

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

VLIV BARVY DUHOVKY NA KONTRASTNÍ CITLIVOST

Diplomová práce

VYPRACOVAL:

Bc. Šárka Kunzová

Obor 5345T008 Optometrie

Studijní rok 2019/2020

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

doc. Mgr. Ladislav Mišta, Ph.D.

ODBORNÝ KONZULTANT:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. Mgr. Ladislava Mišty, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru.

V Olomouci dne 12. 3. 2020

.....
Bc. Šárka Kunzová

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat doc. Mgr. Ladislavu Mištovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Rovněž bych chtěla poděkovat RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za odborné poradenství v dané tematicce a trpělivost. Tato práce vznikla za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci č. IGA_PrF_2019_005 a IGA_PrF_2020_008.

Obsah

Úvod	6
I. TEORETICKÁ ČÁST	7
1. Duhovka.....	7
1.1 Anatomie a fyziologie duhovky	7
1.2 Patologie duhovky.....	9
2. Barva duhovky a její klasifikace	12
2.1 Barva duhovky	12
2.2 Dědičnost barvy duhovky.....	13
2.3 Klasifikace barvy duhovky.....	15
3. Zornice	18
3.1 Pupilomotorická dráha a zornicové reflexy.....	19
4. Zraková ostrost	22
4.1 Vyšetření zrakové ostrosti.....	23
5. Kontrastní citlivost	27
5.1 Vyšetření kontrastní citlivosti	28
II. PRAKTICKÁ ČÁST	33
6. Metodika výzkumu	34
6.1 Probandi	34
6.2 Průběh měření.....	34
6.3 Statistická analýza	41
7. Výsledky.....	43
8. Diskuze.....	47

Závěr	49
Seznam citované literatury	51

Úvod

Většina populace dnešního světa jezdí pravidelně autem nebo tráví celé dny před obrazovkami. Nejen při těchto dvou aktivitách, ale i spoustě dalších je oko často současně vystaveno výrazně odlišným jasům v zorném poli (např. monitor a tmavé pozadí místnosti), popř. jeho prudkým změnám (např. při míjení protijedoucích vozidel v noci). Jedná se o velice nepříjemný stav zraku, tzv. oslnění, kdy dochází k omezení vnímání světa okolo nás. Tento jev má výrazný dopad na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost. Dochází k němu v případech, kdy jsou naše oči zadaptovány na úplně jinou intenzitu osvětlení, než je ta, které jsou z ničeho nic vystaveny. Negativní dopady intenzivního kontrastního osvětlení, popř. prudkých změn jasu na zrakovou ostrost a zejména kontrastní citlivost mohou souviset s množstvím světla dopadajícího do oka a s jeho případným dalším rozptylem v oku. Proto lze předpokládat, že zhoršení uvedených zrakových vlastností může souviset s vlastnostmi duhovky, resp. zornice, která má v oku funkci clony.

Hlavním cílem této práce bude experimentálně posoudit vliv jasových rozdílů v zorném poli na zrakovou ostrost a kontrastní citlivost s ohledem na barvu duhovky a velikost zornice. Jelikož je v modré duhovce obsaženo méně pigmentu, předpokládá se, že by mohla právě u této skupiny lidí být zvýšená citlivost na oslnění, projevující se změnami kontrastní citlivosti a zrakové ostrosti. Současně velikost zornice reguluje množství světla vstupujícího do oka a tím též může ovlivnit tento efekt. Motivací ke zpracování tohoto tématu je osobní zájem o možné vlivy barvy duhovky na zrakové funkce a také fakt, že při prvotním hledání pramenů a studií, které by mohly přiblížit možný výsledek experimentu se jich nepodařilo mnoho dohledat.

V první části práce bude shrnuta anatomie, fyziologie a patologie duhovky, na kterou budou navazovat informace o barvě duhovky a její klasifikaci, která je pro účely experimentu podstatná. Pozornost bude věnována také zornici, která je nedílnou součástí duhovky, a změnám její velikosti. Dále budou shrnuty základní informace o zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti jako ukazatelů míry oslnění spolu s jejich metodami jejich vyšetřování. Samotný výzkum bude spočívat ve sledování vlivu barvy duhovky na kontrastní citlivost. Konkrétně bude vyšetřována nejen kontrastní citlivost, ale také zraková ostrost a velikost zornice v podmínkách s a bez oslněním.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Duhovka

Duhovka, také známá pod latinským názvem iris, tvoří spolu s řasnatým tělesem a cévnatkou střední vrstvu oka zvanou živnatka (uvea). Samotnou duhovku potom řadíme do přední části živnatky. Hladká svalovina duhovky vytváří mezikruží s kruhovým otvorem uprostřed zvaným zornice (pupilla). Duhovka plní na oku funkci clony, která brání světelným paprskům vstupovat do oka jinou cestou než zornicí. Zároveň reguluje množství světla, které je do oka vpuštěno podle množství, které momentálně dopadá na sítnici a jejímž prostřednictvím se spouští pupilární reflexy. Zornice, inervace ovládající zornici a zornicové reflexy jsou vzhledem k jejich významu popsány v samostatné kapitole 3. Nejvíce zajímavá je barva duhovky, která je u každého člověka jedinečná a stejně tak i stavba svalových vláken, které vytváří u lidí stejně jedinečnou strukturu, jakou jsou otisky prstů. [1, 2, 3]

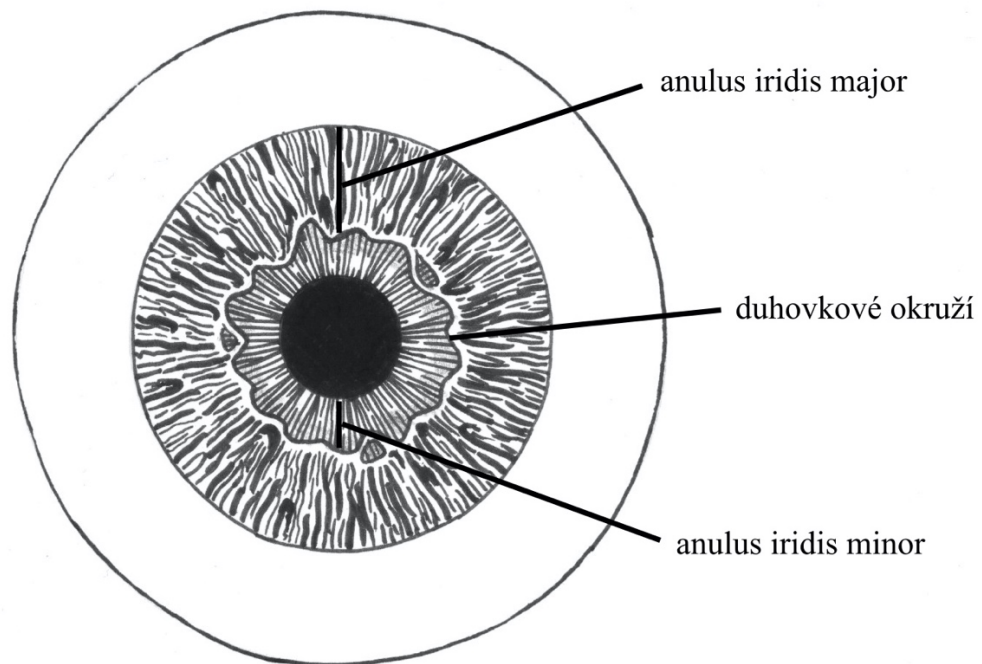
1.1 Anatomie a fyziologie duhovky

Duhovka má tvar mezikruží s otvorem ve středu (zornice), který je lehce posunut nasálně. Její postavení vytváří jakousi přepážku, která dělí přední prostor oka na dvě části, přední a zadní oční komoru. Zevní okraj duhovky, kde dochází k jejímu srůstu s ciliárním tělesem, se nazývá duhovkový kořen (margo ciliaris). Společně vytváří v přední části rohovkoduhovkový úhel (angulus iridocornealis) a trámčinu. V této oblasti dochází ke vstřebávání nitrooční tekutiny a vyrovnávání nitroočního tlaku. Vnitřní okraj duhovky označujeme jako zornicový. [4, 5, 6]

Duhovková tkáň je tvořena dvěma listy, předním a zadním. V duhovce kromě množství cév a nervů najdeme také svalová vlákna. Přední plocha duhovky (facies anterior iridis) není kryta epitelem, ale endotelem. Epitel na ní najdeme pouze v době nitroděložního vývoje, po narození však velmi rychle zaniká. Na povrchu se nachází vazivo, které tvoří lakuny a vkleslé krypty. Stroma duhovky se skládá převážně z řídké pojivové tkáně s kolagenními a elastickými vlákny. Při pohledu zpředu tak vzniká typická kresba, která je podmíněna úpravou cév, vláken stromatu a pigmentu prosvítajícího z epitelu kryjícího zadní plochu duhovky. Zadní plocha epitelu je tvořena

dvojitou souvislou vrstvou. Hlubší vrstva je tvořena pigmentovým epitelem, který pokračuje ze sítnice a může lehce přesahovat přes pupilární okraj na přední stěnu duhovky. Zadní vrstva je pokračováním nepigmentového ciliárního epitelu. [2, 4, 5]

Zpředu lze na duhovce rozlišit dvě části, anulus iridis major neboli ciliární oblast a anulus iridis minor tedy pupilární oblast (obr. 1). Anulus iridis major, který vytváří vnější prstenec duhovky má spíše síťovitou strukturu vláken a je od vnitřní části oddělen světlejším pruhem podmíněným úpravou cév. Jedná se o vyvýšenou přechodnou zónu zvanou duhovkové okružní. Pupilární oblast tvoří užší prstenec při zornici a zaujímá asi třetinu plochy. Od vnějšího prstence se liší jemnější strukturou a drobnějším kalibrem cév. [4, 5]



Obr. 1 - Duhovka

Uvnitř duhovky směrem k zadnímu duhovkovému listu najdeme pod povrchovým vazivem a cévami vrstvu hladké svaloviny, která je tvořena dvěma svaly, musculus (m.) sphincter pupillae a musculus dilatator pupillae. M. sphincter pupillae je uložen kruhovitě a spirálovitě okolo zornice. M. dilatator pupillae, který najdeme blíže k margo ciliaris je radiálně orientovaný a vytváří systém jemných pigmentovaných vláken hladké svaloviny. Funkce obou svalů je potom určena jejich názvy. M. sphincter pupillae plní funkci svěrače a je to silnější z dvojice svalů, při zornicových reflexech je

tedy hlavním působícím faktorem, m. dilatator pupillae zase zastává funkci rozvěrače. [4, 5]

Inervace duhovkových svalů je dvojitá. M. sphincter pupillae inervují parasympatická vlákna třetího hlavového nervu zvaného nervus oculomotorius. M. dilatator pupillae je naopak inervován sympatickými vlákny z Budgeova centra ležícího v míše v oblasti míšních segmentů C8 a Th1. Ty najdeme v oblasti sedmého krčního a prvního hrudního obratle. V každém ze svalů jsou kromě vláken hlavní inervace i vlákna protichůdného systému, aby byla zachována dynamický funkční rovnováha napětí svalů. [3, 4]

1.2 Patologie duhovky

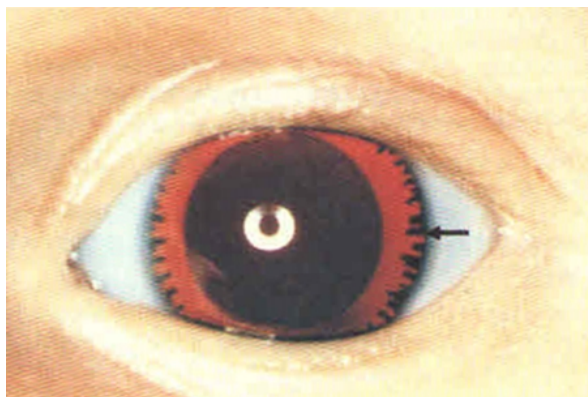
Jak už bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, duhovka je součástí střední vrstvy oka, která vyživuje jednotlivé jeho části a je tedy bohatě cévně a nervově zásobena. Často tedy dochází při různých ať už exogenních nebo endogenních chorobách k poškození části nebo celé uvey. Tyto choroby se potom označují celkovým názvem uveitidy. Duhovku můžeme jednoduše vyšetřit pomocí biomikroskopie a lze tak odhalit i počínající choroby. Metoda tohoto vyšetření byla použita i v experimentální části práce. [6, 7]

Vrozené vývojové vady mohou opět postihnout pouze duhovku, ale častěji jsou kombinací ještě s dalšími vrozenými poruchami očních tkání. Bývají podmíněny dědičností nebo mutací a vznikají v období těhotenství. Mezi nejčastější vrozenou vývojovou vadu patří kolobom duhovky, viz obr. 2, který je charakteristický chybějící částí tkáně duhovky nejčastěji v dolním kvadrantu. Tento defekt může zasahovat i dále do živnatky a narušit tím i kvalitu vidění. Duhovka také může téměř úplně chybět. V takovém případě mluvíme o aniridii, zobrazené na obr. 3. Obvykle však, ale duhovka nechybí úplně a pouze vytváří úzký proužek v komorovém úhlu. Proto bývá toto onemocnění spojeno s výskytem sekundárního glaukomu. Výskyt tohoto onemocnění je ale spíše výjimečný. K dalším vrozeným onemocněním, které postihuje celý organismus včetně duhovky, patří albinismus (obr. 4). Jedná se o metabolické onemocnění způsobené částečnou nebo úplnou absencí pigmentu. Tato choroba bývá znatelná na první pohled. Duhovka je totiž charakteristicky narůžovělá s možným odstínem světlemodré a červeným reflexem v zornici. Dále takový člověk trpí světloplachostí a

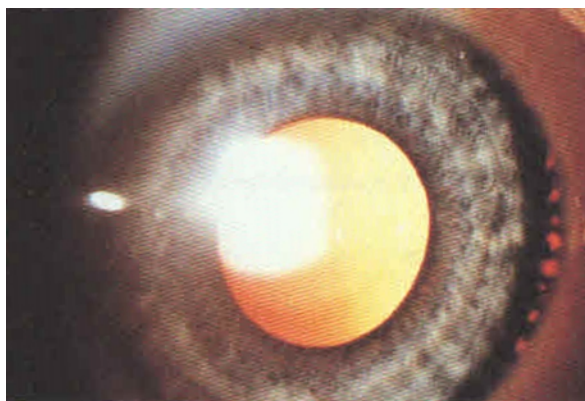
bývá porušena zraková ostrost. Albinismus je často spojen s poruchou vývoje žluté skvrny a může být pouze oční nebo v rámci celkového albinismu. Heterochromie (obr. 5), je choroba způsobená jednostrannou progredující ektodermální atrofií. Dochází k rozdílnému zbarvení duhovek mezi očima. Může být spojena i se zánětem nebo vzniknout sekundárně jako poúrazový stav. K deformaci zornice dochází při vadě zvané korectopia. Zornice bývá uložena excentricky a mívá oválný tvar. Bývá spojena ještě s dalšími očními změnami. Anomálie duhovky bývají spojeny s nystagmem, kataraktou, aplazií makuly a dalšími patologiemi. Dědičná degenerativní onemocnění jsou méně častá. [5, 6, 7, 8]



Obr. 2 - Kolobom duhovky [8]



Obr. 3 – Aniridie [8]



Obr. 4 – Albinismus [8]



Obr. 5 – Heterochromie [upraveno] [9]

Záněty živnatky (uveitidy), které postihují celou tuto tkáň, rozlišujeme podle průběhu na akutní a chronické. Podle etiologie pak rozlišujeme exogenní typ zánětu, kde je předpoklad přítomnosti patogenního organismu jako jsou viry, bakterie, plísňe, a endogenní zánět, kde není přítomen patogenní mikroorganismus, ale změny jsou způsobeny imunologicky. Přímo záněty duhovky (iritis) patří spolu se záněty řasnatého tělíska mezi časté onemocnění. Mezi typické příznaky akutních zánětů patří světloplachost, bolestivost a poruchy vidění. Dalším typickým příznakem je překrvení spojivky i duhovky. Dochází ke ztrátě charakteristické kresby a změně barvy duhovky. Zornice je zúžená a reakce na světlo je jen nepatrná. V přední komoře můžeme najít zánětlivý výpotek, je zvýšena produkce komorové tekutiny a může dojít až ke vzniku sekundárního glaukomu. Chronický zánět se projevuje pomalejším nástupem příznaků, vleklý průběh zánětu a recidiva vedou často ke vzniku dalších komplikací. [6, 7]

2. Barva duhovky a její klasifikace

Barva duhovky je pro některé lidi charakteristickým znakem a najdeme nejrůznější varianty a kombinace. Během života může také docházet ke změně barvy, vlivem léčiv, nemocí, i psychických stavů. V posledních několika desetiletích bylo provedeno mnoho studií ohledně barvy duhovky spojených s dědičností a možnými chorobami souvisejícími právě s barvou očí. Pro účely této práce je důležité v této kapitole zmínit barevnou klasifikaci duhovky, která byla použita i při vstupním vyšetření k experimentu.

2.1 Barva duhovky

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, barva duhovky je jedním z charakteristických znaků a může během života docházet k její změně. Barva duhovky je totiž závislá na množství pigmentu, zvaného melanin, ve stromatu a na skladbě duhovkové tkáně. Melanin je hnědý pigment, který najdeme obsažen také v kůži člověka nebo u rostlin a živočichů. Díky variabilitě množství melaninu v melanocytech duhovky a uspořádání tkáně duhovky potom můžeme najít nespočet množství barevných variant očí. Během prvních let života se barva očí mění, a to především u evropské populace. U bělochů je totiž stroma při narození relativně bez pigmentu. K této změně barvy duhovky může u člověka dojít až do 10 roku života. Struktura předních vrstev stromatu se mění spolu s pigmentací do tří až pěti let života. Pokud je v duhovce obsaženo málo pigmentových buněk zvaných melanocyty a duhovková tkáň je řídká, pozorujeme šedou až modrošedou barvu. Pokud je tkáň duhovky velmi jemná, má duhovka modrou barvu. Ke vzniku modré barvy duhovky přitom dochází rozptylem světla o krátké vlnové délce na fibrilách stromatu. Ke kumulaci pigmentu v melanocytech duhovky, které jsou příčinou změny barvy duhovky dochází během prvního roku života. Tato změna je ovlivněna sympatickou inervací melanocytů. Pokud dojde k přerušení okulospatického nervu v tomto období dochází ke vzniku heterochromie. Denervovaná duhovka potom zůstává modře zbarvená. U hnědé duhovky je v melanocytech ve stromatu obsaženo hodně melaninu. U hodně roztráštěného povrchu duhovky, který vytváří jemný vzor a je zde dostatečné množství melaninu pozorujeme sametově hnědý povrch. Dojde-li ke kombinaci se žlutým

pigmentem, můžeme pozorovat zelenou barvu duhovky. V případě albinismu nenajdeme ve stromatu ani epitelu žádný pigment. Barva duhovky u těchto jedinců je světle šedomodrá a dochází k propouštění světla (obr. 6). [5, 10]



Obr. 6 – Nejčastěji pozorované barvy očí [11, 12]

V mnoha studiích byla barva duhovky použita jako ukazatel pigmentace očního pozadí. Jak bylo totiž zjištěno, množství pigmentu na očním pozadí má vliv na rozptýlení světla v oku a výsledný obraz pozorovaného předmětu, vytvořeného na sítnici. Část dopadajícího světla totiž není absorbována sítnicí, ale je odražena zpět do oka a také oční stěna není sama o sobě úplně nepropustná pro světlo. Tyto dvě skutečnosti mají spolu s nedokonalým zobrazením očních médií vliv na vznik rozptýleného světla v oku, který má za následek snížení kontrastní citlivosti oka a může vést až ke zhoršení zrakových funkcí. V případě, že se jedná o světlomety aut v noci, může tento jev způsobit až oslnění. Barva duhovky tedy může být použita i jako ukazatel pigmentace oční stěny a očního pozadí. Otázkou zůstává, má-li tedy barva duhovky nějaký vliv na kontrastní citlivost a oslnění a jak velký tento vliv případně je. Z toho důvodu byl vytvořen experiment zpracovaný v druhé části této práce. [13, 14, 15, 16]

2.2 Dědičnost barvy duhovky

Genetický základ, na kterém je založeno určování a dědičnost tohoto znaku, byl zkoumán už od počátku kvantitativních studií rysů člověka. Jednoduchý Mendelovský model dominantně recesivních genů je ale příliš zjednodušený a nevystihuje tak úplně celý tento proces. Odhaduje se, že ačkoli existuje asi šestnáct genů zodpovědných za barvu očí, dva hlavní geny, které ovlivňují kvalitu a množství melaninu vytvořeného při melanogenezi, najdeme na chromozomu. Jsou jimi gen *HERC2* a gen *OCA2*. Tento gen obsahuje stavební plán P-proteinu, který najdeme v melanocytech. Množství a typ

transportovaného melaninu rozhoduje o tom, zda bude barva duhovky světlejší nebo tmavší. [3, 17, 18, 19]

Pomocí pečlivého zkoumání duhovky bylo již například zjištěno, že vývoj mozku a duhovky je do jisté míry propojen. Pozorováním duhovky totiž můžeme odhalit například i některá neurologická onemocnění jakým je například Downův syndrom. Tkáňové markery jsou také spojeny s některými očními chorobami jako je například glaukom, oční melanom a další. Geny, které se projeví v kresbě duhovky, také mohou popisovat celkový stav osobnosti člověka. Je tedy důležité identifikovat jednotlivé geny, které jsou zodpovědné za charakteristickou kresbu duhovky, aby se lépe porozumělo některým očním chorobám nebo chorobám ovlivňujícím osobnost člověka. [17, 18]

Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.1, skládá se duhovka z pěti vrstev: přední plocha duhovky, stroma, svalová vlákna a duhovkový pigmentový epitel. Na samotné barvě duhovky se ale podílí pouze přední vazivová vrstva a stroma. Zadní pigmentový epitel je pigmentovaný u všech barev očí a absenci pigmentu najdeme pouze u albinismu. Tloušťka dalších vrstev uložených nad pigmentovým epitelem brání jeho prosvítání skrz. Pokud je ale vrstva stromatu ležící nad pigmentovým epitelem tenká může mít vliv na duhovkové vzorování. Zadní pigmentová vrstva tedy plní funkci absorbce přebytečného světla, které vstupuje do oka zornicí. Dvě horní vrstvy potom představují hlavní složky duhovky. Obě tyto vrstvy, přední vazivová vrstva a stroma, v sobě obsahují melanocyty. Dendrity stromálních melanocytů mají tendenci se shlukovat a v kvantitativní studii bylo prokázáno, že představují přibližně 66 % stromálních buněk duhovky bez ohledu na barvu očí. [18]

Obecně najdeme světlejší barvu očí spíše u Evropanů nebo jedinců s evropskými předky. V jiných populacích světa byl výskyt světlé barvy očí zaznamenán spíše výjimečně. U různě barevných očí se však počet melanocytů příliš neliší. Rozdíl, je ale v množství a typu pigmentu, které tyto duhovky obsahují. Modrá duhovka obsahuje minimální množství pigmentu. U melaninu rozlišujeme eumelanin a feomelanin. Eumelanin je tmavší z dvojice pigmentů a má hnědou až černou barvu. Feomelanin má žluto červené zbarvení. U tmavších očí byl zjištěn vyšší poměr eumelaninu, u světlejších odstínů bylo zaznamenáno větší množství feomelaninu. Poměr těchto dvou forem spolu se strukturou duhovky a množstvím pigmentu ukazuje, jak velká variabilita v barvě duhovky existuje. [18, 19]

Na začátku kvantitavních studií se zdálo, že barva očí tedy podléhá jednoduché Mendlově dědičnosti. Začátkem 20. století byly zveřejněny dvě studie [20, 21], které došly ke stejnému závěru a měly pro pochopení této dědičnosti velký význam. Hnědá barva očí se chová stejně jako jednoduchý dominantní rys k recesivní modré. Modrá zkřížená s modrou dá opět modrou barvu očí, avšak pravidlo není bez výjimky, a tak jsou známy případy kdy se modrookým rodičům narodily děti s hnědýma očima. Shrnutím všech doposud známých studií a výzkumů lze říci, že různé barvy očí mají různé pigmentační geny, nelze však říci, jak velký vliv jednotlivé geny mají na barvu duhovky. Žádný z genů, ale neplní stejnou funkci jako CAO2 u modro-hnědé barvy očí. Obecně však lze říci, že hnědá barva očí se projeví téměř vždy, je tedy dominantní nad zelenou a modrou. Modrá barva je naopak recesivní a v dědičnosti ustupuje hnědé a zelené. Zelená barva plní jakousi funkci prostředníka. Vzhledem k hnědé barvě se chová jako recesivní rys, oproti modré barvě duhovky je ale dominantní. Jak už ale bylo zmíněno výše v této kapitole, i u těchto pravidel se najdou výjimky. Nikdy tedy nemůžeme s úplně stoprocentní jistotou říci jakou barvu očí bude mít novorozenec. [18]

2.3 Klasifikace barvy duhovky

Systémy klasifikace barvy duhovky se v průběhu časů neustále vyvíjely a stále vyvíjí, především z důvodu jejich využití při studiích v mnoha oborech, jako jsou epidemiologie, antropologie, genetika a oftalmologie. Většina těchto dřívějších systémů, je ale založena převážně na „pojmenování barvy duhovky“. Tato metoda, je však bohužel velmi subjektivní, jelikož není možnost porovnání barvy duhovky s určitou standardizovanou klasifikací. Ve většině studií je použita jednoduchá klasifikace nejčastěji na 2-3 skupiny, tato metoda byla použita i v experimentální části této práce, tedy světlá/mix/hnědá a další varianty, nebo členění na 4 a více skupiny. Při klasifikaci barvy duhovky můžeme rozlišit dva hlavní přístupy, klinický a digitální. U klinických přístupů najdeme klasifikaci do méně či více skupin, u digitálního přístupu se jedná o objektivnější automatizované kolorimetrické metody. [16, 22]

První zaznamenaná klasifikace barvy duhovky vznikla v roce 1843, kde bylo vytvořeno pět hlavních kategorií: šedá, modrá, oříšková, hnědá, černá. V přechozích stoletích, byla nejčastěji použita metoda klasifikace duhovky na základě předlohy, vytvořené pomocí skleněných modelů očí s nakreslenými duhovkami. Hlavním

problémem u tohoto druhu klasifikace je, že nakreslená barva se s časem mění a tím i celá standardizovaná sada očí. První pokus o standardizaci barvy očí byl proveden v roce 1903, kdy antropolog Rudolf Martin vytvořil sadu šestnácti nakreslených očí, které očísloval od 1 (pro nejtmaší hnědou) po 16 (nejsvětější modrá). O zjednodušení této klasifikace se v roce 1939 pokusil antropolog Carleton-Coon, který z těch 16 očí vytvořil 3 skupiny pro tmavou, střední (mix) a světlou. Modernější metoda založená na porovnání barvy duhovky se standardizovanou fotografií nemohla být vzhledem k měnící se kvalitě fotografií s postupujícím věkem a vývojem v této oblasti použita až do roku 1990. Ke změně došlo právě v roce 1990, kdy byla vytvořena klasifikace na základě čtyř standardizovaných fotografií duhovky, podle kterých byla duhovka porovnána a byla vyhodnocena její barva. Přehled jednotlivých metod klasifikace podává tab. 1. [22]

Rok vzniku	Klasifikační škála
1843	1. šedá, 2. modrá, 3. oříšková, 4. hnědá, 5. černá
1909	16 kategorií od tmavé hnědé (č. 1) po světle modrou (č. 16)
1939	1. světlá a světlý mix, 2. kombinace, 3. tmavá a tmavý mix
1990	5 kategorií založených na porovnání se 4 standardizovanými fotografiemi očí

Tab. 1 – Přehled dřívějších klasifikačních škál barvy duhovky [upraveno] [22]

S nástupem digitálních technologií se rozšířily i možnosti klasifikace barvy duhovky. První automatickou a objektivní metodou bylo spektrofotometrické měření množství melaninu v duhovce. Spektrofotometrická metoda fungovala na principu měření jasu a odrazu červeného, zeleného a žlutého světla. Tato metoda ukázala, že spousta světle zbarvených očí má okolo zornice tmavý prstenec, a že značná část zdánlivě světle zbarvených očí je ve skutečnosti kombinací světlých a tmavých barev. V roce 2008 byla zveřejněna studie s názvem Grading of Iris Color with an Extended Photographic Reference Set (16), kde byla vytvořena klasifikace barvy očí na základě hodnocení fotografií duhovky. Tento referenční soubor tvoří skupina 24 fotografií hodnocených čísly od 1 do 24. Motivací k vytvoření této standardizované skupiny bylo nahrazení objektivních metod, pro klinické studie zabývající se posuzováním množstvím pigmentace oční stěny a sítnice a s tím souvisejících fenoménů jako je například rozptýlené světlo na sítnici nebo průsvitnost duhovky, které by mohly mít vliv na kontrastní citlivost. Konkrétně tato studie byla použita jako předloha pro klasifikaci

barvy duhovky použitou v experimentální části. Spousta metod klasifikace barvy duhovky vytvořených v posledních letech je založena na zpracování digitálních fotografií duhovky s vysokým rozlišením a porovnávání a vyhodnocování několika parametrů. V roce 2013 byl vytvořen přímo pro tyto účely speciální software pro klasifikaci barvy duhovky pracující na principu kvantifikace počtu modrých a hnědých pixelů v digitální fotografii duhovky a vypočítání skóre barvy duhovky zvané Pixel Index Score (PID). [16, 22]

Většina klinicky používaných klasifikací, které jsou snadno použitelné v praxi, nebyla kontrolována pro standardizaci a reprodukovatelnost. Dále byla většina z těchto škál vytvořena na západoevropské populaci. To také omezuje jejich použití na populaci tmavší pleti nebo jiné rasy. Klasifikační škály s velkým množstvím skupin jsou také hodně subjektivní. Ty, které mají pouze dvě až tři skupiny jsou zase hodně obecné. Použití počítačových metod je tedy mnohem objektivnější a vhodnější převážně například u asijské populace, kde je velké množství odstínů hnědé barvy očí a počítačový software snadněji rozliší i mezi drobnými odlišnostmi. V takovém vzorku obyvatelstva by tedy bylo využití klinické škály velice omezené. Tyto moderní metody jsou bohužel velmi nákladné a vyžadují speciálně vyškolený personál. Přesto, že jsou tedy při výzkumech velmi užitečné, pro klinickou praxi nebo rozsáhlé epidemiologické studie nejsou nejvhodnější volbou. Ačkoliv v posledních letech došlo ke zlepšení a technologickému posunu v klasifikaci barvy duhovky, v klinických studiích a praxi je stále nepoužívanější metodou rozdělení do tří základních skupin na světlou, mix a tmavou barvu. I přes to, že došlo v průběhu věků nejrůznějším pokusům vytvořit klasifikaci barvy duhovky, která by byla standardizovaná, do dnešní doby neexistuje ve světě jednotně používaná klasifikace barvy duhovky. [22]

3. Zornice

Zornice je kruhovitý otvor v duhovce. Její velikost se neustále mění v závislosti na množství světla v okolí, akomodaci a konvergenci. Změna její velikosti je zapříčiněna prací dvou svalů, které už byly zmíněny a popsány v kapitole 1.1. Jedná se o m. sphincter pupillae a m. dilatator pupillae. Oba tyto svaly jsou ovládány vegetativním nervstvem. Jejich funkce je tedy převážně nezávislá na naší vůli. Tento nervový systém je také úzce spojen s endokrinními žlázami a duševními pochody. Navzájem se tedy ovlivňují. Správná funkce zornice má významný vliv nejen při běžném denním fungování, ale také v případě diagnostiky některých neurologických a dalších chorob. [5, 6]

Zornice plní na oku několik základní funkcí. Hlavní funkcí je regulace množství světla vstupujícího do oka podobně jako je tomu u clony ve fotoaparátu. V místnosti s velkým množstvím světla bude zornice užší, v tmavé místnosti bude naopak zornice širší. Další významnou funkcí zornice je odstranění nežádoucích aberací optického systému oka. Čím je zornice menší, tím je do oka vpuštěno méně neparaxiálních paprsků a obraz vytvořený na sítnici je tak ostřejší. Zmenšením velikosti zornice totiž dojde k odstínění paprsků vstupujících do oka mimo paraxiální prostor. Paprsky vstupující do oka mimo paraxiální prostor mají mnohem větší sférickou i chromatickou aberaci a obraz jimi vytvořený je tedy mnohem méně kvalitní a ostrý. Další funkce zornice jsou již méně významné. Patří k nim například reakce zornic na psychosenzorické podněty, jako je například bolest, radost nebo strach. V tomto případě dochází k rozšíření zornic. [6, 8]

V případě, že sledujeme velikost, tvar a reakce zornic je potřeba znát několik základních pravidel. Normální šíře zornice za světla se pohybuje okolo 2-5 mm. Velikost zornic potom závisí na mnoha faktorech. Za běžných podmínek a u zdravého jedince by měla být velikost obou zornic přibližně stejná a případný rozdíl ve velikosti by neměl být znát pouhým okem. Za přijatelnou hodnotu rozdílu ve velikosti zornic se považuje 0,3 mm. V případě, že je velikost obou zornic stejná mluvíme o stavu zvaném isokorie. U mladších jedinců nebo například při myopii bývá zornice širší. S věkem dochází k postupnému zúžování zornice. K těmto změnám dochází atropizací m. dilatator pupillae a sklerotizací m. sphincter pupillae. V případě některých neurologických chorob, glaukomu nebo po úrazu můžeme sledovat rozdílnou velikost

zornic mezi očima. V takovém případě se jedná o anisokorii. Velmi často se jedná o příznak nějaké choroby, ale nemusí to ovšem být vždy pravidlo. Rozdíl ve velikosti zornic může být téměř nepatrný nebo naopak výrazný. Až u 20 % populace můžeme anisokorii najít. Pokud je rozdíl ve velikosti zornic větší než 0,3 mm považujeme jej za patologický. Nejčastější příčinou anisokorie bývá pupilotonie. Tato patologie se často vyskytuje jednostranně. Jedná se o zpomalení zúžování zornice, a především jejího rozšiřování. Můžeme ji najít ve spojení s poruchou akomodace, která také bývá pomalejší. Kromě velikosti je také potřeba všimnout si tvaru zornice. Normální zornice má okrouhlý tvar a je umístěna mírně nasálně a dolů. Vlivem různých chorob, úrazů nebo i vrozenými změnami může docházet ke vzniku nepravidelného tvaru i jiného umístění. Některé z těchto změn jsou zachyceny v kapitole 1.2 věnované patologii duhovky. K těmto změnám ve tvaru a velikosti dochází při nejrůznějších nervových onemocněních, protože nervová vlákna zásobující svaly duhovky probíhají napříč mozkem a mohou být tedy velmi snadno porušena. [6, 23]

3.1 Pupilomotorická dráha a zornicové reflexy

Jak již bylo uvedeno, velikost zornice ovlivňuje optickou kvalitu obrazu a množství světla dopadajícího do oka. Naopak intenzita dopadajícího světla na oko ovlivňuje velikost zornice prostřednictvím zornicových reflexů a pupilomotorické dráhy. Pupilomotorická dráha je oblouk nervových vláken začínajících na sítnici a končících ve svaích duhovky. Anatomicky by šlo pupilomotorickou dráhu rozdělit na tři hlavní složky: duhovkové svalstvo, autonomní nervový systém a smyslová stimulace na sítnici. Jakožto součást vegetativního nervového systému se centrální část dráhy nachází ve středním mozku a prodloužené míše a periferní část tohoto systému probíhá charakteristicky dále v gangliích. Mluvíme tedy také o pregangliové a postgangliové části dráhy. Pomocí parasymptické části, tvořené visceromotorickou zónou jader mozkového kmene, a symptické části, tvořené hřbetní míchou, dochází k zaregistrování světla dopadajícího na sítnici a zpětné regulaci jeho množství v oku pomocí duhovkového svalstva. Z hlediska funkce dělíme pupilomotorickou dráhu na dvě části: aferentní (dostředivou) dráhu reflexu, která detekuje světlo a nese vzruch dále a eferentní (odstředivou) dráhu reflexu, jejímž úkolem je reagovat na daný stimul. Dále můžeme eferentní část pupilomotorické dráhy rozdělit na parasymptickou (miotickou)

a sympatickou (mydriatickou) část. Centrem obou těchto reflexů je oblast ve středním mozku zvaná area praetectalis. V této části končí i třetí neuron zrakové dráhy. [2, 5, 8, 24]

Aferentní část pupilomotorické dráhy

Tato část dráhy začíná na fotoreceptorech sítnice a pokračuje spolu s očním nervem přes chiasma opticum, kde dochází k částečnému křížení nervových vláken pupilomotorické dráhy. Spolu s optickým traktem pokračuje pupilomotorická dráha až před corpus geniculatum laterale. Zde se odpojuje od zrakové dráhy a pokračuje do pretektálních jader středního mozku a dále do obou Edinger-Westphalových jader. Díky tomuto vzájemnému propojení je zajištěna stejná velikost zornic, i v takovém případě, že je jedno z očí slepé. Zároveň je zajištěna shodná reakce zornic v případě, že je osvětleno pouze jedno z očí. [8]

Eferentní pupilomotorická dráha - parasympatická část

Centrum miotického reflexu leží ve středním mozku v části area praetectalis. V této části se přívodný neuron (aferentní neuron) přepojuje na neuron odvodný (eferentní neuron). Tento odvodný neuron vycházející z pretektálních jader mesecephalu končí ve středním mozku v Edingerově-Westphalově jádře. Parasympatická dráha začíná odstředivými neurony tohoto jádra vystupujícími z mozkového kmene jako součást III. hlavového nervu (nervus oculomotorius) a vstupují do ciliárního ganglia v očníci. V ciliárním gangliu dochází k přepojení nervových vláken a z něj vychází poslední (postgangliový) neuron, který se vrací zpět do oční koule a končí v m. sphincter pupillae. V souvislosti s intenzivním osvětlením sítnice tak dochází k zúžení (mióze) zornice a omezení světla vstupujícího do oka. [2]

Eferentní pupilomotorická dráha - sympatická část

Stejně jako myotická dráha tak i mydriatická začíná v pretektálních jádrech středního mozku. Sympatická dráha je tvořena třemi neurony. Z area praetectalis vedou neurity dalšího neuronu směřující do retikulární formace a eferentní výběžky z ní vystupující jdou cestou tractus reticulospinalis do oblasti míšních segmentů C8 (osmý

krční segment) a Th1 (první hrudní segment). Z této oblasti zvané také Bugdeho centrum vychází předposlední neuron, který vede předními kořeny krčních nervů do truncus sympathicus a končí v ganglion cervicale superior. Poslední neuron jde potom přes plexus caroticus do očníce, kde končí v m. dilatator pupillae. V případě, že je potom osvětlení nedostatečné dojde k rozšíření (mydriáze) zornice a tím vpuštění většího množství světla do oka. [2, 5, 8]

U reakcí zornic rozlišujeme dvě skupiny, a to fyziologické reakce a patologické reakce zornic. Mezi fyziologickou skupinu reakcí řadíme:

1. Zúžení zornic

- a) Přímá reakce na světlo
- b) Nepřímá (konsenzuální) reakce na světlo
- c) Reakce zornic při pohledu do blízka (konvergence)
- d) Zvláštní případy – podráždění trojklanného nervu, v úvodu narkózy, při sevření víček

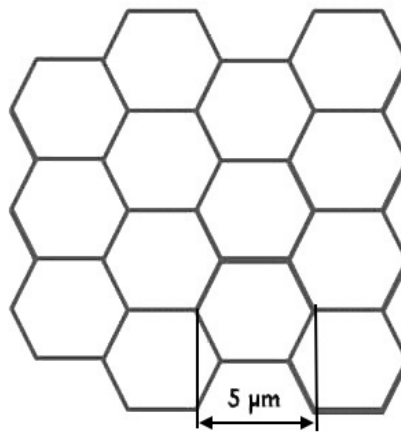
2. Rozšíření zornic

K této reakci dochází na senzibilní, sensorické a psychické podněty jako je například bolest nebo strach. Dále při abdukci oka, při předávkování narkózy nebo při úmrtí.

Za patologickou reakcí zornic považujeme vše, co se odchyluje od fyziologických reakcí. Patologické stavy zornice mohou být získané nebo vrozené. Na velikost a tvar zornice mohou mít vliv nejen různá onemocnění oka, zrakové dráhy i celková onemocnění, ale například také některé z návykových látek. Alkohol má například za následek rozšíření zornice. K patologickým změnám inervace zornice může docházet poškozením části eferentní pupilomotorické dráhy. Podle zasažené části pak dochází ke vzniku zúžení nebo rozšíření zornice. Zúžení a rozšíření pupily může být dvojí, rozlišujeme paralytické a spastické. [6]

4. Zraková ostrost

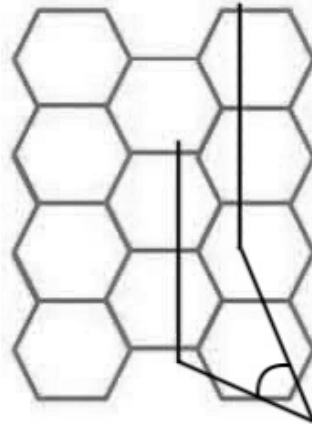
Zraková ostrost popisuje kvalitu vidění člověka. Obvykle se jedná o tzv. rozlišovací zrakovou ostrost, popisující schopnost oka rozlišit dva body, které mají mezi sebou co možná nejmenší vzdálenost, jinak také schopnost rozlišit detail pozorovaného předmětu. K tomu, aby byla zraková ostrost dostatečná a pokud možno stoprocentní je zapotřebí nejen průhlednost očních médií, ale také správné fungování sítnice, zrakové dráhy a v neposlední řadě mozkových center v týlním laloku. Rozlišovací zraková ostrost bývá číselně charakterizována minimální úhlovou vzdáleností dvou bodů, při které jsou ještě jako dva body rozlišeny. Toto minimální úhlové rozlišení (angl. minimal angle of resolution, *MAR*) je též označováno jako minimum separabile. Vzhledem k nelinearitě zrakového vnímání se často používá (zejména v odborných studiích) logaritmus *MAR*, $\log MAR$. Z fyziologického hlediska je *MAR* dáno strukturou sítnice, přičemž dva body jsou od sebe rozlišeny v takovém případě, že mezi jejich obrazy na sítnici leží alespoň jeden nepodrážděný čípek (obr. 7).



Obr. 7 – Minimum separabile

Z obvyklé velikosti čípku $5 \mu\text{m}$ vyplývá přibližná hodnota $MAR \approx 1'$. Tato hodnota je uvažována jako referenční hodnota. V klinické praxi se rozlišení oka obvykle popisuje relativní veličinou vízus V definovanou jako podíl referenční hodnoty $1'$ a skutečného *MAR* oka. Dalším limitem je difrakce světla na zornici, přičemž pro obvyklou velikost zornice je rozlišovací mez daná difrakcí menší než fyziologická, asi $35''$. V některých případech bývá důležitá tzv. noniová rozlišovací mez. V tomto případě však mluvíme o minimální úhlové vzdálenosti dvou úseček nad sebou, při které jsme je ještě schopni

rozlišit jako dvě různé úsečky (obr. 8). Tato rozlišovací mez oka je až 20x lepší než minimum separabile. [25, 26, 27, 28]



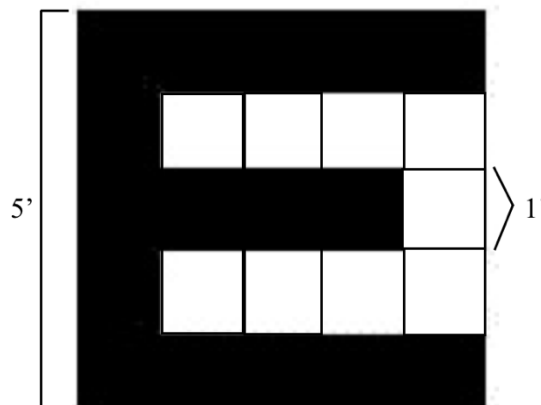
Obr. 8 – Noniová rozlišovací mez

Zraková ostrost není v celé oblasti sítnice shodná a klesá směrem od centra do její periferie. V periferní části sítnice je zraková ostrost až 20x nižší než v centru a tento pokles je způsoben úbytkem čípků, které reagují na světlo za denních podmínek. Na zrakovou ostrost mají vliv také fyziologické a patologické změny v oku spolu se zvyšujícím se věkem. U starších lidí dochází ke zhoršení kvality vidění vlivem čočkových změn v oku a také změnami na sítnici. U mladých lidí je obecně zraková ostrost nejlepší, nicméně se s dokonalým zrakem nerodíme. K hlavnímu vývoji zrakové ostrosti a celkově funkci vidění dochází do 1 roku věku, i když elektrofyziologická data udávají, že je u dítěte dosaženo úrovně dospělého člověka již 6 měsíců po narození. Dalším významným vlivem na funkci vidění je zevní prostředí a především osvětlení. Přírodním zdrojem osvětlení je pro naše oko slunce, to zajišťuje právě denní osvětlení. V případě nesprávného osvětlení dochází ke zhoršování nejen zrakové ostrosti, ale i hloubky ostrosti a dochází ke vzniku astenopických potíží. [6, 24, 25, 27, 28]

4.1 Vyšetření zrakové ostrosti

Vyšetření zrakové ostrosti je jedním ze základních a nejdůležitějších vyšetření jak v optometrii, tak také v oftalmologické praxi. Principem vyšetření je zjistit schopnost pacienta rozeznat nejen předmět nacházející se v dálce, ale také přímo před ním. Vyšetření tedy probíhá nejen na dálku, ale také na blízko. Při vyšetření jsou

používány tzv. optotypy. Obvykle se jedná se o tabuli se znaky (většinou písmena, číslice, obrázky, popř. další specializované znaky) o vysokém kontrastu vůči pozadí, které jsou utvořeny na základě standardizovaných pravidel. Znaky jsou uspořádány do řádků. Na každém řádku jsou znaky stejné velikosti, přičemž velikost jednotlivých řádků se postupně snižuje. Znaky na řádku jsou považovány za rozlišené (a řádek za přečtený), pokud je správně identifikováno alespoň 60 % znaků. Podle velikosti znaků na posledním přečteném řádku se stanoví *MAR* jako velikost detailu znaků. Podle standardní konstrukce dle Snella je každý znak vytvořen v rastru o velikosti 5x5, popř. 5x4. To znamená, že detail znaku (tloušťka čáry použitého písmene) je 1/5 jeho výšky, viz obr. 9. Vzdálenost, ze které jsou znaky pozorovány, je nejčastěji 6 metrů, aby bylo dosaženo podmínek při pohledu do nekonečna a došlo k uvolnění akomodace. Za přijatelnou vyšetřovací vzdálenost lze považovat také 5 metrů. Do blízka se obvykle vyšetřuje na 33 cm nebo 40 cm. [25, 26, 28]



Obr. 9 – Příklad znaku na optotypu, který odpovídá zrakové ostrosti $MAR = 1'$

Velikost řádků na optotypu je možné měnit několika způsoby. První a zřejmě nejstarší možností je tzv. Snellova řada, kdy byla velikost řádků určena na základě zkušenosti. V tomto případě je každému řádku přiřazeno tzv. číslo řádku, které udává, z jaké vzdálenosti by jej právě rozlišilo oko o vízu 1. Vízus pak lze určit jako podíl vyšetřovací vzdálenosti a čísla řádku, přičemž výsledek se obvykle ponechává ve formě zlomku, ze kterého je patrná vyšetřovací vzdálenost. Snellova řada tedy udává posloupnost čísel řádků. Pro vyšetřovací vzdálenost 6 m to je 60, 36, 24, 18, 12, 9, 6, 5 a 4. Lze najít i její různé modifikace. Převod mezi jednotlivými možnostmi zápisu zrakové ostrosti (V ve formě Snellovy řady, V jako desetinné číslo, MAR , $\log MAR$)

poskytuje tab. 2. Další možností je změna o konstantní hodnotu V s krokem obvykle 0,1. Toto rozložení však neodpovídá dobře charakteru zrakového vnímání – je příliš husté v oblasti vysokých vÍzu a příliš řídke v oblasti nízkých vÍzů. Jako optimální se jeví změna velikosti udaná konstantním krokem v $\log MAR$, obvykle 0,1 $\log MAR$. [25, 26, 28]

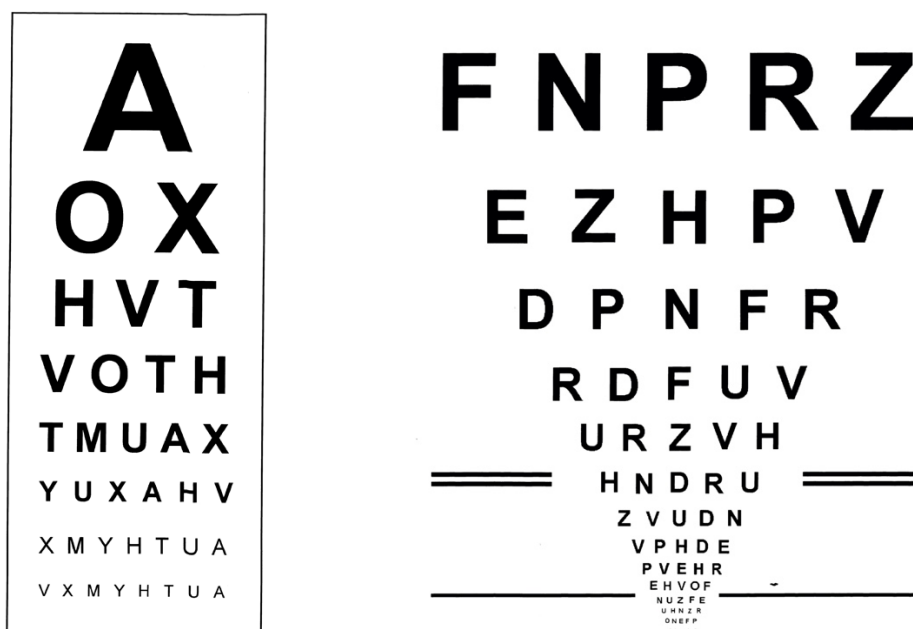
Snellova řad	Desetinné číslo	MAR	logMAR
6/60	0,10	10	1,000
6/36	0,17	5,882	0,769
6/24	0,25	4	0,602
6/18	0,33	3,03	0,481
6/12	0,50	2	0,301
6/9	0,67	1,492	0,173
6/6	1,00	1	0,000
6/5	1,20	0,833	-0,079
6/4	1,50	0,667	-0,176

Tab. 2 – Vztahy mezi jednotlivými zápisy vÍzu [upraveno] [26]

Důležitou roli hraje též vzájemná vzdálenost znaků. Příliš malá vzdálenost mezi znaky způsobuje vznik tzv. crowding fenoménu a ztěžuje těmto pacientům schopnost rozeznat znaky. Jako optimální vzdálenosti mezi znaky se jeví vzdálenost odpovídající šířce znaku, vzdálenost mezi řádky by měla být rovna alespoň výšce menšího z řádků. Pro stejnou přesnost stanovení zrakové ostrosti při různých hodnotách vÍzu je potřeba zachovat stejný počet znaků na řádek. [26, 27, 28]

Z tohoto důvodu byly v roce 1982 navrženy standardy pro optotypy. Tento optotyp je tvořen čtrnácti řádky s pěti znaky na řádku, přičemž je dodržena výše uvedená vzdálenost mezi znaky a řádky. Každý řádek se od toho předchozího liší o 0,1 $\log MAR$. Tato konstrukce optotypu umožňuje dobrou čitelnost znaků i pro osoby s nižším vÍzem. Bylo také zjištěno, že výsledky měření vÍzu byly na tomto typu optotypu přesnější a lépe opakovatelné. Díky $\log MAR$ jednotkám můžeme tedy vyšetřit zrakovou ostrost podrobněji. Každému přečtenému znaku optotypu lze přiřadit změnu zrakové ostrosti o velikosti 1/5 kroku mezi řádky, tj. $0,1/5 \log MAR = 0,02 \log MAR$. V případě, že tedy pacient přečte pouze část řádku, například pouze 4 znaky z 5 na řádku 0,1, bude výsledná zraková ostrost pacienta 0,12 $\log MAR$. Tyto optotypy se

vzhledem k použitým jednotkám označují jako logaritmické a mají charakteristický tvar. Klasický Snellův optotyp a logaritmický optotyp srovnává obr. 10. Většina logaritmických optotypů je konstruována a kalibrována na vyšetřovací vzdálenost 4 m. Pokud má pacient horší zrakovou ostrost a je zapotřebí zmenšit vyšetřovací vzdálenost, mění se výsledná zraková ostrost měřená z poloviční vzdálenosti o 0,3 logMAR. Pokud tedy vyšetřovaný přečte horní řádek z předdefinované vzdálenosti 4 metry, je zraková ostrost 1,0 logMAR. Přečte-li pacient tento řádek ze vzdálenosti 2 metry, bude výsledná zraková ostrost 1,3 logMAR. Obvykle se na tomto optotypu využívají písmena (v rastru 5x5 nebo 5x4), ale mohou být použity i číslice, obrázky nebo speciální znaky (Pflügerovy háky, Landoltovy prstence). [26, 27, 28, 29]



Obr. 10 – Snellův optotyp (vlevo) a optotyp logMAR (vpravo) [26]

Pravidla zmíněná v předchozím odstavci platí v praxi pro optotypy do dálky. K vyšetření zrakové ostrosti na blízkou vzdálenost se obvykle využívá souvislý text ve formě řádků s odlišnou velikostí textu odpovídající různé hodnotě zrakové ostrosti. Při měření na souvislém textu si může vyšetřovaný domýšlet některá písmena na základě významu slov či celého textu. Neměří se tedy schopnost rozpoznat jednotlivé znaky (minimum separabile), ale tzv. minimum legibile (schopnost číst, tedy rozlišit význam, obsah čteného textu). Vyšetřovací vzdálenost je nejčastěji určena na 40 cm. [25, 29]

5. Kontrastní citlivost

Vyšetření zrakové ostrosti probíhá na optotypech se znaky o vysokém kontrastu, tento stav ovšem ne zcela odpovídá běžným podmínkám (šero, mlha, kouř, ...), ve kterých se člověk pohybuje. V každodenním světě je často kontrast mezi jednotlivými pozorovanými objekty velmi malý a vyšetření prováděné na běžných optotypech je tedy velmi orientační a o skutečných zrakových schopnostech daného člověka nám toho příliš neřekne. Z toho důvodu byly vytvořeny testy na kontrastní citlivost, které nám doplní informace o zraku pacienta a pomohou nám laboratorně přiblížit každodenní podmínky. [26]

K definici kontrastní citlivosti je nejdříve potřeba zmínit definici kontrastu, kterou lze vyjádřit jako podíl rozdílu a součtu minimálního (L_{\min}) a maximálního jasu (L_{\max}) také známou pod pojmem tzv. Michelsonův kontrast:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}.$$

Někdy, zejména u testů s písmeny, se též používá tzv. Weberův kontrast,

$$C = \frac{(L_p - L_o)}{L_p},$$

kde L_o je jas písmene a L_p jas pozadí. Kontrastní citlivost (C_s) je schopnost vidět současně a rozlišit dva různě osvětlené předměty. Proto, aby člověk dokázal tento rozdíl kontrastů vnímat, musí být rozdíl světelnosti mezi dvěma pozorovanými předměty větší, než je prahová hodnota. Kontrastní práh (C_p) lze potom definovat jako nejmenší kontrast dvou jasů, při kterém jsme ještě schopni je rozlišit. Samotná kontrastní citlivost je převrácená hodnota kontrastního prahu,

$$C_s = \frac{1}{C_p}.$$

Obvykle se používá logaritmických jednotek $\log C_s$. Kontrastní práh se může během života vlivem různých nemocí a změn v oku měnit. Liší se také pro různé prostorové frekvence. Je také závislý na adaptaci, osvětlení a stáří sítnice. [25, 26, 29, 30, 31]

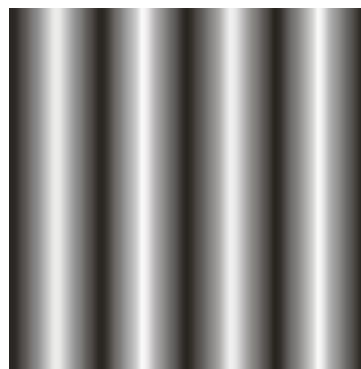
Pokud se v zorném poli nachází plochy o výrazně odlišném jasu, tedy pokud jsou v zorném poli výrazně kontrastní oblasti, může docházet k nepříjemnému stavu zraku zvanému oslnění. Oko je totiž schopno při dané adaptaci vnímat jasy v rozsahu $Lx10^{-2}$ až $Lx10^2$, kde L je adaptační jas. Pokud jas v zorném poli překročí tento interval směrem nahoru, dojde k výraznému omezení až znemožnění vidění. Spolu s tímto stavem dochází též ke zhoršení kontrastní citlivosti. Problémy s pocitem oslnění mívají nejen starší lidé, kde je známo, že může docházet k pocitu oslnění po operaci šedého zákalu, ale také se s ním setkáváme u mladých lidí. Kromě jistého vlivu aberací vyšších řádů na tento jev, jsou příčiny jeho vzniku v některých případech neznámé. [27, 32]

Centrální oblast sítnice vnímá vysoké prostorové frekvence, které odpovídají jemným detailům v obraze, a je velmi citlivá na kontrast. Směrem do periferie dochází ke snižování nejen vnímavosti buněk na kontrast, ale snižuje se i vnímaná prostorová frekvence. K hlavnímu vývoji dochází během prvního roku života dítěte. Dítě je nejdříve citlivé na nižší prostorové frekvence a postupně dochází k zvyšování kontrastní citlivosti. Věk, kdy je dosaženo úrovně kontrastní citlivosti dospělého člověka není zcela znám a odhady se pohybují v rozmezí od 3 do 10 let věku. Stejně jako zraková ostrost je vlivem různých onemocnění ovlivněno i vnímání kontrastu. Pokles citlivosti sítnice na vysoké frekvence je zaznamenán u nemocí centrální části sítnice. Zhoršené vnímání nižších frekvencí potom způsobují onemocnění periferie sítnice, katarakta, ale i špatně umístěná nitrooční čočka. Ke snížení vnímavosti na všechny prostorové frekvence dochází při různých zánětech optického nervu. K rozeznání velkých předmětů nám nízká frekvence stačí, potřebujeme-li však pozorovat menší předměty a jejich detaily, je nutné vnímat i vysoké frekvence. Na základě vyšetření kontrastní citlivosti nejsme schopni určit konkrétní onemocnění, může nám však ale pomoc jej odhalit dříve, než se klinicky projeví. [25, 28]

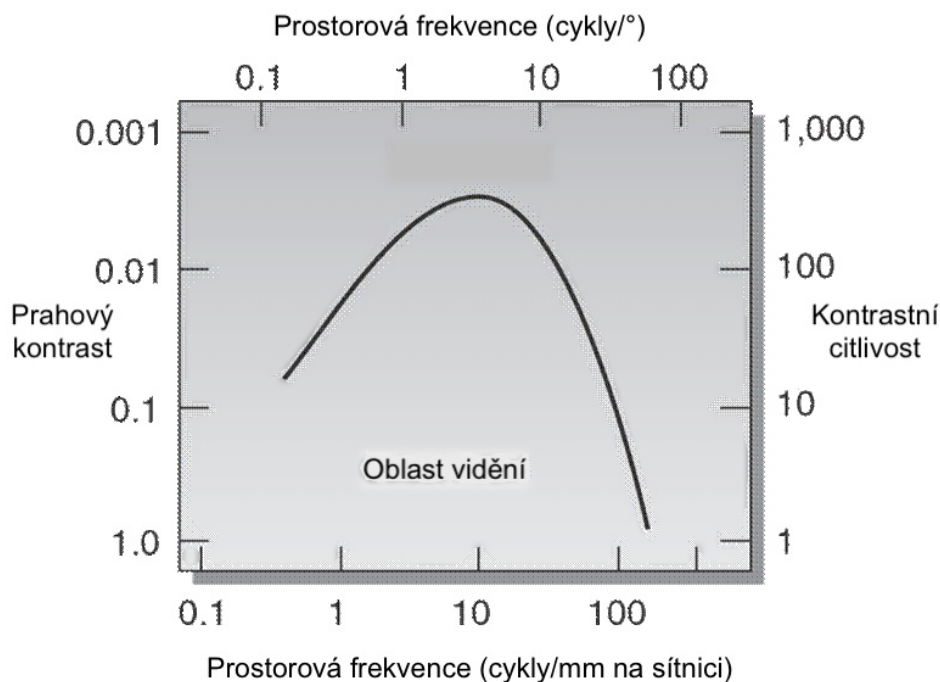
5.1 Vyšetření kontrastní citlivosti

Vyšetření kontrastní citlivosti by mělo probíhat v místnosti se sníženými světelnými podmínkami, mezopickými nebo skotopickými. K vyšetření se používají dva základní typy testů. Rozlišujeme tzv. sinusové testy, které hodnotí kontrast jako převrácenou hodnotu kontrastní citlivosti v závislosti na prostorové frekvenci, a testy, u kterých vyšetřovaný sleduje znaky s pevně danou prostorovou frekvencí. [25, 29, 33]

U sinusových testů se k měření využívá sinusová mřížka (viz obr. 11), u které se mění její kontrast a prostorová frekvence. Prostorová frekvence je obvykle udávána v cyklech (periodách mřížky) na stupeň. Jedná se o tabule, které obsahují pole s pruhy se snižující se prostorovou frekvencí a kontrastem od shora dolů. Jako výsledek tohoto měření dostaneme křivku kontrastní citlivosti. Do této skupiny testů patří například SWCT (sine wave contrast test) nebo CSV-1000 (contrast sensitivity vision), který byl použit i v experimentu a bude podrobněji popsán níže. Měření obvykle probíhá od nízkých až po vysoké prostorové frekvence. Za nízké frekvence považujeme hodnoty menší než 0,5 cyklů na stupeň, střední hodnoty jsou uvažovány v rozmezí 2 až 6 cyklů na stupeň a za vysoké frekvence bereme hodnoty větší než 10 cyklů na stupeň. Nízké prostorové frekvence jsou tvořeny širokými pruhy, vysoké prostorové frekvence jsou utvořeny pruhy úzkými. Čím vyšší má pacient kontrastní citlivost, tím nižší je kontrast mřížky nebo znaků, které je schopen zaregistrovat a rozpoznat. V případě, že vyšetřujeme kontrastní citlivost za normálních fotopických podmínek na zdravém oku, je průběh zaznamenávané křivky charakteristicky zvonový, viz obrázek 12. Maximálních hodnot bývá dosaženo při 5 a 6 cyklech na stupeň. Směrem k vyšším prostorovým frekvencím se křivka zestrmuje. Oblast pod křivkou je potom považována za oblast vidění. [25, 28, 29, 33]



Obr. 11 – Sinusová mřížka [upraveno] [26]



Obr. 12 – Zvonová křivka [upraveno] [33]

Druhým typem testů jsou tzv. písmenkové testy. Zde pacient pozoruje znaky o různém kontrastu ze vzdálenosti 1 m s přesně nastavenou prostorovou frekvencí nejčastěji o hodnotách 2 až 3 cykly na stupeň. Nejznámějším zástupcem toho typu testů je Pelli-Robsonův test, který bude také ještě popsán podrobněji. [29]

Nejmodernějším typem testů, které zatím nejsou příliš rozšířené jsou počítačem řízené přístroje, které na monitoru vytvářejí pruhy s předně stanoveným kontrastem. Tyto systémy obsahují sadu testů, které si volí vyšetřující na základě reakcí pacienta a možného typu očního onemocnění. Výsledky z jednotlivých typů testů se od sebe liší a nelze je spolu srovnávat. Rozdíl ve výsledcích je způsoben nejen rozložením a navržením testu, ale také tím, zda vyšetřovací test pracuje na základě Michelsonova nebo Weberova kontrastu. [25, 28, 33]

CSV-1000

Jak už bylo zmíněno výše, tento test vyšetřuje kontrastní citlivost za použití sinusové mřížky. Tabule jsou součástí světelného boxu, který zajišťuje rovnoměrné standardní osvětlení. Testování kontrastní citlivosti probíhá na 4 prostorových frekvencích (3, 6, 12 a 18 cyklů na stupeň) ze vzdálenosti 2,5 m. Každá prostorová

frekvence je prezentována na dvou řadách po osmi kruhových polích. V každé z dvojic polí nad sebou je obsažena v jednom poli sinusová mřížka, druhé z polí je prázdné vyplněno rovnoměrně šedou barvou o průměrném jasu. Kontrast sinusové mřížky klesá s každým polem směrem doprava o nepravidelný krok o velikosti přibližně 0,16 log. Nejpoužívanější sadou tohoto typu testu je potom CSV-1000E, který poskytuje hodnoty vyšetření v podstatné oblasti zvonové křivky od nízkých po vysoké frekvence. Obrázek tohoto testu je uveden v praktické části této práce pod číslem 19. Pacient je vyzván, aby určil, zda vidí sinusovou mřížku v horním nebo spodním poli. Za poslední viděný kontrast dané frekvence se považuje poslední správně určené pole se sinusovou mřížkou. V případě, že pacient již nerozezná mezi dvěma poli nad sebou rozdíl, je jako poslední určené pole bráno to předchozí správně identifikované. Vyšetření na tomto přístroji může probíhat jak binokulárně, tak monokulárně, je tedy možné porovnat jak výsledky vyšetření mezi oběma očima, tak i změny v čase. [28, 29, 31, 34]

Pelli-Robsonova tabule

Pelli-Robsonova tabule má rozměry 86 x 63 cm a je zavěšena na zdi. Vyšetřovací vzdálenost u tohoto typu testu je 1 m. Tabule je tvořena šestnácti trojicemi písmen o velikosti 4,9 cm, které jsou uspořádány na osmi řádcích po dvou trojicích. Jedná se o Sloanova velká bezpatková tiskací písmena. Každá trojice je tvořena písmeny o stejném kontrastu, ten se snižuje s každou další trojicí o 0,15 log. Pro názornost je Pelli-Robsonova tabule zobrazena na obrázku 13. Celý systém je osvětlen externě a skóre se lehce mění v závislosti na množství osvětlení. Vyšetření na tomto testu je velmi rychlé a snadné pro pochopení. Existují dvě tabule, každá pro jedno oko, aby byl při vyšetření vyloučen vliv paměti z vyšetření předchozího oka. Pacient postupně čte písmena od shora s trojicí s největším kontrastem až po ty nejméně kontrastní. Za přečtenou považujeme trojici, ze které pacient správně určil alespoň dvě písmena. Vyšetření může probíhat jak za fotopických, tak také mezopických podmínek. Průměrná hodnota pro obě oči při vyšetřování zdravého člověka je přibližně 1,8 logCS. [28, 29, 31, 35]

V	R	S	K	D	R
N	H	C	S	O	K
S	C	N	O	Z	V
C	N	H	Z	O	K
N	O	D	V	H	R
C	D	N	Z	S	V
K	C	H	O	D	K
V	R	S	R	D	K

Obr. 13 – Pelli-Robsonova tabule [36]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

Zornice má funkci clony ve zrakovém systému oka. Tato její funkce může být ovlivněna množstvím pigmentu v duhovce, a tedy barvou duhovky. Při nižší pigmentaci lze očekávat větší prostup nežádoucího světla do oka a tím zhoršení kvality některých parametrů zraku. Ověřením této hypotézy se zabývala experimentální část práce. Motivací k vytvoření experimentu byla zahraniční studie z roku 2013 [37], která zkoumala souvislost mezi barvou duhovky a zrakovými funkcemi, konkrétně rozptýl světla na očních médiích a jeho dopad na sítnici, kontrastní citlivost a zrakovou ostrost s nejlepší korekcí. V této studii bylo zahrnuto celkem 853 subjektů, které byly rozděleny do 4 skupin podle barvy duhovky. U všech účastníků byla vyloučena přítomnost katarakty. Barva duhovky byla sledována na šterbinové lampě a byly vytvořeny čtyři skupiny s barvou očí v kategorii světle modrá (lb), modrošedá (bg), zelenohnědá (gh) a Kavkazská hnědá (b). Dále byla tato skupina subjektů rozdělena do tří skupin podle věku. První skupinu tvořili probandi ve věkové kategorii 20-39 let, druhou 40-59 let a ve třetí skupině byli lidé ve věku 60-80 let. U všech věkových skupin byl zaznamenán signifikantní rozdíl při měření rozptýleného světla na sítnici mezi skupinami lb-bg, lb-gh a lb-b. Obecně lze tedy říci, že u světlých duhovek byla oproti tmavým zaznamenána vyšší hodnota rozptylu světla v oku. Při vyšetřování kontrastní citlivosti byl zjištěn signifikantní rozdíl pouze u vyšších věkových skupin nad 40 let a to při porovnání výsledků skupiny lb-b. U tmavších rohovek byla zaznamenána vyšší kontrastní citlivost. Při vyhodnocení výsledků zrakové ostrosti už žádný signifikantní rozdíl zjištěn nebyl.

Na základě uvedených výsledků studie [37] tedy vyplývá, že barva duhovky a kontrastní citlivost spolu souvisí. Cílem v rámci této práce provedeného experimentu bylo ověření této souvislosti, přičemž byl sledován též vliv oslnění. S ohledem na výsledky [37] bylo předpokládáno, že u světlejších duhovek bude nižší kontrastní citlivost, popř. že u nich budou pozorovány větší rozdíly při oslnění. Dále byl sledován vliv oslnění na vizení u jednotlivých typů duhovek a změna velikosti zornice v závislosti na oslnění.

6. Metodika výzkumu

6.1 Probandi

Výzkumné studie se zúčastnilo celkem 56 osob, z toho 10 mužů a 46 žen ve věku od 19 do 34 let s průměrným věkem 22 let a směrodatnou odchylkou 2,9938208. Výzkumu se mohly zúčastnit osoby starší 18 let, bez očních patologií a se vstupní zrakovou ostrostí minimálně 1,0 bez korekce nebo s korekcí. Dalším kritériem pro vstup do studie byla barva duhovky. Mohly se zúčastnit pouze osoby s hnědou barvou očí nebo modrou a modrošedou. Před samotným zahájením měření byl každý jedinec seznámen s průběhem měření a možnými riziky. Na základě těchto informací podepsal informovaný souhlas.

6.2 Průběh měření

Měření probíhalo v optometristické laboratoři na katedře optiky v budově Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Jako první byla u všech pacientů zjištěna zraková ostrost, popř. provedena dokorekce refrakce na normální hodnotu zrakové ostrosti. Dále byla určena barva duhovky na šterbinové lampě a změřena velikost zornice za tmy a při osvětlení na autorefraktokeratotonometru. Jako poslední byla provedena vyšetření kontrastní citlivosti a vízu, a to bez a s oslněním. Pořadí všech čtyř posledních měření bylo náhodné. Veškerá vyšetření byla prováděna pouze na pravé oko a probíhala v jedné místnosti. Vstupní měření zrakové ostrosti a dokorekce refrakce probíhala při plném osvětlení, aby bylo dosaženo normálních denních podmínek, případné nežádoucí odlesky byly eliminovány zatemněním oken. Klasifikace barvy duhovky a měření zornice bylo prováděno při tlumeném osvětlení. Vyšetření kontrastní citlivost spolu s kontrolním vyšetřením vízu byla prováděna ve zcela zatemněné místnosti, kdy zdrojem světla byl pouze použitý optotyp. Průměrná délka vyšetření jednoho figuranta byla přibližně 20 minut.

Kontrolní vyšetření zrakové ostrosti

Vyšetření zrakové ostrosti a zjištění vstupního vízu figurantů probíhalo na vzdálenost 6 m za použití LCD optotypu a zrcadla. Ilustrační snímek stanoviště je na obr. 14. Zraková ostrost byla ověřována pouze na pravém oku. Levé oko měl figurant zakryté clonou. V případě, že vízus s nošenou korekcí byl horší než 1,0, byla provedena dokorekce refrakce. Pokud ani pak nebyl vízus alespoň 1,0, nebyl proband zařazen do výzkumu.



Obr. 14 – Stanoviště použité ke kontrolnímu zjištění zrakové ostrosti

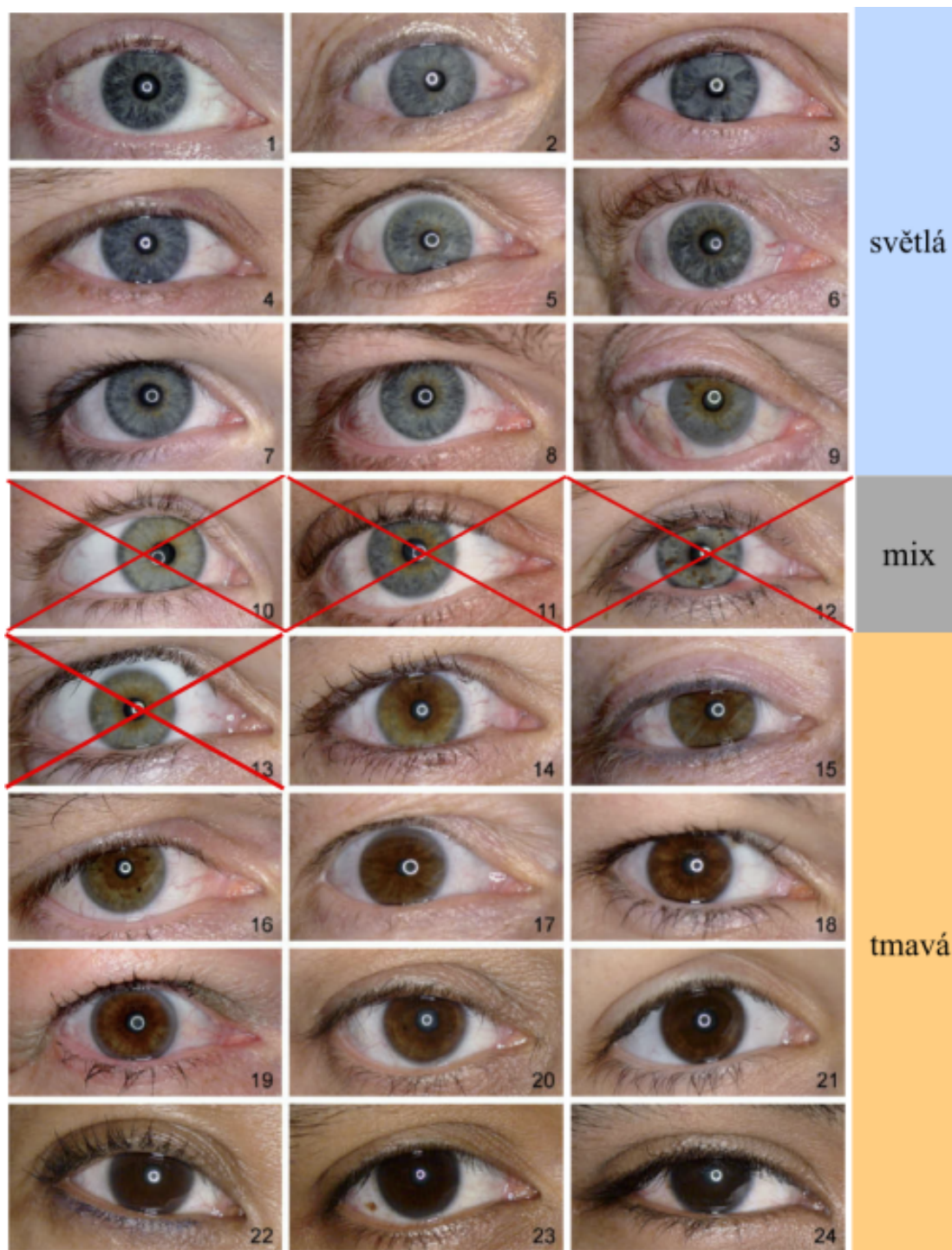
Subjektivní určení barvy duhovky na štěrbinové lampě

Vyhodnocení barvy duhovky každého probanda bylo určováno pomocí vyšetření na štěrbinové lampě (obr. 15). Nejprve bylo vždy pouze pravé oko prohlédnuto pomocí nejmenšího zvětšení a difuzního osvětlení pro možné přítomné nežádoucí patologie. Pokud na oku žádná patologie nebyla nalezena, došlo ke klasifikaci barvy duhovky. K vyhodnocení barvy duhovky byla použita klasifikace vytvořená studií Grading of Iris Color with an Extended Photographic Reference Set [16], která byla zmíněna

v kapitole 2.3. Klasifikace byla pro účely tohoto experimentu zjednodušena tak, že původní klasifikace rozdělená na 24 referenčních očí byla rozdělena na 3 kategorie, a to světlé, mix a tmavé oči (obr. 16). Oči v kategorii mix byly nakonec ze studie vyřazeny, níže v obrázku jsou přeškrtnuty červeně. Vyhodnocení barvy duhovky bylo provedeno také na šterbinové lampě, opět za použití difuzního osvětlení a nejmenšího zvětšení. Intenzita osvětlení byla nastavena tak, aby dotyčného probanda příliš neoslňovala a zároveň, aby bylo možno vyhodnotit barvu duhovky. U každého figuranta byla porovnána barva pravého oka s referenční klasifikací a zařazena do příslušné kategorie.



Obr. 15 – Šterbinová lampa



Obr. 16 – Klasifikace barvy duhovky podle studie z roku 2008 [upraveno pro účely experimentu] [16]. Přeskrtnuté barvy duhovek byly z experimentu vyřazeny.

Měření velikosti zornice

Vyšetření velikosti zornice bylo prováděno za pomoci autorefraktokeratotonometru TONOREF III značky Nidek (obr. 17). Ke změření průměru zornice pravého oka bylo

použito speciální funkce tohoto přístroje. Měření velikosti zornice probíhalo za dvojnásobných podmínek. Prvně byla zornice měřena s použitím vnitřního osvětlení a fixačním obrázkem (obr. 18 vlevo). Poté bylo použito druhé nastavení, kdy byl vnitřní stimul a osvětlení vypnuto – velikost zornice tak byla změřena ve tmě (obr. 18 vpravo). V obou případech měření byla velikost zornice odečítána ve vodorovném směru za pomoci ovládacích prvků přístroje, kterými se příslušné měřicí značky (viz obr. 18) umístily na protilehlé okraje zornice. Vzdálenost značek, udávající průměr zornice, byla odečtena na displeji. U všech měření byl přístroj orientován stejným směrem a na stejném místě vzhledem k okolnímu osvětlení a dalším vlivům.



Obr. 17 – Auto refrakto/kerato/tono/pachymetr TONOREF III Nidek

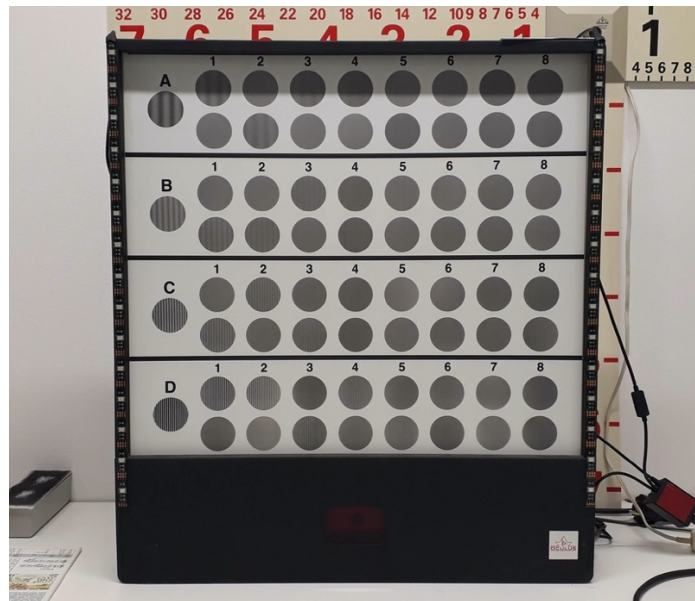


Obr. 18 – Nastavení přístroje pro měření s osvětlením (vlevo) a za tmy (vpravo).

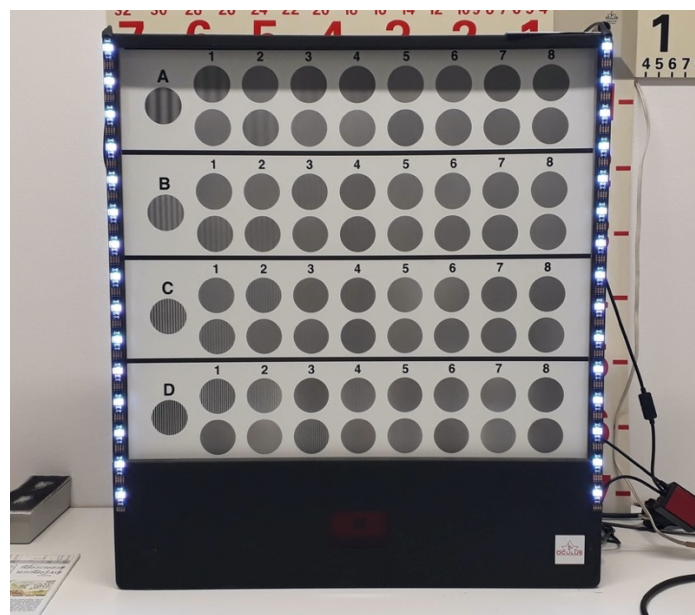
Svislé úsečky slouží k vymezení velikosti zornice.

Vyšetření a kontrastní citlivosti a kontrolní vyšetření vízu

Jako poslední v pořadí bylo provedeno vyšetření kontrastní citlivosti (CS) spolu s kontrolním vyšetřením vízu. Měření kontrastní citlivosti a zrakové ostrosti probíhalo ve zcela zatemněné místnosti na vzdálenost 2,5 m. Pro vyšetření ve tmě bylo nutné nechat figuranta vždy 5 minut adaptovat. K vyšetření CS byl použit přístroj CSV-1000 (obr. 19) s jasem pozadí 103 cd/m^2 . Vyšetřovaný měl určit, ve kterém ze dvou koleček ještě vidí mřížku. Kontrastní citlivost byla vyhodnocena na základě kontrastu posledního správně rozlišeného kolečka. Pro účely experimentu byly ke kontrastotestu po stranách přidány pásy s LED diodami pro vytvoření podmínek oslnění (obr. 20). Vyšetření kontrastu probíhalo postupně pro všechny čtyři prostorové frekvence bez a s oslněním. Ke kontrolnímu vyšetření vízu byl použit notebook s programem pro vyšetření zrakové ostrosti (obr. 21), vytvořeným pro účely experimentů na katedře optiky. Pozadí vyšetřovací obrazovky bylo nastaveno na neutrální šedou barvu s hodnotou jasu odpovídající hodnotě jasu pozadí kontrastotestu, tedy 103 cd/m^2 . Vízus byl měřen opět s i bez oslnění. Proband vždy četl prostřední řádek ze tří zobrazených, použita byla sada znaků „Sloan letters“. Aby mohl být řádek uznán, bylo zapotřebí, aby přečetl alespoň 60 %. Finální vízus byl určen pomocí interpolační metody s ohledem na všechny přečtené znaky (letter-by-letter scoring). Výsledky měření pro jednotlivé prostorové frekvence za jednotlivých podmínek byly zaznamenány spolu s vízem do vyšetřovacího protokolu a následně byly hodnoty kontrastní citlivosti převedeny na logaritmické jednotky.



Obr. 19 – CSV-1000



Obr. 20 – CSV-1000 s LED diodami pro podmínky oslnění



Obr. 21 – Notebook s nastavením pro vyšetření vízu

6.3 Statistická analýza

Výsledky všech měření byly zaznamenány do vyšetřovacího protokolu (obr. 22). Naměřená data byla reprezentována průměrnou hodnotou, standardní chybou, definovanou jako podíl směrodatné odchylky a odmocniny z počtu měření. Tato data, grafy a tabulky byly získány za pomoci programu MS Excel. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny vícefaktorovou metodou ANOVA pro opakovaná měření. Při analýze zornice byl uvažován faktor jasu a meziskupinový faktor barvy duhovky, u analýzy vízu byl hodnocen vliv faktoru oslnění a meziskupinového faktoru barvy duhovky, při hodnocení kontrastní citlivosti byl uvažován vliv oslnění, prostorové frekvence a meziskupinový faktor barva duhovky. Vliv změny velikosti zornice na změnu vízu a kontrastní citlivosti byl hodnocen korelačním koeficientem r . Analýza byla prováděna na hladině významnosti 5 %, přičemž je v textu též uváděna mezní hladina významnosti p , při které by byla testovaná statistická hypotéza právě zamítnuta.

Iniciály + poř.č.:	
Vstupní vízus:	
Barva duhovky:	
Velikost zornice:	
Tma	
Osvětlení	
Vyšetření za tmy:	
Vízus	
Kontrastní citlivost	A
	B
	C
	D
Vyšetření při oslnění:	
Vízus	
Kontrastní citlivost	A
	B
	C
	D

Obr. 22 – Záznamový arch k experimentální části

7. Výsledky

Průměrné hodnoty průměru zornice a jejich směrodatné odchylky a standardní chyby za jednotlivých světelných podmínek jsou uvedeny v tab. 3. Statistická analýza metodou ANOVA pro opakovaná měření potvrdila očekávaný efekt osvětlení na velikost zornice ($p < 0,0001$). Vliv barvy duhovky ($p = 0,51$) ani interakce barvy s osvětlením nebyla prokázána ($p = 0,71$).

	Světlo	Tma
Průměr [mm]	6,3	6,7
Směrodatná odchylka [mm]	0,8	0,7
Standardní chyba [mm]	0,1	0,1

Tab. 3 – Průměrné hodnoty velikosti zornice ve tmě a za světla spolu se směrodatnou odchylkou a standardní chybou

Průměrné hodnoty vízu bez a s oslněním včetně standardních chyb průměru uvádí tab. 4. Statistická analýza metodou ANOVA pro opakovaná měření neprokázala významný rozdíl ve vízech s a bez oslnění ($p = 0,46$), vliv barvy ($p = 0,54$), a ani interakci obou jevů ($p = 0,16$). Mezi změnami vízu při a bez oslnění a změnami zornice za různého jasu nebyla zjištěna významná korelace ($r = 0,12$).

	Světlo	Tma
Průměr [logMAR]	-0,161	-0,157
Směrodatná odchylka [logMAR]	0,058	0,073
Standardní chyba [logMAR]	0,010	0,008

Tab. 4 – Průměrné hodnoty vízu ve tmě a za světla a jejich směrodatné odchylky a standardní chyby

Výsledné průměrné hodnoty logaritmu kontrastní citlivosti a jejich směrodatná odchylka a standardní chyba bez a s oslněním pro jednotlivé barvy duhovky a prostorové frekvence uvádí tabulka 5 a 6. Průběh křivek kontrastní citlivosti v závislosti na prostorové frekvenci s a bez oslnění udává graf na obr. 23 pro světlé a na obr. 24 pro tmavé duhovky. Z grafů vyplývá, že průběh křivek pro tmavé duhovky je prakticky shodný za obou podmínek. Naopak u světlých duhovek je viditelný rozdíl v průměrné

kontrastní citlivosti zejména při 6 cyklech na stupeň. Mezi změnami kontrastní citlivosti při a bez oslnění a změnami zornice za různého jasu nebyla zjištěna významná korelace pro žádnou ze sledovaných prostorových frekvencí ($-0.038 < r < +0,14$).

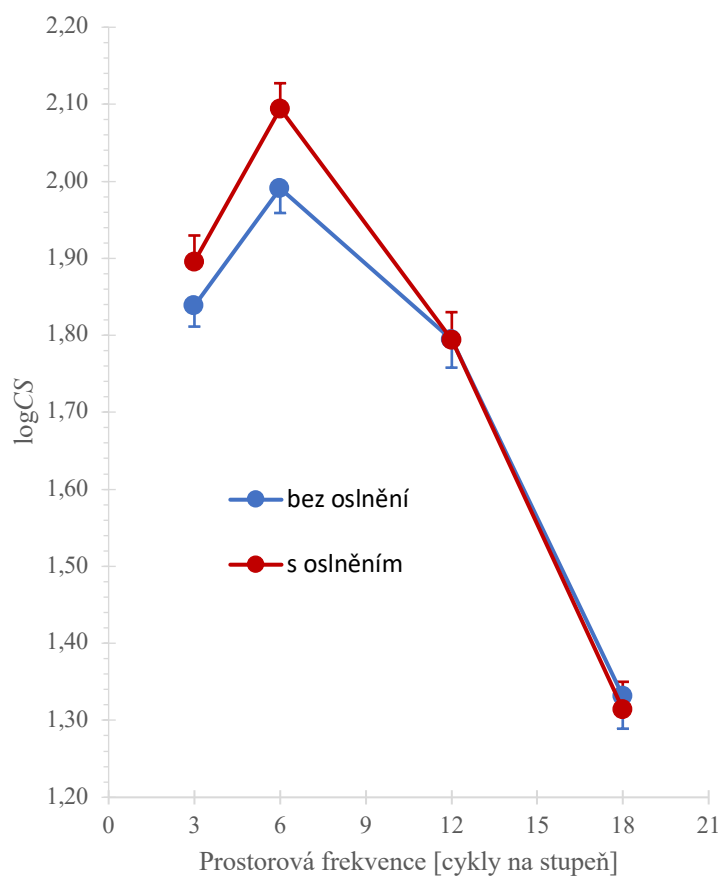
Statistická analýza prokázala v souladu s grafy na obr. x1 a x2 signifikantní vliv pouze u prostorové frekvence ($p < 0,0001$). Nejvyšší kontrastní citlivost při frekvenci 6 cyklů na stupeň, naopak nejnižší při frekvenci 18 cyklů na stupeň, a to bez ohledu na barvu či oslnění. Vliv barvy ($p = 0,75$), oslnění ($p = 0,20$), jejich interakce s prostorovou frekvencí ($p = 0,12$, $p = 0,25$) ani vzájemná interakce barvy a oslnění ($p = 0,21$) nebyly signifikantní. Interakce oslnění, barvy a prostorové frekvence sice na zvolené hladině významnosti nebyla signifikantní ($p = 0,095$), nicméně relativně nejnižší hodnota mezní hladiny významnosti p spolu s průběhem grafů naznačuje, že by tato interakce mohla mít na kontrastní citlivost vliv. Z grafů na obr. 23 a 24 vyplývá, že zatím co tmavé duhovky nevykazují rozdíl mezi kontrastní citlivostí bez a s oslněním, světlé duhovky prokazují bez oslnění nižší kontrastní citlivost při 6 cyklech na stupeň. Tento rozdíl však, jak již bylo uvedeno, nebyl statisticky významný a pro jeho potvrzení by bylo třeba rozsáhlejší vzorek.

Barva duhovky	Světlá							
	Tma				Světlo			
Světelné podmínky								
Prostorová frekvence [cykly na stupeň]	3	6	12	18	3	6	12	18
Průměr	1,84	1,99	1,79	1,33	1,90	2,09	1,79	1,31
Směrodatná odchylka	0,25	0,24	0,26	0,26	0,20	0,23	0,27	0,31
Standardní chyba	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04

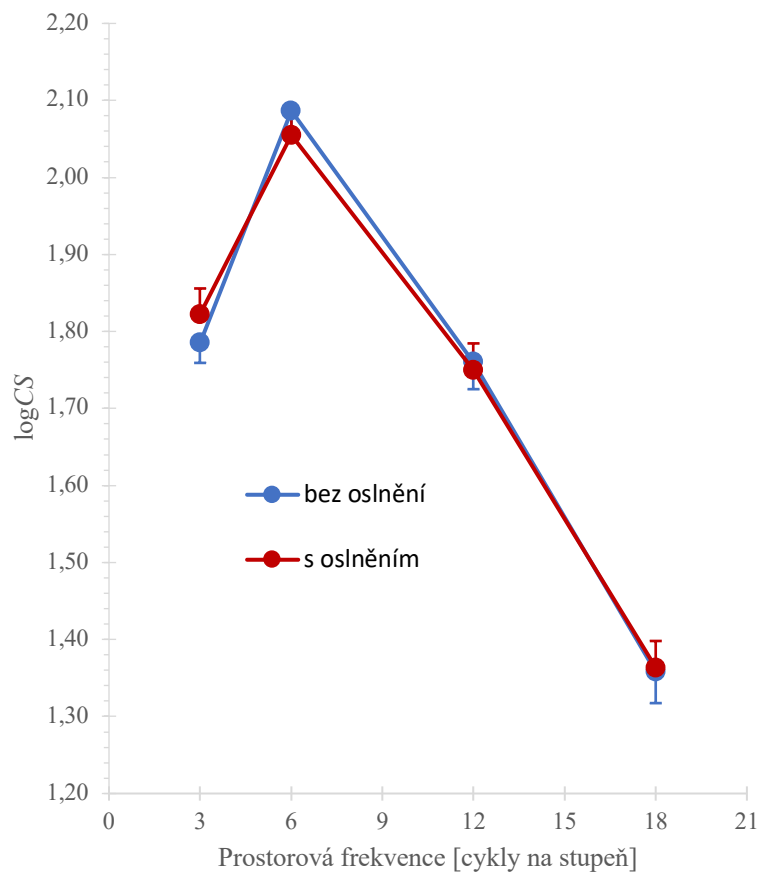
Tab. 5 – Průměrné hodnoty logaritmu kontrastní citlivosti a jejich směrodatná odchylka a standardní chyba pro světlé oči

Barva duhovky	Tmavá							
Světelné podmínky	Tma				Světlo			
Prostorová frekvence [cykly na stupeň]	3	6	12	18	3	6	12	18
Průměr	1,79	2,09	1,76	1,36	1,82	2,06	1,75	1,36
Směrodatná odchylka	0,24	0,23	0,25	0,25	0,19	0,23	0,26	0,30
Standardní chyba	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04

Tab. 6 – Průměrné hodnoty logaritmu kontrastní citlivosti a jejich směrodatná odchylka a standardní chyba pro tmavé oči



Obr. 23 – Závislost logaritmu kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci bez (modrá) a s (červená) oslněním pro světlé duhovky. Délka svislých úseček odpovídá standardní chybě průměrné hodnoty.



Obr. 24 – Závislost logaritmu kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci bez (modrá) a s (červená) oslněním pro tmavé duhovky. Délka svislých úseček odpovídá standardní chybě průměrné hodnoty.

8. Diskuze

Provedená měření neprokázala významný vliv barvy duhovky, oslnění ani jejich vzájemné interakce na kontrastní citlivost, a to při všech prostorových frekvencích. Ani na hodnotu vízu neměly uvedené parametry v našem experimentu prokazatelný vliv. Dále se neprokázal vliv barvy duhovky na velikost zornice. Jako statisticky významná byla zjištěna pouze změna velikosti zornice na základě změny světelných podmínek, vliv barvy duhovky na tento jev, ale opět nebyl prokázán. Vzhledem k závislosti velikosti zornice na osvětlení byla sledována možná souvislost mezi těmito změnami a změnami kontrastní citlivosti bez a s oslněním. Ani zde se ale souvislost neprokázala. Z grafů a statistické analýzy je nicméně patrný náznak, že by mohl vliv oslnění hrát roli pro světlé duhovky u kontrastní citlivosti při frekvenci 6 cyklů na stupeň. Graf při této hodnotě prostorové frekvence právě u světlých duhovek vykazuje mírné navýšení kontrastní citlivosti při oslnění.

Zjištěný výsledek společného vlivu barvy duhovky a oslnění na kontrastní citlivost je v rozporu se stanoveným předpokladem, že u světlých duhovek dojde k poklesu kontrastní citlivosti během oslnění. Úvodní předpoklad vychází ze studie [37], nicméně vliv barvy duhovky na kontrastní citlivost byl v citované práci zjištěn pouze pro vyšší věkovou skupinu. V našem výzkumu byli zahrnuti pouze mladší jedinci, pro které ani studie [37] nenalezla žádné rozdíly. Dalším faktorem, který mohl mít vliv na výsledek, je velikost oslnění, které bylo pro experiment zvoleno. Jelikož v motivační studii nebylo oslnění použito (byl měřen rozptyl světla přímo v oku) a nepodařilo se nalézt ani jinou studii, kde by byla účinná velikost oslnění jasně definována, je možné, že pokud by bylo zvoleno výraznější oslnění, bylo by dosaženo zřetelnějších rozdílů. Při úvahách, co mohlo ovlivnit výsledek, se jako druhý možný faktor, který byl pozorovatelný i v průběhu experimentu, nabízí ke zvážení rozdíl teploty barvy světla pozadí kontrastotestu a zvoleného oslnění. Pozadí kontrastotestu CSV-1000 je totiž teplé barvy, zatímco světlo zvolené pro oslnění vyzařované LED diodami je studené barvy. Posledním možným faktorem, který mohl mít vliv na výsledek měření, je velikost testované skupiny. Výsledky tohoto experimentu by bylo vhodné doplnit studií provedenou při silnějším oslnění a případně sledovat efekt různé teploty barvy oslnění oproti teplotě barvy podsvícení kontrastotestu, popř. použít širší výzkumný vzorek populace zahrnující více věkových skupin.

Stávající publikace [38, 39], které se podařilo dohledat, uvádí, že barva duhovky na velikost zornice jako takovou vliv nemá, přičemž bylo zjištěno, že kromě barvy duhovky tento jev neovlivňuje ani pohlaví ani refrakční vada zkoumané osoby. Jediným známým faktorem, který má na velikost zornice vliv, je tedy věk. Naše výsledky jakýkoliv vliv barvy duhovky také nepotvrdily, jsou tedy shodné s výsledky předchozích studií [38, 39] a velikost testovaného vzorku osob výsledek tohoto konkrétního zkoumání nijak neovlivnila. Faktor věku nemohl být pro tuto testovanou skupinu použit, jelikož byla vybrána věkově poměrně úzká skupina mladých lidí.

Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo ověřit, zda má barva duhovky nějaký vliv na kontrastní citlivost, případně zrakovou ostrost člověka. Jelikož duhovka nepatří mezi podrobně zpracované kapitoly odborné literatury a je pro tuto práci důležitou součástí, je první kapitola věnována právě jí spolu s její anatomií, fyziologií a patologií. Tyto informace jsou v kapitole zpracovány v potřebném množství a rozsahu. Další kapitola je věnována samotné barvě duhovky, která je stěžejní pro experimentální část práce. Je v ní obsaženo, jak barva duhovky vzniká, její změny během života, ale také vliv dědičnosti na výslednou barvu očí. V samostatné podkapitole je rozebrána klasifikace duhovky, jak se během let měnila a vyvíjela a která metoda byla použita v experimentální části. V třetí kapitole najdeme popsanou zornici, která je nedílnou součástí duhovky a hraje významnou roli v kvalitě zobrazování pozorovaných předmětů na sítnici. Kromě zornice je zde zmíněna i pupilomotorická dráha. Poslední dvě kapitoly teoretické části práce jsou věnovány informacím o zrakové ostrosti a kontrastní citlivosti. Kapitoly obsahují kromě teorie také stručně zmíněno vyšetřování obou těchto zrakových funkcí spolu s nejznámějšími přístroji k tomu používanými a jejich pravidly konstrukce a použití.

Poslední část práce je věnována samotnému experimentu s názvem „*Vliv barvy duhovky na kontrastní citlivost*“, kde je podrobně popsána metodika spolu s průběh experimentu. Hlavním cílem bylo zjistit, zda se projeví vliv oslnění, při měření kontrastní citlivosti a zrakové ostrosti, a zda je tento efekt přítomen u jedné ze dvou skupin barvy duhovky větší nebo bez rozdílu. Výsledky neprokázaly statisticky významný vliv oslnění na vnímání kontrastu ani u jedné ze dvou skupin barvy duhovky. Spolu s tímto hlavním výsledkem nebyly zjištěny ani další signifikantní výsledky při pozorování vlivu oslnění na zrakovou ostrost a vlivu barvy duhovky na velikost zornice. Hlavní výsledek studie je však shodný s výsledky motivační studie. Ačkoliv statistická analýza neprokázala závislosti, z grafů je přesto patrné drobné zlepšení kontrastní citlivosti u skupiny s modrou barvou duhovky. Tento efekt byl pozorován i při samotném měření kontrastní citlivosti, kdy se reakce pacientů zlepšily. Možnou příčinou tohoto pozorovaného jevu by mohla být teplota barvy zvoleného oslňujícího světla, která byla na rozdíl od pozadí kontrasto-testu studená. Pro potvrzení výsledků studie by bylo potřeba experiment zopakovat nejlépe s větším vzorkem probandů. Bylo

by také vhodné studovat vliv intenzity použitého oslňujícího osvětlení – ve stávající studii byla jen jedna úroveň, popř. jeho barvy.

Seznam citované literatury

- [1] ŠTROFOVÁ, H. *Praktická oftalmologie*. Praha: nakladatelství Mladá fronta a.s., 2018, ISBN 978-80-204-4888-0.
- [2] SYNEK, S., SKORKOVSKÁ, Š. *Fyziologie oka a vidění*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [3] REMINGTON, L. E. *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System*. St. Louis: Elsevier, 2012, ISBN 978-1-4377-1926-0
- [4] ČÍHÁK, R. *Anatomie 3*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2004. ISBN 80-247-1132-X
- [5] KVAPILÍKOVÁ, K. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-313-9
- [6] AUTRATA, A., ČERNÁ, J. *Nauka o zraku*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně. 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [7] KVAPILÍKOVÁ, K. *Přehled chorob zrakového ústrojí*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně. 2003. ISBN 70-7013-380-5
- [8] LANG, G. K. *Ophthalmology: A Pocket Textbook Atlas*. Stuttgart : Appl Aprinta Druck, 2007. ISBN 3-13-126162-5.
- [9] Eye love cares. [Online] [Citace: 29.. říjen 2019.] Dostupné z: <https://eyelovecares.org/heterochromia/>
- [10] LEVIN, L. A., KAUDMAN, P. L. *Adler's physiology of the eye*. 11. vydání. New York : Saunders/Elsevier, 2011. ISBN 9780323057141.
- [11] Pixabay. [Online] <https://pixabay.com/cs/>.
- [12] Shutterstock. [Online] <https://www.shutterstock.com>.
- [13] IJSPEERT, J. K., DE WAARD, P. W. T., VAN DEN BERG, T. J. T. P., DE JONG, P. T. V. M. The intraocular straylight in 129 healthy volunteers; Dependence on angle, age and pigmentation. *Vision Research*. 1990, Sv. 30, 5. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0042698990900964>.
- [14] ELLIOTT, D. B., STEWART, M., WHITAKER, D. Factors Affecting Light Scatter in Contact Lens Wearers. *Optometry and Vision Science*. 1991, Sv. 68, 8. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-199108000-00009>.

- [15] VAN DEN BERG, T. J. T. P., IJSPEERT, J. K., DE WAARD, P. W. T. Dependence of intraocular straylight on pigmentation and light transmission through the ocular wall. *Vision Research*. 1991, Sv. 31, 7-8. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/004269899190057C>.
- [16] FRANSSEN, L., COPPERS, J. E., VAN DEN BERG, T. J. T. P. Grading of Iris Color with an Extended Photographic Reference Set. *Journal of Optometry*. 2008, Sv. 1, 1. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1888429608700608>.
- [17] JUNG, C. Die Irisfarbe – Entstehung, Veränderung und Auffälligkeiten. *DOZ-Verlag*. Heidelberg. 2013, stránky 60-63. ISSN 0344-7103.
- [18] STURM, R. A., LARSSON, M. Genetics of human iris colour and patterns. *Pigment Cell & Melanoma Research*. 2009, Sv. 22, 5. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1755-148X.2009.00606.x>
- [19] WHITE, D., RABAGO-SMITH, M. Genotype–phenotype associations and human eye color. *Journal of Human Genetics*. 2011, Sv. 56, 1. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/jhg2010126>.
- [20] DAVENPORT, G. C., DAVENPORT, C. B. Heredity of eye-color in man. *Science*. 26, 1907.
- [21] HURST, C. C. On the inheritance of eye-colour in man. *Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences*. 80, 1908, 537. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rspb.1908.0010>.
- [22] GRIGORE, M., AVRAM, M. Iris colour classification scales - then and know. *Romanian Journal of Ophthalmology*. 2015, Sv. 59, 1, stránky 29-33. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5729215/>
- [23] HYCL, J., VALEŠOVÁ, L. *Atlas oftalmologie*. Praha : TRITON s.r.o., 2003. ISBN 80-7254-382-2.
- [24] ZADNIK, K. *The Ocular Examination: Measurements and Findings*. Philadelphia : W.B. Saunders Company, 1997. ISBN 0-7216-5209-3.
- [25] ANTON, M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Brno : Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [26] HARVEY, W., FRANKLIN, A. *Routine Eye Examination*. London : Elsevier Limited, 2005. ISBN 0-7506-8852-1.

- [27] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to visual optics*. 4. vydání. London : Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 978-0-90009-928-1.
- [28] BORISH, I. M., BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction*. St. Louis: Mo.: Butterworth-Heinemann, 2006. Sv. 2. vydání. ISBN 0-7506-7524-1.
- [29] VESELÝ, P., BENEŠ, P. *Vyšetřovací metody v optometrii a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.
- [30] PLUHÁČEK, F. Zraková ostrost a její měření. *Přednášky z předmětu Fyziologická optika*. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2015.
- [31] VLKOVÁ, E., PITROVÁ, Š., VLK, F. *Lexikon očního lékařství*. 1. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [32] POLÁŠEK, J., BALÍK, J. *Technický sborník oční optiky*. 2. vydání. Praha : Oční optika, 1975.
- [33] BENEŠ, P. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. 1. vydání. Brno : Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [34] *Vector Vision*. Standardized Contrast Sensitivity Tests. [Online] [Citace: 29. 1. 2020.] <http://www.vectorvision.com/csv1000-contrast-sensitivity/>.
- [35] KOLÁŘ, P. *Věkem podmíněná makulární degenerace*. Brno : Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2605-2.
- [36] BiB Ophthalmic Instruments. [Online] [Citace: 29. 1. 2020.] <https://www.bibonline.co.uk/products/mitron-contrast-sensitivity-chart-improved-pelli-robson#prettyPhoto>.
- [37] NISCHLER, Ch., MICHAEL, R., WINTERSTELLER, Ch., MARVAN, P., VAN RIJN, L. J., COPPENS, J. E., VAN DEN BERG, T. J. T. P., EMESZ, M., GRABNER, G. Iris color and visuals functions. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2013, Sv. 251, stránky 195-202. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00417-012-2006-8>.
- [38] WINN, B., WHITAKER, D., ELLIOTT, D. B., PHILLIPS N. J. Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects. 3, Glasgow : Association for Research in Vision and Ophthalmology, Březen 1994, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Sv. 35, stránky 1132-1137. Dostupné z: <http://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2161149>.

- [39] BERGAMIN, O., SCHOETZAU, A., SUGIMOTO, K., ZULAUF, M. The influence of iris color on the pupillary light reflex. Basel: *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 1998, Sv. 236, stránky 567–570. doi:10.1007/s004170050122.