

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

Súvislosť refrakčnej vady, veľkosti zrenice a farby dúhovky

Diplomová práca

VYPRACOVALA:

Bc. Zuzana Novotná

Odbor: N5345 Optometrie

Akad. rok: 2018/2019

VEDÚCI PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček PhD.

Čestné prehlásenie:

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka PhD. a pomocou literatúry uvedenej v závere práce.

V Olomouci dňa 1.4.2019

.....
Bc. Zuzana Novotná

Pod'akovanie:

Ďakujem môjmu vedúcemu diplomovej práce RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi PhD. za pomoc, cenné rady, trpezlivosť a ochotu pri vypracovaní záverečnej práce.

Táto práca bola vytvorená za podpory projektov IGA PrF UP v Olomouci s názvom "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2018_007 a IGA_PrF_2019_005.

OBSAH

Úvod.....	6
1 Anatomia a fyziológia riasnatého telieska, dúhovky a zrenice	7
1.1 Riasnaté teliesko (corpus ciliare)	7
1.1.1 Ciliárny sval	8
1.2 Dúhovka (iris)	9
1.2.1 Svaly dúhovky	10
1.3 Zrenica (pupilla).....	11
1.3.1 Vplyv zrenice na optické zobrazenie v oku	11
1.3.2 Pupilomotorická dráha	15
1.3.3 Zrenicové reakcie.....	16
1.3.4 Patológie zrenice.....	16
1.3.5 Vegetatívny (autonómny) nervový systém	18
1.3.6 Vplyv veľkosti zrenice na stanovenie refrakcie.....	21
2 Akomodácia a refrakčné vady	22
2.1 Akomodácia	22
2.1.1 Proces akomodácie a amplitúda akomodácie	22
2.2 Refrakčné vady.....	24
2.2.1 Hypermetropia	25
2.2.2 Myopia.....	27
3 Farba dúhovky a jej klasifikácia.....	29
3.1 Farba dúhovky.....	29
3.2 Dedičnosť farby dúhovky.....	32
3.3 Klasifikácia farby dúhovky	33
3.3.1 Klasifikácia farby dúhovky od roku 1843 až po súčasnosť	33
4 Súvislosť veľkosti zrenice, farby dúhovky a refrakčnej vady.....	37
4.1 Vplyv refrakčnej vady na veľkosť zrenice.....	37

4.2	Vplyv farby dúhovky na refrakčnú vadu a očné ochorenie	39
5	Experimentálne overenie súvislosti refrakčnej vady, veľkosti zrenice a farby dúhovky	41
5.1	Štatistický súbor a metodika	41
5.2	Metodika	41
5.3	Výsledky	47
5.4	Diskusia.....	50
	Záver	52
	Použitá literatúra	53

Úvod

Oko patrí medzi najdôležitejšie zmyslové orgány v ľudskom tele. Zrakom získavame až 80 % informácií. Videnie sa počas života vyvíja a mení. Bežným javom je výskyt refrakčných väd myopie a hypermetropie v populácii u rôznych vekových kategórií. Refrakčná vada môže mať vplyv na akomodačno-vergenčný systém. Proces akomodácie a konvergencie súvisí so zmenami v zrenici, a preto môžeme predpokladať, že refrakčná vada a veľkosť zrenice vzájomne súvisia. Zrenica reguluje množstvo svetla dopadajúceho na sietnicu a nachádza sa v strede dúhovky. Za farebnosť dúhovky zodpovedá množstvo melanínového pigmentu, ktorého produkciu ovplyvňuje sympatický nervový systém a medzi jeho funkcie patrí taktiež rozširovanie zrenice. V dôsledku rozptylu svetla na kolagénových vláknach vzniká modrá farba a pohltením svetla vzniká hnedá farba.

Všeobecne je známe, že myopovia majú širšiu zreničku ako hypermetropovia, čo sa v niektorých zahraničných štúdiách potvrdilo, ale v niektorých sa vplyv refrakčnej vady na veľkosť zrenice nepotvrdil. Ďalšou otázkou je či a prípadne aký vplyv má farba dúhovky na refrakčnú vadu. Tejto problematike sa doposiaľ venovalo minimum štúdií.

Cieľom tejto práce je popísať v rámci rešerše vzájomné vzťahy medzi vyššie uvedenými parametrami a následne v rámci praktickej časti overiť existenciu predpokladaných súvislostí na vzorke populácie. Pre pochopenie sledovaných súvislostí bude v rámci teoretickej časti urobený úvod do anatómie a fyziológie riasnatého telieska, zrenice a dúhovky, vrátane inervácie. Ďalej bude zaradený prehľad refrakčných väd, kde bude ich stručný popis a vplyv akomodácie na veľkosť zrenice. Neoddeliteľnou súčasťou práce bude samostatná kapitola venovaná farbe dúhovky a jej klasifikácii. Samostatná kapitola bude obsahovať stručné zhrnutie štúdií, ktoré sa zaoberali podobnou problematikou.

Experimentálna časť bude zameraná na praktické overenie súvislosti refrakčnej vady a najmä veľkosti zrenice a farby dúhovky. Figurant absolvuje meranie dioptrického stavu oka pomocou autorefrakto-kerato-tonometra, premeranie subjektívnej refrakcie a následné vyhodnotenie farby dúhovky pomocou štrbinovej lampy a špeciálnej tabuľky.

1 Anatómia a fyziológia riasnatého telieska, dúhovky a zrenice

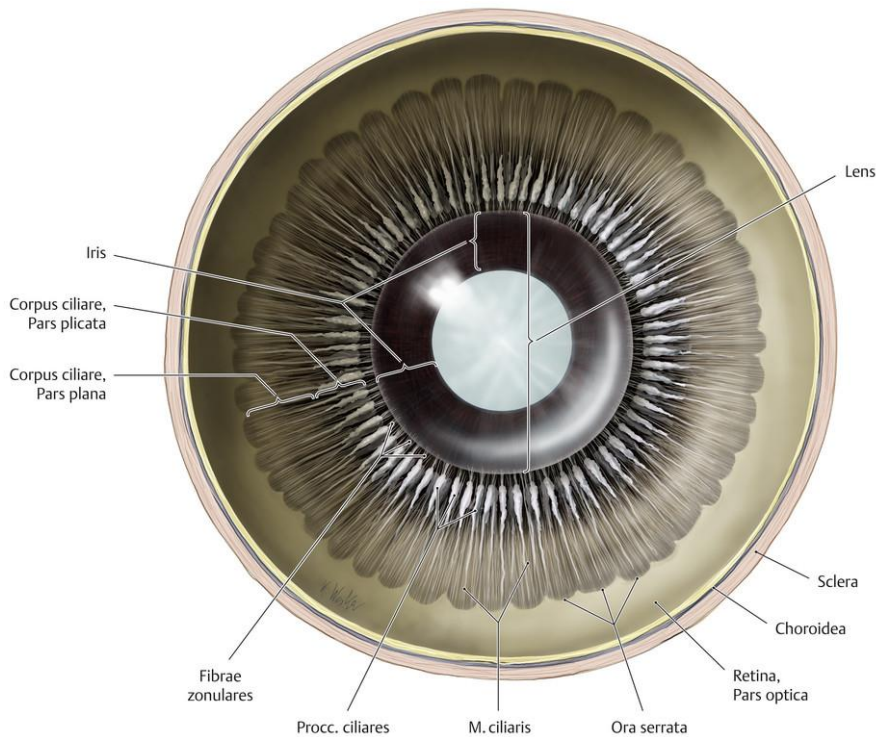
Refrakčné vady sú ovplyvnené akomodáciou, ktorá zároveň ovplyvňuje veľkosť zrenice. Aktívnym orgánom akomodácie je riasnaté teliesko (*corpus ciliare*), ktoré spolu s dúhovkou (*iris*) a cievnatkou (*chorioidea*) tvoria strednú vrstvu oka nazývanú živnatka (*uvea*). Jedná sa o vrstvu tvorenú riedkym kolagénnym väzivom, ktoré obsahuje cievy vyživujúce optickú časť sietnice a melanocyty. Cievnatka je časť živnatky od výstupu zrakového nervu k oblasti ora serrata. Prednú časť živnatky tvorí riasnaté teliesko (*corpus ciliare*) a dúhovka (*iris*). [1]

Nasledujúci text sa zameria na anatomický popis a inerváciu riasnatého telieska, dúhovky a zrenice. Pozornosť bude taktiež venovaná aj zrenicovým reakciám a ich patológii. Kapitola bude doplnená o popis vegetatívneho nervového systému.

1.1 Riasnaté teliesko (*corpus ciliare*)

Riasnaté teliesko patrí do strednej cievnatej vrstvy (*tunica vasculosa bulbi*). Na priečnom reze má trojuholníkovitý tvar. Pri pohľade spredu a zozadu má tvar medzikružia. Na vnútornom obvode riasnatého telieska vystupujú dlhšie výbežky, ktoré majú hrboľatý povrch. Od ich bokov a rýh odstupujú vlákna šošovky (*fibrae zonulares*). Súbor výbežkov a rias svojim tvarom pripomínajú kresbu slnka s lúčami. Hladký povrch telieska sa nazýva *orbiculus ciliaris* a medzikružie pokryté výbežkami *corona ciliaris*, ktoré zozadu pokrýva sietnica (*retina*), ktorá patrí do vnútornej vrstvy očnej gule (*tunica interna bulbi*). [2]

Sietnica sa na riasnatom teliesku delí na *pars ciliaris retinae*, *pars iridica retinae*, ktorá nemá svetlocitlivé elementy a *pars caeca retinae* tvoriaca vrstvu pigmentového epitelu tmavohnedého sfarbenia. Funkciou *pars ciliaris retinae* je produkcia komorového moku. Vzniká sekréciou epitelových buniek a ultrafiltráciou z cievnych pletencov pod sietnicovým epitelom. Úlohou komorového moku je udržiavanie vnútroočného tlaku a patrí do optického systému oka. Hranica medzi *pars optica retinae* a *pars caeca retinae* sa nazýva ora serrata. [2, 3]



Obr. 1 Časti žltnatky (uvea), šošovka (lens) a bel'mo (sclera) [4]

1.1.1 Ciliárny sval

Svalové vlákna sú rozdelené do trojrozmernej mriežky v ktorej sa pretínajú vlákna Brückeovho svalu a Müllerovho svalu. K zvýšenému výkonu Müllerovho svalu a k akomodácii dochádza pri cirkulárnom stiahnutí radiálne a meridionálne prebiehajúcich vlákien. Naopak povolením svaloviny nadobúdajú prevahu longitudinálne vlákna Brückeovho svalu a dochádza k desakomodácii. [5] Ďalekozrakí ľudia majú nadmerne vyvinutú cirkulárnu svalovinu. Jav súvisí s dĺžkou oka a zvýšeným nárokom na sval pri akomodácii vid'. kapitola 2 Akomodácia a refrakčné vady. Naopak je to u krátkozrakých očí. Vo vnútri corpus ciliare sú zväzky hladkej svaloviny (musculus ciliaris) tvorené 3 typmi vlákien:

- Fibrae meridionales – sťah týchto snopcov spôsobí posun corpus ciliare dopredu
- Fibrae circulares – uvoľňujú napätie predných zonulárnych vlákien závesu šošovky, čo spôsobí, že pružná šošovka sa uvoľní, vyklenie a zvýši optickú mohutnosť, čím sa oko zaostrí na blízko (akomodácia na blízko)
- Fibrae radiales – zahýbajú od vonkajších meridionálnych vlákien k vláknam cirkulárnym [2]

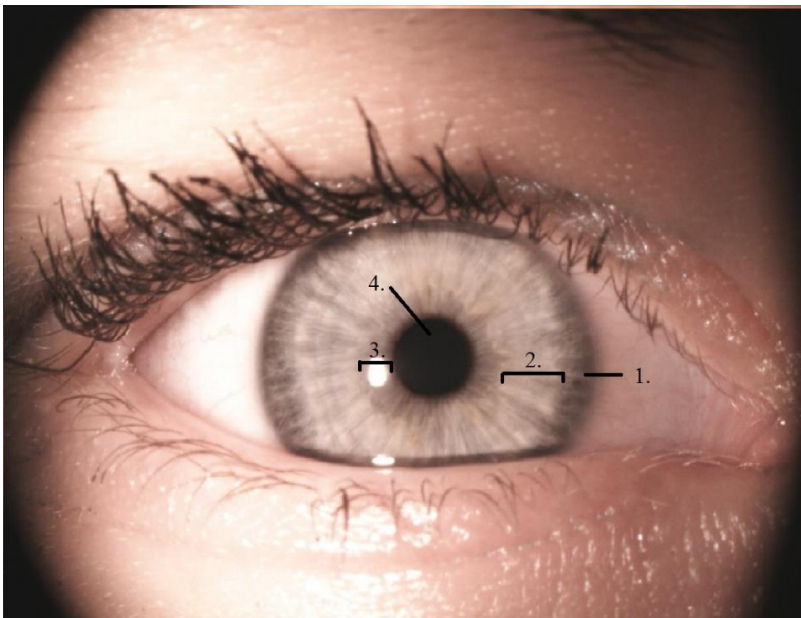
Ciliárny sval je inervovaný sympatickými a parasympatickými nervovými vláknami. Parasympatické vlákna vedené z nervu oculomotoria po prepojení na

postgangliový neurón v ganglion ciliare spôsobia kontrakciu ciliárneho svalu a akomodáciu na blízko. Sympatické vlákna naopak spôsobujú ochabnutie ciliárneho svalu a neschopnosť zaostriť na blízko vid' podkapitola 1.3.5. Vegetatívny (autonómny) nervový systém. [2]

1.2 Dúhovka (iris)

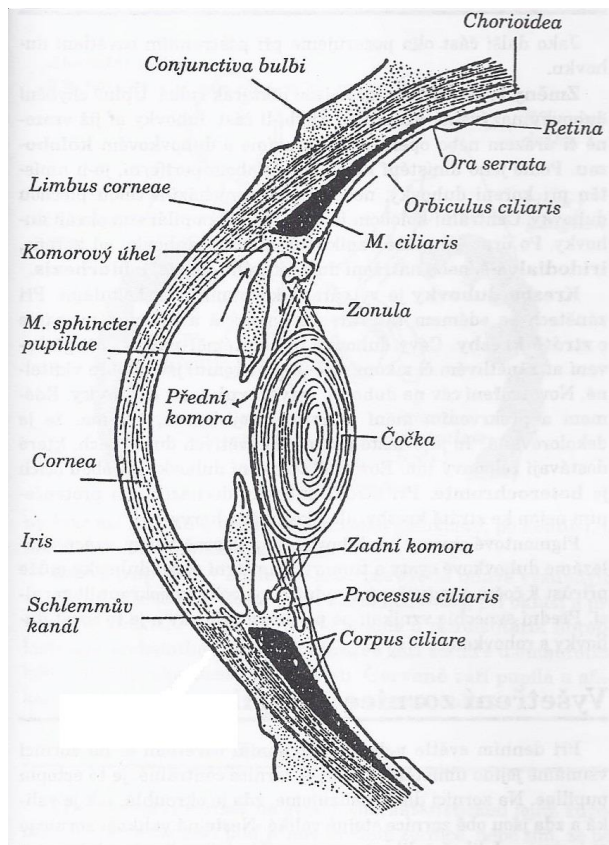
Tvorí prepážku medzi prednou a zadnou komorou. Tvarom pripomína medzikružie a v strede sa nachádza otvor zrenica (pupilla). Kresbu tvoria radiálne usporiadané trámce, ktoré sú v užšej pupilárnej časti dúhovky usporiadané jemnejšie a v ciliárnej oblasti hrubšie. Oddelenie medzi nimi sa nazýva krausa (vlnitá línia). Okraj zrenice sa nazýva margo pupilaris. Tmavé zafarbenie okraja je spôsobené pigmentovým sietnicovým epitelom zo zadnej plochy dúhovky. Margo ciliaris je vonkajší okraj dúhovky v ktorom dúhovka zrastá s corpus ciliare. [2, 3, 6]

Dúhovku tvorí predná plocha (facies anterior iridis), zadná plocha (facies posterior iridis). Predná plocha (facies anterior iridis) nie je pokrytá žiadnym epitelom, pri pohľade spredu má dúhovka typickú kresbu, čo je spôsobené cievami, vláknami strómatu a pigmentom presvitajúcim z epitelu. Zadná plocha (facies posterior iridis) je súvislá vrstva pigmentového epitelu sietnicového pôvodu. Ďalej sa predná časť delí na štyri časti (vid' obr. 2).



Obr. 2 Stavba prednej plochy dúhovky: 1. tmavý okraj (margo pupilaris), 2. širší pás (anulus iridis major), 3. užší pás (anulus iridis minor), má jemnejšiu štruktúru ako anulus iridis major a 4. zrenica (pupilla). [2]

Pigment v dúhovke určuje farbu dúhovky a chráni oko pred oslnením vid' kapitola 3 Farba dúhovky a jej klasifikácia. Dôležitým miestom na dúhovke je angulus iridocornealis a jeho reticulum trabeculare, ktoré slúžia na vstrebanie komorovej tekutiny a následné vstrebanie do cievneho systému. Poruchy vstrebania komorovej tekutiny vedú k vzniku vážneho očného ochorenia glaukómu, ktorý sa prejaví zvýšeným vnútroočným tlakom. Neliečením môže dôjsť k trvalému poškodeniu nervových vlákien a následnej strate zraku. [2, 3]



Obr. 3 Oblasť komorového uhlu [7]

1.2.1 Svaly dúhovky

Pod povrchovým väzivom dúhovky sa nachádza zvieráč a rozvierač dúhovky. Zvieráč dúhovky (musculus sphincter pupillae) pri dostatku svetla a pri akomodácii na blízko zužuje zrenicu. Rozvierač dúhovky (musculus dilatator pupillae) naopak pri nedostatku svetla a akomodácii na diaľku rozširuje zrenicu. Svalové vlákna sú usporiadané v prípade zvieráča dúhovky cirkulárne a radiálne u rozvierača dúhovky. Hladké svaly dúhovky sú inervované vegetatívnym nervovým systémom, sympatikom a parasympatikom (vid' podkapitola 1.3.5 Vegetatívny (autonómny) nervový systém). [2, 3, 8]

1.3 Zrenica (pupilla)

Tvorí centrálny, čierny, okrúhly otvor v dúhovke o priemere 2-8 mm. Prostredníctvom sympatika a parasympatika reguluje množstvo svetla, ktoré do oka vstupuje, ako je uvedené v podkapitole 1.3.2 Pupilomotorická dráha. Pupila je v mladšom veku trochu širšia, vplyvom starnutia sa mierne zužuje. Býva mierne posunutá nazálne a nadol. Pokiaľ je tvar nepravidelný, môže sa jednať o poúrazový stav, vrodenú vadu, alebo iné ochorenie, bližšie uvedené v kapitole 1.3.4 Patológie zrenice. Ak je zrenica rozšírená, hovoríme o mydriáze a naopak zúžená, jedná sa o miózu. Fyziologická mydriáza zrenice vzniká pri duševnom rozrušení (radosť, stres) a vzniká zvýšením tonusu sympatika a vyplavením adrenalínu. Aktuálna šírka zrenice závisí od svetelných podmienok, vegetatívneho tonusu, veku, farby dúhovky, refrakcie oka a pupilomotorickej adaptácie sietnice. [5, 6]

1.3.1 Vplyv zrenice na optické zobrazenie v oku

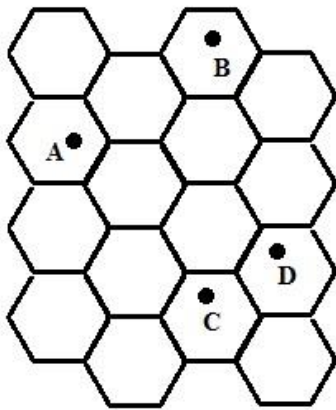
Zrenica plní v optickom systéme oka funkciu clony a reguluje množstvo svetla, ktoré do oka vstupuje. Veľkosť zreničky ovplyvňuje, či bod zobrazený na sietnici bude vnímaný ostro, alebo rozmazane. Rozlišovacia medza oka určuje vzdialenosť bodov na sietnici, kedy ešte budú okom rozlíšené. Významnou veličinou je aj hĺbka ostrosti, ktorá udáva rozsah vzdialeností, kde oko vníma predmet ostro bez toho, aby sa zmenila jeho optická mohutnosť.

Kapitola sa zameria na vysvetlenie jednotlivých pojmov a bude doplnená o schematické obrázky pre lepšie pochopenie danej problematiky.

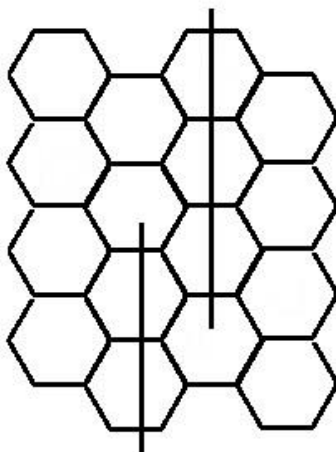
a) Rozlišovacia medza oka

Ako bolo už v úvode spomenuté, zrenica plní funkciu clony a dochádza tu k ohybu svetla. Veľkosť ohybového obrazca je priamo úmerná prevrátenej hodnote priemeru zrenice a platí, že čím je veľkosť zrenice menšia, tým je veľkosť ohybového obrazca väčšia. Podľa Rayleighovho kritéria dva monochromatické bodové zdroje budú od seba ešte optickou sústavou odlišené, keď centrálna maximum intenzity 1. ohybového obrazca padne do 1. minima 2. ohybového obrazca. Pre rozlišovaciu medzu α (alfa) platí vzťah $\sin \alpha = 1,22 \cdot \lambda / d$, kde λ je vlnová dĺžka a d je priemer clony. Obvyklé parametre pre oko sú $\lambda = 555 \text{ nm}$ a d je v tomto prípade priemer zrenice o hodnote 4 mm. Veľkosť α je potom $35''$ (uhlových minút).

Z fyziologického hľadiska je možné dva body rozlíšiť, pokiaľ medzi ich rozptylovými krúžkami je jeden svetlom nepodráždený čapík (obr. 4). Priemer čapíka je približne 0,005 mm a vzdialenosť obrazového uzlového bodu je 17 mm. V takomto prípade vyplýva zo vzťahu $tg MÚR = 0,005/17$, že uhlová vzdialenosť dvoch ešte rozlíšených bodov je 1' (uhlová minúta). Veličinu nazývame rozlišovacia medza oka, alebo minimum separabile, ktorá závisí na kontraste a jase. Schopnosť pozorovať dve rovnobežné úsečky (obr. 5), ktoré na seba zdanlivo nadväzujú, sa nazýva noniová rozlišovacia medza a hodnota je 5'' (uhlových sekúnd). [9, 10]



Obr. 4 Schéma svetlocitlivých čapíkov (body A, B budú rozlíšené, pretože je medzi nimi nezasiahnutý čapík svetlom a body D, C splynú v jeden bod)



Obr. 5 Noniová rozlišovacia medza oka (rovnobežné úsečky nebudú rozlíšené oddelene, pretože koncové časti majú presah) [9, 10]

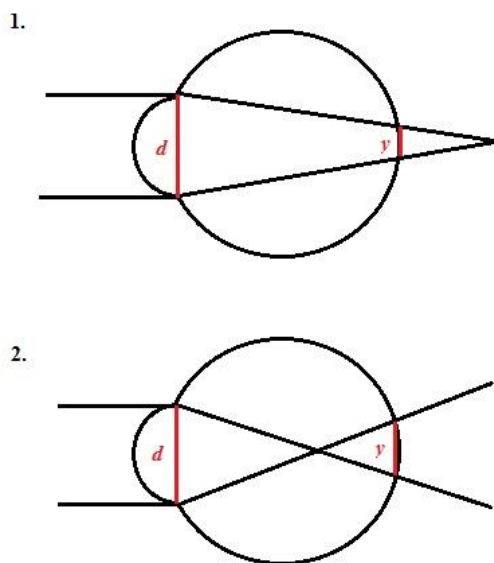
b) Rozptylový krúžok

Pokiaľ nie je optická sústava zaostrená, tak pozorovaný bod sa optickou sústavou oka zobrazí na sietnici neostro ako malý rozptylový krúžok. Konštrukcia rozptylového krúžku vychádza z geometrickej optiky. Rozptylový krúžok je spôsobený buď vadou optickej sústavy oka, alebo jej zaostrením na inú pozorovanú vzdialenosť. Z fyziologického hľadiska pokiaľ je priemer rozptylového krúžku menší ako priemer čapíka, človek vníma bod ako ostrý. Veľkosť rozptylového krúžku v závislosti na veľkosti zrenice sa u jednotlivých refrakčných väd líši. [10]

V prípade myopie je priemer rozptylového krúžku y priamo úmerný veľkosti zrenice a veľkosti refrakčnej vady. Zmenšením zrenice dôjde k zmenšeniu rozptylového krúžku a k zaostreniu obrazu. Tohto efektu je dosiahnuté použitím stenopeickej clony, kedy sa umelo zmenší priemer zrenice a videnie sa zaostří. V prípade hypermetropie je priemer rozptylového krúžku y nepriamo úmerný veľkosti zrenice. Čím je menší priemer zrenice, tým je väčší rozptylový krúžok.

S rastúcim vekom sa priemer zrenice znižuje, čím môže byť čiastočne kompenzovaná presbyopia, poprípade refrakčná vada. Znižujúca sa veľkosť zrenice zvyšuje vplyv difrakcie a redukuje množstvo lúčov, ktoré prejdú na sietnicu. Následne to môže viesť k zníženiu zrakovej ostroti, preto dobré svetelné podmienky napomáhajú kompenzovať redukcii svetelných lúčov spôsobených napríklad senilnou miózou. [10, 11]

Veľkosť rozptylového krúžku v oboch prípadoch je možné vypočítať pomocou známeho vzťahu $y = d \cdot A_R/A_R'$, kde y je priemer rozptylového krúžku, d je priemer zrenice, A_R je axiálna refrakcia a A_R' je dioptrická dĺžka oka. Zobrazenie rozptylového krúžku v oku v prípade myopie a hypermetropie je na obr. 6. [10]



Obr. 6 Na obrázku č. 1 je zobrazenie rozptylového krúžku u hypermetropického oka a na obrázku č. 2 je zobrazenie rozptylového krúžku v prípade myopického oka

Čím je rozptylový krúžok väčší, tak tým je pozorovaný objekt rozostrenejší. Napríklad ak myop s nekorigovanou refrakčnou vadou pozoruje na optotype písmeno E, ktoré si môžeme predstaviť ako súbor bodov, oko nie je zaostrené a každý bod predstavuje jeden rozptylový krúžok na sietnici (obr. 7). Na základe veľkosti zrenice pacienta potom vníma písmeno E ako rôzne rozmazané. Predložením stenopeickej clony ako už bolo spomenuté sa videnie zlepší.



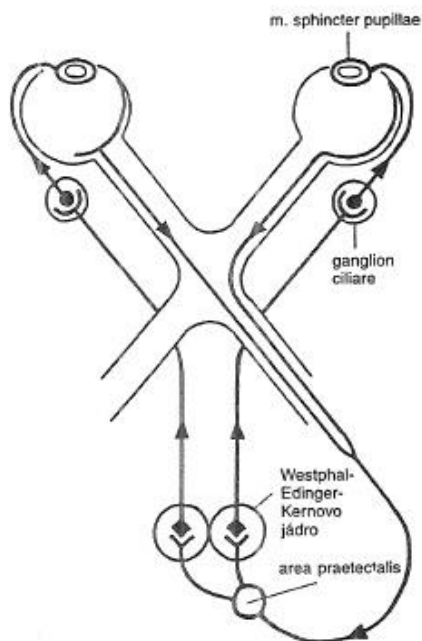
Obr. 7 Zobrazenie písmena E v prípade myopického oka [11]

c) Hĺbka ostrosti

Existuje rozsah vzdialeností v ktorých oko vidí ostro bez toho, aby menilo svoju optickú mohutnosť a nazýva sa hĺbka ostrosti. V tomto rozsahu je veľkosť rozptylového krúžku menšia ako veľkosť čapíka a obraz je vnímaný ako ostrý. Závisí na veľkosti zrenice, platí čím je menšia veľkosť zrenice, tým je väčšia hĺbka ostrosti. Hĺbka ostrosti je číselne daná buď rozsahom vzdialenosti l_1, l_2 v metroch, kde platí $l_2 - l_1$, alebo dioptrickým rozsahom $L_1 = 1/l_1, L_2 = 1/l_2$ v dioptriách, kde platí $L_2 - L_1$. Vzdialenosť od ktorej sa predmety zobrazujú ostro pri zaostrení optickej sústavy oka na nekonečno sa nazýva hyperfokálna vzdialenosť G . Pri zaostrení oka na vzdialenosť G vidíme ostro od $G/2$ až do nekonečna. Stenopeická clona sa využíva nielen na zaostrenie optickej sústavy oka, ale aj na zväčšenie hĺbky ostrosti. [10]

1.3.2 Pupilomotorická dráha

Zrenica slúži na reguláciu svetla, ktoré dopadá na sietnicu. U sietnicových fotoreceptorov začína fotoreakcia a makulárna krajina je považovaná za pupilomotoricky najaktívnejšiu. Pupilomotorické vlákna v chiazmate podstupujú semidekusáciu (pootočenú) a tak postupujú vlákna do pravého traktu z pravých polovic sietnice a naopak. Pred vonkajším genikulátom pupilomotorické vlákna zrakovú dráhu opúšťajú a odbočujú mediálne. Pri chirurgických zákrokoch dochádza viac k poškodeniu zrenicových reakcií než akomodácie. [8]



Obr. 8 Pupilomotorická dráha [1]

1.3.3 Zrenicové reakcie

Medzi základné zrenicové reakcie, ktoré vyšetrujeme patria reakcie zreníc na svetlo a reakcia zreníc na blízko. Fotoreakciu je vhodné vyšetrovať pomocou difúzneho svetla. Veľkosť zrenice je ovplyvnená autonómnym nervovým systémom (sympatikom a parasympatikom), viac v kapitole 1.3.5 Vegetatívny (autonómny) nervový systém. [12]

a) Reakcia zreníc na svetlo

K priamej reakcii zreníc dochádza, ak sa zúži zrenica osvieteného oka. Ak dôjde k zúženiu zrenice oka pri osvite druhého oka jedná sa o nepriamu reakciu. Ďalšou možnosťou je zakrytie očí vyšetrovaného pri tom ako sa díva do diaľky, následne sa striedavo zakrýva jedno a druhé oko. Sleduje sa prítomnosť, rýchlosť, rozsah a priebeh priamej fotoreakcie. Pri hodnotení nepriamej fotoreakcie sa zakrýva len jedno oko a na druhom sledujeme odpoveď. Na fotoreakcii sa podieľa parasympatikus vid' podkapitola Parasympatikus.

b) Reakcia zreníc na blízko

Pri pohľade na blízko dochádza k mióze oka, tento jav je združený s konvergenciou zrakových ôs, pričom sa zaistí jednoduché binokulárne videnie a s akomodáciou, ktorá zabezpečí zobrazenie blízkeho predmetu. Tento zložitý a nejasný jav sa považuje za účelovú reakciu, ktorá sa inak nazýva aj triáda do blízka. Podnetom je neostré zobrazenie blízkeho predmetu na sietnici. Informácia putuje do zrakovej kôry zrakovou dráhou, z príahlych oblastí idú do mozgového kmeňa korekčné impulzy ku kaudálnej časti parasympatického jadra a k ostatným okulomotorickým jadram. Z mozgového kmeňa pokračujú impulzy cestou m. oculomotorius k vnútorným priamym svalom, k ciliárnemu svalu a k zvieracu zrenice vid' podkapitola Parasympatikus. [3, 8]

1.3.4 Patológie zrenice

Rozdielna šírka zreníc sa nazýva anisokória (obr. 9) a je spojená s poúrazovým stavom. Patologická anizokória býva spojená s dráždením, alebo léziou sympatika a parasympatika. Pod pojmom spastická mydriáza sa v literatúre uvádza rozšírenie zrenice spôsobené dráždením sympatika napríklad nádorom. Zrenica má dobrú, ale slabšiu fotoreakciu. Naopak dráždením parasympatika je spôsobená spastická mióza, kde dochádza k problematickému rozširovaniu zrenice v tme. Väčšinou je obojstranná

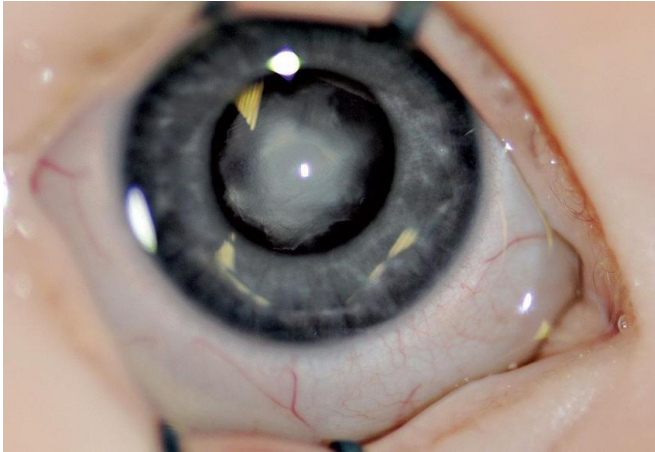
a spôsobená encefalitídou, bazilárnou meningitídou, ale často sa vyskytuje u drogovej intoxikácie. Paralytická mydriáza sa prejavuje stuhnutím zrenice s poruchou fororeakcie a poruchou reakcie zrenice pri pohľade na blízko. Stav nemusí byť sprevádzaný poruchami akomodácie, pokiaľ tomu tak je, jedná sa o vnútornú oftalmoplégiu. Ak sa súčasne vyskytujú aj parézy okohybných svalov hovoríme o totálnej oftalmoplégii. Príčin je niekoľko, napríklad nádor, aneurysma, či subdurálny hematóm. Pokiaľ pri vyšetrení na štrbinovej lampe zaznamenáme zmenu vo farbe, jedná sa o patológiu. Šedá zrenica môže znamenať, že je v oku zákal šošovky (obr. 11), žltavá značí glióm, alebo retinoblastóm (obr. 10), žltohnedá znamená zákaly jadra šošovky a začervenaná môže znamenať výskyt haemophthalmu (zakrvácanie v sklovci). [1, 5, 6]



Obr. 9 Anisokória [12]



Obr. 10 Retinoblastóm ľavého oka [13]



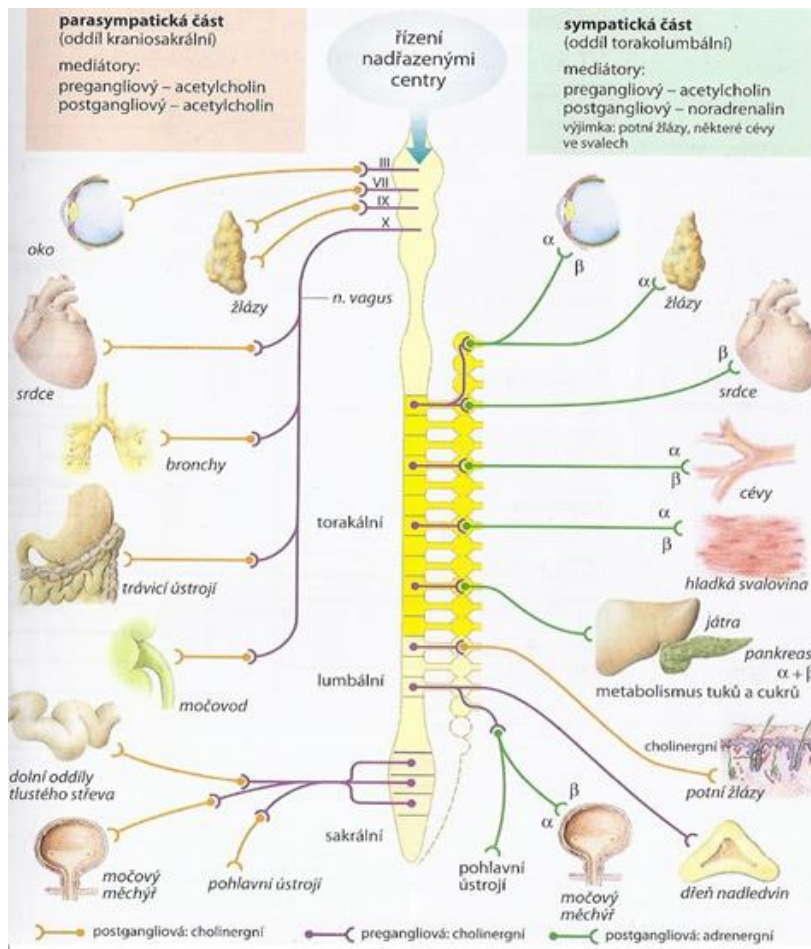
Obr. 11 Vrodená katarakta [14]

1.3.5 Vegetatívny (autonómny) nervový systém

Zaisťuje riadenie funkcie vnútorných orgánov, krvného obehu a kontroluje vnútorné prostredie organizmu. Systém sa nazýva preto autonómny nervový systém, lebo jeho aktivity prebiehajú bez voľnej kontroly. Vegetatívny nervový systém funguje na princípe reflexného oblúka s jednou časťou aferentnou a druhou eferentnou. Dráždenie kože alebo signály z mechanoreceptorov a chemoreceptorov pľúc, ciev atď. hlásia aferentné vlákna. Úlohou eferentných vlákien je riadenie reflexnej odpovede hladkej svaloviny rôznych orgánov, napr. oka, pľúc, činnosť srdca, žliaz atď.

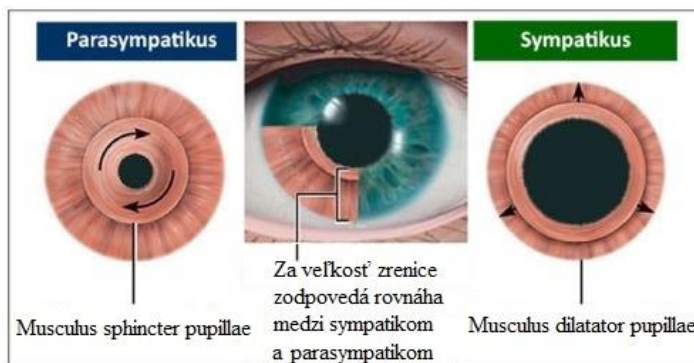
Na hladkých svaloch nie sú špeciálne štruktúry na prenos impulzu. V blízkosti hladkých svalových buniek sa mohutne vetvia vegetatívne (autonómne) vlákna a na zakončeníach tvoria zdureniny obsahujúce vezikuly s mediátorom. Na celej membráne hladkého svalu sú prítomné receptory pre mediátory a prechodom akčného potenciálu sa vyplavený mediátor rozleje po jeho povrchu. Na hladkom svalе naviazaním mediátora na receptory vzniká akčný potenciál. Mediátormi pre inerváciu hladkých svalov sú noradrenalín a acetylcholín.

Komplexné deje sú riadené vegetatívnymi centrami v mieche a jednoduché reflexy môžu prebiehať vo vnútri príslušného orgánu. Periférny vegetatívny nervový systém je tvorený sympatikom a parasympatikom. Vegetatívne centrá prislúchajúce sympatiku sa nachádzajú v hrudníkovej a bedrovej mieche. Parasympatické centrá pre oko sú v mozgovom kmeni. Z centier vedú do periférie pregangliové vlákna, ktoré sa synapticky v gangliu prepájajú na postgangliové vlákna. [15, 16]



Obr. 12 Schéma sympatického a parasympatického systému [15]

Sympatikus a parasympatikus pôsobia na seba antagonisticky (obr. 13). Veľkosť zrenice je ovplyvnená intenzitou osvetlenia, farbou dúhovky, refrakciou oka a rovnováhou medzi zvieráčom a rozvieračom zrenice. Za stiahnutie a rozšírenie zrenice je zodpovedný oko-hybný nerv (nervus oculomotorius), ktorý okrem inervácie oko-hybných svalov obsahuje autonómne vlákna (parasympatické) pre zvieráč zrenice (musculus sphincter pupillae) a sval riasnatého telieska. [12, 17]



Obr. 13 Rozšírenie a zúženie zrenice je závislé na pomere sympatika a parasympatika [12]

a) Sympatikus

Sympatické pregangliové vlákna smerujú z miechy a končia v krčných a brušných gangliách. Mediátorom nervovosvalového prepojenia pregangliových sympatických vlákien je acetylcholín a postgangliových vlákien je noradrenalín. Acetylcholín je syntetizovaný z cholínu a acetylkoenzýmu A. Noradrenalín je syntetizovaný z aminokyseliny fenylalanínu a tyrozínu.

Úlohou sympatického systému je zabezpečiť rozšírenie zrenice a tvoria ho 3 neuróny. Centrálny neurón začína v hypotalame a ide postrannými miechovým zväzkom k ciliospinálnemu centru vo výške 8. krčného stavca až 3. hrudného stavca. Druhý neurón predstavuje vlákna, ktoré smerujú z ciliospinálneho centra a smerujú miechovými koreňmi do krčnej časti sympatika. Z horného krčného ganglia vychádza tretí neurón a ide do očnice dvomi cestami. Jedna z nich vedie pozdĺž vnútornej krkavice až k rozširovaču zrenice (*musculus dilatator pupillae*) a druhou cestou vstupujú jemné vetvičky hornou orbitálnou štrbinou do očnice. Sympatická dráha sa na rozdiel od parasympatickej nekříži a jej poškodenie spôsobí len homolaterálnu (jednostrannú) poruchu zrenice. [7, 15, 16]

b) Parasympatikus

Parasympatické ganglia ležia v blízkosti, alebo vo vnútri orgánov. Mediátorom pregangliových aj postgangliových parasympatických vlákien je acetylcholín. Parasympatikus zabezpečuje zúženie zreničky a táto časť reflexného oblúku je dvojneurónová. Prvý neurón nazývaný aj pregangliový spája parasympatické jadro III. nervu s ciliárnym gangliom v očnici. Druhý neurón, alebo postganglionárny končí u zvierača zrenice. Po výstupe z Edinger-Westphalového parasympatického jadra sa pupilárne vlákna pripoja k motorickým vláknam z ostatných jadier III. nervu. Prejdú červeným jadrom a ako kmeň okulomotoria opustia mozgový kmeň. Pupilomotorické vlákna idú dolnou vetvou nervu a vstupujú do ciliárneho ganglia, prenikajú okolo optiku sklérrou a smerujú k zvieraču zrenice. Z toho však iba 3% zo všetkých parasympatických vlákien je k tomu určených, zvyšok vlákien prechádza k ciliárnemu svalu. Parasympatikus taktiež spôsobuje kontrakciu ciliárneho svalu (*musculus ciliaris*), čo vedie k akomodácii vid' podkapitola 2.1 Akomodácia. [7, 15, 16]

1.3.6 Vplyv veľkosti zrenice na stanovenie refrakcie

Korekcia refrakčnej vady sa robí pomocou okuliarovej korekcie, kontaktnými šošovkami, alebo refrakčnými operáciami. Často však hodnotu korekčnej pomôcky môže ovplyvniť chyba merania. Meranie refrakčnej vady sa robí pri zakrytí jedného oka, čo sa však odlišuje od prirodzených podmienok, kedy sa človek pozerá oboma očami. Zúženie, alebo rozšírenie zrenice ovplyvňuje jednak osvetlenie, ale významný vplyv má aj akomodácia (viď kapitola 2 Akomodácia a refrakčné vady). Rozšírenie zreničky sa dá pozorovať za znížených svetelných podmienok, napr. pri meraní objektívnej refrakcie. Rozšírenie zrenice môže viesť k poklesu hĺbky ostrosti (viď kapitola 1.3.1 Vplyv zrenice na optické zobrazenie v oku), a preto môže vyšetrované oko odlišne reagovať na prezentovaný podnet. Rozmazaný obraz tiež môže pôsobiť ako podnet pre akomodáciu. Tiež sa môžu prejaviť aberácie vyššieho rádu.

Štúdia [18] „Effects of pupil dilatation on objective refraction“ sa zaoberala vplyvom veľkosti zrenice na objektívnu refrakciu. Autori Iwata, Y.; Handa, T. a kol. zahrnuli do výskumu 30 zdravých dobrovoľníkov s priemerným vekom $20,5 \pm 1,5$ roka. Pri meraní bol použitý automatický refrakto-keratometer (WAM-5500) na meranie priemeru zrenice pri zakrytí jedného oka. Pacient fixoval znak na optotype zo vzdialenosti 5 m. Počas zakrytia jedného oka došlo k rozšíreniu zrenice. Priemerná hodnota veľkosti zrenice pred zakrytím bola $4,32 \pm 0,013$ mm, počas zakrytia $5,25 \pm 0,26$ mm a po odokrytí $4,14 \pm 0,26$ mm. Zo štúdie vyplynulo, že počas zakrytia bola zrenica väčšia ako pred a po zakrytí oka. Priemerná hodnota refrakcie pred zakrytím oka bola $2,18 \pm 0,07$ D, počas zakrytia oka $2,32 \pm 0,09$ D a $2,22 \pm 0,09$ D po zakrytí oka. Objektívna refrakcia pri zakrytí bola myopickejšia ako pred a po zakrytí oka. Keď sa oko zakryje, dôjde k rozšíreniu zrenice a objektívna refrakcia sa stane myopická. Predpokladá sa, že rozmazaný obraz bude pôsobiť ako stimul pre akomodáciu. Výsledky naznačili chybu merania pri zakrytí jedného oka.

2 Akomodácia a refrakčné vady

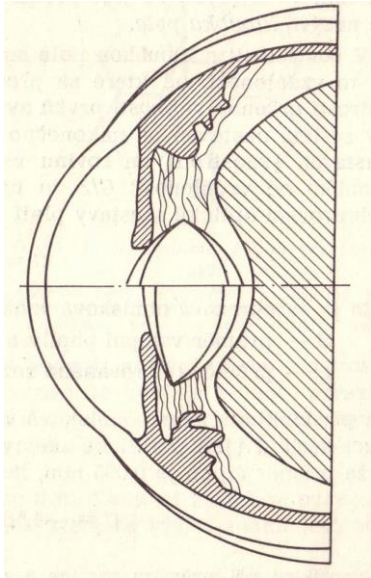
Proces akomodácie, refrakčná vada a veľkosť zreničky spolu úzko súvisia. Kapitola bude popisovať proces akomodácie a jej vplyv na veľkosť zreničky a refrakčnú vadu.

2.1 Akomodácia

Schopnosť oka meniť svoju dioptrickú hodnotu a vidieť ostro na rôzne vzdialenosti sa označuje akomodácia. U detí sa akomodácia vyvíja od narodenia. V treťom mesiaci života dieťaťa je takmer porovnateľná s rýchlosťou akomodácie u dospelého človeka. Vo veku 12 rokov je akomodácia rovnaká ako u dospelého človeka. Pri pozorovaní bližších predmetov dôjde k stiahnutiu ciliárneho svalu, zvýšeniu optickej mohutnosti šošovky a uvoľneniu závesného aparátu šošovky. [19, 20]

2.1.1 Proces akomodácie a amplitúda akomodácie

Počas akomodácie dochádza k podráždeniu oka neostrým obrazom, kontrakcii ciliárneho svalu, ktorý sa posunie dopredu a dovnútra, cievnatka a zadná časť zonulárneho závesu sa natiahnu, predná časť závesu sa uvoľní a elastická šošovka s jej puzdrom sa zaoblia a zvýši sa optická mohutnosť (obr. 14). Pre monokulárnu akomodáciu začína senzomotorická dráha pravdepodobne na sietnici. Čapíky sú podráždené neostrým obrazom, podráždenie sa následne prenesie cez corpus geniculatum laterale do stredného mozgu a Edinger-Westphalovho jadra. Motorický podnet je vedený okoohybným nervom cez ciliárny ganglion a krátke ciliárne nervy k ciliárnemu svalu. [19]

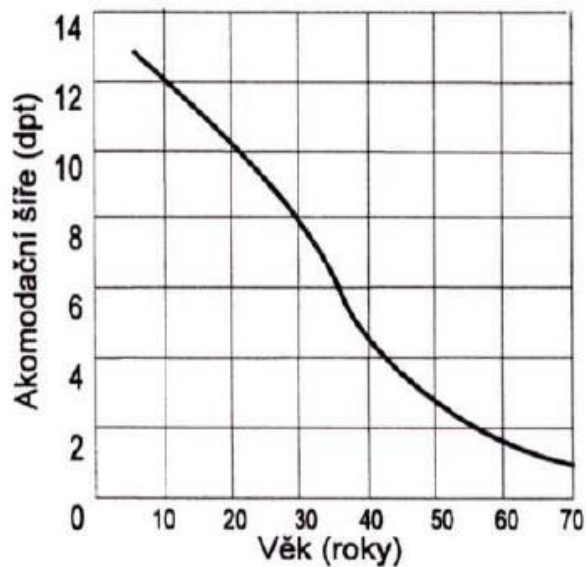


Obr. 14 Horná časť obrázku znázorňuje akomodujúce oko, dolná časť znázorňuje oko bez akomodácie [9]

Akomodačný proces má 4 zložky a to reflexnú, vergenčnú, proximálnu a tonickú. Podnetom reflexnej zložky je rozmazaný obraz. Vergenčná zložka je druhá najdôležitejšia zložka a kontrolovaná je fúziou. Platí, že akomodácia navodzuje konvergenciu a konvergencia navodzuje akomodáciu. Predstavou vzdialeného predmetu je vyvolaná proximálna akomodácia a bez akéhokoľvek podnetu je prítomná tonická akomodácia, ktorá má hodnotu zhruba 1,5 D. Pri akomodácii na blízko dochádza k zúženiu zreničiek, konvergencii bulbov a vlastnej akomodácii, čo sa inak nazýva triáda do blízka. [19]

Akomodačná šírka, alebo inak amplitúda akomodácie (AA) sa vyjadruje v dioptriach a vypočíta sa ako rozdiel prevrátených hodnôt ďalekého a blízkeho bodu. Ďaleký bod (punctum remotum) je bod na optickej ose, ktorý sa ostro zobrazí na sietnici oka bez akomodácie. Blízky bod (punctum proximum) je bod na optickej ose, ktorý sa ostro zobrazí na sietnici oka pri maximálnej akomodácii. Amplitúda akomodácie sa meria binokulárne a monokulárne, buď priblížením a oddáľovaním čítacej tabuľky, alebo špeciálnym akomodačným pravítkom. S pribúdajúcim vekom AA klesá (obr.15), čo súvisí s fyziologickými zmenami, ako strata elasticity šošovky, rast šošovky a zníženie účinku zonulárneho závesu. Stav sa nazýva presbyopia, alebo vetchozrakosť a vyskytuje sa približne okolo 50. roku života. Akomodáciu môžu ovplyvňovať aj parasymptomimetiká, ktoré spôsobujú zúženie zrenice, kontrakciu ciliárneho svalu,

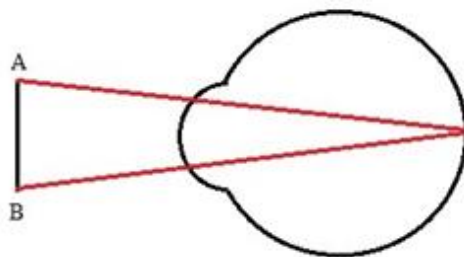
monokulárny spazmus akomodácie. Citlivosť je ovplyvnená farbou dúhovky, tmavo hnedé dúhovky sú menej ovplyvnené ako svetlé. [19, 20]



Obr. 15 Graf závislosti šírky akomodácie na veku [21]

2.2 Refrakčné vady

Emetropické oko je bez vady, lúče po prechode optickými prostrediami dopadajú na sietnicu. Pri tomto type je správny pomer medzi lomivosťou optického systému a dĺžkou oka.



Obr. 16 Chod lúčov emetropickým okom

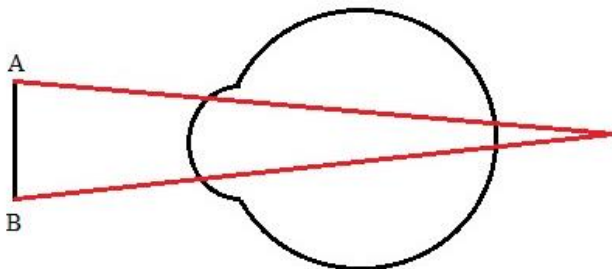
Častejšie sú ametropie, kedy dopadajúce lúče nemajú ohnisko priamo na sietnici a pomer medzi dĺžkou oka a lomivosťou optického systému je porušený. Obraz sledovaného objektu vzniká pred, alebo za sietnicou. Refrakčné vady delíme na myopiu (krátkozrakosť) a hypermetropiu (ďalekozrakosť). Ako bude nižšie uvedené, refrakčné vady majú vplyv na akomodáciu a v nadväznosti na informácie z podkapitoly 4.1 je možné očakávať aj ich vplyv na veľkosť zrenice. Pritom veľkosť zrenice môže mať

vplyv na presnosť stanovenia refrakčnej vady (viď 1.3.6). V prípade, že refrakčný systém nie je koncentrický, označujeme vadu ako astigmatizmus. V kapitole nebude astigmatizmus zahrnutý, pretože spôsobuje rozmazanie bodu v nejakom smere a nemá vplyv na akomodáciu ani na šírku zrenice. [19]

2.2.1 Hypermetropia

Hypermetropia, alebo ďalekozrakosť je refrakčná vada, pri ktorej rovnobežne dopadajúce lúče tvoria ohnisko za sietnicou pri minimálnej akomodácii (obr. 17). Obraz je rozmazaný, nezreteľný a menší. V inej literatúre sa môžeme stretnúť aj s pojmom hyperopia. Najčastejšou príčinou môže byť nedostatočné zakrivenie rohovky, alebo šošovky, menší predozadný priemer oka, kedy vzniká osová (axiálna) hypermetropia. Ďalším druhom môže byť indexová hypermetropia, ktorá je spôsobená nízkym indexom komorovej vody alebo vysokým indexom lomu sklovca, znížením indexu lomu šošovky vplyvom starnutia oka. Neprítomnosť šošovky (afakia) vyvoláva taktiež hypermetropiu.

Ďalekozraké oko a jeho rohovka sú relatívne malé a taktiež má plytkú prednú komoru, čo má často za následok výskyt glaukómu. Hypermetropiu môžeme tiež považovať za akýsi stupeň vývoja oka. Na konci vývoja by sa mali stať oči teoreticky emetropické, ale v prevažnej väčšine ostanú hypermetropické a pokiaľ oko preženie rast, stane sa myopickým. Oko ďalekozraké sa považuje za nie úplne vyvinuté.



Obr. 17 Chod lúčov hypermetropickým okom

Zapojenie akomodácie má významný vplyv na videnie pri hypermetropii, vďaka nej môže zrakový systém vadu čiastočne korigovať. U nekorigovanej ďalekozrakosti (hypermetropie) dochádza k zníženiu očnej vady pomocou akomodácie pri pohľade do diaľky. Do blízka musí akomodovať viac ako emetrop. Nadmerné zaťaženie akomodácie však môže viesť k vzniku astenopických problémov, taktiež ku spazmu akomodácie a vzniku pseudomyopie. Hypermetrop má užšiu zrenicu, čo je spôsobené

tým, že využíva viac akomodáciu a to má za následok mohutnejšie vyvinutý ciliárny sval. [3, 19, 20]

Akomodačný systém je úzko prepojený s veľkosťou zrenice, ktorá je ovplyvňovaná v tomto prípade parasympatickým systémom vid' podkapitola Parasympatický systém. Zvýšená akomodácia taktiež vedie k nadmernej konvergencii očí, čo má za následok vznik skrytého škúlenia - esofórie, konvergentného (zbiehavého) postavenia očí. Vykorigovaním hypermetropie, prípadne stanovením adície na blízko dôjde k vykorigovaniu skrytého škúlenia. [3, 19, 20]

Obvyklá klasifikácia hypermetropie vychádza zo zapojenia akomodácie. Podľa publikácie [19] môžeme celkovú (totálnu) hypermetropiu deliť na latentnú a manifestnú, ktorá sa ešte delí na fakultatívnu a absolútnu. Latentná hypermetropia predstavuje zložku vady, ktorá je trvalo korigovaná zvýšeným napätím ciliárneho svalu. Veľkosť zložky sa dá zistiť pri uvoľnení akomodácie pomocou cykloplégie. Manifestnú hypermetropiu môžeme vyšetriť za normálnych podmienok predkladaním spojných šošoviek. Zrakový systém ju môže čiastočne a dočasne vykorigovať akomodáciou, táto časť manifestnej hypermetropie sa nazýva fakultatívna. Nepôsobí rozmazané videnie, ale navodená akomodácia spôsobí konvergenciu a zúženie zrenice (vid' kapitola 2.1 Akomodácia). Pri absolútnej hypermetropii systém nie je schopný pomocou akomodácie rozmazané videnie korigovať. [19]

Korekcia hypermetropie

Latentná hypermetropia ako už bolo spomenuté je korigovaná trvalým napätím ciliárneho svalu. Manifestnú zložku hypermetropie korigujeme podľa potrieb vyšetrovaného, buď zvolíme plnú alebo čiastočnú korekciu. V prípade, že pacient netrpí astenopickými problémami, zraková ostrosť je normálna a vada je malá, nie je potrebné vadu korigovať. U fakultatívnej zložky sa vízus pacienta nemení, spojnými šošovkami uvoľňujeme akomodáciu a znižujeme tým napätie systému a odstránime prípadné astenopické problémy. V prípade, že má pacient vízus znížený, jedná sa o absolútnu zložku a korigujeme najsilnejšou spojnou šošovkou. [19]

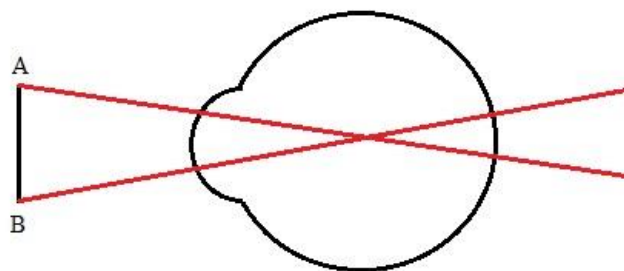
U detí do 7 rokov je nutné korigovať vadu pokiaľ je vysoká, alebo trpí esotropiou. Pri zníženej zrakovej ostrosti a astenopických problémoch sa u mladistvých do 16 rokov odporúča vadu korigovať. Korekciu je vhodné merať v cykloplégii, kedy dôjde k uvoľneniu akomodácie pomocou atropínu. Od nameranej hodnoty sa odčíta 1 D (tonus ciliárneho svalu). Počas rastu môže dochádzať k znižovaniu vady a po čase môže

byť korekcia zbytočná, preto sú nutné kontroly raz do roka. Okrem okuliarovej korekcie je ďalšou možnosťou korekcia kontaktnými šošovkami, kde hodnota refrakcie je po prepočítaní vyššia ako v okuliarovej korekcii. Hypermetropiu je možné korigovať aj chirurgicky pomocou excimerového lasera (PRK, LASIK, LASEK). [3, 19]

2.2.2 Myopia

Krátkozrakosť je refrakčná vada, pri ktorej dochádza pri rovnobežnom dopade lúčov k tvorbe ohniska pred sietnicou v oku bez akomodácie (obr.18). Najčastejšou príčinou je predĺženie predozadnej osi – osová, (axiálna) myopia, vzácnejšia je viac zakrivená rohovka (keratokonus), alebo predná a zadná plocha šošovky, indexová myopia spôsobená cukrovkou (zníženie indexu lomu šošovkových hmôt), alebo pri šedom zákale (zvýšená lomivosť jadra šošovky). Zvláštnou formou axiálnej myopie je krátkozrakosť, ktorá vzniká u detí s vrodeným glaukómom. Malá časť z nich má progresívny charakter, kde nárast vady je veľmi rýchly. Väčšina myopií je však fyziologického pôvodu. [19]

U myopického oka je predná komora hlbšia v porovnaní s ďalekozrakým okom. Oko je v tomto prípade nadmerne vyvinuté a môže vyvolať dojem exoftalmu. Pacient vidí relatívne dobre do blízka, ale rozmazane do diaľky, čo má za následok, že myop do blízka akomoduje menej ako emetrop. Akomodačný systém je slabší, takže ciliárny sval je menej vyvinutý a tým pádom má širšiu zrenicu. V tomto prípade ovplyvňuje šírku zrenice sympatický systém vid' podkapitola Sympatický systém. Nekorigovaná myopia môže spôsobiť skryté škúlenie exofóriu (rozbiehavé) postavenie očí. [3, 19]



Obr. 18 Chod lúčov myopickým okom

Myopiu môžeme rozdeľovať z rôznych hľadísk, podľa veku sa delí na školskú, ktorá sa vyskytuje u detí školského veku. Objavuje sa okolo 6 roku života, progresia

je malá a dochádza k stabilizácii okolo 20. roku života. Existuje taktiež aj neskoršia myopia, ktorá sa vyskytuje okolo 18. roku života a nedosahuje vysokého stupňa. Menej častá je vrodená myopia, obvykle je jednostranná, môže sa pri nej vyskytovať amblyopia a vyskytuje sa u predčasne narodených detí. Vplyvom starnutia šošovky sa v staršom veku okolo 50. roku života vyskytuje myopia spôsobená zákalmi šošovky.

Krátkozrakosť delíme aj podľa veľkosti refrakčnej vady. Patrí sem ľahká myopia do -3D, začína v školskom veku a nezhoršuje sa. Stredná myopia od -3,25D do -6D, ktorá sa označuje aj ako stredne ťažká a nezhoršuje sa. Vysoká myopia s hodnotou nad -6D a ťažká myopia obvykle progresívna, ktorá je spojená s patologickými zmenami v oku. [3]

Korekcia myopie

Korigujeme pomocou najslabšej rozptylnej šošovky s ktorou vidí pacient ostro. Nekorigovaní pacienti nepocitujú problémy a majú pocit, že vidia normálne. U takýchto ľudí korekcia môže vyvolať dočasné problémy zo zvýšeného akomodačného úsilia, ktoré po návyku ustúpi. Preto je vhodné zvážiť, či zvolíme plnú korekciu. Treba byť opatrný a v žiadnom prípade myopia nekorigovať. Okrem okuliarovej korekcie je možné myopiu korigovať aj pomocou kontaktných šošoviek, v tomto prípade sa korekcia prepočíta a výsledná hodnota refrakcie je nižšia ako v okuliarovej korekcii. Myopiu je možné korigovať aj chirurgicky a to podobne ako u hypermetropie pomocou PRK, LASIKU a LASEKU. U vyšších foriem myopie je možné využiť fakické vnútročné šošovky. [19]

3 Farba dúhovky a jej klasifikácia

Nasledujúca kapitola sa bude zaoberať pigmentáciou dúhovky a jej dedičnosťou. Pretože zafarbenie očí významne ovplyvňuje činnosť sympatického systému (viď nižšie) a podľa štúdií [22, 23] súvisí s refrakčnou vadou a očným ochorením (tieto súvislosti sú bližšie uvedené v podkapitole 4.2), bola farba dúhovky uvažovaná ako jeden z faktorov v experimentálnej časti práce. Na realizáciu je potrebné farbu vhodne klasifikovať. Do tejto kapitoly sú preto zahrnuté aj klasifikácie farby dúhovky od minulosti po súčasnosť. Súčasťou kapitoly bude aj vysvetlenie pojmu heterochromia a rešerš výskumu, ktorý sa zaoberal zastúpením jednotlivých farieb dúhovky v populácii [24].

3.1 Farba dúhovky

Farba očí patrí k nemenným vlastnostiam človeka ale je známe, že u mnohých novorodencov dôjde k zmene farby očí z modrej na hnedú už v prvých mesiacoch, či rokoch života. Zmenu farby dúhovky môžu spôsobiť lieky, poranenie krčnej chrbtice a k prechodnej zmene dochádza aj v dôsledku psychických porúch. Za farebnosť a zložité kresby na dúhovke zodpovedá prítomnosť melanínového pigmentu vo vnútri dúhovky, ktorý produkujú melanocyty. Melanín je charakterizovaný ako hnedý až čierny pigment a taktiež sa vyskytuje v telách rastlín, živočíchov a prvokov. Množstvo melanínu, ktoré obsahuje melanocyt v cytoplazme môže byť rôzne.

Úlohou sympatického nervového systému je riadiť produkciu melanínu v pigmentových bunkách (melanosónoch). Existujú dva typy melanínu: eumelanín (tmavší), slúži na ochranu proti UV žiareniu a feomelanín (žltočervený), ktorý je zodpovedný za ryšavé vlasy a pehy. Obidva typy sú tvorené základnou chemickou časticou - aminokyselinou tyrosínom. Vplyvom UV žiarenia dochádza k aktivácií tyrosinázy s pomocou ktorej sa účinkom ďalších enzýmov tyrosín v niekoľkých krokoch premení na melanín. Ak je prítomné väčšie množstvo melanínu, oko je sfarbené do hnedá a pri malom množstve je sfarbené do modra. Pokiaľ je pigmentu nadštandardne veľa, alebo málo, vznikajú prechodné farby ako zelená, zeleno-hnedá. [25, 26]

Osvetlenie dúhovky spôsobí zúženie pupily a v tme dôjde k rozšíreniu pupily, čo spolu so zdrojom dopadajúceho svetla môže ovplyvniť individuálnu farbu očí. Modrá farba dúhovky vzniká v dôsledku rozptylu svetla na kolagénových vláknach, zatiaľ

čo hnedá vzniká na základe pohltienia svetla melanínom. Odlišné odtiene modrej, šedej, zelenej a hnedej sú stanovené hrúbkou, hustotou dúhovky samotnej, množstvom bielych kolagénových vlákien a záhybmi tkaniva v prednej časti dúhovky a strómate. V pokožke a vlasoch sa melanín nepretržite produkuje a vylučuje na rozdiel od dúhovky, kde sa v rámci strómy zadržiava a zhusťuje.



Obr. 19 Zafarbenie dúhovky závisí na množstve pigmentu, jeho hustota ovplyvní, či bude oko modré, zelené, alebo hnedé [26]

Počas prvých mesiacov života sa môžu v stróme dúhovky tvoriť melanocyty a do prvého roka života oko získa 50 % konečnej pigmentácie. Vlastná farba sa vyvinie do 3. roku života, ale zmeny môžu nastávať až do puberty. Pigment v dúhovke úplne chýba v prípade albinizmu. Za normálneho osvetlenia vyzerajú oči ako svetlo modré, ale pri axiálnom osvetlení dôjde k červenému zafarbeniu. Chýbajúci pigment na zadnej strane dúhovky spôsobí odraz svetla od ciev očného pozadia. [25, 26]

Zvláštnym prípadom sfarbenia je heterochromia, ktorá označuje rozdielnu farbu očí, jedinec môže mať napríklad jedno oko modré a druhé hnedé. Nejedná sa o očné ochorenie a neovplyvňuje zrakovú ostrosť. Podľa umiestnenia rôznej farby sa heterochromia delí na tri typy. O totálnej heterochromii (obr. 20) hovoríme v prípade, že každé oko je inak sfarbené. Čiastočná, alebo sektorová heterochromia je v prípade, že časť dúhovky jedného oka má inú farbu ako zvyšok dúhovky. Môže sa vyskytnúť na jednom, alebo oboch očiach. Posledným druhom je centrálna heterochromia (obr. 21), kde je odlišná farba dúhovky okolo zrenice. Vo väčšine prípadov je benígna,

ale môže byť príznakom ochorenia, napr. Horneov syndróm. Taktiež môže byť získaná po zranení oka, uveitíde, medikácii glaukómu a taktiež pri použití niektorých kozmetických prípravkov. [27]



Obr. 20 Totálna heterochromia [28]



Obr. 21 Centrálna heterochromia [29]

Podľa prieskumu [24], ktorý sa zaoberal zastúpením jednotlivých farieb dúhovky v populácii sa zistilo, že zatiaľ čo modrá farba dúhovky, lieskovo oriešková, zelená a šedá sa v populácii menej vyskytujú, najväčšie zastúpenie majú tmavo hnedé dúhovky. V priemere sa hnedá farba vyskytuje u 79 % populácie. Tmavohnedá farba je bežná v Afrike, vo východnej a juhovýchodnej Ázii, zatiaľ čo svetlohnedá farba sa vyskytuje v Európe, v západnej Ázii a v Amerike. Modré zafarbenie očí má 8-10 % ľudí, vedúcou krajinou je Fínsko, ale aj v Európe je veľké percento ľudí s modrou farbou dúhovky. Iba 5 % ľudí má lieskovo orieškovú farbu. Asi 2 % populácie má zelené oči a vyskytuje sa v strednej, západnej a severnej Európe a veľmi ojedinele sa objavuje šedé sfarbenie dúhovky v severnej a východnej Európe.

3.2 Dedičnosť farby dúhovky

Sfarbenie ľudského oka určujú gény a konkrétne gén OCA2, ktorý je umiestnený na 15. chromozóme. Nazýva sa tiež EYCL3 a obsahuje stavebný plán P-proteínu obsiahnutý v melanocytoch. Dôležitou úlohou génu je transport melanínu do melanozómov a jeho množstvo rozhodne o farbe dúhovky. Odchýlky génu sú zodpovedné za ¾ hnedých a modrých variácií farby dúhovky. V blízkosti tohto génu bol objavený úsek DNA, ktorého úlohou je regulácia transkripcie génu OCA2 a riadi koľko P-proteínu sa vytvorí. Druhým veľmi podstatným génom je GEY, alebo EYCL1 v zelenej, alebo modrej variante, ktorý je umiestnený na 19. chromozóme.

V schéme na obr. 22 môžeme vidieť, že 2 gény sú zodpovedné za 3 varianty farby očí: hnedá, zelená a modrá. Z hľadiska dedičnosti je modrá farba recesívna a hnedá farba dominantná. To znamená, že aj jeden gén hnedej farby stačí, aby deti zdedili po rodičoch hnedú farbu očí. Gén modrých očí musia zdediť obaja rodičia, aby sa u dieťaťa prejavil. Zelená farba je dominantná vo vzťahu k modrej a recesívna vo vzťahu k hnedej farbe. [26]

		OTEC	
		hnedá, modrá	modrá, modrá
MATKA	modrá, modrá	hnedá+modrá modrá+modrá	modrá+modrá modrá+modrá
	zelená, modrá	hnedá+modrá zelená+modrá	modrá+modrá zelená+modrá

Obr. 22 Schéma dedičnosti hnedej, modrej a zelenej farby očí [26]

Farbu oka vo výsledku určujú 4 gény, z matky a otca sú prenášané vždy 2 gény. Napríklad hnedooké dieťa môže mať modroookého a hnedookého rodiča. Pokiaľ by matka bola nositeľkou génu hnedého pigmentu a otec nositeľom génu modrého

pigmentu, presadila by sa hnedá farba, pretože gén pre hnedú farbu je dominantný. Gén pre modrú farbu môže byť prenesený na ďalšiu generáciu, je recesívne dedičný a preto modrooké dieťa musí mať vždy len modrookých rodičov. [26]

3.3 Klasifikácia farby dúhovky

Prvá klasifikácia dúhovky sa vyvinula v roku 1843. V minulom storočí obsahovala klasifikácia množstvo kategórií farby a porovnávala sa farba jedinca s maľovanými sklenenými očami (obr. 23). Neskôr maľované oči nahradila zdokonalená fotografická metóda, ktorá však nevyriešila problém variability farby očí. Prvé klasifikačné systémy boli jednoduché, ale chýbala im objektivita.

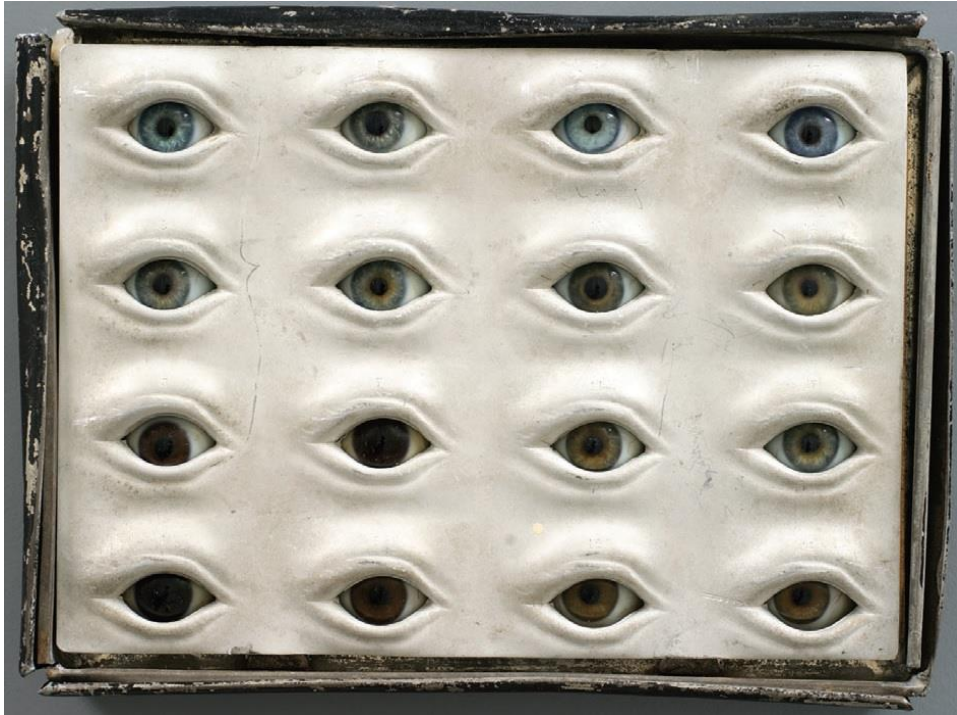
S technologickým vývojom prišla éra automatických klasifikačných systémov. Metódy ako spektrofotometria, digitálna analýza fotografií dúhovky s vysokým rozlíšením a softvéry určené na analýzu farby dúhovky. Technológie sú objektívne a presné, ale drahé a majú obmedzený rozsah použitia vo výskume. Klasifikačné systémy sa vyvíjali kvôli výskumom v antropológii, epidemiológii a genetike. Nárast rôznych klasifikačných systémov stúpa aj v súčasnej dobe a neexistuje všeobecne platný klasifikačný systém. [30]

Súčasný klasifikačný systém sú tvorené na základe dvoch prístupov:

1. Klinický prístup - klasifikačný systém tvorí menej, alebo viac kategórií farieb, môžu byť rozdelené do 2-3 skupín (bledá/zmiešaná/tmavá farba)
2. Digitálny prístup - automatické, kalorimetrické metódy, ktoré tvoria klasifikáciu viac objektivnu [30]

3.3.1 Klasifikácia farby dúhovky od roku 1843 až po súčasnosť

Prvý klasifikačný systém dúhovky vytvoril Petrequin v roku 1843 a obsahoval 5 kategórii: šedá, modrá, lieskovo oriešková, hnedá a čierna. Až do roku 1990 sa o klasifikáciu zaujímali najmä antropológovia, ktorí v štúdiu rasovej distribúcie fenotypových znakov využívali veľké množstvo klasifikácií. V minulom storočí sa na klasifikáciu používali sklenené oči, ktoré sa porovnávali s farbou očí u ľudí. Hlavným problémom systému bola zmena farieb postupom času. Autorom prvého štandardizovaného systému (obr. 23) bol v roku 1903 Rudolf Martin. Systém obsahoval 16 umelých očí zoradených od najtmavšej hnedej (číslo 1) až po najbledšiu modrú (číslo 16). Antropológ Carleton Con neskôr v roku 1939 modifikoval Martinov systém na 3 skupiny (bledá/zmiešaná/tmavá). [30]



Obr. 23 Štandardizovaný systém Rudolfa Martina [31]

Rozdelenie a opis farieb dúhovky z práce Carletona Cona, ktorý študoval variácie rôznych charakteristík ľudskej tváre podľa vývoja ľudského druhu, využili pri automatickej klasifikácii. Klasifikáciu farby dúhovky rozdelili nasledovne:

1. Svetlá farba očí

- **svetlé** (šedá, modrá, zelená)

- **svetlé zmiešané** (bledá farba s prítomnosťou tmavého pigmentu)

2. Zmiešaná farba očí – prítomnosť svetlého pigmentu (modrá, šedá, zelená) a hnedého pigmentu, kde sú oba v rovnakom pomere

3. Tmavá farba očí

- **tmavá** (hnedá až tmavohnedá)

- **tmavá zmiešaná** (tmavý pigment s prítomnosťou bledého pigmentu) [32]

Významnú zmenu v klasifikácii v roku 1990 urobil Seddon a jeho tím, ktorí vyvinuli „The Iris Colour Classification System“, kde porovnávali farbu dúhovky u ľudí so 4 fotografiami.

Autor grading systému	Kategorie farby dúhovky
Petrequin, 1843	1. šedá, 2. modrá, 3. lieskovo oriešková, 4. hnedá, 5. čierna
Martin, 1903	16 kategórií od tmavo hnedej (č.1) po modrú (č.16) porovnaných so sklenenými očami (obr.8)
Carleton Coon, 1939	1. svetlá (svetlá, svetlá zmiešaná), 2. zmiešaná, 3. (tmavá, zmiešaná tmavá)
Seddon, 1990	5 kategórií získaných porovnaním 4 fotografií

Tab. 1 Porovnanie 4 systémov na triedenie farby dúhovky

Ďalší systém klasifikácie priniesol technologický rozvoj. Jedna z prvých automatických techník bola objektívna technika založená na spektrofotometrickom meraní melanínu dúhovky. Štúdie ukázali, že modré dúhovky majú okolo pupily tmavý prstenec a na pohľad bledé dúhovky sú zmiešané, čiže obsahujú tmavý a bledý pigment.



Obr. 24 Príklad dúhoviek, kde v prvom stĺpci sú dúhovky bez pupilárneho prstenca a v druhom stĺpci s pupilárnym prstencom [25]

Medzi objektívne metódy patrí Edwardov štandardizovaný chromatický systém, kde analyzoval 3 kvantitatívne parametre na fotografiách dúhovky s vysokým rozlíšením. Takamoto vyvinul automatický systém analýzy farby dúhovky, ktorý meria

chromatickú hustotu, tmavé a bledé segmenty na prednej strane dúhovky na fotografiách dúhovky s vysokým rozlíšením. Medina vytvoril systém pri ktorom sa meria odrazové spektrum ľudskej dúhovky v porovnaní s fotografiami vo vysokom rozlíšení.

V roku 2013 bol vyvinutý špeciálny software pod názvom „Digital Iris Analysis Tool (DIAT)“. Jeho úlohou je spočítať množstvo modrých a hnedých pixelov na fotografiách dúhovky a vypočítať skóre farby dúhovky, takzvané „Pixel Index Score“. [30]

4 Súvislosť veľkosti zrenice, farby dúhovky a refrakčnej vady

Ako bolo už uvedené v predošlých kapitolách sympatický a parasympatický systém ovplyvňujú veľkosť zrenice (kap. 1.3.5) a produkciu melanínu v melanozómoch ovplyvňuje sympatický systém (kap. 3.1). Veľkosť zrenice pravdepodobne súvisí s farbou dúhovky, túto súvislosť naznačuje štúdia [23], ale priamo k tejto problematike neboli dohľadane zodpovedajúce štúdie. Taktiež môže farba dúhovky súvisieť s refrakčnou vadou, čo v prípade myopickej vady podporujú výsledky štúdie [22] a možnú súvislosť naznačujú tiež výsledky štúdie [23]. Veľkosť zrenice taktiež môže súvisieť s veľkosťou a typom refrakčnej vady, vzhľadom k možnému vplyvu refrakcie na akomodáciu a vplyvu akomodácie na veľkosť zrenice (viď kapitola 2). Niektoré z realizovaných štúdií túto súvislosť potvrdzujú [33, 34, 35] a naopak niektoré vzťah nepreukázali [36, 37]. Bližší rozbor bude uvedený v diskusii v nadväznosti na zrealizovaný výskum v rámci experimentálnej časti tejto práce (kapitola 5). Nižšie je uvedený podrobnejší rozbor jednotlivých zahraničných štúdií.

4.1 Vplyv refrakčnej vady na veľkosť zrenice

Zahraničný výskum „The relationship between pupil size and refractive error“ [33] autorov A. B. Osaiywu a G. N. Atuanay sa zaoberal efektom veku, pohlavia a refrakčnou vadou na veľkosť zrenice. Výskumu sa zúčastnilo 600 pacientov vo veku 10-65 rokov z toho 400 ametropov a 200 emetropov. Veľkosť zrenice bola zmeraná za slabého a okolitého svetla, pričom mal pacient obe oči otvorené. Pacient sledoval písmeno o víze 6/60 na Snellovom optotype. Baterka bola umiestnená na temporálnej strane pacientovho oka a pravítko na meranie veľkosti zrenice bolo umiestnené pred okom. Následne bola veľkosť odčítaná a odhadnutá na pol milimetra. Pacient bol inštruovaný, aby mal obe oči otvorené. Použitá bola statická retinoskopia na zistenie veľkosti refrakčnej vady. Figuranti boli rozdelení podľa sférického ekvivalentu na emetropov (-0,5 DS až +0,5 DS) hypermetropov (+0,75 a viac) a myopov (-0,75 a viac). Pri vyhodnotení bolo použité len pravé oko, aby nedochádzalo k duplikácii výsledkov. Rozdiel vo veľkosti zrenice medzi emetropmi, myopmi a hypermetropmi bol štatistický významný. Bolo zistené, že najväčšiu zrenicu majú myopovia (v priemere 3,44 mm), strednú veľkosť emetropovia (3,08 mm) a najmenšiu hypermetropovia (2,64 mm). Podobne vyzeral rozdiel v priemere zreničky pri slabom

osvetlení, kde sa opäť ukázalo, že myopovia majú väčšiu zreničku (5,27 mm), potom nasledujú emetropovia (4,73 mm) a konečne hypermetropovia (4,10 mm). Taktiež z výskumu vyplynulo, že súvislosť medzi vekom a veľkosťou zrenice je štatisticky významný, ale pohlavie na veľkosť zrenice nemá vplyv.

Vplyv refrakčnej vady na veľkosti zrenice za mezopických podmienok overovali Hasan Basri Cakmark, Nurullah Cagil a kolektív [34]. Štúdie sa zúčastnilo 412 kandidátov na refrakčnú operáciu vo veku 18-61 rokov. Dáta použité vo výskume pochádzali z vyšetrení pred operačným zákrokom a zahŕňali vízus s korekciou a bez korekcie, sférickú refrakciu, cykloplegickú refrakciu, pachymetriu, rohovkovú topografiu, wavefront analýzu a vyšetrenie predného segmentu na štrbinovej lampe. Vzťah medzi SE a veľkosťou zrenice bol štatisticky významný. Avšak rozdiel vo veľkosti zrenice medzi hypermetropickým a astigmatickým okom a myopickým a astigmatickým okom nebola štatisticky významná. Myopovia mali väčšiu zrenicu ako hypermetropovia a taktiež sa ukázalo, že myopovia majú väčšiu axiálnu dĺžku a hĺbku prednej komory.

Štúdia s názvom „The Effects of age, refractive status and luminance on pupil size“ [35] sa zúčastnilo 304 figurantov vo veku 18 - 78 rokov. Veľkosť objektívnej refrakčnej vady bola zistená pomocou auto-refraktometra značky Nidek. Veľkosť subjektívnej refrakčnej vady bola zmeraná metódou najlepšej sféry, skrížených cylindrov a binokulárnym vyvážením pomocou Humphrissovej metódy. Zistilo sa, že vek je významný faktor ovplyvňujúci veľkosť zrenice. Menšia veľkosť zrenice sa vyskytuje u hypermetropických očí, väčšia veľkosť zrenice u myopických očí a mladších ľudí, aj keď refrakčná vada samostatne nie je významným faktorom. Avšak existuje významná súvislosť medzi osvetlením a refrakčnou vadou s veľkými rozdielmi vo veľkosti zrenice medzi myopmi a hypermetropmi za nižšieho osvetlenia.

Ronald Jones sa zaoberal otázkou, či majú ženy a myopovia väčšiu zrenicu. Štúdie s názvom „Do women and myopes larger pupils?“ [36] sa zúčastnilo 48 probandov vo veku 18-26 rokov s normálnym binokulárnym videním. Refrakčná vada bola zmeraná auto-refraktometrom, alebo bola premeraná korekčnou pomôckou na fokometri. Figurantov bolo 48, konkrétne myopovia (-1,5 D až -3,5 D) a emetropovia (+0,75 D až -0,25 D). V skupine bol vyvážený vek, refrakčná vada a pohlavie. Zhromažďovanie údajov prebehlo na základe počítačom kontrolovaných meraní, kde odpoveď zrenice bola meraná počas akomodácie a konvergencie. Subjekty fixovali 3 min. prezentovaný stimul a pred začiatkom prezentácie boli upozornení tónom, takže mrknutie bolo

eliminované. Doba merania bola 60 s. Každé meranie bolo opakované a výsledky z oddelených pokusov boli spriemerované. Dospeli k záveru, že nie je štatisticky významný rozdiel vo veľkosti zrenice medzi myopickými a emetropickými očami a taktiež ani medzi ženami a mužmi.

Janis. B. Orr, Dirk Seidel a kolektív sa zaoberali výskumom vplyvu veľkosti zrenice na refrakčnú vadu [37]. Výskumu sa zúčastnilo 60 emetropov, myopov a hypermetropov vo veku 18-35 rokov. Refrakčná vada bola zistená pomocou retinoskopie po cykloplégii. Meranie prebehlo na pravom oku, ľavé bolo počas merania zakryté. Experiment prebehol za rôzneho osvetlenia, a to s korekciou pomocou 1 dennej kontaktnej šošovky a bez korekcie. Veľkosť zrenice bola zmeraná pomocou PowerRefractora II od firmy Plus Optix. Zistilo sa, že v skupine s refrakčnou vadou od 0-3 D nie je významný rozdiel vo veľkosti zrenice. Veľkosť zrenice poklesla s rastúcim osvetlením. Nenašla sa súvislosť medzi akomodačnou odozvou a veľkosťou zrenice, alebo refrakčnou vadou v žiadnej skupine. Akomodačná odozva však bola lepšia u hypermetropickej skupiny ako u myopickej skupiny za všetkých svetelných podmienok, konkrétne na blízko. Akomodačná odozva v myopickej skupine nesúvisela s refrakčnou vadou alebo veľkosťou zrenice, naopak u hypermetropického oka akomodačná odozva významne súvisela s refrakčnou vadou, ale nie s veľkosťou zrenice.

4.2 Vplyv farby dúhovky na refrakčnú vadu a očné ochorenie

Zatiaľ čo predošlých 5 výskumov sa venovalo problematike vplyvu refrakčnej vady, pohlavia, veku na veľkosť zrenice, Chen-Wein Pan, Qin-Xiao Qiu a kolektív zisťovali vplyv farby dúhovky, pričom sa konkrétne zamerali na myopické oči. Ich štúdie s názvom „Iris colour in relation to myopia among Chinese school-aged children“ [22] sa zúčastnilo 2346 detí vo veku 13-14 rokov, z toho 1213 chlapcov a 1133 dievčat. Na vyhodnotenie farby dúhovky použili fotografie zo štrbinovej lampy a vyhodnotili ich na základe iris grading systému (čím vyšší stupeň, tým tmavšia dúhovka). Refrakčné vady boli zmerané po cykloplégii pomocou auto-refraktometra a na prístroji iol-master odmerali axiálnu dĺžku oka. Z celkového počtu zúčastnených u 693 detí ($SE < -0,5 D$), bola zistená vyššia prevalencia myopie u dievčat ako u chlapcov a taktiež sa zistilo, že tmavá farba dúhovky je spojená s vyššou hodnotou myopie a väčšou axiálnou dĺžkou oka.

Zatiaľ čo predošlá štúdia sa zaoberala súvislosťou refrakčnej vady a farby dúhovky, Hassan Hashemi skúmal rozloženie farby dúhovky v Iránskej populácii a spojitosť farby dúhovky s očným ochorením [23]. Do štúdie bolo zahrnutých 3314 ľudí. Na vyšetrenie nekorigovanej zrakovkej ostrosti bol použitý Snellov optotyp na 6 m a u detí mladších ako 5 rokov boli použité Lea symbols na 5 m. Objektívna refrakcia bola zameraná bez cykloplégie pomocou autorefraktometra značky Nidek, vyšetrení absolvovali biomikroskopiu a meranie na Pentacame. Zistilo sa, že najväčšie zastúpenie má tmavo hnedá farba dúhovky a menej zastúpená je modrá farba. U ľudí s tmavou farbou dúhovky je hlbšia predná komora ako u ľudí s modrou a zelenou dúhovkou. U modrých dúhoviek je v porovnaní s ostatnými farbami menšia hĺbka prednej komory. Taktiež hodnota keratometrie bola u tmavo hnedej dúhovky vyššia v porovnaní s tmavou dúhovkou. Rozdiel bol aj pri priemere zrenice, ukázalo sa, že tmavé dúhovky majú menší priemer zrenice ako svetlo hnedé a tmavo hnedé dúhovky.

Štúdia taktiež analyzovala spojitosť očného ochorenia a farby dúhovky. Dospeli k záveru, že tmavo hnedé oči majú väčší predpoklad mať kataraktu, ako ostatné typy farieb. Šanca výskytu astigmatizmu je u svetlo hnedej, zelenej a modrej dúhovky, zatiaľ čo vyšší výskyt myopie je u ľudí so zelenou farbou dúhovky a hypermetropie u ľudí s modrou farbou dúhovky.

5 Experimentálne overenie súvislosti refrakčnej vady, veľkosti zrenice a farby dúhovky

Cieľom praktickej časti bolo overiť, či existuje vzájomná súvislosť medzi veľkosťou zrenice, refrakčnou vadou a farbou dúhovky. Rada štúdií [33, 34, 35] poukazuje na to, že myopické oko má širšiu zrenicu ako hypermetropické, avšak jedna štúdia [36] uviedla, že nie je štatisticky významný rozdiel vo veľkosti zrenice medzi myopom a emetropom. Štúdia [23] naznačila súvislosť farby dúhovky a veľkosti zrenice, ale štúdie, ktoré by sa danou problematikou zaoberali neboli dohľadané. Súvislosťou refrakčnej vady a farby dúhovky sa zaoberala štúdia [22], ktorá uviedla, že tmavá farba dúhovky je spojená s vyššou myopiou. Rešerše jednotlivých štúdií zaoberajúcich sa danými súvislosťami sú uvedené v kapitole 4 Vplyv veľkosti zrenice a farby dúhovky na refrakčnú vadu. Na základe výsledkov jednotlivých štúdií sme predpokladali, že refrakčná vada, veľkosť zrenice a farba dúhovky vzájomne súvisia.

Ďalej bol sledovaný tiež vplyv pohlavia a priemeru rohovky na sledované parametre.

5.1 Štatistický súbor a metodika

Výskumnej štúdie sa zúčastnilo 59 osôb, z toho 14 mužov a 45 žien vo veku 20-29 rokov. Výskumu sa mohli zúčastniť osoby nad 18 rokov, bez očných abnormalít (porucha zrenicových reakcií, anisokória...), emetropovia (bez refrakčnej-dioptrickej vady), ametropovia (s refrakčnou vadou - myopia, hypermetropia). Pokiaľ bol figurant nositeľom kontaktných šošoviek, mal prísť na meranie bez nich. Pred samotným meraním bol figurant poučený o možných rizikách, oboznámený s priebehom celého merania a na základe toho podpísal informovaný súhlas.

5.2 Metodika

Meranie prebiehalo v laboratóriu na Katedre Optiky Univerzity Palackého v Olomouci. Všetkým figurantom bol najprv odmeraný priemer zrenice, rohovky a objektívna refrakcia. Ďalej nasledovalo meranie subjektívnej refrakcie a subjektívne sa vyhodnotila farba ich dúhovky. U každého subjektu boli vždy premerané a následne vyhodnotené obidve oči. Výsledná refrakcia bola pre účely ďalšej analýzy prepočítaná na sférický ekvivalent. Každé meranie prebehlo za rovnakých svetelných podmienok, okná boli zastreté a všetky svetlá v laboratóriu rozsvietené, aby boli dosiahnuté

podmienky obvyklého denného osvetlenia. Meranie trvalo približne 30 min, dĺžka merania závisela od veľkosti refrakčnej vady.

Objektívna refrakcia bola stanovená na autorefrakto-kerato-tonometri RKT 7700 značky Nidek (obr. 25). Na prístroji bol taktiež zmeraný priemer zrenice a rohovky. Objektívna refrakcia bola zmeraná po kroku 0,25 D. Na zistenie veľkosti zrenice a rohovky bolo použité špeciálne nastavenie prístroja, čo môžeme vidieť na obr. 26 a obr. 27. Pri meraní bolo vždy zapnuté interné osvetlenie oka prístrojom. Prístroj bol voči vonkajším svetelným zdrojom vždy rovnako orientovaný. Bol zisťovaný len horizontálny priemer rohovky a zrenice. Ich okraje boli pomocou ovládacích prvkov prístroja vyznačené ručne na snímku sledovaného oka (podrobný postup vid' [38]). Meranie prebiehalo s presnosťou 0,5 mm. Výsledné hodnoty boli vytlačené (obr. 28) a zaznamenané do protokolu (tab. č. 3).



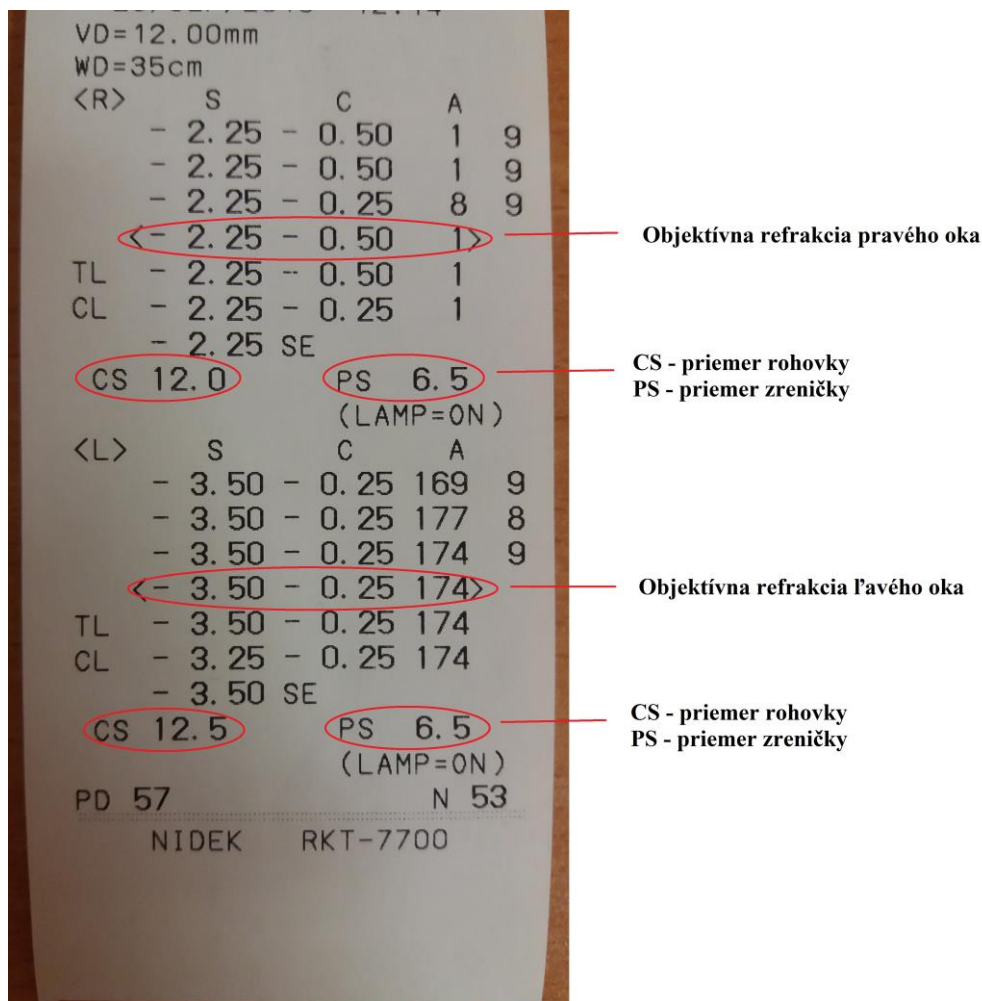
Obr. 25 Autorefrakto-kerato-tonometer RKT 7700 značky Nidek



Obr. 26 Nastavenie prístroja na zmeranie priemeru rohovky



Obr. 27 Nastavenie prístroja na zmeranie priemeru zrenice



Obr. 28 Výsledok vyšetrenia z autorefrakto-kerato-tonometra značky Nidek RKT-7700

Meranie subjektívnej refrakcie

Subjektívna refrakcia bola určená pre obe oči metódou najlepšej sféry a skrížených cylindrov. Následne bolo urobené binokulárne vyváženie a binokulárne sférické dokorigovanie pre vylúčenie nežiaducej akomodácie. Refrakcia bola vyšetovaná s krokom 0,25 D. Optotypy (British letters) boli prezentované na LCD optotype (obr. 29), skúšobná obruba bola nastavená na vzdialenosť 12 mm od oka. Optická vyšetrovacia vzdialenosť bola 6 m (pozorovanie cez zrkadlo).



Obr. 29 Stanovište použité na meranie subjektívnej refrakcie

Subjektívne odčítanie farby dúhovky na štrbinovej lampe

Na záver bola na štrbinovej lampe (obr. 30) pomocou zväčšenia a difúzneho osvetlenia subjektívne zistená farba dúhovky oboch očí a vyhodnotená pomocou špeciálnej tabuľky (tab. 2) v súlade s metodikou Carletona Cona popísanou v kapitole 3.3.1. Pre štatistickú analýzu boli všetky dúhovky rozdelené len do 3 skupín (bledá, zmiešaná, tmavá), ako je prezentované v tab. 2 a ako bolo použité v článku [32].



Obr. 30 Štrbinová lampa

Grading farby dúhovky				
1. Bledá farba dúhovky		2. Zmiešaná farba dúhovky	3. Tmavá farba dúhovky	
Svetlá farba	Svetlá zmiešaná farba	Zmiešaná svetlá farba (šedá/modrá/zelená) s hnedým pigmentom, kde sú oba v rovnakom pomere	Tmavá farba	Tmavá zmiešaná farba
šedá/modrá/zelená	Svetlá farba s hnedým pigmentom		Hnedá až tmavohnedá	Hnedá s prítomnosťou bledého pigmentu

Tab. 2 Grading farby dúhovky podľa Carletona Cona [32]; pôvodná klasifikácia je pre účely tejto práce zjednodušená na 3 skupiny – bledá, zmiešaná a tmavá.

Výsledky boli zaznamenané do špeciálneho protokolu (tab. 3) a v prípade číselných hodnôt finálne prezentované vo forme priemerných hodnôt a smerodatných odchýlok. Vplyv farby a pohlavia na refrakciu oka, prípadne na veľkosť zrenice bol vyhodnotený metódou faktorová ANOVA na hladine významnosti 5 %. Pre prehľad je tiež uvedená medzná hladina významnosti p , pri ktorej by práve došlo k zamietnutiu hypotézy o vplyve sledovaného faktoru. Vzájomné vzťahy medzi veľkosťou zrenice, refrakčnou vadou a priemerom rohovky boli hodnotené pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu r , pričom jeho nenulovosť bola hodnotená pomocou t-testu na hladine významnosti 5 %.

Poradové číslo figuranta:

Dátum merania:

Vek:

Nosí/nenosí korekciu

Pravé oko			Ľavé oko		
Objektívna refrakcia (SE)					
Priemer zrenice	Priemer rohovky	Farba dúhovky	Priemer zrenice	Priemer rohovky	Farba dúhovky
Subjektívna refrakcia (NS)					
Vrcholová vzdialenosť (d)					

Tab. 3 Protokol na záznam z merania (SE - sférický ekvivalent, NS - najlepšia sféra)

5.3 Výsledky

Výsledné priemerné hodnoty objektívneho a subjektívneho sférického refrakčného ekvivalentu (ďalej zjednodušene označované ako objektívna a subjektívna refrakcia) a ich smerodátne odchýlky sú prezentované v tab. 4 spolu s priemermi a smerodatnými odchýlkami priemerov zrenice a rohovky. Výskyt jednotlivých farieb dúhovky vo vzorke charakterizuje tab. 5. Z tabuľky vyplýva, že najviac zastúpená je v danej vzorke populácie bledá farba dúhovky, ďalej zmiešaná farba dúhovky a najmenej zastúpená je tmavá farba dúhovky.

	Objektívna refrakcia			Subjektívna refrakcia			Šírka	
	sph/D	cyl/D	SE/D	sph/D	cyl/D	SE/D	zrenice/mm	rohovky/mm
priemer	-1,04	-0,584	-1,34	-1,14	-0,37	-1,37	6,1	12,0
smer. odch.	2,0	0,55	2,0	2,1	0,41	2,1	0,8	0,4
medián	-0,63	-0,50	-0,8	-0,5	-0,25	-0,7	6,0	12,0
min	-7,75	-3,00	-8,4	-9,00	-2,00	-9,0	4,5	11,0
max	3,75	0,00	3,25	3,25	0,00	3,1	8,0	13,0

Tab. 4 Priemerné hodnoty, smerodátne odchýlky, mediány, minimálne a maximálne hodnoty objektívnej, subjektívnej refrakcie, šírky zrenice a rohovky

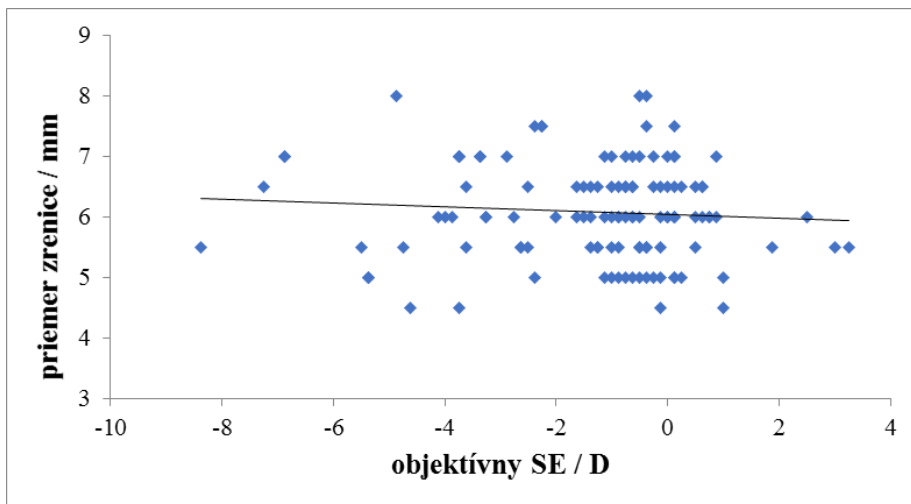
Farba dúhovky	Bledá (A)	Zmiešaná (B)	Tmavá (C)
Počet dúhoviek	55	34	29

Tab. 5 Výskyt jednotlivých farieb dúhovky v danej vzorke figurantov

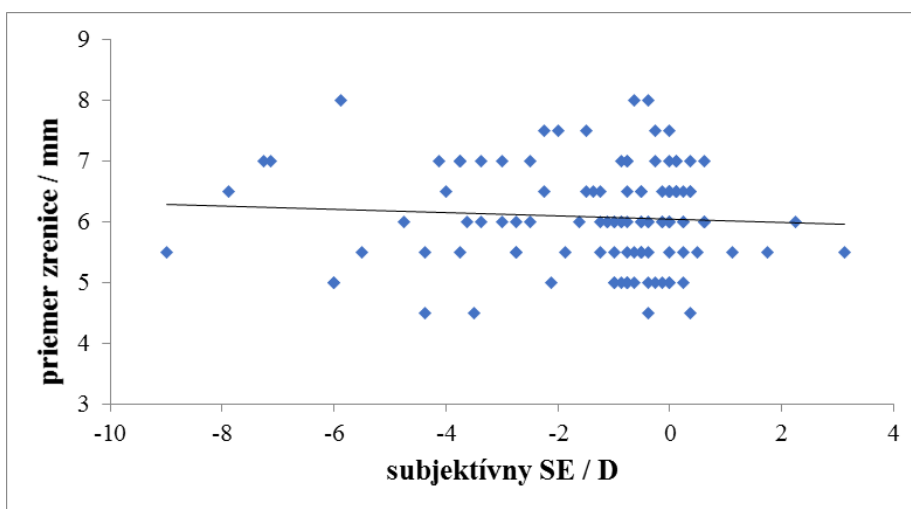
Dvojfaktorová ANOVA (faktory farba dúhovky a pohlavie) nepreukázali štatisticky významný vplyv uvedených faktorov ani ich interakcia na objektívnu

(po rade $p = 0,15$, $p = 0,35$, $p = 0,32$) ani subjektívnu refrakciu (po rade $p = 0,35$, $p = 0,46$, $p = 0,79$). Ďalšia samostatne urobená ANOVA vplyvu týchto faktorov na veľkosť zrenice preukázala vplyv pohlavia ($p = 0,00005$), pričom u mužov bola zistená ich priemerná veľkosť 5,5 mm so smerodatnou odchýlkou 0,6 mm, u žien 6,3 mm so smerodatnou odchýlkou 0,8 mm. Vplyv farby nebol štatisticky významný ($p = 0,56$) rovnako ako interakcia farby a pohlavia ($p = 0,38$).

Vzťah medzi veľkosťou zrenice a refrakčnou vadou je zachytený na obr. 31 pre objektívnu a na obr. 32 pre subjektívnu refrakciu. Preložená priamka v oboch prípadoch naznačuje, že čím je vada viac myopická, tým je zrenica širšia, tento vzťah sa však javí veľmi slabý. Korelačné koeficienty boli v oboch prípadoch veľmi malé a štatisticky nevýznamné ($r = -0,080$ pre objektívnu refrakciu a $r = -0,067$ pre subjektívnu refrakciu).

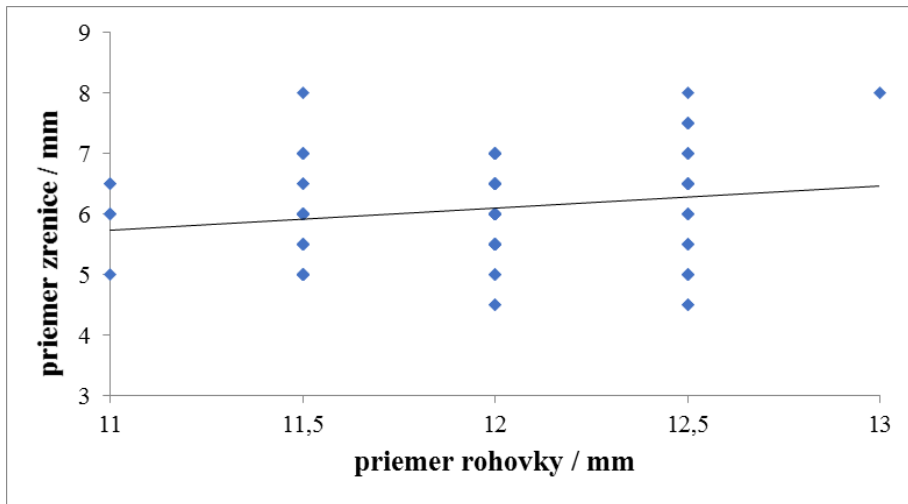


Obr. 31 Graf závislosti objektívnej refrakcie a priemeru zrenice

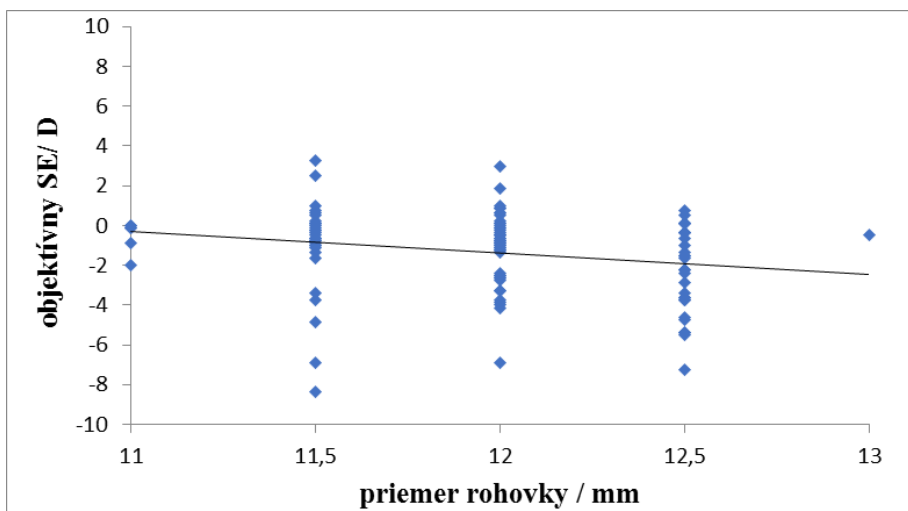


Obr. 32 Graf závislosti subjektívnej refrakcie a priemeru zrenice

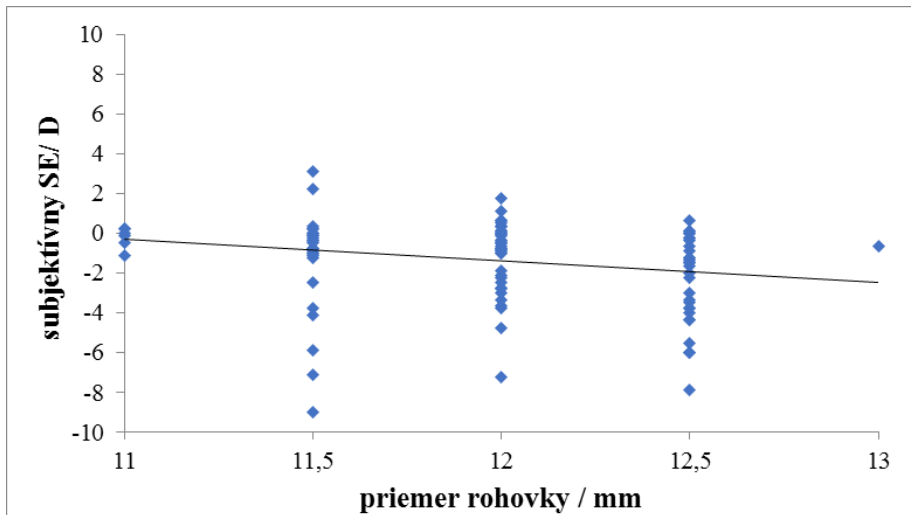
Významná korelácia sa našla medzi priemerom rohovky a veľkosťou zrenice ($r = 0,200$; čím väčší priemer rohovky, tým väčšia zrenica) a medzi priemerom rohovky a refrakčnou vadou ($r = -0,232$ pre objektívnu a $r = -0,226$ pre subjektívnu refrakciu; viac myopické oči majú väčší priemer rohovky). Graficky sú tieto závislosti zobrazené na obr. 33, 34 a 35.



Obr. 33 Graf závislosti veľkosti zrenice a priemeru rohovky



Obr. 34 Graf závislosti priemeru rohovky na objektívnej refrakcii



Obr. 35 Graf závislosti priemeru rohovky na subjektívnej refrakcii

5.4 Diskusia

Z výskumu vyplýva, že farba dúhovky a pohlavie nemajú významný vplyv na objektívnu ani na subjektívnu refrakciu. Taktiež sa ukázal vplyv pohlavia na veľkosť zrenice, zistilo sa, že ženy majú väčšiu zrenicu ako muži, ale vplyv farby dúhovky na veľkosť zrenice sa nepreukázal. Z obr. 31 a obr. 32 vyplynul náznak, že čím je oko myopickejšie, tým má väčšiu zrenicu, ale vzhľadom k slabým korelačným koeficientom vzťah medzi veľkosťou zrenice a refrakčnou vadou nie je štatisticky významný. Sledovaný bol aj vzťah medzi priemerom rohovky a veľkosťou zrenice, kde sa ukázalo, že čím je väčší priemer rohovky, tým je väčší priemer zrenice. Vzťah medzi priemerom rohovky a refrakčnou vadou sa prejavil tiež ako štatisticky významný. Zistilo sa, že čím je vada viac myopická, tým je priemer rohovky väčší.

V porovnaní s ostatnými štúdiami, ktoré sa zaoberali súvislosťou refrakčnej vady a veľkosťou zrenice sme v súlade so štúdiami [36] a [37]. Obe štúdie preukázali, že refrakčná vada nesúvisí s veľkosťou zrenice, mali nižší počet figurantov a homogénny vek v sledovanej vzorke. Naopak iné výsledky udávajú štúdie [33], [34] a [35], ktoré uvádzajú, že myopia majú väčšiu zrenicu ako hypermetropovia. Štúdie majú väčšie vekové rozpätie 10-65 rokov [33], 18-61 rokov [34] a 18-78 [35]. Štúdia [35] sa na rozdiel od ostatných zhoduje s našim postupom merania objektívnej a subjektívnej refrakcie a uviedla, že refrakčná vada samotná nie je významným faktorom ovplyvňujúcim veľkosť zrenice. Z uvedeného vyplýva, že pokiaľ závislosť je, bude veľmi slabá a pre jej potvrdenie, či vyvrátenie s dostatočnou silou testu by bola

potrebná výrazne väčšia vzorka, rádovo stovky figurantov, čo zodpovedá štúdiám [33], [34] a [35].

Závislosť priemeru rohovky súvisí pravdepodobne s veľkosťou oka. Všeobecne platí, že myopické oko má väčšiu axiálnu dĺžku ako hypermetropické a pravdepodobne má aj väčší priemer rohovky. Štúdia [39] uviedla, že nie je významná korelácia medzi priemerom rohovky a SE. Zha a spol. [40] tvrdia, že myopické oči s refrakčnou vadou $-3D$ a menej majú menší priemer rohovky a Martin a spol. [41] uviedli, že u očí so strednou myopickou vadou ($6 D - 12 D$) a vyššou myopiou ($> 12 D$) je menší priemer rohovky ako u očí s vadou ($< 6 D$). Naopak štúdia [42] zistila, že priemer rohovky klesá s hypermetropickou vadou a narastá s myopickou vadou, čo sa zhoduje s výsledkami experimentu.

Súvislosť pohlavia a veľkosti zrenice sa ukázal štatisticky významný, priemerný rozdiel ($0,8 \text{ mm}$) je mierne za úroveň ($0,5 \text{ mm}$). Výsledky môžu byť mierne skreslené výrazne väčším počtom žien v skúmanej vzorke oproti mužom. Taktiež môže byť príčinou vyššia hladina adrenalínu u žien. Zo štúdií [33] a [36], ktoré sa danou súvislosťou zaoberali vyplynulo, že pohlavie na veľkosť zrenice nemá, ale len štúdia [36] mala pohlavie rovnomerne rozložené v skúmanej vzorke v porovnaní so štúdiou [33] (280 mužov, 320 žien), preto sa nedá s určitosťou povedať, či má pohlavie na daný parameter vplyv.

Vplyv farby dúhovky na refrakčnú vadu sa nepreukázal, naopak štúdia [22] zistila, že vyššia myopická vada súvisí s tmavou farbou dúhovky. Štúdia zahrnula 693 myopov čínskeho pôvodu vo veku $13-14$ rokov. Ďalšia štúdia [23] naznačila, že zelená farba dúhovky je spojená s myopiou a modrá farba dúhovky s hypermetropiou. Zahrnula 3314 subjektov Iránskej populácie. Z uvedeného vyplýva, že výsledky mohla ovplyvniť veľkosť vzorky. V porovnaní s experimentom boli štúdie rozsiahlejšie, taktiež s najväčšou pravdepodobnosťou farbu dúhovky ovplyvňuje dedičnosť (3.2 dedičnosť farby dúhovky).

Záver

Teoretická časť práce popisuje anatómiu vybraných očných štruktúr, refrakčné vady (myopiu, hypermetropiu), akomodáciu a autonómny nervový systém pre lepšie pochopenie daných súvislostí, ktoré sa následne overovali v experimentálnej časti práce. Neoddeliteľnou súčasťou práce je kapitola venovaná farbe dúhovky a klasifikácií farby dúhovky. Samostatnú kapitolu tvoria rešerše zahraničných výskumov zaoberajúcich sa súvislosťou refrakčnej vady a veľkosti zrenice a súvislosťou refrakčnej vady a farby dúhovky.

Experimentálna časť sa zaoberala overením vyššie uvedených súvislostí. Figuranti najprv podstúpili meranie priemeru zrenice, rohovky a objektívnej refrakcie na auto-kerato-refraktometri značky Nidek. Veľkosť subjektívnej refrakcie bola stanovená pomocou klasického optotypu, skúšobnej obruby a nakoniec bola figurantom subjektívne odčítaná farba dúhovky pri pozorovaní predného segmentu oka na štrbinovej lampe a pomocou špeciálnej tabuľky.

Z experimentu vyplynulo, že najviac zastúpená je bledá farba dúhovky, potom zmiešaná farba dúhovky a najmenej tmavá farba dúhovky v danej vzorke. Súvislosť refrakčnej vady, ktorá zahŕňala subjektívnu a objektívnu refrakciu a veľkosti zrenice nebola štatisticky významná, korelácia naznačuje veľmi slabú negatívnu závislosť. To odpovedá výsledkom niektorých štúdií, zahŕňajúcich rádovo väčší počet figurantov. Pokiaľ tento vzťah existuje, bude veľmi slabý. Taktiež ani súvislosť refrakčnej vady a farby dúhovky nebola významná. Ukázal sa významný vplyv pohlavia na veľkosť zrenice, ženy mali väčší priemer zrenice ako muži. Významné korelácie sa našli medzi priemerom rohovky a zrenice a taktiež priemerom rohovky a refrakčnou vadou.

Použitá literatura

- [1] ROZSÍVAL, P. et al. Oční lékařství. Praha: Galén Karolinum, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [2] ČIHÁK, R. Anatomie 3. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [3] AUTRATA, R.; ČERNÁ, J. Nauka o zraku. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [4] THIEME PUBLISHING GROUP. www.eref.thieme.de [online]. © 2014-2018 [cit. 24.10.2018]. Dostupné z: <https://eref.thieme.de/cockpits/clAna0001/0/coAna00080/4-10039>
- [5] KVAPILÍKOVÁ, K. Anatomie a embryologie oka. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [6] HORNOVÁ, J. Oční propedeutika. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [7] KVAPILÍKOVÁ, K. Vyšetřování oka. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1995. ISBN 80-7013-195-0.
- [8] OTRADOVEC, J. Klinická neurooftalmologie. Praha: Grada, 2003. ISBN 8024702800.
- [9] POLÁŠEK, J. Technický sborník oční optiky, Praha: Oční optika n.p., 1974.
- [10] TUNANNCLIFFE, A.H. Introduction to visual optics, England: ABDO College, 1993. ISBN 0 9009 928 3.
- [11] SCHWARTZ, H.S. Geometrical and visual optics. USA: Medical Publishing Division, 2002. ISBN 0-07-137415-9.
- [12] NEOHEALTH S.R.O. <https://lekar.pluska.sk/> [online]. © 2018 [cit. 31.10.2018]. Dostupné z: <https://lekar.pluska.sk/clanky/nerovnaka-velkost-zrenic>
- [13] ČESKÁ ONKOLOGICKÁ SPOLEČNOST ČLS JEP. www.linkos.cz [online]. © 2018 [cit. 31.10.2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/patient-a-rodina/onkologicke-diagnozy/nadory-v-oblasti-oka/zlobne-nadory-oka-ocnice-vickek-a-slzne-zlazy/>
- [14] MLADÁ FRONTA A. S. www.zdravi.euro.cz [online]. © 2018 [cit. 31.10.2018]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/komplexni-pece-o-deti-s-sedym-zakalem-449187>
- [15] SILBERNAGL, S.; DESPOPOULUS, A. Atlas fyziologie člověka, 6. vydání, zcela přepracované a rozšířené. Praha: Grada publishing a.s., 2004. ISBN 80-247-0603-X.
- [16] ROKYTA, R. Fyziologie. Praha: ISV nakladatelství, 2008. ISBN 80-86642-47-X.

- [17] HOLIBKOVÁ, A.; LAICHMAN, S. Přehled anatomie člověka. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, 2010. ISBN 978-80-244-2615-0.
- [18] IWATA, Y.; HANDA, T. et al. *Effects of pupil dilatation on objective refraction*. Acta ophthalmologica, Vol. 94, 2016, No. 5, page 374-375.
- [19] ANTON, M. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [20] SYNEK, S.; SKORKOVSKÁ, Š. Fyziologie oka a vidění. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [21] BAŠTECKÝ, R. Praktická brýlová optika. Praha: R+H Optik, 1997.
- [22] PAN, Ch.; QIU, Q. et al. *Iris colour in relation to myopia among Chinese school-aged children*. Ophthalmic and physiological optics, Vol. 38, 2018, page 48-55.
- [23] HASHEMI, H.; PAKZAD, R. *Distribution of iris color and its association with ocular diseases in rural population of Iran*. Journal of current ophthalmology, 2018.
- [24] KIPROP, V. www.worldatlas.com [online]. © 2018 [13.11.2018] Dostupné z: <https://www.worldatlas.com/articles/which-eye-color-is-the-most-common-in-the-world.html>
- [25] STURM, R. A.; LARSSON M. *Genetics of human iris colour and patterns. Pigment cell and melanoma research*, Vol. 22, 2009, No. 5, page 544-562.
- [26] REDAKCE ČASOPISU. *Barva duhovky a její vznik, změny i zvláštnosti*. Česká oční optika, 2016, č. 2, str. 30-33, ISSN 1211-233X.
- [27] HEITING, G. www.allaboutvision.com [online]. © 2016 [cit. 13.11.2018] Dostupné z: <https://www.allaboutvision.com/conditions/heterochromia.htm>
- [28] WHITTEN LASER EYE. www.whittenlasereye.com [online]. © 2018 [cit. 13.11.2018] Dostupné z: <https://www.whittenlasereye.com/heterochromia/>
- [29] ACT FOR LIBRARIES. www.actforlibraries.org [online]. © 2017 [cit. 13.11.2018] Dostupné z: <http://www.actforlibraries.org/central-heterochromia/>
- [30] GRIGORE, M.; ALINA, A. *Iris colour classification scales – then and now*. Romanian Journal of Ophthalmology, Vol. 59, 2015, No. 1, page 29-33.
- [31] MACKEY, D.; WILKINSON, C. et. Al. *Classification of iris colour: review and retinement of classification schema*. Clinical and Experimental Ophthalmology, Vol. 39, 2011, page 462-471.
- [32] LODIN, A. *Automatic human iris color classification*. Proceedings of SPAMEC 2011. [online] © 2011 [cit. 9.10.2018]. Dostupné z: https://www.eurasip.org/Proceedings/Ext/SPAMEC2011/papers/SPAMEC_2011_VI_5.pdf

- [33] OSAIYUWU, A.B.; ATUANYA, G.N. *The relationship between pupil size and refractive error*. The nigerian journal of general practise, Vol. 12, 2014, No. 2, page 24-27.
- [34] CAKMAK, H.B.; CAGIL, N. et al. *Refractive error may influence mesopic pupil size*. *Current eye research*, Vol. 35, 2010, No. 2, page 130-136.
- [35] GUILLON, M.; DUMBLETON, K. et al. *The effects of age, refractive status and luminance on pupil size*. *Optometry and vision science*, Vol. 93, 2016, No. 9, page 1093-1100.
- [36] JONES, R. *Do women and myopes have larger pupils?* *Investigative ophthalmology and visual science*, Vol. 31, 1990, No. 7, page 1413-1415.
- [37] ORR, J. B.; SEIDEL, D. et al. *Is pupil diameter influenced by refractive error?* *Optometry and vision science*, Vol. 92, 2015, No. 7, page 834-840.
- [38] Návod k použití: Automatický refraktometr, keratometr a tonometr RKT-7700, Oculus s.r.o.
- [39] MASHIGE, K. P.; ODUNTAN, O. A. *Corneal parameters and their correlations with refractive error, axial length, anterior chamber depth and lens thickness in black South Africans*. *Int Eye Sci*, Vol. 17, 2017, No. 4, page 597-603.
- [40] ZHA, Y.; FENG, W. et al. *Evaluation of myopic corneal diameter with the Orbscan II Topography System*. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, Vol. 251, 2013, No. 2, page 537-541.
- [41] MARTIN, R.; ORTIZ, S. et al. *White to white corneal diameter differences in moderately and highly myopic eyes: partial coherence interferometry versus scanning – slit topography*. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, Vol. 39, 2013, No. 4, page 585-589.
- [42] HOSNY, M.; ALIO, J.L. et al. *Relationship between anterior chamber depth, refractive state, corneal diameter and axial length*. *Journal of Refractive Surgery*, Vol. 16, 2000, No. 3, page 336-340.