

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

KLÁRA SOPÓCIOVÁ

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Daltonismus  
Bakalářská práce

2023

Klára Sopóciová

University of Pardubice  
Faculty of Chemical Technology

Daltonism  
Bachelor thesis

2023

Klára Sopóciová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Klára Sopóciová**  
Osobní číslo: **C20194**  
Studijní program: **B0512A130006 Analýza biologických materiálů**  
Téma práce: **Daltonismus**  
Téma práce anglicky: **Daltonism**  
Zadávající katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat teoretickou rešerši na téma barvosleposti
2. V úvodu uvést historii poznání této poruchy
3. Další kapitoly věnovat příčinám vzniku, klasifikaci a typickým symptomům
4. V závěru popsat diagnostiku a terapeutické možnosti

Rozsah pracovní zprávy: **25 s.**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Mgr. Roman Kandár, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Konzultant bakalářské práce: **Mgr. Šárka Štěpánková, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Datum zadání bakalářské práce: **23. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. června 2023**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**doc. RNDr. Tomáš Roušar, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem *Daltonismus* jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze 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, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Klára Sopóciová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych především poděkovat prof. Mgr. Romanu Kand'árovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Šárce Štěpánkové, Ph.D. za přečtení práce a cenné připomínky při psaní a úpravě mé bakalářské práce. Mé poděkování patří také rodině a přátelům, kteří mě podporovali během psaní této bakalářské práce a celého mého studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce s názvem Daltonismus zahrnuje základní poznatky o poruše barevného vidění, příčinách vzniku, metodách diagnostiky a možnostech korekce poruchy barevného vidění. V kapitolách jsou popsány typy barvosleposti, jejich symptomy, jejich identifikace a následná léčba pomocí korekce barevných filtrů. Dále je zmíněná historie a prevalence poruchy barevného vidění.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Barvoslepost, gonozomálně recesivní onemocnění, Ishiharův test, genetické testy, korekce barevnými filtry, aplikace pro barvoslepe

## **TITLE**

Daltonism

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis Daltonism includes basic knowledge about colour vision deficiency, causes of colour vision deficiency, methods of diagnosis and possibilities of correction of colour vision deficiency. In the chapters are described the types of colour blindness, their symptoms, their identification, and subsequent treatment using colour filter correction. The history and prevalence of colour vision deficiency are also discussed.

## **KEYWORDS**

Colour blindness, gonosomal recessive disease, Ishihara test, genetic tests, colour filter correction, apps for colour blind



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Prevalence barvoslepých mužů podle etnické skupiny .....	16
Obrázek 2: Anatomie oka .....	18
Obrázek 3: Náčrt žluté skvrny .....	19
Obrázek 4: Struktura tyčinky a čípku .....	19
Obrázek 5: Hustota tyčinek a čípků na sítnici oka .....	20
Obrázek 6: Gonozomálně recesivní dědičnost .....	21
Obrázek 7: Absorpční křivky čípků a tyčinek .....	24
Obrázek 8: Rozlišení barvosleposti podle spektra .....	25
Obrázek 9: Vidění barevného spektra u člověka s normálním viděním a s protanopií .....	29
Obrázek 10: Vidění barevného spektra u člověka s normálním viděním a s deuteranopií .....	29
Obrázek 11: Vidění barevného spektra člověka s normálním viděním a s tritanopií .....	30
Obrázek 12: Ishiharův test .....	33
Obrázek 13: Aplikace Color Blind Test .....	37
Obrázek 14: Aplikace Colorblind Helper & Simulator .....	37
Obrázek 15: Aplikace Color Blind Pal .....	38
Obrázek 16: Color Blind Filter on iOS .....	39
Obrázek 17: Aplikace Color Blindness Test Game .....	39

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Prevalence barvoslepých v různých národnostech .....	15
Tabulka 2: Seznam 10 zemí s největším počtem barvoslepých.....	16
Tabulka 3: Příčiny barvosleposti .....	22
Tabulka 4: Typy trichromazie.....	26
Tabulka 5: Typy dichromazie .....	27

# OBSAH

ÚVOD.....	12
1 HISTORIE A OBJEVENÍ DALTONISMU .....	13
2 PREVALENCE.....	15
3 SYMPTOMY .....	17
4 PŘÍČINY VZNIKU .....	18
4.1 GENETICKÉ PREDISPOZICE.....	20
4.2 DALŠÍ PŘÍČINY .....	21
5 KLASIFIKACE BARVOSLEPOSTI .....	24
5.1 PODLE ZÁVAŽNOSTI.....	25
5.1.1 ANOMÁLNÍ TRICHROMAZIE .....	25
5.1.2 DICHROMAZIE .....	26
5.1.3 MONOCHROMAZIE .....	27
5.2 PODLE VNÍMÁNÍ BAREV.....	28
5.2.1 PROTANOPIE .....	28
5.2.2 DEUTERANOPIE.....	29
5.2.3 TRITANOPIE.....	29
6 DIAGNOSTIKA .....	31
6.1 ISHIHARŮV TEST .....	32
6.2 GENETICKÉ TESTY .....	33
7 LÉČBA.....	35
7.1 OPTICKÉ POMŮCKY .....	35
7.2 MOBILNÍ APLIKACE.....	36
ZÁVĚR .....	40
POUŽITÁ LITERATURA .....	41

## ÚVOD

Daltonismus (jinak také označované jako barvoslepost nebo porucha barvocitu) je oční porucha člověka, která patří obvykle mezi vrozené nemoci vázající se na pohlavní chromozomy; jen ve výjimečných případech se jedná o nemoc získanou v průběhu lidského života. Touto poruchou trpí převážně muži. Nejčastěji se projevuje tím, že omezuje schopnost postižených rozlišovat specifické barvy. Ve zkratce je barvoslepost způsobena poruchou buněk sítnice oka. Tato nemoc postihuje jen malé procento populace. Barvoslepost můžeme tedy podle původu vzniku rozdělovat na vrozenou a získanou. Dále tuto nemoc můžeme dělit podle toho, v jaké barevné škále pacient nerozpozná rozdíl mezi jednotlivými barvami anebo podle toho, kolik barev je vůbec schopný člověk svým okem vnímat. Jako nejčastější případ barvosleposti se uvádí neschopnost rozlišit červenou a zelenou, méně častá je pak barvoslepost na žlutou a modrou barvu. Velice zřídka se vyskytuje i barvoslepost na všechny barvy, kdy člověk vidí vše kolem sebe pouze ve škále šedí. Pro vrozenou poruchu barvocitu neexistuje v tuto chvíli žádná léčba; v případě získaných poruch může dojít po aplikaci léčby ke zlepšení samotného vidění nemocného člověka nebo v případě používání optických pomůcek lze člověku pomoci zkorigovat jeho vidění.

# 1 HISTORIE A OBJEVENÍ DALTONISMU

První zdokumentovaný případ barvosleposti u člověka zaznamenala Královská společnost v Británii v roce 1777. Uvedeným případem byl prý švec Harris, který si lidem ve svém okolí stěžoval, že není schopen rozeznávat na stromě červené ovoce od okolních listů. [1]

Dalším zaznamenaným případem z roku 1779 jsou poměrně kompletní písemné zdokumentování barvosleposti v jedné britské rodině. Konkrétně se jedná o dopis J. Scotta, v němž popisuje vlastní stav a stav svých blízkých s ohledem na vnímání barev. Je zajímavé, že pro své rané datum, kdy uvedená fakta byla sepsaná, tak velice dobře odpovídají pozdějšímu odbornému výkladu barvosleposti, která se často uvádí jako znak vázaný na pohlaví. Při popisu svého zraku J. Scott uvádí, že nevidí zelenou barvu. Růžovou a bledě modrou barvu viděl stejně – jako jeden odstín barvy, bez rozlišení. Stejně tomu bylo i v případě barev červené a zelené, které taky jeho oči nebyly schopny vzájemně rozlišit. Dokázal rozeznávat pouze žlutou barvu a všechny odstíny modré, ovšem s výjimkou velmi světlé modré. Na základě poskytnutých údajů J. Scotta byl sestaven diagram – rodokmen třech po sobě jdoucích generací. Z diagramu je jednoznačně zřejmý výskyt barvosleposti v jeho rodině – převážně u mužských potomků, přičemž výjimkou je i jedna žena. [2]

Osmnácté století vnímalo vzácnost této poruchy velice omezeně. Obvykle se nemoc dostala do povědomí lidí jen v případě, že způsobila postižené osobě ve svém okolí někdy zábavné situace, jindy ale mohly být společensky nevhodné. Symbolickou postavou, která trpěla barvoslepostí v 18. století byl John Dalton, britský chemik a fyzik. Ten měl sklon se na veřejnosti procházet v třešňově červeném rouchu, které mu bylo uděleno jako doktorovi občanských práv. Avšak pro něj jako kvakera – jako představitele náboženského hnutí, to byl určitě velice nevhodně zvolený oděv. Jiní autoři vyprávěli příběhy o hrobníkovi, který přišel o práci poté, co pokryl rakev mrtvého jasně červenou látkou. Další vyprávěli o poslanci, který se na pohřbu matky své manželky objevil oblečený celý v červeném hábitu. [1-3]

V roce 1794 pak J. Dalton jako první osoba vědecky ve své práci popsal podstatu barvosleposti, jelikož sám ze sebe vytvořil předmět obecně prospěšných experimentů. Na jeho počest proto byla barvoslepost pojmenovaná daltonismus. [1-3]

Studium barevného vidění z důvodu zabezpečení veřejné bezpečnosti bylo ve Velké Británii zahájeno knihou George Wilsona *Researches on Colour Blindness with Supplement on the Danger Attending the Present System of Railway and Marine Coloured Signals* (vydané v roce 1855). Wilson byl v té době profesorem techniky na univerzitě v Edinburghu. Jeho popis

příčin barvosleposti byl zcela specifický. Ve svém tvrzení uváděl, že porucha barevného vnímání se vyskytuje nejčastěji u „civilizovaných“ národů a má také poměrně vysoký výskyt u šlechty. [1]

Dalším, kdo se v 19. století zaměřil na studium barevného vidění, byl německý fyziolog, lékař a fyzik Hermann von Helmholtz. Ten se zpočátku setkával s obtížemi s potvrzením trichromatické hypotézy, kterou navrhl vědec Thomas Young. Podle této hypotézy lidské oko vnímá 3 základní barvy (červenou, modrou a zelenou). Další barvy, které vnímáme, jsou pak složeny v různém poměru z těchto tří barev. Na jaře roku 1853 přednesl Helmholtz před německou společností přednášku k teorii Goetheho, který se také zabíral problematikou působení barev na psychiku člověka. Helmholtz a další odborníci však jinak velmi ctěného básníka hodnotili v této oblasti jako iracionálního a jeho díla odmítali. Helmholtz publikoval spis *Rukověť fyziologické optiky (Handbuch der Physiologischen Optik)*, který shrnuje všechny jeho empirické teorie o prostorovém a barevném vidění. Mimo jiné se tento německý vědec zabýval i například studiem rychlosti nervových vzruchů nebo popisem očního zrcátka používaného ke zkoumání sítnice, takzvaným oftalmoskopem, který sestrojil. [4-7]

Pro mnohé je překvapením, že Johann Wolfgang von Goethe se kromě literatury po většinu svého života zajímal právě o světlo a barvy. V roce 1810 dokonce vydal dvousvazkové dílo *Teorie barev (Zur Farbenlehre)*. [5]

## 2 PREVALENCE

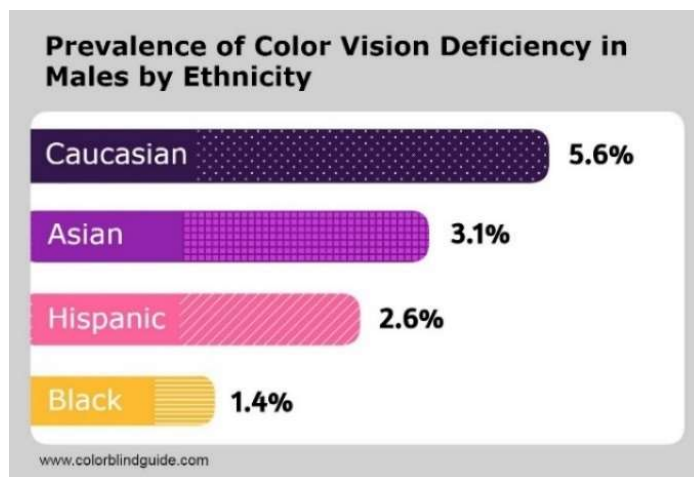
Existuje obecná shoda, že 1 z 12 mužů (což představuje 8 %) a 1 z 200 žen (což představuje 0,5 %) je barvoslepých. To znamená, že na celém světě žije více než 350 milionů barvoslepých lidí. Z toho vyplývá, že celkový počet, takto postižených lidí, se každoročně zvyšuje v závislosti na růstu světové populace. [8]

Obecně v zemích s větším počtem obyvatel a v izolovaných komunitách žije více lidí postižených barvoslepostí. Z dostupných statistik vyplývá, že mezi nejpostiženější národy, které barvoslepost postihuje patří na 1. místo Arabové a Indové. U nich onemocnění dosahuje 5,2 % z celkové populace. Na 3. místě jsou pak Rusové. V Tabulce 1 je uveden detailní přehled prevalence barvosleposti dle jednotlivých národů s rozlišením výskytu zvláště u mužů a zvláště u žen. [8]

*Tabulka 1: Prevalence barvoslepých v různých národnostech (převzato a upraveno) [8]*

<b>NÁROD</b>	<b>% MUŽŮ</b>	<b>% ŽEN</b>	<b>% CELKEM</b>
<b>ARABOVÉ</b>	10	0,5	5,2
<b>INDOVÉ</b>	8,7	1,6	5,2
<b>RUSOVÉ</b>	9,2	0,5	4,8
<b>NOROVÉ</b>	9	0,5	4,7
<b>FRANCOUZI</b>	8,6	0,5	4,5
<b>NĚMCI</b>	7,7	0,5	4,1
<b>ČÍŇANÉ</b>	6,9	0,5	3,7
<b>ÍRÁNCI</b>	6,6	0,5	3,5
<b>JAPONCI</b>	5	0,2	2,6

Níže pak na Obrázku 1 je znázorněna prevalence barvosleposti u mužů dle etnických skupin. Jak je z obrázku zřejmé, nejčastěji se toto onemocnění vyskytuje u bělochů a to 5,6 % z celkového počtu osob dané skupiny. Druhou nejčastěji postiženou etnickou skupinou jsou Asiaté. [8]



Obrázek 1: Prevalence barvoslepých mužů podle etnické skupiny [8]

Jak dále uvádí zdroj, nejvíce barvoslepých lidí na světě žije v Indii. V této zemi 70 milionů barvoslepých, což představuje 5,2 % z celkové počtu obyvatel dané země. Druhou zemí s nejčastějším výskytem barvosleposti je Čína, kde žije 53 milionů barvoslepých lidí. Toto číslo představuje, ale jenom 3,7 % z celkového počtu obyvatel Číny. A například ve Spojených státech amerických je podle Lékařského institutu asi 12 milionů Američanů barvoslepých (což představuje 7 % u mužské populace a 0,4 % u ženské populace). I zde barvoslepost postihuje jenom 3,7 % z celkového počtu obyvatel. Seznam dalších zemí s největším výskytem lidí trpících barvoslepostí je v Tabulce 2. [8]

Tabulka 2: Seznam 10 zemí s největším počtem barvoslepých [8]

Země	Počet trpících
<b>Indie</b>	70 miliónů
<b>Čína</b>	53 miliónů
<b>Spojené státy americké</b>	12 miliónů
<b>Indonésie</b>	11 miliónů
<b>Brazílie</b>	8 miliónů
<b>Rusko</b>	7 miliónů
<b>Pákistán</b>	6 miliónů
<b>Bangladéš</b>	5,5 miliónů
<b>Nigérie</b>	4,5 miliónů
<b>Německo</b>	3,4 miliónů



### 3 SYMPTOMY

Příznaky barvosleposti mohou být různé: od mírných až po závažné. Mnoho lidí má tak mírné příznaky, že si ani sami neuvědomují, že trpí barvoslepostí. [9]

Hlavním a tím pádem nejzávažnějším symptomem barvosleposti je ten, že postižený nevidí barvy tak, jak je vidí většina lidí. Pokud je člověk barvoslepý, může mít problémy s

- rozlišením barev,
- jasem barev,
- rozlišením odstínů barev. [9]

Lidé postiženi s velmi vážným typem barvosleposti mohou mít i jiné příznaky jako je například nystagmus (což je nervová vada, která způsobuje nekontrolované, rychlé a trhavé pohyby očí, což může vést ke snížení ostrosti vidění) nebo citlivost na světlo (jinak řečeno světloplachost). [9, 10]

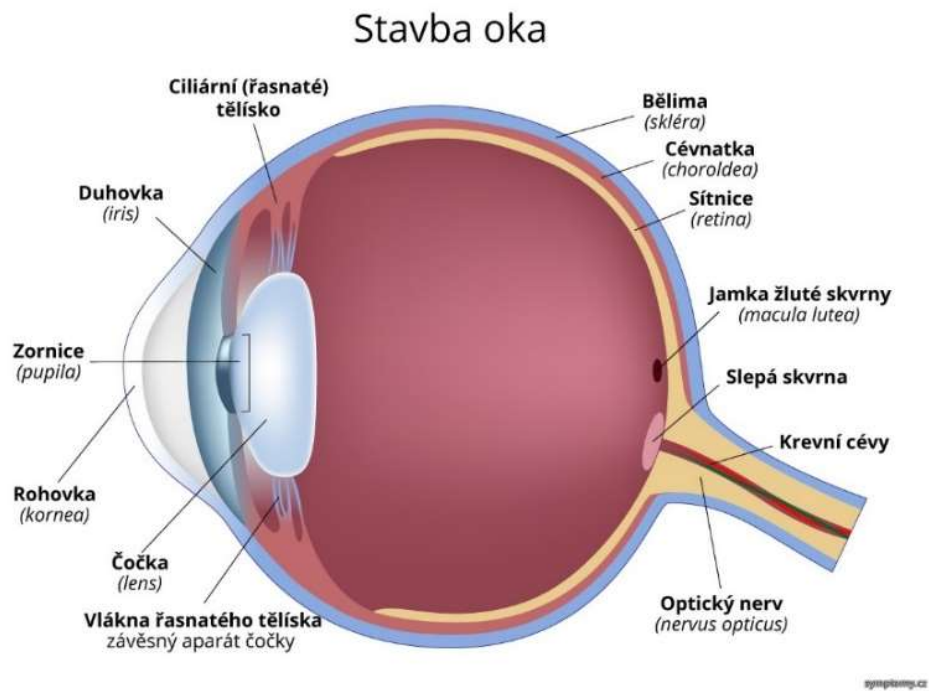
Hlavními příznaky barvosleposti, které je vidět u dětí, jsou potíže s rozlišováním barev a chyby při určování barev. Mnohé z barvoslepých dětí se však mohou naučit správně rozeznávat barvy, i když je nevidí stejně jako lidé s normálním viděním. Děti se například naučí, že hasičské auto je červené, takže když vidí jiné předměty stejně barevné jako hasičské auto, tak je identifikují jako červené. [11]

Dalším vodítkem k identifikaci případné barvosleposti u dětí může být nesprávné použití barev při kreslení nebo malování předmětů, například dítě nakreslí fialové listy na stromech nebo zelené obličej. Identifikaci barev může samozřejmě zhoršovat slabé osvětlení, práce s malými barevnými plochami a barvami stejného odstínu, ale naopak při přirozeném denním světle se jim barvy mohou rozlišovat snáze. Často mohou i čichat k jídlu, než začnou vůbec jíst. Mohou si stěžovat, že je bolí oči nebo hlava, pokud se koukají na něco červeného na zeleném pozadí nebo naopak. [11]

Některé barvoslepé děti se mohou zdráhat vybarvovat obrázky nebo chtít hrát počítání, třídění či jiné hry s barevnými kostkami, korálky apod. nebo mohou tyto činnosti dělat rády, ale někdy při nich působí zmateně. [11]

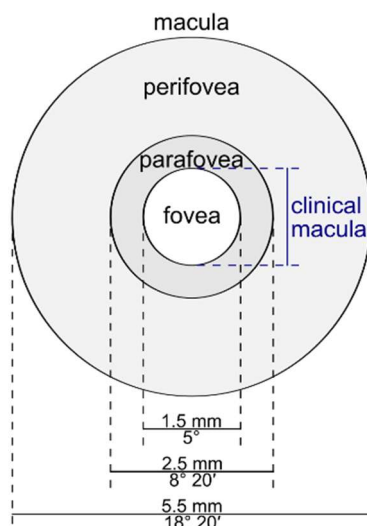
## 4 PŘÍČINY VZNIKU

Barevné vidění je schopnost lidského oka rozlišovat jednotlivé vlnové délky světla, tedy schopnost rozeznávat různé barvy. Předpokladem pro správné vnímání barev je správné fungování samotného oka, zrakové dráhy a zrakového centra v mozkové kůře. [12] Na Obrázku 2 je znázorněná anatomie oka.



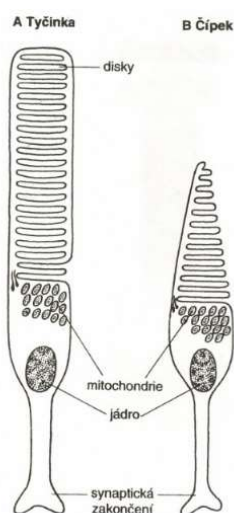
Obrázek 2: Anatomie oka [13]

Samotné vnímání barev je zajištěno žlutou skvrnou (makulou). Uprostřed makuly se nachází centrální zorné pole (foveola), jak je znázorněno níže na Obrázku 3. Fovea je tedy místem nejostřejšího vidění. Je tomu tak, protože se v ní nachází největší koncentrace čípků. Směrem do periferie (perifovea – viz Obrázek 3) počet čípků ubývá. Čípky jsou tady nahrazovány jinými světločivými receptory, a to tyčinkami. V místě slepé skvrny, která se nachází níže pod makulou, kde vstupuje optický nerv, se už nenachází čípky ani tyčinky. [14-16]



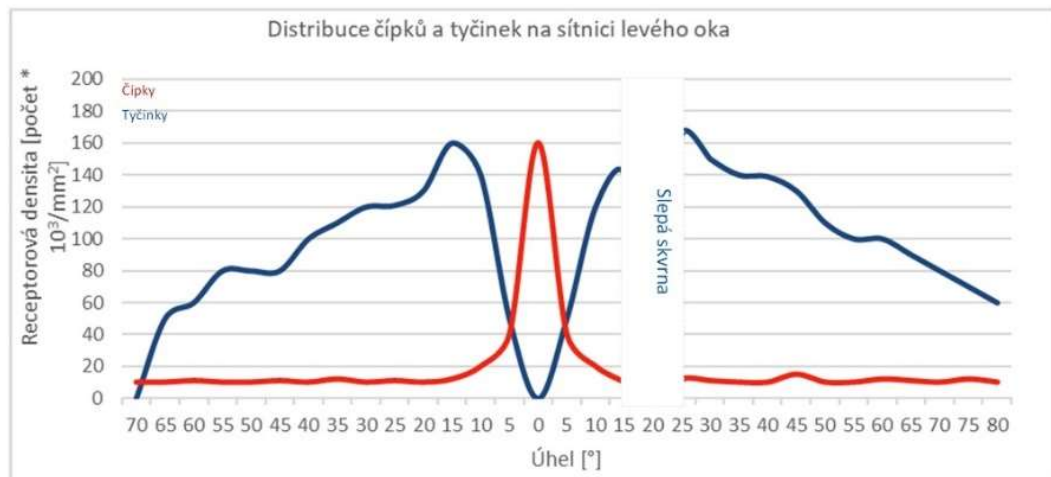
Obrázek 3: Náčrt žluté skvrny [17]

Sítnice lidského oka obsahuje zhruba 130 milionů smyslových buněk (kterými jsou tyčinky a čípky). Tyto smyslové buňky se liší svojí strukturou, jak lze vidět na Obrázku 4, i svými funkcemi – jak je popsáno detailněji níže. [14]



Obrázek 4: Struktura tyčinky a čípku [18]

Tyčinky jsou fotoreceptory válcovitého tvaru. Jejich počet je na lidské sítnici větší, než je počet čípků. Tyčinky nejlépe fungují při nízké intenzitě světla (skotopické) a jsou tedy zodpovědné za vidění v málo osvětleném prostředí, například ve tmě. Tyčinky jsou velice citlivé na světlo, nejsou ale schopny rozeznávat různé barvy. Ve srovnání s čípkami mají tyčinky také nízkou schopnost rozlišovat detaily. Nacházejí se po celé sítnici s výjimkou centra foveoli a slepé skvrny. Hustota tyčinek se zvyšuje směrem od fovey k okraji makuly, zhruba v úhlu 20° od fovey dosáhne jejich hustota vrcholu a směrem k periférii opět klesá, jak je znázorněno na Obrázku 5. [19]



Obrázek 5: Hustota tyčinek a čípků na sítnici oka [20]

Čípky jsou fotoreceptory kuželovitého tvaru, které nejlépe fungují při vysoké intenzitě světla (fotopické) a jsou zodpovědné za vnímání barev. Jak již bylo zmíněno výše, lidská sítnice obsahuje menší počet čípků než tyčinek. Hustota čípků se zvyšuje směrem k foveole a dosahuje vrcholu právě v centrálním zorném poli, jak je znázorněno na Obrázku 5. Existují 3 různé typy čípků: L, M a S typ. Každý z těchto typů obsahuje různé opsiny, což jsou bílkoviny vázající se na různé chemické látky, které reagují se světlem a jsou základem vidění. Různé opsiny mají schopnost detekovat rozdílné vlnové délky světla a vytvářet barevné vidění. Tyto opsiny se někdy klasifikují také jako červené (označované jako L-čípky), zelené (označované jako M-čípky) a modré (označované jako S-čípky). [19, 21]

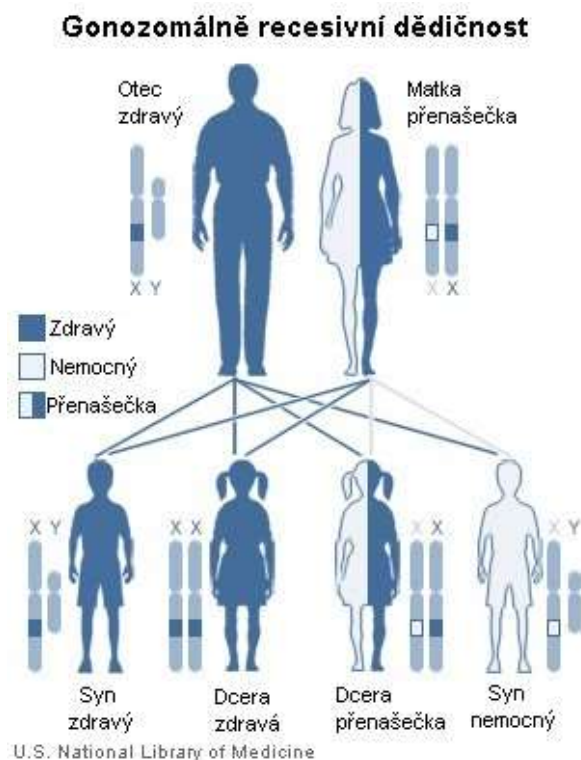
#### 4.1 GENETICKÉ PREDISPOZICE

Predispozice pro onemocnění ovlivňují chromozomy. To jsou struktury, které obsahují geny, jež dávají pokyny pro vývoj budoucích buněk, tkání a orgánů. Pokud je člověk barvoslepy, znamená to, že pokyny pro vývoj jeho čípkových buněk jsou jiné než u lidí s normálním barevným vnímáním. To může mít za následek, že jeden typ čípkových buněk buď chybí, nebo je méně citlivý na světlo. Toto potom vede k nesprávným informacím prostřednictvím chybných elektrických signálů, které jdou z čípkových buněk do mozku. [22]

Barvoslepost se častěji vyskytuje u mužů než u žen, protože geny zodpovědné za dědičnou barvoslepost se nachází na pohlavním chromozomu X, který je součástí 23. páru. Muži mají kromě chromozomu Y pouze jeden chromozom X, zatímco ženy mají chromozomy X dva. Při dědičnosti vázané na chromozom X nese matka tedy mutovaný gen na jednom ze svých chromozomů X a předá ho pouze 50 % svých dětí. Protože ženy mají dva chromozomy X, je účinek mutace na jednom chromozomu kompenzován chromozomem bez mutace.

V takovém případě matka mít nemoc nebude, ale může mutovaný gen přenést dál. Takovému ženskému jedinci se říká přenašečka. Pokud je teda matka přenašečkou a otec není postižen, existuje pravděpodobnost, že syn bude mít toto onemocnění v poměru 1:2 a pravděpodobnost, že dcera bude přenašečkou bude také 1:2, ale bude nulová pravděpodobnost, že dcera bude trpět barvoslepostí. A aby se narodila dcera s barvoslepostí, tak by otec musel být barvoslepy a matka buď přenašečka nebo také barvoslepá. [23]

Na Obrázku 6 můžeme vidět jednoduché grafické zobrazení gonozomálně recesivní dědičnosti, která je vázaná na chromozom X (kromě barvosleposti mezi gonozomálně recesivní onemocnění patří například hemofilie nebo svalová dystrofie). [24]



Obrázek 6: Gonozomálně recesivní dědičnost [25]

Dědičná barvoslepost může být tedy přítomna při narození nebo se může projevit v dětství, případně se objevit až v dospělosti jedince. [23]

## 4.2 DALŠÍ PŘÍČINY

U většiny jedinců s poruchou vnímání barev je příčina v dědičnosti. [26]

Porucha se může objevit i jako důsledek onemocnění nebo úrazu. Příčinou vzniku v tomto případě může být poranění oka, zrakového nervu, zrakové kůry, šedý zákal, dědičná porucha sítnice anebo také toxické účinky některých užívaných léků. [26]

Rozdíly mezi vrozenými a získanými vadami vidění barev jsou, že vrozené vady se obvykle týkají obou očí, kdežto u získaných vad se mohou lišit vady v závažnosti u jednotlivých očí. Často je vada barevného vidění doprovázena zhoršením celkového vidění nebo dalšími očními onemocněními. [26]

Získaná barvoslepost může být způsobená různými příčinami: nemocí, léky, drogami nebo chemickými látkami. Jejich konkrétní příklady v uvedeném členění jsou obsaženy v Tabulce 3.

Tabulka 3: Příčiny barvosleposti (převzato a upraveno) [27]

Nemoci	Léky	Chemikálie
<b>Diabetes, hypertenze, roztroušená skleróza, Parkinsonova choroba, srpkovitá anémie, AIDS, syfilis</b>	Streptomycin, ethanbutol, rifampicin, isoniazid, atropin, chloramfenikol, chinin	Etanol, nikotin, heroin, metylalkohol, benzen, styren, oxid uhelnatý, olovo

Významným faktorem, který může přispívat ke změnám barevného vidění, je věk. Jedná se zejména o problém s viděním modré a žluté barvy. Ztráta rozlišovací schopnosti s věkem je primárně, ale ne výhradně, způsobena procesem stárnutí oční čočky. Čočka postupně houstne a může docházet k hromadění stínících pigmentů, které absorbují krátkovlnné světlo (čočka se může jevit nažloutlá). V důsledku toho se pak k sítnici dostává méně světla, a to zejména krátkovlnné. [27]

Dalšími faktory mohou být zmenšení zornic, změny citlivosti zornice nebo její citlivost na světlo. [27]

Onemocnění, u kterých se může vyskytovat porucha barvosleposti:

- Glaukom – onemocnění, které poškozuje oční nerv. Tato nemoc často souvisí s nárůstem tlaku uvnitř oka. Většinou se objeví až v pozdním věku člověka. Pokud se poškození zhoršuje může během několika let způsobit trvalou ztrátu zraku nebo dokonce úplnou slepotu. [28]
- Roztroušená skleróza – onemocnění, při kterém imunitní systém napadá centrální nervovou soustavu, čímž způsobuje rozpad myelinových pochev. Problémy se zrakem jsou u lidí s roztroušenou sklerózou poměrně časté. Častým příznakem roztroušené

sklerózy je zánět očního nervu. Symptomy zánětu očního nervu jsou rozmazané vidění, šedé vidění nebo i krátkodobá slepota. [29, 30]

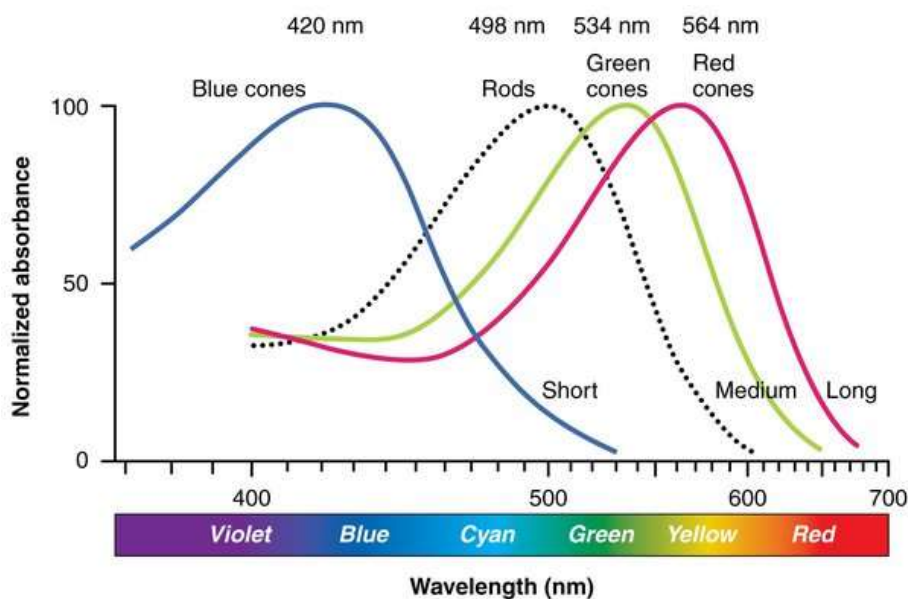
- Parkinsonova choroba – jedná se neurodegenerativní onemocnění, které se většinou projevuje u člověka v pozdějším věku zpomalením pohybů, třesem, ztrátou čichu, poruchami spánku. Pacienti mají často vizuální problémy, jako je orientace v prostředí, se čtením, někdy s dvojitým viděním nebo nesprávným odhadem velikosti předmětů a vzdáleností. Porucha rozlišování barev je u Parkinsonovy nemoci v časných stádiích, a i u neléčených pacientů. [30, 31]
- Retinoblastom – jedná se o nejčastější zhoubný nádor oka, který se vyskytuje u pacientů v dětském věku. Nádor může postihovat jedno i obě oči. Ve velmi málo případech dochází ke ztrátě zraku. [32, 33]
- Diabetes – jde o metabolické onemocnění, pro které je typická porucha metabolismu sacharidů. Ta je způsobena nedostatečnou tvorbou inzulínu anebo sníženou vnímavostí na inzulín. V pokročilém stádiu mohou pacienti mít rozmazané vidění, potíže s viděním barev, vidět skvrny nebo může dojít i k úplné ztrátě zraku. [34, 35]

## 5 KLASIFIKACE BARVOSLEPOSTI

Lidské oko je schopné rozlišit světelné záření v rozmezí 380–760 nm. Toto rozmezí se nazývá viditelné spektrum. Normální barevné vnímání je trichromazie, což znamená, že jakoukoliv barvu lze vytvořit pomocí směsí tří rozumně zvolených základních barev. Každá barva viditelného spektra je charakterizována třemi základními vlastnostmi a to tónem, sytostí a jasem. [36, 37]

Barevné vidění je umožněno pouze za určité hladiny osvětlení. Znamená to tedy, že při intenzivním osvětlení přestávají být jednotlivé barvy rozlišovány směrem od krátkovlnných barev (modrá), až k dlouhovlnným (červená). Naopak při snížení okolního osvětlení je oko schopné rozlišit lépe modré předměty než červené. Čípky jsou aktivní především za normálního denního světla a zajišťují tedy fotopické vidění, kdežto tyčinky přebírají funkci při snížené hladině osvětlení a zajišťují skotopické vidění. [38]

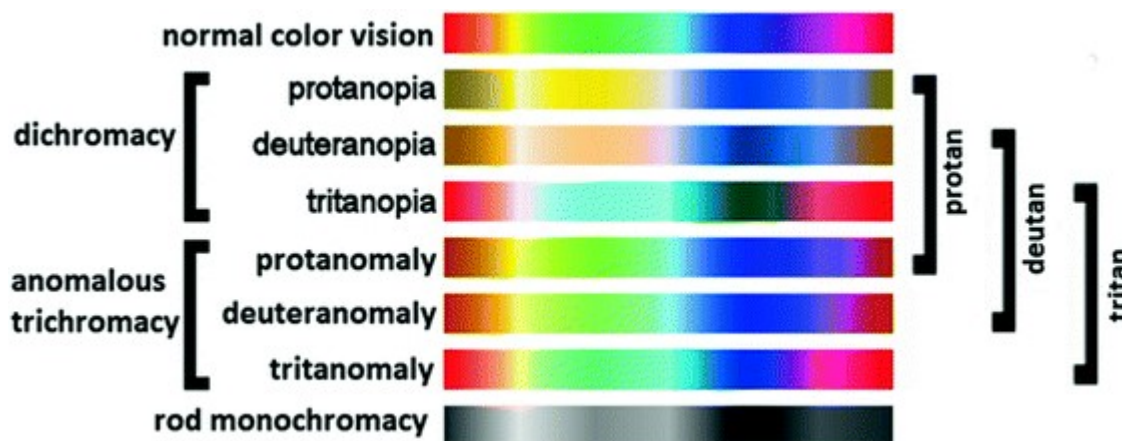
Fyziologický substrát barev vidění je čípkový fotoreceptor, který je tvořen třemi druhy: modrými, zelenými a červenými čípkami, které jsou také jinak označovány jako krátké (S, short), střední (M, medium) a dlouhé (L, long) čípky podle citlivosti na vlnové délky. Modré čípky (S) jsou citlivé na světlo o vlnové délce zhruba 430 nm, zelené čípky (M) jsou citlivé na světlo o vlnové délce zhruba 534 nm a červené čípky (L) jsou citlivé na světlo o vlnové délce asi 564 nm. [36, 39] Na Obrázku 7 můžeme vidět absorpční křivky pro modré, zelené, červené čípky a tyčinky.



Obrázek 7: Absorpční křivky čípků a tyčinek [40]



Na Obrázku 8 můžeme vidět rozdíly ve vnímání barev viditelného spektra u jednotlivých typů barvosleposti s normálně vidícím. Hlavní typy poruchy vidění podle obrázku jsou tyto: dichromazie, anomální trichromazie a monochromazie. V další podkapitole jsou tyto typy detailně popsány.



Obrázek 8: Rozlišení barvosleposti podle spektra [41]

## 5.1 PODLE ZÁVAŽNOSTI

Existují 3 základní kategorie barvosleposti odpovídající typům vad:

- anomální trichromazie (způsobuje vadný fotoreceptorový čípek),
- dichromazie (způsobuje chybějící fotoreceptorový čípek),
- monochromazie (má za následek chybějící minimálně dva fotoreceptorové čípky). [42]

### 5.1.1 ANOMÁLNÍ TRICHROMAZIE

Anomální trichromazie je nejmírnější formou barevné poruchy vidění. Stejně jako u osob s normální barevným viděním, vychází anomální trichromazie také ze třech základních barev a ty míchá do jiných barev. Avšak způsob, jakým míchá základní barvy člověk s normálním barevným viděním a člověk s anomální trichromazií je odlišný. Je důležité dodat, že anomální trichromatici se dále člení podle schopnosti rozlišovat mezi různými barvami. Anomální trichromazie se rozděluje na:

- protanomalie (postižený má změněnou barevnou citlivost červených čípků),
- deuteranomalie (postižený má změněnou barevnou citlivost zelených čípků),
- tritanomalie (postižený má změněnou barevnou citlivost modrých čípků). [36]

Přibližně 6 % mužské populace má deuteranomálii nebo protanomálii, které jsou výsledkem změny spektrální citlivosti M (zelených) a L (červených) čípků. Vzhledem k tomu, že geny pro fotopigmentaci čípků M a L se nacházejí v blízkém sousedství chromozomu X

a jejich sekvence mají podobné vlastnosti, vedou k anomálním fopigmentům. V případě anomální trichromazie jsou dva typy čípků citlivé na střední a dlouhé vlnové délky světla spektrálně podobnější, než je tomu v případě normálních M a L čípků. V případě deuteranomalie je normální čípek M nahrazen anomálním čípkem se spektrální citlivostí na světlo podobné citlivosti čípku L, který označujeme L'. Podobně je to i v případě protanomalie, kde je čípek L nahrazen čípkem M'. Postiženému se tedy jeví zelená a žlutá barva jako červená a je pro něj obtížnější rozeznat fialovou od modré. Tento stav je mírný a nenarušuje tak každodenní život. [43-45]

Lidé s tritanomalií mají omezenou funkčnost modrých čípků, takže modrá barva se jim může zdát zelenější a mohou obtížně rozlišovat žlutou a červenou barvu od růžové. [46]

Shrnutí základních charakteristik jednotlivých typů anomální trichromazie je v Tabulce 4.

*Tabulka 4: Typy anomální trichromazie (převzato a upraveno) [27]*

<b>Protanomalie</b>	1 % mužů 0,01 % žen	Nedostatek nebo porucha červených čípků	Problémy s rozlišováním barev v zeleno-žluto-červené části spektra
<b>Deuteranomalie</b>	6 % mužů 0,4 % žen	Nedostatek nebo porucha zelených čípků	Problémy s rozlišováním barev v zeleno-žluto-červené části spektra
<b>Tritanomalie</b>	0,01 % mužů a žen	Nedostatek nebo porucha modrých čípků	Snížené rozpoznávání modré a žluté barvy

### 5.1.2 DICHROMAZIE

Lidé s dichromatickým barevným viděním mají pouze dva typy čípkových buněk, které jsou schopny vnímat barvy. Tyto osoby mají také úplnou nefunkčnost jednoho typu čípků. Toto vede k tomu, že nemohou vnímat určitou část barevného spektra. Úseky barevného spektra, které by normálně červené a zelené čípky vnímaly, se výrazně překrývají. Dichromazie je rozšířenější než monochromazie, ale tato porucha není pro člověka nijak významně omezující. Projevuje se rozeznáváním barev, ale třeba v jiných odstínech, než ve skutečnosti jsou – člověk rozeznává jen dvě barvy, buď červenou a zelenou nebo červenou a modrou nebo kombinací modré a žluté barvy. Odstíny barev rozlišuje podle jasu. [36, 42, 47]

Dichromazii můžeme rozdělit do tří skupin podle toho, který ze tří čípků je nefunkčních nebo chybí a to na: protanopie, deuteranopie a tritanopie. V Tabulce 5 je stručná charakteristika rozdílů jednotlivých typů dichromazie. [36]

Tabulka 5: Typy dichromazie (převzato a upraveno) [27]

<b>Protanopie</b>	1 % mužů	Chybí červené čípky	Menší citlivost na červené světlo
<b>Deuteranopie</b>	1 % mužů	Chybí zelené čípky	Menší citlivost na zelené světlo
<b>Tritanopie</b>	Méně než 1 % mužů a žen (nesouvisí s pohlavím)	Chybí modré čípky	Modrá barva je posunuta směrem k zelené oblasti spektra

Další detailnější popisy uvedených typů jsou v podkapitole 5.2.

Do nedávna se myslelo, že dichromazie vzniká nahrazením, kdy jeden typ čípků je na sítnici nahrazen jiným typem čípku. Nicméně optické zobrazování naznačilo, že u některých forem dichromazie může dojít k úplné ztrátě určitého čípku a současnemu snížení jejich počtu. [36, 42, 47]

Nejčastějším typem dichromazie je červeno-zelená dichromazie, která je způsobená částečnou aktivitou L – červených anebo M – zelených čípků. Lidé trpící touto formou mají více jak v 90 % problém s pojmenováním barev. Lidé s nedostatkem červené a zelené barvy často vidí svět podobně. Žijí ve světě kalné zelené, kde vyniká modrá se žlutou barvou. Snadno zaměňují hnědou, oranžovou, různé odstíny červené a zelené. Lidé s oběma typy (omezení aktivit L čípků a M čípků) si také pletou některé modré barvy s fialovými a mají problém rozpoznat světlé odstíny většiny barev. [47, 49]

Méně častým typem dichromazie je modro-žlutá dichromazie, kdy modré čípky buď chybí nebo je jejich aktivita omezená. [47]

### 5.1.3 MONOCHROMAZIE

Monochromazie je nejzávažnější formou poruchy barevného vnímání. Jedná se o úplnou ztrátu barevného vidění z důvodů nepřítomnosti dvou nebo všech tří typů čípkových buněk. Monochromazii můžeme dále dělit na:

- achromatopsii (označovaná jako tyčinková monochromazie), při níž dochází k úplné ztrátě barevného vidění z důvodu absence všech tří typů čípků,
- monochromazie modrých čípků (označovaná jako čípková monochromazie), kdy chybí zelené a červené čípky. [36, 42, 50, 51]

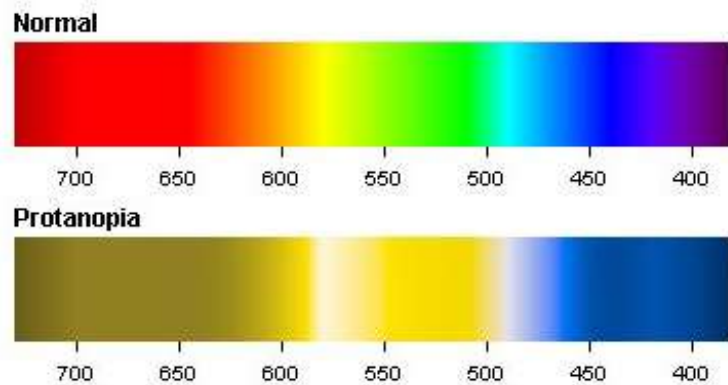
Čípková monochromazie je vzácný typ barvosleposti, při které jsou na sítnici nefunkční dva ze tří čípků. U většiny pacientů s tímto postižením se nachází většinou jenom čípky citlivé na krátkovlnnou (modrou) část barevného spektra. Člověk s touto poruchou vnímá okolí v odstínech šedi a orientuje se pouze podle rozdílného jasů. Lidé s tímto typem mají problémy s rozlišováním barev, protože mozek porovnává signály z různých typů čípků, aby viděl barvy. Lidé s monochromazií modrých čípků mohou mít také sníženou zrakovou ostrost, krátkozrakost nebo nystagmus. [36, 50]

Tyčinková monochromazie neboli achromatopsie je nejzávažnější a vzácně se vyskytující forma barvosleposti. Vyskytuje se pouze u jednoho z 33 000 lidí. Za to příznaky mohou velmi ztížit člověku život. Projevuje se už od narození. Lidé s tímto typem mají všechny čípky nefunkční, nerozeznávají tedy žádné barvy. Pro tyto jedince je svět černobílý, podobně jako stará televize. Achromatopsie může být často provázená světloplachostí nebo nystagmem. [36, 52, 53]

## **5.2 PODLE VNÍMÁNÍ BAREV**

### **5.2.1 PROTANOPIE**

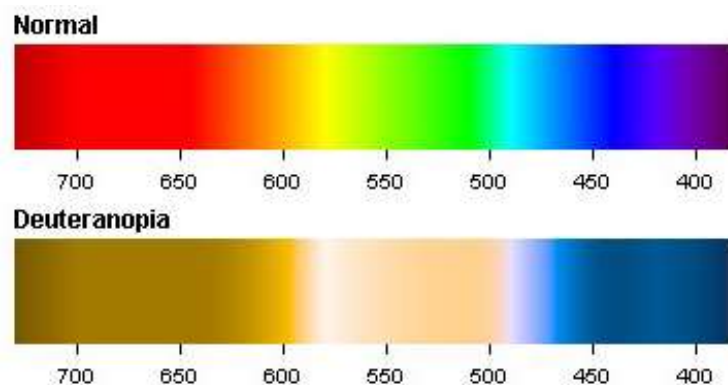
Při této poruše barvosleposti mají lidé na sítnici buď nefunkční červené čípky anebo chybí úplně, nejsou tedy schopni vnímat červené světlo. U lidí s normálním viděním jsou různé odstíny červené, oranžové, žluté a mnohé zelené výsledkem míchání červené a zelené, lidé s protanopií tyto všechny barvy určují jako zelené. Jinak řečeno, protanopové nejsou schopni rozlišit odstíny těchto barev od sebe. Pokud je protanop rozlišuje, tak jedině na základě rozdílů v jejich jasů. Protanop není tedy schopen rozlišit bílou a modrozelenou barvu. Mohou často plést černou s mnoha odstíny červené, tmavě hnědou s tmavě zelenou, tmavě oranžovou a tmavě červenou a zelenou se některými odstíny oranžové. [51, 53, 54] Na Obrázku 9 můžeme vidět rozdíl mezi viděním barevného spektra u zdravého člověka a člověka trpícího protanopií.



Obrázek 9: Vidění barevného spektra u člověka s normálním viděním a s protanopií [55]

### 5.2.2 DEUTERANOPIE

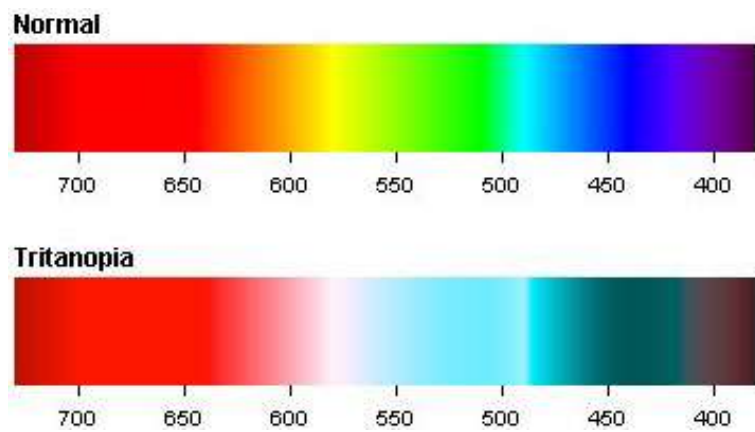
Při této poruše barevného vidění mají lidé na sítnici buď nefunkční zelené čípky anebo zde nejsou vůbec. Lidé s touto poruchou nejsou tedy schopni vnímat zelené světlo. Deuteranopové míchají všechny barvy pouze z červené a modré. Deuteranopové také nejsou schopni rozlišit červenou, oranžovou, žlutou a mnohé zelené. Proto protanopie a deuteranopie jsou často klasifikovány jako červeno-zelená barvoslepost. Často si pletou červenou s hnědou, modrozelenou s šedou nebo fialovou, světle zelenou se žlutou a světle žlutou se světle šedou. [51, 53, 54] Na Obrázku 10 můžeme vidět rozdíl mezi viděním barevného spektra u člověka s normálním viděním a člověka s deuteranopií.



Obrázek 10: Vidění barevného spektra u člověka s normálním viděním a s deuteranopií [56]

### 5.2.3 TRITANOPIE

Lidé s touto poruchou barevného vidění mají na sítnici buď nefunkční modré čípky anebo zde chybí úplně, nejsou tedy schopni vnímat modré světlo. Tritanopie patří mezi vzácnější typy dichromazie. U lidí s tímto typem poruchy se míchají všechny barvy z červené a zelené. Často si pletou žlutou s bílou, zelenou se světle modrou a červenou s růžovou. [51, 53, 54] Na Obrázku 11 lze vidět rozdíl ve vidění barevného spektra u zdravých lidí a lidí trpících tritanopií.



Obrázek 11: Vidění barevného spektra člověka s normálním viděním a s tritanopií [57]

## 6 DIAGNOSTIKA

Jednou z prvních jednoduchých metod používaných k testování barevného vidění bylo porovnání vidění postiženého se zdravým člověkem. V tomto případě dvě osoby pojmenovávali barvy každodenně používaných předmětů. Tuto metodu použil Turberville (v roce 1684) a po něm několik dalších badatelů. V roce 1798 J. Dalton již podrobně popsal své barevné vidění i vidění jeho bratra (oba podle všeho trpěli protanopií) a asi dalších 20 lidí. [26]

Další pokrok v testování učinil Seebeck v roce 1837. Ten požadoval, aby pozorovatel vybral z široké škály barevných vzorků ty, které se shodovaly s vybraným testovacím vzorkem nebo se mu, co nejvíce podobaly. Různé varianty tohoto testu navrhl pak Holmgren (1877), který používal pro odlišení barev klubka vlny. Holmgrenův test s vlnou je založen na principech Helmholtzovy teorie barevného vnímání. Helmholtz (již v roce 1866) předběžně navrhl, že barvoslepost se může projevovat ve třech formách v závislosti na chybějícím typu barevného receptoru. Přestože Helmholtz toto tvrzení následně stanovil jako chybné, Holmgren se ho držel a vybral tři standardní vlněná vlákna (červené, zelené, fialové) speciálně pro detekci tří navrhovaných typů barvosleposti. V důsledku toho je Holmgrenův test založen na chybném a zavádějícím souboru kategorií barvosleposti. [26]

Další ze způsobů diagnostiky jsou pseudoisochromatické (pseudoisochromatické = falešně se jevící stejné barvy) desky, které poprvé představil Stilling (1873). Úspěch testů tohoto druhu závisí na neschopnosti pozorovatelů s barevnou poruchou rozlišovat mezi určitými barvami. Symbol (kterým může být číslo, písmeno nebo tvar) složený z barevných skvrn je umístěn na pozadí různobarevných skvrn. Nejčastěji se vyskytující provedení desek zahrnuje zvolené barvy tak, aby symbol nebyl pozorovatelem s poruchou viditelný. V dnešní době existuje mnoho moderních variant tohoto druhu testu. [26]

V roce 1881 Lord Rayleigh pomocí svého přístroje na míchání barev (jinak anomaloskop), který používal úzké spektrální pásy červené a zelené barvy pro shodu se žlutou barvou a zjistil, že několik pozorovatelů vytváří shody, které se velmi liší od shod většiny ostatních pozorovatelů. Panuje shoda, že anomaloskop je jedinou klinickou metodou, která je schopna klasifikovat barevné vady podle jejich předpokládaných genetických subjektů. [26]

Anomaloskop je optický přístroj, který byl vynalezen na přelomu 20. století Nagelem. Pozorovatel musí manipulovat s ovládacími knoflíky tak, aby se dvě barevná pole shodovala v barvě a jasu. Po doplnění informací z dalších testů umožňují výsledky poskytnuté anomaloskopem přesnou klasifikaci všech barevných vad. [26]

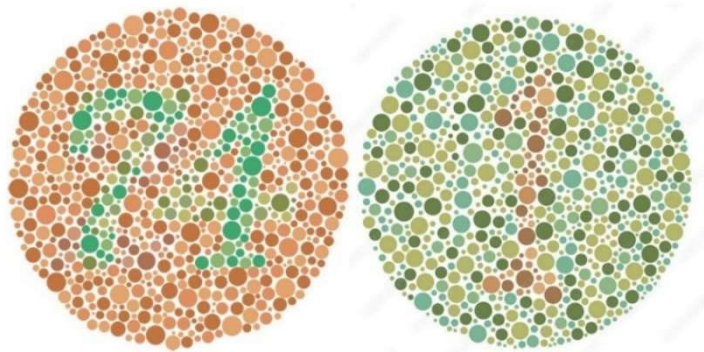
V současnosti používané diagnostikování:

- Určení samotné vady barevného vidění: při testu na desce musí pozorovatel identifikovat barevný symbol vložený do pozadí. Existuje mnoho typů pseudoisochromatických testů, ale nejjednodušší a nejčastější používanou metodou je pomocí Ishiharových testovacích destiček. Bližší popis testu je uvedený v podkapitole 6.1. Používání destičkových testů je rychlé, test je snadno proveditelný, snadno dostupný, relativně levný a lze jej použít i u negramotných dětí. Existují ale i nevýhody. Kvalita osvětlení, které desky osvětluje, výběr matoucích barev a sada barev. Nejsou tedy k dispozici žádná přesná kritéria pro klasifikaci vad na základě výsledků, což tedy znamená, že pomocí pseudoisochromatických testů nemůžeme zjistit typ nebo rozsah poruchy barvosleposti. Pseudoisochromatické testy by tedy měly být používány především jako screeningové testy k rozdělení lidí na normální a s poruchou. [26]
- Klasifikace typu vady barevného vidění: pomocí anomaloskopu dochází ke klinickému vyšetření vady. [26]
- Dnes mezi nepoužívanější testy pro identifikaci barvosleposti patří:
  - Pseudoisochromatické – patří zde Ishiharův nebo HRR (neboli Hardy-Rand-Rittler) test,
  - Seřazovací – patří zde Lanthony Desaturated Panel D-15 test a Farnsworth-Munsell 100 Hue test, princip těchto to testů spočívá v seřazení barev podle odstínů. [58-60]

## 6.1 ISIHARŮV TEST

Ishiharův test je pseudoisochromatický test, který využívá rozdíly v barvě a kontrastu k určení, zda je člověk barvoslepý či nikoli. Test se skládá ze série destiček, na kterých jsou různobarevné obrazce (například čísla, tvary nebo písmena) na jiném různobarevném pozadí. Rozdíl mezi obrazcem a body na pozadí je v barvě, kdy obrazec je složen z bodů jedné nebo více barev a pozadí je složeno z bodů jiné barvy nebo barev. Pacienti se snaží rozlišit barvy a určit, tak daný útvar na destičkách. Pokud pacient uvidí mezi tečkami čísla nebo tvary, není přítomna vada barevného vidění. Ale když naopak bude mít problém nalézt daný obrazec na destičce, znamená to, že má poruchu barevného vnímání. [26, 42] Na Obrázku 12 je detailní ukázka Ishiharova testu.





Obrázek 12: Ishiharův test [61]

U lékaře má tento test podobu sady barevných obrázků, které pomáhají lékaři identifikovat poruchu barvosleposti.

Nevýhodou Ishiharova testu je, že dokáže identifikovat pouze pacienty trpící červeno-zelenou poruchou barvosleposti. Nicméně existuje test, který dokáže identifikovat jak červenou, zelenou, tak i modrou poruchu barvosleposti. A tím je HRR (neboli Hardy-Rand-Rittler) test, který je testu Ishihara velmi podobný a liší se jen tím, že dokáže rozeznat i poruchu modré barvosleposti. Na destičkách u tohoto testu jsou pouze tvary. [42, 62]

## 6.2 GENETICKÉ TESTY

Téměř po 100 letech od publikace testu barvosleposti založeného na pseudoisochromatických destičkách doktora Ishihary, se Jaye Neitze a jeho tým zabýval novými genetickými testy pro rozpoznávání barvosleposti. [63]

Tento genetický test označovaný jako Eyedox (od společnosti Genovolve) na identifikaci barvosleposti nevyžaduje k provedení žádné obrázky ani přístroje. Pro test stačí mít pouze lidskou DNA získanou z krve nebo slin. Díky tomuto novému testu tak můžeme v dnešní době zjistit barvoslepost i u batolete. Testování s destičkami nemůžeme aplikovat u dítěte/batolete v brzkém věku, protože ještě neumí některé věci pojmenovávat nebo je ještě ani nevnímá, a tak prováděné testování pomocí destiček u batolete můžou poskytovat zkreslené výsledky. Ty můžou vzniknout například z důvodu nedorozumění, světelných podmínek a jiných vnějších faktorů při testování. [58, 63]

Provedením genetického testu Eyedox je možné člověku diagnostikovat nejenom samotný typ barevné poruchy, ale i jeho závažnost. Test dokáže diagnostikovat anomální trichromazii včetně jejich podtypů (deuteranomalie a protanomalie), ale také dichromazii s jejími podtypy (deuteranopie a protanopie). To znamená, že test dokáže jednoznačně

diagnostikovat jakýkoliv typ červenozelené barvosleposti. Jedinou nevýhodou tohoto testu je, že nedokáže u člověka při testech odhalit modrozlutou poruchu barvosleposti: konkrétně tritanomalii a tritanopii. [58, 63]

Závažnost poruchy barvosleposti se dá klasifikovat pomocí stupnice v rozmezí od 1 do 100. Podle závažnosti jsou pak jednotlivé typy barvosleposti zařazeny do stupňů a to následovně: velmi mírná, mírná, střední, silná a velmi silná. [63]

Mnoho lidí však nehledá jenom test pro identifikaci typu barvosleposti, jakou trpí, mnohem důležitější je pro ně hlavně zjištění, jestli jsou vůbec nějaké možnosti, jak barvoslepost u sebe eliminovat nebo vyléčit. Pokud taková možnost léčby existuje, určitě ji chtějí znát a aplikovat. Většina lidí, kteří jsou barvoslepi, totiž má problémy nejen v životě, ale i v práci. Mnozí z nich jsou kvůli svému postižení odmítáni na určitých pracovních pozicích, například na pozici pilota, policisty nebo hasiče. Proto se společnost Genolve nezabývá jenom diagnostikováním barvosleposti, ale i její samotnou léčbou. [63]

Jaký je samotný průběh testu: Nejdřív se musí získat od pacienta vzorek s jeho DNA (z krve nebo slin). Poté se vzorek následně analyzuje pomocí technologie sekvenování genů pro analýzu opsinů, které jsou přítomny ve všech čípcích. Na základě toho je možné přesně identifikovat a klasifikovat barvoslepost i její závažnost. [64]

## 7 LÉČBA

Barvoslepost, která se v rodinách dědí, nelze vyléčit. Většina lidí si najde způsob, jak se této poruše v životě přizpůsobit. Děti s barvoslepostí mohou ve třídě potřebovat pomoc s některými činnostmi. Dospělí však v některých případech nejsou schopni vykonávat některá zaměstnání, například práci grafika nebo pilota. [9]

Pokud je barvoslepost důsledkem jiného zdravotního problému, lékař bude léčit onemocnění, jež způsobuje tento problém. Je možné, že je barvoslepost způsobená lékem, který pacient užívá a v tom případě lékař buď upraví množství podávaného léku, anebo navrhne přechod na jiný lék. [9]

V posledních letech probíhá výzkum léčby poruchy barevného vidění u primátů, pomocí genové terapie. Výzkum sice ukázal slibné výsledky, ale terapie ještě nebyla použita u lidí. Proto většina lidí trpících barvoslepostí spoléhá na nositelná zařízení při zvládnání každodenních úkonů. Mezi nejběžnější nositelné zařízení patří tónovací skla v brýlích nebo čočky. Dále existují i aplikace, které mohou při každodenních činnostech člověku pomoci. [9, 42]

### 7.1 OPTICKÉ POMŮCKY

Princip používání filtrů představil Seebeck, který tvrdil, že při postupném umístění červeného a zeleného filtru jsou osoby trpící protanií a deutanií schopni rozlišovat odstíny nerozlišených barev. Tento postup byl později různými společnostmi rozpracován do čoček a brýlí. Nejznámější společnost, která se tímto zabývá je společnost EnChroma. Při testování korekčních brýlí EnChromou a jinými společnostmi byla experimentálně prokázána účinnost při zlepšení kvality života barvoslepých. Tyto brýle jsou na míru a odfiltrují řadu problematických oblastí vlnových délek na základě pacientovy poruchy. Rozsah těchto vlnových délek je většinou 520–580 nm (pro červenozelené překřížení) a 440–500 nm (pro modrozelené překřížení). [42]

- EnChroma je americká společnost, která vyvíjí čočky pro zlepšení života lidí s poruchou červeného a zeleného barevného vnímání. Revoluční řešení EnChroma pro barevné vidění, které vynalezl doktor sklářství a vystudovaný matematik, bylo zkombinovat nejnovější poznatky neurovědy o vnímání barev a inovace v oblasti čoček, aby přineslo barevné možnosti všem. Nabízí kolekci brýlí pro venkovní i vnitřní použití jak pro dospělé, tak děti od 5 let. Společnost brýle vyvinula téměř před 20 lety a neustále kombinuje poznatky z oblasti neurovědy o vnímání barev, optických barviv, inovací materiálů čoček a výrobních postupů, aby mohla dodávat brýle pro barvoslepé, u nichž je

prokázáno, že stimulují mozkové centrum pro zpracování barev a zlepšují tak barevné vidění. Technologie čoček selektivně filtruje světlo tak, aby se zvýšil kontrast mezi červeným a zeleným barevným signálem a zohlednil se tak překryv a zmírnily se příznaky červenozeleňé barvosleposti pro pestřejší a barevnější vnímání světa. Optické čočky selektivně filtrují vlnové délky světla v místě, kde dochází k této záměně nebo nadměrnému překrývání barevné citlivosti. Čípky fotoreceptorů M (zelená) a L (červená) jsou změněny tak, že dochází k většímu rozdílu v rozlišování barev podél tzv. linie záměny pro daného jedince. [45, 62]

- Colormax je americká společnost, která využívá systém ColorCorrection. Tento systém používá vlastní filtry, ty jsou navrženy s přesnou vlnovou délkou světla pro každého jednotlivce, umožňující správně zpracovat světlo a dané informace transportovat směrem do mozku. Čočky od společnosti Colormax mohou pomoci lidem s červenozeleňou i modro-žlutou poruchou barvosleposti. Tyto filtry jsou jedinečně navrženy pro každého zvlášť a lze je nosit buď jako barevné korekční kontaktní čočky nebo korekční brýle pro barvoslepé. [62, 65, 66]

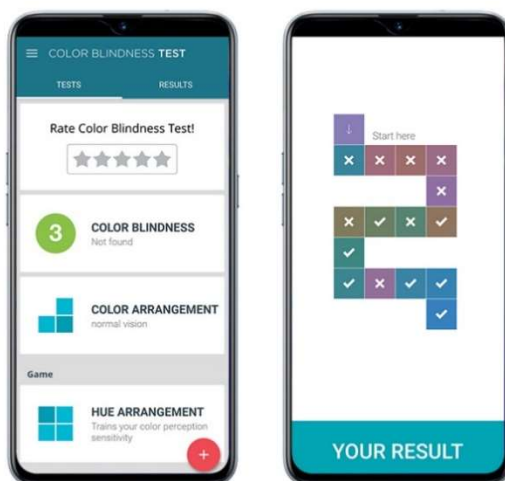
- ChromaGen je britská společnost, zabývající se barevnými filtry pro poruchy barevného vidění a dyslexii (což je neurobiologický stav, který se vyznačuje problémy s rozpoznáváním slov a špatným pravopisem). ChromaGen nabízí řadu osmi barevných filtrů – fialovou, purpurovou, modrou, azurovou, zelenou, žlutou, růžovou a oranžovou. Ty fungují tak, že mění vlnovou délku každé barvy vstupující do jednoho nebo obou očí a zlepšují tak vnímání barev a jejich rozlišování. Podle studií více než 97 % lidí s barvoslepostí zaznamenalo výrazné zlepšení svého barevného vidění v každodenním životě. Filtry mohou být především v podobě čoček, ale jsou možné i v podobě brýlí. [67, 68]

## 7.2 MOBILNÍ APLIKACE

Člověk s poruchou barevného vnímání se denně potýká s mnoha problémy. Například rozlišování pastelek u dítěte nebo vnímání semaforů u dospělých. Proto byly vytvořeny aplikace, které pomáhají barvoslepým identifikovat či rozlišovat barvy. [69]

Níže je uveden seznam několika vybraných mobilních aplikací pro barvoslepé i s jejich funkcemi, které umožňují:

- Color Blind Test (v překladu Test barvosleposti) – tato aplikace obsahuje několik testů, například Ishiharův test, Farnsworthův D-15 dichotomický test a test barevných kostek. Ten pomáhá při identifikaci červené, zelené nebo modré barvosleposti. Test může provádět dospělý i dítě, aby se barvoslepost mohla identifikovat už v raném věku. Na Obrázku 13 můžeme vidět aplikaci Color Blind Test i s různými testy. [69]



Obrázek 13: Aplikace Color Blind Test [69]

- Colorblind Helper & Simulator (v překladu Pomocník a simulátor barvoslepých) – aplikace, která může barvoslepým pomáhat například při vaření. Kromě toho tato aplikace obsahuje simulátor, který umožňuje každému, kdo normálně vidí, nahlédnout do světa barvoslepých. Aplikace také obsahuje i test barvosleposti. Simulace barevné poruchy v aplikaci ColorBlind Helper & Simulator je znázorněna na Obrázku 14. [69]



Obrázek 14: Aplikace Colorblind Helper & Simulator [69]

- Color Blind Pal (v překladu Barvoslepý přítel) – tato aplikace pomáhá barvoslepému identifikovat barvy a normálně vidícímu člověku zažít, jak vidí barvoslepý. Aplikace funguje tak, že namíříte zařízení (např. mobilní telefon) na objekt, u kterého chcete znát barvu a aplikace zobrazí název této barvy (viz Obrázek 15). Pro lidi s normálním barevným viděním nabízí tato aplikace náhled na snímaný objekt z pohledu osob s různými typy barvosleposti. [69]



Obrázek 15: Aplikace Color Blind Pal [70]

- Color Blind Filter on iOS (v překladu Filtry pro barvoslepé v systému iOS) – společnost Apple má spoustu funkcí, které pomáhají usnadnit život lidem, s různými speciálními potřebami. V mobilním telefonu od společnosti Apple můžeme nalézt funkci zvanou Barevné filtry, která pomáhá rozlišovat barvy. Tyto filtry pomáhají usnadnit používání telefonu a změni způsob, jakým se díváte na obrázky a videa. Člověk může vybírat ze čtyř režimů korekce, podle typu vady: stupně šedi, filtr červené/zelené (protanopie), filtr zelené/červené (deuteranopie) a filtr modré/žluté (tritanopie) – viz Obrázek 16. Člověku s normálním viděním může tato funkce ukázat, jak vidí lidé s různými typy barevosleposti. [69]



Obrázek 16: Color Blind Filter on iOS [71]

- Color Blind Filter on Android (v překladu Filtry pro barvoslepé v systému Android) – dokonce i systém Android má funkci, která má barvoslepému člověku usnadnit život. Systém Android nabízí oproti systému iOS pouze tři režimy korekce: červeno-zelená (protanopie), zeleno-červená (deuteranopie) a modro-žlutá (tritanopie). [69]
- Color Blindness Test Game – tato aplikace není běžná pro testování barvosleposti, svou funkcí se totiž blíží hře, ale může člověku pomoci zjistit jestli nemá mírnou poruchu barvosleposti. Tato aplikace pracuje na principu, kdy člověk musí najít v sadě barevných čtverečků jeden daný čtverec s barvou, který je od ostatních v odlišném odstínu jak je možno vidět na Obrázku 17. Po identifikování tohoto čtverce se objeví nová sada čtverců v odlišné barvě. [69]



Obrázek 17: Aplikace Color Blindness Test Game [69]

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo shrnout doposud známe poznatky o poruše barevného vidění. V mé práci jsem popsala historii barvosleposti s různými poznatky obyčejných lidí, ale i odborníků – vědců.

Najdete zde také informace o výskytu samotné poruchy v lidské populaci, ale i její četnosti u různých národů. V práci popisuji blíže symptomy samotné barvosleposti a následně i typy poruchy barvosleposti, které jsou děleny na tři hlavní typy, podle závažnosti: monochromazii, dichromazii a anomální trichromazii.

Je zde popsána genetická dědičnost této poruchy, protože je barvoslepost vázaná na chromozom X. Také zmiňuji, že nemoc může vzniknout i v průběhu života člověka: jako následek diabetes nebo glaukomu, ale i užívání drog či dokonce léků.

Část své práce jsem se věnovala diagnostice barvosleposti, která se dělá pomocí různých metod a testů, a to především Ishihariho testu a genetickým testům.

V závěru práce pak popisuji různé možnosti a způsoby, jak pomocí speciálních pomůcek a aplikací tuto nemoc zvládnout omezit nebo minimalizovat její důsledky, protože barvoslepost je nevléčitelná nemoc. A nemusí se vždy jednat o medicínské pomůcky. V dnešní moderní technologické době se jedná i o různé aplikace vytvářené pro uživatele mobilních telefonů.



## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BAILKIN, J. Color Problems: Work, Pathology, and Perception in Modern Britain. *International Labor and Working-Class History* [online]. 2005, **68**, 93-111 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0147-5479. Dostupné z: doi:10.1017/S0147547905000219.
- [2] COLE, L. J. An early family history of color blindness. *Journal of Heredity* [online]. 1919, 10(8), 372-374 [cit. 2023-06-23]. ISSN 1465-7333. Dostupné z: doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a101950.
- [3] LANSKA, D.J. Dalton, John. In: *Encyclopedia of the Neurological Sciences* [online]. Elsevier, 2014, 2014, s. 928-929 [cit. 2023-06-23]. ISBN 9780123851581. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-385157-4.00849-6.
- [4] RAUSCHECKER, J. Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von (1821–1894). In: *Encyclopedia of Language & Linguistics* [online]. Elsevier, 2006, 2006, s. 276-278 [cit. 2023-06-23]. ISBN 9780080448541. Dostupné z: doi:10.1016/B0-08-044854-2/02616-X.
- [5] MARGO, C. E. a L. E. HARMAN. Helmholtz's critique of Goethe's Theory of Color: more than meets the eye. *Survey of Ophthalmology* [online]. 2019, 64(2), 241-247 [cit. 2023-06-23]. ISSN 00396257. Dostupné z: doi:10.1016/j.survophthal.2018.10.004.
- [6] BERRY, G. A. A difficulty in accepting the young-helmholtz theory. *British Journal of Ophthalmology* [online]. 1920, 4(12), 537-546 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0007-1161. Dostupné z: doi:10.1136/bjo.4.12.537.
- [7] POPOVA, M. 19th-century insight into the psychology of color and emotion. *The Atlantic* [online]. 2012. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.theatlantic.com/health/archive/2012/08/19th-century-insight-into-the-psychology-of-color-and-emotion/261261/>.
- [8] KOSARI, A. Colorblind people population! statistics. In: *Colorblind guide* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.colorblindguide.com/post/colorblind-people-population-live-counter>.
- [9] Color Blindness. *National Eye Institute* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/color-blindness>.
- [10] PAPAGEORGIOU, E., R. J. MCLEAN a I. GOTTLÖB. Nystagmus in Childhood. *Pediatrics & Neonatology* [online]. 2014, **55**(5), 341-351 [cit. 2023-06-23]. ISSN 18759572. Dostupné z: doi:10.1016/j.pedneo.2014.02.007.
- [11] Early symptoms. *Colour Blind Awareness* [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.colourblindawareness.org/families/early-symptoms/>.
- [12] SILBERNAGL, S.a A. DESPOPOULOS. Atlas fyziologie člověka: překlad 8. německého vydání. 4. české vydání. Přeložili K. JANDOVÁ, M. LANGMEIER, O. KITTNAR, E. KURIŠČÁK, P. MLČKOVÁ, M. NEDBALOVÁ, V. RILJAK, M. WITTNER. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 9788024742717.
- [13] Stavba oka. In: *Symptomy: Oči* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.symptomy.cz/anatomie/oci>.

- [14] PURVES, D., G. J. AUGUSTINE a D. FITZPATRICK. : Anatomical Distribution of Rods and Cones. *Neuroscience. 2nd edition* [online]. Sinauer Associates, 2001 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10848/>.
- [15] SPECTOR, R. H., WALKER, H.K., W.D. HALL a J.W. HURST, ed. Visual Fields. In: *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd edition*: [online]. 1990 [cit. 2023-06-23]. ISBN 0-409-90077-X. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201/>.
- [16] ŠTEFÁNEK, J. Slepá skvrna. *Medicína, nemoci, studium na I. LF UK* [online]. 2023 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/slepa-skvrna>.
- [17] Schematický náčrt macula lutea a fovea centralis. In: *WikiSkripta: Perimetrie* [online]. 2014 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Perimetrie&oldid=455708>.
- [18] Tyčinky a čípky. In: *Elektronická učebnice: Zrakové ústrojí (organum visus)* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/246>.
- [19] GORMAN, N. Photoreceptors. *Kenhub* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/photoreceptors>.
- [20] Rozložení čípků a tyčinek na sítnici. In: *Fyziologie – teorie k praktickým cvičením: Zorné pole – Perimetrie* [online]. Fyziologický ústav, Lékařská fakulta MU [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/23\\_zorne\\_pole.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/23_zorne_pole.html).
- [21] OAKLEY, T.H. a D.C. PLACHETZKI. The Evolution of Opsins. In: *Encyclopedia of the Eye* [online]. Elsevier, 2010, 2010, s. 82-88 [cit. 2023-06-23]. ISBN 9780123742032. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-374203-2.00150-0.
- [22] Inherited colour vision deficiency. *Colour Blind Awareness* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/causes-of-colour-blindness/inherited-colour-vision-deficiency/>.
- [23] Causes of color blindness. *National Eye Institute* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/color-blindness/causes-color-blindness>.
- [24] BASTA, M. a A. M. PANDYA. Genetics, X-Linked Inheritance [online]. In: . 2022 [cit. 2023-06-23]. ISBN 32491315. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557383/>.
- [25] X-linked recessive inheritance. In: *Wikipedie: Duchenneova muskulární dystrofie* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Duchenneova\\_muskul%C3%A1rn%C3%AD\\_dystrofie&oldid=20435569%3E](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Duchenneova_muskul%C3%A1rn%C3%AD_dystrofie&oldid=20435569%3E).
- [26] Procedures for Testing Color Vision [online]. Washington, D.C: National Academies Press, 1981 [cit. 2023-06-23]. ISBN 978-0-309-07761-3. Dostupné z: doi:10.17226/746.
- [27] GRZYBOWSKI, A. a K. KUPIDURA-MAJEWSKI. What is color and how it is perceived?. *Clinics in Dermatology* [online]. 2019, **37**(5), 392-401 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0738081X. Dostupné z: doi:10.1016/j.clindermatol.2019.07.008.

- [28] WEBMD EDITORIAL CONTRIBUTORS. Glaucoma. *WebMD* [online]. 2023 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.webmd.com/eye-health/glaucoma-eyes>.
- [29] ROMEO, A. R. a B. M. SEGAL. Multiple Sclerosis. In: *Clinical Immunology* [online]. Elsevier, 2023, 2023, s. 843-853 [cit. 2023-06-23]. ISBN 9780702081651. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-7020-8165-1.00066-6.
- [30] WEBMD EDITORIAL CONTRIBUTORS. Multiple Sclerosis and Vision Problems. *WebMD* [online]. 2023 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.webmd.com/multiple-sclerosis/guide/multiple-sclerosis-vision-problems>.
- [31] ZAFAR, S. a S. S. YADDANAPUDI. Parkinson Disease [online]. National Center for Biotechnology Information, 2022 [cit. 2023-06-23]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470193/>.
- [32] RODRIGUEZ-GALINDO, C., D. B. ORBACH a D. VANDERVEEN. Retinoblastoma. *Pediatric Clinics of North America* [online]. 2015, **62**(1), 201-223 [cit. 2023-06-23]. ISSN 00313955. Dostupné z: doi:10.1016/j.pcl.2014.09.014.
- [33] WARDA, O., Z. NAEEM, K. A. ROELOFS, M. S. SAGOO a M. A. REDDY. Retinoblastoma and vision. *Eye* [online]. 2023, **37**(5), 797-808 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0950-222X. Dostupné z: doi:10.1038/s41433-021-01845-y.
- [34] Metabolické poruchy – diabetes mellitus. *Zdravotní tělesná výchova - Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/ztv/pages/08-diabetes-text.html#soul>.
- [35] Diabetes and Vision Loss. *Centers for Disease Control and Prevention* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/diabetes/managing/diabetes-vision-loss.html>.
- [36] SIMUNOVIC, M. P. Colour vision deficiency. *Eye* [online]. 2010, **24**(5), 747-755 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0950-222X. Dostupné z: doi:10.1038/eye.2009.251.
- [37] SLINEY, D. H. What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye* [online]. 2016, **30**(2), 222-229 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0950-222X. Dostupné z: doi:10.1038/eye.2015.252.
- [38] KAWAMURA, S. a S. TACHIBANAKI. Molecular bases of rod and cone differences. *Progress in Retinal and Eye Research* [online]. 2022, **90** [cit. 2023-06-23]. ISSN 13509462. Dostupné z: doi:10.1016/j.preteyeres.2021.101040.
- [39] REZEANU, D., M. NEITZ a J. NEITZ. From cones to color vision: a neurobiological model that explains the unique hues. *Journal of the Optical Society of America A* [online]. 2023, **40**(3) [cit. 2023-06-23]. ISSN 1084-7529. Dostupné z: doi:10.1364/JOSAA.477227.
- [40] Diagram of Eye Color Sensitivity, photoreceptor absorbency for different wavelengths of light. In: *ResearchGate* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-Eye-Color-Sensitivity-photoreceptor-absorbency-for-different-wavelengths-of\\_fig4\\_339000551](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-Eye-Color-Sensitivity-photoreceptor-absorbency-for-different-wavelengths-of_fig4_339000551).
- [41] LASKOWSKI, M. Algorithm for Colorblindness Detection Sets Generation. In: *DREGVAITE, G. a R. DAMASEVICIUS, ed. Information and Software Technologies* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, 2016-09-22, s.

- 95-106 [cit. 2023-06-23]. *Communications in Computer and Information Science*. ISBN 978-3-319-46253-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-46254-7\_8.
- [42] SALIH, A. E., M. ELSHERIF, F. ALAM, A. K. YETISEN a H. BUTT. Gold Nanocomposite Contact Lenses for Color Blindness Management. *ACS Nano* [online]. 2021, **15**(3), 4870-4880 [cit. 2023-06-23]. ISSN 1936-0851. Dostupné z: doi:10.1021/acsnano.0c09657.
- [43] BOEHM, A. E., J. BOSTEN a D. I. A. MACLEOD. Color discrimination in anomalous trichromacy: Experiment and theory. *Vision Research* [online]. 2021, **188**, 85-95 [cit. 2023-06-23]. ISSN 00426989. Dostupné z: doi:10.1016/j.visres.2021.05.011.
- [44] YANDIKAPUTRI, D. B., H. ISNAENI, E. NURAENY a N. R. KUSUMA. The importance of inclusivity in supporting colour-blindness study case: Gelora Bung Karno. In: *Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2021, **673**(1) [cit. 2023-06-24]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/673/1/012041.
- [45] ALLEN, K., P. QUINLAN, J. ANDOW a E. FISCHER. What is it like to be colour-blind? A case study in experimental philosophy of experience. *Mind & Language* [online]. 2022, **37**(5), 814-839 [cit. 2023-06-24]. ISSN 0268-1064. Dostupné z: doi:10.1111/mila.12370.
- [46] SCHMIDT, I. On congenital tritanomaly. *Vision Research* [online]. 1970, **10**(8), 717-743 [cit. 2023-06-25]. ISSN 00426989. Dostupné z: doi:10.1016/0042-6989(70)90018-0.
- [47] SCHEIBNER, H. a S. CLEVELAND. Dichromacy characterized by chrominance planes. *Vision Research* [online]. 1998, **38**(21), 3403-3407 [cit. 2023-06-23]. ISSN 00426989. Dostupné z: doi:10.1016/S0042-6989(97)00373-8.
- [48] ÁLVARO, L., H. MOREIRA, J. LILLO a A. FRANKLIN. Color preference in red-green dichromats. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2015, **112**(30), 9316-9321 [cit. 2023-06-23]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1502104112.
- [49] PASTILHA, R. C., J. M. M. LINHARES, A. E. GOMES, J. L. A. SANTOS, V. M. N. DE ALMEIDA a S. M. C. NASCIMENTO. The colors of natural scenes benefit dichromats. *Vision Research* [online]. 2019, **158**, 40-48 [cit. 2023-06-23]. ISSN 00426989. Dostupné z: doi:10.1016/j.visres.2019.02.003.
- [50] SECHREST, E. R., K. CHMELIK, W. D. TAN a W.-T. DENG. Blue cone monochromacy and gene therapy. *Vision Research* [online]. 2023, **208** [cit. 2023-06-23]. ISSN 00426989. Dostupné z: doi:10.1016/j.visres.2023.108221.
- [51] GELETU, T. T., M. MUTHUSWAMY a T. O. RAGA. Identification of colorblindness among selected primary school children in Hararge Region, Eastern Ethiopia. *Alexandria Journal of Medicine* [online]. 2018, **54**(4), 327-330 [cit. 2023-06-23]. ISSN 2090-5068. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajme.2018.07.001.
- [52] REMMER, M. H., N. RASTOGI, M. P. RANKA a E. J. CEISLER. Achromatopsia. *Current Opinion in Ophthalmology* [online]. 2015, **26**(5), 333-340 [cit. 2023-06-23]. ISSN 1040-8738. Dostupné z: doi:10.1097/ICU.0000000000000189.

- [53] KOSARI, A. Different types of color blindness 2022: A simple explanation. *Colorblind guide* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.colorblindguide.com/post/different-types-of-color-blindness>.
- [54] THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA. Color vision. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. 2008 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/color-vision>.
- [55] Protanopia – red-green color blindness. In: *Colblindor* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/protanopia-red-green-color-blindness/>.
- [56] Deuteranopia – red-green color blindness. In: *Colblindor* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/deuteranopia-red-green-color-blindness/>.
- [57] Tritanopia – blue-yellow color blindness. In: *Colblindor* [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/tritanopia-blue-yellow-color-blindness/>.
- [58] DAVIDOFF, C., M. NEITZ a J. NEITZ. Genetic Testing as a New Standard for Clinical Diagnosis of Color Vision Deficiencies. *Translational Vision Science & Technology* [online]. 2016, **5**(5) [cit. 2023-06-27]. ISSN 2164-2591. Dostupné z: doi:10.1167/tvst.5.5.2.
- [59] GOOD, G. W., A. SCHEPLER a J. J. NICHOLS. The Reliability of the Lanthony Desaturated D-15 Test. *Optometry and Vision Science* [online]. 2005, **82**(12), 1054-1059 [cit. 2023-06-27]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/01.opx.0000192351.63069.4a.
- [60] GHOSE, S., T. PARMAR, T. DADA, M. VANATHI a S. SHARMA. A new computer-based Farnsworth Munsell 100-hue test for evaluation of color vision. *International Ophthalmology* [online]. 2014, **34**(4), 747-751 [cit. 2023-06-27]. ISSN 0165-5701. Dostupné z: doi:10.1007/s10792-013-9865-9.
- [61] Ishihara test: How to test for color blindness. In: *Gypsum Vision* [online]. 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://gypsumvision.com/ishihara-test-how-to-test-for-color-blindness/>.
- [62] 3 types of color blindness (symptoms, tests & treatments). *Vision Center* [online]. 2023 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.visioncenter.org/conditions/color-blindness/>.
- [63] Genetic test for color blindness. *Colblindor* [online]. 2011 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/2011/12/02/genetic-test-for-color-blindness/>.
- [64] Eyedox Genetic Test To Exclude Color Blind [online]. 2012 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=3679>.
- [65] Glasses for color blindness and color vision deficiency [online]. 2021 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://colormax.org/color-blindness-treatment/glasses/>.
- [66] Do color blind contact lenses help? [online]. 2021 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://colormax.org/2021/02/do-color-blind-contact-lenses-help/>.
- [67] SWARBRICK, H. A., P. NGUYEN, T. NGUYEN a P. PHAM. The ChromaGen contact lens system: colour vision test results and subjective responses. *Ophthalmic and*

- Physiological Optics* [online]. 2001, **21**(3), 182-196 [cit. 2023-06-24]. ISSN 0275-5408. Dostupné z: doi:10.1046/j.1475-1313.2001.00583.x.
- [68] ALKHUDAIRY, Z. a F. AL SHAMLAN. The Use of Chromagen Lenses in Different Ocular and Non-ocular Conditions: A Prospective Cohort Study. *Cureus* [online]. [cit. 2023-06-23]. ISSN 2168-8184. Dostupné z: doi:10.7759/cureus.28963.
- [69] VAIBHAV. Top Apps for the Color Blind for Android and iOS. *TechWiser* [online]. 2020 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://techwiser.com/top-apps-for-the-color-blind-for-android-and-ios>.
- [70] Colors for all - free on iOS, Android and Mac! [online]. [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://colorblindpal.com/>.
- [71] JELIČ, P. Jak na iPhone aktivovat filtry barev. *Letem světem Applem* [online]. 2020 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.letemsvetemapple.com/2020/08/04/jak-na-iphone-aktivovat-filtry-barev/>.