

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

ZMĚNA ASTIGMATICKÉ KOREKCE PŘI POHLEDU DO BLÍZKA

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Valerie Kučerová

Obor: N5345 OPTOMETRIE

Studijní rok: 2015/2016

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma Změna astigmatické korekce při pohledu do blízka vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 22. dubna 2016

.....

Bc. Valerie Kučerová

Poděkování

Touto cestou bych chtěla velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za poskytnutí rad a informací, cenných připomínek, vstřícný přístup, trpělivost a především také za jeho čas, který mi při psaní práce věnoval.

Dále bych chtěla poděkovat kolektivu Optiky Exclusiv, jež mi umožnil provedení tohoto výzkumu a také všem účastníkům praktického měření této práce.

V poslední řadě patří velký dík mé rodině, která mne při psaní mé diplomové práce a při celém studiu neustále plně podporovala.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PŘF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2016_015.

Obsah

Úvod.....	6
1 Astigmatismus.....	7
1.1 Charakteristika	7
1.2 Etiologie.....	7
1.3 Klasifikace.....	9
1.3.1 Pravidelný astigmatismus (regularis).....	10
1.3.2 Nepravidelný astigmatismus (irregularis).....	11
1.3.3 Celkový astigmatismus.....	12
1.4 Astigmatismus do blízka.....	13
2 Okohybné svaly a jejich pohyby.....	14
2.1 Okohybné svaly	14
2.2 Typy očních pohybů	15
2.3 Listingův zákon	18
3 Akomodace	20
3.1 Mechanismus akomodace	21
3.2 Akomodační teorie.....	21
3.3 Amplituda akomodace a akomodační interval	23
4 Presbyopie	25
4.1 Symptomy	25
4.2 Korekce presbyopie.....	26
5 Vyšetření astigmatismu a jeho korekce.....	28
5.1 Objektivní refrakce.....	28
5.1.1 Skiaskopie	28
5.1.2 Metody vyšetření měřící astigmatismus předního segmentu oka	30
5.1.3 Autorefraktometrie.....	32

5.2	Subjektivní refrakce.....	34
5.2.1	Metoda Jacksonových zkřížených cylindrů	35
5.2.2	Zamlžovací metoda	38
5.3	Korekce astigmatismu	40
5.3.1	Korekce astigmatismu brýlovými čočkami	40
5.3.2	Korekce astigmatismu kontaktními čočkami	41
5.3.3	Korekce astigmatismu chirurgickou cestou	41
6	Praktická část	42
6.1	Cíle výzkumu.....	42
6.2	Soubor účastníků a metodika.....	42
6.2.1	Vyšetřované osoby.....	42
6.2.2	Metodika měření	43
6.2.3	Metodika statistického vyhodnocování výsledků.....	46
6.3	Výsledky výzkumu	46
6.4	Diskuse	56
	Závěr	58
	Seznam použité literatury	59

Úvod

V dnešní moderní době, kdy chce snad skoro každý člověk vidět co nejlépe, se stále více hovoří o oční chybě zvané astigmatismus. Tato refrakční vada může být detekována již při vstupní objektivní refrakci nebo následně při subjektivním vyšetřování pacienta. Sám vyšetřovaný může astigmatismus při vidění postřehnout tak, že pozorovaný obraz nebude rozmazaný ve všech směrech stejně a bude mít kolem sebe stín. Řešením je pak korekce pomocí cylindrů, jež se vkládají před oko v určité ose. Astigmatismus se vyšetřuje do dálky pomocí speciálních testů, do blízka jeho hodnoty obvykle vyšetřovány nebývají. S korekcí astigmatismu do dálky se tedy člověk dívá i do blízka.

Teoretická část práce nejprve seznamuje čtenáře s pojmem astigmatismus, jakožto i s jeho etiologií a klasifikací. Běžné vyšetření u očního specialisty se provádí jak do dálky, tak na blízkou vzdálenost. Proto jsou v dalších kapitolách práce vysvětleny pojmy související s touto tematikou. Pokud se člověk podívá do blízka, dochází ke konvergenci, tedy k procesu, kdy se oči k sobě vzájemně stočí. Pohyby, které oči vykonávají v různých pohledových směrech, zajišťují okohybné svaly. Aby bylo vidění do blízka ostré, spolu s konvergencí dochází také k akomodaci. V případě, že člověk již není schopen zaostřit na blízkou vzdálenost, hovoří se o presbyopii. Špatná kvalita vidění do blízka u presbyopů se koriguje pomocí adice, která rozmazaný obraz vyostří. Poslední kapitola teoretické části se věnuje samotnému vyšetření astigmatismu, tedy subjektivní i objektivní refrakci, a jeho korekci.

Praktická část této diplomové práce se věnuje experimentálnímu vyhodnocení změny astigmatismu při pohledu do blízka u objektivní a subjektivní refrakce. Cílem práce je zjistit, zda a jak se objektivní refrakce liší od refrakce subjektivní a dále jak se liší hodnoty do dálky a do blízka zvlášť pro každou metodu vyšetření. V této části je také popsána skupina vyšetřovaných osob a metodika měření. V závěru práce jsou získané výsledky shrnuty a vyhodnoceny.

1 Astigmatismus

V případě sférické oční vady (myopie či hypermetropie) vzniká obraz před sítnicí nebo za ní. Myopii nebo hypermetropii řešíme pomocí sférické korekce tak, abychom ostrý obraz posunuli na sítnici. Oko však není vždy zcela pravidelné a vzniklý výsledný deformovaný vjem nelze plnohodnotně korigovat pomocí jednoohniskové korekce.

1.1 Charakteristika

Astigmatismus je refrakční chyba, při které paprsky rovnoběžně vstupující do oka nevytvoří v různých meridiánech ohnisko v téže rovině. Bod se tedy v tomto případě nezobrazí na sítnici jako bod, ale jako dvě na sebe kolmé úsečky (fokály). [1]

Astigmatismus se projevuje neschopností ostrého vidění do dálky i do blízka s nejlepší možnou sférickou korekcí. Lidé s astigmatismem při vyšetření popisují, že vidí písmena se stínem. U vyšších hodnot astigmatismu mohou vidět písmena dokonce dvojitě. Dalším problémem může být zhoršená čitelnost podobných znaků, jako jsou např. O, C, D, G nebo také H, N, K. Ve většině případů se ani jedna ohnisková linie nenachází na sítnici. Oko se pak snaží vlastním úsilím jednu z nich k sítnici alespoň přiblížit. K zaostření obrazu u astigmatismu může pomoci mhouření očí, čímž se eliminuje vertikální linie, a dále kompenzační náklon hlavy, který lze pozorovat u astigmatismu šikmých os (viz kapitola 1.3.1). [2]

1.2 Etiologie

Na vznik astigmatismu má vliv nepravidelné zakřivení rohovky, poloha čočky, transparentnost očních médií, dále oční tlak a tlak víček na oko. Můžeme jej rozdělit na astigmatismus fyziologický a nefyziologický (získaný). [2, 3]

V 90 % případů se astigmatismus vyskytuje již po narození. Tato fyziologická vada bývá způsobena rozdílnou lomivostí a zakřivením rohovky ve vertikálním a horizontálním směru přibližně o 0,5 D až 0,75 D. Fyziologický astigmatismus způsobený nepravidelností rohovky je většinou z části kompenzován čočkovým či sítnicovým

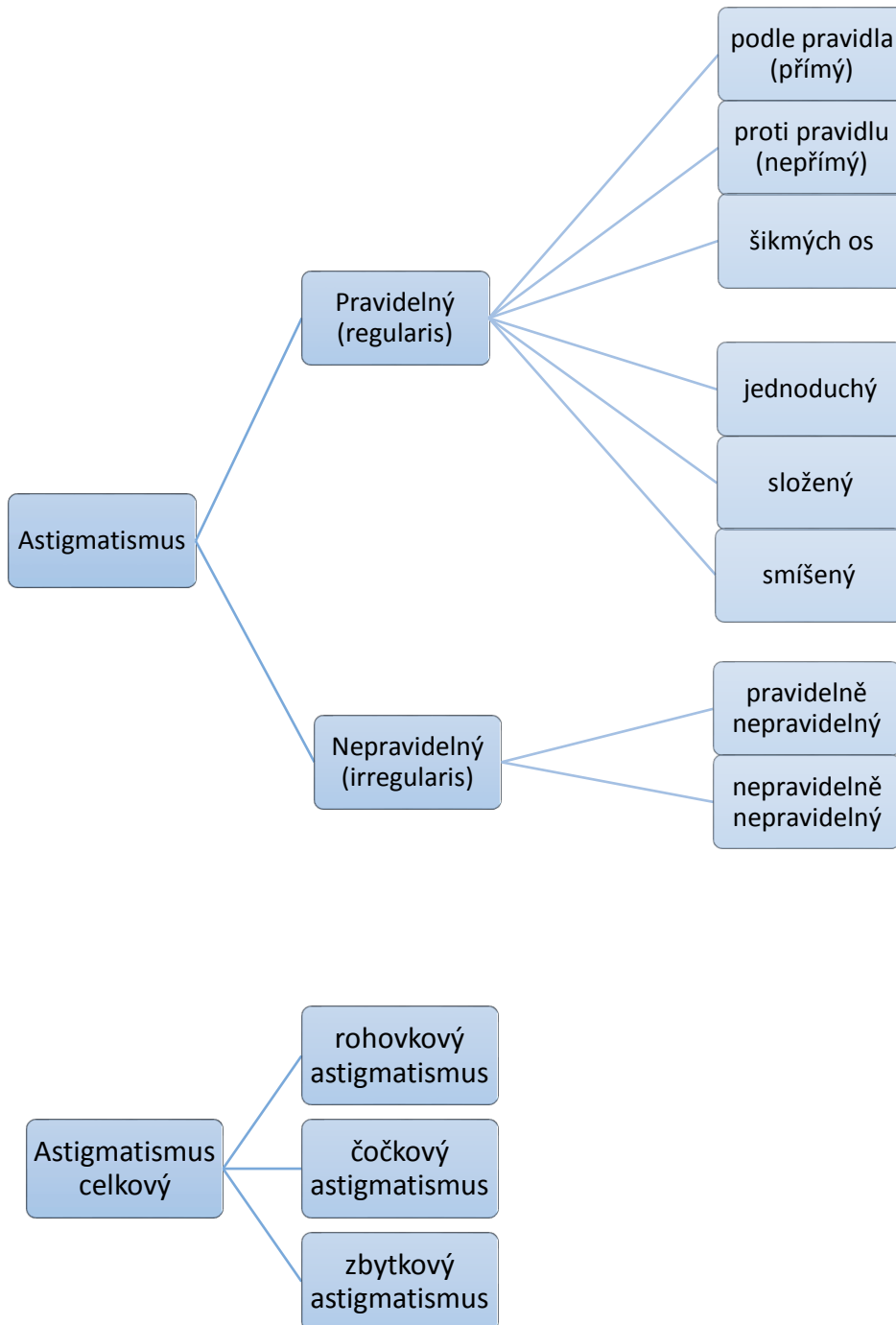
astigmatismem, a proto jej není třeba korigovat. U 10 – 20 % případů je přirozený astigmatismus větší než 1 D a pouze u 3 – 10 % populace nabývá hodnot vyšších než 2 D. [2, 3]

Získaný astigmatismus se vyskytuje asi u 10 % populace a jeho nejčastější příčinou jsou úrazy, operace nebo onemocnění rohovky, které způsobí změnu jejího zakřivení. Mezi další příčiny patří dislokace čočky, ke které dochází po hrubém nárazu nebo nitroočním zánětu, dále změna indexu lomu čočky způsobená šedým zákallem (kataraktou) a asymetrie přední a zadní plochy čočky. [2, 3]

Nejčastěji se astigmatismus vyskytuje u malých dětí do jednoho roku. Zhruba do 5 až 8 let se výskyt této vady snižuje a dále již zůstává poměrně stabilní. Příčinou změny je růst oka spojený s jeho oplošťováním. V případě, že astigmatismus nevznikne do jednoho roku života, je jen malá šance, že se vytvoří později. V dětství se vyskytuje obvykle astigmatismus proti pravidlu, u lidí ve středním věku podle pravidla a ve stáří opět převládá astigmatismus proti pravidlu. [2, 4]

1.3 Klasifikace

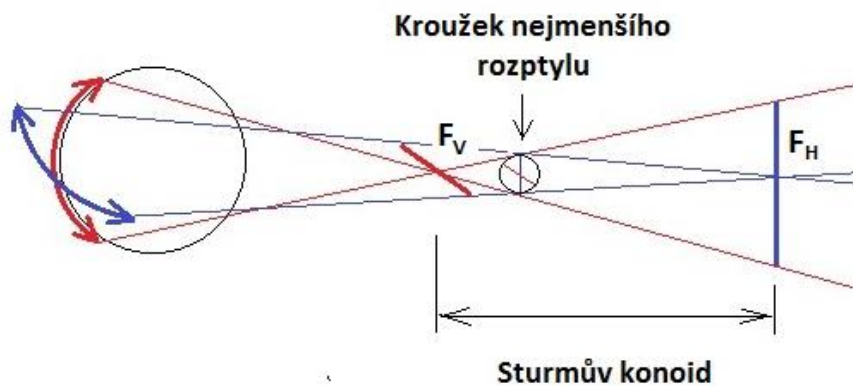
Astigmatismus se dělí dle několika aspektů. Rozdělujeme jej na astigmatismus pravidelný (regularis) a nepravidelný (irregularis) a dále na astigmatismus celkový (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Klasifikace astigmatismu

1.3.1 Pravidelný astigmatismus (regularis)

Pokud u oka rozeznáváme dva navzájem kolmé řezy, kdy jeden má maximální lomivost a druhý minimální, přičemž lomivost oka se mezi nimi mění monotónně, pak hovoříme o astigmatismu pravidelném. Bod se v tomto případě nezobrazí jako bod, ale jako dvojice navzájem kolmých neprotínajících se ohniskových úseček, mezi kterými se nachází tzv. Sturmův konoid. Uvnitř intervalu můžeme nalézt místo, kde vzniká nejméně deformovaný obraz. Tento kruhový svazek paprsků označujeme jako kroužek nejmenšího rozptylu (viz obrázek 2). Velikost astigmatismu je rovna rozdílu optických mohutností hlavních meridiánů. Tato hodnota se nazývá astigmatický rozdíl nebo astigmatická diference. Vzájemná poloha ohniskových úseček nám udává, o jaký typ pravidelného astigmatismu se jedná. [3, 5, 6]



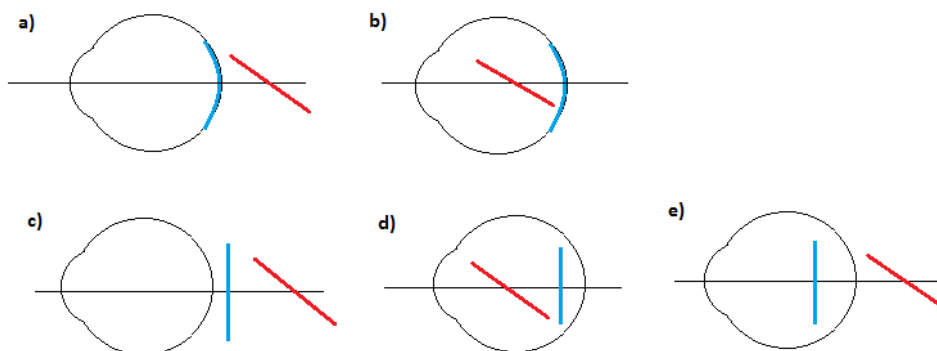
Obrázek 2: Chod paprsků okem při pravidelném astigmatismu

Nejčastější poloha hlavních řezů se nachází ve vertikále (kolem 90°) a v horizontále (v blízkosti 180°). V případě, že je vertikální řez více lámavý než horizontální, jde o astigmatismus podle pravidla (přímý). V opačné situaci mluvíme o astigmatismu proti pravidlu (nepřímý). Dále může nastat možnost, kdy jsou hlavní řezy od polohy 90° a 180° odchýleny o 30° a více. Tento stav označujeme jako astigmatismus šikmých os. [3, 5]

Refrakční vady v jednotlivých meridiánech mají vliv na vzájemnou polohu ohnisek a sítnice. Pokud jedno ohnisko leží na sítnici a druhé před ní (myopický meridián)

nebo za ní (hypermetropický meridián), hovoříme o astigmatismu jednoduchém (simplex). Nachází-li se obě fokály před sítnicí (myopické) nebo za ní (hypermetropické), mluvíme o astigmatismu složeném (compositus). V případě, že jedno ohnisko je před sítnicí a druhé za ní, jde o astigmatismus smíšený (mixtus) (viz obrázek 3).

Pro korekci pravidelného astigmatismu se používá kombinace sférické a cylindrické čočky. Vhodná kombinace dioptrií zajistí posunutí obou ohniskových linií na sítnici. Díky tomu vznikne ostrý a nedeformovaný obraz. Další možností řešení je korekce pomocí kontaktních čoček.



Obrázek 3: Pravidelná astigmatismus: a) jednoduchý hypermetropický, b) jednoduchý myopický, c) složený hypermetropický, d) složený myopický, e) smíšený

1.3.2 Nepravidelný astigmatismus (irregularis)

Nepravidelný astigmatismus se od astigmatismu pravidelného odlišuje tím, že osy hlavních řezů na sebe nejsou navzájem kolmé. Nízké hodnoty jsou fyziologické a jejich příčinou je rozdílný index lomu v různých místech čočky. Vyšší hodnoty nepravidelného astigmatismu jsou patologické. K jejich vzniku dochází obvykle náhle po operaci, zánětu, onemocnění či poranění rohovky, které způsobí změnu jejího zakřivení. Další příčinou je dislokace čočky nebo asymetrické zakřivení přední či zadní plochy čočky. Mezi nejčastější onemocnění, která způsobují vznik nepravidelného astigmatismu, patří keratokonus, marginální pelucidní degenerace či degenerace rohovky vlivem stáří. [2, 3, 6]

Korekce nepravidelného astigmatismu je daleko složitější, neboť se nedá plnohodnotně řešit žádnou korekcí. Brýle či měkká kontaktní čočka kompenzují pouze jakousi pravidelnou složku. V těchto případech se využívají pevné kontaktní čočky, které nejvíce eliminují neostrost obrazu.

1.3.3 Celkový astigmatismus

Celkový astigmatismus (AST_C) můžeme rozdělit na rohovkový (AST_R), čočkový ($AST_Č$) a zbytkový (AST_{ZB}). Nejčastěji se vyskytuje astigmatismus rohovkový, zbylé dva druhy jsou méně časté. Rohovkový astigmatismus bývá obvykle podle pravidla a astigmatismus čočkový proti pravidlu. Celkový astigmatismus oka pak vypočteme jako součet všech tří očních astigmatismů. [5]

$$AST_C = AST_R + AST_Č + AST_{ZB}$$

Asfericita rohovky bývá nejčastější příčinou astigmatismu. Velikost rohovkového astigmatismu ovlivňuje výslednou hodnotu astigmatismu celkového. Jejich vzájemnou souvislost nám udává tzv. Javalova podmínka.

$$AST_C = 1,25 * AST_R \pm 0,5$$

Hodnota $\pm 0,5$ zastupuje čočkový astigmatismus, který má zeslabující či zesilující efekt. V případě rohovkového astigmatismu podle pravidla má astigmatismus čočkový zeslabující účinek a ve vzorci počítáme s hodnotou $- 0,5$. Pokud bude rohovkový astigmatismus proti pravidlu, pak má čočkový astigmatismus zesilující efekt a do vzorce dosadíme hodnotu $+ 0,5$. Jestliže je čočka sférického tvaru, pak nijak neovlivní výslednou hodnotu celkového astigmatismu. [3, 7]

1.4 Astigmatismus do blízka

Astigmatismus se vyskytuje nejen při pohledu do dálky, ale také do blízka. Obvykle se měří pouze astigmatismus na dálku, se kterým se pak vyšetřovaný dívá i na blízkou vzdálenost. Tyto hodnoty však nemusí být vždy stejné. Astigmatismus do blízka ovlivňuje:

- **Optický faktor** – způsobuje jej vzdálenost korekční čočky od oka
Za normálních okolností je brýlová obruba na obličeji nasazena pod určitým inklinacním úhlem. Při pohledu do dálky se oči dívají přes optický střed čočky, který se nachází v dané vzdálenosti před okem. Pokud oči pozorují předmět v blízké vzdálenosti přes spodní část brýlové čočky, pak v tomto případě není hodnota dané korekce optimální. Tento problém je způsoben rozdílnou vzdáleností brýlí od oka v různých pohledových směrech. [8, 9]
- **Fyziologický faktor** – jeho příčinou jsou oční pohyby
Do blízka oči za normálních okolností akomodují a konvergují (viz kapitola 3). Společně s těmito reflexy se uplatňuje Listingův zákon (viz kapitola 2.3), který popisuje stočení oka zevně. Tento torzní pohyb způsobuje změnu osy astigmatické korekce. [8, 9]
- **Anatomický faktor** – je zapříčiněn akomodací
U akomodace dochází ke změně polohy čočky, která může vyvolat změnu astigmatismu do blízka. Vyšší astigmatismus oční čočky způsobí větší změny v jejím ohýbání a náklonu. Náklon čočky během akomodace pak indikuje vznik astigmatismu šikmých paprsků. [8, 9]

Dalšími faktory, které ovlivňují astigmatismus do blízka, jsou:

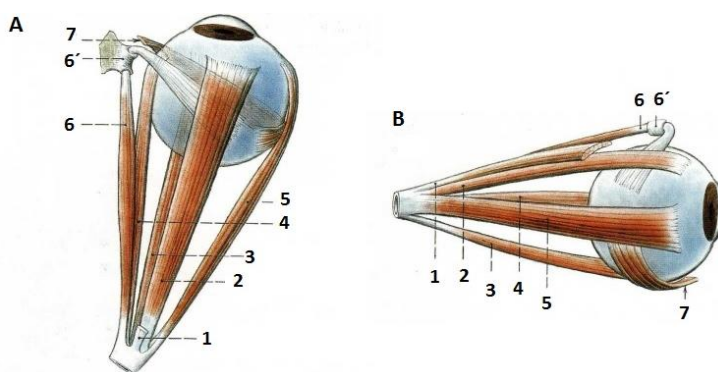
- Vzdálenost pozorovaného předmětu
- Vyšší hodnota astigmatismu do dálky
- Pupilární distance
- Čočkový astigmatismus
- Presbyopové – v případě nízké adice (přídavku do blízka) mají tito lidé větší potřebu akomodovat, dále u starších lidí dochází k asymetrickému kalení čočky vlivem katarakty [8, 9]

2 Okohybné svaly a jejich pohyby

V oku můžeme najít dva druhy očních svalů – extraokulární a intraokulární. Intraokulární svaly mají vliv na vyklenutí a uvolnění čočky (akomodace) a dále na redukci velikosti zornice, která upravuje množství světla dopadající na sítnici. Svaly extraokulární zajišťují pohyb očí a nachází se v zevní části oka.

2.1 Okohybné svaly

U každého oka rozlišujeme 6 okohybných svalů (viz obrázek 4), které jsou spolu s okem a tukovou tkání uloženy v kostěné očníci. Zajišťují pohyb očí různými směry tzv. motilitu. Rozdělují se na 4 svaly přímé a 2 šikmé. Mezi přímé svaly patří: horní přímý sval (*m. rectus superior*), dolní přímý sval (*m. rectus inferior*), vnitřní přímý sval (*m. rectus medialis*) a vnější přímý sval (*m. rectus lateralis*). Šikmé svaly rozlišujeme na horní šikmý sval (*m. obliquus superior*) a dolní šikmý sval (*m. obliquus inferior*). Všechny zmiňované svaly, mimo dolního šikmého svalu, začínají ze společného šlachovitého prstence (*anulus tendineus communis Zinni*), odkud se jako polodlouhé pruhy rozbíhají ke svým úponům na bulbu. Přímé svaly se upínají do bělimy v různé vzdálenosti před ekvátor oka. Úpony šikmých svalů jdou na oko opačným směrem (zpředu dozadu) a upínají se do bělimy až za ekvátorem. Každý sval má jinou délku, a proto se liší i vzdálenost úponu od limbu rohovky. Horní přímý sval se upíná ve vzdálenosti 7,5 mm od limbu, vnější přímý sval ve vzdálenosti 7 mm, dolní přímý sval má úpon od limbu vzdálený 6,75 mm a vnitřní přímý sval je upevněn ve vzdálenosti 5,5 mm. Toto rozložení úponů svalů je známo jako Tillauxova spirála. [1, 4, 10]



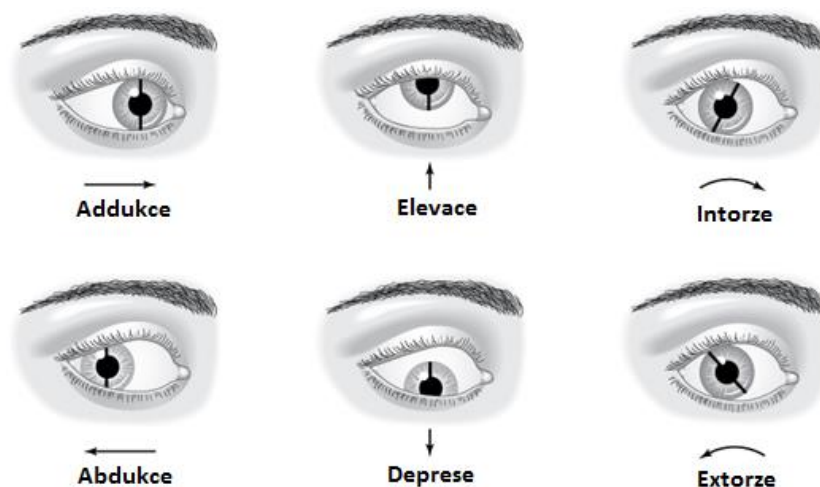
Obrázek 4: Okohybné svaly pravého oka; A pohled shora, B pohled z laterální strany [11, upraveno]

1 – zvedáč horního víčka (odříznutý), 2 – *m. rectus superior*, 3 – *m. r. inferior*, 4 – *m. r. medialis*, 5 – *m. r. lateralis*, 6 – *m. obliquus inferior*, 6' - kladka (*m. obliqui superioris*), 7 – *m. o. inferior*

2.2 Typy očních pohybů

Hlavním úkolem okohybných svalů je zajištění požadovaného pohybu oka, přičemž každý sval umožňuje pohyb oka jiným směrem. Vnitřní a vnější přímé svaly vykonávají pohyby oka pouze v jednom směru – dovnitř nebo ven. Zbývající svaly otáčejí okem více směry – mají primární a sekundární funkci. Horní a dolní přímý sval využívá při tahu oka více mediální část svalů, díky které se oči při pohledu na pozorovaný předmět automaticky stáčí k sobě. Šikmé svaly jsou oproti přímým svalům o něco slabší. Díky svým úponům, které na rozdíl od přímých svalů probíhají zepředu dozadu, otáčejí okem směrem zevně. [1, 11]

Pohyby očí neboli motilitu rozeznáváme monokulární či binokulární. V případě pohybu jednoho oka mluvíme o tzv. dukci (viz obrázek 5). Ve směru horizontálním rozlišujeme abdukci (pohyb oka zevně) a addukci (pohyb oka dovnitř). U směru vertikálního popisujeme elevaci (pohyb nahoru) a depresi (pohyb dolů). Dále oko může konat torzní pohyby – intorzi (horní okraj oka se stáčí k vnitřnímu koutku) a extorzi (horní část oka se stáčí k zevnímu koutku). Každý okohybný sval má svoji primární funkci, která zajišťuje stočení oka daným směrem. Některé ze svalů plní také funkci sekundární (viz tabulka 1). [1]

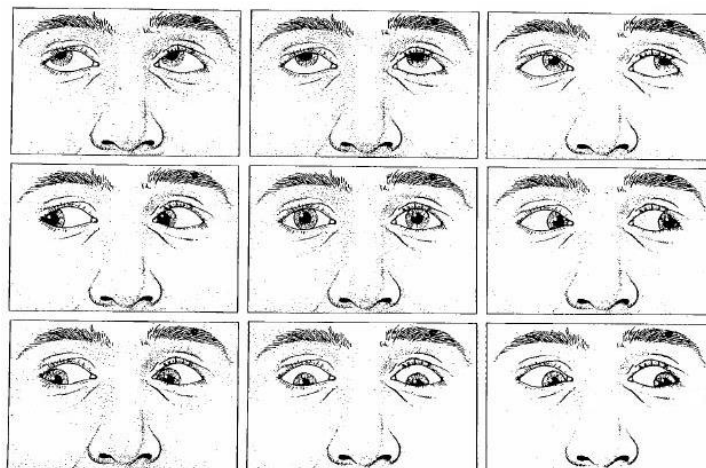


Obrázek 5: Přehled monokulárních očních pohybů – dukce [12, upraveno]

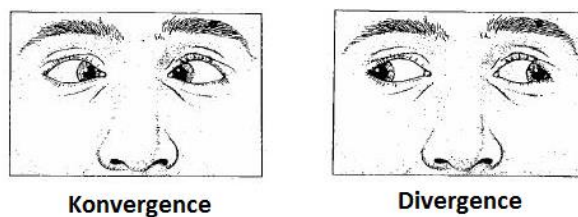
Tabulka 1: Funkce jednotlivých okohybných svalů [1]

Sval	Primární funkce	Sekundární funkce
Zevní přímý sval	Abdukce	
Vnitřní přímý sval	Addukce	
Horní přímý sval	Elevace	Intorze a addukce
Dolní přímý sval	Deprese	Extorze a addukce
Horní šikmý sval	Intorze	Deprese a abdukce
Dolní šikmý sval	Extorze	Elevace a abdukce

Koordinované vzájemné pohyby obou očí označujeme jako binokulární motilitu. Pokud se obě oči pohybují jedním směrem (např. doprava) a jejich osy zůstávají stále paralelní, mluvíme o tzv. verzi (viz obrázek 6). Opačným případem je vergence (viz obrázek 7), kdy se oči stáčí buď k sobě (konají konvergentní pohyb) nebo od sebe (pohyb divergentní). [1]



Obrázek 6: Binokulární oční pohyby – verze [13, upraveno]



Obrázek 7: Binokulární oční pohyby – vergence [13, upraveno]

Pohyby očí stejným směrem provádí vždy dvojice svalů (u každého oka jeden sval), které se nazývají agonisté nebo synergisté. Každému agonistovi přísluší daný antagonist, který vykonává opačný směr pohybu. Pokud se obě oči dívají stejným směrem, pak jsou aktivní agonisté a antagonisté relaxují. Například při pohledu doleva je aktivní vnitřní přímý sval pravého oka a vnější přímý sval oka levého (agonisté). Činnost pravého vnějšího svalu a levého vnitřního svalu je v tomto případě utlumena. Přehled jednotlivých pohledových směrů viz tabulka 2. [1]

Vzájemné pohyby očí se řídí dvěma zákony:

- **Sheringtonův zákon** (zákon o vzájemné inervaci antagonistů)
Vypovídá o tom, že pokud k agonistům přichází zvýšené nervové impulzy, pak je zároveň utlumena činnost antagonistů. Např. u Duanova retrakčního syndromu je Sheringtonův zákon porušen z důvodu narušení inervace vnitřního a vnějšího přímého svalu při addukci. [1, 14]
- **Heringův zákon** (zákon o symetrické inervaci agonistů)
Jeho podstatou je, že k druhostranným agonistům se dostává nervový impulz o stejné intenzitě, což způsobí identický pohyb pravého i levého oka. [1, 14]

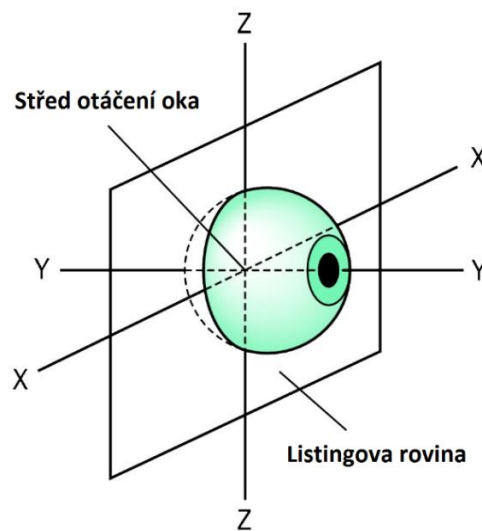
Tabulka 2: Přehled základních pohledových směrů [1]

Pohledový směr	Účast párových okohybných svalů
Dextroelevace (pohled nahoru a doprava)	Horní přímý sval pravého oka Dolní šikmý sval levého oka
Dextroverze (pohled doprava)	Zevní přímý sval pravého oka Vnitřní přímý sval levého oka
Dextrodeprese (pohled dolů a doprava)	Dolní přímý sval pravého oka Horní šikmý sval levého oka
Sinistroelevace (pohled doleva a nahoru)	Horní přímý sval levého oka Dolní šikmý sval pravého oka
Sinistroverze (pohled doleva)	Vnitřní přímý sval pravého oka Zevní přímý sval levého oka
Sinistrodeprese (pohled dolů a doleva)	Horní šikmý sval pravého oka Dolní přímý sval levého oka

2.3 Listingův zákon

Jak již bylo zmíněno, u oka rozeznáváme horizontální pohyby (addukci a abdukci) a pohyby vertikální (elevaci a depresi), které zajišťují oční motilitu. K nim mohou být přidružené pohyby torzní (intorze a extorze), jejichž význam se snažil vysvětlit matematik Johannes Benedikt Listing. Pro správné pochopení Listingova zákona je však nezbytné nejprve objasnit pár základních pojmů.

Uvnitř oka, přibližně 13,5 mm od přední plochy rohovky, se nachází centrum rotace neboli střed otáčení oka, tj. bod, kolem kterého oko při svých pohybech rotuje. Tímto bodem prochází tzv. Listingova rovina, která patří mezi frontální roviny (tj. roviny rovnoběžné s rovinou obličeje), viz obrázek 8. Dále se zavádí tři souřadné osy x , y , z , jež jsou na sebe navzájem kolmé, přičemž osa z je svislá, osy x a y horizontální a z a x leží v Listingově rovině. Oční pohyby potom mohou být považovány za rotaci kolem osy, která prochází středem otáčení oka a která zároveň leží na Listingově rovině. [15]



Obrázek 8: Listingova rovina a střed otáčení oka určený třemi navzájem kolnými osami [16]

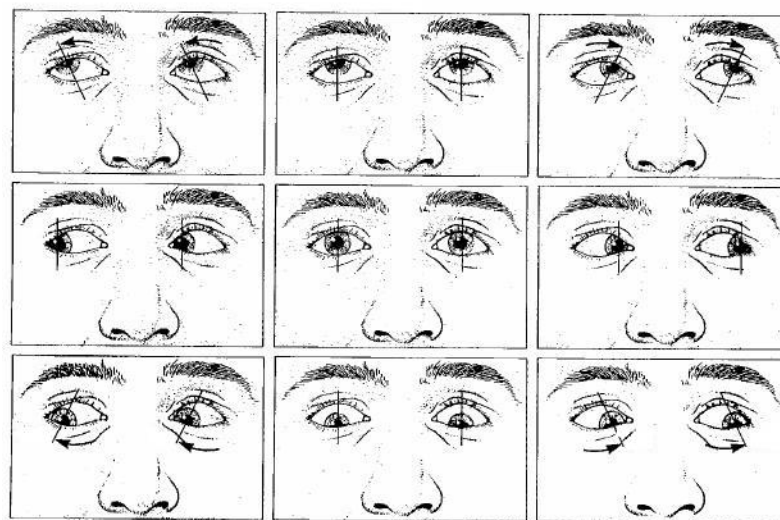
Listingův zákon doplňuje a rozšiřuje zákon Dondersův. Ten vypovídá o tom, že úhel stočení oka je v konkrétním pohledovém směru vždy stejný a nezáleží na tom, z jakého pohledového směru se oko do dané pozice dostalo. Jinak řečeno, při pohledu dolů doprava se oko vždy nachází ve stejném směru a nezáleží při tom na předchozím směru pohledu (viz obrázek 9). Listing ve svém zákonu uvádí, že pokud se oko pohybuje z primární pozice (pohled přímo vpřed) do jakékoliv jiné pozice, pak rotuje

kolem osy, která je kolmá k původní a finální pozici fixační osy. Přičemž fixační osa oka je spojnice středu otáčení oka s bodem fixace. Díky Listingovu zákonu tedy dokážeme vypočítat konkrétní stočení oka v dané pozici. Pokud se oči dívají nahoru, pak se jedná o intorzi. V opačném případě, kdy se oči dívají dolů, dochází k extorzi. (viz obrázek 10) [15, 17, 18]

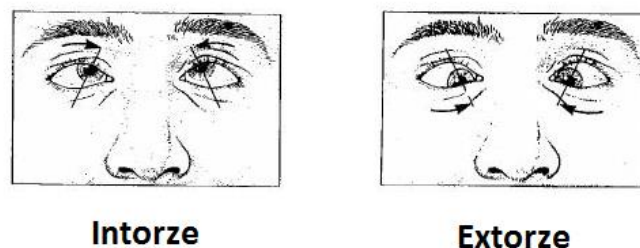
Konkrétní torzi oka τ lze při daném pohledovém směru, charakterizovaném úhlem azimutu α a elevací ε stanovit vztahem

$$\sin \tau = \frac{\sin \alpha \sin \varepsilon}{1 + \cos \alpha \cos \varepsilon}$$

Přitom azimut α je definován jako orientovaný úhel, který svírá určitý směr k pozorovanému objektu vůči přímému postavení očí a elevace ε je určena změnou úhlu pohledu ve směru vertikálním. [15]



Obrázek 9: Rotace očí v jednotlivých pohledových směrech [13, upraveno]

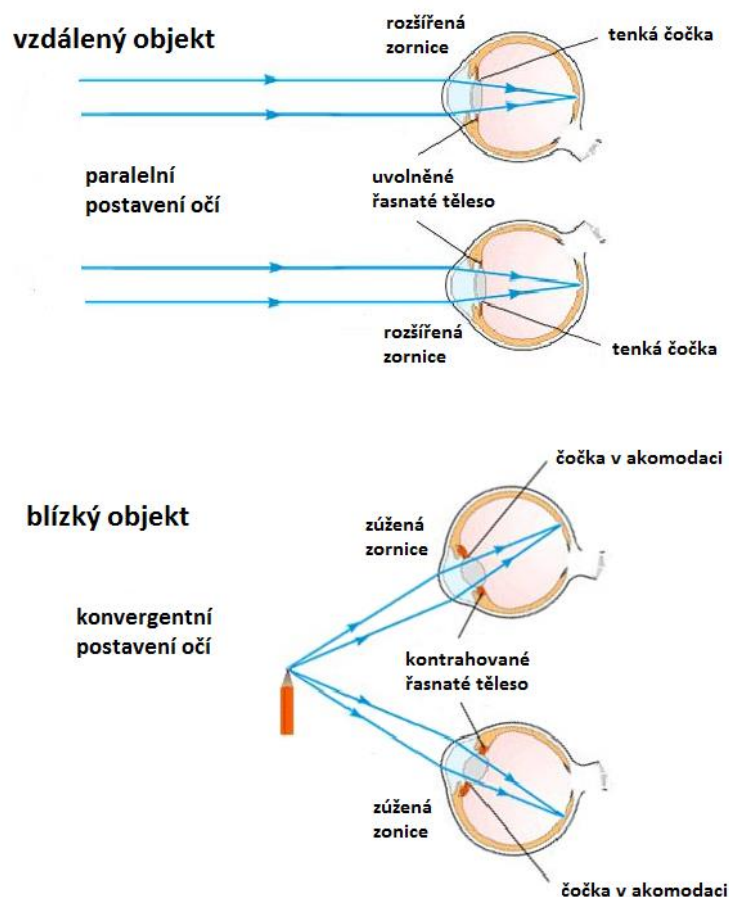


Obrázek 10: Rotace očí při pohledu nasálně nahoru a nasálně dolů [13, upraveno]

3 Akomodace

Vznik ostrého obrazu na sítnici je základem kvalitního vidění. Při pohledu do dálky se oči i okohybné svaly nachází v paralelním postavení, řasnaté tělísko je uvolněné a oční čočka neakomoduje. Toto vše doplňuje roztažená zornice, jejíž stav označujeme jako mydriázu. Při pohledu do blízka se oči stáčí k sobě – konvergují, řasnaté tělísko se stáhne a tím se vyklene oční čočka. Tento proces doplňuje zúžení zornice, které nazýváme mióza (viz obrázek 11). [19]

Akomodace je schopnost oka, díky které můžeme vidět ostře předměty v různých vzdálenostech. Pro zaostření blízkého objektu je nezbytné zvýšit optickou mohutnost oka vyklenutím čočky. Jedná se o tzv. pozitivní akomodaci. Při pohledu z blízka do dálky se optická mohutnost oka sníží oploštěním oční čočky. Tento jev se nazývá negativní akomodace. [19, 20]



Obrázek 11: Porovnání pohledu do dálky a do blízka [21, upraveno]

Samotná akomodace se skládá ze čtyř složek: tonické, proximální, konvergenční a reflexní akomodace. Za přirozených klidových podmínek bez jakéhokoliv podnětu oko zaostřuje na vzdálenost 1,33 m. Tuto tonickou složku akomodace způsobuje klidové napětí ciliárního svalu. Proximální složka akomodace je navozena odhadem vzdálenosti předmětu. Další konvergenční složka je navozena konvergencí, ke které dochází při změně vzdálenosti pozorovaného předmětu. Poslední složkou je akomodace reflexní. Ta reflexně zajišťuje automatické zaostření rozmazaného obrazu na sítnici. [19, 20]

3.1 Mechanismus akomodace

Akomodace lidského oka, tedy schopnost zaostřit blízké předměty, je předmětem zkoumání již pár století. Jedná se o proces, při kterém oko mění svoji optickou mohutnost vlivem změny zakřivení ploch čočky. Na tomto mechanismu se podílí ciliární sval (*musculus ciliaris*), dále samotná oční čočka a její závěsný aparát. Akomodace není vrozená, vyvíjí se od čtvrtého měsíce po narození přibližně do dvanácti let. Kolem 40. roku života oči postupně ztrácí svou funkci zaostřit na blízké předměty. Tato fyziologická změna se nazývá presbyopie neboli vetchozrakost. [19]

Během dne dochází ke změnám světelných podmínek, které značně ovlivňují produkované akomodační úsilí. Za denního světla mají oči největší možnost uvolnění akomodace, neboť sledují vzdálenější objekty. Se snižujícími se světelnými podmínkami k večeru se oči více soustředí na bližší, účelně osvětlené předměty, což má za následek větší akomodační zapojení. [19]

3.2 Akomodační teorie

Dodnes není do detailu zcela jisté, jak proces akomodace funguje. Existuje několik teorií, které se snaží akomodaci vysvětlit. Žádná z nich však tento proces nedokáže plnohodnotně objasnit.

V 18. století Thomas Young pomocí svých pokusů vyloučil, že se oko zkracuje či prodlužuje, čímž by se sítnice posunula směrem do ohniska. Dále také zamítl teorii,

že k akomodaci dochází vlivem posunutí čočky v oku směrem k sítnici nebo od ní. Tuto možnost vyloučil na základě poznatku, že by muselo dojít k posunutí čočky o 10 mm, což je z anatomického hlediska nemožné. Young se domníval, že k akomodaci dochází vlivem změny zakřivení čočky. Později tuto jeho poslední teorii doplnil a zpracoval Herman von Helmholtz. [15, 22]

Německý fyzik Helmholtz přispěl v roce 1855 svou relaxační teorií akomodace také známou jako teorie kapsulární. Její podstata tkví v kontrakci ciliárního svalu, který se nachází v řasnatém tělísku. Ciliární sval se při akomodaci kontrahuje a zároveň se posune směrem dovnitř a dopředu, díky čemuž se uvolní vlákna závěsného aparátu. Čočka je tak zbavena tahu do periferie a vyklene se směrem k přední oční komoře, čímž se zvýší optická mohutnost oka. Vyklenutí nastává především u přední plochy čočky, zadní plocha se mění jen minimálně. Také se při tomto procesu vlivem změny tvaru čočky změlčuje velikost přední komory. Pokud se oko dívá do dálky a akomodace není zapojena, ciliární sval se uvolní, zonulární vlákna závěsného aparátu se natáhnou a čočka se oploští. Příčina presbyopie dle Helmholtze spočívá ve ztrátě elasticity čočky, která vzniká jejím postupným tvrdnutím. [5, 15, 22]

Na Helmholtzovu teorii navazuje teorie Finchamova, která s teorií Helmholtzovou souhlasí v tom, že ke změně zakřivení a tvaru čočky dochází vlivem uvolnění zonulárních vláken. Fincham podrobně studoval obal čočky a dokázal, že nejsilnější je v oblasti ekvátoru v místě úponu závěsného aparátu a také v periférii přední plochy. Tenčí místo přední plochy je v centrální části, kde se čočka nejvíce vyklenuje. Tento objev vysvětluje, proč dochází k tak velké změně optické mohutnosti čočky. Nejtenčí místo obalu čočky je v oblasti zadního pólu. Tato část se však při akomodaci nemění, neboť se ve svém maximálním vyklenutí nachází již před zahájením procesu akomodace. Vznik presbyopie je i podle Finchama způsobena ztrátou pružnosti čočky s věkem. [15, 22, 23]

Dánský oftalmolog Marius Tscherning vymyslel v roce 1909 teorii mechanismu akomodace, na kterou navázal v roce 1993 Ronald Schachar, ve které nesouhlasí s Helmholtzovou kapsulární teorií. Podle něj záleží na rozličném umístění úponu zonulárních vláken. Ekvatoriální část závěsného aparátu čočky se upíná v přední části ciliárního svalu, zatímco přední a zadní zonuly se upínají v části zadní. Při kontrakci

ciliárního svalu se ekvatoriální zonulární vlákna napnou a přední a zadní vlákna uvolní. Tento pohyb řasnatého tělíska způsobí elongaci čočky, tedy její prodloužení ve vertikálním směru se současným ztenčeným okrajem čočky a vyklenutím centrální části. Hlavním rozdílem mezi teorií Helmholtzovou a Schacharovou je v pohybu řasnatého tělíska. Zatímco u teorie Helmholtzovy se řasnaté tělísko pohybuje směrem od bělimy, u Schacharovy teorie dochází k pohybu k bělimě. Důležitým poznatkem Tscherningovy teorie je také předpoklad účasti sklivce u akomodace, který Schacharova teorie nezahrnuje. Dále Schacharova teorie tvrdí, že presbyopii způsobuje neustálý růst čočky, která se tak přibližuje k řasnatému tělesu, čímž se snižuje účinnost mechanismu akomodace. [5, 15, 22]

Mezi nejnovější se řadí teorie amerického oftalmologa Jacksona Colemana, který svoje poznatky publikoval v roce 1986. Tvrdí, že proces akomodace nelze vysvětlit pomocí Helmholtzovy ani Schacharovy teorie. Předpokládá, že čočka, její závěsný aparát a sklivec tvoří jakousi přepážku mezi přední oční komorou a sklivcem. Při stažení řasnatého tělesa se změní tlak mezi přední komorou a sklivcem, přičemž ve sklivcovém prostoru se tlak zvýší a v přední oční komoře se tlak naopak sníží. Sklivec pak působí na zadní čočkové pouzdro, čímž se čočka vyklene směrem do přední komory. [5]

3.3 Amplituda akomodace a akomodační interval

Vzdálenost, ve které vidí oko ostře, je určena dalekým a blízkým bodem a nazýváme ji akomodační interval (Δa). Přitom dalekým bodem R označujeme nejvzdálenější bod, který oko bez akomodace vnímá ještě jako ostrý, jeho vzdálenost od oka se značí a_R . U emetropa tento bod leží v nekonečnu. Nejbližší objekt, který je oko schopno zaostřit díky maximální akomodaci, leží v místě blízkého bodu P, jeho vzdálenost od oka je a_P . Potom

$$\Delta a = a_R - a_P.$$

Rozdíl převrácených hodnot A_R a A_P vzdálenosti dalekého a blízkého bodu označujeme jako amplituda akomodace (AA) a vyjadřujeme ji v dioptriích,

$$AA = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P},$$

kde vzdálenosti jsou uvedeny v metrech. [2, 15, 19]

Amplituda akomodace závisí na věku a v průběhu života se mění. U předškolních dětí dosahuje hodnot kolem 15 D, které s věkem postupně ubývají zhruba o 0,25 D za rok. Ve 30 letech je tedy amplituda akomodace 7,5 D, v 60 letech už jen 1 D a v 70 letech se předpokládá její úplná ztráta. Největší problém však nastává u emetropa kolem 40. - 50. roku, kdy vlivem nedostatečné amplitudy akomodace vznikne problém se zaostřením do blízka. Tato změna se nazývá presbyopie. [2, 15]

4 Presbyopie

Fyziologický pokles amplitudy akomodace spolu se vzdálením polohy blízkého bodu od oka se nazývá presbyopie neboli vetchozrakost. Problém se zaostřením na blízkou vzdálenost se dá řešit pomocí korekce. V případě, že tato oční chyba není korigována, zvětšují se astenopické potíže, čtení se stává hlavně za zhoršených světelných podmínek nebo večer velmi obtížné a největší problém se začíná objevovat při čtení velmi drobných písmen, například na příbalových letácích léků.

4.1 Symptomy

Dosažení presbyopického věku se projevuje zhoršeným a namáhavým viděním při pohledu do blízka, neschopností dlouhodobější práce na bližší vzdálenost a astenopickými potížemi, jako je únava, bolest očí a jejich okolí, bolest hlavy a zamlžené vidění. Presbyop se v tomto případě snaží změnit čtecí vzdálenost (oddálením textu od očí), neboť čtení v původní (bližší) vzdálenosti se stává nesnadným. Takovéto oddalování textu nazýváme jako syndrom „krátkých rukou“. [15, 19, 24]

Presbyopii můžeme určit podle těchto příznaků:

- Obtížné zaostření blízkých předmětů vlivem snížené amplitudy akomodace
- Přechodné rozostřené vidění do dálky po dlouhodobější práci do blízka
- Únava a bolest očí v důsledku nadměrné kontrakce ciliárního svalu
- Bolesti hlavy ve spánkové a čelní oblasti způsobené zvýšeným úsilím očních a obličejových svalů podílejících se na zavírání a otvírání očí
- Prodlužování čtecí vzdálenosti
- Stupňování problémů během dne, které jsou nejzřetelnější v pozdních hodinách
- Čtecí nesnadnost za špatných světelných podmínek
- Nadměrné osvětlení do blízka, jenž navozuje miózu, díky které se na sítnici vytváří ostřejší obraz [15]

U počínajících presbyopů se nejprve projeví příznaky týkající se vidění a posléze se přidávají i astenopické problémy. Tyto potíže se však nedají dlouho snášet, a proto je nezbytné obtíže co nejdříve řešit.

Symptomy věchozrakosti pociťuje nejvíce nekorigovaný hypermetrop a emetrop. Nekorigovaný hypermetrop totiž využívá část své akomodace k pohledu do dálky, proto se u něj projeví presbyopie nejdříve. Naopak u myopů, kteří mají refrakční vadu kolem -3 D, se presbyopie projeví pouze tak, že si při čtení na blízkou vzdálenost sundávají korekci na dálku. Nástup presbyopie se u každého člověka liší. Nezávisí pouze na věku, ale také na dalších faktorech, jako je zaužívaná pracovní vzdálenost a refrakční vada oka. [15, 19, 24]

4.2 Korekce presbyopie

Korekce presbyopických očí se řeší pomocí tzv. adice neboli přídavku do blízka. Adice se přidává ke korekci do dálky. Síla spojné čočky se volí taková, aby byla zajištěna dostatečná rezerva amplitudy akomodace. Korekce musí vyšetřovanému ulevit a posílit jeho refrakční soustavu tak, aby při pohledu do blízka (na požadovanou pracovní vzdálenost) zůstala třetina amplitudy akomodace zachována. Při stanovení hodnoty korekce je nezbytné zohlednit vzdálenost, na kterou vyšetřovaný potřebuje vidět ostře. [2, 19]

Prakticky se postupuje tak, že změříme korekci do dálky a zjistíme věk vyšetřovaného a pracovní vzdálenost, na kterou chce vidět ostře. Podle věku pak přibližně určíme hodnotu adice, která odpovídá dioptrickému rozdílu mezi korekcí do dálky a do blízka. Tuto hodnotu pak vložíme do zkušební obruhy a otestujeme, v jakém rozmezí vidí vyšetřovaný s danou hodnotou adice ostře. Pokud se požadovaná pracovní vzdálenost nachází v daném intervalu asi v jedné třetině ve směru od očí, pak jsme našli ideální hodnotu adice. Přibližný odhad adice udává tabulka č. 3. [2, 19]

Zásady vyšetření:

- Adici dáváme vždy binokulárně
- Hodnota adice je stejná před pravým i levým okem (až na výjimečné případy jako je např. monokulus či nitrooční čočka na jednom oku)
- U počínajících presbyopů je nezbytné dát pozor na překorigování
- Vyšší hodnota adice jak 2,5 D je pochybná, ale může nastat (u hodinářů až 4 D)
- Korekce na požadovanou pracovní vzdálenost [25]

Tabulka 3: Odhad hodnoty adice v závislosti na věku [15]

ADICE	Pracovní vzdálenost						
	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm	55 cm
40 let	0,75	0	0	0	0	0	0
45 let	2,0	1,25	1,0	0,5	0,25	0	0
50 let	2,75	2,0	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5
55 let	3,0	2,25	2,0	1,5	1,25	1,0	0,75
60 let	3,25	2,75	2,25	1,75	1,5	1,25	1,0
65 let	3,5	2,75	2,5	2,0	1,75	1,5	1,25
70 let	3,75	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5

5 Vyšetření astigmatismu a jeho korekce

Vyšetření astigmatismu lze provést objektivně nebo subjektivně. V praxi se obvykle nejprve provede objektivní vyšetření, ze kterého může následně vycházet subjektivní část korekce. Při subjektivním měření je nutná správná spolupráce vyšetřovaného.

5.1 Objektivní refrakce

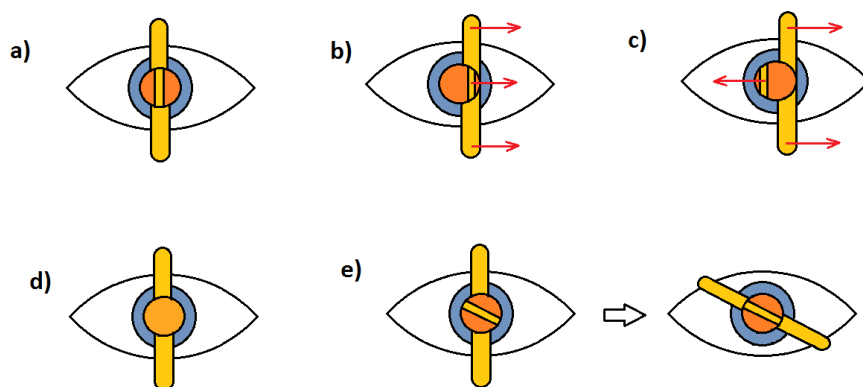
Měření očí pomocí objektivní refrakce slouží jako orientační údaj, díky kterému se značně urychlí měření subjektivní. Pokud bychom dali vyšetřovanému hodnoty zjištěné objektivně, s velkou pravděpodobností by nebyl spokojen. Tato metoda hodnotí pouze optický systém oka jako celek, ovšem není zohledněn subjektivní názor vyšetřovaného. Podstatnou roli hraje toto měření u problematických lidí, kteří nemohou při subjektivním vyšetření plnohodnotně spolupracovat. Objektivně lze stanovit jak astigmatismus celkový, tak pouze rohovkový a z něj pak celkový (viz kapitola 1.3.3).

5.1.1 Skioskopie

Díky této objektivní metodě můžeme zjistit nejen astigmatismus, ale celkovou refrakci oka. Skioskopie není náročná na vybavení, ovšem k přesnému určení výsledku vyžaduje jisté zkušenosti. K vyšetřování se využívá skioskop, který pracuje na principu odražení světelných paprsků od sítnice. Odraz světla tvoří červený reflex, který pozorujeme v zornici. Rozlišujeme dva typy skioskopu – bodový a pásový. K vyšetření astigmatismu se využívá především pásový skioskop, který tvoří úzký světelný pás. S tímto pásem můžeme libovolně otáčet, což usnadní zjištění refrakce v jednotlivých meridiánech astigmatismu. [7]

Osvětlení ve vyšetřovací místnosti by mělo být tlumené, aby byl odraz v zornici dobře pozorovatelný. Vyšetření se provádí monokulárně, kdy pacient sleduje neměřeným okem optotyp do dálky, aby se vyloučila akomodace. Pokud je to možné, pak pravé oko vyšetřovaného měříme pravým okem a levé oko okem levým. Klasicky se pacient a vyšetřovaný nachází ve vzdálenosti natažené ruky, což odpovídá přibližně 0,5 m. Pomocí světelného pruhu, vytvořeného skioskopem, svítíme pacientovi do oka.

Skiaskopem pohybujeme kolem jeho svíslé osy, abychom zjistili směr pohybu červeného reflexu. Pokud se obraz v zornici pohybuje stejným směrem, jako pohybujeme skiaskopem (viz obrázek 12 b), pak před oko vyšetřovaného předřazujeme plusová skla. V opačném případě předkládáme skla minusová (viz obrázek 12 c). Cílem skiaskopie je dosažení neutrálního reflexu (viz obrázek 12 d), což se projeví jako probliknutí světla v zornici, kdy v ní již není vidět pohyb. Pro získání výsledné refrakce v daném řezu odečteme od předřazené korekce převrácenou hodnotu velikosti vyšetřovací vzdálenosti (např. pro vzdálenost 0,5 m odečítáme 2 D). V případě vyšetření astigmatismu lze s výhodou použít pásový skiaskop. Sbíhavost svazku upravíme tak, aby byl jeho obraz na sítnici co nejostřejší, popř. můžeme doostřit předložením rozptylné čočky. Pak najdeme jeden z hlavních řezů tak, že otočíme světelný pás skiaskopu do směru, ve kterém se nachází odraz v zornici (viz obrázek 12 e). Dále pokračujeme ve vyšetření stejným způsobem, který byl popsán výše. Toto měření opakujeme i v kolmém směru. Tak získáme dioptrické hodnoty oka v jednotlivých řezech. Celé vyšetření je možné modifikovat a provést pomocí trvale předložené sférické čočky, korigující jeden řez a následným předložením cylindru pro korekci druhého řezu. [7, 26]



Obrázek 12: Zobrazení světelných efektů pásovým skiaskopem: a) základní postavení, b) pohyb reflexu ve směru skiaskopu, c) pohyb reflexu proti pohybu skiaskopu, d) neutrální reflex, e) změna polohy světelného pásu skiaskopu u astigmatismu

5.1.2 Metody vyšetření měřící astigmatismus předního segmentu oka

Pomocí skiaskopu a refraktometru (viz 5.1.3) dokážeme zjistit celkový oční astigmatismus. Pokud však chceme určit hodnotu pouze rohovkového astigmatismu, můžeme provést například keratometrii, keratometrii či topografii rohovky.

Keratoskopie

Tato metoda využívá tzv. Placidova disku (viz obrázek 13), který se skládá ze soustavy černých a bílých soustředných kružnic. V jejich středu se nachází otvor s čočkou určený pro pozorování výsledného obrazu. Rohovka se chová jako vypuklé zrcadlo, na kterém se kružnice Placidova disku odráží. Pozorovaný výsledný obraz je důležitý pro správné zhodnocení zakřivení rohovky. Pokud bude rohovka kulová, pak výsledný obraz kružnic bude totožný s kružnicemi Placidova disku. V případě rohovkové nerovnosti se kruhy na rohovce zdeformují. Se zvětšujícím se zakřivením rohovky se zvětší také šířka světlých a tmavých pruhů. V případě strmější rohovky na sebe budou kruhy více nahuštěny. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že nelze měřit centrální část rohovky, neboť se v tomto místě nenachází kružnice k pozorování. [7, 15, 27]



Obrázek 13: Placidův disk

Keratometrie

Tato klasická metoda slouží k měření zakřivení přední plochy rohovky. Stejně jako keratoskopie využívá principu odrazu světla na rohovce, která se chová jako vypuklé zrcadlo. K měření se používá keratometr, také nazývaný jako oftalmometr, díky kterému se dá na základě stanovení poloměrů zakřivení rohovky v jednotlivých bodech zjistit přesná hodnota pravidelného rohovkového astigmatismu včetně poloh jeho hlavních meridiánů. [7, 15, 27]

Dříve se k testování užívalo dvou různých testových značek, přičemž se poloměr zakřivení rohovky se určil z poměru vzdálenosti těchto značek a jejich obrazů vytvořených rohovkou. Vlivem fyziologického třesu však byla poloha obrazů nestálá. Tento problém se vyřešil zdvojením obrazu (např. u Javal-Schiötzova oftalmometru, viz [7, 15]) nebo vytvořením fotografie polohy značek na rohovce, čehož využívají moderní keratometry a keratografy. [27]

Topografie

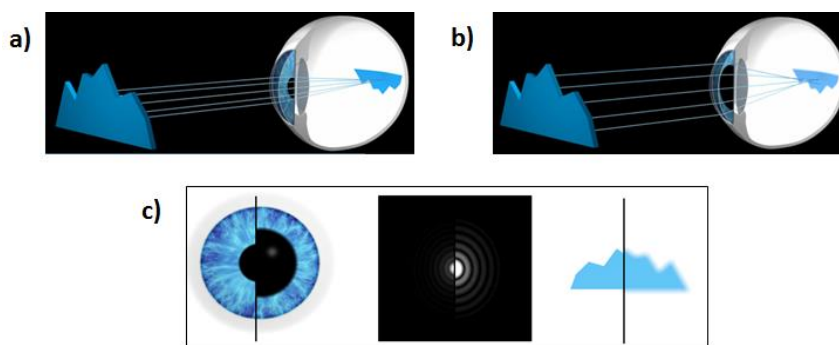
Rohovková topografie slouží především k mapování přední plochy rohovky. Využívá princip Placidova disku, který se pomítá na rohovku a následně je snímán kamerou. Obraz se nejprve počítačově zpracuje a poté se zobrazí výsledky na monitoru. Výsledné údaje mají formu grafu, mapy a číselného vyjádření. Na základě těchto hodnot můžeme popsat přední plochu rohovky, její zakřivení, případné deformace a zjizvení. Tato metoda vyšetření je vhodná pro plánování a vyhodnocení refrakčních operací, k monitoringu keratokonu, ale také k analýze rohovky pro správný návrh kontaktní čočky. Cílem topografie je získat co nejpřesnější zhodnocení tvaru rohovky. [27, 28]

5.1.3 Autorefraktometrie

Automatické oční refraktometry patří momentálně k nejpoužívanějším přístrojům, které slouží k rychlému a automatickému změření celkové refrakce oka. V dnešní době existuje mnoho různých druhů, které se liší nejen stavbou a softwarovou vybaveností, ale také opticko-fyzikálními vlastnostmi. S postupujícím vývojem tyto přístroje dokážou změřit nejen optickou mohutnost oka, ale rovněž zakřivení rohovky, dále nitrooční tlak či tloušťku rohovky. I přes technickou různorodost měří všechny autorefraktometry v oblasti infračerveného záření o vlnové délce kolem 880 nm, a to z důvodu omezení nežádoucího oslnění vyšetřovaného při měření. Výhodou těchto přístrojů je jednoduchost a rychlost měření, které nezatěžují vyšetřovaného. Mezi nevýhody patří špatná kontrola akomodace, dále možnost selhání měření při nepravidelnostech oka, u zákalů očních médií, při malém průměru zornice, amblyopii, špatné oční fixaci atd. Nutno poznamenat, že výsledek měření se obvykle vyhodnocuje pouze z malé centrální části zornice. [7, 27]

DNEye Scanner

Mezi autorefraktometry můžeme zařadit také multifunkční plně automatizovaný přístroj DNEye Scanner (viz obrázek 15), který provádí měření nezávisle na uživateli pomocí tzv. Eye-Trackingu (sledování pohybu očí a pohledu vyšetřovaného). Stejně jako ostatní autorefraktometry i DNEye Scanner využívá při měření infračerveného záření. Infračervené paprsky jsou ve formě vlnoploch promítány na sítnici, odkud se odráží, a po průchodu soustavou mikročoček jsou zachyceny na CCD snímač (tzv. Shack-Hartmannův senzor). Tento senzor hodnotí deformaci výsledné vlnoplochy, která byla způsobena aberacemi oka. Výsledek klidného oka se zobrazí v podobě barevné mapy aberací nižších a vyšších řádů a to jak do dálky, tak i do blízka. Míra aberací, způsobující vznik neostrého obrazu na sítnici, závisí na velikosti zornice. Více jsou aberace vnímány za zhoršených světelných podmínek, kdy má pupila větší průměr, čímž dochází ke snížení kontrastu obrazu (viz obrázek 14). Plně lze korigovat pouze aberace nižších řádů (rozostření a astigmatismus), aberace vyšších řádů lze při korekci pouze zohlednit. [29, 30]



Obrázek 14: Vliv velikosti zornice na míru aberací a kontrast obrazu:
 a) vznik obrazu úzkou zornicí, b) vznik obrazu rozšířenou zornicí,
 c) porovnání velikostí zornic, aberací oka (otvorové vady) a kontrastu obrazu [30]

DNEye Scanner měří objektivní refrakci na dálku i na blízko (slouží jako podklad pro subjektivní refrakci), aberace nižších řádů na dálku i na blízko, aberace vyšších řádů na dálku i na blízko, rohovkovou topografii, zaznamenává velikost pupil a výsledné hodnoty podává číselně a formou barevných schémat. [31]

Samotné měření probíhá tak, že vyšetřovaný pozoruje fixační obrázek („balón“) uvnitř přístroje. Při měření do dálky je obrázek promítán do nekonečna pro uvolnění akomodace. Po změření hodnot na dálku následuje měření do blízka, kdy se obraz přibližuje z nekonečna do příslušné vzdálenosti. Vyšetřovaný jej vidí ostře až do momentu, kdy dosáhne meze své akomodace. Výsledná refrakce do blízka slouží jako informační údaj k rychlejšímu subjektivnímu stanovení korekce. Sférické hodnoty mají význam pouze orientační. Významnými údaji jsou hodnoty cylindrů do blízka, které se mohou od hodnot do dálky lišit. Tato změna může být vysvětlena pomocí Listingova zákona (viz kapitola 3.3). [31]

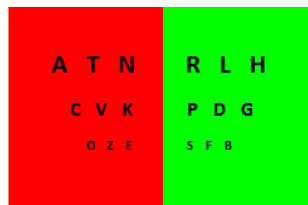


Obrázek 15: DNEye Scanner [32]

5.2 Subjektivní refrakce

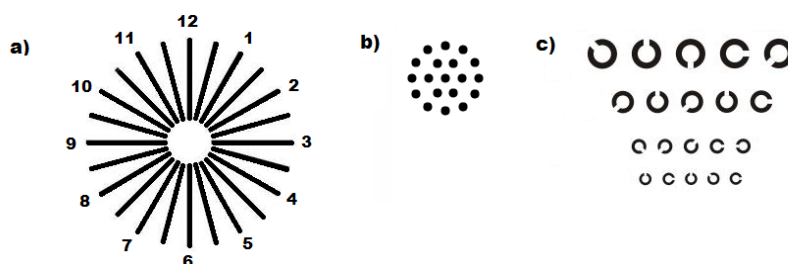
Po objektivní refrakci musí vždy následovat refrakce subjektivní. Zásadně se vyšetřuje nejprve každé oko zvlášť, přičemž oko netestované musí být zakryto clonou. Teprve poté se vyšetřují obě oči společně.

Vlastní vyšetření astigmatismu následuje až po stanovení nejlepší sférické korekce. Ta je stanovena obvykle metodou nejsilnější spojky a nejslabší rozptylky. Správnost této korekce lze ověřit na červeno-zeleném testu (viz obrázek 16). Ten využívá chromatické aberace, kdy se u správně vykorigovaného oka nachází ohnisko červené barvy za sítnicí a barvy zelené před ní. Pokud vyšetřovaný není správně korigovaný, pak vidí na jednom barevném podkladu znaky více kontrastní. Nedokorigovaní myopové vidí lépe na červeném poli a hypermetropové na poli zeleném. Po zjištění nejlepší sféry se koriguje astigmatismus, ke kterému se využívá metoda Jacksonových zkřížených cylindrů nebo metoda zamlžovací. [7]



Obrázek 16: Červeno-zelený test

Tyto dvě metody využívají několika testů, jako například astigmatické růžice, bodový test určený pro vyšetření astigmatismu a Landoltovy kruhy (viz obrázek 17). K vyšetření astigmatismu oční specialista potřebuje nejen vhodné testy, ale také zkušební sadu skel obsahující mimo jiné i skla jednotlivých dioptrických hodnot vhodné ke korekci astigmatismu - cylindry.



Obrázek 17: Testy vhodné ke zjištění a vyšetření astigmatismu: a) astigmatická růžice s hodinovým označením, b) bodový test pro vyšetření astigmatismu, c) Landoltovy kruhy

5.2.1 Metoda Jacksonových zkřížených cylindrů

Tato rychlá, přesná a nenáročná metoda pro subjektivní vyšetření astigmatismu využívá tzv. Jacksonových zkřížených cylindrů (JZC). Jedná se o velmi dobře známou metodu, která díky svým přednostem patří zřejmě k nejrozšířenějšímu způsobu určení astigmatismu. JZC tvoří dvojice plan-cylindrických čoček opačných znamének, které jsou na sebe navzájem kolmé. Tyto plan-cylindry jsou vyrobeny jako jeden optický člen, který je vsazen do kulaté objímky s rukojetí (viz obrázek 18). Dioptrické provedení JZC se provádí ve variantách $\pm 0,25$ D, $\pm 0,5$ D a $\pm 1,0$ D. Osy jednotlivých cylindrů jsou vyznačeny barevnými značkami, přičemž osa záporného cylindru bývá označena červeným symbolem (čárkou) a osa kladného cylindru bílým nebo černým symbolem. Před prvním měřením je však příhodné tuto skutečnost ověřit. Rukojeť JZC se nachází přesně uprostřed mezi jednotlivými značkami, což umožňuje rychlou změnu mezi těmito plan-cylindry. V praxi se astigmatismus obvykle koriguje pomocí minusových cylindrů a i zde se bude takto uvažovat. [7]



Obrázek 18: Jacksonovy zkřížené cylindry [33]

V tomto okamžiku je třeba si uvědomit, že zatímco JZC tvoří dva kolmé plan-cylindry opačných znamének (cylindro-cylindrická kombinace), brýlová korekce bývá zapisována pomocí sféro-cylindrické kombinace. Při využití JZC o dioptrické hodnotě $\pm 0,25$ D bude sféro-cylindrický zápis vyjádřen pomocí záporného cylindru jako sph $+0,25$ D v kombinaci s cyl $-0,5$ D v dané ose. Z tohoto zápisu jasně vyplývá, že do zkušební obruby bude vložena příslušná sférická hodnota, kterou doplní plan-cylindr zjištěný pomocí JZC. Nutno také poznamenat pravidlo, které uvádí, že při změně cylindru o $-0,5$ D dochází ke změně hodnoty sféry o $0,25$ D. Aby se předešlo nežádoucímu vlivu akomodace, při zesilování záporného cylindru se nejprve upravuje sférická hodnota více do plusových hodnot a až poté se navýší cylindr. Naopak při zeslabování se nejprve změní cylindr a teprve následně sféra. [7, 15]

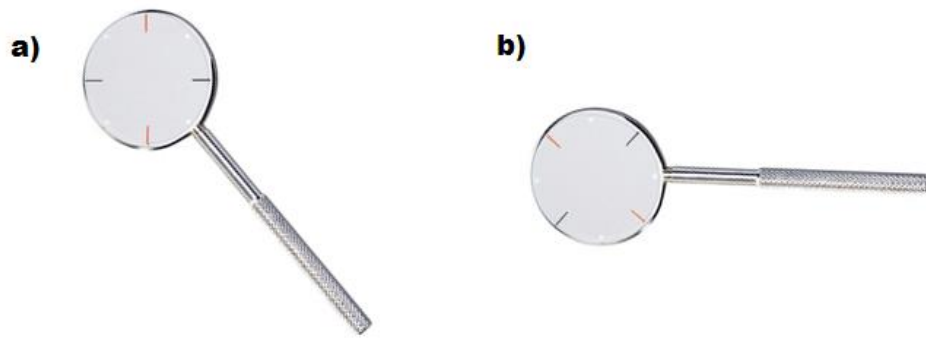
Vzhledem k tomu, že se JZC vyrábí v několika různých hodnotách, je důležité před vlastním vyšetřením astigmatismu určit, jakou dioptrickou sílu k testování zvolit. Ke správnému stanovení se využívají zkušenosti vyšetřujícího, případně se dá orientovat dle následující tabulky.

Tabulka 4: Užití vhodného JZC na základě vízu s nejlepší sférickou korekcí [34]

Vízus s nejlepší sférickou korekcí	Vhodný JZC [D]
> 0,5	± 1,0 (sph +1,0 D cyl -2,0 D)
0,2 – 0,5	± 0,5 (sph +0,5 D cyl -1,0 D)
< 0,2	± 0,25 (sph +0,25 D cyl -0,5 D)

Postup vyšetření astigmatismu pomocí JZC:

1. **Stanovení předběžné osy cylindru** – vyšetřovaný sleduje s nejlepší sférickou korekcí test určený pro vyšetřený astigmatismu. Před dané oko je možné předřadit JZC tak, aby jeho značky byly v poloze 0° a 90° (viz obrázek 19a) nebo v poloze 45° a 135° (viz obrázek 19b). Prakticky se při měření vloží před oko záporný JZC do polohy např. 0° a pouhým protočením rukojeti mezi prsty se jeho orientace změní na polohu 90°. Přičemž vyšetřovaný vzájemně porovná tyto dva obrazy a zhodnotí, zda jsou oba stejně dobře či špatně viditelné nebo zda jeden z nich vidí lépe. Stejný postup se opakuje také pro polohu 45° a 135°. Předběžná osa se pak nachází mezi lépe viděnými směry. Pokud vidí vyšetřovaný se záporným cylindrem JZC lépe např. v osách 0° a 45°, pak se předběžná osa bude nacházet v tomto rozmezí. Záporný korekční cylindr tedy umístíme kolem 22°. V případě, že proband vidí rozdíl při předložení záporného JZC např. u os 45° a 135°, ovšem osy horizontální a vertikální se mu zdají stejně viditelné, pak se dá říct, že osa astigmatismu bude ležet v blízkosti lépe viditelného testovaného šikmého směru. Důležité je všechny pozice ukazovat oku po stejnou dobu, aby nebyla žádná z možností časově zvýhodněna. Vyšetřovaný by pak mohl mylně označit jako lépe viditelný ten obraz, který měl možnost vidět po delší časový úsek. [7, 15, 34]



Obrázek 19: Jacksonův zkřížený cylindr: a) poloha plan-cylindrů 0° a 90° ,
b) poloha plan-cylindrů 45° a 135° [33, upraveno]

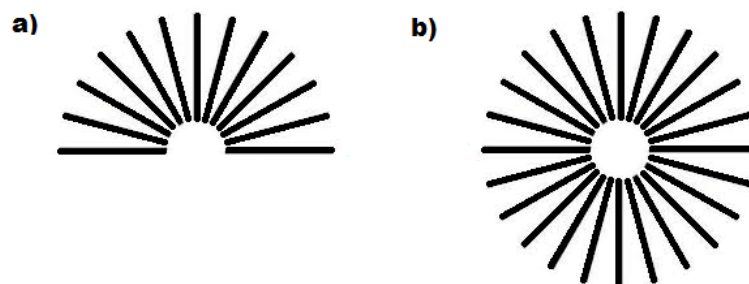
2. **Určení přesné osy cylindru** – po stanovení přibližné orientace osy záporného cylindru následuje zjištění jeho přesné pozice. Ta se určuje tak, že se rukojeť JZC vloží ve směru předběžně stanovené osy korekčního cylindru. Otáčením rukojeti JZC se pak kolem této osy vzájemně mění polohy plan-cylindrů. Vyšetřovaný porovnává tyto dvě možnosti obrazů a hodnotí, který z nich vidí lépe. Osa korekčního cylindru se otáčí o několik stupňů do lépe viděného směru, ve kterém se nachází záporný Jacksonův plan-cylindr. Tato změna se provádí do momentu, kdy vyšetřovaný již nedokáže rozeznat, který z aktuálně předváděných možností vidí lépe. Tímto je dosaženo definitivní osy aktuálního záporného cylindru. [7, 15, 34]

3. **Dokorigování síly cylindru** – provádí se opět pomocí JZC, který se svými osami předkládá před osu korekčního cylindru, tedy tak, že se osy vzájemně překrývají. Rukojeť JZC se opět otáčí kolem své osy, čímž se nabízí vyšetřovanému dva obrazy. Jedna poloha účinek korekčního cylindru zesiluje (splynutí osy korekčního cylindru s osou záporného JZC) a druhá zeslabuje (záporná osa JZC je vůči korekčnímu cylindru pootočena o 90°). Po upravení síly cylindru, s případnou výměnou sféry, následuje vždy nejprve kontrola osy cylindru a poté teprve korekce jeho síly. Měření cylindru je ukončeno v okamžiku, kdy vyšetřovaný nepozná rozdíl mezi jedním a druhým obrazem. [7, 15, 34]

4. Jemné sférické dokorigování – slouží ke kontrole subjektivně zjištěné nejslabší rozptylky a nejsilnější spojky. Kontrola se provádí na červeno-zeleném testu (viz obrázek 16), kde vyšetřovaný porovnává čitelnost znaků v červeném a zeleném poli. Další možnost kontroly je na optotypu, kdy proband sleduje dobře čitelné znaky. Následně je mu před oko předsazena +0,25 D, která by měla vidění o něco zhoršit. Pokud se tak nestane, ponecháme plusovou sféru před okem a vložíme další se stejným záměrem. V případě, že se nyní vidění zhorší, hodnotu +0,25 D vyměníme za -0,25 D. Jestliže dojde díky předsazení mínusové hodnoty ke zlepšení vidění, pak tato sféra ve zkušební obrubě zůstává. V opačném případě je z obruby vyjmuta. [15, 34]

5.2.2 Zamlžovací metoda

Tato metoda se využívá k vyšetření astigmatismu, jenž nabývá hodnoty cylindru 2,0 D a více. Měření se uskutečňuje při přirozeném osvětlení na astigmatickém vějíři, astigmatické růžici (viz obrázek 20b) nebo také na její obdobě, ve které jsou navíc jednotlivé linie označeny čísly stejně jako hodiny (viz obrázek 17a).



Obrázek 20: Testy vhodné pro zamlžovací metodu: a) astigmatický vějíř, b) astigmatická růžice

Postup vyšetření astigmatismu zamlžovací metodou:

- 1. Zamlžení** – první fáze zamlžení následuje ihned po zjištění nejlepší sférické korekce. Vyšetřovaný sleduje astigmatickou růžici (případně astigmatický vějíř). K zamlžení dojde pomocí spojných sférických čoček, které se vkládají před oko tak dlouho, až se sledovaný znak zcela rozmaže. Díky tomuto postupu se nyní obě astigmatické fokály nachází před sítnicí. [7, 34, 35]

- 2. Určení osy astigmatismu** – následuje bezprostředně po první fázi zamlžení. Před oko se nyní postupně vkládají rozptylné čočky nízkých dioptrických hodnot zlepšující vidění. Díky tomu dotyčný vnímá některé z linií astigmatické růžice či astigmatického vějíře kontrastnější (případně černější), neboť jedna z ohniskových fokál se posunula na sítnici. Sytější čáry testu a linie k nim kolmé udávají osy hlavních astigmatických řezů. [34, 35]
- 3. Stanovení síly korekčního cylindru** – záporný korekční cylindr se vkládá do zkušební ohrady tak, aby jeho osa ležela kolmo ke směru, který vyšetřovaný uvedl jako nejkontrastnější. Díky tomu se posune poloha vzdálenější ohniskové linie blíže k sítnici. Ideálním stavem je splynutí obou fokál, tedy dosažení jejich stejné vzdálenosti od sítnice. Prakticky se korekční cylindr zesiluje tak dlouho, až jsou všechna ramena astigmatické růžice viděna stejně kontrastně jako původně nejlépe viděný směr. [34, 35]
- 4. Kontrola síly a dokorigování osy** – ke zhodnocení správné síly korekčního cylindru se využívá metoda slabého zesílení již korigovaného cylindru. Před oko se předradí cylindr -0,25 D ve stejné ose jako cylindr korekční. V případě, že se původně nejlépe viděný směr rozostří (zešedne) a s měř k němu kolmý se zvýrazní, pak to vypovídá o správně stanovené síle korekčního cylindru. Dokorekce osy se provádí na kulatých optotypových znacích, kdy se s korekčním cylindrem otáčí na jednu a posléze i na druhou stranu do chvíle, kdy se obraz rozmaže. Uprostřed tohoto intervalu se pak nalézá optimální poloha osy. [34, 35]
- 5. Odmlžení a jemné sférické dokorigování** – vyšetřovanému se ze zkušební ohrady odejme plusová sféra, která v předešlých krocích zajistila zamlžení obrazu. Další krok se provádí při sledování optotypových znaků nebo pomocí červeno-zeleného testu, kdy se provede jemné sférické dokorigování (viz kapitola 6.2.1). [34, 35]

5.3 Korekce astigmatismu

Lidské oko může díky akomodaci čočky kompenzovat sférickou složku své oční chyby. To však neplatí pro složku cylindrickou. Proto je nezbytné při očním vyšetření tuto cylindrickou část astigmatismu neboli astigmatickou diferenci plně korigovat. Obecně platí, že jsou děti mnohem lépe přizpůsobivější než dospělí, a proto se jim ve většině případů dává ihned plná cylindrická korekce. U dospělých osob, které astigmatickou korekci nikdy nenosili, se začíná nejprve na snesitelné hodnotě cylindru. V případě dobré snášenlivosti se hodnota cylindrické korekce postupně navyšuje. Během vyšetření se musí dbát také na správnou polohu osy cylindru, která by při špatném natočení vedla ke vzniku nového astigmatismu v odlišné ose. [2]

Kvalitní vidění hraje významnou roli při vnímání okolních vjemů. Z tohoto důvodu je důležité, aby jakákoliv oční chyba byla správně korigována. Stejně jako sférické refrakční vady (myopie a hypermetropie) lze i astigmatismus plnohodnotně korigovat. Řeší se pomocí brýlové korekce, dále kontaktními čočkami nebo vhodnou refrakční operací.

5.3.1 Korekce astigmatismu brýlovými čočkami

Řešení astigmatismu pomocí brýlových čoček bývá obvykle první volbou korekce této refrakční chyby. U vyššího astigmatismu, korigovaného brýlovými čočkami, dochází ke vzniku meridionální aniseikonie, tedy ke vzniku různě velkých obrazů v hlavních meridiánech astigmatismu. Někteří lidé tento rozdíl nemusí vůbec vnímat. Pokud má však vyšetřovaný s viděním problém, doporučuje se hodnota cylindru snížit. [2, 19]

Obecně se v populaci mnohem lépe snáší korekce, jejíž cylindr má orientaci kolem osy 0° a 90° . U šikmých os může docházet k proporčním změnám pozorovaného obrazu, které nemusí být vyšetřováním dobře snášeny. Proto je nutné, aby se vyšetřovaná osoba s naměřenou astigmatickou korekcí prošla v prostoru, neboť jen tak se dá určit, zda pohled přes naměřené hodnoty bude komfortní i v běžném životě. Konečná korekce musí být tedy jakýmsi kompromisem mezi kvalitním a komfortním viděním. V případě, že pacient dlouhodobě nosí chybně zvolenou astigmatickou korekci, může dojít ke vzniku adaptace. Při novém vyšetření musí být tento omyl zohledněn, neboť přímý přechod na správnou korekci by probandovi způsobil značný dyskomfort. [2, 19]

5.3.2 Korekce astigmatismu kontaktními čočkami

Korekce astigmatismu pomocí kontaktních čoček patří v dnešní době ke stále častěji vyhledávanému způsobu řešení. Tento fakt je dán hlavně výhodami, které kontaktní čočky proti brýlím nabízí. Mezi přednosti se řadí široké zorné pole bez zkreslení periferního vidění, dále čočky umožňují účast v aktivním sportech, při kterých by brýle byly překážkou, a v poslední řadě je nutno zmínit i samotnou vizáž pacienta bez brýlí.

Standardně se kontaktní čočky dělí na měkké a pevné. V České republice velká část populace používá měkké kontaktní čočky, neboť mají na rozdíl od pevných čoček daleko menší dráždivý efekt. Pevné kontaktní čočky nosí převážně lidé, u kterých vykazuje rohovka nepravidelné zakřivení (např. u keratokonusu nebo po transplantaci rohovky). [36, 37]

Nezbytnou součástí aplikace je zjištění správné hodnoty brýlové korekce, podle které se vypočítá vhodná dioptrie kontaktní čočky. Přepočet se provádí z toho důvodu, že čočka leží přímo na oku, tudíž se její lámavý účinek liší od brýlové korekce. V praxi se přepočítávají hodnoty brýlové korekce vyšší než ± 4 D, neboť u nižších dioptrií je výsledek beze změny. Ke zjištění správné hodnoty kontaktní čočky se používají tabulky s již přepočítanými dioptriemi. [37]

5.3.3 Korekce astigmatismu chirurgickou cestou

Nejradikálnější řešení korekce astigmatismu, které je také spojeno s největším zdravotním rizikem, nabízí refrakční chirurgie. Tyto zákroky se dělí na nelaserové a laserové. Mezi nelaserové se řadí incizní keratotomie, která mění původní zakřivení rohovky jejím nářezem v přesně daných místech. Laserové refrakční výkony (PRK, LASIK, LASEK a jejich inovace) využívají ke změně zakřivení rohovky excimerový laser, který rozruší vazby mezi molekulami a následně je rozptýlí do prostoru. [5]

6 Praktická část

Správné stanovení korekce do dálky i do blízka je nezbytné pro zajištění ostrého a komfortního vidění. V dnešní době se stále více hovoří o korekci astigmatismu do blízka, který se však v běžné praxi obvykle nevyšetřuje. Praktická část této diplomové práce se věnuje vyhodnocení dané problematiky, tedy změny astigmatické korekce při pohledu do blízka.

6.1 Cíle výzkumu

V rámci studie byla změřena objektivní a subjektivní refrakce probandů jak do dálky, tak do blízka. Důraz byl kladen na vyšetření astigmatismu, který byl hlavním předmětem zkoumání. Prvním cílem tohoto měření bylo vzájemné srovnání subjektivní a objektivní refrakce, a to zvláště na dálku a zvláště do blízka. Dalším cílem bylo porovnat změnu cylindru a osy astigmatismu do dálky a do blízka samostatně pro vyšetření subjektivní a samostatně pro měření objektivní. Vzhledem k platnosti Listingova zákona bylo očekáváno, že při změně pohledu z dálky do blízka dojde k rotaci oka a stočení osy astigmatismu. Veškerá data byla vhodně zpracována a následně vyhodnocena pomocí programu Microsoft Excel verze 2013.

6.2 Soubor účastníků a metodika

Data pro vypracování této studie byla získávána od prosince roku 2015 do března roku 2016. Vyšetřování probíhalo na externím pracovišti Exclusiv v Bratislavě, která má odpovídající vybavení nezbytné pro provedení tohoto výzkumu. Součástí pracoviště je také vyšetřovna, kde se uskutečnila veškerá měření.

6.2.1 Vyšetřované osoby

Pro tuto studii bylo vyšetřeno 35 osob ve věkovém rozpětí od 22 do 68 let. Průměrný věk skupiny činil 44 let se směrodatnou odchylkou ± 12 let. Modus této vyšetřované

skupiny, tedy věk, který se vyskytoval nejčastěji, byl 52 let. Jako medián byla stanovena hodnota 42 let. Celkový počet účastníků zahrnoval 24 žen a 11 mužů, což odpovídá 68,57% žen a 31,43% mužů. Účastníci byli na základě přídatku do blízka rozděleni do dvou skupin – nepresbyopové a presbyopové. Do skupiny nepresbyopů bylo zařazeno celkem 18 osob, z toho 11 žen a 7 mužů. Skupina presbyopů obsahovala 17 probandů, do které spadalo 13 žen a 4 muži. U každé vyšetřené osoby bylo měřeno a zhodnoceno pravé i levé oko, celkově bylo tedy změřeno 70 očí.

Aby mohli být figuranti zařazeni do studie, muselo se jednat o osoby starší 18 let bez jakýchkoliv očních abnormalit, u kterých byl přítomen oční astigmatismus. Po účastnících studie bylo vyžadováno, aby před měřením neměli alespoň 3 dny nasazené kontaktní čočky, jejichž nošením by mohlo dojít ke změně rohovkového astigmatismu a tím ke znehodnocení výsledků. Dále museli být probandi před vyšetřením odpočatí (bylo doporučeno v daný den omezit práci s počítačem na minimum) a nesměli se podrobit testování v období nachlazení či alergické reakce způsobující nadměrné slzení či osychání očí, které by mohly negativně ovlivnit výsledky vyšetření.

6.2.2 Metodika měření

Jak již bylo zmíněno, výzkum byl prováděn na pracovišti Exclusiv v Bratislavě od prosince 2015 do března 2016. Každý figurant byl nejprve seznámen s výzkumnou studií a vyšetřovacím postupem. Pro tento účel byl vytvořen informovaný souhlas zahrnující informace o výzkumné studii, popis výzkumných procedur a rizika účasti v dané studii, který vyšetřovaný dobrovolně podepsal vždy před započatím měření.

Všechna měření probíhala ve vyšetřovacím křesle za stejných světelných podmínek. Pokaždé byla nejprve zjištěna základní data o klientovi včetně celkové, oční a rodinné anamnézy. V případě, že proband již nosil korekci, byly její hodnoty zjištěny a zapsány a následně byl vízus s touto dioptrií zhodnocen.

Bezprostředně poté byla zhasnuta světla kvůli následujícímu objektivnímu měření. Údaje vyšetřovaného byly vloženy do softwarového programu přístroje DNEye Scanneru a byl zadán program pro měření objektivní refrakce jak do dálky,

tak do blízka. Následně byl vyšetřovaný poučen, aby uvnitř přístroje sledoval barevný obrázek a nikoliv červené světýlko nacházející se pod ním a také, aby při měření nemluvil. Výškovou pozici a stabilitu hlavy pacienta zajišťovala bradová a čelní opěrka hlavy. Po nacentrování přístroje a instruování probanda se zahájilo automatické měření pravého i levého oka, během kterého mohl vyšetřovaný bez omezení mrkat, aby se stačil obnovovat slzný film. Současně přístroj standardně změřil i topografii, tato data však nejsou pro účely práce využita. Poté byl pacient vyzván k odklonění hlavy z vyšetřovací pozice. Následně se na obrazovce DNEye Scanneru objevily výsledky měření do dálky a do blízka, čímž se objektivní refrakce ukončila.

Jako další se za binokulárních podmínek určovala oční dominance, která je důležitá zejména v případě užití korekce typu monovision (upřednostnění jednoho oka na dálku a druhého do blízka) a dále za předpokladu, že není možné dosáhnout rovnováhy binokulární vidění. Právě tehdy se u korekce upřednostňuje dominantní oko. K odhalení oční dominance slouží jednoduchý test – karta s otvorem uprostřed. Vyšetřovaný si vezme tento test do rukou a skrze otvor sleduje oběma očima vzdálený předmět, v našem případě největší znak optotypu. Při pozorování tohoto znaku se zakryje nejprve jedno a pak druhé oko. Pokud se zastře oko dominantní, obraz uskočí z otvoru ven.

Před samotnou subjektivní refrakcí se ještě změřil naturální vízus, tedy jak vyšetřovaný viděl bez brýlí. V případě subjektivní refrakce byla důležitá maximální spolupráce ze strany pacienta, neboť pouze on mohl zhodnotit kvalitu a ostrost obrazu. V první řadě se nasadila a přizpůsobila vyšetřovanému obruba tak, aby nikde netlačila. Pomocí centrovacích křížů se individuálně nastavila výška středu pupil a pupilární vzdálenost. Kompletní vyšetření probíhalo nejprve monokulárně u pravého a následně u levého oka, kdy nevyšetřované oko bylo zakryto clonou. Probandi nejdříve četli písmena optotypu od větších rozměrů k menším, kdy jim byla na základě kvality vidění stanovena nejlepší možná sférická korekce. Ta odpovídala hodnotě nejslabší rozptylky nebo nejsilnější spojky.

Po určení nejlepší sféry přišlo na řadu vyšetření astigmatismu metodou Jacksonových zkřížených cylindrů, u které se zásadně využívala mínusová hodnota cylindru. Přítomnost astigmatismu se zjistil na tzv. astigmatické růžici, kde mohl vyšetřovaný

popsat rozdíly v kontrastu a viditelnosti jednotlivých čar. Samotné stanovení osy a síly cylindru se měřilo jak do dálky, tak i do blízka na Landoltových kruzích, aby výsledky nebyly zkresleny rozdílnými vlivem rozdílných testů. Byl využit postup popsáný v kapitole 5.2.1. Správnost cylindru byla následně ověřena na astigmatické ruzici, která by po správné korekci měla mít všechna ramena stejně ostrá a kontrastní. Astigmatická korekce byla otestována také při čtení optotypu, kdy probandi popisovali značné zlepšení kvality vidění.

Monokulární korekce po stanovení osy a síly cylindru byla ověřena předřazením +0,25 D a -0,25 D, přičemž +0,25 D by vidění mělo zhoršit a -0,25 D by ho nemělo zlepšit. Kontrola korekce byla také provedena na červeno-zeleném testu, kdy znaky měly být v ideálním případě dobře čitelné v obou polích nebo na červeném podkladu.

Poslední částí subjektivní refrakce na dálku byla binokulární dokorekce za využití tzv. Humprissovy metody. Vyšetřovaný sledoval dobře viditelný řádek optotypu. Před jedno oko mu byla předřazena hodnota +0,75 D (případně +1,0 D), která monokulárně zhoršila kvalitu vidění. Před oko druhé se předložila +0,25 D, s níž by v ideálním případě mělo být vidění horší, a následně i -0,25 D, která by vidění neměla zlepšit. Na závěr subjektivní refrakce se vyšetřovaný prošel a při pohledu do dálky mu byly binokulárně předřazeny hodnoty +/-0,25 D. Obě varianty by při správné korekci měly být horší nebo by vidění neměly zlepšit.

Pokud byla určena správná korekce na dálku, pak následovalo vyšetření na blízkou vzdálenost, která byla u všech vyšetřovaných zvolena na 40 cm. Zpočátku probandi dostali do rukou čtecí tabulku, ze které měli v dané vzdálenosti číst. Nepresbyopové byli schopni přečíst celý text včetně nejmenších písmen. U presbyopů, kteří měli se čtením na blízko problém, byla stanovena taková výška adice, se kterou byl testovací text viděn komfortně. Korekce byla ověřena na červeno-zeleném testu.

V poslední řadě byl na blízko měřen i astigmatismus pomocí čtecích tabulek s astigmatickou ruzicí a Landoltovými kruhy. Toto měření se provádělo monokulárně, kdy vyšetřovaný nejprve na astigmatické ruzici ověřil viditelnost jednotlivých čar. Potom byla na Landoltových kruzích odpovídajícího vízu zkontrolována osa a síla cylindru stejně jako do dálky. Poté, co byl ověřen astigmatismus do blízka zvlášť

pro pravé a levé oko, byl opět zkontrolován vízus na čtecích tabulkách. Po celou dobu měření do blízka byly vyšetřovací tabulky umístěny tak, aby se text nacházel ve stejné pozici vzhledem k oběma očím. Tato vzdálenost musela být dodržena kvůli zachování Listingova zákona.

6.2.3 Metodika statistického vyhodnocování výsledků

Všechny údaje a naměřená data byla řádně zapsána a následně vhodně statisticky vyhodnocena. K vzájemnému zhodnocení dat byl využit dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu, u kterého byla hladina významnosti 5 % ($p = 0,05$). Dále byly výsledky analyzovány Bland-Altmanovou metodou (B-A analýza). V případě srovnání subjektivních a objektivních výsledků byl pro každé oko stanoven rozdíl hodnot sféry, cylindru a osy Δsph , Δcyl , Δosa , přičemž byl vždy od subjektivního výsledku odečten výsledek objektivní. Zda se jednalo o měření do dálky či blízka bylo odlišeno dolním indexem D nebo B. Při porovnání výsledků do dálky a blízka byly hodnoty do blízka odečteny od hodnot do dálky. Hodnoty jsou reprezentovány ve formě průměrů a směrodatných odchylek. Pro porovnání údajů byla též využita B-A analýza, v rámci které je zjišťována závislost rozdílů na průměrné hodnotě. Sledovanými parametry byly meze 95% konfidenčního intervalu (interval obsahující 95 % všech sledovaných průměrných rozdílných hodnot). Meze konfidenčního intervalu byly určeny jako $\pm 1,96 * SD$, kde SD je příslušná směrodatná odchylka.

6.3 Výsledky výzkumu

Při srovnání (t-testem) subjektivní a objektivní refrakce do dálky pravých i levých očí dohromady byla zjištěna statisticky významná změna mezi subjektivním a objektivním měřením u nepresbyopů i presbyopů ve velikosti cylindru ($p = 1*10^{-5}$, $p = 3*10^{-7}$). V průměru u objektivního měření velikost cylindru vždy narostla směrem do minusových hodnot, u nepresbyopů o 0,23 D, u presbyopů o 0,29 D. Sféra se významně nelišila ani u nepresbyopů ($p = 0,1$) a ani u presbyopů ($p = 0,1$), průměrná změna byla u nepresbyopů u objektivního měření o 0,09 D vyšší a u presbyopů o 0,07 D nižší. Osa se neměnila významně u žádné ze skupin ($p = 0,5$, $p = 0,8$), rozdíl v obou

případech činil necelý 1°. Výsledky včetně mezí konfidenčního intervalu pro Bland-Altmanovu analýzu uvádí tab. 5 a 6. V případě sféry byl u nepresbyopů rozptyl dat, určený oběma metodami a daný konfidenčním intervalem, na hranici klinické akceptovatelnosti. U cylindru byl patrný statisticky i klinicky podstatný posun o hodnotu 0,23 D, přičemž rozptyl dat byl opět klinicky akceptovatelný. V případě osy k žádnému významnému rozdílu nedošlo, rozptyl dat byl značný, ale nutno podotknout, že změna osy může záviset na hodnotě cylindru (viz graf č. 1). U presbyopů byly výsledky obdobné, rozptyl dat sférických hodnot, získaný t-testem a konfidenčním intervalem Bland-Altmanovy analýzy, byl na hranici klinické akceptovatelnosti. Při porovnání cylindrů byl zřetelný statisticky i klinicky významný posun do mínusu o 0,29 D, jehož rozptyl dat byl obdobně jako u nepresbyopů klinicky akceptovatelný. Osa nabyla zjevného rozdílu a rozptyl dat byl v tomto případě výrazný. Rozdíly os však byly pouze individuální. Závislost změny osy na cylindru u presbyopa do dálky je vykreslena v grafu č. 3.

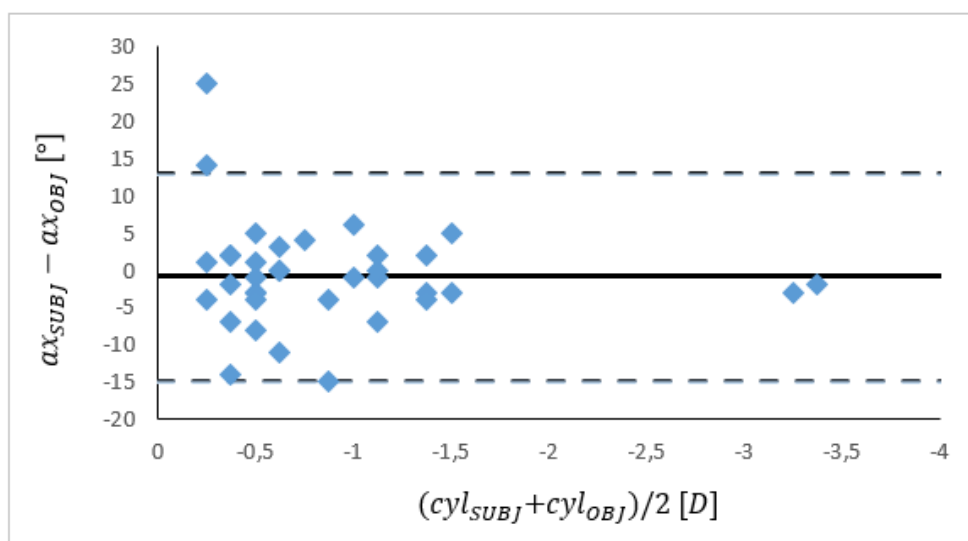
Dále byla srovnána (t-testem) data subjektivní a objektivní refrakce do blízka. Zde došlo k významným statistickým rozdílům u nepresbyopů i u presbyopů ve sférické korekci ($p = 7 \cdot 10^{-12}$, $p = 3 \cdot 10^{-9}$) i u cylindru ($p = 9 \cdot 10^{-5}$, $p = 2 \cdot 10^{-7}$). Sférická objektivní měření nabývala vyšších plusových hodnot než měření subjektivní, u nepresbyopů rozdíl činil 1,6 D a u presbyopů 0,6 D. Objektivní měření u cylindrů vykazovalo také vyšší hodnoty, avšak v tomto případě do mínusu, a to o 0,27 D u nepresbyopů a o 0,31 D u presbyopů. Změna osy nebyla ani v jednom případě statisticky významná ($p = 0,2$, $p = 0,7$), rozdíl hodnot v případě nepresbyopů byl roven 5,8° a u presbyopů difference činila pouze 0,6°. Při využití Bland-Altmanovy analýzy a jeho mezí konfidenčního intervalu (výsledky viz tabulka 5 a 6) spolu s první metodou byl u nepresbyopů ve sféře zjištěn výrazný posun a rozptyl dat, který byl vyhodnocen jako klinicky významný. V případě cylindru byl odhalen také klinicky významný rozptyl dat, který byl větší než do dálky a byl klinicky akceptovatelný. Hodnoty osy byly doprovázeny výrazným rozptylem s klinickou významností. Závislost změny osy na cylindru u nepresbyopa do dálky je znázorněna v grafu č. 2. Presbyopické výsledky vykazovali do blízka u sférických hodnot rozptyl na hladině klinické akceptovatelnosti. Rozptyl u cylindru byl také klinicky akceptovatelný a byl porovnatelný s rozptylem

do dálky. Rozdíl hodnot u osy nebyl nijak významný, ovšem rozptyl dat byl opět značný a porovnatelný s rozptylem osy na dálku. Také zde je závislost změny osy na cylindru znázorněna a to v grafu č. 4.

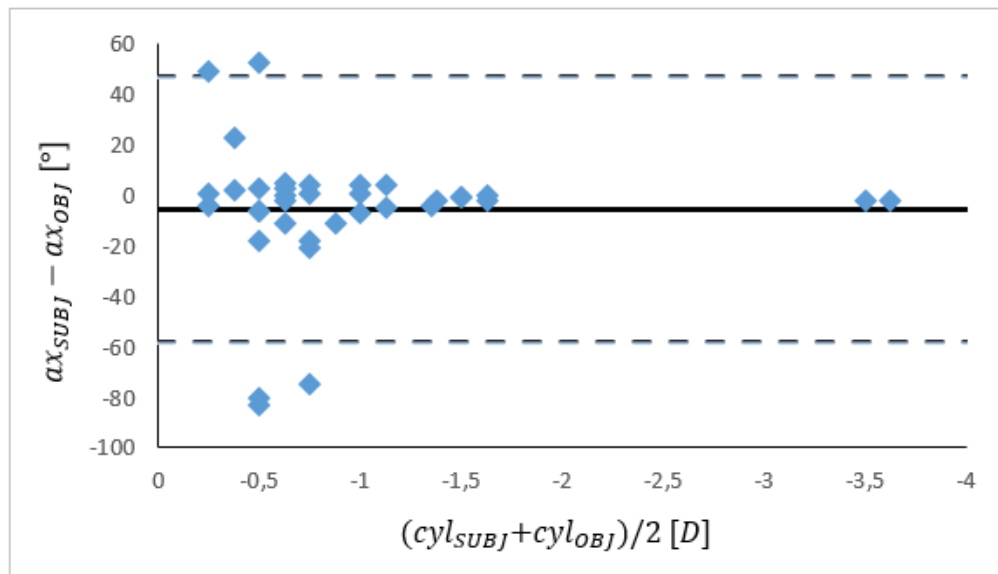
Tabulka 5: Vyhodnocení rozdílů subjektivní a objektivní refrakce u nepresbyopa

Nepresbyop						
	Dálka			Blízko		
	Δsph_D	Δcyl_D	Δosa_D	Δsph_B	Δcyl_B	Δosa_B
Průměrný rozdíl	0,09 D	0,23 D	-0,8°	-1,6 D	0,27 D	-5,8°
Směrodatná odchylka	0,32 D	0,27 D	7,1°	0,93 D	0,37 D	27°
B-A analýza Horní mez	0,71	0,76	13	0,26	1	47
B-A analýza Dolní mez	-0,53	-0,3	-15	-3,4	-0,45	-58

Graf č. 1: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy na hodnotě cylindru u nepresbyopa při měření do dálky; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



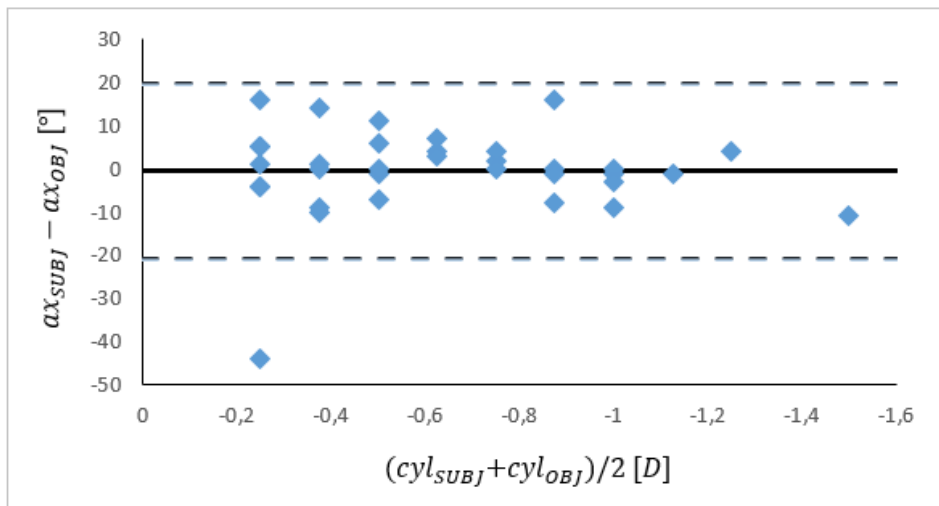
Graf č. 2: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy na hodnotě cylindru u nepresbyopa při měření do blízka; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



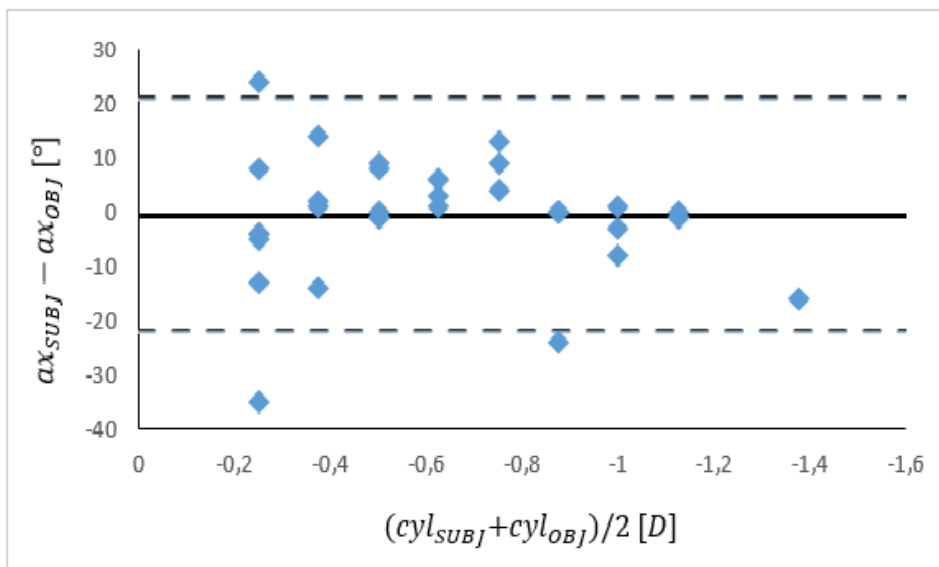
Tabulka 6: Vyhodnocení rozdílů subjektivní a objektivní refrakce u presbyopa

Presbyop						
	Dálka			Blízko		
	Δsph_D	Δcyl_D	Δosa_D	Δsph_B	Δcyl_B	Δosa_B
Průměrný rozdíl	-0,07 D	0,29 D	-0,4°	-0,57 D	0,31 D	-0,6°
Směrodatná odchylka	0,26 D	0,26 D	10°	0,41 D	0,28 D	11°
B-A analýza Horní mez	0,44	0,8	19,8	0,24	0,85	21
B-A analýza Dolní mez	-0,57	-0,23	-21	-1,4	-0,23	-22

Graf č. 3: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy na hodnotě cylindru u presbyopa při měření do dálky; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



Graf č. 3: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy na hodnotě cylindru u presbyopa při měření do blízka; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



Dalším předmětem zkoumání výsledků bylo porovnání hodnot do dálky a do blízka nejprve u subjektivní refrakce a následně u refrakce objektivní, přičemž byly srovnány hodnoty pouze u cylindru a u osy. Sférické hodnoty byly z této části vypuštěny, neboť u nepresbyopů nedocházelo při subjektivním měření k žádným rozdílům a u presbyopů byla diference dána fyziologickou změnou menší schopnosti akomodace. Výsledky os byly porovnány nejprve pro pravé a levé oči zvlášť, neboť vlivem rotace lze předpokládat možné stočení na opačné strany u pravého a levého oka, a posléze ještě pro skupinu pravých i levých očí dohromady.

Při vzájemném srovnání (t-testem) subjektivních výsledků cylindrů do dálky a do blízka u nepresbyopů byla zjištěna statistická významnost ($p = 0,02$), hodnoty se posunuly o 0,05 D do mínusu. V případě objektivních výsledků nedošlo ke statisticky významné změně ($p = 0,06$), rozdíl byl opět posunut více do mínusu a to o hodnotu 0,09 D. U vzorku presbyopů nedošlo k objevení statistické významnosti ani u subjektivní ani u objektivního měření ($p = 0,66$, $p = 0,42$). Rozdíl hodnot u subjektivního měření činil 0,01 D do plusu a u objektivního měření byl rozdíl 0,01 D do mínusu. Zhodnocením dat Bland-Altmanovou metodou (viz tabulka 7) u nepresbyopů v případě subjektivních výsledků byl zjištěn rozptyl na hranici klinické významnosti. U objektivních výsledků byl rozptyl větší než u výsledků subjektivních a také na hranici klinické akceptovatelnosti. Výsledná data presbyopů byla mnohem stabilnější, rozptyly byly v obou případech relativně malé a hodnoty byly vyhodnoceny jako klinicky nevýznamné.

Tabulka 7: Vyhodnocení rozdílu cylindru do dálky a do blízka

	Nepresbyop		Presbyop	
	Subjektivně	Objektivně	Subjektivně	Objektivně
Průměrný rozdíl	0,05 D	0,09 D	-0,01 D	0,01 D
Směrodatná odchylka	0,11 D	0,28 D	0,1 D	0,11 D
B-A analýza Horní mez	0,27	0,6	0,18	0,22
B-A analýza Dolní mez	-0,18	-0,46	-0,2	-0,19

Jak již bylo zmíněno, rozdíly v ose do dálky a do blízka byly porovnávány zvlášť pro pravé a zvlášť pro levé oči. U nepresbyopů při subjektivní refrakci na pravých a také na levých očích nedošlo ke statisticky významným rozdílům ($p = 0,7$, $p = 0,2$). Hodnoty se u pravých očí změnilo o $0,3^\circ$ a u levých očí o $1,2^\circ$. V obou případech došlo u očí ke stočení os ve směru extorze. V případě objektivního měření byly zjištěny statisticky nevýznamné změny ($p = 0,3$, $p = 0,7$) o hodnotách $7,6^\circ$ pro pravé oko a $1,6^\circ$ pro oko levé. Zde bylo pozorováno stočení pravých očí směrem do extorze, levé oči naopak rotovaly v intorzi. Presbyopický vzorek měl výsledné hodnoty daleko vyrovnanější a stabilnější. Subjektivní výsledky na pravých očích nebyly nijak statisticky významné, průměrný rozdíl výsledků byl téměř roven nule. V případě levých očí byl objeven statisticky významný rozdíl ($p = 0,03$), klinicky však nevýznamný, průměrná změna činila $1,1^\circ$. Také zde, stejně jako u nepresbyopů, se oči stočily do extorze. Objektivní výsledky pravých i levých očí nenabývaly statisticky významných hodnot ($p = 0,3$, $p = 0,09$), rozdíly stočení os odpovídaly hodnotám $1,6^\circ$ a $2,3^\circ$. Na základě těchto výsledků byla u obou skupin očí také zjištěna extorze. Výsledky Bland-Altmanovy analýzy jsou opět včetně konfidenčního intervalu uvedeny v tabulkách 8 a 9. U nepresbyopů subjektivně u pravých i levých očí byl rozptyl os malý. V případě objektivního měření byl rozptyl dat u pravých i u levých očí daleko výraznější. Co se týká presbyopických očí, zde byly výsledky o něco stabilnější. Subjektivní hodnoty měly poměrně malý rozptyl. U výsledků objektivních se rozptyly o něco zvětšily.

Tabulka 8: Vyhodnocení rozdílu osy při pohledu do dálky a do blízka pro pravé oči

	Nepresbyop		Presbyop	
	Subjektivně	Objektivně	Subjektivně	Objektivně
Průměrný rozdíl	-0,3°	-7,6°	0°	-1,6°
Směrodatná odchylka	4,7°	28°	1,8°	6,5°
B-A analýza Horní mez	8,9	46	3,5	11
B-A analýza Dolní mez	-9,7	-62	-3,5	-14

Tabulka 9: Vyhodnocení rozdílu osy při pohledu do dálky a do blízka pro levé oči

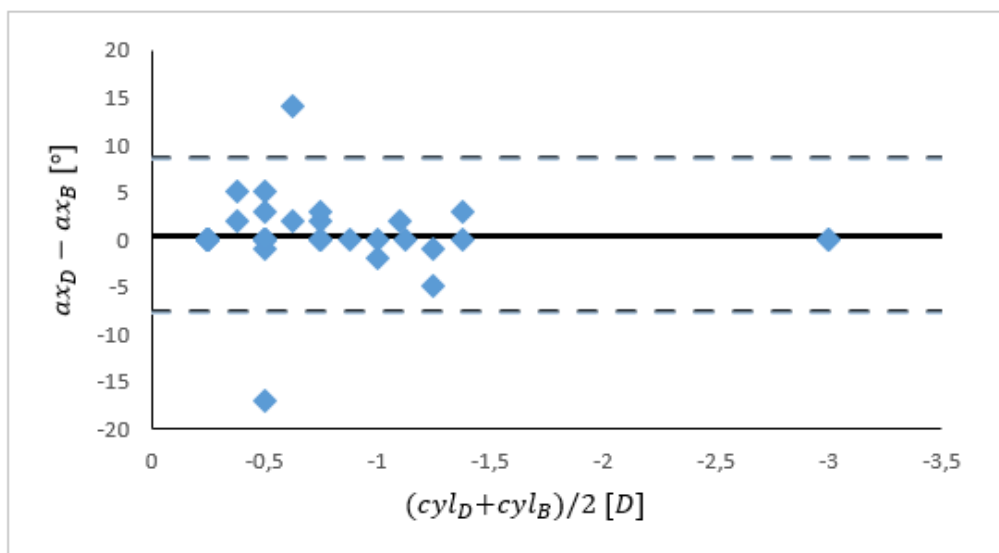
	Nepresbyop		Presbyop	
	Subjektivně	Objektivně	Subjektivně	Objektivně
Průměrný rozdíl	1,2°	-1,6°	1,1°	2,3°
Směrodatná odchylka	3,4°	19°	1,9°	5,2°
B-A analýza Horní mez	7,9	36	4,8	12
B-A analýza Dolní mez	-5,5	-39	-2,6	-7,8

Vzhledem k tomu, že nebyly pro pravé a levé oči u osy cylindru prokázány významné rozdíly, byly oba soubory sloučeny a vyhodnoceny společně. Ani v tomto případě nebyl mezi dálkou a blížkem signifikantní rozdíl. V případě nepresbyopů ($p = 0,55$, $p = 0,25$) se osa změnila o $0,4^\circ$ a $4,6^\circ$, presbyopické rozdíly výsledků ($p = 0,09$, $p = 0,74$) dosáhly hodnot $0,6^\circ$ a $0,4^\circ$. V tabulce 10 jsou uvedeny výsledky Bland-Altmanovy analýzy včetně konfidenčních intervalů. Závislost rozdílu osy do dálky a do blízka na hodnotě cylindru pro jednotlivé skupiny uvádí grafy 5 – 10.

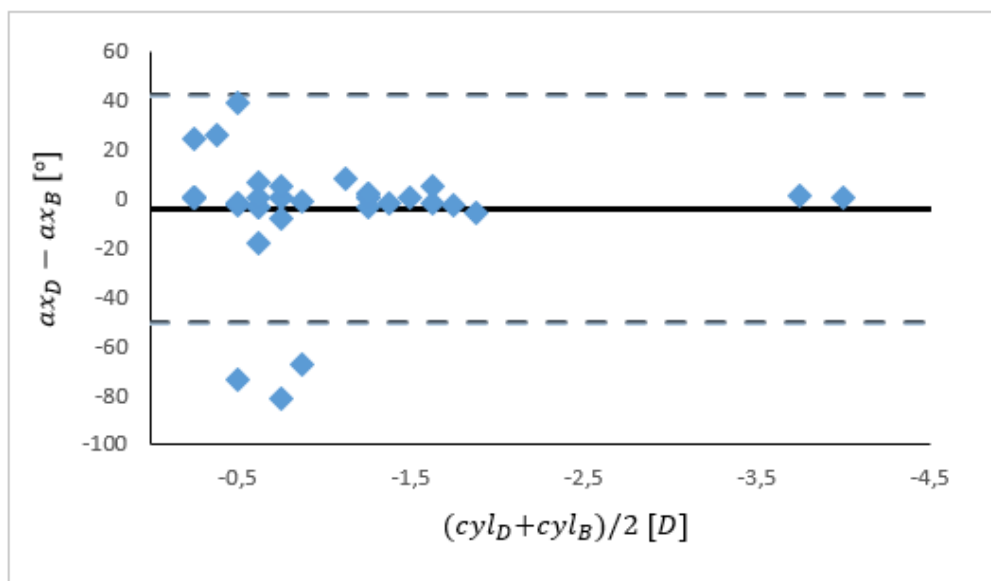
Tabulka 10: Vyhodnocení rozdílu osy při pohledu do dálky a do blízka společně pro obě oči

	Nepresbyop		Presbyop	
	Subjektivně	Objektivně	Subjektivně	Objektivně
Průměrný rozdíl	0,4°	-4,6°	0,6°	0,4°
Směrodatná odchylka	4,1°	24°	1,9°	6,1°
B-A analýza Horní mez	8,6	42	4,3	12
B-A analýza Dolní mez	-7,7	-51	-3,2	-12

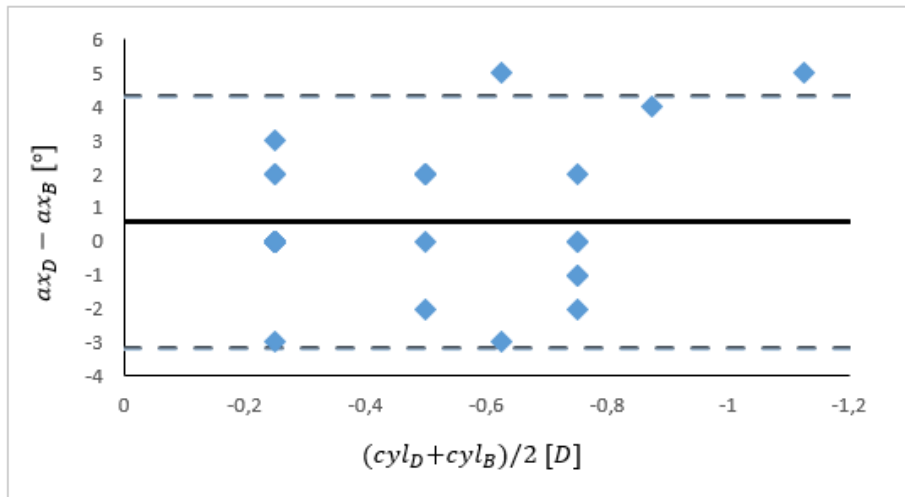
Graf č. 5: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy do dálky a blízka na hodnotě cylindru u nepresbyopa při subjektivním měření; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



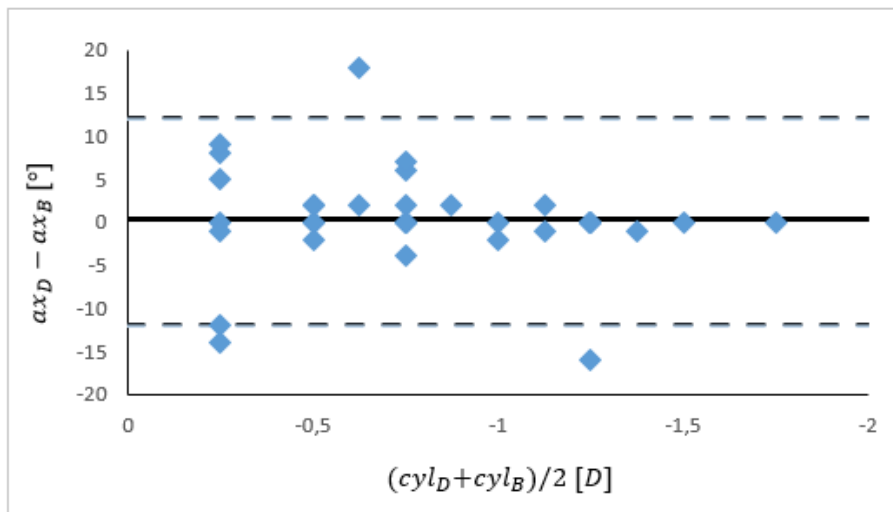
Graf č. 6: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy do dálky a blízka na hodnotě cylindru u nepresbyopa při objektivním měření; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



Graf č. 7: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy do dálky a blízka na hodnotě cylindru u presbyopa při subjektivním měření; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



Graf č. 8: Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu osy do dálky a blízka na hodnotě cylindru u presbyopa při objektivním měření; čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval, plná vodorovná čára představuje průměrnou hodnotu rozdílu



6.4 Diskuse

Experimentální část diplomové práce byla věnována měření objektivní a subjektivní refrakce s důrazem kladeným na vyšetření astigmatismu, který byl hlavním předmětem zkoumání. Do této studie byly tedy logicky zařazeny osoby, jejichž oči vykazovaly astigmatismus o hodnotě alespoň $-0,25$ D a to při objektivní i subjektivní refrakci. Vzorek osob byl na základě přídavku do blízka rozdělen do dvou skupin na nepresbyopy a presbyopy. Cílem bylo zjistit, zda jsou rozdíly mezi subjektivní a objektivní refrakcí, a to zvláště na dálku a zvláště do blízka. Dalším cílem bylo porovnat změnu cylindru a osy astigmatismu do dálky a do blízka samostatně pro vyšetření subjektivní a samostatně pro měření objektivní.

Při srovnání subjektivních a objektivních výsledků u skupiny nepresbyopů do dálky byl klinicky významný rozdíl pouze v cylindru. Do blízka byl významný rozdíl jak u sféry, tak u cylindru i osy. Nutno zdůraznit, že velký sférický rozdíl byl nejspíše způsoben kvůli akomodaci, kterou DNEye Scanner zřejmě vyhodnotil jako ochabující, tudíž hodnoty byly objektivně naměřeny více do plusu. V případě osy byly u většiny zjištěny jen malé rozdíly, ovšem bylo zachyceno 7 výrazně vychýlených hodnot, které značně zvýšily průměrný rozdíl a rozptyl. U presbyopického vzorku byl do dálky klinicky významný rozdíl zjištěn pouze u cylindru, do blízka pak u sféry a u cylindru. V případě sféry byl rozdíl hodnot daleko menší, což se dá zdůvodnit oslabenou akomodací u presbyopů.

Porovnáním hodnot průměrných rozdílů cylindrů do dálky a do blízka současně pro obě oči nebyl při subjektivním ani objektivním měření u nepresbyopů i presbyopů zjištěn žádný větší posun ani rozptyl dat. Dá se zde pouze říci, že u presbyopů byly hodnoty mnohem stabilnější a nenabývaly tak velkých rozptylů a průměrných rozdílů.

Dále byly hodnoceny rozdíly os při pohledu do dálky a do blízka u pravých očí. Tyto výsledky nebyly nijak významné. Pouze u nepresbyopů při objektivním měření byl zjištěn velký rozptyl dat, který nejspíše vznikl kvůli třem odlehlým hodnotám. Po podrobnějším prozkoumání výsledků bylo zjištěno, že u všech těchto průměrných rozdílů os pravých očí, i když byl posun nevýznamný, došlo k extorzi očí. V poslední řadě byly sledovány hodnoty rozdílů os při pohledu do dálky a do blízka pro levé oči. Zde stojí za zmínku rozsah konfidenčního intervalu objektivního měření

u nepresbyopů, který nabýval daleko větší variability než ostatní intervaly v této skupině, což mohly způsobit čtyři výrazně vychýlené hodnoty. Na základě výsledků bylo zjištěno, že u levých očí při pohledu do blízka došlo stejně jako u očí pravých k extorzi. Jedinou výjimkou byla data objektivních měření u nepresbyopů, která vypovídala o vzniku intorze. Pokud bychom však vychýlená data z výsledků vynechali, výsledkem by i v tomto případě byl vznik extorze.

Zařazení probandů do této studie bylo limitováno mnoha faktory, což způsobilo nepříliš velký zkoumaný vzorek. Pro lepší zhodnocení výsledků by bylo vhodné, aby pro určitou hodnotu cylindru bylo pořízeno větší množství dat. Nutno ještě poznamenat, že v případě objektivní refrakce se vyšetřování při měření hodnot do dálky i do blízka dávali stále přímo před sebe na obrázek uvnitř přístroje. Při subjektivní refrakci do dálky bylo také zajištěno paralelního postavení očí. Pokud však probíhalo měření do blízka, text byl dán před obličej vyšetřovaného tak, aby byl ve stejné vzdálenosti od obou očí, přičemž výškově byla čtecí tabulka umístěna pod oční úroveň. Z toho vyplývá, že při subjektivní refrakci do blízka došlo nejen ke konvergenci, ale také ke sklopení zraku.

Díky této studii bylo zjištěno, že v průměru u populace nedochází k výrazným rozdílům mezi subjektivní a objektivní refrakcí a to jak na dálku, tak do blízka. Také rozdíly u cylindru a osy při pohledu do dálky a do blízka v průměru nevyznačovaly značné změny. Avšak v některých individuálních případech může při pohledu do dálky a do blízka nastat posun, který by bylo možné v korekci zohlednit. Dá se ovšem říci, že při pohledu z dálky do blízka i u malých naměřených rozdílných hodnot došlo k malé rotaci očí a stočení pohledových os astigmatismu do extorze, čímž byla potvrzena platnost Listingova zákona.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá změnou astigmatické korekce při pohledu do blízka. Pro lepší orientaci v dané problematice byl v úvodu teoretické části práce objasněn a rozvinut pojem astigmatismus, jakožto i jeho etiologie a klasifikace. Jelikož s pohledem do blízka souvisí konvergence očí, byly v návaznosti na astigmatismus popsány okohybné svaly zajišťující oční pohyby. S pohledem do blízka a konvergencí úzce souvisí i akomodace, jež zaručuje vznik ostrého obrazu při pohledu na blízkou vzdálenost. Pokud není akomodace dostačující a vyšetřovaný vidí obraz v blízké vzdálenosti rozmazaně, pak hovoříme o presbyopii, jejíž projevy a korekce byly v této práci také zmíněny. Poslední kapitola teoretické části odhalila možnosti vyšetření a korekce astigmatismu. Všechny tyto pojmy bylo nezbytné uvést a objasnit pro lepší pochopení dané problematiky.

V experimentální části práce byl popsán soubor zúčastněných osob, dále metodika měření, výsledky a diskuse. Výzkumu se zúčastnilo celkem 35 osob, které byly rozděleny do dvou skupin – nepresbyopové a presbyopové. Všichni probandi byli podrobeni řádné objektivní i subjektivní refrakci, zjištěné hodnoty byly zapsány, porovnány a následně vyhodnoceny. Cílem bylo zjistit, zda jsou rozdíly mezi subjektivní a objektivní refrakcí, a to zvlášť na dálku a zvlášť do blízka, a dále porovnat změnu cylindru a osy astigmatismu do dálky a do blízka samostatně pro vyšetření subjektivní a samostatně pro měření objektivní.

Výsledné hodnoty ukázaly, že u probandů došlo pouze k minimálním změnám. Proto se nepředpokládá, že by v průměrné populaci mělo docházet k výrazným rozdílům. Ovšem je nutné připustit, že u některých jednotlivců může dojít ke změně hodnot při pohledu z dálky do blízka, kterou by bylo možné v korekci zohlednit. Je tudíž nezbytné s každou vyšetřovanou osobou pracovat nanejvýš individuálně. Dále byl v práci potvrzen fakt, že při pohledu směrem dolů na blízkou vzdálenost dochází k rotaci očí a tím ke změně osy astigmatismu, která se u vyšetřovaných osob stáčela směrem do extorze.

Seznam použité literatury

- [1] ROZSÍVAL, P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [2] ANTON, M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3. přepracované vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [3] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry*. 5th edition. London: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.
- [4] STIDWILL, D., FLETCHER, R. *Normal binocular vision: Theory, investigation and practical aspects*. Oxford: Blackwell Publishing, 2011. ISBN 978-1-4051-9250-7.
- [5] KUCHYNKA, P. a kolektiv. *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [6] WANG, M. *Irregular astigmatism: Diagnosis and treatment*. Thorofare: Slack Incorporated, 2007. ISBN 978-1-5564-2839-5
- [7] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. Učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [8] BRAMBOROVÁ, S. *Astigmatismus do blízka – materiály ke vzdělávacímu semináři 10. vzdělávacího kongresu SČOO, Olomouc, 2015*.
- [9] ONDŘÍK, P. *Novinky ve vývoji individuálních progresivních čoček – vzdělávací materiály firmy Rodenstock, 2013*.
- [10] LENS, A., NEMETH, S. H., LEDFORD, J. K. *Ocular Anatomy and Physiology*. 2nd edition. Thorofare: SLACK Incorporated, 2008. ISBN 978-1-55642-792-3.
- [11] ČIHÁK, R. *Anatomie 3 – Druhé, upravené a doplněné vydání*. Praha: Grada, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [12] RIORDAN-EVA, Paul a Emmett CUNNINGHAM. *General Ophthalmology* [online]. 18th Edition. 2011 [cit. 2016-28-03]. ISBN 978-0-0716-3420-5. Dostupné z: <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=387&ionid=40229329>
- [13] GONZALES, C. *Cybersigh: Binocular vertical movements* [online]. [cit. 2016-28-03]. Dostupné z: http://www.cybersight.org/bins/volume_page.asp?cid=1-2630-2689-2691

- [14] YANOFF, M., DUKER, J. S. *Ophthalmology*. Third edition. Makati: Elsevier Health Sciences, 2009. ISBN 978-0-3230-4332-8.
- [15] TUNNAcliffe, A. H. *Introduction to visual optics*. 4th edition. Canterbury: ABDO College, 2004. ISBN 0-9009-928-3.
- [16] *Medical-dictionary: Listing's plane and the axes of Fick* [online]. [cit. 2016-29-03]. Dostupné z: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Listing's+law>
- [17] *Cybersight: Donders' and Listing's Laws* [online]. [cit. 2016-29-03]. Dostupné z: http://cybersight.org/bins/content_page.asp?cid=735-2858-4397-4404-4654-4704-4705
- [18] *Schorlab: Why does Listing's plane rotate during vergence?* [online]. [cit. 2016-29-03]. Dostupné z: <http://schorlab.berkeley.edu/vilis/whydoesLProtate.htm>
- [19] AUTRATA, R., ČERNÁ, J. *Nauka o zraku*. 1. vydání. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [20] KEIRL, A., CAROLINE, Ch. *Clinical Optics and Refraction: A guide for Optometrists, Contact Lens Opticians and Dispensing Opticians*. Oxford: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8889-5.
- [21] *Memrise: Accommodation (near)* [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.memrise.com/user/darkmaterials/>
- [22] SCHACHAR, R. A. *The mechanism of accommodation and presbyopia*. Amsterdam: Kugler Publications, 2012. ISBN 978-90-6299-233-1.
- [23] KHURANA, A. *Theory and practice of optics and refraction*. 2nd edition. New Delhi: Elsevier, 2008. ISBN 978-81-312-1132-8.
- [24] SCHACHAR, R. A., ROY, F. H. *Presbyopia: Cause and treatment*. The Hague: Kugler Publications, 2001. ISBN 90-6299-184-X.
- [25] PLUHÁČEK, F. *Korekce zraku I – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2010.
- [26] PLUHÁČEK, F. *Objektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011.

- [27] PLUHÁČEK, F. *Měření a analýza parametrů rohovky – výukové materiály předmětu Optické a oftalmologické přístroje*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.
- [28] DRTILOVÁ, P. *Kontaktní čočky 3 – výukové materiály k předmětu kontaktní čočky*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012.
- [29] RODENSTOCK. *Scanner and history – Materiály společnosti Rodenstock*, 2014.
- [30] UTTENWEILER, D., BUTZ, Ch. *Near refraction and aberrometry – Better vision with modern progressive lenses – materiály společnosti Rodenstock*, 2013.
- [31] RODENSTOCK. *FAQs (nejčastější otázky) DNEye Scanner – materiály společnosti Rodenstock*.
- [32] RODENSTOCK. *Optical scanner sets new standards in made-to-measure lenses* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://rodenstock-uk-ltd.mynewsdesk.com/pressreleases/optical-scanner-sets-new-standards-in-made-to-measure-lenses-1063309>
- [33] *Jacksons Crossed Cylinders* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.bernell.com/product/TOM3030/129>
- [34] PLUHÁČEK, F. *Monokulární korekce – vybrané základní algoritmy – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011.
- [35] RUTRLE, M. *Binokulární korekce na polatestu*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-302-3.
- [36] MUSILOVÁ, L. *Úvod do pevných kontaktních čoček – výukové materiály k předmětu Kontaktní čočky*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011.
- [37] PETROVÁ, S. *Základy aplikace kontaktních čoček*. 1. vydání Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-399-6