

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



2023

TEREZA

SUCHOMELOVÁ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Barvocit a jeho změny u pacientů s kataraktou

Color vision and its changes in patients with cataracts

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Tereza Suchomelová

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

Konzultant bakalářské práce: doc. MUDr. Ján Lešták, CSc. MBA

Kladno 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Suchomelová** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **499970**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodních věd**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Barvocit a jeho změny u pacientů s kataraktou

Název bakalářské práce anglicky:

Color vision and its changes in patients with cataracts

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte přehled faktorů způsobujících získané poruchy barvocitu. Zpracujte formou rešerše anatomii oka a fyziologii vidění. Vysvětlete princip přijímaných teorií vnímání barev a popište jednotlivé metody vyšetření barvocitu. Popište poruchy barevného vidění, jejich projevy, příčiny a stupeň. Zaměřte se na poruchy barvocitu vrozené a získané a jejich srovnání. V praktické části zpracujte minimálně deset kazuistik vybraných pacientů s kataraktou a proveďte měření barvocitu, na nichž budete ilustrovat teoreticky získané informace týkající se vlivu katarakty na vnímání barev.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] HEISSIGEROVÁ, J., Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu, ed. 1, Praha: Maxdorf, 2018, Jessenius, ISBN 978-80-7345-580-4
- [3] DOHNAL, M., Barevné vidění: kolorimetrie, ed. 1, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2019, ISBN 978-80-7560-246-6

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název bakalářské práce: Barvocit a jeho změny u pacientů s kataraktou

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce s názvem „*Barvocit a jeho změny u pacientů s kataraktou*“ je uvést souhrn faktorů získaných poruch barvocitu a následně se zaměřit na ovlivnění barvocitu kataraktou. V teoretické části se práce orientuje na anatomii oka, fyziologii vidění a vnímání barev. Jsou vysvětleny tři nejznámější přijímané teorie barevného vidění a jejich rozdělení. Následně jsou specifikovány metody měření barvocitu. Práce se blíže specializuje na porovnání poruch barvocitu jak vrozených, tak i získaných. Získaným poruchám je v práci věnována celá kapitola. Poruchy jsou dále rozděleny dle projevu, příčin a stupně onemocnění. V praktické části byl změřen barvocit u 23 pacientů, kteří trpěli kataraktou. Výstupem z měření se stalo sepsání 10 kazuistik, které případově uvádí dané změny u jednotlivých měřených pacientů.

Klíčová slova:

barevné vidění, porucha barvocitu, teorie barevného vidění, získané poruchy barvocitu, katarakta

Bachelor's Thesis title: Color vision and its changes in patients with cataracts

Abstract:

The aim of the bachelor thesis entitled " Color vision and its changes in patients with cataracts" is to present the summary of factors of acquired barvocite disorders and then to focus on the influence of cataract on barvocite. The theoretical part of the thesis focuses on anatomy of eye, physiology of vision and colour perception. There are explained three most well-known accepted theories of color vision and their divisions. Subsequently, there are specified methods for measuring color vision. The work takes a closer look and also compares color vision disorders, both congenital and acquired. It classifies the disorders according to manifestation, causes and degree of disease. The entire chapter is devoted to acquired disorders. In the practical part, color was measured in 23 patients with cataracts. The measurements resulted in 10 case reports describing the changes in the measured patients.

Key words:

color vision, color vision disorder, color vision theory, acquired color vision disorders, cataract

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí své práce Mgr. Janě Urzové, Ph.D. a konzultantovi doc. MUDr. Jánů Leštákovi, CSc. MBA za pomoc s výběrem tématu a za konzultace. Dále děkuji MUDr. Ivaně Valentové za vstřícnost, za poskytnutí prostor vyšetřovny a za možnosti otestovat její pacienty. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za trpělivost.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Barvocit a jeho změny u pacientů s kataraktou*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1	ÚVOD	1
2	ANATOMIE OKA A FYZIOLOGIE VIDĚNÍ	2
2.1	STĚNA OČNÍ KOULE	3
2.2	OBSAH OČNÍ KOULE.....	5
2.3	FYZIOLOGIE VIDĚNÍ.....	6
2.4	ZRAKOVÁ DRÁHA	7
2.5	FOTORECEPTORY.....	7
2.6	VNÍMÁNÍ BAREV	11
2.7	TEORIE BAREVNÉHO VIDĚNÍ	13
2.7.1	<i>Youngova – Helmholtzova trichromatická teorie</i>	13
2.7.2	<i>Teorie oponentních barev</i>	13
2.7.3	<i>Teorie chromatických kanálů</i>	14
3	VYŠETŘENÍ BARVOCITU	15
3.1	PSEUDOIZOCHROMATICKÉ TABULKY.....	15
3.2	COLOR NAMING TEST	16
3.3	SEŘAZOVACÍ TESTY	17
3.4	ANOMALOSKOP	18
4	PORUCHY BARVOCITU	19
4.1	PORUCHY VROZENÉ.....	19
4.2	ZÍSKANÉ PORUCHY	23
5	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ BARVOCIT	24
5.1	NEMOCI S VLIVEM NA VNÍMÁNÍ BAREV	24
5.1.1	<i>Katarakta</i>	24
5.1.2	<i>Glaukom</i>	26
5.1.3	<i>Věkem podmíněná makulární degenerace</i>	26
5.1.4	<i>Poškození sítnice</i>	27
5.2	LÉKY S VLIVEM NA BARVOCIT.....	27
5.3	ALKOHOLISMUS	28
5.4	NOČNÍ SLEPOTA.....	28
5.5	CHROMATOPSIE.....	28
6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
6.1	PRŮBĚH.....	29
6.2	METODIKA	30
6.3	VYPRACOVÁNÍ	33
6.3.1	<i>Kazuistika 1 – online testování</i>	33

6.3.2	<i>Kazuistika 2</i>	39
6.3.3	<i>Kazuistika 3</i>	42
6.3.4	<i>Kazuistika 4</i>	43
6.3.5	<i>Kazuistika 5</i>	44
6.3.6	<i>Kazuistika 6</i>	45
6.3.7	<i>Kazuistika 7</i>	46
6.3.8	<i>Kazuistika 8</i>	47
6.3.9	<i>Kazuistika 9</i>	48
6.3.10	<i>Kazuistika 10</i>	49
6.3.11	<i>Kontrolní skupina</i>	50
7	DISKUZE	51
8	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK	61

1 Úvod

Barvy částečně ovlivňují emoce, psychiku či estetiku. Důležité rozeznat barvy je například pro letce, architekty nebo i módní návrháře. V životě se každý setká s odlišností barev a to nejen v umění, ale i například u sportů. Odlišit musíme hokejový černý puk od bílého ledového podkladu nebo bíločerný míč na fotbalovém hřišti. Lépe se nám detekují předměty s protichůdnou barvou. Barevné vidění je důležité u savců a to např. u primátů, kteří jsou schopni rozeznat zralé ovoce od toho nezralého. [27]

Oko je schopno rozeznat záření o vlnové délce 380-760 nm. Fyziologický stav oka je trichromatické vidění, kde díky třem druhům čípků dokáže oko rozlišit až 150 barev a z toho 2 000 barevných odstínů. Při defektu jednoho či dvou čípků dojde k vrozené poruše vnímání barevného vjemu. Jako druhá je porucha získaná, která je ovlivněna vnějšími faktory. [5, 29]

Každý člověk by se správně měl v životě setkat s testy na barvocit a to nejčastěji u praktického lékaře na preventivní prohlídce. Tyto testy jsou povinné například u letců nebo u profesionálních řidičů. Vyšetření nejčastěji probíhá pomocí pseudoizochromatických tabulek. Poruchy barvocitu mohou omezit výkon některých profesí a onemocnění barvocitu může být předzvěstí jistých onemocnění.

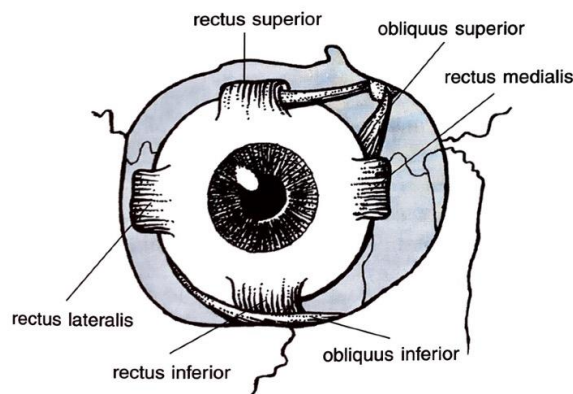
Práce se zaměřuje na poruchu barvocitu. Shromažďuje nejčastěji publikované faktory získaných poruch barvocitu. Pro praktickou část bakalářské práce jsem si vybrala faktor, se kterým se během evolučního stárnutí setká každý. Katarakta neboli šedý zákal, je zákal nitrooční čočky. Dojde k poruše rozptylu světla, které přichází do oka až k ovlivnění samotného vidění. [6]

V praktické části bude naměřeno přes dvacet probandů s kataraktou, s jednostrannou či oboustrannou artefakii. Testování proběhne pomocí pseudoizochromatických tabulek a následně seřazovacím testem Farnsworth D-15 Color Test. Formou kazuistik budou nastíněny výsledky testování.

2 Anatomie oka a fyziologie vidění

Oko je složitým smyslovým párovým orgánem, které zásadně určuje vnímání okolního prostředí. Díky němu se orientujeme v prostoru, vnímáme světlo a barvy. Oční koule, zrakový orgán, se nachází v orbitě. Orbita, která má tvar čtyřboké pyramidy, obsahuje oční kouli, optický nerv, okohybné svaly, slzný aparát, tukovou tkáň, fascie, nervy a cévy, které struktury zásobují. [1, 2]

Pohyb bulbu (oční koule) umožňuje šest okohybných svalů. Čtyři z nich jsou svaly přímé a další dva svaly šikmé. Okohybné svaly inervují tři hlavové nervy. 3. hlavový nerv (*nervus oculomotorius*) inervuje čtyři okohybné svaly (*m. rectus inferior*, *m. rectus superior*, *m. rectus medialis* a *m. obliquus inferior*). 4. hlavový nerv (*nervus trochlearis*) inervuje pouze jeden okohybný sval s názvem *m. obliquus superior* a 6. hlavový nerv (*nervus abducens*) inervuje taktéž jeden okohybný sval nazývaný se *m. rectus lateralis*. Primární neboli základní funkcí *m. rectus medialis et lateralis* jsou pohyby očí pouze v jednom směru. Ostatní výše zmíněné okohybné svaly mají schopnost pohybu oka v různých směrech (např. elevace, deprese, rotace atd.). [5]



Obrázek 2-1 Okohybné svaly [5]

Oční koule neboli *bulbus oculi*, je kryta víčky, která ochraňují bulbus a jejich pohybem rozestírají slzný film po povrchu rohovky. Na okraji víčka ústí tři žlázy. Meibomské žlázy se nachází v tarzální ploténce horního a dolního víčka a produkují tukový sekret, který je nepostradatelnou složkou slzného filmu. Dalšími žlázami jsou Mollovy a Zeisovy, které jsou uloženy v místě řas. Při zánětu Meibomské žlázy může dojít ke vzniku vlčího zrna (*chalazion*). Ječné zrno (*hordeolum*) vzniká při zánětu Zeisovy nebo Mollovy žlázy. [3,6]

2.1 Stěna oční koule

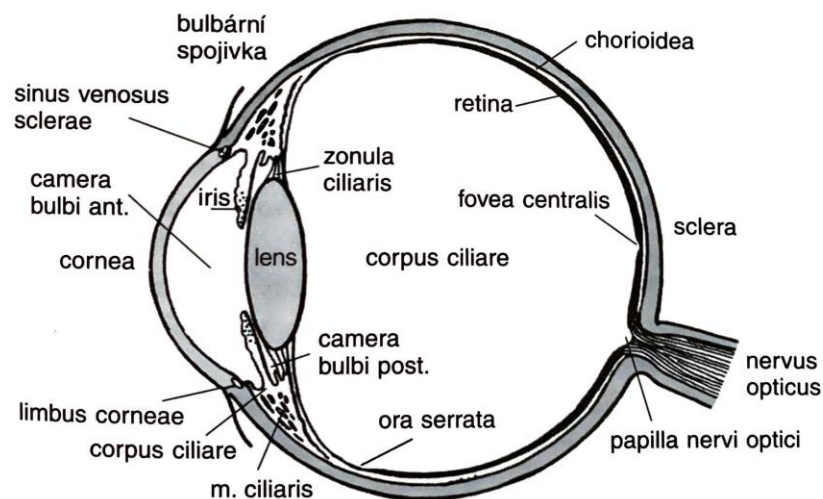
Oční koule (*bulbus oculi*) je složena ze tří vrstev. Každá vrstva bude stručně popsána v následujících podkapitolách. [4]

Tunica fibrosa bulbi

Do zevní vazivové vrstvy, *tunica fibrosa bulbi*, spadá rohovka (*cornea*) a bělima (*sclera*). [4]

Rohovka je dehydratovaná, bezcévná a průhledná blanka o průměru vertikálně 11,5 mm a horizontálně 12,6 mm. Uprostřed je nejtenčí a směrem k limbu se rozšiřuje. Rohovku zvenčí obklopuje slzný film, který je složen ze tří složek. Ze složky mucinové, lipidové a vodní. Nejbliž k rohovce je složka mucinová, zatímco nejdále od rohovky je složka tuková. Rohovka se skládá z vícevrstvého epitelu, Bowmanovy membrány, stroma, Descemetovy membrány a endotelu. Rohovkové stroma patří mezi nejširší část a obsahuje pravidelně uspořádaná kolagenní vlákna, která umožňují transparentnost rohovky. Endotel, vnitřní vrstva rohovky, obsahuje buňky hexagonálního tvaru s nulovou proliferací. Tyto buňky ovládají aktivní dehydrataci rohovky. [1, 2, 3, 4]

Další zevní vazivovou vrstvou je **bělima** (*sclera*) tvořící až 80 % *tunica fibrosa*. Funguje jako upínač očních svalů a chrání vnitřní struktury oka. Je bezcévná a v dospělosti má bílou barvu. S věkem díky ukládání pigmentu žloutne. [1, 2, 3, 4]



Obrázek 2-2 Schéma řezu oka [5]

Tunica vasculosa bulbi

Do této vrstvy řadíme cévnatku, řasnaté těleso a duhovku. [4]

Cévnatka (*choroidea*) je tenká vrstva, která je složena z velkého množství kapilárních sítí a cév. Pokrývá zhruba 2/3 stěny oční koule. Součástí cévnatky je Bruchova membrána, jež je zmíněná níže. [3,4]

Řasnaté těleso (*corpus cilliares*) je děleno na dvě části. V části *pars plana corpus cilliares* plynule přechází v cévnatku v místě *ora serrata*. V části *pars plicata* se sdružuje s duhovkou. Funkce řasnatého tělesa je upínání k aparátu oční čočky a produkce nitrooční tekutiny do zadní komory. [3,4]

Duhovka (*iris*), rozdělující přední komoru od zadní, se skládá ze dvou částí. Pupilární část částečně utváří zornici a ciliární postupně vbíhá v řasnaté těleso. Hlavní funkcí duhovky je mydriáza (rozšíření pupily) a miosa (zúžení pupily). Funguje na podobném principu jako fotografický objektiv. [1, 2, 3, 4]

Tunica nervosa bulbi

Sítnice je nejvnitřnější vrstvou bulbu. Základně ji dělíme na dvě části. [4]

První část *pars coeca retinae* se nachází v přední části bulbu a pokrývá řasnaté těleso a zadní plochu duhovky. [4]

Druhou část *pars optica retinae* nalezneme po celém obvodu cévnatky. *Pars optica retinae* obsahuje fotoreceptory a nervové buňky. Tuto část rozdělujeme na devět vrstev. Pokud je máme začít popisovat od vnější části směrem ke středu bulbu, jako první bude vrstva fotoreceptorů, následuje membrána limitans externa, dále zevní jádrová vrstva, poté zevní plexiformní vrstva, vnitřní jádrová vrstva, vnitřní plexiformní vrstva, vrstva gangliových buněk, vrstva nervových vláken a membrána limitans interna. Některé zdroje započítávají i desátou vrstvu. V tomto řazení by zaujímala první místo. Jedná se o retinální pigmentový epitel (RPE), který nasedá na Bruchovu membránu cévnatky. Světelný paprsek, který nepohlí barvivo fotoreceptorů je pohlcen výše zmíněným pigmentovým epitelem, který obsahuje melanin. Sítnice je doplněna Mullerovými buňkami, které procházejí přes všechny vrstvy sítnice. Sítnice dále obsahuje astrocyty, amakrinní buňky, horizontální buňky a mikroglie. [1, 2, 3, 4, 5, 10, 17]

2.2 Obsah oční koule

Obsah bulbu je tvořen průhlednými složkami, kterými procházejí světelné paprsky. Tyto se následně lámou a dopadají na sítnici. Jednou z důležitých složek pro soustředění paprsku na sítnici je oční čočka. Skládá se z pouzdra, epitelu, kortexu a jádra. Zdravá čočka je čirá a průhledná. S rostoucím věkem žloutne a zakaluje se, tím vzniká presbyopie. Presbyopie (vetchozrakost) je onemocnění, při kterém čočka stárnutím tuhne a dojde tak k omezení nebo až ke ztrátě akomodace. Díky pružnosti čočky a řasnatému tělesu, na kterém je čočka připojená, dochází k akomodaci. Akomodace je proces, při kterém čočka mění lomivost paprsků světla. Dojde tak ke změně optické mohutnosti a oko je pak schopno zaostřit na daný předmět. Mezi tři nejznámější teorie akomodace patří teorie Helmholtzova, teorie podle Schachara a Tscherninga a teorie Colemanova. [1,2,3]

Oční čočka má tvar bikonvexní spojné čočky a její optická mohutnost v neakomodovaném stavu je +15–20 dioptrií. Čočka, spolu s rohovkou, láme světlo, které pak dopadá na sítnici. U zdravého oka světlo dopadá na žlutou skvrnu (*macula lutea*), jež je známá jako místo nejostřejšího vidění. V *macula lutea* se vyskytují pouze čípky, které slouží pro barevné vidění. V tomtéž místě dochází k redukci gangliových a bipolárních buněk a světelné paprsky zde mohou procházet přímo k čípkům. Toto téma více rozebereme v následujících kapitolách. [1,2,3]

Vnitřek bulbu vyplňuje sklivce. Sklivce je transparentní pojivová tkáň tvořící zhruba 4/5 celého nitroočního obsahu. [3]

2.3 Fyziologie vidění

Světelné paprsky, procházející prostředím rohovky, komorové vody, čočky a sklivce, se lámou a dopadají na sítnici. Na sítnici se vytvoří zmenšený převrácený obraz pozorovaných předmětů. V místě dopadu světelného paprsku na sítnici vznikne podrážděním vzruch, který je převeden do zrakového centra pomocí zrakové dráhy. Pokud paprsek dopadne na žlutou skvrnu, mluvíme o centrálním vidění. Když paprsek dopadne mimo žlutou skvrnu, jedná se o periferní vidění. [8]

Zornice neboli optická clona, dokáže usměrnit procházející paprsky do oka. Její průměr je mezi 2-4 mm. Při vysokém osvětlení se zužuje, a naopak ve tmě se rozšiřuje. [4] Šíří zornice ovlivňují dva svaly. Jeden z nich je *musculus dilatator pupillae*, inervován sympatikem, a druhý *musculus sfincter pupillae* inervován parasympatikem. Kontrakcí *m.sphincter pupillae* dojde k mióze a pomocí kontrakce *m.dilatator pupillae* je vyvolána mydriáza. Při osvětlení jednoho oka zdravého jedince se zúží zornice i u druhého oka. [6]

Pro zrakový vjem je podstatnou částí i adaptace. Adaptace je schopnost, při které se oko dokáže přizpůsobit intenzitě osvětlení. Adaptace na světlo je velmi rychlá, naopak na tmu si oko zvyká až půl hodiny. [6]

Zorným polem máme namysli prostor, který vidíme při přímém pohledu. Středem zorného pole je bod, které oko fixuje. Temporálně dosahuje 80 - 90° od fixovaného bodu a nasálně 50 - 60°. Zorné pole měříme perimetrem. [6]

Značně podstatná je samotná žlutá skvrna (*fovea centralis*). V místě fovey se sítnice k centru prohlubuje a v jejím středu, o průměru 500 mikrometrů, nenalezneme cévy. Ve *fovea centralis* se nachází pouze čípky. Ostatní vrstvy sítnice jsou odsunuty, aby byla možnost vnímání obrazu o vysoké ostrosti. [1,3]

Při běžném denním osvětlení se jedná o vidění fotopické. Během fotopického vidění fungují převážně čípky a lze kvalitně rozeznat barvy. Skotopické vidění je častokrát pojmenováno jako noční vidění. Při skotopickém vidění špatně rozeznáme barvy a pokud jas klesne po určitou mez, čípky předávají vidění tyčinkám a vzniká centrální skotom. Přejít mezi fotopickým a skotopickým vidění nazýváme vidění mezopické. [6]

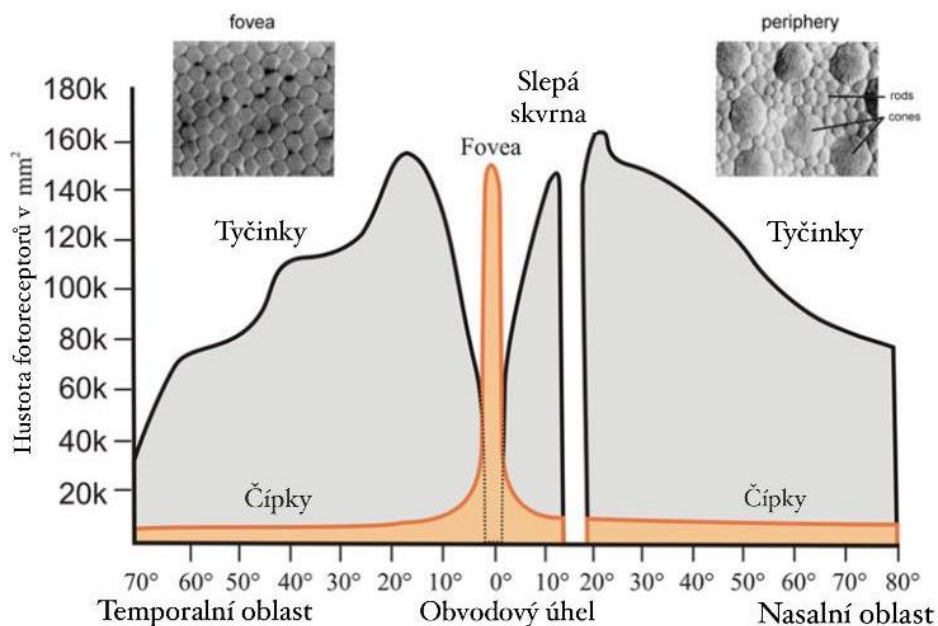
2.4 Zraková dráha

Hlavní funkcí zrakové dráhy komunikaci mezi fotoreceptory a zrakovou kúrou v týlním laloku. [8]

Zraková dráha obsahuje čtyři typy neuronů. Paprsek nejprve dopadne na první neurony. Tím jsou již zmíněné fotoreceptory, které dělíme na tyčinky a čípky. Fotoreceptory zachytí světelný paprsek, přemění se na elektrický signál a předají informaci druhým neuronům. Jako druhé jsou na řadě bipolární buňky, které dostávají informace buď z tyčinek nebo z čípků. Soubor bipolárních buněk představuje *ganglion retinae*. Třetím neuronem jsou multipolární neurony, kde se jejich neurity sbíhají ve zrakovém nervu a tvoří *nervus opticus*. Multipolární neurony formují *ganglion nervi optici*. Zrakové nervy vystupující z očnice se kříží v *chiasma opticum*. Vlákná čtvrtého neuronu, v *nucleus corporis geniculati lateralis*, míří do okcipitálního laloku na mediální straně. [9]

2.5 Fotoreceptory

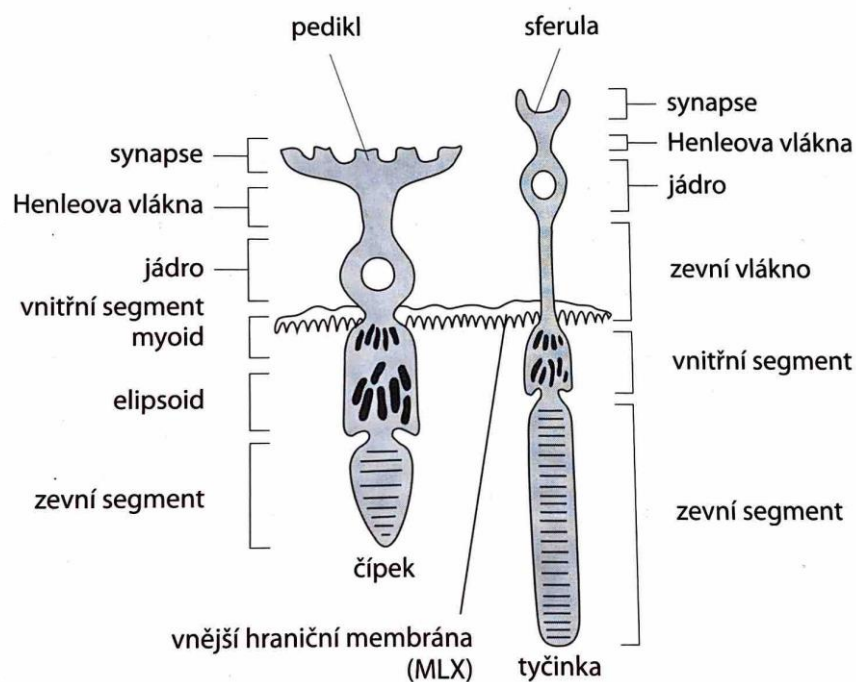
Fotoreceptorem, myslíme receptor citlivý na světlo, který se nachází v zadní části sítnice, *pars optica*. Mezi nejznámější patří tyčinky a čípky. Čípků je nejvíce ve foveole a naopak k periférii roste počet tyčinek. Pro představu vkládám Obrázek 3-1, na kterém je zřejmé, kde nalezneme největší počet fotoreceptorů. Nejvyšší hustota tyčinek je při 20° na každé straně od fovey. Ve slepé skvrně nejsou naopak žádné fotoreceptory. [6,7]



Obrázek 2-3 Výskyt fotoreceptorů na sítnici [31]

Fotoreceptory jsou neurony, které přeměňují světelnou informaci na chemickou. Fotopigmenty jsou uloženy především ve struktuře fotoreceptorů, nicméně některá studie zmiňují, že i gangliové buňky sítnice obsahují melanopsin a tím mohou být fotosenzitivní. Jejich pojmenování/zkratka se nazývá ipRGC. Nebylo prozatím zjištěno, zda vůbec mají nějakou roli v procesu barevného vidění. [16]

Zevní segment tyčinek a čípků obsahuje duté terčíky, které se skládají z lipoproteinových membrán a tato část je vehnána do vrstvy RPE (zevní vrstvy jednovrstevného retinálního pigmentového epitelu) pojmenována jako první neurony sítnice. Reakce zevního segmentu závisí na denním rytmu. Ve dne fagocytují tyčinky a v noci čípky. Výběžky fotoreceptorů, u čípků pedikula a u tyčinek sferula, souvisle přechází do bipolárních neuronů, nazývané jako druhé neurony sítnice, na které následně navazují gangliové buňky, třetí neurony sítnice, tvořící *ganglion nervi optici*. Jejich neurity vystupují z oka v *nervus optici*. Ve vnitřním segmentu najdeme mitochondrie uspořádané do elipsoidu. Zde se odehrávají oxidační pochody. [2, 3, 4,7,12]



Obrázek 2-4 Tyčinky a čípky [3]

Tyčinky

Celkový počet tyčinek je zhruba 120 milionů. Vytváří achromatický obraz, který je černobílý s odstíny šedé. Nacházejí se převážně v periférii sítnice. Během stárnutí dojde k jejich úbytku až o 30 %. Jsou 2 μ m silné a 60 μ m dlouhé. [3, 4, 7, 12]

V membránových discích tyčinek je navíc obsažen rhodopsin, zrakový purpur [2], který zachytí fotony. Rhodopsin byl objeven v roce 1851 H. Muller. [7] Je složen ze dvou částí. První část je absorbující chromofor retinal (retinaldehyd, aldehyd vitamínu A) a druhou součástí je opsin. Při dopadu světla na světločivnou buňku změní barvu a vyvolá vzruch. [3]

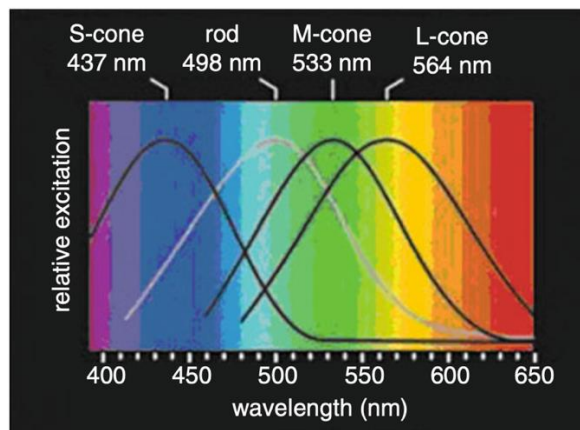
V zevním segmentu tyčinek se nachází velké množství disků, které reagují už při nízkých vlnových délkách. Ve vnitřním segmentu tyčinek dochází k produkci energie ATP a bílkoviny. Jako první po dopadu fotonu na sítnici, dojde k jeho absorpci. Jako hlavní aktér je zde již zmíněný rhodopsin. Jeho struktura je molekula opsinu se sedmkrát propleteným řetězcem retinalu. Jedna z hlavních reakcí je izomerace 11-cis-retinalu na all trans retinal při které dojde k rozdělení bílkoviny a barviva. Trans izomer se odpojí od opsinu. Tento děj probíhá při přechodu ze skotopických podmínek na vidění fotopické neboli vidění za světla. Při adaptaci na tmou, dojde ke změně trans izomeru opět zpět na 11-cis-retinal a vznikne spojení opsin s 11- cis- retinalem. Přeměna látek je pojmenována jako Waldův cyklus. [11]

Čípky

Čípky umožňují barevné vidění, barevný vjem, a v sítnici jich je 6-7 milionů. Rozdíl oproti tyčinkám není pouze v počtu, ale i ve tvaru a v místě uložení. V centrální jamce jsou však stejně velké jako tyčinky. [10] Čípky narozdíl od tyčinek, které obsahují již zmíněný rhodopsin, ukládají barvivo iodopsin. Iodopsin, stejně jako rhodopsin, při dopadu světla vyvolá vzruch, který přes dendrity postupuje do bipolárních buněk. Po dopadu fotonu probíhá stejná reakce jako u tyčinek. [3,11]

Jejich velikost závisí na místě uložení na sítnici. Největší počet čípků najdeme převážně ve středu fovey, kde mají v průměru 1,5 μ m a nachází se zde až 10 % z celkového množství čípků. Ve žluté skvrně jsou čípky na sobě nejvíce nahuštěné a zajišťují tak vysokou rozlišovací schopnost oka. I díky monosynaptickému spojení s bipolárními buňkami sítnice dojde k zajištění lepší zrakové ostrosti. Mimo foveolu jsou čípky s bipolárními buňkami spojeny polysynapticky a tím i klesá ostrost. [3,7,12]

Barevný obraz je složen díky třem druhům čípků, S, M a L. Jsou rozděleny podle citlivosti k vlnovým délkám a jejich výskyt na sítnici je odlišný. Na sítnici se objevují v poměru L:M:S = 40:20:1 avšak se nejedná o stálý poměr. Nejvyšší citlivost mají čípky L (long), které jsou citlivé na dlouhovlnové červené barvy, střední jsou M čípky (medium) na zelenou a S čípky (short) v modré oblasti pohlcující kratší vlnové délky (krátkovlnové). L čípky obsahují fotoropigment erythrolab, M čípky chlorolab a S čípky jsou složeny z fotoropigmentu s názvem cyanolab. Ve foveole najdeme převážně čípky L a M. S čípky zauímají místo spíše periferně. I když je vidění díky třem druhům čípků trichromatické, ve fovea centralis je pouze dichromatické. Vjem, který dopadá na sítnici musí mírně přesáhnout mimo foveu, aby se aktivovaly i S čípky. [12,13,17]



Obrázek 2-5 Absorpční spektra fotoropigmentů [19]

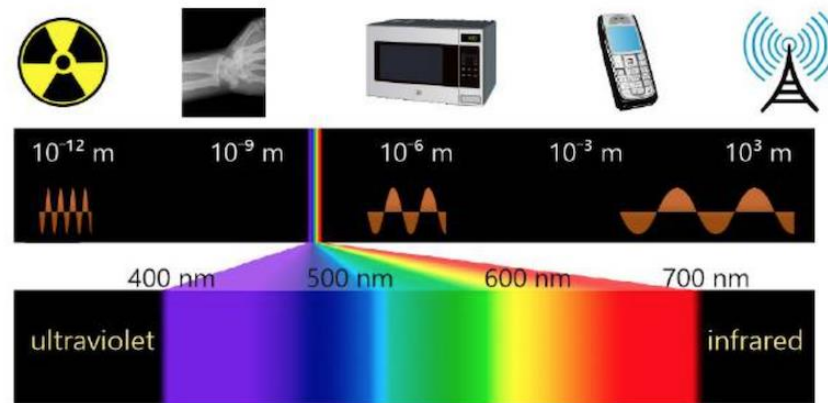
2.6 Vnímání barev

Barevné vidění závisí na vlnové délce světla procházejícího na sítnici, jasem a sytostí barev. Sytost je definována stupněm odchýlení od bílé barvy. Jas neboli svítivost je množství vyzařované nebo odrážené světelné energie. K jasů a sytosti patří ještě pojem odstín, kde mluvíme o umístění ve spektru (ve vlnové délce). [7, 28]

Podrážděním čípků je oko schopno rozeznat až 150 druhů barev a z nich vytvořit až 2 000 odstínů. Barevné vidění je pouze za fotopických podmínek, při kterém paprsky dopadají na žlutou skvrnu, kde se nachází největší počet čípků. Spektrometrem byli zjištěny tři druhy čípků reagující na různé vlnové délky. Každý ze tří čípkových pigmentů má své absorpční maxima. Pro modrou 440 - 450 nm, pro zelenou 535 - 555 nm a pro žlutou nebo červenou je hodnota 570 - 590 nm. Pomocí třech základních výše zmíněných čípků dojde k normální trichromazii.[5]

Pokud je nižší intenzita osvětlení, čípky předávají funkci tyčinkám, které jsou aktivovány ve skotopickém vidění. Jelikož se ve žluté skvrně nenachází tyčinky, dojde k centrálnímu skotomu a ke zhoršení vnímání drobných detailů. I tak zůstane dobrá orientace v prostoru. Tento proces popsal fyziolog J. E. Purkyně. Přejchod mezi fotopickým a skotopickým viděním je pojmenováno jako vidění mezopické jež je zmíněno výše. [5,8,19,28]

Viditelné světlo odpovídá úzkému rozsahu elektromagnetického spektra v hodnotách od 380 nm do 700 nm. Pokud je hodnota menší, oční čočka paprsek pohltí. [29]. Ultrafialové světlo, tedy světlo, které má nižší hodnoty vlnové délky než viditelné světlo, se nedostane k fotoreceptorům a je absorbováno předním segmentem oka. Je pro člověka neškodné a setkáme se s ním v běžném životě např. při přenosu rádiových vln. Naopak infračervené světlo, jež má vyšší hodnoty vlnových délek, se do oka dostane, ale má nedostatečnou energii a nezaktivuje opsin. [10,14]



Obrázek 2-6 Elektromagnetické spektrum [28]

Pro přehled zde uvádím tabulku s hodnotami vlnových délek vybraných barev viditelného světla. Hodnoty jsou přibližné. Nelze je přesně naměřit. [15]

Tabulka 1 Vlnové délky barev viditelného světla [15]

Barva	Vlnová délka
Červená	625-740 nm
Oranžová	590-625 nm
Žlutá	565-590 nm
Zelená	500-565 nm
Azurová	485-500 nm
Modrá	440-485 nm
Fialová	380-440 nm

2.7 Teorie barevného vidění

V současné době se nejčastěji zmiňují teorie od dvou autorů. Jedná se o trichromatickou teorii navrženou Youngem a Helmholtzem a teorii oponentních barev, kterou navrhl německý fyziolog Karl Ewald Konstantin Hering v roce 1872. [12]

2.7.1 Youngova – Helmholtzova trichromatická teorie

S popisem trichromatické teorie přišel Thomas Young v roce 1802. U zrodu teorie stála myšlenka, která udává, že smísením tří základních barev, lze vytvořit jakoukoliv barvu. Thomas Young zmiňoval, že oko obsahuje omezený počet receptorů a každý receptor reaguje na různé pásma vlnových délek. [7, 27]

V roce 1850 teorii rozvinul Hermann von Helmholtz. Výsledky svého výzkumu popisoval dle mísení barev použitím Maxwellovy techniky, která byla zkonstruována o několik let dříve. Jednalo se o kruhový disk složený ze základních barev. Podle Helmholtze by aktivací všech tří druhů čípků vznikl v mozku vjem bílého světla. [27]

Výsledky výzkumů vedly k formulaci trichromatické teorie. Světlo o určité vlnové délce stimuluje tři druhy receptorů na sítnici a aktivací vzniká konečný barevný vjem. V této teorii bohužel není vysvětleno, jak můžou dichromáti vnímat barvu bílou a žlutou a proč se směs červené a zelené jeví jako barva žlutá. Na druhou stranu je zde dobře popsán fotochemický proces sítnice. S experimenty se pokračovalo i v 50.letech 20.století na člověku i primátech. Výzkumy potvrdily, že jsou na sítnici tři druhy čípků reagující na různé vlnové délky. [7, 12, 13, 27]

V současnosti je teorie označována též pojmem RGB-model (červená, zelená a modrá) dle třech základních barev. [23]

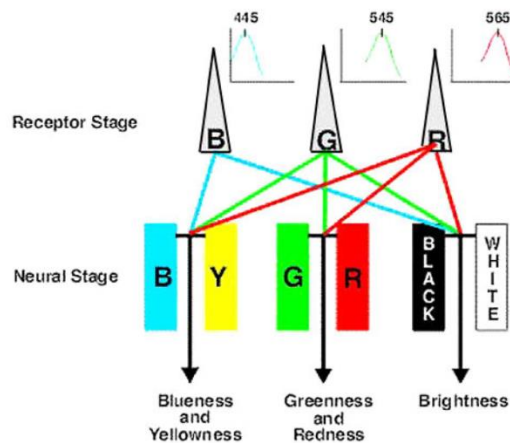
2.7.2 Teorie oponentních barev

Teorie byla navržena Ewaldem Heringem v roce 1872. Jelikož trichromatická teorie zbudila velký úspěch, byla teorie oponentních barev částečně opomíjena. Hering předpokládal, že existují tři protichůdná pásma. Červeno-zelené (R/G), modro-žluté (Y/B) a černobílé a navzájem se jedná o antagonisty. Uvidíme buďto modrou anebo žlutou, nikdy modrožlutou. Pokud je rozdíl mezi červeno-zelenou kladný, výsledný vjem bude červený. V případě že se bude jednat o zápornou hodnotu, uvidíme barvu zelenou. To samé platí pro dvojici Y – B. Pro achromatický pár (černo-bílý) je potřeba dodání menšího množství energie

než pro páry R/G a Y/B. I když Hering přišel s rozdílnou teorií, nikdy nezpochybnil teorii Younga a Helmholtze. Teorie už dokáže vysvětlit poruchu barvosleposti. [12,13]

2.7.3 Teorie chromatických kanálů

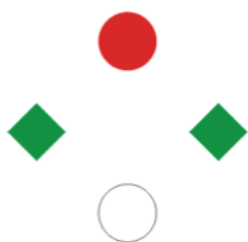
V dnešní době dochází ke kombinaci dvou zmíněných teorií. Jak ke zpracování pomocí L, M a S čípků, tak i signálů z teorie oponentních barev od Heringa. Počáteční stádium po absorpci fotonu lze považovat za receptorové stádium, které se skládá ze tří fotopigmentů (modré, zelené a červené části spektra). Dále dojde ke zpracování pomocí dvou chromatických kanálů a jednoho achromatického. Dva chromatické kanály značené R/G a Y/B jsou popsány následujícími rovnicemi. $R/G = L - M$ a $Y/B = (L + M) - S$. Třetí achromatický kanál je vyjádřen pomocí rovnice $A = L + M + S$. Jelikož nikdy nemůže dojít k záporné hodnotě, je znaménko mínus použito u rovnic, kde je jeden signál slabší než druhý. Tyto rovnice jsou důležité pro redukci šumu a jasnější vyjádření barev. Druhé zmíněné stádium je na postreceptorové úrovni a dochází k němu již na úrovni horizontálních buněk. [12,13]



Obrázek 2-7 Model lidského barevného vidění [13]

3 Vyšetření barvocitu

S vyšetřením barvocitu by se každý měl v životě setkat, a to nejčastěji u praktického lékaře nebo pediatra při preventivní prohlídce nebo při žádosti o řidičský průkaz. Díky včas zhotoveným testům lze odhalit i některá onemocnění. Může se jednat například o počínající kataraktu nebo i výpadek v zorném poli (skotom), nebo dokonce poruchu zrakové dráhy a korového centra. Vyšetření by se nemělo opominout u profesionálního řidiče či letce. Ti díky svým profesím musí mít dokonalé vidění a důležitou složkou je právě barvocit neboli barevné vidění. I v módním průmyslu má barvocit svou roli. Vyšetření už v raném věku u dětí lze provést velmi lehce a zábavnou formou. K vyšetření stačí barevné pastelky. Jednu barevnou pastelku dáme na začátek řady a druhou na konec. Dítě musí zbylé pastelky zařadit, jak jdou podle něj za sebou dle odstínů. Zlehčenou verzí je, že dítěti řekneme ať nám ze sady barevných tužek podá třeba žlutou nebo zelenou. Nejčastěji zvolíme barvu červenou a zelenou. Další možnost vyšetření je pomocí Worthových světel. Lze využít i Holmgrenovy bavlnky. [8,33]



Obrázek 3-1 Worthova světla [32]

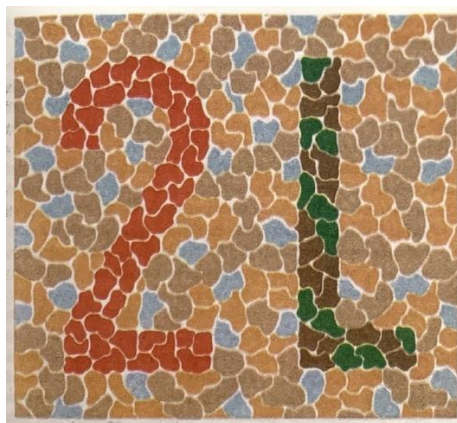


Obrázek 3-2 Barevné bavlnky Holmgrenovy [33]

3.1 Pseudoizochromatické tabulky

Nejčastěji se setkáme s pseudoizochromatickými tabulkami patřící mezi rozlišovací testy. Tabulky jsou složeny z různých barevných bodů s odlišným jasnem. Dohromady vytvářejí číslice, geometrické tvary nebo písmena a vyšetřovaný má za úkol je rozeznat do 15 sekund. Výsledek zapisujeme formou stránek, které pacient přečetl. Například když má test 15 stran a vyšetřující rozpoznal znaky do 12 strany, výsledek zapíšeme ve zlomku 12/15. Testuje se monokulárně avšak v praxi se spíše setkáme s binokulárním vyšetřením. Test má své

negativní stránky. Je pouze orientační a málokdy ho použijeme pro specifikaci poruchy barvocitu. Naopak mají jedno velké pozitivum. Jedná se o nejlevnější variantu vyšetření barvocitu. Příkladem tabulek jsou známé Ishihara tabulky nebo tabulky Richmond HRR. Pro dětské pacienty použijeme tabulku pojmenovanou Color vision testing made easy, které jsou složeny pouze ze symbolů. Některé publikace zmiňují, že se tabulky uchopí jeden metr od vyšetřovaného a kolmo k jeho obličejí. V současné době lze test provést i přes internetové stránky. [5,7,8,18,23]



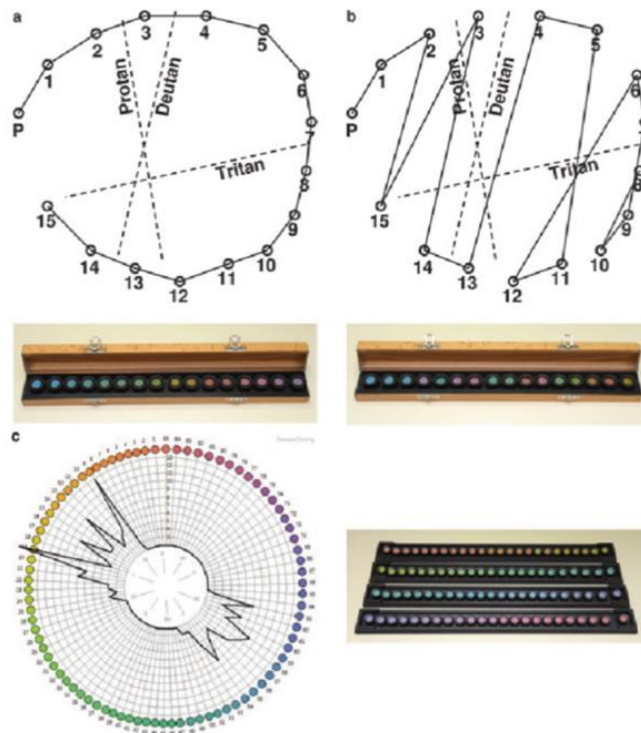
Obrázek 3-3 Pseudoizochromatické tabulky [8]

3.2 Color naming test

Další varianta testu je v angličtině pojmenována jako „Color naming test“ v překladu Test pojmenování barev. Test je přesněji zaměřen na poruchy barvocitu a provádíme ho tehdy, pokud vyšel pozitivní alespoň jeden seřazovací test. Stoupneme si před vyšetřovaného do vzdálenosti 6 m s vyšetřovací jednotkou. Vyšetřovací jednotka, pojmenována jako jednotka vnímání barev Giles-Archer, je v tomto testu bodový zdroj světla, kde přepínáme základní barvy a vyšetřovaný je do určité doby musí rozeznat. Doporučením je, aby žlutá barva byla prezentována mezi červenou a zelenou, abychom měli možnost odhalit deuteranopii. V České republice se s tímto testem moc neseškáváme. [7]

3.3 Seřazovací testy

K seřazovacím testům patří Farnsworth 100 Hue test a Lanthonyho test. Známejší je test **Farnsworth-Munsellův 100 Hue Test**. Dříve obsahoval 100 barev, dnes je složen z 84 barev složených ve 4 sadách a každá sada obsahuje 21 barev neboli žetonů. Žetony v jedné sadě mají stejný jas a saturaci. Liší se pouze v odstínu barev. Test funguje na principu Munsellova systému barev. V systému figuruje 5 odstínů: červená, žlutá, zelená, modrá a purpurová a každá z nich vytváří další typy barev (např. červenožlutá, žlutozelená, zelenomodrá, purpurově modrá a červeno purpurová). Následně se každá takto vytvořená barva rozdělí na 10 pododstínů a vytvoří 100 barev, jak už vyplývá z názvu. Při vyšetření se objevil problém s některými odstíny, a tak byli odebrány a výsledným počtem vyšetřovacích žetonů se stal počet 84. Vyšetřovaný má za úkol složit žetony podle odlišnosti, podle odstínů na LCD obrazovce. Začátek a konec stanovují pevně určené žetony. Výsledek zakreslujeme do kruhového polárního diagramu, kde ho lze lehce vyhodnotit. Test trvá s vyhodnocením přibližně 20 minut. Testem vyšetřujeme především pacienty s normálním viděním, bez poruch barvocitu, anebo se získanými poruchami (viz. Poruchy barvocitu). Nevýhodou testu je zhoršené porovnání mezi normálním barvocitem a anomální trichromázií.[7, 18, 23]



Obrázek 3-4 a) bez poruchy b) deuteranopie c) Farnsworth 100 hue test [16]

Obdobou 100 Hue Test je zjednodušená verze známá jako **Farnworth D-15 Test**. Zde pacient porovnává 15 barevných čepiček s nízkou saturací. Výsledek je zapisován do kruhového diagramu, kde se vytvoří dichromatická osa. Odtud je odvozen i název testu D-15. Osa rozděluje kruh na dvě poloviny. Pokud vyšetřovaný netrpí poruchou barvocitu, výsledkem zápisu je kruh. Slouží pro hodnocení získaných poruch barvocitu. [7, 23]

Další seřazovací test je již výše zmíněný **Lanthony New Colour test**. Sadu tvoří 15 žetonů po dvou úrovních. Druhá z úrovní je obtížnější. Nachází se zde desaturované žetony (žetony namíchané s bílou). Vždy máme startovací žeton, pomocí kterého zařadíme ostatní. Test je zaměřen na získané i vrozené poruchy barvocitu. Hodnocení testu s fyziologickým nálezem najdeme v Obrázku 3-4a. [23]

U seřazovacích testů závisí na saturaci. Pro pacienty s kataraktou je lepší použít výraznější žetony neboli satureované, a naopak pro bezproblémového pacienta spíše ty desaturované a více mu vyšetření ztížit. Při vyšetření musí být vhodné podmínky. To je především difúzní osvětlení, nejlépe denní světlo. [7]

3.4 Anomaloskop

Mezi míchací testy patří Anomaloskop dle Nagela. Principem je smíchání dvou monochromatických barev tak, aby výsledkem byla barva třetí. Pro vyšetření barvocitu je anomaloskop nejlepší a nejpřesnější vyšetření barvocitu. Na anomaloskopu testujeme především pacienty, kteří neprošli anebo měli problém při vyšetření s pseudoizochromatickými tabulkami. Jedná se o přístroj, kde pacient pozoruje jedním okem dvě zorná pole a porovnává je. Střídají se barvy žluté, červené a zelené v odlišných poměrech. [5,7,18]



Obrázek 3-5 Anomaloskop [18]

4 Poruchy barvocitu

Jak je již uvedeno výše, fyziologický stav oka je trichromatické vidění pomocí třech druhů čípků s odlišným fotonpigmentem. Pokud nastane odchylka od základního trojbarevného vidění, hovoříme o poruše barvocitu. Vznikne při mutaci genů OPN1LW, OPN1MW a OPN1SW. Gen OPN1LW obsahuje opsin citlivější na žlutooranžovou oblast (L-čípek), gen OPN1MW je citlivější na žlutozelené světlo (M čípky) a v poslední řadě OPN1SW na modrofialové (S čípek). Při poruše v červenozeleném spektru (nejčastější onemocnění) dojde k mutaci genů OPN1LW a OPN1MW, které způsobí chybu v L a v M čípkách. Chyba v genu OPN1SW způsobí chybu v S čípku (vytvoří se špatný S čípek anebo je čípek zničen) a dojde tak k poruše v modrožluté oblasti. Při fyziologickém stavu oka fungují na sítnici všechny tři geny. [24]

Poruchy barvocitu se rozdělují na dvě podskupiny. První je dělení na částečné a úplné. Více se setkáme s částečným onemocněním, mezi které patří např. dichromázie a anomální trichromázie. Úplné poškození barvocitu je při achromatopsii. [24]

Druhé dělení poruch barvocitu je na vrozené a získané. Rozdíly budou popsány v následujících podkapitolách. [24]

4.1 Poruchy vrozené

Vrozené poruchy barvocitu kategorizujeme dle funkčnosti čípků. Změnou v aminokyselinách opsinu v čípcích dojde k poškození vnímání primární barvy. Jedná se o poruchy především čípků M (zelený) a L (červený). Barevné vidění je nejvíce narušeno v červeno-zeleném rozsahu. U vrozených poruch, pokud se jedná o protanopii, deuteranopii, protanomálii a deuteranomálii, jsou častěji postiženi muži a to proto, že je recesivní onemocnění vázané na chromozom X a muži mají větší pravděpodobnost, že onemocní. U tritanopie a tritanomalie mohou být postižena obě pohlaví, jelikož při tomto postižení je poškozen gen na sedmém chromozomu. [24]

Daltonismus

Onemocnění je pojmenováno podle britského chemika Johna Daltona, který v roce 1798 publikoval první analýzu barvosleposti jež testoval a ověřoval přímo sám na sobě. Svou vadu zjistil na pozorování Pelargónie za denního světla a při svícení svíčky. Když viděl květinu za světla, byla pro něj modrá, a naopak při svícení svíčky se jevila červeně. Jako první na sobě provedl vyšetření na barvocit, kdy měl za úkol složit barevné hedvábí pomocí odstínů. Nejprve

si pohrával s myšlenkou, že za jeho onemocnění může barevnost sklivce. Po jeho smrti lékaři prozkoumali obsah oka a zjistili, že sklivec má barvu odpovídající věku. [20,21]

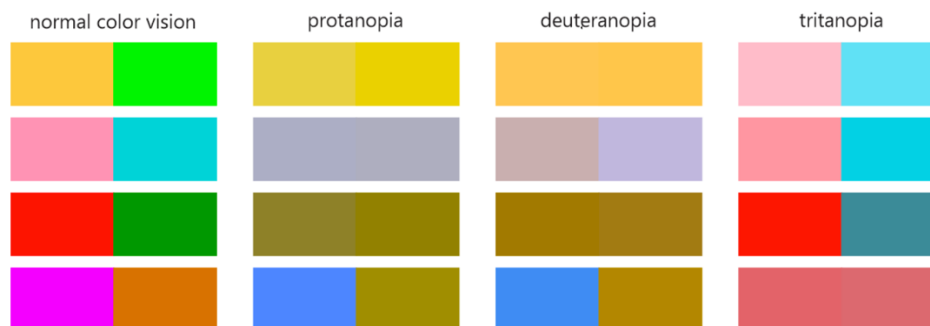
Daltonismus je vrozené onemocnění, kdy pacient trpí na červeno-zelenou barvoslepost. Daltonismem neboli barvoslepostí v dnešní době trpí až 8 % mužů a 0,5 % žen. Onemocnění lze rozdělit do dvou skupin. Pacienti s částečnou anebo s úplnou barvoslepostí. Při úplné barvosleposti pacient vnímá svět kolem sebe černobíle. Dojde ke snížení zrakové ostrosti. Úplnou barvoslepost doprovází často hypoplazie žluté skvrny, nystagmus a světloplachost. [8]

Anomální trichromazie

Anomální trichromazie je mírnější formou poruchy barvocit. Čípek, který je poškozen, zareaguje při dopadu světla špatně a tím dojde k defektu vnímání určité barvy a jejich odstínů. Jedna z vad se nazývá protanomálie, kde je postižená citlivost na červené světlo, deuteranomálie je snížená citlivost na zelené světlo a tritanomálie na modré. Často se porucha protanomálie a deuteranomálie spojuje jako červeno-zelená barvoslepost, jelikož dochází u obou typů onemocnění ke zhoršení vidění v odstínech červené, zelené, hnědé a oranžové barvy. U tritanomalie je obtížné rozeznat rozdíly mezi dvojicí modré a žluté, fialové a červené a modré a zelené. [28]

Dichromazie

Mezi další vrozenou poruchu barvocitu je dichromazie. Při dichromatickým vidění na sítnici najdeme buďto tři druhy čípků, kdy jeden z nich je dysfunkční anebo pouze dva druhy čípků. Poškození následně vede k tomu, že lidé nemohou vnímat část viditelného spektra. Poruchu rozdělujeme na oblast červenou, zelenou a modrou. Protanopie jsou chybějící čípky na červenou oblast spektra, deuteranopie na zelenou oblast a tritanopie na modrou. Pacient trpící protanopii je zmaten, když je černá s velkým množstvím červené, když je tmavě hnědá se tmavě zelenou nebo s tmavě oranžovou anebo modrá s odstíny červené. Deuteranop má potíže s modrozelenou se šedými odstíny nebo i světle zelenou se žlutou. Tritanopie je velmi vzácné onemocnění. [28]



Obrázek 4-1 porovnání barev u poruch barvocitu [28]

Monochromazie (achromatopsie)

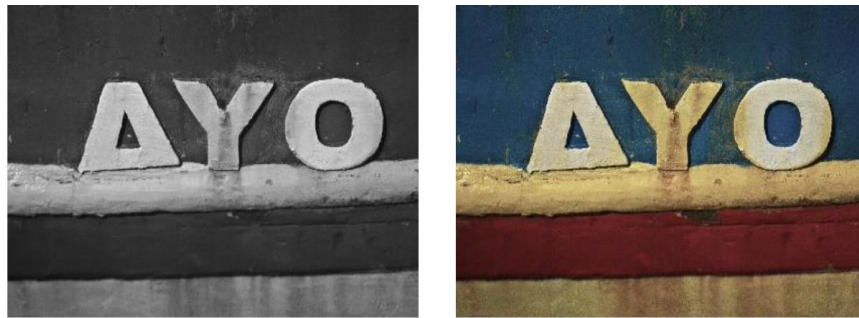
Monochromazie je poruchou vrozenou, kdy poškozenému chybí dva až tři druhy čípků. Porucha je rozdělena na tyčinkovou a čípkovou. Mezi jednu z nejhorších variant monochromazie je tyčinková monochromazie. Při té je poškozeno vnímání jakékoliv barvy. Vidění závisí pouze na funkčnosti tyčinek. Naopak při čípkové monochromazii je vidění celkem normální s minimálními odchylkami. Jedná se o lehčí formu poruchy, se kterou se často nesetkáme. [24]

Dalším typem monochromazie je monochromazie modrého čípku. Poškozeny jsou geny OPN1LW a OPN1MW, a tedy vidění je pouze pomocí fungujících S čípků. Některé studie však uvádí, že je zbytkové množství čípků pro červenou barvu ponecháno. Při onemocnění je snižená zraková ostrost doprovázená nystagmem a fotofobií. Často se jedná o pacienty s myopií. [16]

Tyčinková monochromazie, označována i jako úplná nebo neúplná achromatopsie, je charakterizována nefunkčností čípků. Výskyt je zhruba 1 ze 30 000 až 50 000 lidí na celém světě. Onemocnění má autozomálně recesivní dědičnost a je doprovázeno snížením zrakové ostrosti, zhoršeném rozpoznávání detailů a fotofobií. Je často označována za nejhorší poruchu barvocitu. [8]



Obrázek 4-2 Normální barevné vidění [28]



Obrázek 4-3 Monochromazie - tyčinek (vlevo), modrého čípku (vpravo)[28]

Jak je již uvedeno výše, nejčastěji se setkáme s poruchou pro červeno-zelenou barvu. Při výzkumu pacientů postižených v červeno-zeleném spektru byli nejčastěji uváděny problémy se zorientováním v navigaci, v mapách na internetu anebo v dopravních signálech. [23,24]

4.2 Získané poruchy

Získané vady barevného vjemu jsou z velké části způsobené v důsledku různých očních onemocnění např. při poškození optického nervu, kataraktou, postižení zrakové dráhy, afakií nebo hemoftalmem. K poruše může dojít i při glaukomu anebo v důsledku centrálního skotomu. Další vliv na barvocit má porucha v lomivosti refrakčních médií, kdy procházející paprsek na sítnici je refrakčním médiem pohlcen. Když je vada v zevních vrstvách sítnice, dojde k postižení trichromatického systému. Pokud je vada až ve vnitřních vrstvách sítnice, zrakového nervu a zrakové dráhy, je vada v nervových vláknech. Poškození vnitřních vrstev sítnice a lomivosti vede spíše modrožlutým vadám, a naopak poškození vnitřních vrstev sítnice k vadám červenozeleným. Někdy je opravdu těžké zjistit, zda se jedná o poruchu vrozenou nebo získanou. Poruchy barvocitu jsou většinou provázeny i poruchou zrakové ostrosti. [19]

Pod získanou poruchu barvocitu spadá i xantopsie, erytropsie a chloropsie. Při xantopsii je žlutavé vidění a dochází k němu nejčastěji při žloutence. Erytropsie je červené vidění např. při oslnění a otravách. Chloropsie je už vzácnější vidění, kdy postižený vnímá zeleně. Dále existuje vidění modré (kyanopsie) a fialové (iantinopsie). [8]

Získaným poruchám barvocitu věnuji celou další kapitolu.

5 Faktory ovlivňující barvocit

Některé faktory působící na barvocit jsou vypsány v následující kapitole. Vybrány byly pouze jen některé, se kterými se setkáme nejčastěji a dále neobvyklá onemocnění, která mají spojitost s barvocitem.

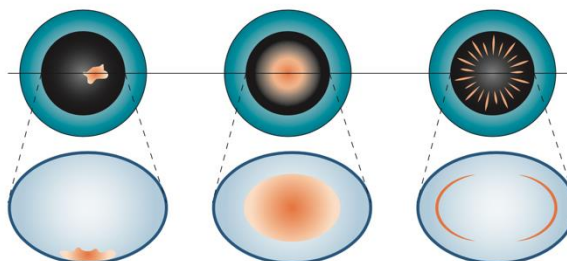
5.1 Nemoci s vlivem na vnímání barev

Jak je již uvedeno u získaných poruch barvocitu, na vnímání barev mají vliv jak běžná onemocnění, tak i ojedinělé poškození sítnice.

5.1.1 Katarakta

Jedná se o onemocnění, kterým trpí až 70% obyvatelstva nad 75 let. Katarakta je jedno z nejčastějších onemocnění způsobující slepotu v nerozvinutých zemích třetího světa. Prozatím nebyla nalezena žádná možnost, která by tomuto onemocnění zabránila. Pouze se zjistilo, že některé faktory zapříčiňují vznik katarakty. Mezi rizikové faktory řadíme např. kouření, UV-B záření, diabetes či alkohol. [3] V dnešní době je jedinou léčbou katarakty právě chirurgický zákrok, při kterém se odstraní zakalená čočka a vloží se nitrooční čočka (dále jen „IOL“). Chirurgicky se operuje především fakoemulzifikací. [36,37]

Katarakta související s věkem (senilní katarakta) se projevuje většinou u pacientů starších 50 let. Při senilní kataraktě pod šterbinovou lampou vidíme žlutavé zakalení, které je způsobeno chemickými změnami čočkových proteinů s tvorbou pigmentace, nižší koncentrace draslíku a glutathion, vyšší koncentrace sodíku a vápníku a zvýšená hydratace čočky. Projevem onemocnění je navíc pokles vizu. Senilní kataraktu dále rozdělujeme na zadní subkapsulární kataraktu, přední subkapsulární kataraktu, kortikální kataraktu a nukleární kataraktu. [3,37]



Obrázek 5-1 Katarakta subkapsulární (vpravo), nukleární (střed), kortikální (vlevo) [37]

Zadní subkapsulární katarakta je nezávislá na věku pacienta. Zákal je umístěn v zadním kortexu čočky u optické osy. Projevit se může např. po traumatu, při intraokulárních zánětech nebo při užívání kortikosteroidů. [3,37]

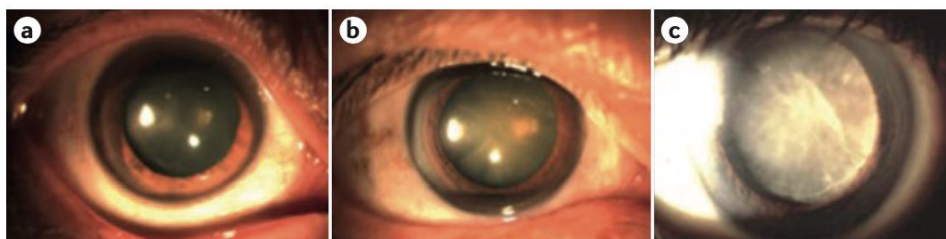
Nukleární katarakta má pomalejší vývoj. Oční čočka při onemocnění tvrdne a žloutne. Pacientovi způsobí problém s pohledem do dálky, jelikož při nukleární kataraktě dochází ke zvýšení indexu lomu a to vede k myopizaci oka. Při progresi může dojít až k poškození barevného vidění a to nejvíce v modrém spektru. [3,37]

Kortikální katarakta se projevuje nejprve rozostřením obrazu. U pacientů v pokročilém stádiu může vyvolat až monokulární diplopii. Zraková ostrost se odvíjí od umístění kortikálních zákalů. Tento typ katarakty může mít rychlejší progres než výše zmíněná nukleární katarakta. [3,37]

Nemusí však hlavní roli hrát vysoký věk. U dětí se katarakta rozděluje na vrozenou (katarakta je přítomna již před narozením) a juvenilní (vzniká až po narození). Vrozená katarakta patří mezi nejčastější příčiny dětské slepoty. Tento typ katarakty vzniká např. vlivem farmak při průběhu vývoje plodu, při nitroděložních infekcích, u vrozených či genetických poruch. [3,37]

Na vznik katarakty mají vliv i léky či trauma. Léková katarakta je způsobena např. kortikosteroidy, jež se dlouhodobě užívají, vyvolávají zadní subkapsulární kataraktu. Mezi další léky způsobující kataraktu řadíme např. fenotiaziny, miotika nebo amiodaron. [3,37]

Traumatická katarakta je vyvolána mechanickým poraněním, vlivem chemických látek nebo i elektrického proudu. Při subluxaci nebo dislokaci čočky může dojít k poškození závěsného aparátu a dříve upevněná čočka se uvolní. [3,37]



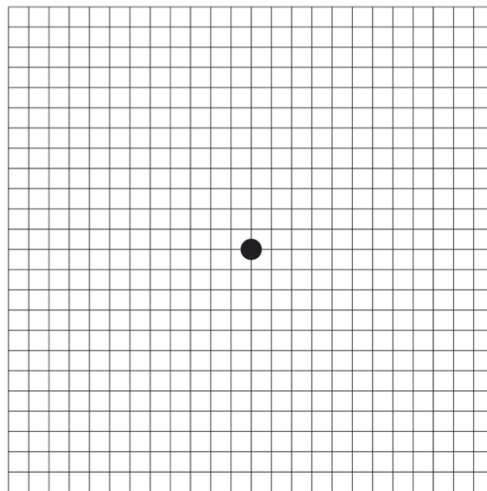
Obrázek 5-2 a) nepatrný šedý zákal, b) středně těžká katarakta, c) „zralá“ katarakta [36]

5.1.2 Glaukom

Při onemocnění zeleným zákalem neboli glaukomem, je porucha barvocitu především v barvě modré, modrozelené a v modrožluté. Při onemocnění se jako první objeví porucha ve zmíněných odstínech barev a až poté následuje poškození zorného pole. Je proto správným krokem při preventivní prohlídce taktéž vyšetřovat barvocit. [3]

5.1.3 Věkem podmíněná makulární degenerace

Onemocnění má vliv jak na barvocit, tak i zhoršuje adaptaci na tmou, kontrastní citlivost či stereopsi. Věkem podmíněná makulární degenerace (VMPD) už podle názvu je závislá na věku pacienta. Rozdělujeme ji na dvě formy. Vlhkou a suchou formu. Méně závažnější je suchá forma, se kterou se setkáme nejčastěji. Zanikají tyčinky a čípky až vznikne centrální skotom. Vlhká forma je závažnější a v důsledku onemocnění pacient může přijít zrak. Průběh vlhké formy je rychlejší než u formy suché. Vlhká forma vzniká novotvořenými cévami, které prorůstají ze spodní části sítnice. Při diagnostice věkem podmíněné makulární degenerace je vyšetřována zraková ostrost a barvocit. Dále se vyšetřuje pomocí Amslerovy mřížky (Obrázek 6-1), kdy pacient pozoruje bod uprostřed a vnímá deformace obrazu. [25,29]



Obrázek 5-3 Amslerova mřížka pro detekci VMPD [29]

5.1.4 Poškození sítnice

Progresivní dysfunkce čípků má příznaky zhoršování vizu, barvocitu, bez nystagmu. Je snižená anebo úplně nefunkční reakce čípků, dědičnost je autozomálně dominantní i recesivní a vázaná na pohlaví. [3]

Birdshot retinochoroidopatie je oboustranné zánětlivé onemocnění sítnice a choroidei. Vyskytuje se ve středním věku doprovázená fotofobií. Terapií je krátkodobé podávání kortikosteroidů. [3]

Dalším onemocněním ovlivňující poruchu barvocitu je **Hypoplazie n.II.** jedná se o onemocnění týkající se jednostranné, vzácně oboustranné, zmenšení papily zrakového nervu. Vyskytuje se problém jak s barvocitem, tak i s kontrastní citlivostí a omezení zorného pole. [3]

Atrofie papily zrakového nervu je onemocnění, při kterém dojde k úbytku vláken zrakového nervu. Nemoc působí jak na poruchu barvocitu, tak i na kontrastní citlivost a při vyšetření perimetrem jsou diagnostikovány skotomy. Jednou z hlavních příčin atrofie optiku je glaukom. [3]

Optickou neuritidou onemocní převážně ženy od dvacátého do čtyřicátého roku věku. Tato se projeví nejprve rozmazaným viděním na jednom oku. Jelikož se u části pacientů na zrakovém terči neobjeví žádný nálezn, je proto pacient vyšetřen na barvocit, kontrastní citlivost a je mu doporučeno vyšetření zorného pole. Při vyšetření perimetrem je častým nálezem centrální skotom. [3]

K sítnicovým onemocněním patří mnoho dalších. Vypsala jsem však jen některé, které mě zaujala a měla spojitost s barvocitem.

5.2 Léky s vlivem na barvocit

Barvocit ovlivňují i některé léky. A to například:

Tamoxifen – lék aplikovaný při léčbě rakoviny prsu, ovlivňuje barvocit i vizus, po vysazení se většinou vše vrací do normálu [3]

Etambutol – lék při léčbě tuberkulózy způsobující toxickou optickou neuropatii, jako první dochází k poruše barvocitu, zužuje se zorné pole [3]

Chlorochin – lék na malárii, vedlejším účinkem je porucha barvocitu [24]

5.3 Alkoholismus

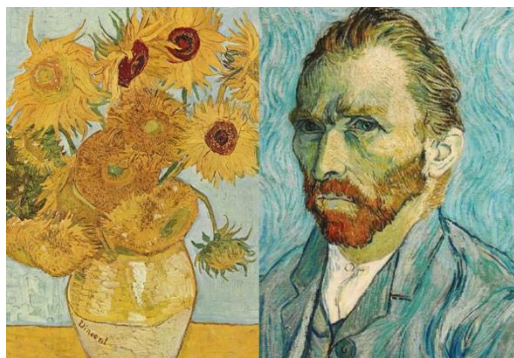
Dle provedených výzkumů hraje alkohol roli při poruše v modrožlutém rozsahu. Experiment probíhal se 136 osobami závislými na alkoholu. Postižení trpěli především formou dichromatsie. Vliv alkoholu doprovázelo i věkové rozdělení. [30]

5.4 Noční slepota

Kongenitální stacionární noční slepota je onemocnění ne tak časté. Jeho prvním subjektivním příznakem je šeroslepost. Pacient nemá ovlivněný vizus a oční pozadí je v normálu. Porucha je vrozená a vyskytuje se už od dětství. Ovlivňuje mírně barvocit a je doprovázená nystagmem či strabismem. Testuje se pomocí elektroretinografie. [22]

5.5 Chromatsie

Chromatsie je definována jako barevná vada, při které výrazně vnímáme odstín jedné barvy. Může být důsledkem změn normálního rozložení fotoreceptorů, jejich schopnosti komunikovat s postsynaptickými neurony nebo změn samotných postsynaptických neuronů. Nejčastějšími příčinami získané chromatsie jsou účinky léků. Xantopsii (žlutý odstín, žlutý nádech) vyvolává nejčastěji digoxin (lék na srdeční choroby). Xantopsií trpěl například známý malíř Vincent Van Gogh, která svá díla maloval v odstínech žluté. Cyanopsie (převaha modrého odstínu) je často způsobena inhibicí čípkové fosfodiesterázy (PDE), která je nepostradatelnou částí při reakci čípků a tyčinek na světlo. Vzhledem k přítomnosti PDE5 v cévách cévnatky a sítnice zvyšují tyto léky průtok krve cévnatkou a způsobují vazodilataci cév sítnice. Erytropsie (vidění s odstíny červené) je způsobená nejčastěji krvácením do sklivce. Chromatsie vzniká jak po účincích léků, tak například i po extrakci katarakty, při onemocnění sítnice a při žloutence. Chromatsie způsobená drogami je vždy binokulární. [26]



Obrázek 5-4 Vincent Van Gogh a jeho dílo Slunečnice [35]

6 Experimentální část

V praktické části své bakalářské práce se zaměřím na změnu barvocitu vlivem katarakty. Téma bakalářské práce jsem si vybrala díky výzkumu pana J. Ventruby pod názvem článku „Vliv implantace IOL na zrakovou ostrost, kontrastní citlivost a barvocit za 2 a 4 měsíce po operaci katarakty“. Po domluvě s oftalmologem MUDr. Ivanou Valentovou jsem v její ordinaci naměřila více jak 20 pacientů a z toho vybrala 10 nejzajímavějších měření a následně zpracovala kazuistiky. Pacienti měli poloviční artefakii, oboustrannou artefakii, počínající nebo progredující kataraktu.

6.1 Průběh

Měření probíhalo v oční optice Ineko optik v Pardubicích, kde sídlí též ordinace MUDr. Ivany Valentové. Vyšetřovaný byl nejprve zkontrolován v samotné ordinaci. Jednalo se o pacienty, kteří buďto přišli na preventivní kontrolu anebo pacienti, kteří byli předem domluveni a dorazili pouze za účelem testování barvocitu. Pacienti po preventivní prohlídce byli nejčastěji ti, u kterých byla diagnostikována progredující katarakta. Po vyšetření u paní doktorky, která zkontrolovala objektivní refrakci, použila šterbinovou lampu a zkontrolovala vizus, byli pacienti zasláni do vyšetřovny v oční optice, kde probíhala kontrola změřených dioptrií na dálku i na blízko a samotné měření barvocitu.

Vyšetření na barvocit probíhalo následovně. Jako první jsem si zaznamenala pohlaví, jejich rok narození a anamnézu. Ptala jsem se, zda někdy neměli problém s barvocitem a jestli byli testováni u praktického lékaře pseudoizochromatickými tabulkami. Většina odpověděla, že test zná. Někteří, že test znají i z internetu. Poté jsem se dotazovala, kterou operaci podstoupili. Možnosti byli: jednostranná artefakie, oboustranná artefakie a katarakta. (viz. Formulář). Po konzultaci anamnézy začalo samotné vyšetření. Subjektivní refrakce probíhala ve vyšetřovně optiky, která má své vybavení omezené a tak jsem změřila korekci do dálky a následně do blízka. Vyšetřovací vzdálenost byla 4 m. V kazuistikách je například uveden řádek, kde ze 4 m pacient vidí to, co zdravé oko např. z 12 m. Korekci do blízka jsem vyhodnotila na červozeleném testu umístěným na čtecích tabulkách. Následovalo vyšetření na pseudoizochromatických tabulkách a seřazovacích testech. U některých pacientů test probíhal na každém oku zvlášť, tedy monokulárně, u některých jsem zařadila i binokulární vyšetření. Jelikož se jednalo o pacienty vyššího věku, testy s nimi byli více časově náročnější a některé výsledky byly zmatečné. Nejčastěji se jednalo o chybu, kdy pacient měl zřejmě domnění,

že barvy musí seskládat podle odstínů od nejtmaší po nejsvětější, a tak na seřazovacích testech zaměnil pískovou barvu za fialovou. Toto vyhodnocení ale nebylo do práce zařazeno. Do práce jsem chtěla zařadit i výsledky pacienta před operací, při jednostranné artefakii a po oboustranné artefakii. Pacient bohužel kvůli časové náročnosti byl testován online. Testy jsou uvedeny v metodice.

6.2 Metodika

Pro testování změn barvocitu vlivem katarakty jsem použila pseudoizochromatické tabulky a seřazovací testy vypůjčené z FBMI ČVUT v Praze.

Ishihara's test for colour deficiency jsou pseudoizochromatické tabulky projektovány tak, aby co nejrychleji poskytly vyšetření na barvocit. Každá stránka obsahuje kruhy tvořeny barevnými body, které tvoří určitý znak, nejčastěji se jedná o číslo. Pacientovi byla do rukou vložena tabulka do vzdálenosti zhruba 35-40 cm. Vzdálenost jsem přizpůsobila pacientově čtecí vzdálenosti. Na první stránce u čísla 12. jsem vysvětlila postup vyšetření a demonstrovala, jak test bude probíhat. Na každý znak měli v průměru maximálně 15 s. Nesměli pohybovat hlavou a tabulku si pootáčet. Výsledek byl zapsán do tabulek. Pokud se u pacienta nevyskytl problém u 11 destiček, jedná se o normální vidění. Pokud pacient stěžuje rozeznal 7 destiček, jedná se o abnormalitu. [38]

Tabulka 2 Odpovědi na jednotlivé stránky pseudoizochromatických tabulek [38]

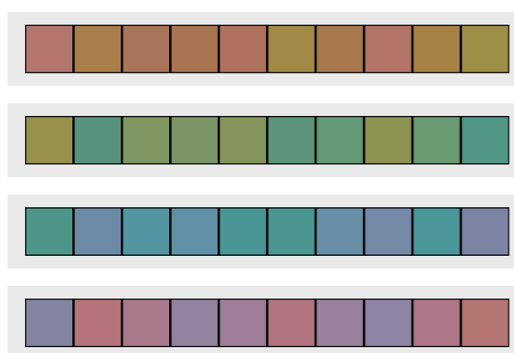
Číslo stránky	Normální barvocit	Pacient s poruchou v červeno-zeleném spektru				Pacient s úplnou barvoslepostí
1	12	12				12
2	8	3				x
3	5	2				x
4	29	70				x
5	74	21				x
6	7	x				x
7	45	x				x
8	2	x				x
9	x	2				x
10	16	x				x
11	Zelená cesta	x				x
		protan		deutan		
		silný	mírný	silný	mírný	
12	35	5	(3) 5	3	3 (5)	
13	96	6	(9) 6	9	9 (6)	
14	dvě linie	fialová	fialová (červená)	červená	červená (fialová)	x

Dalším testem byl Farnsworth D-15 Color test opět vypůjčený z FBMI ČVUT v Praze. Test je stručnější forma testu Farnsworth-Munsell 100 Hue. Obsahuje pouze 15 očíslovaných barevných terčů. Test nám odhalí defekty v protan, deutan a tritan ose. Na vyšetření byl zvolen test saturovaný, tedy v sytých barvách. Při použití desaturovaného testu by byly výsledky více ovlivněny opacitami čočky. Při testování se saturovaným testem pacienty rozdělujeme do dvou skupin. První skupinu tvoří silně/středně barevný deficit, druhá skupina je mírnější forma defektu nebo normální barevné vidění. Referenční, první disk má nulovou hodnotu. Jedná se o první pevně zařazený disk, podle kterého se následně zařazují další barevné disky. Testování by nemělo trvat déle jak dvě minuty. Po zařazení barevných disků do plastového uzávěru, pacient může ještě některé disky přeskupit. Poté je test ukončen a zapsán do kruhové grafu podle čísel na spodní části disků. Většina testů byla provedena monokulárně. Za binokulárních podmínek test nejčastěji probíhá u pacientů s vrozenými barevnými vadami. U některých kazuistik jsem pro porovnání zařadila i test za binokulárních podmínek. Při záměně disků jež mají odstíny blízko sebe se toto nevykazuje v mé práci jako chyba. Někteří vyšetřovaní při testování zařadili za 7. disk hned disk s číslem 15 (fialová barva). I to se nepočítá jako velká chyba pokud od čísla 15 pacient zařadil zbylé terče postupně. Pokud po umístění 15. terče

nedojde k postupnému barevnému seskupení, vyskytuje se nejspíše defekt v modrém spektru. [39]

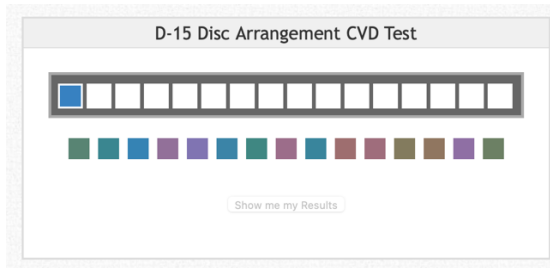
Pro testování pacienta, který testy vyhotovil online jsem zvolila následující tři testy. Farnsworth Munsell 100 Hue Test, D15 color blindness test a naskenované pseudoizochromatické tabulky. Při výběru vhodného online testu na barvocit jsem se inspirovala bakalářskou prací Ing. Leontýny Varvařovské pod názvem „Porovnání testů pro určení barvocitu“. [44]

V prvním testu Farnsworth Munsell 100 měl pacient za úkol seřadit všechny čtyři řádky dle odstínu, kde první a poslední barvy jsou pevně dány. Hodnoceno podle skóre chyb. [40]



Obrázek 6-1 Ukázka testu Farnsworth Munsell 100 [41]

V druhé části se počet barev zúžil na 15 v podobě D15 Color Arrangement testu. Zde měl pacient seřazovat barevná pole opět podle odstínů. Po vyhotovení testu se zobrazí vyhodnocení. Pro zařazení výsledku je zaznamenána hodnota TES, celkové skóre chyby, které se pohybuje přibližně od 11 do 40. Hodnoty u pacienta bez barevné vady se pohybují okolo hodnot 11,4-20,3. [41]



Obrázek 6-2 Ukázka D15 Color Arrangement test [42]

Jelikož u pacientů, které jsem testovala v ordinaci, jsem použila pseudoizochromatické tabulky, vložila jsem je i do online testování. Tabulky jsem naskenovala a přeposlala pacientovi. Testování probíhalo na počítači Omen by HP s 15,6 palcovým displejem, 1920 x 1080 pixelů a 250 nitů vždy v podobný čas. [42]

6.3 Vypracování

6.3.1 Kazuistika 1 – online testování

Typ: katarakta (kortikonukleární) + jednostranná artefakie + oboustranná artefakie

Korekce: před operací

OP =10,50 vis 4/8

OL =12,00 vis 4/8

Po 1.operaci

OL =3,00 vis 4/8-6

Po 2. operaci

OP =3,00 vis 4/4

Předepsaná korekce po operaci:

OP =2,75 =0,50 ax 115° vis 4/4

OL =2,75 =0,50 ax 60° vis 4/4

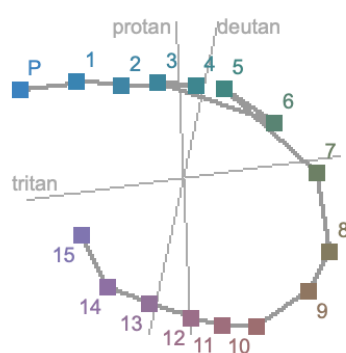
Jako první zde uvádím kazuistiku pacienta, který vyšetření provedl online před svou první operací, při jednostranné artefakii a při oboustranné artefakii. Byl upozorněn, aby test vždy vyhotovil ve stejný čas a se stejným denním osvětlením. Testován byl pomocí Farnsworth Munsell 100, D15 testu a pseudoizochromatických tabulek. U těchto testů bohužel nemám zapsané časové vymezení.

Pacient před samotnou operací měl původní korekci na obou oči =8,50 dpt. Na blízko žádné předepsané dioptrie neměl. Při operaci mu byla implantována akrylátová čočka s hodnotami +14,50 dpt. Jednalo se o hodnotu, která zmírní jeho vysokou myopii. Hned po první operaci nedosáhl nejlepšího visu jelikož se na rohovce objevil pooperační otok v centru rohovky a vyšší NOT. Subjektivně to popisoval jako mlhavé vidění. Po druhé operaci bylo však vše v pořádku a přečetl s korekcí 4/4. Testování barvocitu zhotovil nejprve pomocí své původní korekce a během operací měl v brýlích předepsanou korekci =3,00 dpt. Objektivní refrakce je zaspána ve formuláři v příloze.

1. Výsledky před první operací - katarakta



Obrázek 6-3 Snímek testu Farnsworth Munsell 100 Hue test - před operací, score 6 [40]

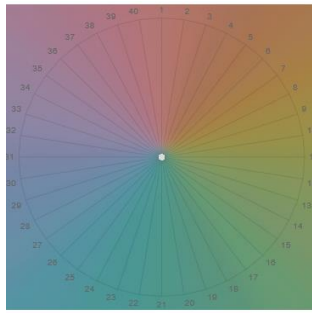


Obrázek 6-4 D-15 test - před operací, TES 15,2 [41]

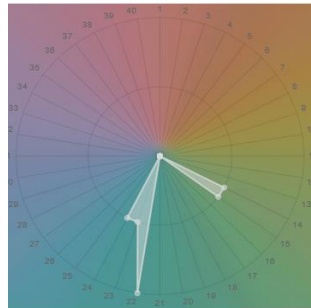
Tabulka 3 Výsledek pseudoizochromatických tabulek před operací

Číslo stránky	Normální vidění	Pacientovo vidění
1.	12	12
2.	8	8
3.	5	5
4.	29	29
5.	74	74
6.	7	7
7.	45	45
8.	2	2
9.		X
10.	16	16
11.		X
12.	35	35
13.	96	96
14.	Dvě cesty (fialová, růžová)	Dvě cesty

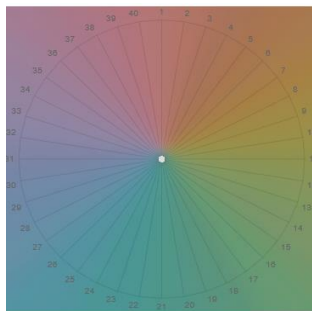
2. Jednostranná artefakie



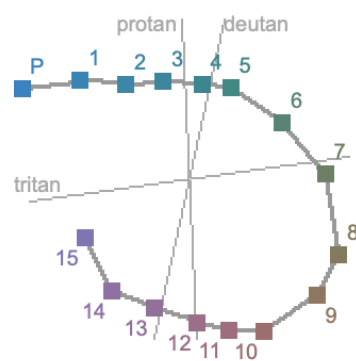
Obrázek 6-5 Farnsworth Munsell 100 Hue test OL operované, score 0 [40]



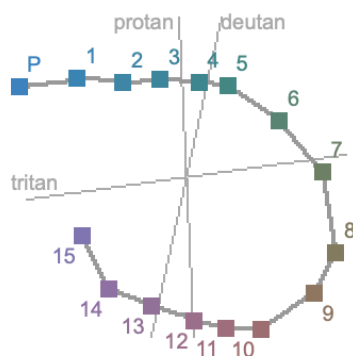
Obrázek 6-6 Farnsworth Munsell 100 Hue test OP katarakta, score 6 [40]



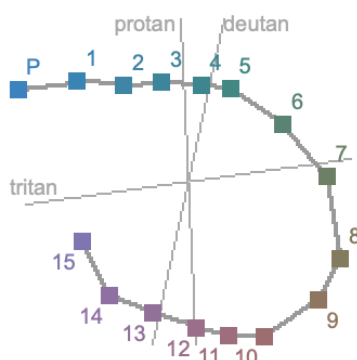
Obrázek 6-7 Farnsworth Munsell 100 Hue binokulární vyšetření, score 0 [40]



Obrázek 6-8 D-15 test OL operované, TES 11,4 [41]



Obrázek 6-9 D-15 test OP katarakta TES 11,4 [41]

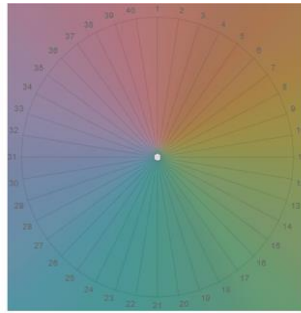


Obrázek 6-10 D-15 test binokulárně, TES 11,4 [41]

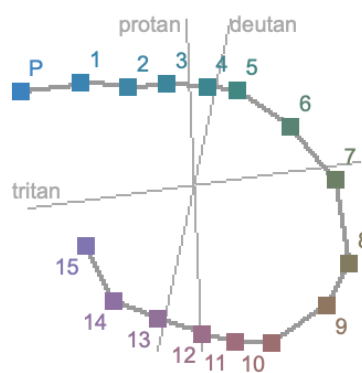
Tabulka 4 výsledek pseudoizochromatických tabulek po první operaci

Číslo stránky	Normální vidění	OP	OL	BINO
1.	12	12	12	12
2.	8	8	8	8
3.	5	5	5	5
4.	29	29	29	29
5.	74	74	74	74
6.	7	7	7	7
7.	45	45	45	45
8.	2	2	2	2
9.		X	X	X
10.	16	16	16	16
11.		X	X	X
12.	35	35	35	35
13.	96	96	96	96
14.	Dvě cesty (fialová, růžová)	Dvě cesty	Dvě cesty	Dvě cesty

3. Oboustranná artefakie



Obrázek 6-11 Farnsworth Munsell 100 Hue test po operaci binokulárně, score 0 [40]



Obrázek 6-12 Výsledek D-15 testu po operaci, TES 11,4 [41]

Tabulka 5 Výsledek pseudoizochromatických tabulek po druhé konečné operaci

Číslo stránky	Normální vidění	Pacientovo vidění
1.	12	12
2.	8	8
3.	5	5
4.	29	29
5.	74	74
6.	7	7
7.	45	45
8.	2	2
9.		X
10.	16	16
11.		X
12.	35	35
13.	96	96
14.	Dvě cesty (fialová, růžová)	Dvě cesty

Vyhodnocení:

Již z kruhových grafů je patrné, že před operací pacient hůře rozpoznal barevné body v modrém a zeleném spektru. Při testování pomocí D-15 testu chyboval s barevnými žetony modré. Ty špatně zařadil a prohodil. Po druhé operaci, kdy jsem pacienta přes email poprosila, aby test zhotovil každé oko zvlášť a následně binokulárně, se opět při monokulárním vyšetření objevila rozdílnost. Odoperované oko mělo skóre nula, neboli bez chyby, oko před operací mělo poruchu v modrozeleném spektru se skórem 6 s vyšší amplitudou v modrém spektru. Na D-15 testu se již žádná záměna neobjevila. Výsledky pseudoizochromatických tabulek byly před operací i následně po operaci stejné a správné. Po druhé operaci žádná změna nebyla a všechny výsledky byly v normě.

6.3.2 Kazuistika 2

Typ: oboustranná artefakie

Oční anamnéza: VPMD (nepatrné sklerotické změny)

Korekce: pouze na blízko

OP +2,5 =0,75 ax 95°

OL +2,5 =0,5 ax 90°

Visus: OP 4/4, OL 4/4, BINO 4/4

Pseudoizochromatické tabulky: OP 10/14, OL 11/14 BINO 13/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:34 s, OL 1:41 s, BINO 2:40 s

I když se ve své práci zabývám spíše změnami u pacientů s kataraktou, přidala bych zároveň porovnání i s artefakií. Pacientka byla na operaci minulý rok. Před operací měla subjektivní potíže a zhoršený visus. Popisovala, že nepřečetla číslo blížícího se trolejbusu. Pacientka před operací měla problém s rozpoznáním prvního řádku na optotypu. Bohužel bližší informace nejsou zapsané v kartě, protože do ordinace paní doktorky přišla pouze za účelem předoperačního vyšetření. Implantovaná čočka měla hodnotu +20,5 dpt. Jednalo se o kortikonukleární kataraktu. Následovala kontrola po operaci a zapsání korekce pouze na blízko. Brýle na dálku nenosí. Do optiky přišla pouze za účelem vyšetření barvocitu.

Pacientka je vyššího věku a u pseudoizochromatických tabulek si tabulky velmi často pootáčela a nakláněla hlavu. Na tabulkách se u pravého oka spletla pouze u čtyř obrazců, u levého oka pouze u tří a binokulárně byla chyba u třech obrazců. Vyšetření pomocí tabulek trvalo déle jelikož jsem musela pacientku vždy upozornit na náklon hlavy. Na seřazovacích testech se vyskytly pouze minimální změny. U pravého oka pacientka zaměnila jeden barevný bod, u levého oka zachybovala u dvou barev. Při binokulárním vyšetření, které jsem testovala před monokulárním, se objevila chyba v seřazení čísla 9 a 15. Tato chyba se vyskytla pouze při prvním vyšetření. U monokulárního seřazování již tuto chybu neudělala. U této pacientky binokulární vyšetření trvalo delší dobu než samotné monokulární. Zřejmě kvůli neznalosti testu. V přílohách práce jsou uloženy všechny protokoly o měření. V první kazuistice naměřené v optice přikládám protokol přímo za kazuistiku pro příklad.

Pacient: č.	2
Jméno pacienta:	KMONČKOVÁ HELENA
Rok narození:	1942

Anamnéza: /

Porucha barvocitu: ano/ne

NA BARVOCIT NIKDY NEJESTOVÁNA

Operace: jednostranná / oboustranná / katarakta

AF

Datum operace: 2022

Předepsaná korekce:

	sph	cyl	ax	Visus	Visus Bino
OP		= 0,75	95°	4/4	4/4
OL		= 0,50	90°	4/4	

Korekce blízko:

OP +2,5 = 0,75 95° vis. 0,6 0,6
 OL +2,5 = 0,50 90° 0,6

Objektivní refrakce:

	sph	cyl	ax
OP	= 0,25	= 0,75	93
OL	= 0,50	= 0,25	90

Čas zhotovení:

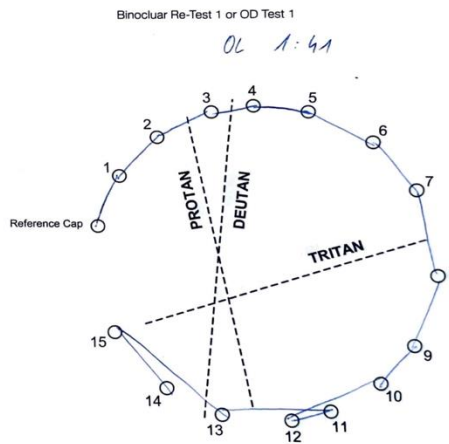
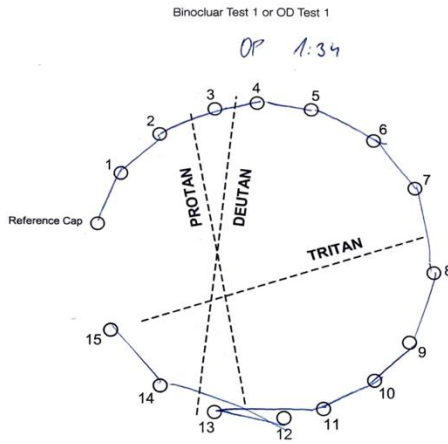
Pseudoizochromatické tabulky:

Číslo stránky	Normální vidění	Pacientovo vidění
1.	12	12 / 12 / 12
2.	8	3 / 8 / 13
3.	5	5 / 5 / 15
4.	29	21 / 29 / 29
5.	74	21 / 21 / 21
6.	7	7 / 7 / 7
7.	45	8 / 45 / 45
8.	2	2 / 8 / 12
9.		x / x / x
10.	16	16 / 16 / 16
11.		2 / 2 / 2
12.	35	5 / 35 / 35
13.	96	98 / 96 / 96
14.	Dvě cesty (fialová, růžová)	R+f / R+f / R+f

OP OL BINO

Farnsworth D15 Score Sheet Template

Name: KOMŮŤOVÁ HELENA DOB: _____ Test Date: 15.4.
 Mode: Binocular or OD OS Tester: _____



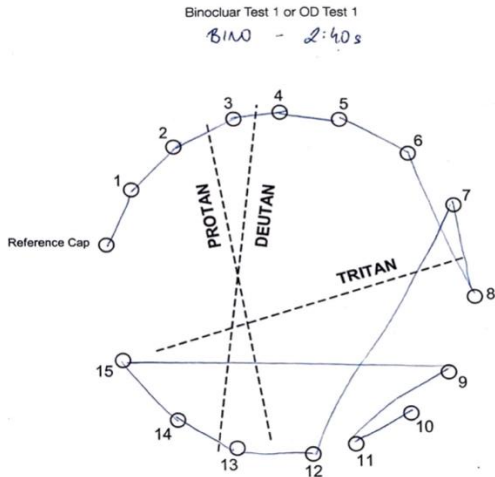
www.good-lite.com | 1.800.362.3860 | 1.888.362.2576 fax



Obrázek 6-14 šablona výsledkové listiny Farnsworth D15

Farnsworth D15 Score Sheet Template

Name: _____ DOB: _____
 Mode: Binocular _____ or OD _____ OS _____ Tester: _____



www.good-lite.com

Obrázek 6-15 Šablona výsledkové listiny Farnsworth D15 binokulární

6.3.3 Kazuistika 3

Typ: progredující katarakta na obou očích

Oční anamnéza: lehce VPMD, glaukom, operace katarakty – červen 2023

Plná korekce:

OP =1,00 =1,00 ax 95°

OL +1,50 =0,75 ax 65°

Visus: OP 4/12, OL 4/8-6, BINO 4/8

Pseudoizochromatické tabulky: OP 10/14, OL 11/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP – 2:36 s, OL – 2:15 s

Pacientka navštívila ordinaci za účelem preventivní prohlídky. Po prohlídce byla zaslána do vyšetřovny optiky, kde jsem se jí zeptala na další informace a změřila barvocit. Pacientka je narozena v roce 1936 a v červnu tohoto roku je objednaná na první operaci. Jedná se tedy o progredující (nukleární) kataraktu u obou očí. Testovaná na barvocit nikdy nebyla. U pacientky byla nalezena u obou očí věkem podmíněná makulární degenerace a také se již léčí s glaukolem. Onemocnění však nemají zásadní vliv na visus. Na dálku přečte s plnou korekcí u pravého oka 4/12 a u levého 4/8–6. Předepsanou korekci na dálku nenosí. Korekce na blízko je +2,50 dpt. Jelikož se jedná o pacientku před operací, její korekci jsem ponechala a neměnila. Po vložení dioptrií do zkušební obruby a kontrole na blízko, jsme postupně přešly v samotné měření barvocitu.

Při testu pomocí pseudoizochromatických tabulek bylo vyšetření znatelně lepší u levého oka než u pravého. To samé je vidět i na výsledcích seřazovacího testu. U pravého oka se vyskytlo více chyb než u oka levého. U levého oka se jedná pouze o chybu při záměně 9 a 15. Jak již zmiňuji výše, nebere se tento výsledek jako špatně. S pacientkou byla horší komunikace, a tak jsem jí nechtěla více trápit a test zhotovila pouze monokulárně. Více informací je v příloze práce.

6.3.4 Kazuistika 4

Typ: OP – počínající katarakta, OL – artefakie

Oční anamnéza: po úrazu 2022 OL hemoftalmus, subluxe čočky, poúrazový glaukom, OL zadněkomorová IOL

Korekce:

OP =1,00

OL =0,50 =0,75 ax 30°

Visus: OP 4/6, OL 4,6, BINO 4,6

Pseudoizochromatické tabulky: OP 14/14, OL 14/14, BINO 14/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP – 1:25 s, OL – 1:32 s, BINO 1:15 s

Pacient navštívil ordinaci pouze za záměrem vyšetření barvocitu. Toto vyšetření jsem do své práce zařadila především díky rozdílnosti pravého a levého oka. Při úrazu pružným stahovacím popruhem došlo u levého oka k subluxaci čočky a pacient musel podstoupit operaci. Subluxaci doprovázel hemoftalmus a poúrazový glaukom. Následně byla vložena zadněkomorová IOL s hodnotou +19,00 dpt. Na barvocit byl testován pouze u praktického lékaře. Na blízko brýle nenosí. I tak jsem pacientovi předložila čtecí tabulky. Pohodlně přečetl řádek 0,60. Testování probíhalo bez korekce.

Výsledky vyšetření na barvocit byly více než výborné. Na tabulkách pacient rozeznal všechny obrazce a u seřazovacích testů se nevyskytla jediná chyba. Zde došlo k testování i za binokulárních podmínek a i tak výsledky byly velmi uspokojivé. Jelikož u pravého oka je teprve počínající katarakta, nebyla na testech nalezena znatelná chyba. Objektivní refrakci a výsledky vyšetření jsou v příloze. Pacient popisoval, že nevidí při zakrytí operovaného a neoperovaného oka velké změny až na mírné zakalení a žluté odstíny na pravém neodoperovaném oku s kataraktou. Jelikož u pacienta není velký rozdíl visu a katarakta je pouze počínající, neobjevily se na testech žádné změny.

6.3.5 Kazuistika 5

Typ: progredující katarakta

Oční anamnéza: OP progredující katarakta, OL maligní melanom,

Korekce:

OP =2,50

Visus: OP 4/6-4

Pseudoizochromatické tabulky: 14/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: 1:26 s

Pacient přišel o oko kvůli malignímu melanomu cévnatky s vrůstáním do skléry v roce 2017. Od té doby používá především skleněné protézy. Teprve prvním rokem zkouší akrylátovou protézu, která mu vyhovuje více. Nestudí a je mu příjemnější. Na druhou stranu, od skleněné protézky, akrylátová působí méně přirozeně. Na pravém oku se vyskytuje nukleární katarakta, která má být odoperovaná v srpnu roku 2023. Pacient nosí brýle pouze na dálku a na blízko čte bez korekce. Pohodlně přečetl řádek 0,60 na čtecích tabulkách ze vzdálenosti 40 cm. S korekcí =2,5 dpt na dálku přečte řádek 4/4-6.

Na barvocit byl pacient testován pouze u praktického lékaře a tabulky si kdysi zkoušel online přes počítač. Vyšetření pomocí tabulek proběhlo bez problémů a pacient rozpoznal všechny obrazce. U seřazovacích testů se opět vyskytl problém se zařazením žetonu s číslem 15. Pacient vložil žeton fialové barvy hned za žeton 9. Opět se nejedná o chybu. Pacient test zhotovil v přiměřeném čase a neměl s vyšetřením problémy.



Obrázek 6-16 Skleněná protézka pacienta, Kazuistika 5

6.3.6 Kazuistika 6

Typ: katarakta

Oční anamnéza: pomalu progredující katarakta, na pravém oku výrazná exkavace očního nervu (lze vidět i na snímcích OCT)

Korekce: na dálku nenosí

Blízko OP +3,50

OL +3,50

Visus: OP 4/8-6, OL 4/4

Pseudoizochromatické tabulky: OP 11/14, OL 12/14, BINO 12/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:43 s, OL 1:30 s, BINO 1:21 s

Pacient byl na preventivní prohlídce u paní doktorky a následně byl vyšetřen i na barvocit ve vyšetřovně optiky. Na dálku korekci nenosí, avšak na pravém oku přečte řádek 4/8 - 6 s pomocí +0,50 dpt. Rozdíl visu u pravého a levého oka nezapříčiňuje exkavace pravého očního nervu, je zde rozdíl v zakalení čočky. Při vyšetření na barvocit měl pacient nandanou svou korekci jelikož hodnota mého měření korespondovala s nošenou korekcí. Na červenozeleném testu mu obě barvy přišly stejně výrazné. Objektivní refrakce je zapsaná v příloze.

U pseudoizochromatických tabulek zapochyboval pacient na pravém oku třikrát a na levém pouze dvakrát. Binokulární vyšetření bylo dle něj mnohem lepší a pohodlnější. Při vyšetření pomocí seřazovacích testů se po zakrytí levého oka zmínil, že pravé oko je pro něj o dost horší. I tak ale pochybil stejně jako u levého. Opět se zde vyskytla záměna žetonů 9 a 15. To samé i u binokulárního vyšetření.

6.3.7 Kazuistika 7

Typ: jednostranná artefakie

Oční anamnéza: OP – artefakie, OL – počínající katarakta, OP zašednutí v centru rohovky po refrakční operaci (1993)

Korekce:

OP plan =0,50 ax 80°

OL plan =1,50 ax 75° add 3,00

Visus: OP 4/4, OL 4/6

Pseudoizochromatické tabulky: OP 11/14, OL 9/14, BINO 11/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:43 s, OL 2:11 s, BINO 1:32 s

Pacienta přišla do ordinace za účelem vyšetření barvocitu a schůzka byla předem domluvená. Nejprve jsem se pacientky zeptala na anamnézu. Testovaná na barvocit byla pouze u praktického lékaře. Změřila jsem korekci do dálky a následně na blízko. Na blízko pacientka pohodlně přečetla řádek 0,60. Následovalo vyšetření barvocitu. Pacientce jsem vysvětlila, jak vyšetření bude probíhat a co ji bude čekat.

Měření začalo na pravém odoperovaném oku. Na pseudoizochromatických tabulkách měla pacientka problém u třech obrazců. Při vyšetření levého oka pociťovala větší změnu v kontrastu barev. Častěji si tabulku nakláněla a mžourala. U levého oka pak pochybila u pěti obrazců. Při vyšetření na seřazovacích testech jak monokulárně tak i binokulárně udělala stejnou chybu a to, že zaměnila 8 a 15 žeton. Na pravém oku při monokulárním vyšetření zaměnila čtyři žetony a na levém pouze dva. Binokulárně pacientka opět prohodila 9 a 15 žeton. U tabulek se objevil větší rozdíl výsledků než u seřazovacích testů.

6.3.8 Kazuistika 8

Typ: oboustranná artefakie

Oční anamnéza: 2021 operace OL, 2022 operace OP

Korekce:

OP =2,00 =0,75 ax 85°

OL =2,00 =0,50 ax 80°

Visus: OP 4/4, OL 4/4, BINO 4/4

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:47 s, OL 1:36 s, BINO 1:54 s

Pseudoizochromatické tabulky: OP 13/14, OL 12/14, BINO 13/14

Pacientka do optiky zavítala pouze za záměrem vyšetření na barvocit. Její výsledky jsem použila ve své práci především díky oboustranné artefakii. Pacientku jsem neměřila poprvé. V únoru roku 2023 se pokusila o nošení kontaktních čoček. Byl to však jen pokus se zkušebními multifokálními čočkami. Čočky po uplynutí zkušební doby přestala nosit a opět se vrátila k brýlím. Při aplikaci multifokálních kontaktních čoček na dálku viděla okamžitě. Na blízko ji adaptace trvala necelých pět minut. Do kontaktních čoček nebyly vloženy cylindrické hodnoty a tak na pravé nekonečno chtěla zvýšit dioptrie o =0,25 dpt. Zvýšení bychom aplikovali u dalšího balení kontaktních čoček. K tomu však nedošlo. Na dálku používá v brýlích korekci OP =2,00 =0,75 ax 85° , OL =2,00 =0,50 ax 80°. S touto korekcí pohodlně přečte i poslední řádek na optotypu. Na blízko je zvyklá si brýle sundat a číst bez brýlí. Na čtecích tabulkách v optice ze vzdálenosti 40 cm přečetla řádek 0,80. Subjektivně popisovala, že před operací katarakty viděla barvy tmavší. Popisovala např. že bílá barva se jí zdála až někdy do šeda a růžová do fialova. V tom ale samozřejmě hraje velkou roli kontrastní citlivost, než samotný barvocit.

Na pseudoizochromatických tabulkách byly pouze mírné změny. Na pravém oku s jednou chybou, na levém se dvěma a binokulárně s jednou chybou. U abstraktního devátého obrazce viděla binokulárně číslo 2. U seřazovacích testů se vyskytla opět ta stejná chyba jako u předchozích kazuistik a to záměna žetonu 9 a 15. Probíhající měření patřilo mezi déle trvající. Při vyšetření pomocí seřazovacích testů se vždy po umístění žetonů do plastového pouzdra pokoušela o záměny a nebyla si výsledkem jistá.

6.3.9 Kazuistika 9

Typ: oboustranná artefakie s trifokálními IOL

Oční anamnéza: 2023 operace OP a následně OL, na barvocit netestován

Korekce: bez korekce

Visus: OP 4/4, OL 4/4, BINO 4/4

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:08 s, OL 1:15 s

Pseudoizochromatické tabulky: OP 14/14, OL 13/14

Tato kazuistika je zajímavá trifokálními IOL. První operace byla provedena v únoru roce 2023 a druhá navazovala hned v březnu téhož roku. Pacientovi byly vloženy čočky Lisa a byl operován v Praze na klinice Lexum. Operace dle něj proběhla velmi dobře. Pod štěrbinovou lampou IOL hezky sedí a pouzdra jsou čirá. Korekci nepoužívá, avšak řádek 4 přečetl pohodlně s korekcí na pravém oku +0,50 dpt a vlevo s pomocí +0,50 cylindrické hodnoty v ose 80°. Korekce předepsána nebyla. Na blízko vidí velmi dobře a pohodlně přečetl řádek 0,80.

Na barvocit pacient nikdy testován nebyl a pseudoizochromatické tabulky si zkoušel jednou online. Vysvětlování tedy bylo zjednodušeno. U pravého oka při testování pomocí tabulek nechyboval ani jednou. Pouze jedna chyba se vyskytla u levého oka. Tabulky si nenatáčel a vyšetření bylo rychlé a svižné. Při seřazovacích testech opět zaměnil 10 žeton za 15. Dále však šly barvy dle odstínů. Zde testování proběhlo pouze monokulárně. Zajímalo mě, zda je možný rozdíl pravého a levého oka. Odlišnost výsledku byla minimální.



Obrázek 6-17 Trifokální IOL LISA Zeiss [43]

6.3.10 Kazuistika 10

Typ: jednostranná artefakie

Oční anamnéza: OP progredující katarakta, OL – artefakie

Korekce: na dálku bez korekce

Na blízko

OP +1,75

OL +2,25

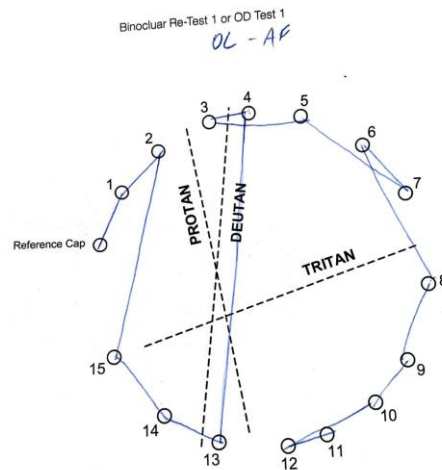
Visus: OP 4/6, OL 4/4

Pseudoizochromatické tabulky: OP 12/14, OL 9/14

Čas zhotovení seřazovacích testů: OP 1:15 s, OL 1:45 s

Pacient byl pozván do ordinace za účelem vyšetření na barvocit. Na preventivní prohlídce u oftalmologa byl koncem února. Byl zkontrolován na šterbinové lampě. Na levém pseudoafakickém oku byla před operací diagnostikována nukleární, zadní i před subkapsulární katarakta s visem levého oka 4/12-8, která byla odoperovaná minulý rok 2022. Na levém oku bylo po operaci vše v pořádku, na pravém oku se již vyskytuje progredující katarakta. S doplňující korekcí na pravém oku =1,00 dpt přečetl řádek 4/6 a vlevo s +0,5 dpt přečetl pacient řádek 4/4. Brýle mu doporučeny nebyly. Při vyšetření na blízko jsem začala s hodnotou +1,75 dpt a následně na pravém oku ještě hodnotu mírně zvýšila. Pacient popisoval, že se mu s přidanou dioptrií čte pohodlněji. Přečetl řádek 0,80 na čtecích tabulkách. S testováním na barvocit se nikdy nesetkal a potíže též nikdy nepostřehl.

Při vyšetření barvocitu jsme začali zakrytím levého oka. Pacient popisoval, že vidí ostře, ale s nádechem žluté. Ale i tak rozpoznal všechny obrazce vyjma dvou. Při vyšetření levého oka na pseudoizochromatických tabulkách měl pacient problém s čísly 35 a 95. Výsledky poukázaly na vadu – mírný deutan. Na tabulkách postřehl pouze číslo 3 a 9. Deutan se následně ukázal i na seřazovacích testech. Na pravém oku bylo vše v pořádku, u levého se v grafu promítla deuteranopie. Testováno bylo pouze monokulárně. Časové rozmezí vyhotovení testů bych zařadila mezi středně časově náročné. Zde bych pacienta chtěla vyšetřit i po druhé operaci.



Obrázek 6-18 Výsledek pacienta, mírný Deutan

6.3.11 Kontrolní skupina

Pro lepší porovnání výsledků měření jsem otestovala i pár studentů z FBMI a svých vrstevníků. Při vyšetření použili svou vlastní nošenou korekci. Testování na pseudoizochromatických tabulkám jim problém nedělalo a neobjevila se žádná chyba. To platí i na seřazovacích testech. Testy většinou zhotovili do minuty a chyby se objevily minimálně. U studentů se nevyskytla chyba v seřazování žetonů 9 a 15. Dle mého názoru hraje velkou roli věk a pochopení testu.

7 Diskuze

Článek „Vliv implantace IOL na zrakovou ostrost, kontrastní citlivost a barvocit za 2 a 4 měsíce po operaci“ uvádí, že v předoperačním vyšetření pomocí Farnsworth D-15 testu pacienti chybovali v 92 % v modrožluté oblasti, což se při mém testování neobjevilo. [34]

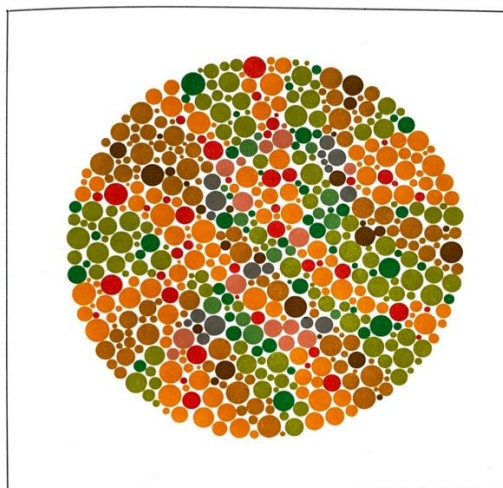
Jediná chybovost v modrém spektru se zjistila při testování pacienta online u Farnsworth Munsell 100 Hue testu.

Změřeno bylo 23 pacientů, z toho 13 žen a 10 mužů. Věk probandů se pohyboval od 65–87 let.

Měření v ordinaci probíhalo bez obtíží. Díky ochotě paní doktorky jsem mohla v oční optice využít celou vyšetřovnu. Všichni pacienti byli vyšetřeni vždy za stejných světelných podmínek. Vyšetřovna v oční optice se více jak pět let nevyužívá, a tak její vybavení bylo vcelku omezené. I tak však byla možná kontroly korekce. Výsledná korekce do blízka se málokdy lišila od nošené či doporučené korekce paní doktorky.

Samotné vyšetření trvalo každé zhruba 30 minut. Jelikož vyšetřovaní byli vyššího věku, byla jsem s nimi více trpělivá a na dotázání některé věci opakovala a čas se díky tomu ještě mírně natáhl. U kontrolní skupiny celé vyšetření proběhlo do deseti minut. Ovšem je potřeba zmínit, že zde nebyla potřeba kontroly korekce do blízka.

Naměřené výsledky na pseudoizochromatických tabulkách byly z velké části pouze orientační. U pacientů vyššího věku často docházelo k pootočení tabulek či naklánění hlavy. Pacienti byli upozorněni, ale i tak si hlavu nadále pootáčeli. Na abstraktním devátém obrazci, který je složen z několika barevných bodů, někteří probandi určili, že vidí v obrazci číslici 2 (viz. Obrázek 7-1). Při dotázání na poslední stránku testu, kde můžeme najít tři druhy barev a to fialovou, růžovou a šedou, někteří pacienti popisovali i zelenou.



Obrázek 7-1 Pseudoizochromatické tabulky, str. 9 [38]

U většiny pacientů se vyskytla záměna 9 a 15 žetonu. Chyba se neobjevila pouze u pacientů s kataraktou, ale i u jednostranných či oboustranných artefakii. I když se dle návodu seřazovacího testu nejedná o chybu, tato skutečnost mi přišla překvapující. Pro kontrolu jsem provedla měření skupiny nižšího věku, zda někdo z dotázaných udělá též stejnou chybu. Chyba se neukázala. Zřejmě je zde důležitým faktorem věk pacienta a pochopení testu. Oslovení studentů či vrstevníci test zhotovili převážně do jedné minuty. U pacientů s kataraktou testy trvaly déle.

U vyšetření seřazovacích testů, jsem pacienty nejprve testovala monokulárně. Následovalo binokulární vyšetření, které probíhalo obdobně jak monokulární. Většinou bylo časově rychlejší. U pár pacientů vyšetření proběhlo pouze za monokulárních podmínek a to především u pacientů vyššího věku a nebo monokula.

Při dotazu, zda se jim testy zdají povědomé, respondenti často odpovídali, že test viděli u praktického lékaře. Pár pacientů si některé dostupné testy zkusili na internetu. Někteří však uvedli, že test viděli poprvé. Pacientům, kteří vyšetření na barvocit nikdy nebyli, jsem po měření sdělila výsledek.

Do práce jsem zařadila kazuistiky, které byly něčím neobvyklé a kde byla možnost se o pacientovi více rozepsat. Nezařazení pacienti nebrali vyšetření příliš zodpovědně a nedávali měření velkou váhu anebo výsledky byli velmi totožné, a tak jsem do práce zařadila jen jednu kazuistiku například ze třech podobných.

Pro své měření v ordinaci jsem si zvolila seřazovací test Farnsworth D-15 color, kde mají pacienti seřadit žetony dle odstínů. Test byl lepší pro vysvětlení a zhotovení než online varianta, kterou jsem též zvažovala. I když by bylo více účinné testy zhotovit pomocí online Farnsworth 100 Hue testu, myslím, že jelikož se jedná o pacienty vyššího věku, byla by pro ně online varianta více náročná a tím by zřejmě výsledky byly dost ovlivněné. U seřazovacích testů se občas vyskytl problém se zařazením žetonů do plastového pouzdra. Někteří vyšetřovaní si po opětovném umístění do plastového pouzdra uvědomili chybu a častokrát výsledek ještě pozměnili, a to mohlo ovlivnit časové rozpětí výsledků testů. Jednalo se převážně o pacienty s kataraktou vyššího věku.

U první kazuistiky měřené online bylo vše domluveno přes e-mail. Pacientovi průběžně přes zprávy chodily informace, jak má testy vyhotovit a za jakých podmínek. Své výsledky mi posílal jako snímky obrazovky. V práci je uvedeno i na jakém počítači práci vyhotovil. Testování zde probíhalo bez větších obtíží.

Výsledky měření před operací poukázaly na vadu v modrozelených odstínech barev s vyšší amplitudou v modrém spektru. Maximální chybové skóre se však pohybuje pouze okolo hodnot 6. Tato nízká hodnota spadá mezi normální výsledky. To samé se vyskytlo u jednostranné artefakie při monokulárním vyšetření. U binokulárního vyšetření bylo skóre 0. Další výsledky při oboustranné artefakii byly v normě, bez chyb. Při vyšetření seřazovacím testem bylo před operací viditelné menší zaváhání opět v modrozelených žetonech. Při dalším testování nebyla žádná chyba. Pseudoizochromatické tabulky zde byly pouze doplňující. Pacient měl po první operaci subjektivní potíže a test zhotovil až těsně před druhou operací.

U pacienta v kazuistice 5 jsem zmínila i porovnání očních protéz. Subjektivně pacient lépe hodnotí akrylátové, i když jsou pro něj o dost dražší. Skleněné mu přijdou více autentické, ale v zimě jej studí. Proto volí kombinaci dvou zmíněných protéz. Měření probíhalo bez potíží. Patřilo mezi jedno z nejrychlejších.

Zajímavý výsledek je zapsán v Kazuistice 10. U probanda se vyskytla porucha deuteranopie. Dle návodu k seřazovacímu testu Farnsworth D-15 color test se jedná o Medium Deutan. Podle pseudoizochromatických tabulek je výsledek přiřazen k silnému deutanu. Pacient na barvocit nikdy testován nebyl a nepocítuje poruchu vnímání barev.

Při vyšetření jsem postřehla u jednostranné artefakie subjektivní zhoršení při zakrytí operovaného oka. Pacienti popisovali zhoršení kontrastu barev a pohybu v prostoru. Někteří i zmiňovali, že často neoperované oko přizavírají a orientují se pouze s odoperovaným

okem. Při dotázání během měření pacientů po oboustranné operaci, pacienti popisovali zlepšení kontrastní citlivosti a rozpoznání barev.

Díky časové náročnosti jsem provedla měření před, mezi a po obou operacích pouze u jednoho pacienta. Při pokračování své práce bych se zaměřila především na tyto změny.

Nevěnovala bych se pouze barvocitu, ale vyšetření by probíhalo společně s kontrastní citlivostí. Probandi by byli měřeni těsně před operací a vyřadila bych počínající katarakty, které nemají vliv na visus. Vyšetřování by probíhalo pouze na Farnsworth 100 Hue testu, který se v této práci projevil jako nejúčinnější.

Ne všechny zmíněné kazuistiky byly pouze katarakty či artefakie. Někteří pacienti měli již věkem podmíněnou makulární degeneraci či glaukom. Vliv mohly mít i některé léky, které pacienti užívají.

8 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na poruchy barvocitu a to především na získané poruchy. V teoretické části jsem se zabývala anatomii oka a fyziologií vidění. Následně objasnila postupy měření barvocitu a přijímané teorie barevného vidění. Zmiňuji i samotné měření barvocitu a porovnávám výhody či nevýhody některých uvedených testů. Základem práce je kapitola, kterou věnuji získaným poruchám, ve které jsou uvedeny nejčastější faktory ovlivňující barvocit.

V praktické části jsem sestavila 10 zajímavých kazuistik ze 23 naměřených pacientů. Zdánlivě se jedná o poněkud nižší počet osob, než bývá v bakalářských pracích zvykem, ale tento počet vyplývá ze zaměření práce. Soubor probandů byl tvořen jak pacienty s kataraktou (pomalou či s progredující kataraktou), ale i s oboustrannou či jednostrannou artefakii. Měření probíhalo online nebo pomocí Farnsworth D-15 testu a pseudoizochromatických tabulek v oční ordinaci. Z naměřených hodnot však vyplývá, že testování v ordinaci nezjistilo žádné velké chyby v předpokládaných odstínech barev. Změna byla patrná pouze u pacienta testovaného online, který byl změřen pomocí Farnsworth 100 Hue testu.

Z informací získaných během zpracování mé práce je zřejmé, že barvocit hraje jen doprovodnou roli při změnách u operace katarakty. Katarakta je faktor, který lze jednoduše odoperovat. Další onemocnění jako věkem podmíněná makulární degenerace nebo glaukom mají řešení komplikovanější.

Seznam použité literatury

- [1] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. 2.aktualizované a doplněné vydání. Praha: Maxdorf, [2021]. Jessenius (Maxdorf). ISBN 978-80-7345-704-4.
- [2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [3] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [4] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-1132-X.
- [5] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [6] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [7] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to visual optics*. 4th ed. London: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0-900099-28-3.
- [8] AUTRATA, Rudolf a Jana ČERNÁ. *Nauka o zraku*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [9] ŠAJDÍKOVÁ, M., P. MAĎA a J. FONTANA. *Funkce buněk lidského těla: Multimediální skripta* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/xiii-smysly/1-zrakovy-system/>
- [10] BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.
- [11] LEDVINA, Miroslav, Alena STOKLASOVÁ a Jaroslav CERMAN. *Biochemie pro studující medicíny II.díl*. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-0850-2.
- [12] DOHNAL, Miroslav. *Barevné vidění: kolorimetrie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2019. ISBN 978-80-7560-246-6.
- [13] Color Perception by Michael Kalloniatis and Charles Luu – Webvision. Webvision – The Organization of the Retina and Visual System [online]. Dostupné z: <https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/color-perception/>
- [14] KALLONIATIS, M. a Ch. LUU. Color perception by Michael Kalloniatis and Charles Luu. In: *WEBVISION The Organization of the Retina and Visual System* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/color-perception/>
- [15] DANNHOFEROVÁ, Jana. *Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7.
- [16] KREMERS, J., R. C. BARAAS a N. J. MARSHALL. *Human Color Vision*. 5. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. ISBN 9783319449760.
- [17] KRÁLÍČEK, Petr. *Úvod do speciální neurofyziologie*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-618-2.
- [18] VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. *Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.

- [19] SOMLAI, Judit a Tibor KOVÁCS. *Neuro-Ophthalmology* [online]. Springer International Publishing, 2016 [cit. 2022-12-08]. ISBN 9783319289564. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=4533391>
- [20] ROSSI, Michael. *The Republic of Color: Science, Perception, and the Making of Modern America* [online]. University of Chicago Press, 2019 [cit. 2022-12-08]. ISBN 9780226651866. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=5844564>
- [21] CRONE, Robert A. *A History of Color: The Evolution of Theories of Light and Color*. Boston: Springer Netherlands, 1999. ISBN 9780792355397.
- [22] LILÁKOVÁ, D., J. SVĚRÁK a D. HEJCMANOVÁ. Kongenitální stacionární noční slepota (KSNS) - kazuistické sdělení. *Česká a slovenská oftalmologie* [online]. 2005, (3), 218-223 [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-oftalmologie/2005-3/kongenitalni-stacionarni-nocni-slepota-ksns-kazuisticke-sdeleni-5711>
- [23] VESELÝ, P. Současné metody vyšetřování barvocitu. *Česká oční optika* [online]. 2010, (4), 54–66 [cit. 2022-12-18]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2010_04.pdf
- [24] PATOČKOVÁ, Lucie a Petr VESELÝ. *Geny a barvocit*. Česká oční optika. EXPO DATA spol. s r.o., 2018, 59(1/2018), 10-12. ISSN 1211-233X.
- [25] ERNEST, Jan, Ivan FIŠER a Petr KOLÁŘ. *Věkem podmíněná makulární degenerace*. Praha: Česká vitreoretinální společnost, 2007. ISBN 978-80-239-8609-9.
- [26] VAPHIADES, Michael S., Brendan D. GRONDINES a Christine A. CURCIO. Erythropsia and Chromatopsia: Case Study and Brief Review. *Neuro-Ophthalmology* [online]. 2021, 45(1), 56-60 [cit. 2022-12-18]. ISSN 0165-8107. Dostupné z: [doi:10.1080/01658107.2020.1797824](https://doi.org/10.1080/01658107.2020.1797824)
- [27] ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [28] ASIMELLIS, George. *Visual Optics: Lectures in Optics, Vol. 4*. Washington: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2022. Press Monograph Series. ISBN 9781510622616.
- [29] KNOT, J. Věkem podmíněná makulární degenerace aneb proč ji optik musí znát – 2. část. *Česká oční optika*[online]. 2010, (4), 68-72 [cit. 2022-12-18]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2010_04.pdf
- [30] MERGLER, D., L. BLAIN, J. LEMAIRE a F. LALANDE. Color Vision Impairment and Alcohol Consumption. *Neurotoxicology and Teratology*. 1988(10), 255-260. Dostupné z: [doi:10.1016/0892-0362\(88\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0892-0362(88)90025-6)
- [31] Výskyt fotoreceptorů na sítnici [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <http://www.rags-int-inc.com/PhotoTechStuff/CameraEye/EyeConeDistribuition.jpg>
- [32] FALHAR PH.D., Mgr. Martin a kolektiv. *21 kroků vyšetření binokulárního vidění*. Optikarium, 2016, 31 s.
- [33] JIRMAN, Jiří. *Oční lékařství*. Praha: Mladá generace lékařů v Praze, 1942.
- [34] VENTRUBA, J. Vliv implantace IOL na zrakovou ostrost, kontrastní citlivost a barvocit za 2 a 4 měsíce po operaci katarakty. *Česká a slovenská oftalmologie* [online]. 2006, 62(2), 133-143 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-oftalmologie/2006-2/vliv-implantace-iol-na-zrakovou-ostrost-kontrastni-citlivost-a-barvocit-za-2-a-4-mesice-po-operaci-katarakty>

oftalmologie/2006-2/vliv-implantace-iol-na-zrakovou-ostrost-kontrastni-citlivost-a-barvocit-za-2-a-4-mesice-po-operaci-katarakty-2919

[35] ROMERO, Shantal. *Xanthopsia: The illness that made Van Gogh paint with yellow colors* [online]. 5 October 2022 [cit. 2023-01-05]. Dostupné z: <https://culturacolectiva.com/art/vincent-van-gogh-xanthopsia-disease-yellow-colors/>

[36] LAM, D., S. K. RAO, V. RATRA, et al. Cataract. *Nature Reviews Disease Primers* [online]. 2015, 11.6.2015, 1(15014), 1-15 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.14>

[37] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.

[38] ISHIIHARA, S. *Ishihara's test for colour deficiency: Concise Edition*. Japan: Kanehara Trading, 2017.

[39] Farnsworth D-15 Color Test: Part Number: 730022, 730023. In: Good-lite [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://good-lite.com/products/730022>

[40] Free Online Color Challenge and Hue Test; *X-Rite Color Management, Measurement, Solutions, and Software* [online]. Dostupné z: <https://www.xrite.com/hue-test>

[41] Color Arrangement Test. *Colblindor*. [online]. 2006 [cit. 12.05.2023]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/color-arrangement-test/>

[42] *HP PAVILION: 15-EG0801NC (340P8EA)* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.electroworld.cz/hp-pavilion-15-eg0801nc-340p8ea-stribrny>

[43] *ZEISS AT LISA tri family* [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/meditec/en/products/iols/trifocal-iols/at-lisa-tri-family.html>

[44] VARVAŘOVSKÁ, Leontýna. *Porovnání testů pro určení barvocitu*. Kladno, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Okohybné svaly [5].....	2
Obrázek 2-2 Schéma řezu oka [5].....	3
Obrázek 2-3 Výskyt fotoreceptorů na sítnici [31]	7
Obrázek 2-4 Tyčinky a čípky [3].....	8
Obrázek 2-5 Absorpční spektra fotopigmentů [19]	10
Obrázek 2-6 Elektromagnetické spektrum [28].....	12
Obrázek 2-7 Model lidského barevného vidění [13]	14
Obrázek 3-1 Worthova světla [32].....	15
Obrázek 3-2 Barevné bavlnky Holmgrenovy [33]	15
Obrázek 3-3 Pseudoizochromatické tabulky [8].....	16
Obrázek 3-4 a) bez poruchy b) deuteranopie c) Farnsworth 100 hue test [16]	17
Obrázek 3-5 Anomaloskop [18]	18
Obrázek 4-1 porovnání barev u poruch barvocitu [28].....	21
Obrázek 4-2 Normální barevné vidění [28].....	22
Obrázek 4-3 Monochromazie - tyčinek (vlevo), modrého čípku (vpravo)[28]	22
Obrázek 5-1 Katarkta subkapsulární (vpravo), nukleární (střed), kortikální (vlevo) [37]	24
Obrázek 5-2 a) nepatrný šedý zákal, b) středně těžká katarakta, c) „zralá“ katarakta [36].	25
Obrázek 5-3 Amslerova mřížka pro detekci VPMD [29].....	26
Obrázek 5-4 Vincent Van Gogh a jeho dílo Slunečnice [35]	28
Obrázek 6-1 Ukázka testu Farnsworth Munsell 100 [41].....	32
Obrázek 6-2 Ukázka D15 Color Arrangement test [42].....	32
Obrázek 6-3 Snímek testu Farnsworth Munsell 100 Hue test - před operací, score 6 [40]...	34
Obrázek 6-4 D-15 test - před operací, TES 15,2 [41].....	34
Obrázek 6-5 Farnsworth Munsell 100 Hue test OL operované, score 0 [40].....	35
Obrázek 6-6 Farnsworth Munsell 100 Hue test OP katarakta, score 6 [40].....	35
Obrázek 6-7 Farnsworth Munsell 100 Hue binokulární vyšetření, score 0 [40]	35
Obrázek 6-8 D-15 test OL operované, TES 11,4 [41]	35
Obrázek 6-9 D-15 test OP katarakta TES 11,4 [41]	36
Obrázek 6-10 D-15 test binokulárně, TES 11,4 [41].....	36
Obrázek 6-11 Farnsworth Munsell 100 Hue test po operaci binokulárně, score 0 [40]	37
Obrázek 6-12 Výsledek D-15 testu po operaci, TES 11,4 [41]	37
Obrázek 6-13 Formulář.....	40

Obrázek 6-14 šablona výsledkové listiny Farnsworth D15	41
Obrázek 6-15 Šablona výsledkové listiny Farnsworth D15 binokulární	41
Obrázek 6-16 Skleněná protézka pacienta, Kazuistika 5.....	44
Obrázek 6-17 Trifokální IOL LISA Zeiss [43].....	48
Obrázek 6-18 Výsledek pacienta, mírný Deutan	50
Obrázek 7-1 Pseudoizochromatické tabulky, str. 9 [38].....	52

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vlnové délky barev viditelného světla [15].....	12
Tabulka 2 Odpovědi na jednotlivé stránky pseudoizochromatických tabulek [38].....	31
Tabulka 3 Výsledek pseudoizochromatických tabulek před operací.....	34
Tabulka 4 výsledek pseudoizochromatických tabulek po první operaci	36
Tabulka 5 Výsledek pseudoizochromatických tabulek po druhé konečné operaci	37