí informace z P buněk. Informace z každého oka zůstává ještě stále oddělená i po průchodu CGL. Magnocelulární systém je zaměřen na percepci pohybu, nízkého kontrastu a dynamického tvaru. Parvocelulární systém je zodpovědný za vnímání barev a vysokého kontrastu. Pro přenos barev se uplatňují také intralaminární neurony. [5]

Optické radiace (Gratioletův svazek) tvoří vlákna vycházející z CGL, která procházejí kolem postranních komor parietálními a temporálními laloky do okcipitálního zrkového kortexu. Optickou radiaci tvoří dva svazky. Dolní je tvořen vlákny z gangliových buněk ze stejnostranných dolních částí sítnice a tvoří tzv. Meyerovu kličku v předním pólu temporálního laloku. Horní svazek je tvořen vlákny ze stejnostranných horních částí sítnice a prochází parietálním lalokem. [5]

Primární zrkový kortex (Brodmannova area 17) leží v okcipitálních lalocích nad a pod fissura calcarina. Nad fissura calcarina končí vlákna horního svazku optických radiací a dolní svazek končí pod fissura calcarina. Na zadním pólu zrkového kortexu končí vlákna pocházející z makul. Zastoupení makuly zabírá přibližně 50% primárního zrkového kortexu. [5]

Další zpracování zrkových informací probíhá v **asociační korové oblasti** (Brodmannova area 18 a 19), která se nachází v okolí primární zrkové oblasti. [5]

ZRAKOVÁ DRÁHA

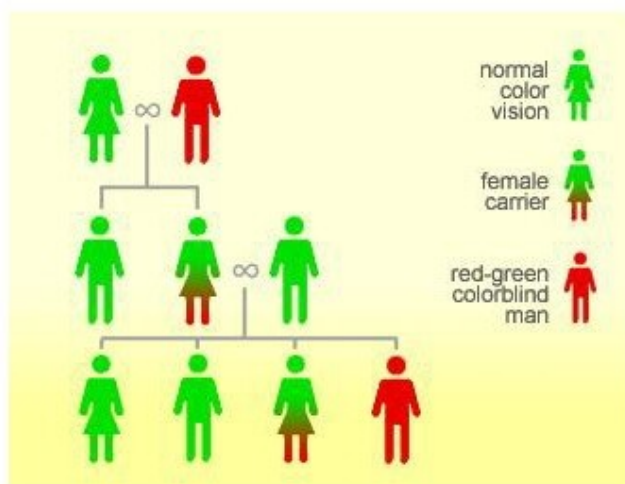


Obrázek 3: Zraková dráha

3 PORUCHY BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Stav, při kterém je porušeno vnímání barevných tónů nazýváme barvoslepost. Toto pojmenování však není zcela přesné, protože většina takto postižených lidí má poruchu pro vnímání pouze určitých barev, což znamená, že mají v určité míře barevné vidění zachováno. Při úplné barvosleposti nerozlišují žádnou z barev a vnímají okolní svět pouze v různých odstínech šedé. [6]

K vytvoření jakékoliv barvy spektra jsou nutné a zároveň postačitelé tři základní barvy (modrá, zelená a červená), jejichž poměr plynule měníme. Takto to vnímá člověk s normálním barvocitem, tzv. **normální trichromat**. Tito lidé tvoří asi 91,5% populace. Vrozené odchylky od tohoto stavu postihují asi 8,5% populace, kdy většinu postižených (8%) tvoří muži a jen malou část (0,5%) ženy. Je to vysvětleno tím, že vrozené poruchy barvocitu jsou dědičně recesivní poruchou vázanou na chromozom X. U žen dochází k poruše pouze v případě, že dojde k defektu na obou chromozomech. Muži mají pouze jeden chromozom X, a tak jeho případný defekt nelze kompenzovat genetickou informací z druhého chromozomu, jako je tomu v případě žen. Z toho vyplývá, že ženy fungují jako přenašečky (konduktorky) a jsou postiženy jen zcela výjimečně. [6,7]



Obrázek 4: Dědičnost přenosu vrozených poruch barvocitu

Zvláštním případem jsou lidé s tritanopií nebo tritanomalií, kde jsou zasaženi muži i ženy stejně, protože postižený gen leží na sedmém autozomu. [5]

Z průzkumů také vyplývá, že nejvíce se poruchy barvocitu vyskytují u bělochů a nejméně u černochoů, což je způsobeno predispozicí pro genetickou poruchu na chromozomu X. [6]

Lidé s vrozenou poruchou barvocitu použijí k míchání podle barevného vzoru sice také tři barvy, ale v nepoměru. Nazýváme je **anomální trichromati** a je to porucha, se kterou se setkáváme nejčastěji. Lidem, označovaným jako **dichromati**, postačí k namíchání podle barevného vzoru pouze dvě barvy. A poslední skupinou jsou úplně barvoslepi lidé, označovaní jako **monochromati**. [6,7]

3.1 VROZENÉ PORUCHY

Vrozené neboli hereditární poruchy představují asi 99% z celkového počtu postižených. Jedná se o defekty, pro které neexistuje žádná léčba, ale v dnešní době je už možné je do určité míry korigovat optickými pomůckami. Podle stupně poruchy je můžeme rozdělit na anomální trichromazii, dichromazii a monochromazii. Vrozené poruchy barvocitu jsou nejčastěji spojeny s červenou a zelenou barvou. [6,7]

3.1.1 ANOMÁLNÍ TRICHROMAZIE

S touto poruchou se setkáváme velmi často. Vnímání barev nechybí, ale je anomální a dochází ke snížení vnímání jedné ze základních barev. V sítnici se nachází všechny tři druhy čípků, ale jeden druh funguje nedokonale a vytváří barevný vjem v jiném poměru, než je tomu v případě normálního trichromata. Anomální trichromazii rozdělujeme podle toho, jaká barva je chybně vnímána. Protanomálie je porucha vnímání červené barvy a postihuje přibližně 1% mužů. Deuteranomálie postihuje asi 4,5% mužů a je to porucha vnímání zelené barvy a velmi vzácná a téměř se nevyskytující tritanomálie je porucha pro vnímání modré barvy. Pokud tedy dáme za úkol smísit ze dvou barevných světél jedno podle vzoru, bude protanomál dávat nadměrně červené a deuteranomál nadměrně zelené. [6,8]

3.1.2 DICHROMAZIE

Je to nejčastější typ vrozené poruchy barvocitu. Je to stav, kdy jedna ze tří základních barev není rozlišována. Dichromati mají pouze dva funkční typy čípků a z informací z těchto dvou čípků se snaží vytvářet všechny barvy. [6,7]

Existuje u nich ve spektru místo, tzv. neutrální bod, kde smísením dvou barev je vidět barvu bílou. U protanopů leží tento bod ve spektru u 495 nm a u deuteranopů u 500 nm. [10]

Některé barvy dokáží rozlišit bez problému správně, jiné vidí v odstínech hnědé. Orientace v barvách není podle tónů, ale podle jasu jednotlivých barevných odstínů. Opět rozdělujeme podle toho jaká barva ze základních tří je postižena s tím rozdílem, že používáme příponu –anopia. Protanopia je tedy neschopnost vidět červenou, deuteranopia zelenou a tritanopia modrou barvu. [6,7]

3.1.3 MONOCHROMAZIE

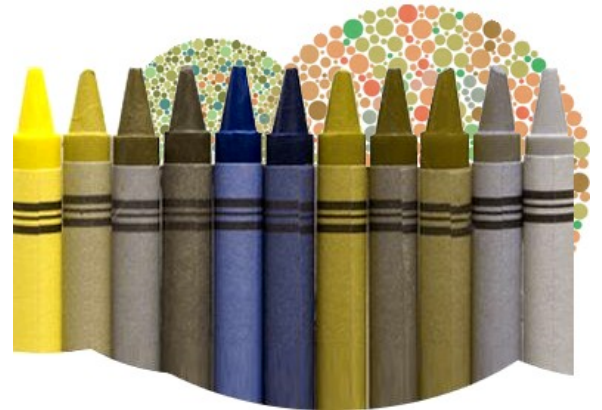
Monochromazie je funkční porucha, při které člověk nerozlišuje žádnou barvu. Pouze v tomto případě tedy můžeme hovořit o úplné barvosleposti. Tento typ je velmi vzácný a většinou se jedná o poruchu čípků, které nejsou v sítnici přítomny. Takto postižený člověk rozlišuje barevné předměty jen podle jasu, podobně jako na černobílé fotografii. S monochromazií je spojena i řada dalších poruch zraku. Centrální ostrost je řádově snížena na 6/60 a nelze zlepšit brýlemi nebo kontaktními čočkami. Vyskytuje se také fotofobie, vysoký astigmatismus a nystagmus (nekontrolovatelné rytmické pohyby očí). [6,7]

Pro přehlednost uvedu rozdělení vrozených poruch barevného vidění ještě jednou:

- Anomální trichromazie
 - Protanomálie
 - Deuteranomálie
 - Tritanomálie
- Dichromazie
 - Protanopia
 - Deuteranopia
 - Tritanopia
- Monochromazie



Obrázek 5: Normální trichromazie



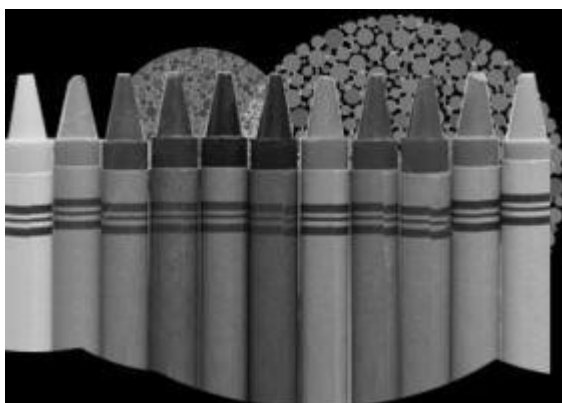
Obrázek 6: Protanopie



Obrázek 7: Deuteranopie



Obrázek 8: Tritanopie



Obrázek 9: Monochromazie

3.2 ZÍSKANÉ PORUCHY

Získané poruchy barvocitu jsou často monokulární nebo se týkají jen některého sektoru zorného pole jednoho, popřípadě obou očí (centrální skotom pro červenou barvu, homonymní hemiachromatopsie). Pacient si sám těchto výpadů nebývá vědom, protože ve většině případů nebývají provázeny snížením zrakové ostrosti. Výpady lze snadno prokázat orientačním testem pro relativní výpad ZP. Příčinou centrálního skotomu pro červenou barvu jsou zánětlivé, útlakové či degenerativní afekce periferní zrakové dráhy, tj. neuritidy, toxické léze, útlak způsobený nádorem. Pokud není včas diagnostikován při kinetickém vyšetření ZP, může se postupně prohlubovat až v absolutní skotom s poruchou vízu. Homonymní hemiachromatopsie vzniká většinou jako následek oběhových poruch radiace. [8]

Barvocit může být také ovlivněn filtračním efektem optických médií (nejčastěji katarakta), který ovlivňuje především vnímání modré a žluté složky spektra. Zhoršené vnímání modrozluté složky je také následek afekcí sítnice a porucha vnímání červenozelené složky je následek postižení zrakové dráhy. Změny v rozsahu zorného pole pro barvy se vyskytují také u zeleného zákalu. [9]

Poruchy barvocitu se mohou objevit i jako následek celkových onemocnění, např. u horečnatých chorob, jaterního poškození, intoxikací. [7]

Zvláštní skupinu získaných poruch barvocitu tvoří tzv. **chromatopsie** (barevné vidy). Jsou zpravidla přechodného rázu, vyvolávají je některá farmaka nebo choroby a pacient při nich vnímá bílé světlo s barevnou složkou. Patří sem erytropsie (červené vidění), která vzniká při oslnění oka světlem, zejména při afakii, ale také při otravách skopolaminem, nikotinem, chininem nebo sirouhlíkem. Dále xantopsie (žlutavé vidění), které se objevuje při žloutence, po santoninu, kyselině pikrové, salycilu, amylnitritu. A vzácněji se vyskytují i chloropsie (zelené vidění), kyanopsie (modré vidění) a iantiopsie (fialové vidění). [9]

3.3 VLIV PORUCH BAREVNÉHO VIDĚNÍ NA KAŽDODENNÍ ŽIVOT

Všichni lidé s abnormálním barevným viděním, kromě skupin postižených mírnou deuteranomálií, vnímají, že se jim tato vada promítá do každodenního života. V naší moderní době, která je charakterizována velkým technickým pokrokem, příchodem levného barevného tisku a přijetím barevných počítačových monitorů a televizí se lidé s poruchami barvocitu setkávají s barevnými stimuly mnohem více, než tomu bylo v minulosti. Barva se stává důležitou hodnotou v našem praktickém životě. V některých případech dostává specifický význam, především tehdy, kdy je použita jako kód (např. semaforey v dopravě, výstražná světla, barevné odlišení různých elektrických součástek apod.). Lidé s poruchou barevného vidění narážejí na problémy v nejrůznějších situacích, samozřejmě záleží na typu poruchy, kterou trpí. Je pro ně obtížné posoudit zralost ovoce. Odhadnout, zda je podle barvy maso již uvařené. Také orientace v mapách, kdy nám barva podává informace o komplexním uspořádání ale i o typu terénu, třídě silnice nebo hloubky vodních ploch. Stejně tak je obtížné rozlišit barvy a utřídit si tak informace v grafech a diagramech na barevných počítačových monitorech. Barevně rozlišená důležitá hesla v textu, která mají tendenci vystupovat v komplexním vizuálním prostředí, pro tyto osoby také nepředstavují usnadnění při hledání informací. Barevné rozlišení povrchu se používá jako pomocný diferenciální znak, vedle alfanumerického nebo symbolického označení. Jsou ale i případy, kdy je barevný povrch jediným primárním znakem orientace. Týká se to např. elektrických drátů, kódů označujících hodnoty odporů rezistorů a kondenzátorů, skladovacích kontejnerů, uzávěrů na plynových lahvích apod. Tito lidé jsou také

nespolehliví při přiřazování objektů k barvám, takže instrukce typu: „Moje auto je to červené.“ nebo „ Dej to do žluté složky.“ nebudou schopni splnit, protože většina barev pro ně vypadá stejně. [12]

Barvy se také používají jako didaktický nástroj ve školkách nebo ve škole, zejména neformálně jako identifikátor nebo prostředek k seskupení objektů nebo myšlenek. Je tedy pravděpodobné, že děti s poruchou barvocitu mohou mít problémy, které ovlivní jejich učení. [12]

Důležitou roli hraje barva také u sportu, kde má za úkol vyznačit a odlišit: hráči oblékají barevné dresy, kulečnickové koule jsou barevně odlišené, barevné čáry vyznačují hřiště, signální vlajky, apod. Problémem také může být barva kriketového nebo golfového míčku, který může se svou červenou barvou zanikat v okolí (zelená tráva). [12]

3.4 PORUCHY BARVOCITU A POVOLÁNÍ

V neposlední řadě je člověk s touto poruchou omezen při výběru povolání. Jsou profese, kde se dobrý barvocit vyžaduje. Týká se to především dopravy, kdy by člověk s poruchou barvocitu mohl narušit bezpečnost nejenom svou, ale i dalších lidí. Zároveň by ale nemělo docházet k diskriminaci při výběrovém řízení a měly by být zachovány rovnocenné podmínky pro všechny uchazeče (pokud se jedná o profesi, kde perfektní barvocit není vyžadován). [12]

Umělci, designéři, malíři a všeobecně lidé pracující v grafickém, tiskařském a textilním průmyslu by měli mít neporušený barvocit. Týká se to také technicky zaměřených profesí (jako jsou mechanici, optici, apod.) a chemického průmyslu, kdy je u mnoha chemických reakcí důležité rozpoznat barevné změny označující chemickou přeměnu. Problémy mohou nastat i u lidí pracujících ve zdravotnictví. Lékaři s poruchou barvocitu mohou obtížněji diagnostikovat příznaky, jako je bledost, zarudnutí, žloutenka, cyanóza (modravé zbarvení kůže a sliznic, které se objevuje při nedostatečném okysličení krve v daném místě), přítomnost krve v tělních tekutinách a také mohou hůře vyhodnocovat histologické výsledky nebo barevné fotografie hodnotící klinický stav pacienta. [12]

U těchto zmíněných povolání, zejména u lékařů, je diskutabilní, na kolik jejich porucha barvocitu ovlivňuje pravděpodobnost a závažnost nepříznivých výsledků jejich zdravotní péče. [12]

3.4.1 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. Žadatel, u kterého se prokáže, že trpí závažnou poruchou barvocitu v oblasti základních barev, není schopen bezpečného provozu na silnicích a vydání řidičského průkazu mu nebude dovoleno. [13]

Samotné testování barvocitu se provádí v rozmezí 380 - 760 nm a to pomocí pseudoizochromatických tabulek, anomaloskopu, používá se také Farnsworthův a Munsellův 100-hue-test (popřípadě Lanthonyho 40-hue-test – na stejném principu 40 terčů), Holmgrenovy bavlnky nebo Worthova světla (rozlišování barevných signálů). [14]

3.4.2 SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŽELEZNIČNÍ DOPRAVĚ

U fyzických osob řídících drážní vozidlo a uchazečů 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 je podle vyhlášky Ministerstva Dopravy č. 101/1995 Sb. nutná zkouška barvocitu (pomocí pseudoizochromatických tabulek). Jakákoliv porucha barvocitu je překážkou v plnění této profese. [15]

Existuje také přístroj ke zkoušení barvocitu, který je určen ke zjišťování schopnosti rozeznávat barevná signalizační světla na návěstidlech. J. Netušil na něj dostal čs. patent. „Princip přístroje spočívá v tom, že se k barevnému světlu v přístroji plynule přidává bílé světlo, čímž se snižuje sytost barevného světla, které se obtížněji rozeznává. Přístroj má tvar skříňky, která na bočních stěnách přechází ve válcová

pouzdra, ve kterých se nachází tři žárovky s červeným, zeleným a žlutým filtrem a jedna žárovka s clonou (pro bílé světlo). Tyto světla můžeme v libovolném pořadí zapínat tlačítky, která jsou na zadní stěně přístroje. Barevnými světly se osvětluje vnitřní prostor skříňky, který vyšetřovaná osoba pozoruje okénkem v přední stěně. Zde je také umístěno točítka, kterým se ovládá clona pro bílé světlo. Při zkoušce sleduje vyšetřovaná osoba pozorovací okénko ze vzdálenosti dvou až tří metrů. Zkoušející tlačítka střídavě rozsvěcuje jednotlivá barevná světla, pokud vyšetřovaný udává správné barvy, zapne vyšetřující žárovku pro bílé světlo, a zase zapíná střídavě barevná světla. Plynulým otáčením clony k nim přidává stále větší podíl bílého světla a snižuje tak jejich sytost. Při určitém otevření clony začne vyšetřovaný udávat nesprávné barvy. Měřítkem barvocitu vyšetřovaného z hlediska rozlišování dopravních návěstí je číslo na stupnici točítka ovládajícího clonu. Barvocit uchazeče o řídičské oprávnění je vyhovující, pokud rozlišuje tři barvy při otevření clony na číslo čtyři. Jestliže vyšetřovaná osoba rozlišuje barvy ještě při vyšších číslech (více otevřená clona), lze usuzovat, že barevné návěstí bude rozeznávat i v nepříznivých atmosférických podmínkách (mlha, déšť).“ [16]

3.4.3 SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V ŘÍČNÍ DOPRAVĚ

Pracovníci říční plavby jsou zdravotně způsobilí k výkonu své práce na plavidlech vnitrozemské říční plavby, jestliže splňují tyto požadavky na barvocit, stanovené ve směrnici ministerstva zdravotnictví (PP-265-20.11.67) ze dne 16. prosince 1967:

„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.“ [17]

3.4.4 SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA BARVOCIT V LETECKÉ DOPRAVĚ

Žadatel o a držitel průkazu způsobilosti 1. třídy (obchodní nebo dopravní pilot letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku, pilot ve vícečlenné posádce letounu), 2. třídy (letecký navigátor, palubní inženýr, pilot kluzáků, palubní průvodčí, pilot volných balonů, soukromý pilot letounů, vzducholodí, vrtulníků a letadel s pohonem vztlaku) a 3. třídy (řídící letového provozu) musí prokázat schopnost snadno rozeznávat barvy, které jsou pro výkon této profese nezbytné. [18]

„Žadatel musí prokázat schopnost správně identifikovat sérii pseudoisochromatických 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).“ [18]

„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.“ [18]

4 VYŠETŘOVACÍ METODY PORUCH BARVOCITU

První vědec, který se začal zajímat o poruchy barevného vidění na akademické úrovni, byl John Dalton. Narodil se 6. září 1766 v Eaglesfieldu, v Anglii a zemřel 27. června 1844 v Manchesteru. On sám trpěl poruchou barevného vidění v červeno-zelené oblasti, přesněji deuteranopií, což se později genetickou analýzou jeho konzervovaných očí prokázalo. Dalton ve svých pamětech popisuje, že červená, oranžová, žlutá a zelená barva se mu zdají stejné a zbytek barevného spektra se mu jeví jako modrá, postupně se měnící fialová barva. Dalton si toto změněné vnímání barev vysvětloval odbarvenou nitrooční komorovou vodou (Aqueous humour). Měl teorii, že jeho komorová voda je namodralá, a proto odfiltrává barvy a on je pak vnímá zkresleně. Jedna z jeho posledních vůli byla, aby po jeho smrti byla provedena pitva jeho očí, kde se ale namodráání komorové tekutiny neprokázalo. Během svého života prováděl výzkumy nejen na sobě samém, ale i na ostatních lidech a to pomocí několika barevných stuh, které měli lidé správně pojmenovávat. Dalo by se říci, že šlo o první testy barevného vidění, ačkoliv nesprávné určení barvy se tehdy připisovalo jednoduše k subjektivnímu vnímání. Své výzkumy týkající se poruch barevného vidění publikoval v roce 1793 ve svém slavném díle „Extraordinary facts relating to the vision of colours.“ [19]

V roce 1837 August Seebeck použil vyspělejší techniku testování. Použil set více než 300 barevných papírů a nechal testované osoby vyhledávat a přiřazovat k sobě barvy, které nejlépe odpovídají danému barevnému vzoru. Prostřednictvím tohoto testu byly objeveny dva typy poruchy v červeno-zelené oblasti různé závažnosti. Holmgreen v roce 1877 převzal tento typ testování, pouze s tím rozdílem, že místo papírů použil přádénka vlny. Jeho test byl široce používán a dokonce i komerčně dostupnější než o sto let později. [20]

John William Strutt Rayleigh vymyslel způsob přesného testování barevného vidění, který se stal základem pro dnešní moderní anomaloskopy (užívají tzv. Rayleighovu rovnici) a také díky nim objevil dichromazii a anomální trichromazii. [20]

Zhruba ve stejné době publikoval Dr.J.Spilling první malovanou sadu pseudoizochromatických desek, předchůdce slavných Ishihara desek, které byly poprvé vyrobeny v roce 1917. [20]

4.1 KLASIFIKACE

Různorodost a počet klinických testů, které byly vypracovány a zveřejněny v průběhu let je velký. Ne všechny jsou ale v dnešní době stále komerčně dostupné nebo používané v běžné praxi. Obecně můžeme testy na vyšetřování barevného vidění rozdělit do tří kategorií:

- Screening na přítomnost vrozené nebo získané poruchy barevného vidění.
- Diagnóza typu a stupně závažnosti poruchy.
- Posouzení závažnosti poruchy barevného vidění v určitém zaměstnání, dopravě. [20]

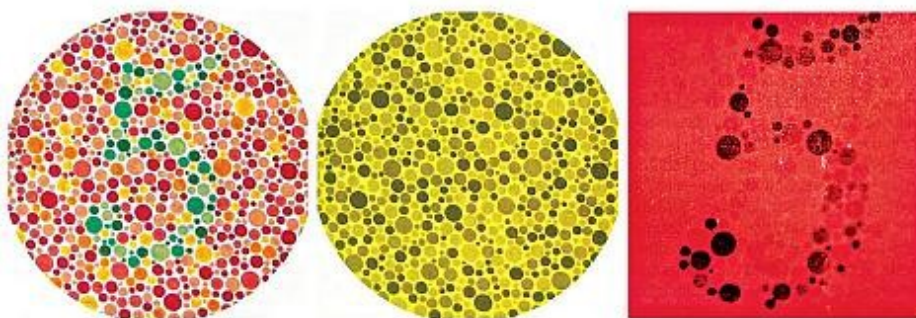
Podle různých forem zpracování testů je můžeme rozdělit na 4 skupiny:

- **Pseudoizochromatické tabulky**, kde vyšetřovaný rozpoznává číslo (ve většině případů), písmeno nebo geometrický tvar vložený do barevného pozadí.
- **Testy barevné preference**, kdy vyšetřovaný seřazuje sadu barev do správného pořadí na základě odstínu (nejčastěji) nebo do barevných skupin podle nějakého daného znaku.
- **Testy založené na principu míšení barev**, kdy vyšetřovaný míchá dvě barvy tak, dokud neodpovídají barevnému vzoru, nebo vybírá nejlépe odpovídající možnost z nabízených variant.
- **Pojmenovávací testy**, kdy vyšetřovaný musí správně pojmenovat barvu, nebo správně reagovat na barevný impulz, bez nutného pojmenování barvy. (impulz jako stop, semafor, apod.) [20]

Během let testování barevného vidění a podle několika výzkumů je jasné, že použití pouze jednoho testu pro určení poruchy je nedostačující. Pro plné a jednoznačné určení poruchy je optimální použít několik testů na vyšetřovaném. Pokud se jedná o testování, kdy je nutné rozhodnout, zda se jedná např. o protanopii/deutanopii nebo zda je vyšetřovaný vhodný/nehodný pro vykonávání určité profese, jeden test může stačit. [20]

4.2 PSEUDOIZOCHROMATICKÉ TABULKY

Existuje několik variant těchto testů, které jsou obecně konstruovány tak, že je objekt vymezen od pozadí odlišnou barvou, ale jejich jas je stejný. Objektem může být číslo, písmeno, geometrický symbol, nebo optotypy (Landoltovy prstence, Pflügerovy háky). [20]



Obrázek 10: Ukázky pseudoizochromatických tabulek

Můžeme je typově rozdělit na:

- **Testy odhalující simulanty** - v tomto případě je objekt od pozadí odlišen výrazným jasovým kontrastem, takže barevné vidění není nutné pro správnou odpověď.
- **Testy s tzv. mizícími objekty** - objekt je barevně odlišen od pozadí, ale nebude pravděpodobně rozlišen protanopy ani deuteranopy, kvůli použitým barvám.
- **Nejednoznačné testy** - jsou konstruovány tak, že objekty jsou vytvořeny z barev, které splývají ale i nesplývají s pozadím, takže člověk s poruchou barvocitu vždy něco rozliší a my máme jistotu, že testu rozumí.
- **Kombinované testy** - v těchto testech jsou začleněny dva objekty, jeden mizející, takže člověk s neporušeným barevným viděním bude mít dvě odpovědi a člověk s poruchou pouze jednu.

- **Diagnostické testy** - obsahují dva objekty. Jeden vytvořen tak, aby mátl protanopy a druhý tak, aby mátl zase deuteranopy.
- **Kvantitativní testy** - většinou tvoří řadu obrázků s rostoucím rozdílem barev.
- **Skryté testy** - jsou designovány tak, aby je rozlišili pouze lidé s poruchou barvocitu. Objekty i pozadí jsou vytvořeny z několika barev. [20]

Během let bylo vytvořeno mnoho variant těchto testů, některé byly přijaty lépe než jiné, některé se nerozšířili mimo zemi svého vzniku a některé již nejsou komerčně dostupné. [20]

Z testů, které se používají dnes a jsou dostupné, je třeba zmínit:

4.2.1 ISHIHARA'S TEST

Poprvé byly publikovány v roce 1906 a jsou to první komerčně produkováné pseudoizochromatické testy. Jsou nejčastěji používány a byly vytvořeny již v několika edicích. Objekty jsou vloženy v pozadí tvořeném z různě velkých bodů. Dostupné jsou sady po 38- a 24- obrázků a existují také speciální dětské verze s písmeny místo čísel. [20]

4.2.2 AMERICAN OPTICAL HARDY-RAND-RITTLER PLATES

Byly poprvé publikovány Richmond products v roce 1955 a dočkaly se velmi dobrého přijetí a vytvoření několika dalších edicí v průběhu let. [20]

4.2.3 STANDART PSEUDOISOCROMATIC PLATES

Tyto testy byly publikovány ve dvou svazcích. První je designován pro vyšetřování poruch barvocitu v červeno-zelené oblasti spektra a je svou specifičností a senzitivitou velmi podobný testům Ishihara. Je těžko dostupný, což je ale výhoda, protože je v podstatě nesehnatelný pro lidi s poruchou barvocitu, kteří se snaží projít testem s pomocí zapamatování výsledků. [20]

Druhý svazek je speciálně konstruován pro získané poruchy barevného vidění. Mají stejný fyzický vzhled jako první svazek, ale jsou kolorimetricky navrženy pro vyšetřování červeno-zelených, modro-žlutých a skotopických získaných poruch barevného vidění. Je také vhodný pro vyšetřování vrozených poruch barevného vidění. [20]

4.2.4 COLOUR VISION TESTING MADE EASY

Tyto testy jsou určeny pro vyšetřování dětí. První sada obsahuje jednoduché symboly (čtverec, kolečko, hvězda) a druhá sada obsahuje kognitivně složitější symboly (plující loď, balón, pes), kdy je dítě rozpoznává ukázáním správného symbolu na černobílém vzoru. [20]

4.3 TESTY BAREVNÉ PREFERENCE

V těchto testech má vyšetřovaný za úkol seřadit barvy do posloupnosti (většinou dle jasů) nebo do skupin (většinou šedé versus barevné odstíny). [20]

4.3.1 FARNSWORTH MUNSELL 100 HUE TEST

Byl vytvořen Farnsworthem kolem roku 1940 společně s dalšími třídícími testy jako je Panel D-15, B-20 a H-16. V tomto testu mají barvy stejné tzv. Munsell chroma a Munsell value a odlišují se pouze Munsell hue (jasem). V tzv. Munsell systému je použito 5 jasů: red (R), yellow (Y), green (G), blue (B), purple (P). [20]

Test tvoří 85 barevných terčů uložených do 4 oddílů. Vyšetřovaný má za úkol tyto terče seřazovat od červené k modré barvě tak, aby mezi dvěma sousedními byl co nejmenší rozdíl. Test se poté vyhodnocuje na kruhovém vyšetřovacím schématu a pomocí výpočtu chybového skóre pro každý barevný terč. [21]



Obrázek 11: Farnsworth Munsell 100 hue test

Tento test je velmi vhodný pro hodnocení a sledování získaných poruch barevného vidění, a zároveň je ideální pro posouzení barevného vidění u profesí, kde je vyžadován perfektní barvocit. Nevýhodou testu je, že jeho použití je podmíněno věkem vyšetřovaného a doporučuje se věková hranice nejméně 20 let. V mladším věku musíme počítat se sníženou výkonností, která je způsobena pozdějším vývojem modro-žlutého systému. U starších lidí se zase projeví snížená výkonnost a vyšší chybnost způsobená zežloutnutím oční čočky. [20]

4.3.2 LANTHONY NEW COLOUR TEST

Původně byl vytvořen Lanthonym pro použití u získaných poruch, ale může být také použit pro hodnocení vrozených poruch barvocitu. Test je rozdělen do 4 skupin dle obtížnosti a je kombinací seřadování dle jasů, oddělování barevných odstínů od šedých a uspořádání šedých odstínů dle odrazivosti. Může být používán i u dětí. [20]

4.4 TESTY ZALOŽENÉ NA PRINCIPU MÍŠENÍ BAREV - ANOMALOSKOP

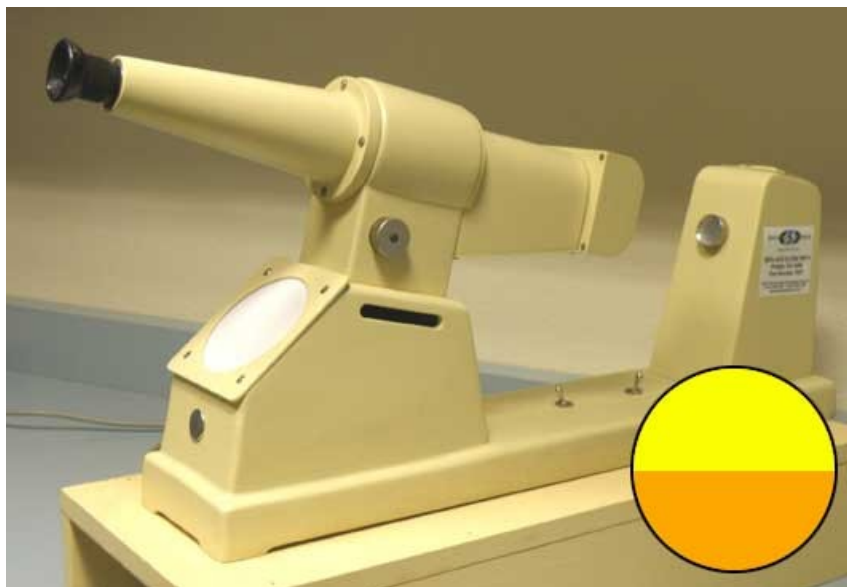
Tento spektrální přístroj nám poskytuje nejpřesnější možnost vyšetření závažnosti poruch barevného vidění a s jeho pomocí můžeme rozlišit, zda se jedná o dichromazii nebo anomální trichromazii či protanopii nebo deuteranopii. [20]

Anomaloskop funguje na základě tzv. **Rayleighovy rovnice**:

$$\text{Red} + \text{Green} = \text{Yellow}$$

$$(670,8 \text{ nm} + 546 \text{ nm} = 589,8 \text{ nm u Nagelova anomaloskopu}) [20]$$

Okulár tohoto přístroje je rozdělen na dvě části. V jedné části světelného pole svítí stabilně čistá sodíková žlut', což je předloha, podle které se snaží vyšetřovaný namíchat druhé světelné pole, a to aditivním míšením spektrální červeně a zeleně za pomoci dvou šroubů. Cílem je dosáhnout stejné žluté barvy v obou polích. Pokud vyšetřovaný trpí protanopií, bude přidávat více červené. Naopak u deuteranopie bude přidávat více zelené barvy. [21]



Obrázek 12: Nagelův anomaloskop

Existují i anomaloskopy, které slouží k vyšetřování tritanopie. Fungují na principu tzv. **Morelandovy rovnice**:

$$\text{Blue (436 nm) + green (490 nm) = blue-green (480 nm + 580 nm) [20]}$$

Nejznámějším představitelem této skupiny je Nagelův anomaloskop. Byl představen v roce 1907 a je považován za nejlepší, ale bohužel se již nevyrábí. Dalšími zástupci jsou Neitzův anomaloskop, HMC (Heidelberg Multi Color) anomaloskop, Pickford-Nicolsonův anomaloskop. [20]

4.5 KOREKCE PORUCH BARVOCITU

Léčba vrozených poruch barvocitu není v současné době možná. Pomocí různých barevných filtrů však lze změnit barevné vidění u osob trpících touto poruchou, a zároveň lze i pozitivně ovlivnit dyslexii (porucha čtení). Hlavní použití barevných filtrů je omezeno na protanomálii (potíže s vnímáním červené) a deuteranomálii (potíže s vnímáním zelené). Tyto barevné filtry fungují na základě dvou principů, prvním je posun spektrální citlivosti anomálního opsinu na jeho normální správnou pozici a druhým principem je ovlivnění velkých gangliových buněk zrakového nervu. [10]

4.5.1 POSUN ABSORPČNÍCH KŘIVEK OPSINU

Spektrální složení světla přicházejícího do sítnice se na cestě přes rohovku, čočku a lutein v makule mění. Různé zákaly v čočce a zvláštnosti pigmentace makuly mohou ovlivnit spektrální složení tohoto světla, a tak i samotné barevné vnímání. Právě tato schopnost změny absorpčních vlastností opsinu je základním předpokladem účinnosti barevných filtrů. Pro všechny vlnové délky tří typů opsinů se změní výška absorpce a to v závislosti na propustnosti filtrů, poloha absorpčního maxima zůstane stejná. Tento způsob korekce může být úspěšný pouze v případě, že bude absorpční křivka anomálního opsinu posunutá a současně normální opsin nebude ovlivněn změnou spektra způsobenou filtrem. Ve skutečnosti však i normální opsiny zasáhne

takto změněné světlo, avšak díky procesu barevné adaptace mozku je vnímání jedné barvy nezávislé na počtu absorbovaných fotonů. [10]

4.5.2 OVLIVNĚNÍ VELKÝCH GANGLIOVÝCH M- BUNĚK

Velké gangliové buňky jsou pravděpodobně odpovědné za potíže se čtením (dyslexii), tuto poruchu můžeme pomocí barevných filtrů zmírnit. Velké gangliové buňky nemají barevnou citlivost, změněné barvy nejsou těmito buňkami registrovány. Vyznačují se ale vysokou citlivostí na světlo a slouží spíše k rozeznávání hrubých forem než k vidění drobných detailů. Použitím barevných filtrů se na sítnici dostane méně světla a výsledný obraz bude tmavší, což prodlouží čas mezi absorpcí světla sítnicí a zpracováním vjemu mozkiem (tzv. latentní čas). Tímto způsobem se mohou vylepšit čtecí a psací schopnosti u lidí s dyslexií. [10]

4.5.3 CHROMAGEN

Korekce těchto vad se provádí buď binokulárně, kdy je použitím filtrů ovlivněno barevné vidění obou očí a mozek dostává z obou očí stejné stimuly, nebo monokulárně. Nejznámějším monokulárním způsobem léčby jsou barevné kontaktní čočky nebo brýlová skla ChromaGen. [10]

Je to systém 8 barevných haploskopických filtrů o známé sytosti a barevném odstínu, u kterých bylo prokázáno zlepšení stavu u osob trpících poruchami barevného vidění, dyslexií, dyspraxií (vývojová porucha motorických funkcí u dítěte s inteligencí průměrnou a vyšší) a migrénami.[11]

Jedna kontaktní čočka (dioptrické sklo), u které se vybere optimální barva, se aplikuje na nedominantní oko. Sítnicový obraz se tak stává tmavším, zpracování obrazu je pomalejší a díky tomu jsou pohyblivé objekty viděny s jiným prostorovým vjemem. Je to tzv. „Pulfrichův fenomén“, díky kterému takto léčení pacienti popisují nejenom zlepšení barevného vnímání, ale i prostorového vidění. [10]



Obrázek 13: ChromaGen barevné filtry

Ověřením, zda je korekce pomocí barevných filtrů úspěšná, je kontrola barvocitu pomocí barevných tabulek. Je třeba dát pozor na to, že testy barevné citlivosti by se měly provádět monokulárně. Vnímání barev je monokulární fenomén, barvy jsou vypočteny z rozdílu výstupů signálů čípků jedné sítnice a ne z rozdílu signálu obou očí. Při vrozených poruchách barvocitu mohou být oči postiženy rozdílně, proto u monokulární korekce je binokulární zkouška barvocitu chybná. [10]

Je jisté, že použitím barevných filtrů se změní vnímání barev. Je však zpochybnitelné, jestli se důsledkem těchto subjektivních změn barevného vnímání změní i barvocit. Barevné filtry mění spektrum světla a vyvolávají tím uměle získanou poruchu barvocitu (absorpčního typu podle Krieseho), které se s tou původní poruchou překryje. Tyto filtry tak v žádném případě nepomohou v profesích, kde je vyžadován bezchybný barvocit (např. z bezpečnostních důvodů). [10]

PRAKTICKÁ ČÁST

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části této práce se věnuji vyšetřování barvocitu a porovnávání vzniklých výsledků. Cílem tohoto testování je zjistit, zda a jak moc se liší barvocit u mužů a žen, zda budou mít muži větší problémy, větší chybovost při rozpoznávání barevných testů než ženy.

Vnímání barev je velice subjektivní jev a je tedy jasné, že se u každého z nás liší. Existuje ale názor, že muži mají oproti ženám omezené barevné vidění. Tento jev se dá vysvětlit tak, že genetická výbava, která umožňuje rozlišování barev v čípcích je vázána na chromozomy typu X. Zatímco muž disponuje pohlavními chromozomy XY, žena má pohlavní chromozomy XX a má tedy větší počet čípků než muž. To je důvod, proč se ženy dokáží orientovat v různých barevných odstínech a pojmenovávat je, zatímco muži se orientují pouze v základním spektru barev a nerozlišují odstíny jako meruňková, šeříková, lila, smetanová, apod. Pod těmito pojmy si muž představí spíše konkrétní předměty, ne odstíny.

Touto problematikou se zabýval i neurofyziolog František Vyskočil z Fyziologického ústavu Akademie věd České republiky, podle kterého „Rozdíly ve vnímání barev jsou mezi muži a ženami na první pohled poměrně malé, ale v praktickém životě mají přece jenom velký význam. My máme to barevné vidění založené na čípcích, což jsou nervové buňky, které vnímají tři druhy barev, a z toho se potom skládá ten barevný obraz. Ženy mají to překrývání jednotlivých spekter lepší a z toho důvodu jsou schopné popsat a vidět velmi jemné detaily barev. Asi to souvisí s tím, že ženy při svém způsobu vedení domácnosti, ať už to bylo v pravěku nebo dnes, musí rozhodovat mezi tím, jestli nějaká potravina je zralá nebo nezralá, jestli nějaké jídlo je požitelné, a proto mají zvýšenou citlivost na barvy. Nám mužům se dobře vrývá do paměti barva modrá, červená a také černá. Když se třeba malé děti v mateřské školce učí kreslit, tak chlapci vybírají temnější, ponuřejší barvy, třeba i černé nebo modré, kdežto děvčata jdou do těch palet světlejších, růžové, oranžové a jejich barevné vnímání se do dospělosti velmi vytríbí. Takže když třeba si jdou kupovat barvu na vlasy, tak je jejich manžel, partner nebo syn, který jde s nimi, překvapen, kolik různých druhů hnědi se prodává – on vidí jenom jednu.“ [22]

Podle F. Vyskočila je to způsobeno tím, že: „Muži mají ty barevné elementy napojeny na jiné buňky. My máme sítnici oka až o 20 procent silnější než ženy. Je to z toho důvodu, že naše čípky a tyčinky jsou napojeny na velké, takzvané *magnoneurony*, které vedou do oblasti mozku určené pro odhad vzdáleností a pro perspektivu. Ženy mají ty nervové buňky napojené na tyčinky a čípky menší, *parvobuňky*, a ty jdou zase do jiných oblastí. Takže ženy mají lepší periferní vidění, mají ten mozek organizován jakoby na blízko. My zase vidíme dobře do dálky, a tudíž možná v průměru lépe řídíme auta, v průměru lépe parkujeme než ženy, což neznamená, že by se to ženy také nemohly naučit.“ [22]

5.1 METODIKA PRÁCE

V této praktické části bylo testováno 20 osob, 10 mužů a 10 žen, ve věku od 18 - 55 let. Vzhledem k předchozímu textu (viz strana 39) můžeme předpokládat, že existuje pravděpodobnost, že muži budou mít větší problémy se správným určováním pseudoizochromatických tabulek než ženy. Horší výsledky u mužů můžeme přisuzovat také faktu, že jsou muži mnohem častěji postiženi geneticky vrozenou poruchou barvocitu než ženy (viz kapitola 2).

Jako porovnávací test jsem si vybrala Tabulky k vyšetřování barvocitu, jejichž autory jsou Karl Velhagen a Dieter Broschmann [Aventinum 1995]. Tato publikace obsahuje tabulky k vyšetření pseudoisochromasie, pseudoanisoisochromasie, simultánního barevného kontrastu, označení barev a florového kontrastu. Celkem je zde 24 tabulek. Pro vlastní testování bylo použito 23 tabulek, bez testu s florovým kontrastem.

Při vyšetřování s pomocí těchto tabulek by mělo být zachováno několik zásad. Mezi hlavní patří to, že vyšetřovaný by neměl znát počet tabulek nebo charakter znaků na tabulkách a předpokládá se, že bude v jeho schopnostech pojmenovat arabské číslice a velká písmena latinské abecedy.

Tabulky samotné by se neměly zbytečně vystavovat světlu nebo dotykům, neměly by být jakýmkoliv způsobem znečištěny, popsány nebo zohýbány. K orientaci vyšetřujícího slouží označení na okraji tabulek.

Tabulky se předkládají vyšetřovanému do vzdálenosti asi 70 cm při jasném difúzním osvětlení (nemělo by být pod 400 lx a nemělo by na ně dopadat přímé sluneční světlo). Vyšetřovaný se na ně dívá přímo, není dovoleno pohybovat hlavou a zkoumat obrázek z různých úhlů, po dobu asi 15 sekund. Pokud je nositelem korekce na dálku, měl by jí mít nasazenou. Vyšetřovaný by neměl dostat tabulky do ruky a je třeba dbát na to, aby u předchozí osoby neslyšel správné odpovědi (existuje riziko, že se je naučí nazpaměť). Pokud máme podezření, že se zkoušený tabulky naučil, můžeme měnit pořadí nebo některé tabulky opakujeme.

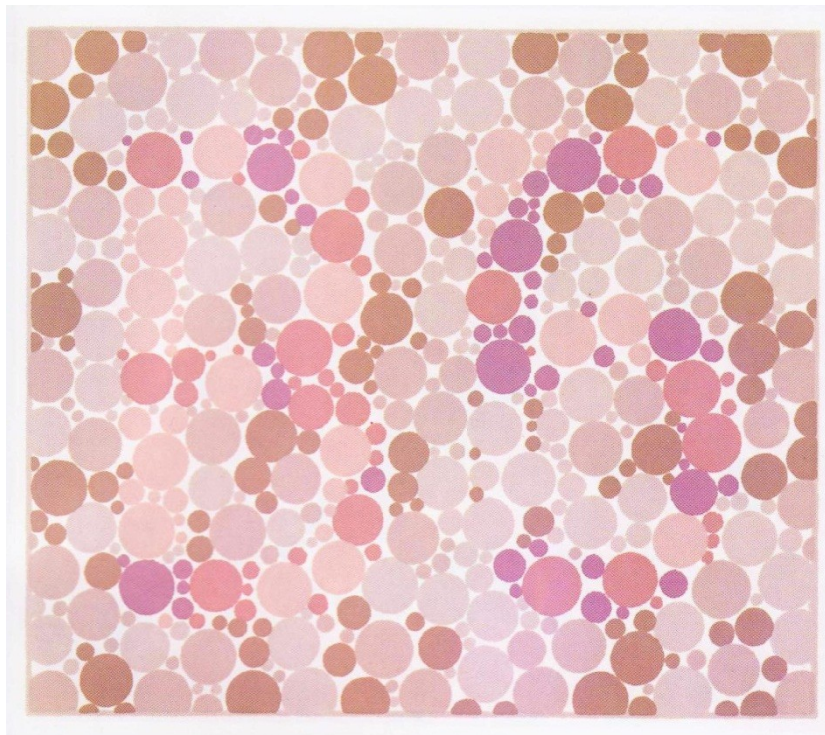
Vyšetření bylo zahájeno předložením zkoušenému tabulky 1, kterou rozezná i osoba s poruchou barvocitu. Proběhlo poučení, že každá tabulka obsahuje jeden až tři znaky (písmena nebo číslice), že nesmí natáčet hlavu a že je vyřčení správné odpovědi časově omezeno. Pokud byl zkoušeným člověk nervózní, analfabet nebo člověk se sníženou inteligencí bylo možné, aby znaky přímo nepojmenovával, ale opisoval prstem ve vzduchu. Vyšetření nebylo zkracováno ani jakýmkoliv způsobem zjednodušováno a to ani v případě, že vyšetřovaný vůbec nechyboval.

5.2 VÝSLEDKY

Na základě výsledků tohoto testu (posuzován je počet chyb) můžeme oddělit osoby s normálním barvocitem od osob s poruchou barvocitu. S velkou pravděpodobností můžeme také diagnostikovat protanopii, deuteranopii a tritanopii, ovšem riziko chybného závěru je při použití pouze tohoto testu vysoké. Proto je nutné použití i dalších vyšetřovacích postupů pro konečné určení diagnózy (např. další typy tabulek jako Ishihara tabulky, Farnsworth-Munsellův test, anomaloskop).

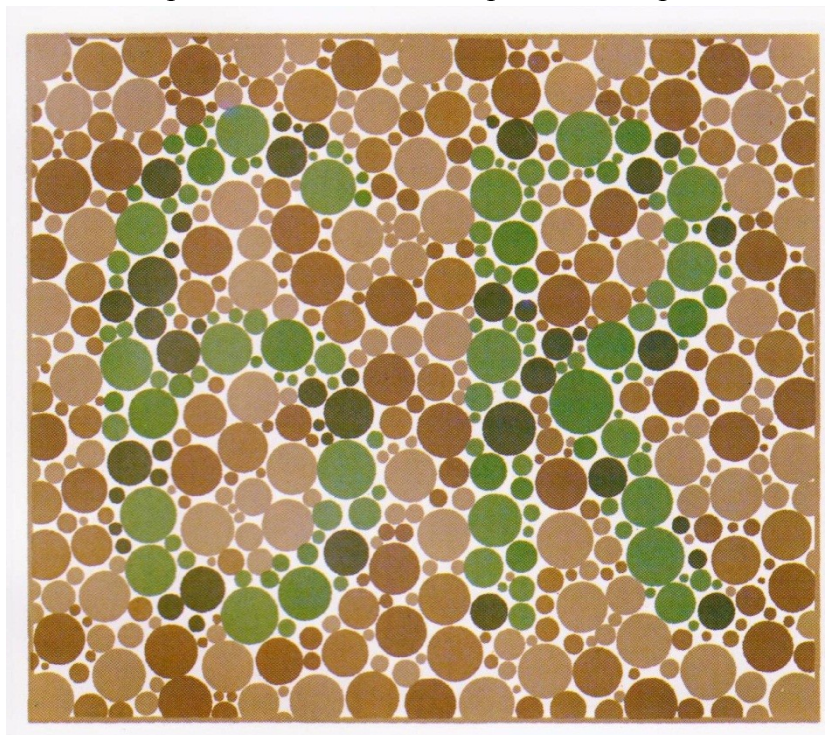
U testovaných osob byl posuzován počet chyb, které udělaly v testu. Za ještě normální nález (tedy bez poruchy barvocitu) můžeme označit chyby:

- Tabulka 19 – pokud místo B5 čte 85



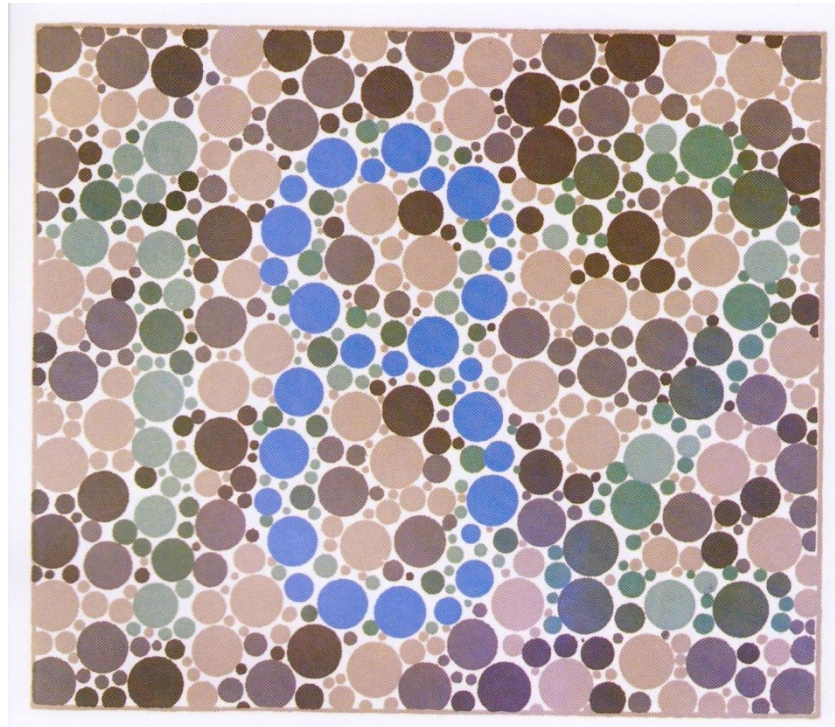
Obrázek 14: Tabulka 19 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]

- Tabulka 6 – pokud místo 6R čte 66 a po chvíli se opraví



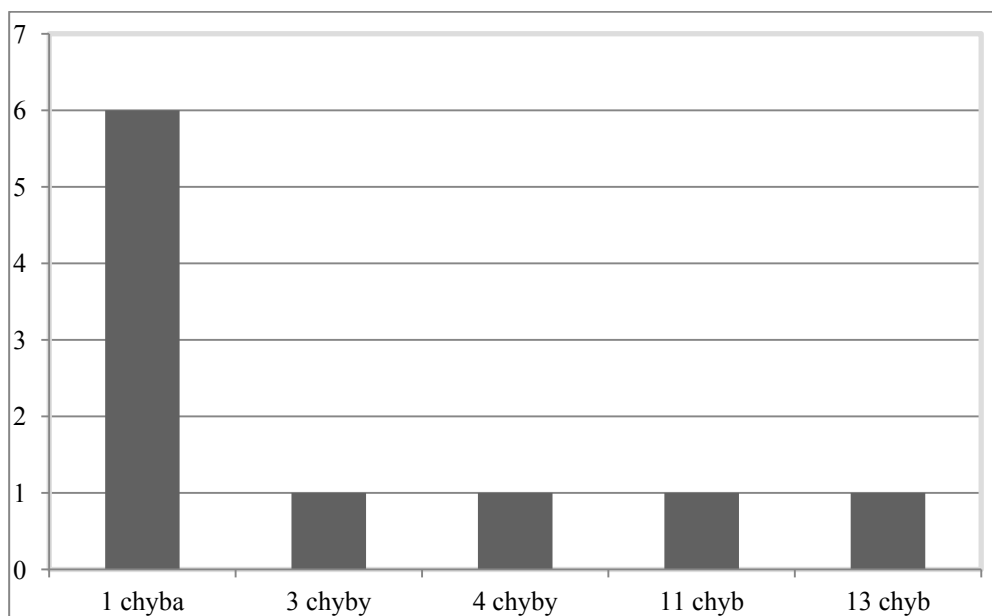
Obrázek 15: Tabulka 6 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]

- Tabulka 2 – čte nejprve prostřední číslo, po upozornění čte všechna tři



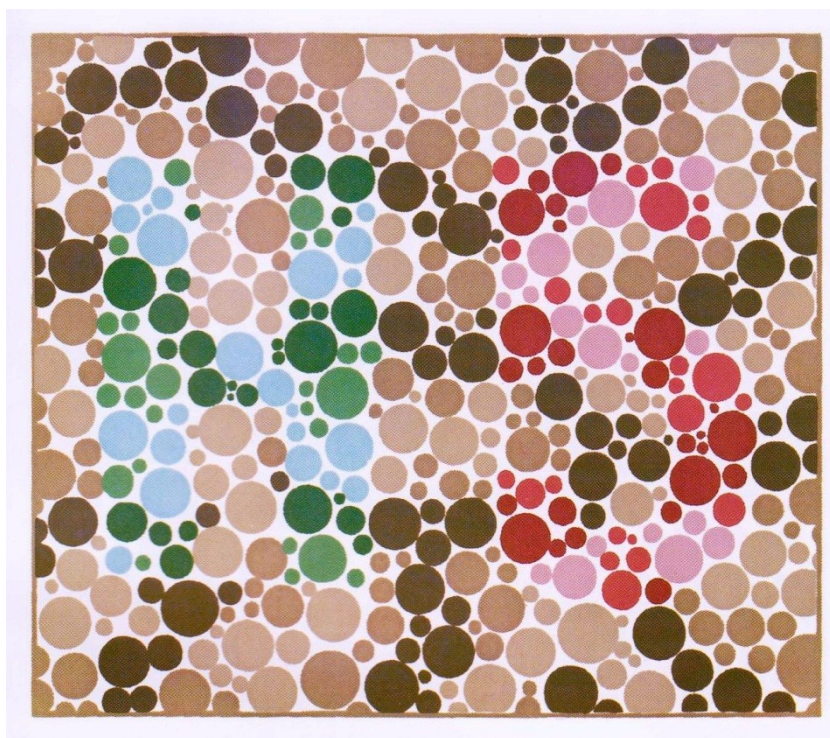
Obrázek 16: Tabulka 2 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]

Z testovaných deseti mužů ani jeden neobstál v testu bez žádné chyby. Z celkového počtu tabulek v testu (23, bez florového kontrastu, který nebyl součástí testování) byl nejmenší počet chyb jedna a nejvíce jich bylo 13.

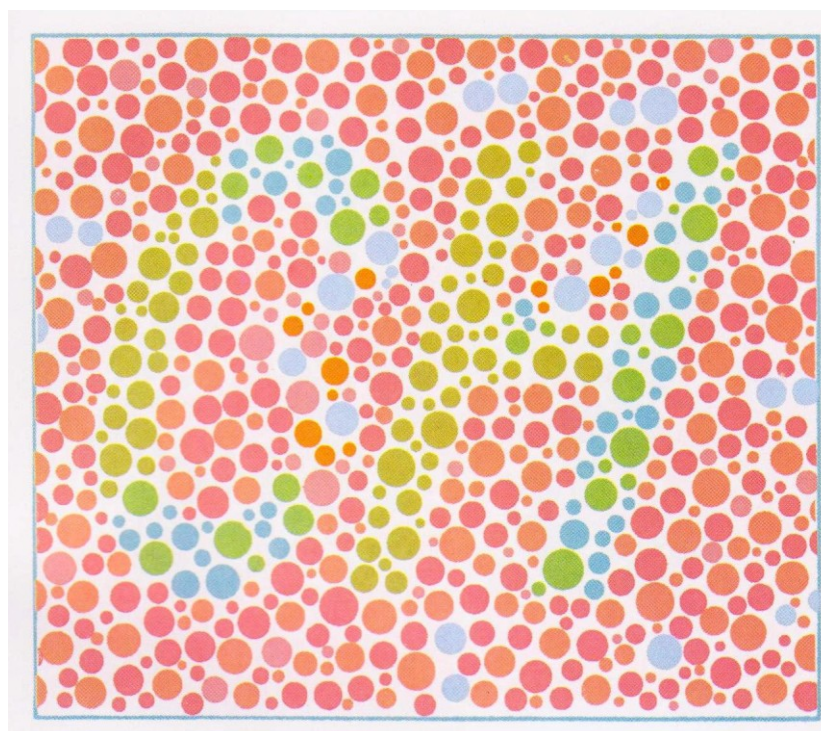


Graf 1: Počet chyb vztahovaný na počet mužů, kteří se jich dopustili.

Největší obtíže při testování dělala mužům tabulka 4, kterou mělo problém rozpoznat 6 mužů. Také tabulka 12 byla špatně rozpoznávána, a to ve 4 případech.

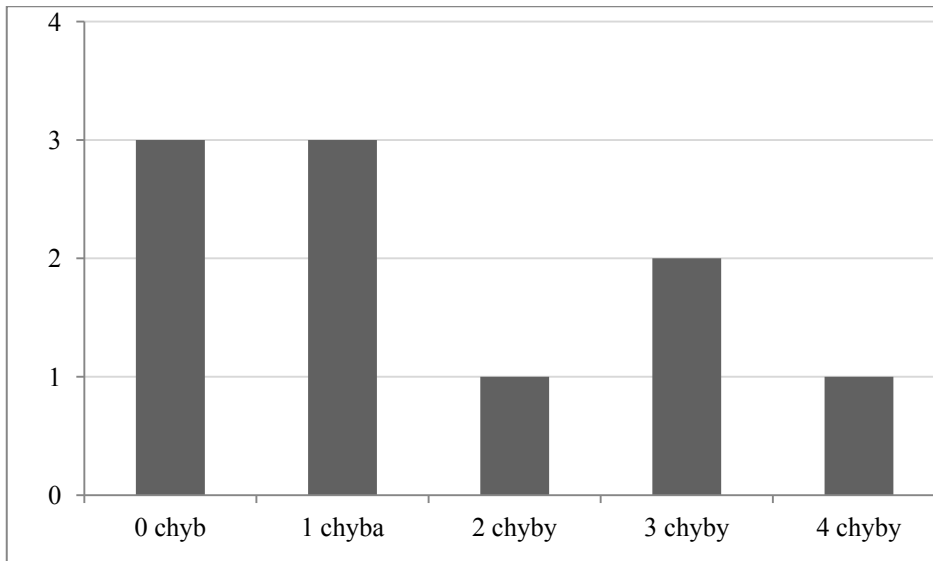


Obrázek 17: Tabulka 4 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]



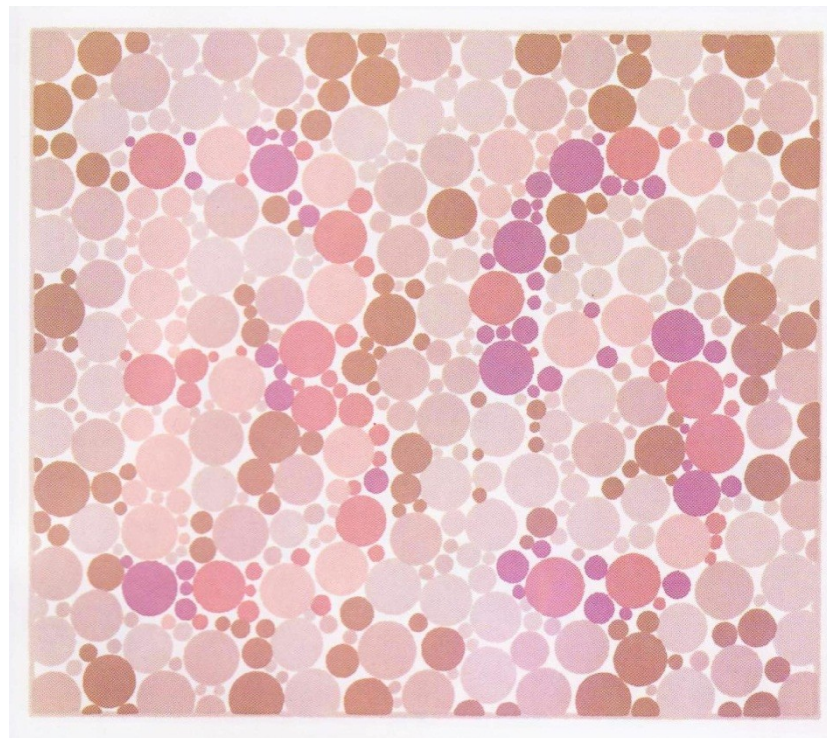
Obrázek 18: Tabulka 12 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]

Z testovaných deseti žen 3 obstály v testu bez jediné chyby a rozeznaly tak všechny tabulky. Nejmenší počet chyb byla jedna a největší počet byly čtyři chyby.



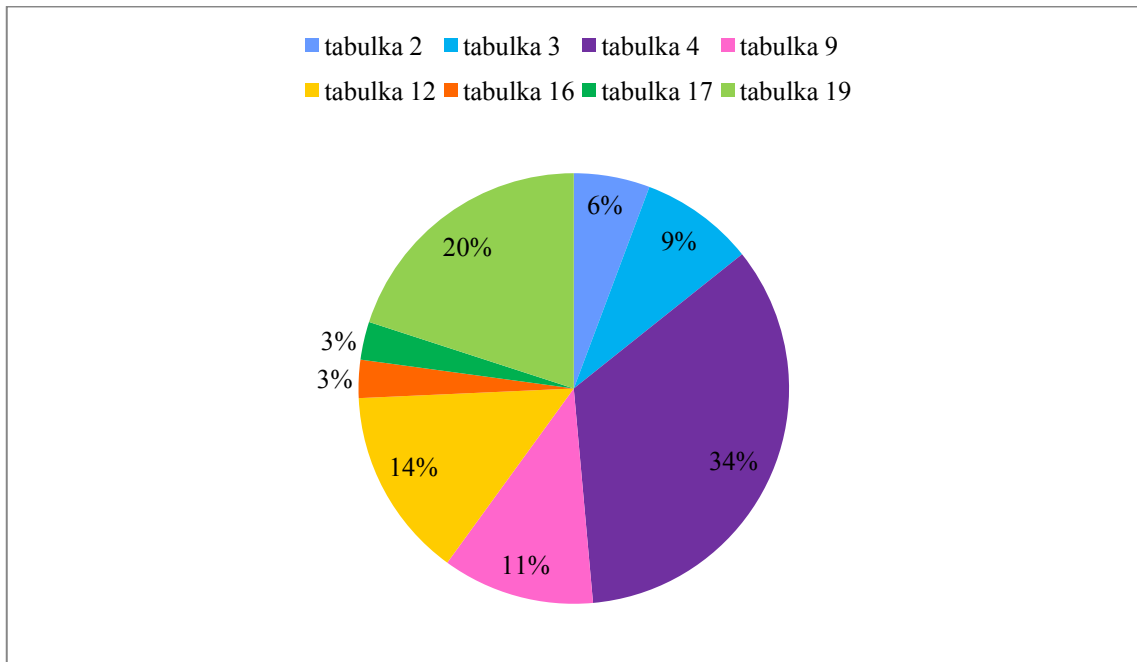
Graf 2: Počet chyb vztahený na počet žen, které se jich dopustily.

Ženy měly stejně jako muži největší chybovost u tabulky 4 (obrázek viz předchozí strana), také tabulka 19 byla často nerozpoznatelná, přesněji ve 4 případech.



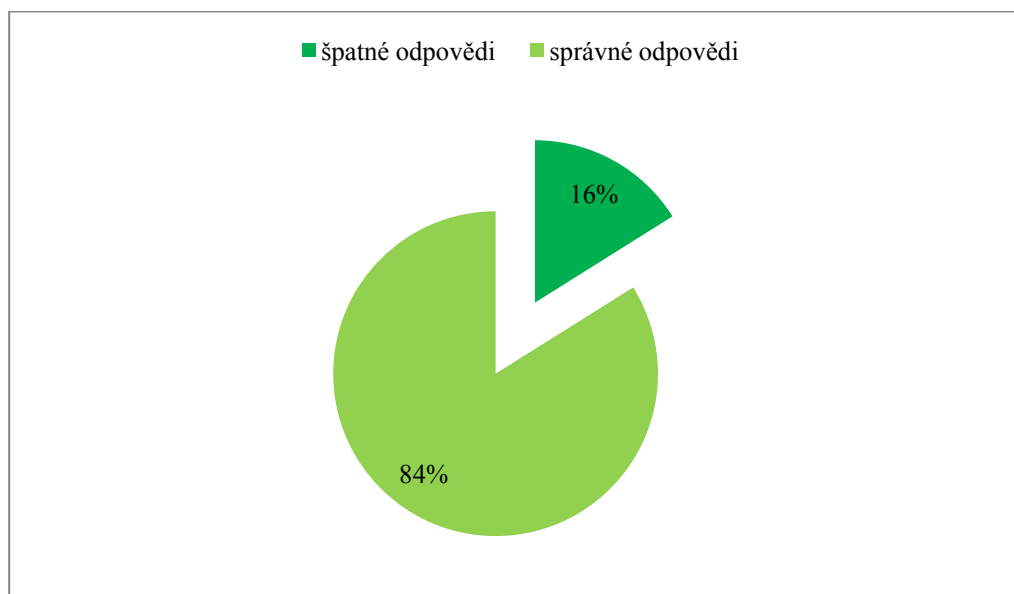
Obrázek 19: Tabulka 19 [Tabulky k vyšetřování barvocitu]

Celkově se mužům i ženám nejhůře určovala tabulka 4, kterou špatně určilo nebo neurčilo vůbec 12 testovaných osob. Poté tabulka 19, kterou špatně určilo nebo neurčilo vůbec 7 osob a tabulka 12, se kterou mělo problémy 5 osob.

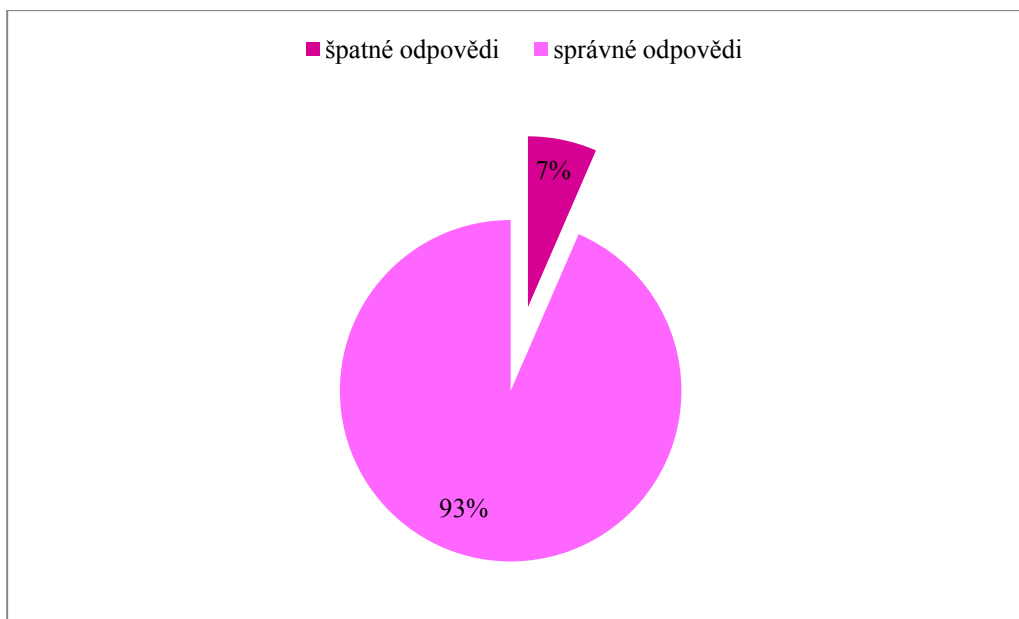


Graf 3: Porovnání tabulek dle četnosti chybného rozpoznání.

Pokud porovnáme celkový počet chyb u žen a mužů vyjde nám, že muži s celkovým počtem 37 chyb jsou na tom daleko hůře, než ženy s celkovým počtem 15 chyb.



Graf 4: Celková úspěšnost mužů při testování.



Graf 5: Celková úspěšnost žen při testování.

I vzhledem k malému počtu testovaných osob se prokázalo, že muži mají při vyšetřování barvocitu větší problémy a dělají více chyb než ženy. Ve třech případech se podle výsledků testu jednalo o muže s vrozenou vadou barevného vidění, konečnou diagnózu by bylo možné stanovit pomocí dalšího testování (anomaloskop, Farnsworth-Munsellův test). Důvodů, proč zbylí muži chybovali v testech, může být několik: Nedostatečná soustředěnost při vyšetřování, anatomická predispozice, kdy sítnice oka ženy obsahuje více čípků než ta mužská, nebo je to dáno vlivem evolučního vývoje. V pravěku muži fungovali hlavně jako lovci a jejich zrak byl tedy orientován spíše na dálku, proto i dnes se vyznačují velmi dobrou prostorovou orientací a odhadem vzdálenosti. Ženy zase fungovaly především jako strážkyně ohně, sběračky bobulí a kořínků a neustále sledovaly blízké okolí kvůli hrozícímu nebezpečí. Proto mají široké periferní vidění, dokáží rozeznat a pojmenovat více odstínů barev a snáze najdou v okolí drobné předměty. Neznamena to ale, že se všichni muži budou potýkat s obtížemi při vyšetření barevného vidění. Existuje ale pravděpodobnost, že u velké části mužů tento jev nastane a budou ve srovnání s ženami chybovat více.

6 ZÁVĚR

Barevné vidění je jedinečná schopnost lidského organismu. Díky tomuto složitému procesu můžeme vnímat širokou škálu barevných odstínů ve světě kolem nás a prožívat emoce, které v nás barvy vyvolávají. Tato schopnost ale není dokonalá a u některých lidí se může odlišovat a to buď vlivem vrozené, nebo získané poruchy. V mé práci popisuji příčiny vzniku tohoto stavu a také jak moc tato vada zasahuje do běžného života a jakými způsoby ji lze v dnešní době kompenzovat.

Vnímání barev zásadně ovlivňuje život člověka při volbě některých povolání, kde se vyžaduje mít perfektní barvocit. Jaké jsou požadavky na barvocit v dopravě a jaké stavy jsou již překážkou k výkonu profese, zmiňuji v jedné z kapitol. S touto problematikou je úzce spojeno i vyšetřování barvocitu, jehož různé metody jsou také součástí práce.

V praktické části jsem se věnovala srovnávání barevného vidění u mužů a žen. Samotné vnímání barev je velmi subjektivní proces, který se liší u každého z nás. Cílem této práce bylo ověřit tvrzení, že se ženy vyznačují lepší schopností rozlišovat různé barevné odstíny než muži. K porovnávání jsem zvolila Tabulky k vyšetřování barvocitu a předpokladem bylo, že muži budou mít více problémů a udělají více chyb při rozeznávání barevných tabulek, což se i vzhledem k malému počtu vyšetřovaných osob potvrdilo.

Seznam použitých zdrojů

1. KUCHYNKA, P. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007. 256-259 s. ISBN 978-80-247-1163-8
2. KRAUS, H. *Kompendium očního lékařství*, 1.vyd. Praha: Grada, 1997. 137-138 s. ISBN 80-7169-079-1
3. KUCHYNKA, P. *Oční lékařství*, 1.vyd. Praha: Grada, 2007. 502 s. ISBN 978-80-247-1163-8
4. <http://www.colblindor.com>
5. KUCHYNKA, P. *Oční lékařství*, 1.vyd. Praha: Grada, 2007. 501-504 s. ISBN 978-80-247-1163-8
6. <http://www.videni.cz/nemoci-oci/barvoslepost>
7. KOLÍN, J. *Oční lékařství*, Praha: nakladatelství Karolinum, 2007. 20-22 s. ISBN 978-80-246-1325-3
8. OTRADOVEC, J. *Klinická neurooftalmologie*, Praha: Grada, 2003. 67-68 s. ISBN 80-247-0280-0
9. AUTRATA, R. *Nauka o zraku*, Brno: NCO NZO, 2006. 92 s. ISBN 80-7013-362-7
10. http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2010_02.pdf
11. <http://www.chromagen.us>
12. COLE, B. *Clinical and experimental optometry*, 2004, The handicap of abnormal colour vision 87:4-5:258-275, University of Melbourne, Australia
13. <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/95A43A25-CEB7-44A1-86D8-6C519D8F259B/0/MicrosoftWord277.pdf>
14. <http://www.mpsv.cz/files/clanky/5432/posudkova.pdf>
15. http://strojvedoucimetro.info/odbory/zakony/101_1995.pdf
16. http://is.muni.cz/th/214904/lf_m/diplomova_prace.pdf
17. § 15 PP-265-20.11.67 SMĚRNICE ministerstva zdravotnictví ze dne 16. prosince 1967 o posuzování zdravotní způsobilosti k práci ve znění směrnic ministerstva zdravotnictví ČSR č. 17/1970 Věstníku MZd ČSR, o změnách v posuzování zdravotní způsobilosti k práci ze dne 21. května 1970
18. <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-1/data/effective/h6.pdf>
19. <http://www.colblindor.com/2006/04/09/daltonism-named-after-john-dalton/>

20. DAIN, S. *Clinical and experimental optometry*, 2004, Clinical colour vision tests 87:4-5:276-293, University of New South Wales, Kensington, Australia
21. ŘEHÁK, J. *Venózní okluze sítnice*, Praha: Grada 2011. 72 s. ISBN 978-80-247-3480-4
22. <http://m.rozhlas.cz/planetarium/priroda/zprava/1028587>
23. VELHAGEN, K. a BROSCHMANN, D. *Tabulky k vyšetření barvocitu*, Aventium, 1995. ISBN 80-85277-24-7

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Struktura sítnice

[<http://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html>]

Obrázek 2: Spektrální citlivost lidského oka na světlo

[http://wiki.patapom.com/index.php/File:Eye_cones_RGB_response.jpg]

Obrázek 3: Zraková dráha

[<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Zrakovadraha.png>]

Obrázek 4: Dědičnost přenosu vrozených poruch barvocitu

[<http://www.colblindor.com/2010/03/02/what-is-color-blindness/>]

Obrázek 5: Normální trichromazie

[<http://www.testingcolorvision.com/>]

Obrázek 6: Protanopie

[<http://www.testingcolorvision.com/>]

Obrázek 7: Deuteranopie

[<http://www.testingcolorvision.com/>]

Obrázek 8: Tritanopie

[<http://www.testingcolorvision.com/>]

Obrázek 9: Monochromazie

[<http://www.testingcolorvision.com/>]

Obrázek 10: Ukázky pseudoizochromatických tabulek

[http://www.4oci.cz/korigovat-vrozene-poruchy-barvocitu-pomoci-barevnych-brylovych-skel-a-kontaktnich-cocek_4c13]

Obrázek 11: Farnsworth Munsell 100 hue test

[<http://munsellstore.com/default.aspx/act/Catalog.aspx/catalogid/5752/Subcategory/Munsell+Farnsworth+100+Test/category/Munsell+Farnsworth+Tests/browse//showinactive/1/MenuGroup/Home/desc/Farnsworth+Munsell+100+Hue+Test.htm>]

Obrázek 12: Nagelův anomaloskop

[<http://www.colourmed.com/tests.html>]

Obrázek 13: ChromaGen barevné filtry

[http://www.chromagen-spain.com/chromagen/utilidades_ingles.htm]

Obrázek 14: Tabulka 19

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Obrázek 15: Tabulka 6

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Obrázek 16: Tabulka 2

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Obrázek 17: Tabulka 4

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Obrázek 18: Tabulka 12

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Obrázek 19: Tabulka 19

[<http://www.ocnioptik.eu/oko-a-videni/barvocit/vysetreni-barvocitu/>]

Seznam grafů:

Graf 1: Počet chyb vztažený na počet mužů, kteří se jich dopustili.

Graf 2: Počet chyb vztažený na počet žen, které se jich dopustily.

Graf 3: Porovnání tabulek dle četností chybného rozpoznání.

Graf 4: Celková úspěšnost mužů při testování.

Graf 5: Celková úspěšnost žen při testování.

