

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

VLIV POHLEDOVÉHO ÚHLU NA ASTIGMATISMUS

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Zuzana Joklíková

obor 5345T008 OPTOMETRIE

studijní rok 2015/2016

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, PhD.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv pohledového úhlu na astigmatismus vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne: 22. dubna 2016

.....
Bc. Zuzana Joklíková

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, vstřícný přístup, cenné připomínky a rady a také za jeho čas, který mi při psaní věnoval. Dále bych chtěla poděkovat všem figurantům, kteří se účastnili výzkumu spojeného s touto prací.

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	5
1 Okohybné svaly	6
1.1 Anatomie okohybných svalů	6
1.2 Inervace a motilita okohybných svalů	7
1.3 Listingův zákon	10
2 Astigmatismus	13
2.1 Popis a etiologie astigmatismu	13
2.2 Rozdělení astigmatismu.....	14
2.3 Výskyt astigmatismu v populaci.....	17
2.4 Korekce astigmatismu	18
3 Objektivní stanovení astigmatismu	22
3.1 Skiaskopie.....	22
3.2 Hartingerův koincidenční refraktometr	24
3.3 Automatický oční refraktometr (autorefraktometr).....	25
3.4 Javal-Schniötzův oftalmometr	27
4 Subjektivní stanovení astigmatismu	29
4.1 Subjektivní vyšetření astigmatismu do dálky	30
4.2 Subjektivní vyšetření astigmatismu do blízka	36
5 Praktická část	38
5.1 Metodika a subjekty.....	38
5.2 Výsledky	40
5.3 Diskuze	43
Závěr	46
Seznam použité literatury	47

Úvod

Každý z nás se jistě někdy podrobil vyšetření u optometristy nebo očního lékaře. Takové vyšetření spočívá mimo jiné ve zjištění zrakové ostrosti a stanovení optimální korekce. Až 95 % případů populace má diagnostikovaný astigmatismus různé velikosti. Astigmatismus je charakterizován velikostí a osou cylindru. Osa se může měnit s rotací oka, jež závisí na směru pohledu. Pokud by k těmto změnám docházelo, mohly by mít vliv na kvalitu vidění při bočním úhlu fixace. Těžištěm diplomové práce je zodpovědět otázku, zda astigmatismus při pozorování objektu v dálce závisí na směru pohledu či nikoli.

Cílem teoretické práce je popsat problematiku astigmatismu a očních pohybů, které ovlivňují rotaci oka. Proto se práce nejdříve zabývá okoohybnými svaly a jejich vlivem na hybnost oka. Stručně popisuje anatomii okoohybných svalů spolu s jejich inervací a motilitou. Druhá kapitola se zaměřuje na astigmatismu. Věnuje se příčinám vzniku této refrakční vady, přehledně klasifikuje jednotlivé typy astigmatismu a ukazuje možnosti řešení jeho korekce. Další částí této práce je objektivní stanovení astigmatismu, jsou zde zahrnuty některé možné metody vyšetření. Kromě objektivního měření běžně využíváme pro kompletní stanovení nejlepší korekce oka také subjektivní vyšetření, které se zaměřuje na komunikaci s vyšetřovaným. Toto vyšetření se skládá z několika postupných kroků, které se poslední kapitola snaží čtenáři připomenout.

Praktická část diplomové práce je věnována experimentálnímu měření vlivu úhlu pohledu na astigmatismus. Cílem této práce je zjistit, zda a jak se při změně pohledové osy mění také jednotlivé parametry refrakční vady, a to jak při objektivním tak i subjektivním vyšetření. Je zde popsána metodika měření a výzkumná skupina probandů. Současně je hodnocen rozdíl v refrakci měřené objektivně a subjektivně. V závěru práce jsou shrnuty a současně porovnány výsledky objektivní a subjektivní refrakce z provedeného výzkumu.

1 Okohybné svaly

Okohybné svaly umožňují dokonalou souhru pohybů obou očí. Okohybné svaly pracují společně a vyváženě ve všech devíti pohledových směrech (přímo vpřed, doprava, doleva, doprava nahoru, přímo nahoru, doleva nahoru, doprava dolů, přímo dolů a doleva dolů). Každé oko má šest okohybných svalů. Podle směru svalových snopců jsou rozděleny na dva druhy, a to na svaly přímé a šikmé. Přímé okohybné svaly jsou na bulbu vždy čtyři a jsou to horní přímý sval (m. rectus superior), dolní přímý sval (m. rectus inferior), vnitřní přímý sval (m. rectus internus) a zevní přímý sval (m. rectus externus). Šikmé svaly jsou na bulbu dva, horní šikmý sval (m. obliquus superior) a dolní šikmý sval (m. obliquus inferior). [1,2]

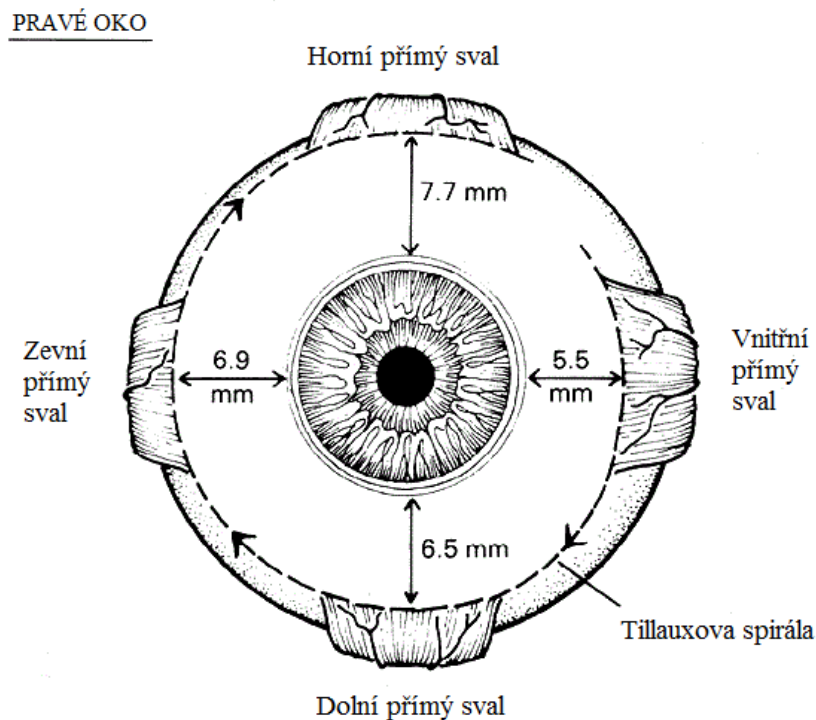
1.1 Anatomie okohybných svalů

Všechny okohybné svaly, kromě m. obliquus inferior, začínají ve společném vazivovém prstenci zvaném anulus tendineus communis Zinni uloženém v hrotu orbity. Spolu s okohybnými svaly vychází ze šlachovitého začátku m. levator palpebrae superioris, který zajišťuje zdvihání horního víčka, probíhá pod stropem očnice a vnořuje se širokou vazivovou šlachou do tarsální spojivky horního víčka. [1]

Okohybné svaly probíhají kolem bulbu a upínají se do skléry. Přímé okohybné svaly se upínají do skléry před ekvátorem v různých vzdálenostech od okraje rohovky a vytváří tzv. Tillauxovu spirálu (obr. č. 1). Úpon vnitřního přímého svalu je vzdálen 5 mm od okraje rohovky, dolní přímý sval se upíná 6 mm od okraje rohovky, zevní přímý sval 7 mm od okraje rohovky a horní přímý sval se upíná nejdále od okraje rohovky ve vzdálenosti 8 mm. Délka všech přímých svalů je přibližně 4 cm a šířka jejich úponu asi 1 cm. [1]

Horní přímý sval je nejdelší z okohybných svalů. Měří asi 6 cm, začíná na prstenci v hrotu orbity nad horním přímým svalem. Směřuje dopředu mezi horním a vnitřním přímým svalem k hornímu vnitřnímu okraji očnice a u tzv. kladky (trochlea) se mění ve šlachy, která zahýbá zevně a dozadu, pokračuje pod horním přímým svalem a upíná se na horním zevním kvadrantu oka za ekvátorem. Dolní šikmý sval jako jediný začíná na dolní vnitřní části očnice

blízko vnitřního koutku oka. Probíhá zevně a dozadu a upíná se na dolním kvadrantu oka za ekvátorem. Se svou délkou 3,7 cm je nejkratším ze všech okohybným svalů. [2,3]



Obrázek č. 1: Tillauxova spirála [A]

1.2 Inervace a motilita okohybných svalů

Souhra očních svalů musí být přesná, aby mohla dobře sloužit zrakové složce. Okohybné svaly jsou zásobeny třemi mozkovými okohybnými nervy. Horní šikmý sval je zásoben IV. mozkovým nervem (n. trochlearis), VI. mozkový nerv (n. abducens) zásobuje zevní přímý sval a III. mozkový nerv (n. oculomotorius) zásobuje všechny ostatní okohybné nervy. [3,4]

Motorická vlákna okohybných svalů jsou umístěna v zadní části mozkového kmene a jsou vzájemně spojena vlákny, které tvoří tzv. podélný svazeček (fasciculus longitudinalis). Nervové impulzy k pohybům očí vznikají v motorických centrech nervového systému. [3,4]

Každý pohyb oka se děje kolem tří hlavních os rotace, kterým říkáme Fickovy osy. Kolem horizontální osy se děje elevace (pohyb nahoru) a deprese (pohyb dolů) oka. Kolem vertikální osy oka jsou vedeny addukční (dovnitř) a abdukční (zevně) pohyby. Kolem

předožadní, sagitální osy se uskutečňuje intorze (stočení oka dovnitř) a extorze (stočení oka zevně). [3,4]

Zevní přímý sval má jednoduchou funkci, vykonává pohyb oka pouze v abdukci. Vnitřní přímý sval provádí jen addukci. Oba vykonávají pohyb pouze v jednom směru, je to jejich primární funkce. Ostatní okohybné svaly mají kromě primární i sekundární funkci – schopnost ovlivnit pohyb kolem všech tří os. Horní přímý sval působí v elevaci, addukci a intorzi. Dolní přímý sval umožňuje depresi, addukci a extorzi oka. Horní šikmý sval vykonává depresi, abdukci a intorzi. Dolní šikmý sval pohybuje okem v elevaci, abdukci a extorzi. Všechny tyto pohyby jsou shrnuty v následující tabulce. [2,8]

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

Tabulka č. 1: Funkce okohybných svalů [zpracováno dle B]

Monokulární motilita

Pohyby jednoho oka neboli monokulární pohyby se nazývají dukce. Hodnotíme addukci a abdukci v horizontální rovině, pohyb oka vnitřním a zevním směrem. Ve vertikální rovině pozorujeme elevaci a depresi oka, tedy pohyb nahoru a dolů. Poslední dvojicí jsou torzní pohyby. Při intorzi horní okraj rotuje k vnitřnímu koutku oka, při extorzi zase k vnějšímu. [8]

Binokulární motilita

Párové neboli binokulární pohyby jsou koordinované vzájemné pohyby obou očí. Existují dvě formy binokulárních pohybů:

- a) verze – jsou koordinované stejnosměrné pohyby obou očí, jejichž osy zůstávají paralelní. V klinické praxi se vyšetřují v šesti základních pohledových směrech.
- b) vergence – jsou koordinované protisměrné pohyby, při nichž se oči stáčí k sobě (konvergentní pohyb) nebo od sebe (divergentní pohyb). [8]

Stejný pohyb obou očí je zajištěn vždy dvojicí směrů, na každém oku jedním. Říkáme jim agonisté nebo synergisté. Každý agonista má svého antagonistu, který působí v opačném směru pohybu. Antagonista může být buď jednostranný nebo druhostranný. Při stejnostranném pohybu očí jsou aktivovány agonisté a současně jsou relaxovány antagonisté. Například při pohledu doleva spolupracují vnitřní přímý sval pravého oka a zevní přímý sval oka levého, jde o druhostranného agonistu. Při tomto pohledovém směru jsou současně utlumeny činnosti antagonistů. V našem případě zevního přímého svalu pravého oka (jednostranný antagonist) a vnitřního přímého svalu levého oka (druhostranný antagonist). [4,8]

Binokulární pohyby vyšetřujeme v šesti základních pohledových směrech obou očí, všechny jsou shrnuty v následující tabulce.

Pohledový směr	Účast párových okohybných svalů
dextroelevace (pohled doprava a nahoru)	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)	dolní šikmý sval pravého oka horní přímý sval levého oka
sinistroverze (pohled doleva)	vnitřní přímý sval pravého oka zevní přímý sval levého oka
sinistrodeprese (pohled doleva a dolů)	horní přímý sval pravého oka dolní šikmý sval levého oka

Tabulka č. 2: Základní pohledové směry (z pozice vyšetřovaného) [B]

Harmonická činnost párových svalů a plynulý párový pohyb se řídí podle dvou hlavních zákonů pro motorickou činnost oka. Jedná se o Sherringtonův a Heringův zákon.

Sherringtonův zákon

Sherringtonův zákon o reciproké inervaci antagonistů říká: je-li zvýšen nervový impuls pro určitý oční nerv (agonista), pak je stejnou silou utlumena inervační aktivita jeho

antagonistů. Například při pohledu doprava se zvyšují impulsy pro pravý zevní přímý sval a levý vnitřní přímý sval, zatímco jejich antagonisté – pravý vnitřní přímý sval a levý zevní přímý sval mají inervační útlum. [4,8]

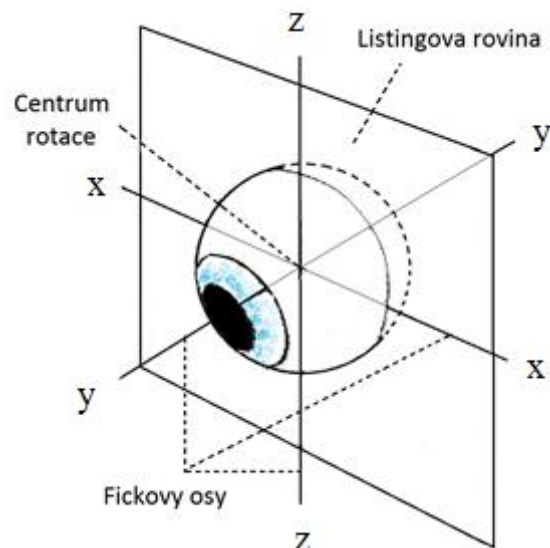
Heringův zákon

Heringův zákon uvádí, že z motorického centra přichází nervový impuls o stejné intenzitě do obou svalů spřažené dvojice pro pohyb očí v určitém směru. Totéž platí v opačném směru pro jejich antagonisty. Příklad: při pohledu doprava jde k pravému zevnímu přímému svalu stejný impuls jako k levému vnitřnímu přímému svalu. [4,8]

1.3 Listingův zákon

Před samotným výkladem Listingova zákona si musíme objasnit několik důležitých termínů. Existují dvě hlavní roviny, které se vztahují k poloze hlavy. Jedná se o střední rovinu a rovinu obličeje. Střední rovina pomyslně rozděluje hlavu na dvě symetrické poloviny, zatímco rovina obličeje je na ni kolmá a dotýká se brady a obočí. Jakákoliv rovina rovnoběžná s obličejovou se nazývá čelní rovina. [16]

Přibližně 13,5 mm za přední plochou rohovky se nachází centrum rotace oka. Tento imaginární bod se v závislosti na směru pohledu pohybuje v rozsahu 2 mm. Můžeme jej však pro další účely považovat s dostatečnou přesností za fixní. Vztyčená hlava a centrum rotace umožňují zavést souřadnou soustavu tří os x, y a z, které označujeme jako Fickovy osy. Na obrázku č. 2 se zavádí tzv. Listingova rovina, která je čelní rovinou procházející centrem rotace oka. Nachází se v ní dvě z Fickových os x a z. Pokud je hlava vzpřímená a zraková osa je totožná s osou y, můžeme říci, že se oko nachází v primární pozici. Horizontálními a vertikálními pohyby se oko dostává z primární pozice do sekundární, zatímco šikmé pohyby oko posouvají do polohy terciální. [16]



Obrázek č. 2: Listingova rovina a Fickovy osy [H]

Pohyb oka do terciální polohy můžeme uvažovat jako rotaci kolem osy ležící v Listingově rovině mezi osami x a z. Tento pohyb zahrnuje neúmyslnou rotaci kolem zrakové osy; takovou torzi označujeme jako nepravou. Nepravá torze nenastane při rotaci oka do sekundární polohy. Většina torzí, které nastávají v terciální pozici, je popsána Dondersovým zákonem, který říká:

Pro konkrétní pozice fixačních os s hlavou vzpřímenou je definován úhel torze.

Listingův zákon udává, jak nalezneme osu rotace:

Jestliže se oko pohybuje do jakékoliv polohy z primární pozice, rotuje kolem osy, která je kolmá jak k počáteční, tak i ke konečné ose fixace. [16]

Tyto osy rotace, jak už bylo zmíněno, leží v Listingově rovině. Abychom lépe poznali osu rotace pro libovolný pohyb, vypočítal v roce 1975 Solomons torzi vzhledem k jednotlivých aktivovaným okohybným svalům oka. Listingův zákon nám přibližuje úhel torze τ pro daný úhel elevace ε a úhel rotace kolem osy Z (azimut) α , který je podle Solomona dán vztahem:

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

Z toho vyplývá, že pokud se pravé oko stočí v abdukci o 20° a v elevaci o 20° , pak extorze oka bude $3,6^\circ$. V této chvíli jsou svaly aktivovány a my vidíme, jak se při pohybu oka do terciální polohy mění torze pod malým úhlem. [16]

Falešné torze jsou ovlivněny konvergencí očí. Skloněná pozice obou očí při čtení je ovlivněna pouze malou nebo žádnou torzí. To znamená, že práce očí do blízka bude nepohodlnější, pokud fixační bod do blízka leží pod úrovní očí. [16]

2 Astigmatismus

Emetropie je ideální stav oka, kdy je v rovnováze délka oka, zakřivení lomných médií a jejich optická mohutnost. Ametropie je naopak stav, kdy některá z těchto složek se odlišuje od daných standardů a oko má refrakční vadu. [7]

Astigmatismus spolu s myopií a hypermetropií patří k refrakčním vadám, které snižují kvalitu vidění oka.

2.1 Popis a etiologie astigmatismu

Astigmatismus je refrakční vada, u které nemá optický systém ve všech meridiánech neboli řezech stejnou optickou mohutnost. Rovnoběžné paprsky vstupující do oka se v případě astigmatismu lámou v různých meridiánech a mají různé polohy ohnisek. Optický systém tedy není schopen zobrazit bod jako bod. [5]

Astigmatismus bývá nejčastěji způsoben asférickými plochami lomných prostředí nebo decentrací oční čočky.

Ve většině případů je astigmatismus vrozený. Vzniká v důsledku působení mezi růstem rohovky a ostatních lomivých prostředí, rigiditou obalů oka, nitroočním tlakem a tlakem víček. [6]

Podle etiologie můžeme astigmatismus rozdělit do tří skupin. První z nich je kurvturní astigmatismus, který je nejčastěji rohovkový. Malý stupeň rohovkového astigmatismu asi do 0,5 D najdeme víceméně u všech jedinců, nejčastěji ve formě fyziologického astigmatismu. Bývá způsoben tlakem horního víčka na oko, čímž dochází k většímu zakřivení rohovky ve svislém meridiánu než v horizontálním a vzniku astigmatismu. Větší stupeň kurvturního astigmatismu je zpravidla vrozený. Získaný vzniká u ektatických rohovkových onemocnění, může být důsledkem proběhlého zánětu nebo následkem úrazů oka. Dalším zdrojem astigmatismu jsou chirurgická traumata při očních operacím, například u keratoplastiky nebo operace katarakty. Indukovaný rohovkový astigmatismus může být vyvolán tlakem chalazea nebo nádoru. Poměrně častý je kurvturní astigmatismus čočkový, který zpravidla částečně kompenzuje astigmatismus rohovkový. [5,6,8]

Další skupinou je astigmatismus z decentrace. Pozorujeme jej u traumatické subluxace oční čočky následkem mechanických poškození. Častěji však vzniká fyziologicky v důsledku

asymetrického vyklenutí čočkového pouzdra. Již malé decentrace nitroočních čočkovým implantátů mohou způsobit významný stupeň astigmatismu. [8]

Poslední skupinou je indexový astigmatismus. Vzniká u počínajících zkalení oční čočky při kataraktě. Může být zdrojem velmi rušivé monokulární diplopie. [8]

Astigmatismus mohou způsobit i jiné části oka než je rohovka a čočka, například nepravidelnosti na sítnici. Vliv na vznik astigmatismu mohou mít i kontaktní čočky. [5,6]

2.2 Rozdělení astigmatismu

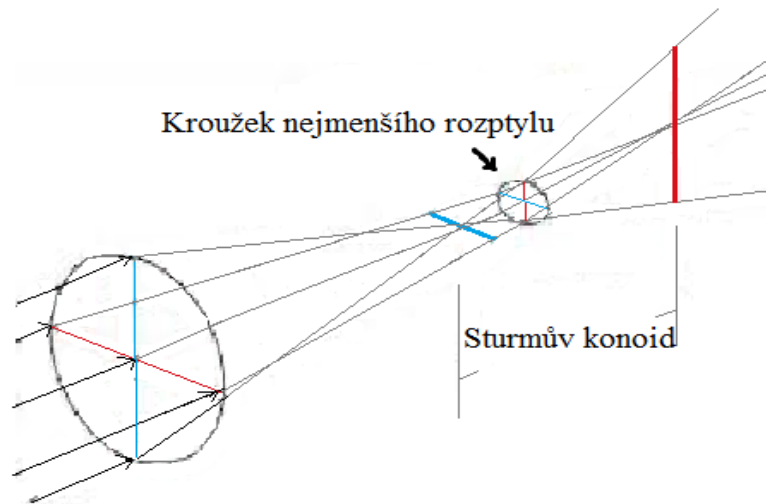
Astigmatismus můžeme rozdělit na základě několika hledisek:

- Astigmatismus
 - pravidelný (regularis)
 - podle pravidla (přímý, rectus)
 - proti pravidlu (nepřímý, inversus)
 - šikmých os (obliquus)
 - nepravidelný (irregularis)
 - jednoduchý (simplex)
 - složený (compositis)
 - smíšený (mixtus)
 - pravidelně nepravidelný (macroirregular)
 - nepravidelně nepravidelný (microirregular)
- Celkový astigmatismus
 - rohovkový
 - čočkový
 - zbytkový

Pravidelný astigmatismus má dva hlavní, na sebe kolmé meridiány s minimální a maximální lomivostí, které značíme jako F_1 a F_2 . Pravidelný astigmatismus lze definovat jako rozdíl optické mohutnosti těchto dvou hlavních meridiánů. Jedná se o tzv. astigmatickou diferenci neboli astigmatický rozdíl. [5]

U pravidelného astigmatismu se bod ležící v předmětovém prostoru nezobrazí na sítnici jako bod, ale jako dvě stejně dlouhé a na sebe kolmé úsečky zvané fokály. Toto platí i pro rovnoběžné paprsky vstupující do oka. Obě fokály leží na optické ose oka a jsou na ni navzájem kolmé. Oblast mezi fokálami se nazývá Sturmův konoid. V případě, že středem

prostoru prochází kruhový paprskový svazek, hovoříme o kroužku nejmenšího rozptylu (obr. č. 3). [5]



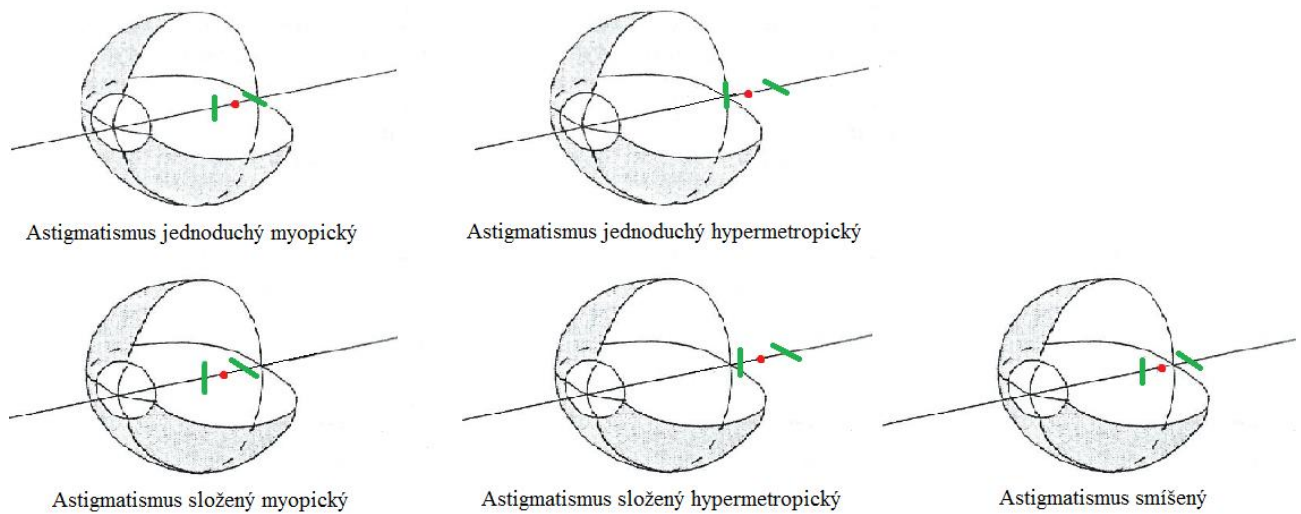
Obrázek č. 3: Kroužek nejmenšího rozptylu [C]

V případě, že vertikální meridián je více lomivý než horizontální, jedná se o astigmatismus podle pravidla, neboli astigmatismus regularis rectus (přímý). V opačném případě, kdy je horizontální meridián více lomivý než vertikální, mluvíme o astigmatismu proti pravidlu, nebo se také můžeme setkat s pojmenováním astigmatismus regularis inversus (nepřímý). Jestliže meridiány se od horizontální a vertikální roviny vzdalují o více než 20° , nedokážeme určit, který ze dvou meridiánů je více lomivý. Mluvíme o astigmatismu šikmých paprsků, také se mu říká astigmatismus obliquus. [4,7,8]

Pravidelný astigmatismus dále rozdělujeme na jednoduchý (simplex), složený (compositus) a smíšený (mixtus). Jednoduchý astigmatismus je charakteristický tím, že v jednom řezu je oko emetropické a v druhém je zatíženo ametropií. To znamená, že jedno ohnisko leží na sítnici a druhé ohnisko se nachází mimo sítnici. Pokud leží před sítnicí, jedná se o astigmatismus simplex myopicus. V opačném případě, kdy se ohnisko nachází za sítnicí, mluvíme o astigmatismu simplex hypermetropicus. [4,7,8]

Složený astigmatismus má také dvě varianty. Pokud obě ohniska dvou řezů leží před sítnicí, jedná se o astigmatismus compositus myopicus. Za astigmatismus compositus hypermetropicus se považuje situace, kdy obě ohniska dvou řezů leží za sítnicí oka. Posledním případem je astigmatismus smíšený, to znamená, že jedna osa je hypermetropická

(leží za sítnicí) a druhá je myopická (leží před sítnicí). Polohy ohnisek jednotlivých typů pravidelného astigmatismu jsou znázorněny na následujícím obrázku. [7,8]



Obrázek č. 4: Pozice ohnisek u pravidelného astigmatismu [H]

Nepravidelný astigmatismus rozdělujeme na dva typy. Pravidelně nepravidelný (macroirregular) astigmatismus má pravidelnou složku s přesně popsáním vzorem. Nepravidelně pravidelný (microirregular) žádnou takovou složku nemá. V obou případech se bod nezobrazí na sítnici jako bod, ale ani jako dvě navzájem kolmé úsečky, jako je tomu u pravidelného astigmatismu. Nejčastější příčinou jsou nepravidelnosti na rohovce, například keratokonus, poleptání rohovky, úraz a operace. [8]

Celkový astigmatismus se skládá ze tří složek. První složkou je rohovkový astigmatismus. Jeho nejčastější příčinou je asférický tvar rohovky. Hodnota rohovkového astigmatismu má zásadní význam na velikosti celkového astigmatismu. Javalova podmínka udává vliv rohovkového astigmatismu na celkový astigmatismus oka:

$$Ast_C = 1,25 Ast_R \pm 0,5$$

Kde Ast_C je hodnota celkového astigmatismu a Ast_R je absolutní hodnota rohovkového astigmatismu. Hodnota $\pm 0,5$ udává vliv čočkového astigmatismu, který je buď kompenzační, nebo zesilující. V případě rohovkového astigmatismu podle pravidla (přímého) bude mít čočkový astigmatismus kompenzační vliv a do vzorce dosadíme hodnotu $-0,5$. Jestliže se bude

jednat o rohovkový astigmatismus proti pravidlu (nepřímý), čočkový astigmatismus bude mít zesilující vliv a do vzorce dosadíme hodnotu +0,5. [6,8]

Čočkový astigmatismus není tak častý jako rohovkový. Při akomodaci oka dochází ke změnám čočkového astigmatismu. Jedná se tedy o astigmatismus dynamický na rozdíl od rohovkového astigmatismu, který je statický. Nejčastěji vzniká v důsledku nepravidelného povrchu oční čočky. [6]

Poslední složkou je zbytkový astigmatismus, který může být rozdělen na fyziologický nebo vyvolaný. Nejčastější příčinou fyziologického zbytkového astigmatismu je torická zadní plocha rohovky nebo oční čočky, náklon oční čočky nebo nepravidelnosti na sítnici. Vyvolaný zbytkový astigmatismus vzniká v důsledku decentrace, rotace nebo ohybu kontaktní čočky. Hodnota zbytkového astigmatismu je prakticky zanedbatelná a lze ji zjistit porovnáním toricity přední plochy rohovky s celkovým astigmatismem. [8]

Hodnota celkového astigmatismu se dá vypočítat ze vztahu:

$$Ast_C = Ast_R + Ast_č + Ast_{ZB},$$

kde Ast_C je celkový astigmatismus

Ast_R je rohovková složka astigmatismu

$Ast_č$ je hodnota čočkového astigmatismu

Ast_{ZB} značí zbytkový astigmatismus.

2.3 Výskyt astigmatismu v populaci

Přítomnost astigmatismu nemusí být vždy patrná. Nízký astigmatismus tzv. fyziologický do 0,5 D nemusí vůbec narušovat ostrost obrazu a kvalitu vidění, proto jej zpravidla není nutno korigovat. Vždy je však nutný individuální přístup, protože u některých jedinců vede korekce i malého astigmatismu k překvapivému zlepšení zrakové ostrosti a k ústupu subjektivních problémů. Jedním z příznaků vyšší hodnoty astigmatismu je neostré, zkreslené a zamlžené vidění na dálku i do blízka. Lidé s astigmatismem nejsou schopni rozeznat kontrasty mezi vertikálními, horizontálními a šikmými rovinami a proto často zaměňují podobné písmena, jako například P a F, B a D, H a N nebo M a číslice 0, 3, nebo 8. [3,6,8]

K dalším příznakům astigmatismu patří astenopické potíže, bolest hlavy a očí především při čtení, únava očí, mhouření očí, přivírání oční štěrby, ale i kompenzační postavení hlavy nebo šilhání. [5]

Astigmatismus se často vyskytuje společně s myopií a hypermetropií a je poměrně častou refrakční vadou. Jeho výskyt můžeme zaznamenat až u 95 % populace. Prakticky u každého jedince se vyskytuje fyziologický astigmatismus, jehož hodnoty jsou zanedbatelné a většinou člověka nijak neobtěžují ani neomezují. Přibližně u 20 % populace se vyskytuje astigmatismus větší než 1,0 D. Hodnoty astigmatismu větší než 2,0 D má 5–10 % obyvatel. Výskyt astigmatismu vyššího stupně než 1,5 D u lidí s kataraktou se přibližně pohybuje mezi 15–29 % z těchto případů. [5,6]

Astigmatismus je ve většině případů vrozený. Jeho výskyt je nejvyšší v prvním roce po narození. V období mezi pátým a osmým rokem života se snižuje a potom zůstává víceméně stabilní. V dětství má převahu astigmatismus proti pravidlu a po pátém roce přechází v astigmatismus podle pravidla. U 80 % případů se setkáváme s astigmatismem přímým, zatímco s nepřímým a šikmým astigmatismem jen asi v 10 %. Fyziologický astigmatismus během života většinou mění svou velikost i polohu osy. S přibývajícím věkem ubývá astigmatismu podle pravidla a přibývá astigmatismu proti pravidlu, tyto změny jsou ale velmi pomalé. Jestliže astigmatismus nevznikne v prvním roce života, je málo pravděpodobné, že by mohl vniknout později. [6]

2.4 Korekce astigmatismu

Astigmatismus můžeme korigovat několika způsoby. Nejběžnější je použití brýlových obrub s vhodnými korekčními skly a jejich povrchovou úpravou. Další možností je nošení kontaktních čoček nebo refrakční chirurgie. V následujících odstavcích budou jednotlivé možnosti popsány.

Brýlová korekce

Při korekci brýlemi u dětí předepisujeme plnou cylindrickou korekci, přepočítanou na odpovídající vrcholovou vzdálenost. U dospělých je nutný velice individuální přístup. Nejdříve vyzkoušíme plnou cylindrickou korekci a ověříme její binokulární snášenlivost.

Pokud působí potíže, je možné korekci upravit např. vhodným snížením hodnoty cylindru apod. [3,6,8]

Při korekci vyššího astigmatismu dochází k meridionální anizeikonii (rozdílná velikost obrazů vzniklých na sítnici). Při monokulárním vjemu nebývá problém, avšak binokulární vidění může být těžce narušeno prostorovou distorzi. Čím větší je vzdálenost korekční čočky od pupilární roviny, tím je větší makulární distorze obrazu. Výběrem vhodných brýlových obrub a skel, které umožňují dosáhnout malé vrcholové vzdálenosti, můžeme výrazně snížit makulární distorzi. Individuální adaptace na distorzi je u dětí rychlá, u dospělých bývá obtížnější a pomalá. Obvykle bývá distorze lépe snášena ve vertikálním a horizontálním směru než v šikmých osách. Je třeba poznamenat, že sítnicová a prostorová distorze není vyvolána astigmatismem, ale jeho korekcí. [7,8]

Při nesprávné korekci dochází k navození astigmatismu v jiné ose. Pokud například při zábrusu korekční čočky do brýlové obruby dojde k pootočení osy, navodíme tím astigmatismus podle vzorce $|Ast| = \left| \frac{1}{10} \cdot cyl \right|$ na 3° pootočení. [7]

Korekce kontaktními čočkami

Malý astigmatismus do 1 D lze úspěšně korigovat sférickými kontaktními čočkami. Pro výpočet správné dioptrické hodnoty použijeme sférický ekvivalent, který získáme odečtením poloviční hodnoty cylindrické korekce od hodnoty sférické části korekce. Do výpočtu musíme také zahrnout změnu vrcholové vzdálenosti, která hraje roli při velikosti zadní vrcholové lámavosti větší než 4 D. Pro příslušný přepočet lze použít vzorec [7]

$$A'_{kč} = \frac{A'(d)}{1 - d \cdot A'(d)},$$

kde $A'_{kč}$ je zadní vrcholová lámavost kontaktní čočky

$A'(d)$ je zadní vrcholová lámavost korekční čočky v obrubě

d je vrcholová vzdálenost

Speciální torické kontaktní čočky používáme ke korekci vyššího astigmatismu. Běžně jsou k dostání v hodnotách cylindru v rozsahu od -0,75 D do -2,25 D, pro hodnoty cylindru do -3,75 D jsou kontaktní čočky pouze výrobní. Osa cylindru obvykle narůstá s krokem 10°. Důležité jsou stabilizační prvky osy cylindru, které brání stáčení kontaktní čočky v oku. Existuje několik variant stabilizačních prvků, například úzké zóny jsou charakteristické svým ztenčením horního a dolního okraje kontaktní čočky, díky čemu je pohyb víček plynulejší a čočka v oku pohodlnější. Další možností je torická zadní plocha, která má jak stabilizační, tak i korekční efekt. Centrální torická zóna zajišťuje korekci refrakční vady, zatímco periferní

torická zóna obstarává stabilizační složku. Třetím typem je klínový neboli prizmatický balast obsažený v horní a dolní periférii kontaktní čočky zabraňující jejímu nežádoucímu stáčení. Jeho nevýhodou je zvýšená vnímavost kontaktní čočky v její dolní části a větší tloušťka v místech báze, která snižuje propustnost pro kyslík. Příjemnou alternativou je tzv. Auto align design, který má automatický systém zarovnávání tvořený hybridním balastem. Díky tenčímu profilu je zvýšena propustnost pro kyslík a zaoblené okraje kontaktní čočky zajišťují její lepší snášenlivost. [17]

Abychom poznali, zda kontaktní čočka na oku sedí správně a nijak se nestáčí, mají na svém povrchu značky v určité poloze. Ty se mohou u každého výrobce lišit, ale nejčastěji se nachází v poloze 6 a 12 hodin. Osa hledané čočky při rotaci vlevo po směru hodinových ručiček se zjistí přičtením stupňů, o které se odchýlila od značky v poloze 6 hodin, k hodnotě osy naměřené u refrakční čočky. Při rotaci proti směru hodinových ručiček je proces opačný. [17]

Nepravidelný astigmatismus je brýlemi a měkkými kontaktními čočkami obtížně korigovatelný, většinou použijeme sférický ekvivalent oční vady, případně korigujeme část astigmatismu. Lepších výsledků dosáhneme použitím individuálních tvrdých kontaktních čoček. Jejich výhodou je vysoká propustnost pro plyny, dobrá výměna slz díky korneálnímu designu čočky a dlouhodobá životnost. Na tvrdé korneální kontaktní čočky je nutno si delší dobu zvykat, poté je však jejich snášenlivost na oku dobrá. Vzhledem k lokalizaci čočky pouze na rohovce je obtížnější jejich vyndávání, proto se k tomuto účelu používá speciální savka. [7,18]

Refrakční chirurgie

Pokud klientovi nevyhovuje brýlová korekce, ani nošení kontaktních čoček, je další možností řešení astigmatismu refrakční chirurgie. Existuje několik lékařských zákroků, pro odstranění nebo alespoň snížení refrakčních vad oka. My si některé z nich nyní přiblížíme.

Laser in situ keratomileusis (LASIK) patří v současné době mezi nejužívanější laserové metody pro odstranění astigmatismu, myopie a nižšího až středního stupně hypermetropie. Principem metody je seříznutí rohovkové lamely, jejíž tloušťka se podle používaného typu mikrokeratomu pohybuje od 130–180 μm , nebo vytvoření lamely pomocí femtosekundového laseru. Následně se provede fotoablace excimerovým laserem vyzařující elektromagnetické záření o vlnové délce 193 nm. Každý impuls excimer laseru je schopen odstranit rohovkovou tkáň s přesností na 0,25 μm . Hloubka a rozložení fotoablace záleží na typu a velikosti astigmatismu. Pohyby hlavy a očí v průběhu laserové refrakční chirurgie

mohou vést k chybám mezi pozicí chirurgického paprsku a požadovaným místem pro optimální korekci. To pak může způsobit snížené pooperační vidění, včetně zvýšení aberací vyššího řádu oka. Z toho důvodu je do systému laseru často zabudován tzv. eye tracking system, který má za cíl sledovat pohyb očí pacienta. [20] Před vlastním operačním výkonem se na povrchu rohovky vyznačí metylenovou modří orientační značky, které slouží k následnému přesnému přiklopení původní lamely. Na bulbus se nasadí přísavný kroužek, který fixuje oko ve stálé pozici a zabraňuje jeho stočení. Navíc udržuje stálý nitrooční tlak, který je důležitý pro správné seříznutí lamely. Samotný zákrok trvá jen pár minut. Nezbytnou součástí přípravy pacientů k LASIKu je pachymetrie. Tloušťka rohovky (průměrná hodnota se pohybuje kolem 550 μm) hraje důležitou roli v rozhodování, kolik dioptrií lze odstranit. Základním pravidlem laserové fotoablace je ponechání alespoň 250 μm intaktní rohovkové tkáně, aby se snížilo riziko vzniku iatrogenní ektazie rohovky (keratokonus keratoglobus a další). [7]

Astigmatická keratotomie je mikrochirurgická metoda vhodná k úpravě nepravidelného zakřivení rohovky. Její podstatou jsou incize, neboli naříznutí rohovky. Jejich různou délkou, hloubkou a lokalizací můžeme dosáhnout požadované změny zakřivení rohovky a tím i korekce astigmatismu. [7]

Pro některé pacienty je implantace nitrooční čočky vhodnější metodou korekce astigmatismu než laserová operace. Nejčastějším důvodem je tenká rohovka nebo velký počet dioptrií. Nitrooční fakická čočka s torickým efektem dokáže požadovanou hodnotu astigmatismu vykorigovat. Princip této metody spočívá v implantaci nitrooční čočky cestou rohovkového nebo sklerálního řezu. Lokalizace a princip uchycení čočky uvnitř oka se liší podle jejího typu. Co mají všechny typy nitroočních čoček společné, je jejich umístění před přirozenou čočkou. Tím dosáhneme potřebné změny dioptrické mohutnosti optického aparátu při zachování akomodace a poměrně velké optické zóny. [7]

3 Objektivní stanovení astigmatismu

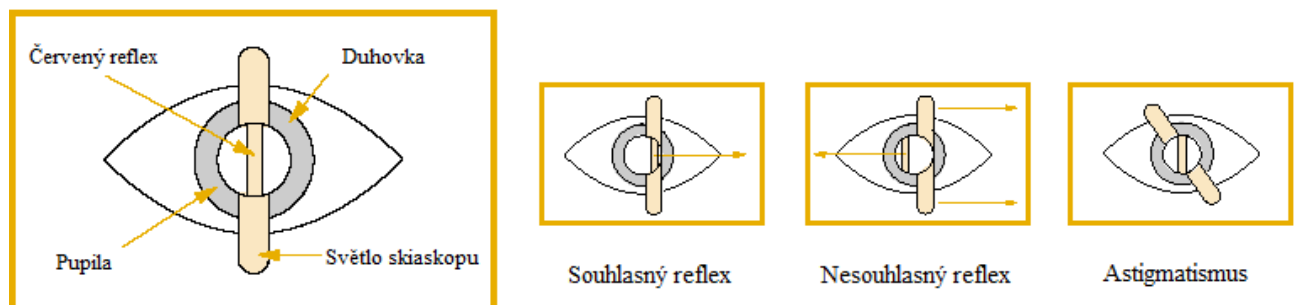
Objektivní stanovení astigmatismu nám usnadňuje orientačně zjistit sílu a osu cylindru. Jedná se o velmi rychlou metodu získání výsledků, která nezatěžuje vyšetřovaného. Hodnotí pouze optický systém oka, ne zrakový systém. Proto její údaje slouží pouze jako orientační a musí vždy následovat důkladná subjektivní refrakce. Objektivní refrakce má velký význam u osob, které nejsou schopny nebo ochotny spolupracovat.

Měřit celkový astigmatismus oka můžeme metodou skiaskopie nebo pomocí refraktometru. Zástupcem klasického koincidenčního refraktometru je Hartingerův refraktometr. Novější metodou je autorefraktometr, jehož zástupce Nidek 7700 byl použit v experimentální části výzkumu. Měřit nemusíme pouze celkový astigmatismus oka, například pomocí Javal-Schniötzova oftalmometru zjistíme parametry rohovkového astigmatismu.

3.1 Skiaskopie

Skiaskopie je metoda nenáročná na vybavení, s vysokou přesností měření, která vyžaduje určité zkušenosti vyšetřujícího k jejímu spolehlivému provedení. Mezi její výhody patří cenová dostupnost, dobrá kontrola akomodace a možnost objevit nepravidelnosti očních médií, například keratokonus nebo oční zákaly. [9,10]

Jde o stanovení refrakce oka na základě posuzování směru pohybu červeného reflexu. Červený reflex můžeme popsat jako odraz dopadajícího světla od očního pozadí, který pozorujeme v zornici. [9,10]



Obrázek č. 5: Pohyb červeného reflexu v zornici [D]

Ve vyšetřované místnosti by mělo být tlumené světlo. Pacient sleduje nevyšetřovaným okem optotyp ve vzdálenosti 5 metrů, aby se předešlo nežádoucím vlivům akomodace. Vyšetřující otáčí skiaskopem kolem jeho osy ve vzdálenosti nejčastěji 50 cm od oka a pozoruje pohyb reflexu v zornici. Cílem skiaskopie je dosažení neutrálního reflexu, který se projevuje pouze rychlým probliknutím světla v zornici. V tuto chvíli se obraz dalekého bodu nachází na sítnici vyšetřovaného oka. Neutrálního reflexu dosáhneme předřazováním vhodných korekčních čoček. Pokud se reflex v zornici pohybuje ve stejném směru jako je otáčení skiaskopu, jedná se o souhlasný reflex. Daleký bod se nachází za vyšetřujícím nebo za vyšetřovaným okem. Předřazujeme plusové korekční čočky do té doby, než dosáhneme neutrálního reflexu. U nesouhlasného reflexu dochází k překřížení paprskového svazku a paprsek se pohybuje v opačném směru, než je pohyb skiaskopu. Daleký bod je mezi vyšetřovaným a vyšetřujícím. Před oko předřazujeme minusové korekční čočky tak dlouho, dokud nepozorujeme neutrální reflex. Obecně platí, že objektivně měřená refrakční vada je tím vyššího stupně, čím pomaleji se pohybuje červený reflex v rovině pupily. Pro vyšetřující vzdálenost 50 cm od oka platí

$$\text{výsledná refrakce} = \text{předřazená hodnota} - 2 \text{ D. [9,10]}$$

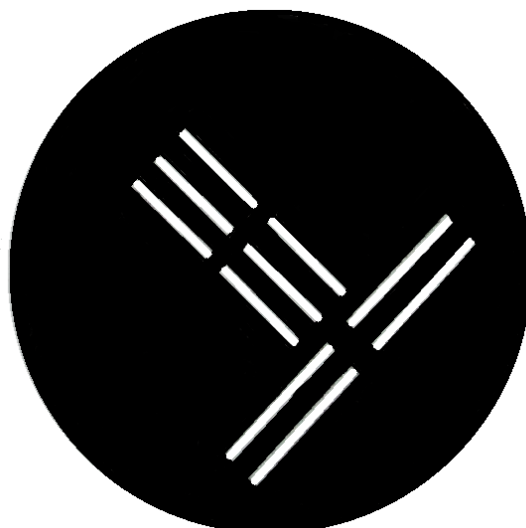
Pro stanovení přítomnosti astigmatismu refrakci vyšetřujeme ve čtyřech základních meridiánech a to v osách 0° , 45° , 90° a 135° . Pokud je pohyb, rychlost, směr, šířka a jas reflexu ve všech směrech stejný, jedná se o sférickou vadu, tedy o myopii nebo hypermetropii. Pokud se však nepodaří odstranit pohyb červeného reflexu v rovině pupily pro všechny směry sférickou zkušební čočkou, jedná se o oční astigmatismus. Nejlepší pro vyšetření je pásový skiaskop, kde vystupující světelný svazek má tvar pásu. U astigmatismu musíme nejdříve zaostřit pás uvnitř zornice do hlavního řezu pomocí ovládacího prvku na skiaskopu. Druhý hlavní řez je vůči němu orientován kolmo. Posléze neutralizujeme pohyb reflexu sférickými čočkami samostatně v obou řezech. Oba výsledky upravíme podle vzorce a dostaneme cylindro-cylindrický zápis, kde osa cylindru je rovna ose skiaskopu, která je kolmá na rovinu pohybu. Další variantou získání výsledku je sféro-cylindrický postup. Opět stanovíme hlavní řezy a neutralizujeme sférickou čočkou v nejméně záporném řezu, tzn. nejpomalejší souhlasný reflex nebo nejrychlejší a nejjasnější nesouhlasný reflex. Před okem ponecháme nalezenou sféru a neutralizujeme cylindrickou čočkou v druhém hlavním řezu. Podle vzorce upravíme pouze sférickou hodnotu a dostáváme sféro-cylindrický zápis astigmatismu. [9]

Přesnost měření závisí na vnímatelnosti změn světelných jevů v zornici oka a mnoha dalších faktorech. Littmann udává chybu určené vrcholové lámavosti korekční čočky hodnotou od 0,07 do 0,15 D, pokud zůstane průměr zornice menší než 4 mm. U větších průměrů zornice lze hůře registrovat nepatrné změny červeného reflexu a metoda se tudíž stává méně přesná. Další chybu měření může ovlivňovat akomodace. Při skiaskopii je nutné zachovat konstantní vzdálenost 50 cm od oka, neboť její zmenšení o 5 cm, případně zvětšení o 7 cm znamená chybu 0,25 D. [10]

3.2 Hartingerův koincidenční refraktometr

Jedná se o typického zástupce neautomatických refraktometrů. Měření refrakce pracuje na principu Sheinerova pokusu s dvojštěrbinou. Cílem je zjistit, zda se jedná o oko emetropické nebo ametropické. U emetropického oka se po průchodu dvojštěrbinou zobrazí na sítnici jeden ostrý obraz. U ametropického oka je obraz zaostřen mimo sítnici a vznikají dva ostré obrazy. Vzhledem k tomu, že oko rozezná lépe dvě úsečky než dva body, používají se místo bodových štěrbin pásové. [10,11]

Testovou značkou Hartingerova koincidenčního refraktometru jsou dvě trojice koincidenčních úseček. Pro lepší orientaci, zda jsme v jednom z hlavních řezů astigmatismu či nikoli, je testová značka opatřena ještě dvěma dalšími páry úseček, které jsou kolmé k trojicím úseček. Cílem je zaostření značek a dosažení koincidence všech těchto úseček, které pozorujeme v okuláru refraktometru. Ta nastane jen za předpokladu, že je značka zaostřená na sítnici vyšetřovaného oka. Pacient sedí před přístrojem s hlavou fixovanou čelní a bradovou opěrkou. Splynutí testových značek nastavujeme pomocí osvětlovacího systému přístroje, který je podobně jako manuální fokometry spojen s ryskou a stupnicí, na které můžeme přímo odečíst hodnotu ametropie v dioptriích. [10,11]



Obrázek č. 6: Testová značka Hantingerova refraktometru [E]

Je-li v oku astigmatismus, dvě dvojice úseček na sebe navazují právě v hlavních řezech. Otáčením soustavy úseček tedy nalezneme hlavní řezy. Abychom mohli určit hodnotu jejich lámavosti, musíme uvést do koincidence i dvě zbývající trojice krátkých úseček. Na stupnici odečteme orientaci řezu ve stupních a hodnotu měřené axiální refrakce prvního hlavního řezu astigmatického oka. Účinek korekční čočky je kolmý na osu hlavního řezu oka. Posléze je nutné měřící hlavu přístroje otočit o 90° a celý postup opakovat. Výslednou hodnotu korekce objektivně naměřených dílčích astigmatických hodnot refrakčního stavu oka lze vyjádřit ve formě předpisu. Ten je nutno ještě subjektivně doladit. [10,11]

Jestliže se jedná o sférickou refrakční vadu, jsou hodnoty v obou naměřených řezech stejné. Svou korekční hodnotu sférické vady si na okuláru může nastavit i osoba, která měření provádí. [10]

3.3 Automatický oční refraktometr (autorefraktometr)

Autorefraktometr promítá vhodný testový obraz na sítnici a analyzuje počet dioptrií potřebný ke korekci zraku, respektive k zaostření tohoto sítnicového obrazu. Refraktometr dokáže velice rychle a přesně určit mohutnost optického systému oka (sféru, cylindr a osu) a zakřivení rohovky v hodnotách zaokrouhlených na dvě desetinná místa.

Jedním z principů autorefraktometru je Scheinerův pokus. Využívá neprůhledného disku s dvojicí kruhových otvorů – štěrbin. Světlo z primárního bodového zdroje je

kolimátorem zaměřeno a prochází skrz Scheinerův disk a směřuje k oku. Dva svazky světla přenesené přes štěrbinu se v emetropickém oku lokalizují v jednom místě, obrazy obou štěrbin tedy splynou. Pokud je v oku přítomna refrakční vada, nedojde ke koincidenci těchto obrazů. Moderní automatické oční refraktometry se v posledních letech značně změnily a liší se svým fyzikálně optickým, elektrickým i optometrickým pojetím. Jedno však mají společné, využívají záření v infračervené oblasti kolem 880 nm, aby se vyloučilo oslnění oka vyšetřované osoby. [10]

Dva páry světelných diod osvětlují kruhovou clonu, která se promítá na sítnici vyšetřovaného oka. Světelné diody se zobrazí do pupily oka a simulují Scheinerovy štěrbinu. Jestliže je oko ametropické, vznikne na sítnici větší množství světelných plošek. Diody se v opačném taktu střídavě rozsvěcují a zhasínají, což vyvolává dojem, jako by se osvětlená místa sítnice pohybovala. [10]

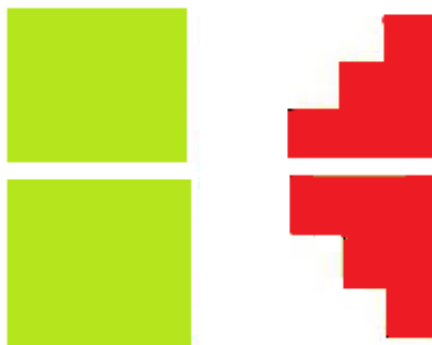
Čtyřsegmentový detektor tento stav analyzuje a řídí změny v systému tak, aby se světelné stopy na sítnici sloučily do konstantní světelné plošky. S tímto systémem je spojena změna oftalmoskopického systému, kterým lze vyhodnotit refrakční vadu a míru ametropie. Jestliže se měří oční astigmatismus, je potřeba, aby se světelné diody a detektory synchronně otáčely. [10]

Pro snazší držení hlavy v jedné pozici je autorefraktometr opatřen opěrkou pro bradu a čelo. Pacient se dívá do okuláru, ve kterém mu je promítnut obrázek, například barevný létající balón, na který se má zaměřit. Po krátkém vyhodnocení z autorefraktometru můžeme vytisknout naměřené hodnoty.

Nežádoucí odchylky od měření mohou vznikat akomodací vyšetřované osoby. Proto se snažíme o uvolnění akomodace sledováním testové značky v nekonečné vzdálenosti bez akomodace. Přesnost měření u očních refraktometrů je přibližně srovnatelná s výsledky dosažených pomocí skiaskopie, prováděné osobou s mnohem delší praxí. Rassow a Wesemann zjistili, že v 90 % případů vyšetření automatickými očními refraktometry se výsledky neodchylovaly o více než 0,5 D od výsledků subjektivní refrakční zkoušky. To však neplatí pro afakické oči a případy s kataraktou, kde přibližně ve třetině případů není možné provést měření žádné, nebo s možnými chybami i nad 2,5 D. [10]

3.4 Javal-Schniötzův oftalmometr

Javal-Schniötzův oftalmometr hodnotí poloměr zakřivení centrální části rohovky na základě zobrazení dvou testových značek rohovkou jako vypuklým zrcadlem. Ze známé vzdálenosti značek a jejich obrazů lze poloměr zakřivení v daném místě spočítat. Určení vzdálenosti obrazů značek ale komplikuje tzv. fyziologický nystagmus. Proto jsou obrazy značek na základě jejich zdvojení nastaveny do vždy stejné vzájemné pozice a určuje se tedy dobře měřitelná vzdálenost originálních značek v přístroji. Příslušná stupnice je pak kalibrována přímo v milimetrech, udávající poloměr zakřivení rohovky, nebo v odpovídajících dioptrických hodnotách. Značky mají standardně podobu zeleného děleného obdélníku a červené stupňovité pyramidy. Obě značky jsou umístěny pohyblivě na obloukovitém a otáčivém rameni přístroje zhruba ve vzdálenosti 25 cm před rohovkou vyšetřovaného oka. Vlastní zdvojení paprskového svazku, který přenáší obraz těchto značek z rohovky, je vyvoláno jeho průchodem přes Wollastonův hranol, přičemž oba svazky spolu svírají konstantní úhel kolem 1° . [10]



Obrázek č. 7: Testovaná značka Javal-Schniötzova oftalmometru [E]

Při měření je hlava fixována pomocí bradové a čelní opěrky. Přístroj se nastaví do požadované vzdálenosti od oka a nacentruje se pomocí záměrných značek. V okuláru jsou vidět dvě testové značky v obecně definované poloze. U astigmatické rohovky to znamená, že půlící a dělicí linie obdélníku a pyramidy nejsou v koincidenčním postavení. [10]

Otáčením celého ramene přístroje dosáhneme koincidence dělicí středové linie obou značek. Tím vyjádříme orientaci jednoho hlavního řezu rohovky. Mechanickým posuvem je pak měněna rozteč obou značek na obloukovitém rameni tak dlouho, až jsou vnímány v koincidenčním postavení. [10]

Na třech stupnicích pak můžeme odečíst úhel měřeného směru, poloměr křivosti rohovky a lámavost tohoto rohovkového řezu, vztaženou k indexu $n = 1,376$ prostředí průměrné Gullstrandovy rohovky. [10]

Posléze otočíme měřící hlavou přístroje s testovými značkami o 90° . Ovládním posuvu dělicí linie testových značek získáme opět stavu jejich koincidence a na stupnici odečteme hodnoty druhého hlavního řezu rohovkového astigmatismu. Porovnáním obou naměřených hodnot lámavostí nám vychází astigmatická diference rohovky Ast_R , která je spolu s osovými údaji pro orientaci hlavních řezů základem pro vyhodnocení celkového astigmatismu oka Ast_C . Ten získáme pomocí rovnice nám už známé Javalovy podmínky (viz kapitola 2.2 Rozdělení astigmatismu). U sférické rohovky by se hodnoty v obou naměřených směrech neměly lišit. [10]

Javal-Schniötzuův oftalmometr dokáže běžně měřit poloměry křivosti rohovky s přesností 0,01 až 0,02 mm. Před samotným měřením by si měl vyšetřující nastavit okulár přístroje na sférický ekvivalent své vlastní refrakční vady. Pouze při takovém postupu bude při následujícím vyšetření vyloučen nežádoucí vliv akomodace a zvýší se tak přesnost objektivního měření přístroje. [10]

4 Subjektivní stanovení astigmatismu

Během subjektivní refrakce vyšetřující stále komunikuje s pacientem. Refrakční vady včetně astigmatismu jsou stanoveny na základě předkládání různých korekčních čoček. Podle reakcí vyšetřovaného tak dokážeme určit správnou optickou korekci, která nejlépe vyhovuje pacientovi. [13]

Subjektivní refrakci provádíme, pokud je to možné, vždy po objektivním měření. K subjektivní refrakci používáme foropter nebo zkušební obrubu se sadou korekčních skel.

Foropter

Foropter je opticko-mechanické zařízení, které je umístěno na ovládací a rotační konzole. Ta je pevně ukotvená do centrální vyšetřovací jednotky na zdi, případně na stole. Foropter obsahuje několik otočných kotoučů se sadou korekčních čoček. [10]

Mezi jeho výhody patří rychlost a jednoduché provedení měření, možnost propojení s počítačem a dalším vybavením a jednoduchá realizace některých binokulárních vyšetření. K nevýhodám této vyšetřovací metody patří nepřírozené držení těla a hlavy, možné navození přístrojové myopie a konvergence, skrytá mimika vyšetřovaného a nemožnost ověřit korekci například při chůzi. [10,12]

Zkušební obruba

Přírozené držení hlavy a těla, odkrytá mimika a možnost ověření korekce v „reálu“ patří k největším výhodám zkušební obruby. Navíc nedochází k nežádoucímu navození přístrojové myopie a konvergence jako je tomu u foropteru. Na druhou stranu se musíme vyrovnat s pomalejší refrakcí a obtížnější manipulací s čočkami. [12]

Na zkušební obrubě nastavujeme správnou polohu nosníku a inklinaci stranic. Měřítka vrcholové vzdálenosti, které se značí písmenem d , určuje vzdálenost zadního vrcholu korekční čočky od vrcholu rohovky. Tento údaj je nutné zohlednit u korekcí vyšších jak 4 D. Dalším důležitým měřítkem je oční rozestup, nebo také pupilová distance PD . Jedná se o centraci vzdálenosti středů očnic, kterou měříme zvlášť pro každé oko. [12]

4.1 Subjektivní vyšetření astigmatismu do dálky

Pro vyšetření astigmatismu do dálky se používají dvě metody, zamlžovací metoda a metoda Jacksonových zkřížených cylindrů (JZD). Za standard je považována metoda JZD, pro kterou je nutné nejprve stanovit nejlepší sférickou korekci.

Subjektivní refrakce se provádí za podmínek, které simulují normální stav pozorování objektu vyšetřovaným. Pacient sleduje optotyp v místnosti s přirozeným osvětlením ve vyšetřovací vzdálenosti pět až šest metrů. Pokud promítáme obraz přes zrcadlo, vzdálenost se zkracuje na 2,5–3 m. [12,13]

Samotné měření začíná centrací zkušební obruby nastavením pomocí centrovacích křížů. Zkušební obrubu centrujeme při svislé poloze očí, aby nedošlo k nežádoucím vlivům inklinace. Kříže se nastavují na střed rohovky každého oka.

Nejlepší sféra

Standardně začínáme u monokulární refrakce vyšetřovat pravé oko. Nevyšetřované oko zakryjeme clonou. Nejdříve korigujeme oko pouze pomocí sférických korekčních skel. Této metodě se říká nejlepší sféra. Jejím cílem je posunout kroužek nejmenšího rozptylu na sítnici a uvolnit akomodaci u hypermetropie.

Pacient se dívá na nejmenší řádek optotypu, který přečte. Podle dosaženého vízu začínáme s danou hodnotou předložené čočky.

Vízus	Předložená hodnota sférické čočky / D
< 0,05	Alespoň 2,00
0,05–0,2	1,00
0,2–0,5	0,50
> 0,5	0,25

Tabulka č. 3: Odhad předložené sféry podle dosaženého vízu [J]

Začínáme s „plusovými“ zkušebními čočkami, které přidáváme, dokud se zrak nezhorší. Při předložení čočky se ptáme, zda je vidění „Horší nebo stejné?“. Pokud je vidění stejné nebo dokonce lepší, hodnotu dané čočky vložíme do zkušební obruby pomocí výměnného triku. To znamená, že nejprve vložíme novou hodnotu čočky a poté vyjmeme původní. Nikdy nesmíme snížit hodnotu čočky pod konečný stav, protože bychom hned navodili nežádoucí akomodaci oka. Jestliže je při předložení čočky vidění horší, čočku už

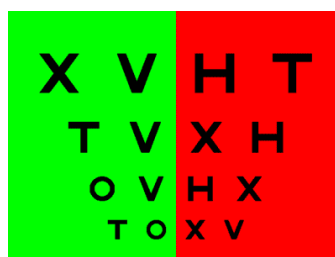
nepřidáváme. Plusovými čočkami korigujeme hypermetropii. Při korekci její absolutní složky se zlepšuje zrak, zatímco korekcí fakultativní složky uvolňujeme akomodaci při neměnném vízu. [12]

Při předkládání „mínusových“ korekčních čoček se ptáme, zda je vidění „Lepší nebo stejné?“. Jestliže je obraz lepší, nejprve ze zkušební obruby vyjmeme původní hodnotu čočky a poté vložíme novou. Pokud je obraz při předložení čočky stejný, nebo dokonce horší, danou hodnotu již nepřidáváme. Pokud není odpověď zcela jasná, můžeme použít pomocný dotaz: „Jsou písmena jasnější, nebo jen menší a černější?“. Jestliže jsou písmena menší a černější, čočku již nepřidáváme, jinak by došlo k překorigování. [12]

Vyšetření nejlepší sféry můžeme provést metodou nejsilnější spojky a nejslabší rozptylky, se kterou je obraz vidět ostře. Její výhodou je jednodušší manipulace se zkušebními čočkami (méně čoček v obrubě). Nevýhodou je horší kontrola akomodace u mladých pacientů a nutnost použití dalších testů. Druhou možností dosažení nejlepší sféry je zamlžovací metoda. K výchozí korekci přidáme +1,0 D. Vízus se musí zhoršit o několik řádků, jinak zesílíme zamlžení. Postupně přidáváme mínusové korekční čočky, dokud se vidění zlepšuje. Výhodou této metody je dobrá kontrola akomodace, zejména u mladých lidí s hypermetropií. Nevýhodou je přechodné zhoršení zraku při zamlžení, které může být nepříjemné pro vyšetřovaného. [12]

Jemné sférické dokorigování

Červeno-zelený test nám pomůže určit konečný stav sférické korekce, aby obraz sledovaného objektu dopadl přesně na sítnici oka. Vyšetřovaného se ptáme, jestli znaky v obou barevných polích vidí se stejným kontrastem. Jestliže jsou kontrastnější znaky v červeném poli, před oko přidáme -0,25 D. Pokud jsou znaky naopak lépe viditelné v zeleném poli, přidáváme +0,25 D. Cílem je získat stejný kontrast nebo mírně lepší v červeném poli při korekci do dálky, v zeleném poli při korekci na blízko. Vzhledem k tomu, že dochází k subjektivnímu vnímání barev, tato metoda slouží pouze pro orientační užití. [12]



Obrázek č. 8: Červeno-zelený test [F]

Stanovení astigmatismu

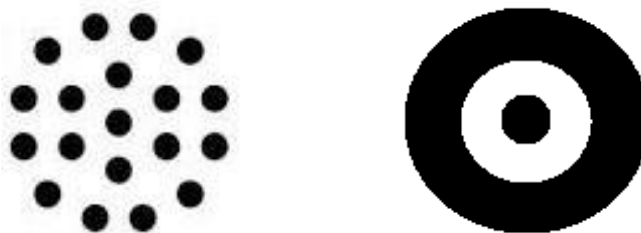
Po skončení sférické korekce následuje vyšetření astigmatismu. K základním postupům jeho subjektivního vyšetření patří metoda Jacksonových cylindrů a zamlžovací metoda, která se uplatňuje zejména při vysokých hodnotách astigmatismu.

Metoda Jacksonových zkřížených cylindrů (JZC) je velice přesná, rychlá a nenáročná na speciální vybavení. Jacksonovy zkřížené cylindry tvoří dvojice navzájem kolmých plancylindrů, které umožňují otáčením rychlé střídání os. JZC se vyrábějí v hodnotách $\pm 0,25$ D, $\pm 0,5$ D a $\pm 1,0$ D. Dvojice barevných značek, které jsou nejčastěji v souladu s barevným označením objímek ze sady zkušebních čoček, představují osu kladného a záporného cylindru. Rukojeť je umístěna tak, aby symetricky půlila směry os těchto dvou plancylindrů. [10,14,25]



Obrázek č. 9: Jacksonův zkřížený cylindr [G]

Metoda začíná v pozici, kdy je oko nastaveno na kroužek nejmenšího rozptylu, který je místem relativně nejkvalitnějšího zobrazení v pravidelné astigmatické figuře Sturmova konoidu a nachází se v něm zhruba uprostřed. Jako první je nutné nalézt orientaci směrů hlavních řezů astigmatismu. Jako optotyp se používají speciální sféricky symetrické znaky, například astigmatický bodový nebo kruhový test. Vhodné jsou také Landoltovy prstence nebo kulaté znaky (O, C, 6 nebo 8). [10,12]



Obrázek č. 10: Astigmatický bodový a kruhový test [F]

Běžně používáme hodnotu JZC $\pm 0,25$ D. Při vízu menším než 0,5 nebo při špatných reakcích volíme silnější hodnotu JZC. Podle dosaženého vízu můžeme také určit hodnotu JZC, kterým začneme vyšetřovat.

Vízu	Použitá hodnota JZC / D
< 0,2	$\pm 1,00$ (sph +1,00 / cyl -2,0)
0,2–0,5	$\pm 0,50$ (sph +0,50 / cyl -1,0)
> 0,5	$\pm 0,25$ (sph +0,25 / cyl -0,5)

Tabulka č. 4: Použité hodnoty JZC podle vízu [J]

Hodnotu korekčního cylindru upravujeme podle hodnoty použitého zkříženého cylindru. Při změně cylindru o 0,5 D změním sféru o 0,25 D. To znamená, že změním sféru o polovinu cylindru v opačném směru. Při zesílení záporného cylindru nejprve upravíme sféru a pak cylindr. U zeslabování záporného cylindru naopak nejdříve změním cylindr a posléze sférickou hodnotu. [12]

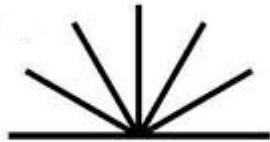
Vyšetřovaný mezi sebou porovnává první a druhý obrázek, který vznikne otočením JZC o 180° . Vyšetřujícího zajímá, který obrázek je lepší a podle toho volí další postup. Řídí se přitom zápornou osou zkříženého cylindru. Cílem je, aby oba obrazy byly stejné a to buď stejně dobré, nebo stejně špatné. [10,12,25]

Vyšetřovací postup:

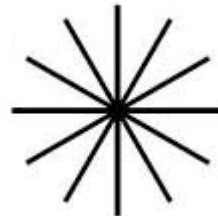
- 1) Stanovení předběžné osy – po dosažení nejlepší sférické korekce stanovíme předběžnou osu záporného korekčního cylindru. JZC vkládáme postupně rukojetí do poloh 0° a 90° a poté do 45° a 135° .
- 2) Přesné stanovení osy – JZC vkládáme ručkou do osy korekčního cylindru, který natáčíme podle polohy.

- 3) Stanovení síly korekčního cylindru – JZC vkládáme osami do osy korekčního cylindru. Je-li obrázek lepší při záporné ose, zesílíme korekční cylindr. Je-li lepší obrázek při kladné ose, korekční cylindr zeslabíme.
- 4) Jemné sférické dokorigování – je možné ho provést na červeno-zeleném testu nebo pomocí metody nejsilnější kladné a nejslabší záporné sférické hodnoty. [12,14]

Zamlžovací metoda je výhodná při vyšetřování vyšších stupňů astigmatismu a používá se k zjištění předběžných hodnot osy a síly astigmatismu před užitím JZC. Předpokladem pro začátek vyšetření je, že kroužek nejmenšího rozptylu se nachází na sítnici oka (nejlepší sféra). Vhodným optotypem pro tuto metodu je astigmatický vějíř nebo astigmatická růžice. [10,12]



Obrázek č. 11: Astigmatický vějíř [F]



Obrázek č. 12: Astigmatická růžice [F]

Rozhodující část měření, která vede ke stanovení korigující hodnoty astigmatismu, se provádí ve fázi mlžení. Pacient se dívá na test, vyšetřované oko zamlžíme plusovými korekčními čočkami, tím se vyřadí akomodace. V tuto chvíli vidí pacient všechny směry astigmatické růžice (vějíře) stejně rozmazané. Oko postupně odmlžujeme minusovými korekčními čočkami, dokud pacient neuvidí jeden směr, ve kterém se mu jeví úsečky astigmatické růžice jako nejkontrastnější. Korekční cylindr vložíme kolmo k nejlépe viděné (nejtmavší) úsečce.

Vyšetřovací postup:

- původně viděná úsečka je vidět lépe → zesílit hodnotu korekčního cylindru
- všechny úsečkou jsou vidět stejně dobře → osa i síla jsou v pořádku, následuje kontrola síly a dokorigování osy
- úsečka v ose cylindru (kolmá k původní) je vidět lépe → zeslabit hodnotu korekčního cylindru
- jiná úsečka je vidět lépe → špatné určení osy, dokorigování osy cylindru

[10,12]

Pokud jsme dosáhli stavu, kdy všechny úsečky jsou vidět stejně dobře, následuje kontrola síly cylindru. Při předložení cylindru s hodnotou $-0,25$ D by měla lépe viděná úsečka zešednout a úsečka k ní kolmá by měla být vidět lépe. Navození této situace nás informuje, že byla předtím dosažena žádoucí hranice v cylindrické korekci. Pro dokorigování osy vyšetřovaný sleduje kulatý znak optotypu a vyšetřující otáčí cylindrem na jednu a druhou stranu, až se obraz rozmaže. Správná poloha osy leží uprostřed krajních poloh. Poslední fází této metody je odmlžení. Vyšetřovaný sleduje běžný optotyp a vyšetřující postupně odmlžuje oko (viz nejlepší sféra – zamlžovací metoda). [10,12]

Binokulární vyvážení

Po monokulární subjektivní refrakci obou očí následuje binokulární vyvážení, kterým se snažíme dosáhnout binokulární rovnováhy obou očí. Zakrytí oka při monokulárním stanovení nejlepší sféry, spolu se silou a osou astigmatismu, je možným podnětem pro nežádoucí akomodaci. Možné navození akomodace v zakrytém a následně i ve vyšetřovaném oku, může způsobit monokulární nebo binokulární překorigování u minusových korekčních čoček nebo podkorigování u plusových korekčních čoček. Proto je potřeba binokulárního vyvážení při každé refrakci, které se provádí úpravou sférické části korekce za binokulárních podmínek. [12]

Při binokulárním vyvážení se obvykle nemění korekce astigmatismu. Pokud však přetrvávají potíže, je vhodné za binokulárních podmínek upravit i parametry astigmatické korekce.

Binokulární vyvážení se provádí na základě polarizovaných testů nebo pomocí Humprissovy metody, viz odborná literatura [12].

Poslední fází stanovení konečné korekce do dálky je binokulární nejlepší sféra. Vyšetřovaný se už nedívá na optotyp, ale projde se po osvětlené vyšetřovací místnosti, podívá se z okna atd. Vyšetřovaný binokulárně před oči předřazuje $+0,25$ D dokud se vidění poprvé nerozmaže a $-0,25$ D dokud se vidění zlepšuje. Důležitou roli zde hraje zraková pohoda vyšetřovaného. [12]

4.2 Subjektivní vyšetření astigmatismu do blízka

Zrakovou ostrost do blízka nejčastěji vyšetřujeme pomocí čtecích tabulek se souvislým textem, jehož odstavce jsou vytištěny v různé velikosti a označeny pořadovými čísly. Vyšetřovaný drží tzv. Jägerovy tabulky ve vzdálenosti 40 cm od oka, nebo ve vzdálenosti, ve které obvykle čte, při dostatečném osvětlení tabulek i okolí. Normální zraková ostrost je rovna Jägerově tabulce č. 1. [7]

Presbyopie je oční vada, která se objevuje kolem 45. roku věku a kolem 60 let se situace často stabilizuje. Vlivem stáří se akomodační šíře zmenšuje a pro pozorování blízkých předmětů je třeba jiné korekce než do dálky. Přibližnou adici do blízka podle věku vyšetřovaného při čtecí vzdálenosti 40 cm přibližuje následující tabulka. [11,19]

Věk	Adice (D)
42	0,5
45	1,0
48	1,5
51	2,0
55	2,5
≥ 60	3,0

Tabulka č. 5: Odhad adice podle věku [J, K]

K původní korekci do dálky se binokulárně přidávají sférické plusové korekční čočky, dokud se vidění zlepšuje. Po určení konečné adice je vhodné provést akomodační vyvážení do blízka. Nejlepší je použít speciální testy na principu pozitivní polarizace nebo Cowenův test na blízko, s dvěma dvojicemi kroužků v červeno-zeleném poli (postup viz odborná literatura). [19]

Při korekci do blízka se většinou mění pouze sférická část korekce, zatímco cylindrická část zůstává beze změny. Jestliže však přetrvávají problémy spojené s astigmatismem, můžeme realizovat úpravu korekce na čtecí vzdálenost. Ta se provádí monokulárně za použití JZD. Pro oddělení vjemu obou očí poslouží polarizační test. Důležité je přitom dodržet příslušný úhel pohledu a tedy i konvergenci obou očí spolu s jejich depresí. Rotace očí pravděpodobně nepřekročí více než 20° v addukci a 10° v depresi oka. Následné použití JZD je podobné jako při stanovení astigmatismu do dálky. [25]

V roce 2014 byla provedena studie v Jena University of Applied Sciences v Německu [23], které se zúčastnilo 72 respondentů. Cílem bylo zjistit, zda se astigmatismus do blízka může lišit od astigmatismu do dálky. Skutečný astigmatismus do blízka ovlivňuje extorze oka při pohledu na blízký předmět daný Listingovým zákonem a astigmatismus při akomodaci. Byla zaznamenána změna hodnoty cylindru až o 0,5 D a odchylka osy až 9° . Výsledek však neukazoval přímý vztah mezi akomodační schopností a změnou hodnoty a osy cylindru do blízka. [16,19,24]

5 Praktická část

Experimentální část této práce byla zaměřena na provedení studie, v rámci které byl vyhodnocen vliv změny sférické a cylindrické hodnoty korekce spolu se změnou osy cylindru při fixaci vzdáleného astigmatického testu v různých úhlech pohledu. Při sledování objektu v různém směru dochází k rotaci oka, nicméně podle Solomonova vztahu (viz kapitola 1.3), pokud je elevace nulová, nemá směr pohledu na torzi vliv. Cílem studie tedy bylo ověřit, zda při nulové nebo velmi malé elevaci jsou parametry astigmatické korekce v různých směrech pohledu konstantní.

5.1 Metodika a subjekty

Do výzkumu bylo zapojeno 62 probandů, přičemž dva z nich nesplňovaly kritéria uvedená v následujícím textu a ze studie byly vyloučeny. Z výsledného souboru bylo 45 žen a 15 mužů.

Výzkumu se mohly zúčastnit pouze osoby starší 18 let. Věkový rozsah výsledného souboru byl 19–28 let, průměrný věk činil 23 let se směrodatnou odchylkou dvou let. Další podmínkou pro splnění potřebných kritérií výzkumu byl normální stav očí, tedy bez očních abnormalit a bez omezené hybnosti očí. Účast všech probandů byla dobrovolná. Všichni byli nejdříve seznámeni s obsahem, postupem a možnými riziky studie. Svůj souhlas s účastí, anonymním zpracováním výsledků studie a seznámení se s obsahem studie potvrdili podpisem na informovaném souhlasu.

Experimentální měření bylo prováděno v optometrické laboratoři katedry optiky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Měření probíhalo od listopadu 2015 do února 2016. K měření byl použit autorefraktometr značky Nidek 7700, zkušební obruba se sadou zkušebních čoček s širokým zorným polem, Jacksonův zkřížený cylindr v hodnotách $\pm 0,25$ D, LCD optotyp a astigmatický bodový test. Vyšetření probíhalo za normálního osvětlení místnosti. Měření jednotlivých probandů trvalo přibližně 20–30 minut.



Obrázek č. 13: Autorefraktometr Nidek 7700 a zkušební sada s JZC [I]

První fází bylo objektivní měření refrakce na autorefraktometru. Vyšetřovaný opřel bradu a čelo na opěrku přístroje tak, aby úhel elevace ε byl přibližně nula. Na hlavu mu bylo připevněno laserové ukazovátko vyzařující červený paprsek, který mířil na jednotlivé značky na protější zdi, vzdálené od autorefraktometru 5 metrů. Tyto značky od sebe byly vzdáleny v pěti různých úhlových odstupech, a to 0° , $7,5^\circ$, 15° , $22,5^\circ$ a 30° . Proband fixoval testovou značku (létající balón) viditelnou uvnitř přístroje. Na pokyn vyšetřovaného otáčel hlavou doleva, při stálé fixaci brady a čela a pozorování testové značky, tak že laserový paprsek postupně směřoval na jednotlivé značky. Při každé pozici hlavy byly provedeny tři měření, z nichž do studie byl zahrnut průměrný výsledek těchto hodnot. Měření bylo prováděno pouze na pravém oku. Levé oko kvůli zvětšující se vzdálenosti od autorefraktometru při otáčení hlavy doleva, nemohlo být změřeno.

Druhou fází získání dat potřebné ke studii bylo subjektivní měření refrakce při pohledu na LCD optotyp, promítaný přes zrcadlo ve vzdálenosti 2,5 metru. Probandovi byla nasazena zkušební obruba a nacentrována při svislé pozici očí s vrcholovou vzdáleností d rovnou 12 mm (vzdálenost zadního vrcholu korekční čočky od vrcholu rohovky) a daným očním rozestupem pomocí centrovacích křížů. Nejdříve se monokulárně, při zakrytí nevyšetřovaného oka, určila nejlepší sféra spolu se stanovením astigmatismu na bodovém testu. Posléze byla provedena binokulární dokorekce pomocí Humprissovy metody. Vízus s korekcí byl roven 1,0 a lepší.

Následně proband opřel hlavu o opěrku brady a čela speciálního stolku. Vyšetřovanému se pomocí těchto opěrek fixovala hlava v pozici 0°. Při zakrytí levého oka proband sledoval vytištěný astigmatický test ve vzdálenosti 5 metrů od stolu. Byla provedena zkouška pomocí $\pm 0,25$ D JZC na změnu osy a síly korekčního cylindru. Tento postup se opakoval při pohledu na astigmatický test v pohledovém směru 7,5° a 15° při stálé pozici hlavy vpřed, ale pohybu očí doprava. Tak byla zachována stejná změna pohledového směru očí jako při měření na autorefraktometru. Další úhlové směry (22,5° a 30°) nemohly být provedeny, neboť tomu bránilo omezené zorné pole ve zkušební obrubě. Aby se vyloučilo případné navození nežádoucí akomodace při zakrytí nevyšetřovaného oka, byl stejný postup zopakován při zamlžení levého oka sférickou hodnotou +0,75 D při pohledu na test v 0°, 7,5° a 15°. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány a použity k dalšímu zpracování.

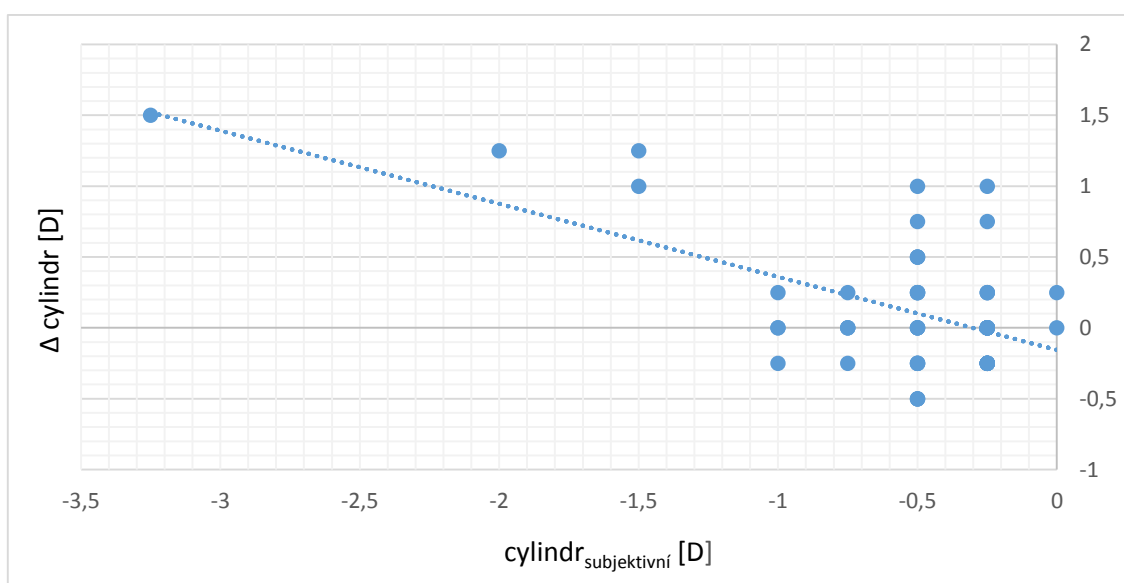
5.2 Výsledky

Veškeré naměřené výsledky byly zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2013. Statistické vyhodnocení změny hodnot sféry, síly a osy cylindru získaných měření na autorefraktometru a subjektivním měření při zakrytém a zamlženém nevyšetřovaném oku bylo provedeno pomocí metody ANOVA při opakovaných měřeních (repeated measurements ANOVA). Hladina významnosti byla zvolena 5 %, což znamená, že při zamítnutí rovnosti dat je 5 % riziko, že se data skutečně rovnají. V textu jsou také uvedeny mezní hladiny významnosti p , na kterých by právě došlo k zamítnutí rovnosti dat. Pro kompletní statistické vyhodnocení byly počítány také průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

Nejdříve jsem porovnávala pouze měnící se hodnoty sféry u objektivního měření, subjektivního měření se zakrytým okem a subjektivního měření se zamlženým okem při pohledu přímo vpřed, tedy v 0°. Výsledek prokázal statisticky nevýznamný rozdíl ($p = 0,1828$). Stejně jsem porovnávala hodnoty cylindru při pohledovém úhlu 0°. V tomto případě byl mezi měřeními nalezen statisticky významný rozdíl ($p = 0,0140$). Při detailnějším testování pomocí post hoc testu bylo zjištěno, že se objektivní metoda statisticky významně liší od ostatních, zatímco obě subjektivní metody mezi sebou nevykazují rozdíl. Dále jsem zkoumala měnící se osy cylindru, výsledek ($p = 0,9827$) ale nebyl signifikantně významný. Průměrné hodnoty (\bar{O}), směrodatné odchylky (σ) a medián (Me) u objektivního a subjektivního měření se zakrytým okem (1) a se zamlženým okem (2) jsou uvedeny v Tabulce č. 6.

	Objektivní měření			Subjektivní měření (1)			Subjektivní měření (2)		
	Sph / D	Cyl / D	Ax / °	Sph / D	Cyl / D	Ax / °	Sph / D	Cyl / D	Ax / °
\emptyset	-0,6	-0,67	1	-0,7	-0,54	1	-0,7	-0,54	1
σ	2,1	0,85	38	2,1	0,51	51	2,1	0,51	51
Me	0,0	-0,50	0	0,0	-0,50	0	0,0	-0,50	-2

Tabulka č. 6: Hodnoty objektivní a subjektivní refrakce se zakrytým a zamlženým okem

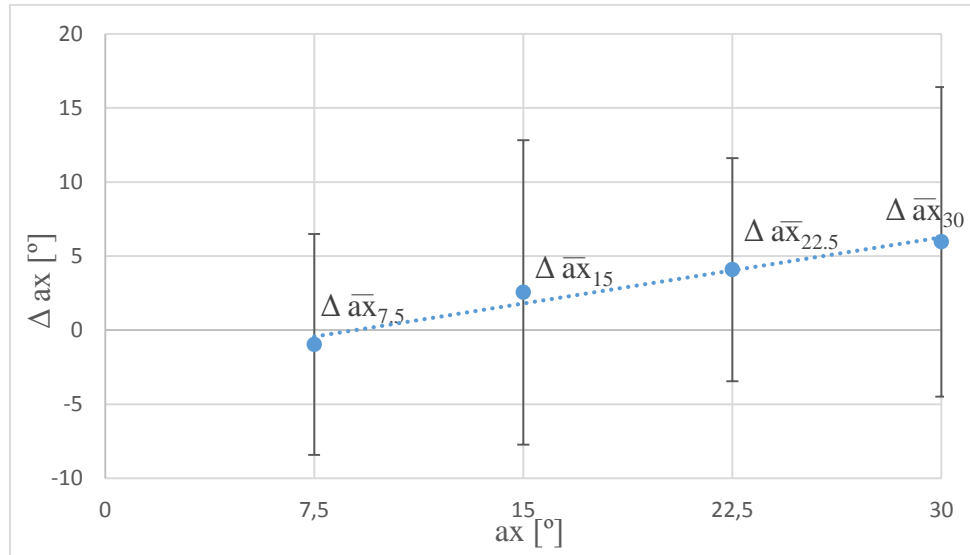


Graf č. 1: Závislost rozdílu Δ cylindru mezi objektivní a subjektivní hodnotou v závislosti na hodnotě cylindru při subjektivním měření. Kladný údaj značí, že objektivní měření udává v absolutní hodnotě vyšší cylindr. Linie označuje regresní přímku proloženou daty.

Regresní funkce zobrazená na grafu č. 1 ukazuje závislost Δ cylindru (rozdíl subjektivně a objektivně naměřené velikosti cylindru) na velikosti subjektivně zjištěné hodnoty cylindru. Velikost závislosti můžeme hodnotit pomocí korelačního koeficientu, který nabývá hodnot z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$. Obecně můžeme říci, že čím více se index korelace blíží ke krajním hodnotám intervalu, tím je výsledek spolehlivější. V našem případě je index korelace roven hodnotě $-0,58643$. Mezi oběma metodami je tedy slabší, ale statisticky významná (t-test, hladina významnosti 5 %) závislost, přitom objektivní metoda udává v průměru vyšší absolutní hodnotu cylindru. Tento rozdíl roste s velikostí cylindru.

Při testování vlivu úhlu pohledu na změnu hodnoty cylindru jsem zjistila, že s měnícím se úhlem od 0° do 15° má signifikantní vliv pouze metoda měření ($p = 0,0063$). Velikost cylindru ani vzájemná interakce úhlu a metody nejsou statisticky významné ($p = 0,2711$, $p = 0,2633$). Při testování změny osy cylindru nebyla nalezena žádná statisticky významná závislost na úhel pohledu, metodu měření a ani jejich vzájemnou interakci, mezní hladiny významnosti jsou $p = 0,1724$, $p = 0,7954$ a $p = 0,1901$. Stejně dopadl i výsledek u sférické části korekce s hladiny významnosti $p = 0,2165$, $p = 0,2127$ a $p = 0,6768$.

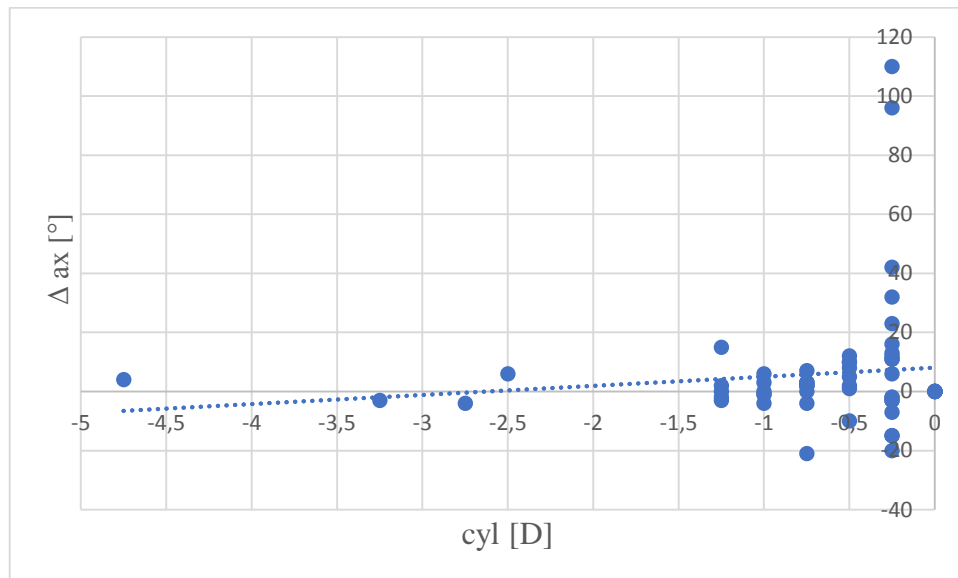
Poslední testovanou skupinou byl vliv úhlu pohledu pouze na objektivní měření ve směrech 0° , $7,5^\circ$, 15° , $22,5^\circ$ a 30° . Subjektivní metodu v pohledovém směru $22,5^\circ$ a 30° nebylo možné provést z důvodu omezeného zorného pole ve zkušební obrubě. Zjistila jsem, že statisticky významný vliv úhlu pohledu u objektivní metody je pouze u osy cylindru s mezní hladinou významnosti $p = 0,0350$. Následující graf zobrazuje závislost průměrné změny osy cylindru oproti hodnotě přímo v před (úhel 0°) na směru úhlu pohledu. Index korelace je roven hodnotě $0,981686$. Je vidět, že v průměru se s rostoucím úhlem pohledu rozdíl v ose cylindru zvětšuje. Naměřená data však mají značné směrodatné odchylky.



Graf č. 2: Závislost průměrné změny Δax osy cylindru na úhlu pohledu. Kladné hodnoty znamenají nárůst velikosti úhlu osy oproti pohledu přímo vpřed. Body představují průměrné rozdíly, úsečky reprezentují směrodatnou odchylku dat. Data jsou proložena regresní přímkou.

Další graf zobrazuje změnu osy cylindru ze směrového pohledu 0° na 30° . V grafu jsou zaznamenány změny hodnot u jednotlivých subjektů. K výraznějším změnám dochází

především u nízkých hodnot cylindrů, převažuje kladná hodnota rozdílu. Hodnota korelačního koeficientu pro proloženou regresní přímku je 0,122286.



Graf č. 3: Závislost změny osy cylindru Δax při úhlu pohledu 30° na hodnotě cylindru pro jednotlivé subjekty. Data jsou proložená regresní přímkou.

Při testování vlivu změny úhlu pohledu na změnu hodnot cylindru a sférické části korekce nebyla zjištěna žádná statisticky významná změna ($p = 0,13545$, $p = 0,26852$).

5.3 Diskuze

V experimentální části byla zkoumána objektivní a subjektivní refrakce se zakrytým nebo zamlženým nevyšetřovaným okem a její vliv na změnu úhlu pohledu. Cílem bylo zjistit, zda jsou změny hodnot síly a osy cylindru ovlivněny směrem pohledu. Předpoklad byl, že při malé nebo nulové elevaci by se neměl astigmatismus měnit. Předpoklad se potvrdil pro úhly pohledu (azimut) do 15° , kdy ani u subjektivního ani u objektivního měření nebyl při dané metodě měření zjištěn rozdíl mezi silou cylindru ani jeho osou. U subjektivních metod nemohlo být dosaženo vyšších úhlů azimutu než 15° z důvodu omezeného zorného pole obruby. Statisticky významné se prokázaly až změny osy cylindru u objektivního měření s měnícím se úhlem pohledu, kde bylo dosaženo výrazně větších (dvojnásobných) azimutálních úhlů stočení oka. K největším změnám došlo při pozorování objektu v krajním pohledu v 30° , přičemž rozdíl v ose s úhlem pohledu rovnoměrně rostl. Dále byl zjišťován

rozdíl mezi dvěma subjektivními metodami stanovení cylindru (se zakrytím nebo se zamlžením nevyšetřovaného oka) navzájem a oproti objektivnímu měření. Subjektivní metody vůči sobě nevykázaly žádný rozdíl, objektivní měření se od obou subjektivních lišilo v síle cylindru. Objektivní metoda vykazovala vyšší absolutní hodnotu cylindru v průměru o 0,13 D. Tato hodnota není klinicky významná. S rostoucí velikostí cylindru se tento rozdíl mírně zvyšuje. Osa a sféra se významně neměnily.

Obdobná studie, zabývající se vlivem okoohybných svalů při šikmého pohledu očí na refrakci byla provedena v roce 2009, jednalo se o práci s názvem *The influence of oblique viewing on axial and peripheral refraction for emmetropes and myopes* [21]. V první části byla stanovena axiální refrakce pomocí autorefraktometru při natočení hlavy a rotace oka o 30° horizontálně (šikmý pohled na testovou značku přístroje). Do výzkumu bylo zapojeno 16 emetropických očí ve věku od 18 do 35 let, 22 lidí s myopií od 19 do 36 let a 15 starších emetropů ve věku od 45 do 60 let. V druhé části studie byla měřena refrakce oka při pohledu na předmět s horizontální rotací hlavy nebo očí tak, aby odpovídala perifernímu úhlu 34°. Do této části se zapojilo 10 emetropů a 10 lidí s myopií. Ani v jedné skupině testovaných osob se nenašla statisticky významná změna v axiální refrakci oka ani při menších, ani při větších (34°) pohledových úhlech. Tato studie je u malých úhlů (do 15°) v souladu s našimi výsledky. Při větších úhlech však naše měření na autorefraktometru vykazuje statisticky významný rozdíl oproti přímému pohledu, a to v ose. Přitom podle Solomonova vzorce (viz kapitola 1.3) by při nulovém elevačním úhlu nemělo k žádné změně docházet. Tento lze vysvětlit možnou změnou náklonu hlavy při vyšetření a tím i změnou elevace. Námi zjištěná průměrná změna osy o asi 6° by pak měla odpovídat elevaci asi 22°. Takto velkých předozadních náklonů hlavy ale nebylo určitě při měření dosahováno. Dalším možným vysvětlením je mírné stočení hlavy ve frontální rovině směrem k rameni při pohledu bokem. Vzhledem k tomu, že mírné stočení při větších úhlech pohledu lze obtížně vyloučit, mohl tento jev výrazně ovlivnit měřené hodnoty. Naměřená stočení osy dále vykazují výrazné směrodatné odchylky. To by též odpovídalo náhodnému individuálnímu stočení hlavy s mírně převažujícím jedním směrem. Z grafu č. 3 je také vidět, že větších stočení dosahovaly malé cylindry, u nichž je přesnost stanovení osy podstatně menší než u vyšších hodnot, kde bylo stočení minimální.

Při změně směru pohledu v horizontální rovině lze na základě našich výsledků předpokládat žádné odchylky ve sférické části refrakce a ve velikosti cylindru. U osy je možné očekávat minimální stočení, způsobené ale spíše mírným stočením hlavy ve frontální rovině. Vzhledem k tomu, že při tomto jevu se korekce stočí současně s hlavou, nemá toto vliv na vidění. Dále bylo zjištěno, že není rozdíl mezi hodnotou cylindru stanovenou čistě

monokulárně a binokulárně (Humphrissovou metodou). Objektivní refrakce oproti subjektivní vykazuje mírně vyšší hodnotu s klinicky nevýznamným rozdílem 0,13 D.

Závěr

Snahou této diplomové práce bylo vytvoření uceleného textu, po jehož přečtení bude čtenář chápat všechny souvislosti týkající se vlivu pohledového úhlu na astigmatismus. V první části je stručně charakterizována stavba a funkce okohybných svalů, které ovládají rotaci oka, také je zde vysvětlen Listingův zákon. Druhá kapitola přibližuje popis, příčiny vzniku a rozdělení astigmatismu. Jsou zde popsány možnosti korekce této refrakční vady pomocí brýlové korekce, kontaktních čoček nebo vybraných chirurgických zákroků.

Další část se zabývá objektivním stanovením astigmatismu. Jednotlivé podkapitoly shrnují principy vyšetření pomocí skiaskopu, Hartingerova koincidencečního refraktometru, autorefraktometru a také Javal-Schniötzova oftalmometru. Protože objektivní refrakce hodnotí pouze optický systém oka, slouží spíše jako orientační. Vždy následuje subjektivní stanovení astigmatismu oka. Toto vyšetření se skládá z několika postupných kroků, které jsou shrnuty ve čtvrté kapitole.

Praktická část diplomové práce se věnuje experimentálnímu výzkumu. Cílem bylo zjistit, zda jsou změny hodnot síly a osy cylindru ovlivněny směrem pohledu. Předpoklad byl, že při nulové nebo velmi malé elevaci jsou parametry astigmatické korekce konstantní. Tento předpoklad se potvrdil pro úhly pohledu do 15°, kdy objektivní ani subjektivní metoda měření nevykazovala rozdíl mezi silou cylindru ani jeho osou. Statisticky významný rozdíl byl prokázán u změny osy cylindru u objektivního měření s měnícím se úhlem pohledu až 30°. Tento rozdíl mohl být způsoben nežádoucím náklonem hlavy jejím natáčením do požadovaného pohledového úhlu. Vzhledem k tomu, že případná korekce se natáčí s hlavou, nemá tento efekt vliv na vidění přes korekční pomůcku.

Seznam použité literatury

- [1] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha: Grada Publishing, 1997. ISBN 80-7169-140-2.
- [2] KVAPILÍKOVÁ, K.: *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. ISBN 80-7013-313-9.
- [3] AUTRATA, R., VANČUROVÁ, J. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [4] HROMÁDKOVÁ, L. *Šilhání*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-530-3
- [5] GROSVENOR, T. *Primary Care Optometry*, 5th edition. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.
- [6] ANTON, M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2004. ISBN 80-7013-402-X
- [7] ROZSÍVAL, P. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0
- [8] KRAUS, H. a kolektiv. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1
- [9] PLUHÁČEK, F. *Objektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I.*, Katedra optiky Přírodovědné fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012
- [10] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-301-5
- [11] POLÁŠEK, J. a kolektiv. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Nakladatelství technické literatury ve Středisku interních publikací, 1975. ISBN 06-004-75
- [12] PLUHÁČEK, F. *Subjektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I.*, Katedra optiky Přírodovědné fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012
- [13] ELLIOT, D. *Clinical Procedures in Primary Eye Care, 3rd edition*. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8896-3
- [14] RUTRLE, M. *Binokulární korekce na polatestu*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-302-3

- [15] PLUHÁČEK, F. *Oko a jeho optická soustava – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika*, Katedra optiky Přírodovědné fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012
- [16] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Godmershan: ABDO College, 1993. ISBN 0-9009-928-3
- [17] DRTILOVÁ, P. *Kontaktní čočky I – výukové materiály k předmětu Kontaktní čočky*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012
- [18] MUSILOVÁ, L. *Úvod do pevných kontaktních čoček – výukové materiály k předmětu Kontaktní čočky*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2010
- [19] SUDER, M: *Optometrie.cz* [online]. © 2004 [cit. 2016-28-03]. Dostupné z: <http://www.home.tiscali.cz/optometrie>
- [20] TAYLOR, N. M., EIKELBOOM, R. H: *Determining the accuracy of an eye tracking system for laser refractive surgery*, Centre for Ophthalmology and Visual Science, The University of Western Australia, 2009
- [21] MATHUR, A. a spol. *The influence of oblique viewing on axial and peripheral refraction for emmetropes and myopes*, Visual and Ophthalmic Optics Laboratory, Austria, 2009
- [22] RUTRLE, M. *Brylová technika, estetika a přizpůsobování brýlí*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001. ISBN 80-7013-347-3
- [23] ANDERS, C., KOLBE, O., DEGLE, S. *Epidemiology and refractive determination of astigmatism at near sight*. American Academy of Optometry, University of Applied Sciences Jena, 2014
- [24] BRAMBOROVÁ, S. *Astigmatismus do blízka*. Brno: Masarykova univerzita, Kongres optiky a optometrie 2015
- [25] BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction, 2nd edition*. Elsevier: Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 978-0-7506-7524-6

Seznam obrázků

- [A] TRŇÁKOVÁ, M. *Výskyt hereroforie u ametropů v populaci studentů*: diplomová práce. Brno: Mararykova univerzita, Fakulta lékařská, 2015
- [B] ROZSÍVAL, P. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0
- [C] RIESTER, R. *Riester – Profesional Diagnostic* [online]. © 2008 [cit. 2016-14-03].
Dostupné z: <http://www.riester.de/>
- [D] WANG, M. *Irregular Astigmatism Diagnosis and Treatment*. USA: Slack, 2008.
ISBN 978-1-55642-839-5
- [E] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5
- [F] OPTICA CERVANTES. *Optica Cervantes* [online]. © 2012 [cit. 2016-14-03].
Dostupné z: <http://www.opticacervantes.com/>
- [G] KEELER. *Keeler Eye Shop* [online]. © 2014 [cit. 2016-14-03]. Dostupné z:
<http://keeler.co.uk/>
- [H] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to Visual Optics*. Godmershan: ABDO College, 1993. ISBN 0-9009-928-3
- [I] Vlastní fotoarchiv autora
- [J] PLUHÁČEK, F. *Subjektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I.*, Katedra optiky Přírodovědné fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2012
- [K] SUDER, M: *Optometrie.cz* [online]. © 2004 [cit. 2016-28-03]. Dostupné z:
<http://www.home.tiscali.cz/optometrie>