

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA OPTIKY

Srovnání vybraných metod objektivního měření refrakce

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Klára Kysilková

R120161

obor N5345 OPTOMETRIE

studijní rok 2014/2015

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Srovnání vybraných metod objektivního měření refrakce vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 17. 12. 2014

.....
Bc. Klára Kysilková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat panu RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za poskytnutí informací, rad a především za vedení, pomoc a trpělivost při sestavování této diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	- 6 -
1 DIOPTIRKÝ STAV OKA A JEHO VADY.....	- 7 -
1.1 AKOMODACE	- 7 -
1.1.1 Složky akomodace	- 8 -
1.1.2 Proximální akomodace a přístrojová myopie.....	- 8 -
1.2 EMETROPIE	- 9 -
1.3 MYOPIE (krátkozrakost).....	- 10 -
1.4 HYPERMETROPIE (dalekozrakost)	- 11 -
1.5 ASTIGMATISMUS	- 13 -
2 METODY STANOVENÍ OBJEKTIVNÍ REFRAKCE	- 16 -
2.1 SKIASKOPIE (retinoskopie).....	- 16 -
2.1.1 Historie	- 16 -
2.1.2 Obecná konstrukce skiaskopu	- 17 -
2.1.3 Principy a užití skiaskopie	- 20 -
2.1.3.1 Statická skiaskopie.....	- 22 -
2.1.3.2 Dynamická skiaskopie	- 25 -
2.1.3.3 Mohindrova skiaskopie.....	- 28 -
2.1.4 Obtížné situace při skiaskopii	- 29 -
2.2 REFRAKTOMETRY (OPTOMETRY)	- 31 -
2.2.1 Subjektivní refraktometry	- 31 -
2.2.1.1 Jednoduchý optometr	- 32 -
2.2.1.2 Scheinerův disk	- 32 -
2.2.2 Objektivní refraktometry	- 35 -
2.2.2.1 Hardy-Astronův oční refraktometr	- 35 -
2.2.2.2 Rodenstockův oční refraktometr	- 36 -
2.2.2.3 Hartingerův koincidenční refraktometr.....	- 37 -
2.3 AUTOREFRAKTOMETRY	- 39 -
2.3.1 Principy autorefraktometrů	- 39 -
2.3.1.1 Autorefraktometr založený na principu skiaskopie	- 40 -
2.3.1.2 Autorefraktometr založený na principu analýzy obrazové kvality	- 41 -
2.3.1.3 Autorefraktometr založený na principu Scheinerova disku	- 42 -
2.3.1.4 Autorefraktometr (aberometr) pracující s Shack-Hartmanovým wavefront senzorem.....	- 44 -
2.4 SROVNÁNÍ SKIASKOPIE A AUTOREFRAKTOMETRIE	- 46 -
3 EXPERIMENTÁLNÍ SROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD OBJEKTIVNÍHO MĚŘENÍ REFRAKCE A JEJICH OPAKOVATELNOST.....	- 48 -
3.1 METODIKA.....	- 48 -

3.1.1	Probandi.....	- 48 -
3.1.2	Metodika.....	- 49 -
3.1.3	Metodika statistického zpracování.....	- 51 -
3.2	VÝSLEDKY	- 52 -
3.2.1	Opakovatelnost.....	- 52 -
3.2.1.1	Skiaskop.....	- 52 -
3.2.1.2	Autorefraktometr.....	- 55 -
3.2.1.3	Aberometr – 3 mm.....	- 58 -
3.2.1.4	Aberometr – 5 mm.....	- 61 -
3.2.2	Porovnání přístrojů.....	- 64 -
3.2.2.1	Skiaskop vs. autorefraktometr.....	- 64 -
3.2.2.2	Skiaskop vs. aberometr.....	- 68 -
3.3	DISKUZE	- 71 -
3.3.1	Opakovatelnost.....	- 71 -
3.3.2	Porovnání přístrojů.....	- 74 -
	ZÁVĚR	- 77 -
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 79 -
	OBRÁZKY	- 81 -

ÚVOD

V dnešní uspěchané době se k měření objektivní refrakce nejčastěji používají přístroje, které jsou co nejméně náročné na obsluhu a dobu vyšetření. Takovéto přístroje jsou většinou automatické refraktometry a aberometry, a manipulace s nimi je jednoduchá. Autorefraktometr je klasický přístroj pro měření objektivní refrakce založený na měření v několika málo bodech zornice. Aberometr při měření objektivní refrakce analyzuje vlnoplochu v rozsahu vymezené oblasti zornice, měl by tedy lépe reflektovat skutečný stav. Ovšem tyto přístroje jsou velmi nákladné a nesou s sebou nevýhody, jako je navození proximální akomodace a s ní i přístrojové myopie. Na druhé straně jsou tu přístroje, jejich pořizovací cena je oproti automatickým přístrojům minimální, ale manipulace s nimi je náročná, vyžaduje znalosti a praxi vyšetřujícího a též delší čas vyšetření. Jedná se o skiaskop. Je to klasická metoda, jedna z nejstarších, dříve hojně užívaná a finančně dostupná. Proximální akomodace a přístrojová myopie se u skiaskopie lépe kontrolují a někdy se nemusí vůbec objevovat. Jelikož má každé měření objektivní refrakce své nevýhody a nepřesnosti, je skoro ve všech případech povinnost provést po objektivní refrakci subjektivní vyšetření.

Cílem diplomové práce je teoreticky shrnout základní, v současnosti běžně užívané metody objektivního vyšetřování refrakce a jejich principy včetně skiaskopie. Dále experimentálně porovnat metody autorefraktometrie a aberometrie se skiaskopií. Součástí srovnání je též stanovení opakovatelnosti měření refrakce těmito metodami. Skiaskopie je užitá jako referenční, neboť podle studie [1] vykazuje větší shodu se subjektivně stanovenými hodnotami oproti klasické autorefraktometrii.

1 DIOPTIRCKÝ STAV OKA A JEHO VADY

Oko má přibližně kulový tvar o průměr 24 mm. Jeho optická lomivost je podle Gulstrandova modelu [2] +58,64 D a příslušná optická prostředí jsou rohovka, komorová tekutina, čočka a sklivce. Všechny tyto části optického prostředí mají svůj index lomu. Největší optickou mohutnost má rohovka, kolem +42 D. Čočka má proměnlivou optickou mohutnost, její hodnota závisí na akomodaci (viz níže). Dioptický stav oka lze též popsat pomocí jeho refrakce. Refrakcí rozumíme vztah mezi lomivostí a délkou oka, kdy se v ideálním případě ohnisko jeho optické soustavy při minimální akomodaci (viz kapitola 1.1) nachází na sítnici. V opačném případě vznikají refrakční vady (většinou se jedná o axiální refrakční vady), které jsou blíže popsány v dalším textu. Číselně je axiální refrakce vymezena jako převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu od oka. Daleký bod A_R je takový bod, který je ostře zobrazen na sítnici při uvolněné akomodaci. Dalším bodem, kterým můžeme charakterizovat rozsah vidění je bod, který je ostře zobrazen na sítnici při maximální akomodaci. Nazývá se blízký bod a značí se A_P . Rozsah mezi dalekým a blízkým bodem charakterizuje míru akomodace oka, které je věnována následující podkapitola. [3]

1.1 AKOMODACE

Akomodace je schopnost lidského oka zaostřovat předměty nacházející se v různé vzdálenosti před okem v závislosti na změně optické mohutnosti zrakového systému oka. Během akomodace dochází ke změně lomivosti oční čočky tím, že přední plocha čočky mění své zakřivení a celková tloušťka čočky se zvětšuje. Změnu tvaru oční čočky má na starosti ciliární sval, který uchycuje čočku pomocí zonulí (vlákna). Vlákna se buď napínají a oplošťují čočku (pohled do dálky) nebo se uvolňují a čočka získává větší lomivost a tloušťku (pohled do blízka). Oční čočka má schopnost měnit svou optickou mohutnost o 12 až 15 D, avšak s přibývajícím věkem tato schopnost klesá. [4]

Ciliární sval je hladký sval, který se stahuje a vytváří akomodaci krystalické oční čočky člověka. Ačkoli se ví o anatomickém složení ciliárního svalu, přesné změny struktury ciliárního svalu, které se objevují při akomodaci, jsou nejasné. Akomodace byla zkoumána v několika oblastech, aby byly lépe pochopeny jevy, jako je presbyopie nebo progresivní myopie.

1.1.1 Složky akomodace

Akomodace je členěna do různých funkčních složek: tonická, konvergenční, proximální, reflexní a volní [5].

Tonická akomodace

Tonická akomodace je klidový stav akomodačního systému. Je to velikost akomodace přítomná při absenci stimulů. V mládí to je kolem 1 až 2 D, ale s věkem se snižuje.

Konvergenční akomodace

Konvergenční akomodace je velikost akomodace stimulována konvergencí oka na blízké předměty. V mládí akomodační odezva sleduje konvergenci oka. Reakční čas pro konvergenci je kolem 0,2 s. Skoro dvakrát rychlejší než reakční doba akomodace. Takže akomodace zaostává a bere si podnět z konvergence.

Proximální akomodace

Proximální akomodace je velikost akomodace vybuzená subjektem při jeho odhadování vzdálenosti blízkých předmětů. U přístrojů jako je autorefraktometr, dochází při objektivní refrakci k častému navozování proximální akomodace. U myopů může dojít k překorigování a u hypermetropů k podkorigování.

Reflexní akomodace

Reflexní akomodace je normální neúmyslná akomodační odezva na rozmazaný obraz, za účelem udržet ostrý obraz.

Volní akomodace

Volní akomodace nezávisí na přítomnosti stimulů. Schopnost uvolnit akomodaci je lehce naučitelná a může být zodpovědná za špatné výsledky v měření amplitudy akomodace.

1.1.2 Proximální akomodace a přístrojová myopie

Během provádění objektivní refrakce, může dojít k nesprávnému změření dioptrického stavu oka. Důvodem této chyby může být lidská oční čočka,

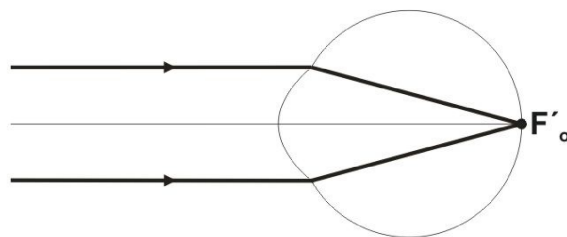
neboť při pohledu do přístrojů (autorefraktometr, foropter, skiaskop...) oční čočka aktivuje akomodaci, a tím dochází k špatnému změření dioptrického stavu oka.

Jak již jsem se zmínila výše, proximální akomodace je subjektem vybuzená akomodace, kdy subjekt odhaduje vzdálenosti blízkých předmětů, a tím se navozuje akomodace. Např. během objektivního měření pomocí autorefraktometru je uvnitř přístroje fixační značka, která má působit dojmem, že je umístěna v nekonečnu. Vyšetřovaný musí tuto značku během vyšetření fixovat. Tím, že značka působí dojmem vzdáleného předmětu, může u některých vyšetřovaných vyvolat nejistotu, neboť jsou si vědomi toho, že značka není v nekonečnu, nýbrž je promítána v určitém místě uvnitř přístroje. Tím dojde k zapojení jejich nežádoucí akomodace, která úzce souvisí s přístrojovou myopií. Přístrojová myopie je obecný název pro dočasně mírné zvýšení akomodace subjektu, při pohledu do optických přístrojů. Dokonce i tehdy, když je optika přístroje dokonale nastavena. Přístrojová myopie se objevuje při použití mikroskopů, dalekohledu, teleskopů, autorefraktometrů, při použití foropteru během subjektivní refrakce apod. Jediný způsob jak eliminovat přístrojovou myopii je použití cykloplegie během vyšetření, která dilatuje zornici a potlačí funkci řasnatého tělíska, tím dojde k vyřazení akomodace. [6, 7]

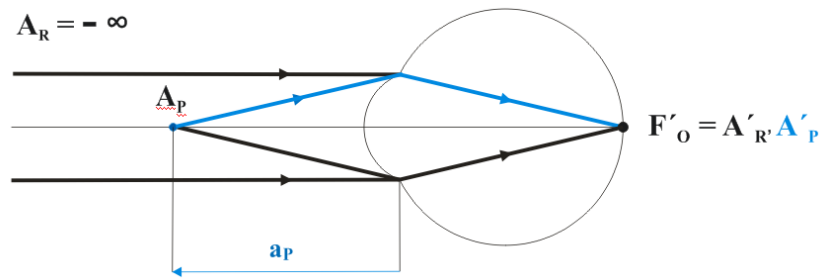
1.2 EMETROPIE

Emetropie je „normální“ refrakční stav oka. U zdravého oka je předpokládána kvalitní ostrost vidění (vívus 1 a větší) při pohledu do dálky. A jestliže je akomodační schopnost normální, vidí mladý emetrop ostře na pracovní vzdálenost (40 až 50 cm). [8]

Oko je považováno za emetropické, pokud jsou při uvolněné (minimální) akomodaci paralelní paprsky ostře promítnuty na sítnici, tj. pokud jeho obrazové ohnisko F'_o leží na sítnici, viz obr. 1. Daleký bod A_R se u emetropického oka nachází na optické ose v nekonečnu. Naopak blízký bod se u emetropického oka nachází na optické ose v konečné vzdálenosti před okem, viz obr. 2. [5]



Obr. 1 – Emetropie



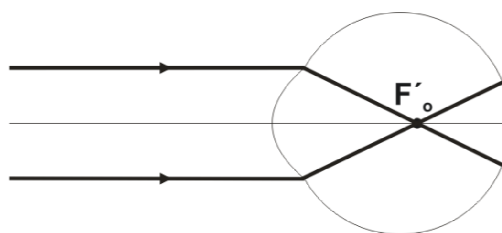
Obr. 2 – Blízký bod A_P a daleký bod A_R

1.3 MYOPIE (krátkozrakost)

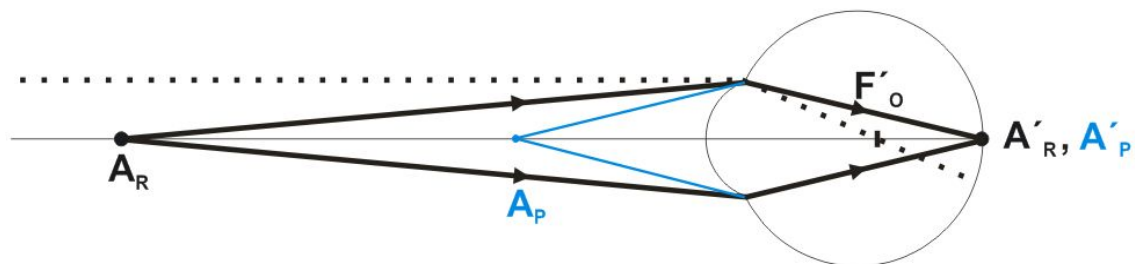
Tento stav může nastat, pokud je oční koule příliš dlouhá nebo mají optická prostředí v oku nadměrnou lomivost. Myopické oko má obrazové ohnisko F'_o neakomodovaného oka před sítnicí, viz obr. 3.

Daleký bod A_R se u myopického oka nachází na optické ose v konečné vzdálenosti před okem. A blízký bod A_P je na optické ose značně posunut k oku, viz obr. 4.

Myopie se projevuje mlhavým či rozmazaným viděním do dálky a ostrým viděním do blízka. Myop se snaží zlepšit svůj stav mhouřením očí (stenopeické vidění). Tento stav může být korigován pomocí rozptylné čočky. Hodnota rozptylné čočky musí být nejslabší, se kterou myop dosáhne nejlepší zrakové ostrosti. Nesmí dojít k překorigování (hypermetropizace).



Obr. 3 – Myopie



Obr. 4 – Blízký bod A_P a daleký bod A_R

Klasifikace myopie [9]:

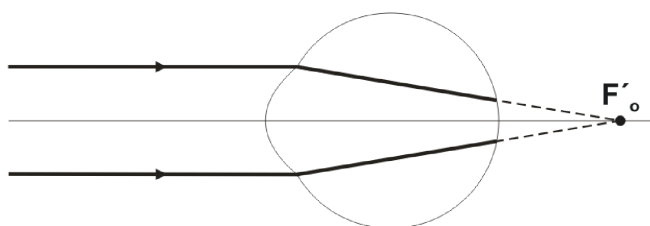
- Lehká myopie (simplex) – do -3 D
- Střední myopie (modica) – od -3 D až do -6 D
- Těžká myopie (gravis) – od -6 D a výše

První dvě skupiny, tedy lehká a střední myopie, nejsou doprovázeny degenerativními změnami. Došlo k nim při normálním vývoji oka. Naopak může nastat varianta, kdy dochází k neustálému zvětšování bulbu, hodnota myopie může být až -10 D, v takovém případě se jedná o myopii intermedialis a její progresse končí po 20. roce věku. Dalším druhem myopie je myopie progressiva (patologická), kdy dochází k rychlému nárůstu dioptrií, až -4 D za rok. Hodnoty dioptrií mohou dosahovat -10 D až -30 D a stabilizují se mezi 20. a 30. rokem. Tento druh myopie je doprovázen nežádoucími degenerativními změnami cévnatky a zkapalněním sklivce. Při zkapalnění sklivce dochází k výskytu sklivcových zákalků. Taktéž se může odchlípnout sítnice, kdy v periferní části cévnatky dochází k chorioretinální degeneraci. V oblasti makuly lze pozorovat degenerativní změny. Také může dojít k výskytu primárního glaukomu s otevřeným úhlem. Dalším druhem myopie je myopie vrozená, která se vyskytuje ihned po narození a většinou se nemění. Dioptrie se pohybují kolem velikosti -10 D.

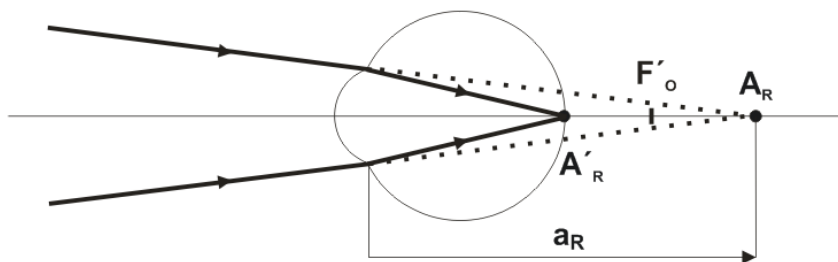
1.4 HYPERMETROPIE (dalekozrakost)

Hypermetropie se projevuje neostrým viděním do blízka a dobrým viděním do dálky. Hypermetropické oko má obrazové ohnisko F' o neakomodovaného oka za sítnicí, viz obr. 5. Tento stav může oko částečně nebo úplně vykorigovat vlastní akomodací. Trvalé či nadměrné zapojení akomodace může vést k astenopickým potížím. Tomu se dá předejít aplikací vhodné korekce – spojné čočky, která posune ohnisko z místa za sítnicí na sítnici. Hodnota spojné čočky by měla být nejvyšší, se kterou hypermetrop dosáhne nejlepší zrakové ostrosti.

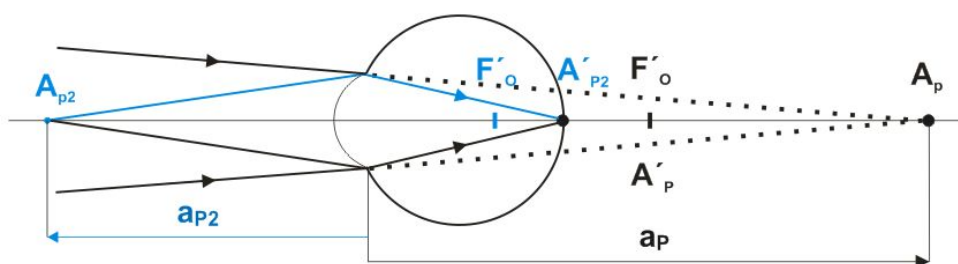
Daleký bod A_R se u hypermetropického oka nachází na optické ose v konečné vzdálenosti za okem, viz obr. 6. A blízký bod A_P je na optické ose buď ve značné vzdálenosti před okem, nebo za ním, viz obr. 7.



Obr. 5 - Hypermetropie



Obr. 6 – Daleký bod A_R



Obr. 7 – Blízké body A_p, A_{p2}

Tento stav může nastat, pokud je oční koule příliš krátká (axiální vada) nebo optická prostředí v oku mají nedostatečnou lomivost (lomivostní vada). S takovýmto nálezem se běžně setkáváme u čerstvě narozených dětí, protože jejich oční koule je příliš krátká a s růstem oka pomalu mizí.

Kratší délka oka (axiální vada) může přivodit glaukom s uzavřeným úhlem, neboť růst čočky přední oční komoru zužuje a změlčuje. Makula je posunuta dále od zrkového nervu a cévy na očním pozadí jsou vinutější. [9]

Klasifikace hypermetropie: [10]

Klinicky může být hypermetropie podle původu klasifikována do těchto tří kategorií

- Jednoduchá hypermetropie – může se jednat o axiální nebo lomivostní původ.

- Patologická hypermetropie – je způsobena abnormální anatomií oka na základě špatného vývoje, traumatu nebo očního onemocnění.
- Funkční hypermetropie vyplývající z obrny akomodace.

Hypermetropie může být klasifikována také na základě stupně refrakční vady:

- Nízká hypermetropie = do +2,00 D
- Střední hypermetropie = od +2,25 D do +5,00 D
- Vysoká hypermetropie = nad +5,00 D

Další možnost klasifikace zohledňující možné zapojení akomodace:

- Manifestní hypermetropie – určena noncykloplegickou refrakcí, a má dvě složky: *fakultativní* (může být kompenzována při zvýšeném akomodačním úsilí) a *absolutní* (nemůže být kompenzována akomodací) hypermetropie.
- Latentní hypermetropie – je odstraněna základním fyziologickým napětím ciliárního svalu, lze ji odhalit jen při cykloplegické refrakci. Objevuje se i při začínající presbyopii, protože pomalu dochází ke ztrátě tonu ciliárního svalu a akomodace.
- Celková (totální) hypermetropie – zde patří manifestní a latentní hypermetropie

1.5 ASTIGMATISMUS

Astigmatismus je refrakční vada, která se projevuje tím, že má oko odlišnou optickou mohutnost v různých meridiánech. Většinou se jedná o pravidelný astigmatismus – dva meridiány k sobě kolmé mají maximální a minimální lomivost a mezi nimi se lomivost mění monotónně. Bod se nezobrazuje jako bod, ale jako dvě na sebe navzájem kolmé ohniskové úsečky (fokály), které neleží v téže rovině. U nepravidelného astigmatismus nejsou meridiány na sebe kolmé a mezi nimi se lomivost mění různě. [3,8]

Astigmatismus se dělí na rohovkový, čočkový a zbytkový, který je zanedbatelný. Rohovkový astigmatismus je hlavní příčinou astigmatismu oka. Z 90 % případů rohovkového astigmatismu je rohovka strměji zakřivená ve vertikálním meridiánu, než v horizontálním. To způsobuje, že světlo je více lámané ve vertikálním meridiánu,

než v horizontálním. Tento stav se označuje jako **astigmatismus podle pravidla** (přímý - rectus). Když je světlo lámáno více v horizontálním než ve vertikálním meridiánu, jedná se o **astigmatismus proti pravidlu** (nepřímý – inversus). Dle dohody se jedná o **astigmatismus šikmých os** (obliquus) tehdy, když jsou hlavní meridiány o více než 30° odchýleny od 90° nebo 180° stupňů. [5]

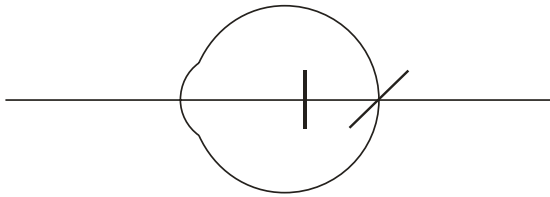
Rohovka se skládá ze dvou povrchů ohraničených zepředu vzduchem a zezadu nitrooční tekutinou. Přední plocha má dioptrickou hodnotu +48,21 D a zadní plocha má dioptrickou hodnotu -5,97 D. Proto se klade důraz na korekci přední plochy rohovky, a to nejlépe kontaktními čočkami. Rohovkový astigmatismus způsobený zadní plochou rohovky nebývá větší než 1 D a tato hodnota je ojedinělá. [5]

Krystalická oční čočka se může také podílet na celkové hodnotě astigmatismu. Čočkový astigmatismus může být způsoben defektním zakřivením čočky nebo šikmým průchodem světla přes čočku. Čočkový astigmatismus nedosahuje vysokých hodnot jako je tomu u rohovkového astigmatismu. V mládí se hodnota pohybuje kolem +0,50 D až +0,75 D, ale s přibývajícím věkem, po 50 roce, dochází k zvýšení hodnoty až na +1,25 D. Tento nitrooční astigmatismus je skoro vždy proti pravidlu a jen zřídkakdy překračuje hodnotu +1,5 D. [5]

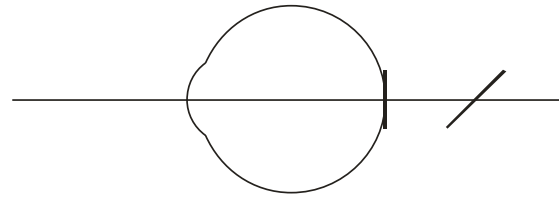
Astigmatismus je dále dělen do tří hlavních skupin (prostý, složený a smíšený) a to podle pozice fokál v neakomodovaném oku. Do jednotlivých skupin patří prostý myopický astigmatismus, prostý hypermetropický astigmatismus, složený myopický a hypermetropický astigmatismus a smíšený astigmatismus. Astigmatismus je závislý na axiální délce oka, která určuje pozici sítnice a klasifikace astigmatismu je určena axiální délkou: [5, 8]

Prostý (simplex) astigmatismus

Prostý astigmatismus je takový astigmatismus, kdy s uvolněnou akomodací se nachází jedna fokála na sítnici a druhá je buď před, nebo za sítnicí. Je-li druhá fokála před sítnicí, jedná se o prostý myopický astigmatismus, viz obr. 8. Naopak pokud se druhá fokála nachází za sítnicí, jde o prostý hypermetropický astigmatismus, viz obr. 9. [8]



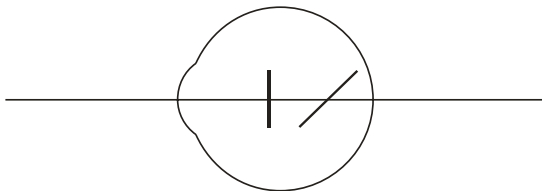
Obr. 8 – Prostý myopický astigmatismus



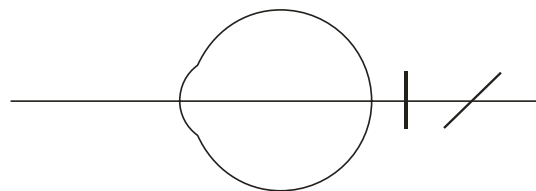
Obr. 9 – Prostý hypermetropický astigmatismus

Složený (compositus) astigmatismus

Složený astigmatismus je takový astigmatismus, kdy s uvolněnou akomodací jsou obě fokály buď před sítnicí, nebo za sítnicí. Jsou-li obě fokály před sítnicí, jedná se o složený myopický astigmatismus, viz obr. 10. Jsou-li obě fokály za sítnicí, jde o složený hypermetropický astigmatismus, viz obr. 11. [8]



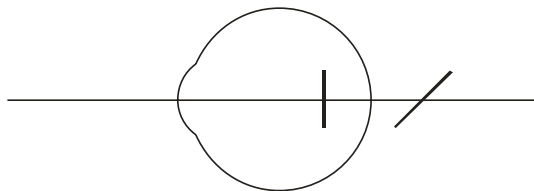
Obr. 10 – Složený myopický astigmatismus



Obr. 11 – Složený hypermetropický astigmatismus

Smíšený (mixtus) astigmatismus

Smíšený astigmatismus se objevuje, pokud se při uvolněné akomodaci jedna fokála nachází před sítnicí a druhá fokála za sítnicí. Kroužek nejmenšího rozptylu se nachází blíže k sítnici, takže takto nekorigované oko má stále dobrou ostrost vidění (samozřejmě, že záleží na velikosti astigmatismu a šíři zornice) bez nutné akomodace, viz obr. 12.) [8]



Obr. 12 – Smíšený astigmatismus

2 METODY STANOVENÍ OBJEKTIVNÍ REFRAKCE

Metoda objektivního měření refrakční vady je užitečná v tom, že i bez reakcí vyšetřovaného a při jeho minimální spolupráci lze získat představu o jeho refrakčním stavu očí. Využití této metody má hlavní význam u lidí, kteří nemůžou spolupracovat (např. u dětí, mentálně postižených lidí, při jazykové bariéře apod.) a nelze provést subjektivní refrakci. U běžných případů se objektivní refrakce využívá jako první krok měření refrakce, po které by měla následovat subjektivní refrakce. Objektivní refrakce podá vyšetřujícímu údaje o optickém stavu oka vyšetřovaného a tím mu urychlí následnou subjektivní refrakci.

V dnešní době existuje mnoho kvalitních přístrojů k změření objektivní refrakce. Převážná většina je měřena pomocí autorefraktometrů, kdy měření je rychlejší a časově nezatěžuje vyšetřovanou osobu, avšak nemusí být tak přesné, protože při pohledu do přístrojů dochází k vybuzení akomodace. Další metoda k stanovení objektivní refrakce je skiaskopie. Tato metoda vyžaduje praktickou zkušenost vyšetřujícího a vyšetření je časově náročnější oproti měření na autorefraktometru, ale přináší jiné výhody, jako je například lepší kontrolovatelnost akomodace, menší riziko navození přístrojové myopie a podobně.

V této kapitole je podrobně popsána skiaskopie, která se člení na podkapitoly historie skiaskopie, konstrukce skiaskopu, principy a užití skiaskopie a obtížné situace při skiaskopii. Dále jsou zde popsány refraktometry a autorefraktometry a jejich princip.

2.1 SKIASKOPIE (retinoskopie)

Skiaskopie je objektivní metoda pro vyšetření, diagnostikování a vyhodnocování refrakčních vad oka. Tato metoda je jednoduchá, finančně nenáročná na vybavení a je relativně přesná, avšak klade vysoké nároky na vyšetřujícího, neboť vyžaduje zkušenost a rutinu během skiaskopie. Princip skiaskopie spočívá ve vyhodnocení rychlosti a směru pohybu tzv. červeného reflexu, vnímaného po odrazu od povrchu sítnice. Směr a rychlost pohybu červeného reflexu jsou dány refrakční vadou oka. [11]

2.1.1 Historie

V roce 1859 Sir William Bowman zpozoroval, že při oftalmoskopii se v pupile objevuje „zvláštní“ reflex. Tento pohyb reflexu zpozoroval na oku

s keratokonem. Bowman popsal metodu, která využívá reflexu v oku ke stanovení astigmatismu oka. Francouzský oftalmolog Cuignet používal od roku 1873 skiaskopii jako objektivní metodu, která stanovuje refrakčního stav oka. Přitom používal jednoduché provrtané ploché zrcadlo. Světlo vycházející z lampy, která byla umístěna za vyšetřovaným, se odrazilo od zrcadla ve formě paralelních paprsků a dopadlo do oka vyšetřovaného. Oftalmolog pozoroval reflex v pupile oka vyšetřovaného přes vyvrtaný kruhový otvor v zrcátku. Touto cestou rozeznal, že na různých ametropických očích jsou souhlasné a nesouhlasné reflexy, světelnost a jeho rychlost reflexu, individuální. A taky upozoroval, že směr reflexu je v různých meridiánech odlišný. Pomocí této metody byl schopný identifikovat ametropii jako je myopie, hypermetropie a astigmatismus. Roku 1880 Parent publikoval vylepšenou teorii. Na základě této teorie mohl objektivně měřit ametropii. Měření probíhalo s předloženou vhodnou čočkou. Díky tomu bylo možné stanovit kvantitativní objektivní refrakci. Přišel s myšlenkou, že světelný jev vzniká odrazem od pigmentové vrstvy sítnice. Také použil slovo „skiaskopie“, které se dnes v anglickém jazyce nepoužívá a je zaměněné za slovo „retinoskopie“. Známa jména, která jsou spojená s oftalmologií a optometrií a zabývala se skiaskopií, jsou vedle Donderse také Gullstrand a Wolff. Duane jako první navrhl používat skiaskopii s cylindrickými čočkami ke stanovení astigmatismu. Nakonec Jackson a Copeland použili skiaskopii v klinické praxi v 19. a 20. století. Jack C. Copeland v roce 1920 díky náhodě přišel na nápad využití pásové skiaskopie. Během měření na fantomu mu spadl na zem bodový skiaskop. Bodová lampa byla zjevně deformovaná po pádu, ale nebyla zničená. A protože deformovaný přístroj znovu použil, objevil pásový skiaskop, který posléze disponoval změnouvergence, osvětlení a rotací světelného pásu. Až doposud byli pacienti vyzváni, aby fixovali vzdálený objekt. Díky tomu byla kontrolována akomodace. V roce 1902 A. J. Cross vyvinul dynamickou skiaskopii. Podle této metody pacient binokulárně sledoval objekt v blízkosti. Nicméně trvalo ještě mnoho let, než byla tato metoda uznána. Dnes je skiaskopie často zaměňována za rychlejší objektivní vyšetření refrakce pomocí autorefraktometru. [12]

2.1.2 Obecná konstrukce skiaskopu

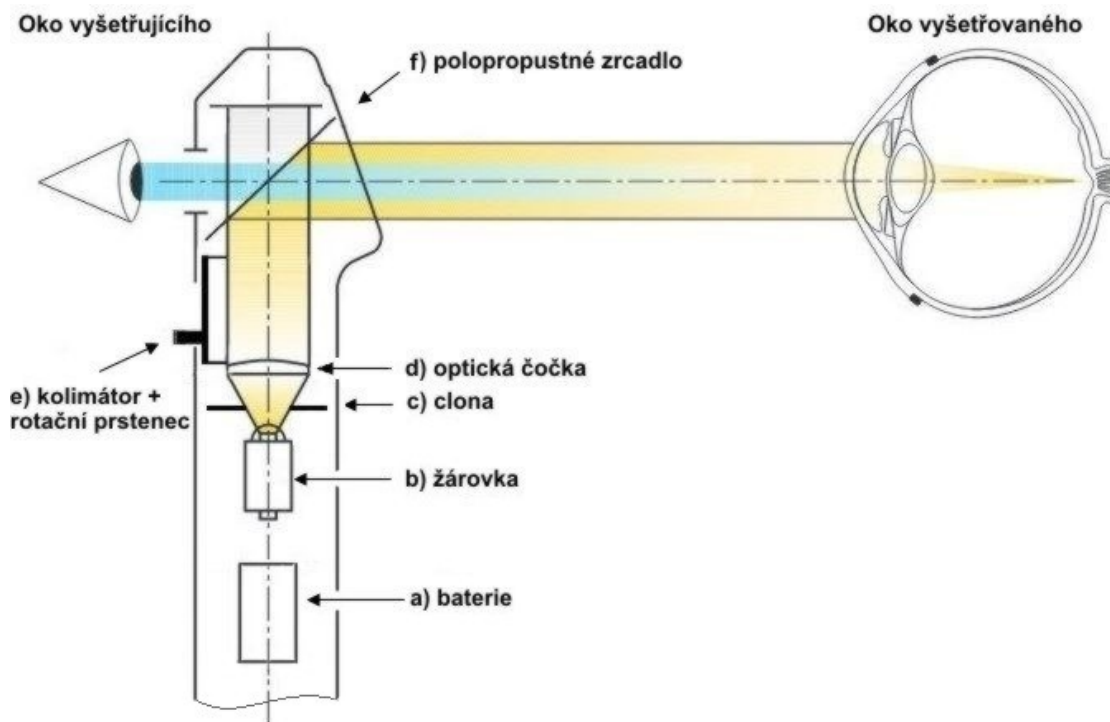
K vyvolání červeného reflexu je nutné osvětlit sítnici ve stejném směru, v jakém oko pozorujeme. Přitom osvětlovací svazek může mít dle účelu použití bodový

nebo pásový tvar, případně může být divergentní nebo konvergentní. K dispozici jsou dva druhy skiaskopu. Jeden jako bodový skiaskop s bodovým světelným zdrojem a druhý jako pásový skiaskop s pásovým světelným svazkem. Oba druhy skiaskopu slouží k objektivnímu vyšetření refrakčních vad, ale pásový skiaskop se v praxi více prosadil, neboť s jeho pomocí je zjištění astigmatismu snazší a rychlejší. [12]

Starší verze skiaskopu využívaly k osvětlení vyšetřovaného oka externího zdroje světla umístěného za hlavou vyšetřovaného. Světlo bylo odraženo požadovaným směrem přes rovinné nebo duté zrcátko s centrálním otvorem, který sloužil k pozorování červeného reflexu. Moderní elektrické skiaskop v jednom zařízení zahrnují jak zdroj světla, tak příslušný optický systém. Schéma takového elektrického skiaskopu je uvedeno na obr. 13.

Elektrický skiaskop se skládá z několika částí:

- **Světelný zdroj** – žárovka s lineárním vláknem.
- **Clona** – vymezuje tvar světelného svazku paprsků vycházejících ze žárovky; některé typy skiaskopů nemají clonu, ale využívají přímo lineárního tvaru vlákna žárovky k vytvoření požadovaného výstupního svazku.
- **Optická čočka** – tato čočka slouží jako kolimátor pro světelné paprsky vycházející ze žárovky a dopadající na polopropustné zrcadlo.
- **Zrcadlo** – odráží paprsky světla do vyšetřovaného oka; přes zrcadlo je sledován červený reflex, proto je polopropustné nebo s pozorovacím otvorem uvnitř.
- **Kolimátor** – mění vzdálenost mezi žárovkou a čočkou, a tím mění charakter výstupního svazku (konvergentní nebo divergentní).
- **Rotační prstenec** – u pásových skiaskopů slouží k nastavení úhlu stočení výstupního pásového svazku paprsků; efektu je dosaženo rotací clony nebo žárovky s lineárním vláknem.
- **Baterie** - bývá umístěna v rukojeti skiaskopu; může být dobíjecí nebo výměnná, místo baterie může být zařízení přímo napájeno kabelem z elektrické sítě.



Obr. 13 – Schéma elektrického skiaskopu

Bodový skiaskop

Bodový skiaskop je nejjednodušší verze skiaskopu. Jeho výstupní svazek je kruhový a divergentní, tvar udává kruhová clona, která je umístěna mezi žárovkou a čočkou. Použití těchto skiaskopů je vhodné pro stanovení hodnoty axiální refrakce očí, které jsou zatížené sférickými ametropiemi. Pokud se jedinou sférickou čočkou nepodaří zneutralizovat červený reflex pro všechny meridiány, pravděpodobně půjde o astigmatismus. [12]

Původně byla výhoda v bodovém skiaskopu oproti pásovému skiaskopu v tom, že bodový skiaskop měl jednodušší konstrukci, která byla snadněji vyrobitelná, neboť bodový skiaskop nemá žádné pohyblivé části. Nutné je pouze stanovit správnou vzdálenost spojné čočky a světelného zdroje. Žhavicí vlákno světelného zdroje je umístěno v ohniskové vzdálenosti spojné čočky a světelné paprsky vycházející ze skiaskopu jsou po odrazu od zrcadla divergentní. Bodový skiaskop je nyní méně používaný, neboť byl nahrazen pásovým skiaskopem. [12]

Pásový skiaskop

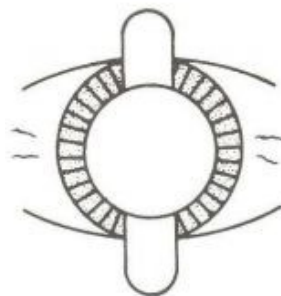
Při skiaskopování očí postižených astigmatismem se dává přednost pásovému skiaskopu. Tyto skiaskopy jsou oproti bodovému skiaskopu vybaveny speciální

žárovkou, která má velmi dlouhé žhavicí vlákno. Osvětlovacím svazkem paprsků takového skiaskopu lze na měřeném oku vytvořit úzký světelný pás. Pásové skiaskopy mají oproti bodovému skiaskopu až dva přídavné prvky navíc (posuvný kolimátor a prstenec resp. kroužek). Kolimátor neboli kondenzor slouží k přeostření světelných paprsků z divergentního na konvergentní charakter a naopak. Prstenec slouží k otáčení světelného pásu o 360°. Výhoda pásové skiaskopu spočívá v tom, že lze rychle a spolehlivě určit polohy hlavních řezů astigmatického oka. [12]

2.1.3 Principy a užití skiaskopie

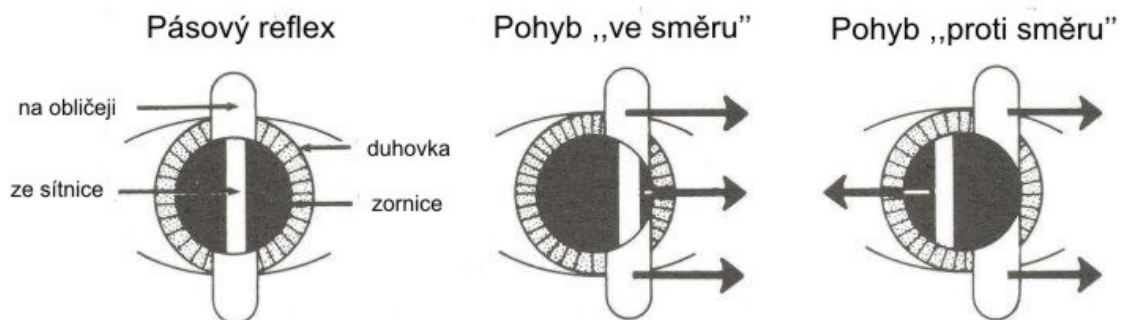
Při osvětlení sítnice skiaskopem se světelné paprsky odrazí od sítnice a vytváří reflex v zornici oka vyšetřovaného, který je pozorovatelný skiaskopem. Jak již bylo uvedeno, při pohybu svazkem skiaskopu se též pohybuje červený reflex. Jeho rychlost (popřípadě jas a šíře reflexu) a směr jeho pohybu závisí na refrakci (vzdálenosti dalekého bodu) v meridiánu rovnoběžném se směrem pohybu svazku a na vyšetřovací vzdálenosti (umístění skiaskopu). Červený reflex se pohybuje pomaleji a je matnější, jestliže je umístění skiaskopu daleko od pozice dalekého bodu vyšetřovaného (při vysoké refrakční vadě). Naopak čím je umístění skiaskopu blíže k pozici dalekého bodu vyšetřovaného, tím je pohyb červeného reflexu rychlejší a je výraznější, světlejší (při malé refrakční vadě). Lze také posuzovat šíři reflexu, která se mění na základě velikosti refrakční vady. Čím větší je refrakční vada, tím užší je červený reflex. Naopak čím je refrakční vada menší, tím se červený reflex rozšiřuje, až zaplní celou zornici při úplné neutralizaci refrakční vady. [13]

Z geometrické optiky vyplývá, že je-li skiaskop umístěn přímo v dalekém bodě vyšetřovaného oka, pohyb reflexu není prakticky pozorovatelný – celá zornice se při přechodu svazku náhle rozzáří, resp. náhle pohasne (reflex jen „přeblikne“). Tento stav je označován jako tzv. neutrální reflex (obr. 14) a dosažení tohoto stavu docílíme např. předkládáním čoček před vyšetřované oko nebo změnou pozice skiaskopu. [13].



Obr. 14 – Neutrální reflex – zornice je celá vyplněna světlem ^[13]

Při stanovení refrakční vady se používá divergentní výstupní svazek skiaskopu. Jestliže se daleký bod nachází za skiaskopem nebo za vyšetřovaným okem, bude se červený reflex pohybovat ve stejném směru jako pohyb světelného pásu skiaskopu na oku vyšetřovaného. Tomuto pohybu se říká tzv. „pohyb ve směru“ (souhlasný pohyb) viz obr. 15. V tomto případě se jedná o lehkou myopii (o velikosti do hodnoty převrácené vyšetřovací vzdálenosti), emetropii nebo hypermetropii. Aby se daleký bod vyšetřovaného dostal na pozici skiaskopu, je možno vložit do zkušební obruby vyšetřovaného plusové čočky (spojky) do té doby, než bude reflex neutrální. Jestliže se daleký bod nachází mezi vyšetřovaným okem a skiaskopem, bude se červený reflex pohybovat proti směru pohybu světelného pásu skiaskopu. Takovému pohybu se říká tzv. „pohyb proti směru“ (nesouhlasný pohyb), viz obr. 15. Jedná se o myopii o velikosti větší než převrácená hodnota vyšetřovací vzdálenosti. Aby se daleký bod dostal na pozici skiaskopu, je možné vložit do zkušební obruby vyšetřovaného mínusové čočky (rozptylky) do té doby, než je reflex neutrální. Jestliže se daleký bod nachází v pozici skiaskopu, objeví se neutrální reflex. [13]



Obr. 15 – Pohyb reflexů zobrazen v zornici ^[13]

Zneutralizovat pohyb reflexu lze buď změnou pozice skiaskopu nebo předložením čoček před vyšetřované oko, jak již bylo zmíněno výše. Takto lze určit refrakci oka v meridiánu odpovídajícím směru pohybu osvětlovacího svazku jako rozdíl hodnoty předřazené čočky a vzdálenosti skiaskopu od oka, považujeme-li tuto vzdálenost za kladnou. Jestliže nechceme odečítat převrácenou hodnotu vzdálenosti, může být řešením předkládání vhodných čoček kompenzující pracovní vzdálenost o příslušné dioptrické hodnotě (např. pro vzdálenost 40 cm se jedná o hodnotu +2,50 D). Potom souhlasný pohyb přímo odpovídá hypermetropii a nesouhlasný myopii. Další vložené čočky, potřebné pro neutralizaci reflexu, pak přímo určují refrakci oka. Kompenzační čočku tedy nezapočítáváme do výsledné refrakce.

Skiaskopii můžeme rozdělit na statickou, dynamickou a samostatnou metodu skiaskopie, tzv. Mohindrovu skiaskopii, která nahrazuje cykloplegické vyšetření refrakce u dětí. Při tzv. statické skiaskopii vyšetřujeme refrakční stav při vyloučení akomodace, obvykle při pohledu vyšetřovaného na vzdálenost 5-6 m. V dynamické skiaskopii měříme refrakci oka při zapojení akomodace, vyšetřovaný obvykle fixuje objekt v blízké pracovní vzdálenosti, nejčastěji objekt upevněný na skiaskopu. [13]

2.1.3.1 Statická skiaskopie

Účelem statické skiaskopie je stanovení refrakční vady vyšetřovaného při uvolněné akomodaci. V případě vyšetření myopa stačí pro uvolnění akomodace pouhý pohled na vzdálenost fixačního bodu (tj. 5 – 6 m). Naopak u hypermetropů bude neustále docházet k mírné akomodaci, proto se musí vložit plusové čočky do zkušební brýlové obruby, aby došlo k uvolnění akomodace.

Postup vyšetření statické skiaskopie [14]

1. Než se začne s vyšetřením, je dobré zjistit dosavadní korekci, kterou vyšetřovaný nosí, pokud nějakou nosí a má ji u sebe.
2. Na foropteru nebo zkušební obrubě se nastaví PD vyšetřovaného a foropter/zkušební obruba se přizpůsobí (nastavení inklinace, nosníku, vrcholové vzdálenosti, apod.) a správně nasadí vyšetřovanému.
3. Vyšetřující se rozhodne, ze které pracovní vzdálenosti bude vyšetřovat. Další postup se mírně liší podle toho, zda je užita vzdálenost kompenzující čočka nebo je vyšetřovací vzdálenost zohledněna odečtem převrácené hodnoty vzdálenosti skiaskopu od oka vyšetřovaného od naměřené výsledné refrakce. Při binokulárním vložení vzdálenost kompenzujících čoček do zkušební obruby/foropteru je výhoda v tom, že tyto čočky zároveň uvolňují akomodaci. Naopak čím více čoček ve zkušební obrubě/foropteru, tím obtížnější je vyšetření, neboť čočky způsobují nežádoucí odlesky, zrcadlení.
4. Jako fixační objekt pro vyšetřovaného je nastaven duochromatický test nebo může být použit klasický optotyp.

5. Před samotným vyšetřením je potřeba vyšetřovaného informovat o průběhu skiaskopie a vysvětlit požadavky, které jsou na vyšetřovaného kladeny. Vyšetřující bude svítit vyšetřovanému do oka, aby zjistil jeho potřebnou korekci. Vyšetřovaný má povinnost fixovat duochromatický test/optotyp a upozorňovat vyšetřujícího tehdy, zakrývá-li vyšetřovanému výhled, protože se tím může u vyšetřovaného navodit nežádoucí akomodace.

6. Ve vyšetřovací místnosti se sníží intenzita osvětlení, čímž dojde ke zvýšení kontrastu duochromatického testu/optotypu a projasní se pupilární reflex vyšetřovaného, protože zornice zareaguje na snížení osvětlení roztažením.

7. Vyšetřující si musí sednout pohodlně, aby se mu dobře manipulovalo s foropterem/vyšetřovací obrubou a sadou vyšetřovacích čoček na stanovenou vyšetřovací vzdálenost. Vyšetřující by měl sedět po vyšetřovaného pravé straně, používat pravou ruku a pravé oko k vyšetření pravého oka vyšetřovaného. U levého oka je to přesně naopak.

8. Skiaskop se nastaví na divergentní svazek paprsků a vyšetřující má pozici hlavy přímo v ose vidění vyšetřovaného. Vyšetřovaný druhým okem fixuje duochromatický test či optotyp.

9. Vyšetřující se dívá otvorem ve skiaskopu do oka vyšetřovaného a snaží se najít v zornici červený reflex. Pohybuje svazkem paprsků vycházejících ze skiaskopu a porovnává pohyb reflexu v zornici s pohybem světla ze skiaskopu. Jestliže se reflex pohybuje ve stejném směru jako světlo ze skiaskopu, jedná se o tzv. pohyb „se směrem“ a vyšetřující použije plusové čočky k dosažení neutrálního červeného reflexu. A naopak, jestliže se reflex pohybuje v opačném směru, než pohyb světla ze skiaskopu, jedná se o tzv. pohyb „proti směru“ a vyšetřující použije minusové čočky k dosažení neutrálního reflexu.

10. U mladých hypermetropů je velké riziko zapojení akomodace během vyšetřování. Pro jeho eliminaci se doporučuje během vyšetření průběžně kontrolovat stav akomodace. Kontrola se provádí tak, že nevyšetřované oko se osvítil skiaskopem a zjistí

se pohyb reflexu. Jestliže se reflex pohybuje souhlasně, musí se přidávat plusové dioptrie do té doby, než je reflex opačný.

11. Vyšetřující porovnává pohyb reflexu v zornici s pohybem světelného pásu skiaskopu v horizontálním, ve vertikálním meridiánu a v šikmých meridiánech. Ve všech rovinách porovnává jas, rychlost, směr pohybu a šíři reflexu v zornici.

12. Vyšetřující rozhodne, o jakou refrakční vadu se jedná, jestli sférickou (reflex v zornici má stejný směr, rychlost, jas a šířku ve všech meridiánech) nebo astigmatickou (reflex je jiný v různých meridiánech).

13. Jestliže se jedná o astigmatismus, vyšetřující musí najít dva hlavní meridiány a to tak, že otáčí pásovým svazkem skiaskopu do té doby, než sklon pohybu reflexu je shodný se sklonem paprsku v obou meridiánech kolmých na sebe.

14. Nejprve se stanoví sférická složka neutralizací nejsilnějšího plus/nejslabšího mínus meridiánu (meridián s nejpomalejším, matným souhlasným pohybem/nejrychlejším a nejjasnějším nesouhlasným pohybem). Jestliže dochází k neutralizaci vertikálního meridiánu, reflex je orientován horizontálně, ale pohybuje se vertikálně. Jestliže byl první meridián neutralizován, u druhého meridiánu by měl mít reflex nesouhlasný pohyb.

Někdy se též doporučuje převést pohyb reflexu na souhlasný, protože takový reflex lze snadněji neutralizovat a určování přesné osy meridiánu je jednodušší než u nesouhlasného pohybu reflexu. Nesouhlasný pohyb reflexu lze převést na souhlasný výběrem vhodné mínusové čočky (rozptylky), a poté vzniklý souhlasný pohyb reflexu neutralizovat plusovými čočkami (spojkami).

15. Kontrola neutrality se může provést tak, že se vyšetřující mírně přiblíží skiaskopem k vyšetřovanému a měl by pozorovat reflex se souhlasným pohybem (daleký bod soustavy oka a předložených čoček nyní leží za skiaskopem). Poté se oddaluje za vyšetřující vzdálenost a měl by pozorovat reflex s nesouhlasným pohybem (daleký bod leží před skiaskopem). Při vrácení se na správnou vyšetřující vzdálenost by se opět měl objevit neutrální reflex.

16. Pokud bylo stanovení neutrality jak ze sférické, tak i cylindrické složky správné, měl by se při otáčení světelného svazku skiaskopu objevovat v zornici ve všech osách neutrální reflex.

17. Pokud byly před začátkem skiaskopie do foropteru či obruby vloženy čočky kompenzující pracovní vzdálenost, musí se na konci vyšetření tyto čočky odebrat. Pokud před začátkem skiaskopie nebyly do foropteru či brýlové obruby vloženy čočky kompenzující pracovní vzdálenost, musí se od výsledné naměřené hodnoty odečíst hodnota charakteristická pro velikost pracovní vzdálenosti. Takto upravené výsledky se zaznamenají a slouží jako podklad pro subjektivní refrakci.

18. Předchozí kroky se opakují i na druhém oku.

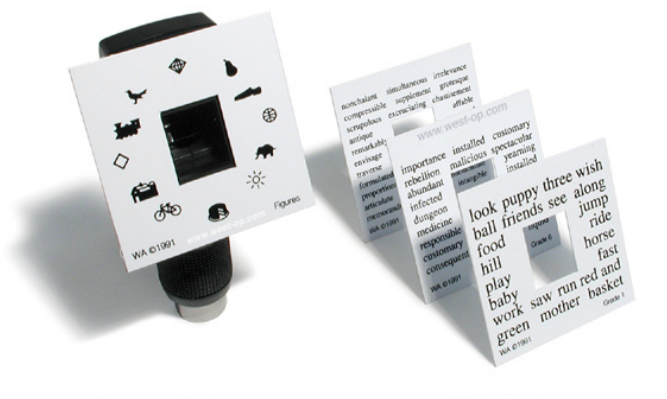
2.1.3.2 Dynamická skiaskopie

Cílem dynamické skiaskopie je poskytnout objektivní zhodnocení optického stavu oka fixujícího na blízkou vzdálenost. Slouží v podstatě k zjištění optických požadavků na blízko a zhodnocení akomodačního rozdílu mezi akomodační odezvou a akomodačním požadavkem, daným kladně uvažovanou převrácenou hodnotou pracovní vzdálenosti. V dynamické skiaskopii je vyšetřovaný instruován, aby fixoval písmeno, skupinu písmen a nebo jiné objekty v rovině skiaskopu nebo přímo skiaskop. Dynamická skiaskopie většinou následuje ihned po dokončení statické skiaskopie.

Dynamická skiaskopie se od statické tím, že vyšetřovaný fixuje bod nejčastěji upevněný na optotypu v pracovní vzdálenosti. Bod může být ve formě písmenek nebo čtecí tabulky. Test se provádí binokulárně a stimuluje akomodaci. Reflex je stejný a stejným způsobem neutralizovaný jako u statické skiaskopie. U dynamické skiaskopie se do zkušební obruby nepřidávají čočky na kompenzování pracovní vzdálenosti. Při této metodě je potřeba rychle manipulovat s čočkami a k tomuto vyšetření jsou nejvhodnější skiaskopické lišty. Jestliže vyšetřovaný plně akomoduje na vzdálenost fixovaného bodu, výsledky dynamické skiaskopie by se měly rovnat výsledkům ze statické skiaskopie. Pokud vyšetřovaný akomoduje mírně před nebo za pracovní vzdálenost, bude se výsledek o příslušnou hodnotu lišit. U nepresbyopického oka je obvyklý určitý malý nedostatek akomodace, který je považován za normální (na vzdálenosti 40 cm asi +0,50 D). Existuje několik způsobů dynamické skiaskopie [8], zde je přehled těch nejznámějších:

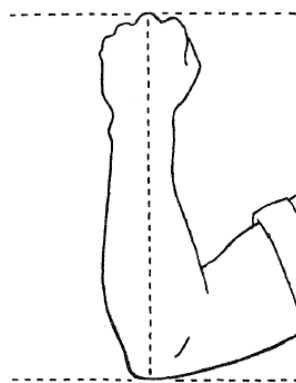
MEM (Monocular Estimate Method) metoda

Tato metoda dynamické skiaskopie se odlišuje od jiných metod tím, že fixační bod je umístěn do čtecí vzdálenosti vyšetřovaného a nikoliv do požadované vzdálenosti 50 cm. Při této metodě může být použit jak bodový, tak i pásový skiaskop. Jako fixační objekt slouží karty s centrálním otvorem. Na těchto kartách mohou být písmena, slova či obrázky, které mají rozsah velikosti od 6/120 (20/160) do 6/9 (20/30). Tabulky jsou připevněny ke skiaskopu tak, aby paprsek skiaskopu procházel skrze otvor na kartě, viz obr. 16. Vyšetřující sedí na židli mírně pod úrovní očí vyšetřovaného, protože tato pozice simuluje situaci při čtení, takže oči vyšetřovaného při pohledu na fixační karty směřují mírně dolů.



Obr. 16 – Fixační karty s centrálním otvorem

Vyšetřovaný má nasazenou správnou korekci na dálku, zkušební korekci na blízku. Čtecí vzdálenost je určena buď pozorováním vyšetřovaného při čtení, nebo tzv. Harmonovou vzdáleností (vzdálenost od lokte k pěsti, viz obrázek č. 17). Tato metoda je označena jako monokulární metoda, protože jen jedno oko je vyšetřováno během testu, avšak obě oči jsou otevřené. Vyšetřovaný je vyzván k tomu, aby četl písmena, či slova nahlas. Vyšetřující rychle manipuluje s paprskem skiaskopu a osvětčuje oko vyšetřovaného. Snaží se sledovat pohyb reflexu v zornici a určit jeho směr. Na základě posouzení reflexu předkládá odpovídající zkušební čočky, aby neutralizoval reflex. Vyšetřující by měl dávat pozor na to, aby vložená zkušební čočka měnila akomodační odezvu tak málo, jak jen to je možné. Tento postup vyžaduje, aby byla zkušební čočka předložena co nejkratší dobu před okem vyšetřovaného (méně jak 1 sekunda) [15], aby nedošlo k narušení jeho akomodační odezvy. Tento postup se opakuje i na druhém oku. [8, 16]



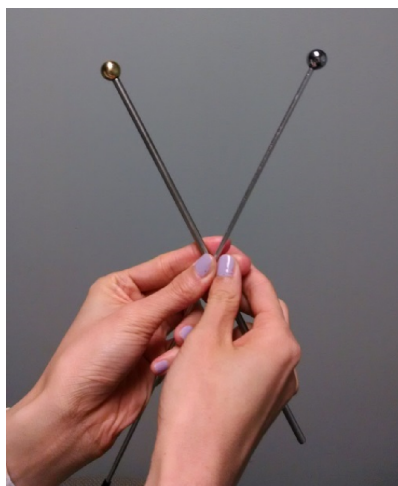
Obr. 17 – Harmonova vzdálenost

Nott dynamická skiaskopie

Účel této metody je stejný jako je to u MEM metody. Vyšetřovaný má nasazenou korekci na dálku a čte písmena, která jsou umístěná kolem otvoru skiaskopické karty. Vyšetřující se opět snaží zneutralizovat reflex v zornici, ale ne pomocí zkušebních skel, nýbrž oddalováním skiaskopu od vyšetřovaného, tudíž blíže k vyšetřujícímu. Takhle se skiaskop oddaluje od vyšetřovaného do té doby, než se v zornici objeví neutralizovaný reflex. Vzdálenost od skiaskopu k brýlím je přepočtena na odpovídající dioptrickou hodnotu (vergenci rovnou převrácené hodnotě). Akomodační odezva je pak určena porovnáním vergence vzdálenosti skiaskopu a vergence vzdálenosti skiaskopické karty dopadající do roviny brýlí. Např. když vzdálenost od skiaskopické karty k brýlím je 50 cm a vzdálenost skiaskopu od brýlí je 57 cm, tak je akomodační odezva $2,00\text{ D} - 1,75\text{ D} = 0,25\text{ D}$. Tato metoda je vhodná při zjišťování hodnoty stability akomodační odezvy. [8, 16]

Metoda Bell

Největší rozdíl při této metodě oproti ostatním metodám je ten, že pro fixaci je použit trojrozměrný objekt. Skiaskop je během metody držen v neměnné vzdálenosti a s trojrozměrným fixačním bodem je pohybováno. Pro fixaci se používá Wolffova hůlka (zrcadlí se zlatá nebo stříbrná kovová kulička o průměru 12,7 mm upevněná na malé hůlce, viz obr. 18), která slouží jako fixační objekt. Původně byl pro fixaci použit malý zrcadlí se zvoneček (anglicky bell), po kterém byla tato metoda pojmenována. [8, 16]



Obr. 18 – Wolffovy hůlky

Vyšetřující drží jednou rukou hůlku v úrovni očí vyšetřovaného a druhou rukou drží skiaskop 50 cm od vyšetřovaného. Vyšetřovaný je požádán, aby se díval na kuličku, vyšetřující mezitím sleduje pomocí skiaskopu pohyb a směr reflexu v zornici vyšetřovaného. Poté vyšetřující pomalu přibližuje kuličku k obličejí vyšetřovaného do té doby, než se objeví neutrální reflex v obou hlavních meridiánech. [8, 16]

Pozice kuličky, při objevení neutrálního reflexu, je změřena pomocí metru, který drží na jedné straně vyšetřovaný a na druhé straně vyšetřující. Za normální hodnoty se považuje rozmezí 37 - 40 cm, při kterém se objevuje neutrální reflex. Tedy ke změně reflexu ze směru pohybu „s“ do směru pohybu „proti“ dochází mezi 35 - 42 cm, a naopak ke změně reflexu ze směru pohybu „proti“ do směru pohybu „s“ dochází mezi 37 – 45 cm. Jestliže akomodační odezva nespadá do tohoto rozsahu, proces je znovu opakován za pomoci zkušebních čoček do té doby, než se docílí požadovaného rozsahu. Taková kombinace čoček, která navodí neutrální reflex v rozsahu 37 – 40 cm, je brána jako korekce do blízka. Samozřejmě, že takto vypočítaná korekce na blízkou vzdálenost podle metody Bell nemusí mít vždy požadovaný efekt. [8, 16]

2.1.3.3 Mohindrova skiaskopie

Mohindrova skiaskopie se používá u dětí a nahrazuje cykloplegickou refrakci. Mohindra v roce 1977 představil techniku, kdy prováděl skiaskopii bez cykloplegie a výsledky byly téměř stejné jako při použití cykloplegie. Mohindrova skiaskopie

se od dynamické skiaskopie liší tím, že vyšetření probíhá v naprosté tmě, jediné světlo vychází ze skiaskopu, které dítě fixuje. Tím je dosaženo požadovaného uvolnění akomodace. Další odlišnost je v tom, že je to monokulární vyšetření a nevyšetřované oko je okludováno rodičovou rukou, páskou či okluzorem. Vyšetřující drží skiaskop ve vzdálenosti 50 cm od dítěte. Dítě monokulárně sleduje světýlko, které je nastavené na nejnižší intenzitu osvětlení. Vyšetřující neutralizuje pomocí skiaskopických lišt červený reflex v každém meridiánu zvlášť. Na konci vyšetření se od neutralizačních čoček odečte hodnota 1,25 D (výše odečítaná hodnota zohledňuje případný tonus ciliárního svalu pro dané vyšetřovací podmínky), která je algebraicky vypočítána a charakterizuje dioptrickou hodnotu u dětí pro vzdálenost 50 cm ve tmě. [8, 17]

2.1.4 Obtížné situace při skiaskopii

Během skiaskopie mohou nastat případy, kdy je pro vyšetřujícího obtížné provést vyšetření. Samotný vyšetřující by měl mít nasazenou plnou korekci a měl by ovládat metodu skiaskopie. Mezi nejčastější problémy patří: [14]

Slabý reflex

Jestliže je reflex nejasný, slabý nebo těžko rozpoznatelný, může mít vyšetřovaný buď zakalené oční média, úzkou zornici nebo vysokou ametropii. U vysoké ametropie si může vyšetřující poradit tím, že přiblížením skiaskopu k oku vyšetřovaného se reflex stane jasnějším a rychle se pohybujícím, a tím i lze vykorigovatelným. Další alternativou je vložit do zkušebních obrub vysokou hodnotu plusových nebo minusových čoček a pokračovat ve skiaskopii z normální vyšetřovací vzdálenosti.

Zakalení očních médií nebo úzká zornice

U lidí se zakalenými očními médii nebo úzkou zornicí je při skiaskopii vidět jen slabý reflex, který připomíná sníženou intenzitu osvětlení skiaskopu. U některých skiaskopů jde nastavit průměr pozorovacího otvoru skiaskopu. U vyšetřovaných, kteří mají zakalená oční média, či úzkou zornici je potřeba, aby pozorovací otvor pro vyšetřujícího, byl co největší, aby mohl zachytit tolik světla, jak je to možné. K udržení co nejjasnějšího světla je nejlepší vkládat do zkušební obruby co nejméně zkušebních čoček, neboť při použití jedné čočky se ztrácí 8 % pozorovaného reflexu, kvůli odlesku čočky. V tomto případě se během skiaskopie nepoužívají čočky

kompenzující pracovní vzdálenost (50 cm = 2,00 D) a při korekci astigmatismu se používají pouze sférické čočky pro daný hlavní řez a výsledek se pak přepočítá na sféro-cylindrický zápis pro následnou subjektivní refrakci. [8, 14]

Nůžkový reflex

Tento reflex vypadá jako pohyb nůžek. Reflex se pohybuje současně v opačném směru od středu zornice a přesné docílení neutrální reflexu může být velmi náročné. Tento stav může být způsobený širokou zornicí, optickými aberacemi (koma) nebo abnormalitami na optických mediích, např. keratokonem, zdeformovanou rohovkou apod. Zesílení světla ve vyšetřovně může pomoci snížit aberace zúžením zornice.

Široká zornice

Během skiaskopie se může projevit u vyšetřovaného se širší zornicí sférická aberace, která může způsobit silnější reflex „proti“ směru v periferii čočky, než je tomu ve středu čočky. Vyšetřující se musí koncentrovat na reflex v centru a ignorovat periferii. Pokud je stále složité docílit neutrálního reflexu, je potřeba v místnosti mírně zesílit osvětlení, a tím dojde ke stažení zornice a sníží se sférická aberace v periferii. [8]

Strabismus

Má-li vyšetřovaný strabismus, může být vyšetření skiaskopem obtížné pro vyšetřujícího. Skiaskopie je ideálně proveditelná tehdy, pokud je vyšetřující v ose vidění vyšetřovaného (tj. vyšetřující má hlavu v ose vidění pravého oka vyšetřovaného – vyšetřující se dívá svým pravým okem skrz skiaskop do pravého oka vyšetřovaného a vyšetřovaný fixuje fixační bod levým okem). U vyšetřovaného se strabismem není možné, aby byl vyšetřující v ose vidění vyšetřovaného. Skiaskopie u zdravého oka vyšetřovaného musí být provedena tak, že hlava vyšetřujícího je mírně mimo osu vidění vyšetřovaného tak, aby vyšetřovaný svým pravým okem fixoval fixační bod. U oka se strabismem je lepší, aby fixační bod fixovalo zdravé oko, a vyšetřující skiaskopuje oko se strabismem v jeho ose vidění. Další alternativa je, že se zakryje zdravé oko, vyšetřovaný fixuje fixační bod okem se strabismem a vyšetřující je mírně mimo pozici osy vidění.

Kolísání akomodace

Kolísání akomodace během skiaskopie se projeví tak, že dochází k neustálé změně šíře zornice, pohyb a jas reflexu se neustále mění. Tento jev se nejčastěji objevuje u malých dětí, které neustále fixují na jinou vzdálenost (fixační bod, světlo skiaskopu, rodiče), než jsou vyzvané. Jestliže kolísání akomodace nezpůsobuje špatná fixace, může se jednat o latentní hypermetropii nebo pseudomyopii (zdánlivá myopie při křeči akomodačních svalů). Při tomto nálezů je vhodné použít cykloplegika na vyřazení akomodace, takže je vyšetřovaný poslán k očnímu lékaři.

2.2 REFRAKTOMETRY (OPTOMETRY)

Úkolem očních refraktometrů je změřit refrakční stav oka. Jako první přístroj, který měřil refrakční stav oka, se nazýval optometr. Tento přístroj se používal k měření jak subjektivního refrakčního stavu vlastního oka, tak i objektivního. U subjektivních optometrů si subjekt mohl sám změřit svojí refrakční vadu pomocí správného nastavení optometru. Dnes už se příliš subjektivních optometrů nevyužívá, neboť nejsou tak přesné a přináší nevýhody. Dnešní optometry a refraktometry mají daleko lepší konstrukci a snadnější použití. Jsou založeny na objektivním měření pomocí automatických přístrojů nebo nestranné vyšetřující osoby, a výsledky jsou přesnější. V této kapitole jsou refraktometry rozděleny na dvě hlavní kapitoly. Subjektivní refraktometry a objektivní refraktometry.

2.2.1 Subjektivní refraktometry

Pojem subjektivní optometr se odkazuje na několik přístrojů, které jsou uzpůsobeny tak, aby si samotný vyšetřovaný mohl správným nastavením přístroje určit vlastní refrakční vadu. Tyto optometry už nejsou obecně používány, protože nejsou tak přesné a nedokáží určit cylindrickou vadu. Ale jejich princip je stále využíván v novějších přístrojích. [5]

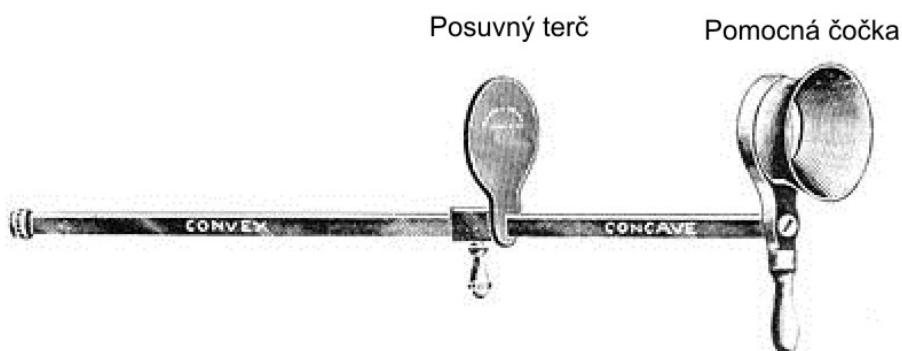
Subjektivní optometry (refraktometry) se dělí na dvě kategorie:

- přístroje s vyhodnocením *ostrosti obrazu* (jednoduchý optometr)
- přístroje s vyhodnocením *zdvojení obrazu* (Scheinerův disk)

2.2.1.1 Jednoduchý optometr

Refrakce se vyhodnocuje nalezením pozice dalekého bodu. V případě slabých myopií a hypermetropií leží daleký bod mimo stupnici. Pro umístění dalekého bodu do dosahu stupnice optometru se používá pomocné čočky o hodnotě +10 D. Jednoduchý optometr se tedy skládá z pomocné čočky pevně umístěné na jednom konci tyčky se stupnicí a z posuvného terče, viz obr. 19. Při vyšetření sleduje vyšetřovaný terč přes čočku, přičemž oko vyšetřovaného je v požadované vrcholové vzdálenosti od čočky. Z výchozí pozice na vzdálenějším konci je terčem pohybováno, dokud nedojde k jeho zaostření. Refrakci lze přímo odečíst z pozice terče na číslované stupnici. Ostrost obrazu subjektivně hodnotí vyšetřovaný.

Nevýhoda optometru je v tom, že plocha oftalmoskopické čočky, sloužící jak k pozorování, tak i k osvětlení, vytváří nežádoucí rušení odraženým světlem. Tím klesá rozlišovací schopnost vyšetřovaného a následné vyhodnocení testu, které je vyhodnocováno samotným vyšetřovaným - subjektivní vyhodnocením, které má za následek nežádoucí zkreslení výsledku. [5, 11]

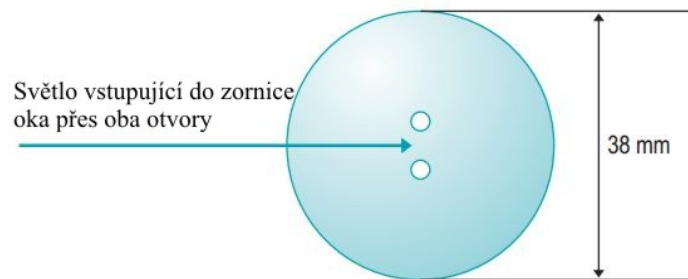


Obr. 19 – Jednoduchý optometr

2.2.1.2 Scheinerův disk

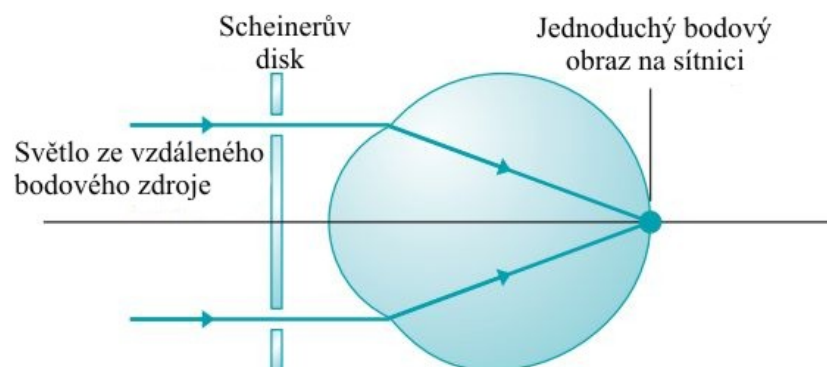
U dřívějších přístrojů byla refrakční vada vyhodnocena na základě principu, který byl popsán Christopherem Scheinerem v roce 1619. Ten vytvořil matný disk (Scheinerův disk) se dvěma malými kruhovými otvory, každý o průměru 0,75 mm, 2-3 mm od sebe a ležící ve stejné vzdálenosti od centra disku, viz obr. 20. Takovýmto diskem prochází světlo přes oba otvory a vstupuje do oka. Scheinerův disk je účinný subjektivní optometr, který může být použit k detekci a k měření sférické ametropie. Je to poněkud zastaralá technika, která je zřídka použita v optometrické praxi. Scheinerův disk může být použit jako demonstrace existence akomodace. Detekce

a měření sférické aberace probíhá tak, že jedno oko je okludováno a před druhé oko je předřazen Scheinerův disk. Vyšetřující se dívá na bodové světlo ze vzdálenosti 6 metrů. Jestliže je bodové světlo pozorované při použití disku, obraz je utvořený ze dvou různých částí zornice. [18]

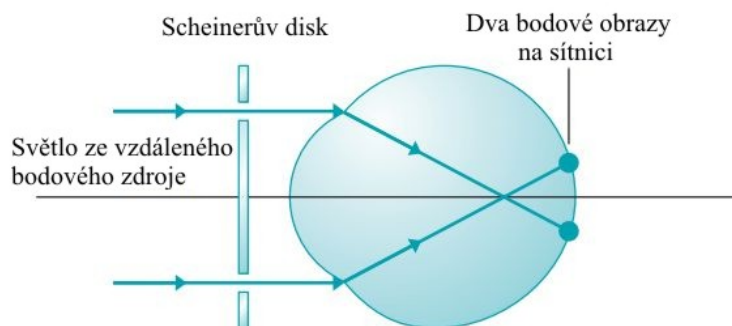


Obr. 20 – Scheinerův disk [18]

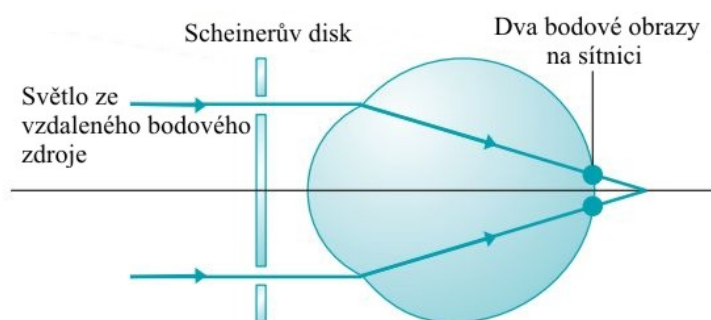
Pokud se jedná o emetrii, úzké svazky paprsků z bodového světla procházející Scheinerovým diskem, jsou shodné, zaostřené a leží na sítnici v jednom místě, tudíž jsou viděny jako jeden bod, viz obr. 21. U myopie se úzké svazky paprsků zkříží a dopadají na sítnici v diplopii (tzn. světelný bod je viděn dvakrát a je zkřížený), viz obr. 22. Při zakrytí horního otvoru disku zmizí světlo, které tvoří dolní sítnicový obraz. Naopak u hypermetropie (bez akomodace) se taktéž úzké svazky paprsků rozdivojí, ale nedopadají na sítnici zkříženě, viz obr. 23. Při zakrytí horního otvoru disku zmizí světlo, které tvoří horní sítnicový obraz. [18]



Obr. 21 – Průchod paprsku přes Scheinerův disk – emetropie [18]



Obr. 22 – Průchod paprsku přes Scheinerův disk – myopie (zkřížené obrazy) ^[18]



Obr. 23 – Průchod paprsku přes Scheinerův disk – hypermetropie (nezkřížené obrazy) ^[18]

Refrakční vada je změřena tak, že se před oko a Scheinerův disk předkládají sférické čočky do té doby, než je bod viděn jednou.

Scheiner také popsal verzi disku se třemi otvory uspořádanými do rovnostranného trojúhelníku, kde je typ refrakční vady určen na základě přímé nebo převrácené pozice trojúhelníku. [5, 18]

Při použití Scheinerova disku nastávají problémy, jako jsou obtížná správná centrace disku, centrální část optického systému oka je během vyšetření nevyužita, odhalení astigmatismu bývá obtížné a nakonec akomodace během vyšetření nemusí být nulová. Avšak i přes tyto nedostatky se Scheinerův princip zdvojení obrazů dodnes využívá v některých autorefraktometrech a jako zaostřovací mechanismus v jedno-
pozičním keratometru. [5, 18]

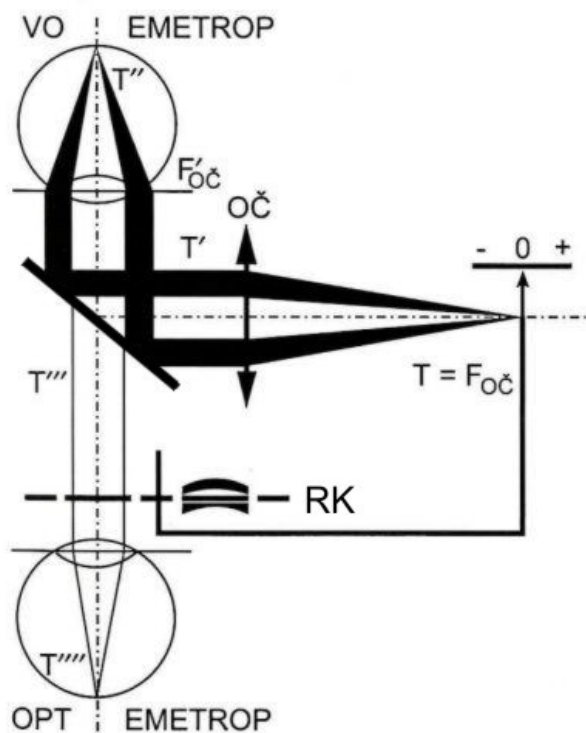
2.2.2 Objektivní refraktometry

U těchto zařízení není pro stanovení refrakce potřeba přímá odezva vyšetřovaného. Mezi objektivní refraktometry tedy patří i skiaskopy. U objektivních refraktometrů je automaticky přístrojem nebo vyšetřující osobou hodnocena ostrost či tvar obrazu na sítnici vyšetřovaného. Tyto přístroje jsou tedy modifikované nepřímé oftalmoskopy. Přístroje pracují na principu vyhodnocování buď ostrosti obrazu na sítnici nebo na principu zdvojení či posunutí obrazu, které je používáno při měření ametropie. [5]

2.2.2.1 Hardy-Astronův oční refraktometr

Přístroj se skládá z jednoduchého optometru (viz kapitola 2.2.1.1), ale ostrost obrazu je na sítnici hodnocena vyšetřujícím, který sítnici pozoruje přes vyhodnocovací soustavu. Tato soustava obsahuje Recossův kotouč, který umožňuje korekci dioptrické vady vyšetřovaného. Zaostření testového obrazu na sítnici je prováděno stejně jako u jednoduchého optometru posuvem jednoduché značky. Z pozice testové značky je určena refrakce. Svazek paprsků, který osvětluje sítnici a zároveň se odráží od zrcadla s kruhovým otvorem, je optickou soustavou oka soustředěn na sítnici. Středem zrcadla vyšetřující pozoruje a vyhodnocuje situaci na sítnici. Do chodu paprsků, které jsou určeny k vyhodnocování, se musí ještě vložit Recossův kotouč s výměnnými čočkami. Vhodné předřazení čoček je funkčně závislé na posouvání základní testové značky T tak, aby i v chodu pozorovacího svazku paprsků byla respektována měřená ametropie. Schéma takového refraktometru je na obr. 24. [11]

Přístroj měl své nedostatky. Hlavní podmínka bezreflexního pozorování, kdy osvětlovací a pozorovací svazek paprsků musí procházet přes zrcadlicí plochu rohovky pupilou odděleně, nebyla vzhledem k jisté nezbytné vzdálenosti odrazného zrcadla od rohovky dostatečně kvalitně zabezpečena. [11]



Obr. 24 – Schéma Hardy-Astronova očního refraktometru^[11] : VO = vyšetřované oko; OPT = optometrista, RK = Recossův kotouč; T = testová značka; T', T'', T''', T'''' = obrazy testové značky; OČ = oftalmoskopická (pomocná) čočka; F_{Oč}, F'_{Oč} = předměťové a obrazové ohnisko oftalmoskopické (pomocné) čočky

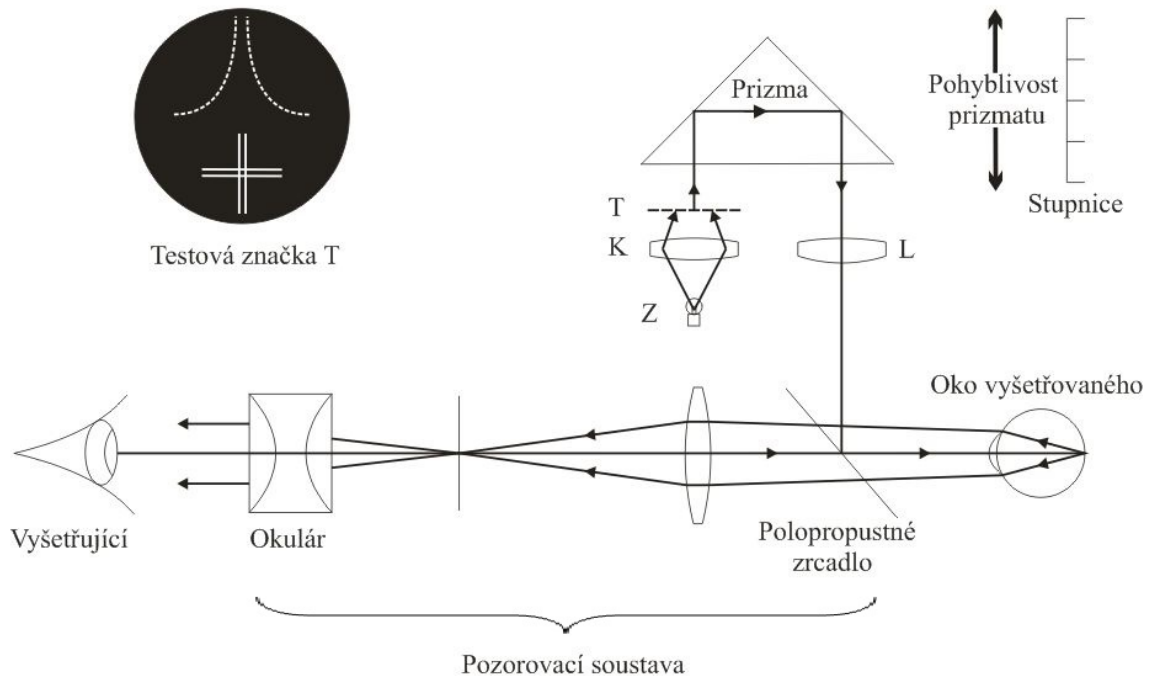
2.2.2.2 Rodenstockův oční refraktometr

Rodenstockův oční refraktometr (též Kühllův prizmatický refraktometr) je prvním druhem objektivního refraktometru, který je založen na principu vyhodnocování ostrosti obrazu promítaného na sítnici vyšetřovaného. Testová značka je promítána příslušným systémem na sítnici vyšetřovaného a je vyhodnocována vyšetřujícím. Zaostření obrazu na sítnici se nedosahuje pohybem testové značky, ale změnou délky optické dráhy paprsku vcházejícího do oka pomocí předřazeného pohyblivého prizmatu. [11]

Schéma Rodenstockova očního refraktometru je na obr. 25, kde je testová značka T prosvětlena zdrojem Z přes kondenzor K. Projekci testové značky na sítnici a současně její pozorování umožňuje předřazené světlo. Světlo, vycházející z testové značky T, je dvakrát lomeno pohyblivým prizmatem, než dorazí k čočce L. Čočka L světlo promítne v základním nulovém postavení do nekonečna a přes polopropustné zrcadlo se odrazí a dopadne na sítnici vyšetřovaného. Pokud bude vyšetřovaný emetrop, bude výsledný obraz testové značky ostře zobrazen na sítnici. Pokud půjde o ametropii, pohybuje vyšetřující současně s posuvným prizmatem a okulárem do té doby, než se vyšetřujícímu obraz testové značky ostře zobrazí na sítnici vyšetřovaného. Míra posunu

prizmatu na stupnici měří velikost ametropie. Pro účely astigmatismu je testový obrazec vhodně natáčen vzhledem k hlavním meridiánům. [5,11]

Bradford and Lawson (1954) tvrdili, že přístroj poskytuje přesné stanovení refrakční vady při vyřazení akomodace cykloplegií, ale na druhou stranu se při měření navozuje proximální akomodace. Volk v roce 1955 zjistil, že skiaskopie je přesnější než Rodenstockův oční refraktometr. [11]



Obr. 25 – Schéma Rodenstockova očního refraktometru - vytvořeno podle [5]

2.2.2.3 Hartingerův koincidenční refraktometr

Hartingerův koincidenční refraktometr od firmy Zeiss je založen na principu Scheinerova disku (viz kapitola 2.2.1.2) s tím rozdílem, že místo dvou bodových otvorů, je využito dvou štěrbin, kdy dva obrazy dopadající na sítnici jsou buď zarovnané (správné nastavení soustavy přístroje), nebo jsou od sebe stranově posunuté v závislosti na refrakční vadě oka. Přístroj je schopný měřit refrakci přes zornici, která může být zúžená až na 1,1 mm. Dvě na sebe nenavazující úsečky oko od sebe rozliší snadněji než rozdíl mezi obrazem ostrým a lehce rozmazaný. [19]

V Hartingerově koincidenčním refraktometru je konkrétně použita trojice úseček. Na sítnici je trojice úseček promítána jako dvě kratší trojice poloúseček, které nejsou v koincidenzi, protože značka není opticky konjugována se sítnicí oka vyšetřovaného. Až po správném nastavení optického systému přístroje je značka opticky konjugována

se sítnicí vyšetřovaného a obraz se na sítnici zobrazí ostře a v koincidenci, viz obr. 26. Obrazy vytvořené na sítnici vyšetřovaného pozoruje vyšetřující pomocí pozorovacího systému přístroje. Koincidence se dosahuje kompenzací refrakční vady pomocí předkládání čoček před oko vyšetřovaného. [19]



Obr. 26 – Disociace dvou trojic poloušeček – sférická vada: vytvořeno podle [19]

Pokud se jedná o astigmatismus, je potřeba nejprve určit osy obou hlavních řezů a teprve potom jejich refrakci. Astigmatismus se projevuje tak, že se obě trojice úseček překrývají nebo jsou od sebe daleko. Otáčením přístroje kolem optické osy pozorovacího systému výškovou úchytku odstraníme, pokud snad nebyl přístroj již na počátku orientován do jednoho z hlavních řezů, viz obr. 27. [19]



Obr. 27 – Výškový rozdíl dvou trojic poloušeček – astigmatická vada: vytvořeno podle [19]

Jelikož se překrývání či nedosahování obou trojic úseček těžko přesně pozoruje, je testovací značka doplněna o dva další páry úseček, viz obr. 28 a 29, jejichž nekoincidence (koincidence) ukazuje, že je přístroj orientován v některém z vedlejších (hlavních) řezů astigmatického oka. [19]



Obr. 28 – Vedlejší řez: vytvořeno podle [19]



Obr. 29 – Hlavní řez – úsečky přes sebe: vytvořeno podle [19]



**Obr. 30 – Neutralizovaná ametropie:
vytvořeno podle [19]**

2.3 AUTOREFRAKTOMETRY

Autorefraktometry jsou přístroje určené k automatickému zjištění parametrů oka. Promítají obrazy na sítnici, které jsou přístrojem vyhodnocovány a následně na základě těchto získaných dat přístroj určí velikost refrakční vady očí. Autorefraktometr dokáže během chvilky s velkou přesností zhodnotit mohutnost optické soustavy oka. Moderní autorefraktometry mají v sobě zabudovaný i keratometr, který se využívá k vyhodnocení zakřivení rohovky, či bezkontaktní tonometr, který měří nitrooční tlak. Ty nejmodernější přístroje mají zabudovanou wavefront technologii, která umožňuje měřit aberace oka. Vyšetření na autorefraktometru nenahrazuje subjektivní vyšetření. Slouží jen jako výchozí bod k urychlení následné subjektivní refrakce. Proto by ve většině případů měla následovat po objektivní refrakci vždy subjektivní refrakce. [20]

2.3.1 Principy autorefraktometrů

Automatické refraktometry se během posledních desetiletí značně změnily, jsou dostupnější, jejich elektronické a optické vybavení je sofistikovanější, než tomu bylo u manuálních refraktometrů. Existují i autorefraktometry, které mají příslušenství pro měření objektivní i subjektivní refrakce. Lze tedy těmito přístroji změřit zrakovou ostrost pomocí několika zabudovaných měnitelných Snellových tabulek a Landoltových prstenců.

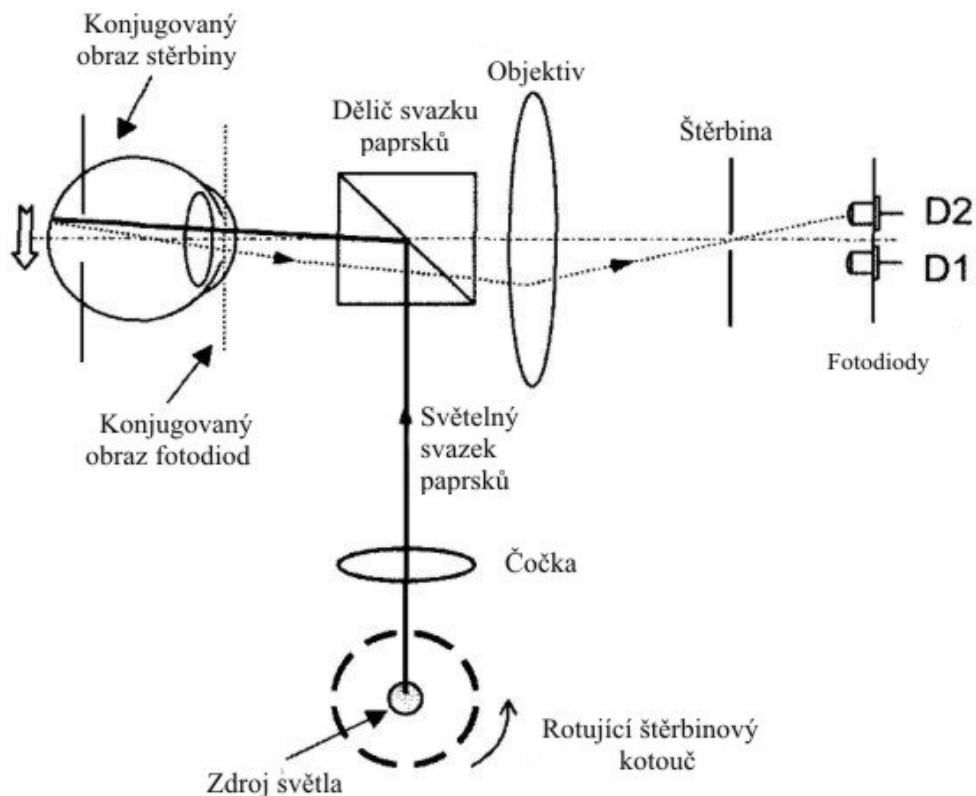
Z hlediska optického pracují tyto přístroje na 4 základních principech:

- Skiaskopie
- Analýza obrazové kvality
- Scheinerův disk
- Wavefront analýza (analýza vlnoplochy)

2.3.1.1 Autorefraktometr založený na principu skiaskopie

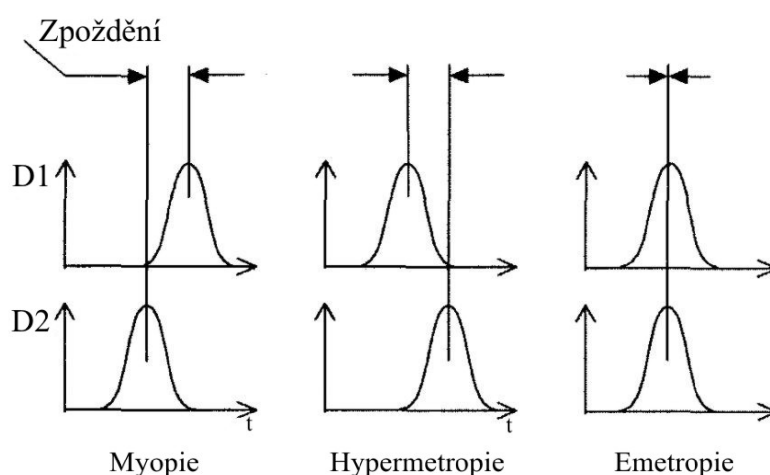
Snímací štěrbinový autorefraktometr využívá stejného principu jako skiaskopie. Hlavním rozdílem je, že oko vyšetřujícího je nahrazeno objektivní čočkou, štěrbinou a dvěma fotodiodami. Kolem světelného zdroje je rotující štěrbinový kotouč, který má urychlit vyšetření. [21]

Spojený obraz z fotodiod dopadá díky objektivu na povrch oční koule vyšetřovaného. Vyšetřovaný je požádán, aby se díval na fixační test kvůli uvolnění akomodace. Princip vyšetření je podobný jako u skiaskopie, avšak pohyb svazku skiaskopu je nahrazen pohybem rotujícího štěrbinového kotouče, kdy svazek je promítán do nekonečna, a pohyb červeného reflexu se měří pomocí dvou fotodiod umístěných na sítnici vyšetřujícího. Podle toho, která z fotodiod je aktivovaná dříve, je vyhodnocen směr pohybu reflexu. Schéma takového přístroje je na obr. 31. [21]



Obr. 31 – Schéma autorefraktometru založeného na principu skiaskopie [21]

Při myopii je horní fotodioda D2 aktivována dříve, než spodní fotodioda D1. Při hypermetropii je tomu právě naopak. U emetropie vytváří odražené světlo „neutrální reflex“ a obě fotodiody D1 a D2 jsou aktivované ve stejný čas bez časového prodlení, viz obr. 32. Hodnoty časové prodlevy mezi aktivací fotodiod jsou použity k získání k odhadu velikost refrakční vady. Na přístroji může být měřen i astigmatismus na základě stejného principu použitého u skiaskopie, pouhým otáčením zdrojového světla. Tento měřicí princip se využívá u autorefraktometru Nidek a modifikovaného refraktometru Topcon. [21]



Obr. 32 – Typická doba zpoždění mezi signály D1 a D2 od fotodiod s ohledem na refrakční stav oka [21]

2.3.1.2 Autorefraktometr založený na principu analýzy obrazové kvality

Tyto přístroje vyhodnocují vhodnými metodami objektivně kvalitu (ostrost) obrazu na sítnici. Příkladem je přístroj Diopttron, vyvinutý firmou Coherent v roce 1974. Rotující mřížka vytváří ze světelného zdroje na sítnici vyšetřovaného pohyblivý obraz, který se systémem optometru zobrazí na pevnou mřížku, za kterou se nachází detektor. V případě emetropa se jak na sítnici, tak i při zobrazení na tuto pevnou mřížku, zobrazí ostře ohraničený pohyblivý mřížkový obraz. Na detektor umístěný za pevnou mřížkou, se dostává pohybem mřížkového obrazu oproti pevné mřížce periodicky světlo, které vyvolá maximální modulaci světelné změny. [11]

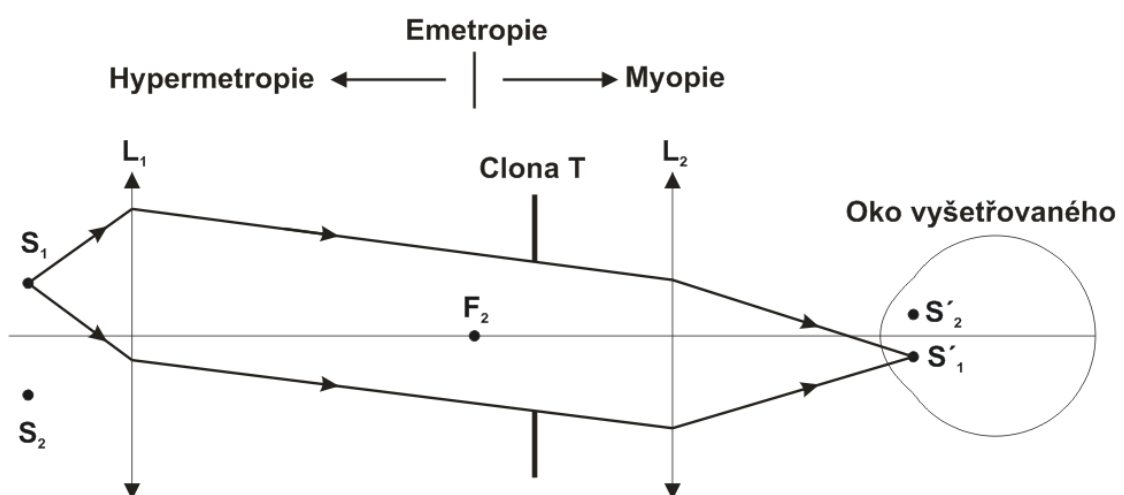
Při ametropii se zobrazí neostří pohyblivý mřížkový obraz, lze zaznamenat i nižší kontrast sítnicového obrazu a následně i slabší modulační signál detektoru. Změnami v systému autorefraktometru se docílí ostrého zobrazení, které umožní dosáhnout znovu

maximální modulační hloubky. Z těchto změn v systému autorefraktometru se dá odvodit stupeň ametropie. [11]

Měření se provádí v rozsahu od 0° do 90° vždy po 15° , a z těchto šesti měření se vypočítá refrakční stav vyšetřovaného. Přístroj má zabudovanou fixační značku i pro oko, které není vyšetřované. V autorefraktometru se využívá polarizujících paprskových děličů, které uskutečňují chod paprsků systémem optometru a oftalmoskopu jediným čočkovým systémem, takže odražené světlo od rohovky nemůže ovlivnit měřící elektroniku. [11]

2.3.1.3 Autorefraktometr založený na principu Scheinerova disku

Přístroje pracují na principu Scheinerova disku. Prvním takovýmto přístrojem byl autorefraktometr od firmy Acuity System a nesl označení 6600 Autorefraktor. Scheinerův disk je u těchto přístrojů nahrazen dvěma světelnými diodami, které promítají paprsky do nekonečna. Vzájemnou vzdálenost obrazů diod, která závisí na refrakční vadě, lze měnit pozicí clony T. Dvě malé světelné diody S_1 a S_2 osvětlují kruhovou clonu, která se zobrazuje na sítnici měřeného oka systémem optometru. Světelné diody jsou zobrazeny v zornici vyšetřovaného jako S'_1 a S'_2 . Kruhová clona je v případě emetropie umístěna v prvním ohnisku F_2 čočky L_2 . Čočka L_2 se chová jako čočka v jednoduchém optometru a má hodnotu $+10$ D. Každý pohyb clony o 10 mm představuje 1 D ametropie. Rozsah měření se pohybuje od $+15,75$ D do $-8,25$ D. Princip takového autorefraktometru je znázorněn na obr. 33. [5]

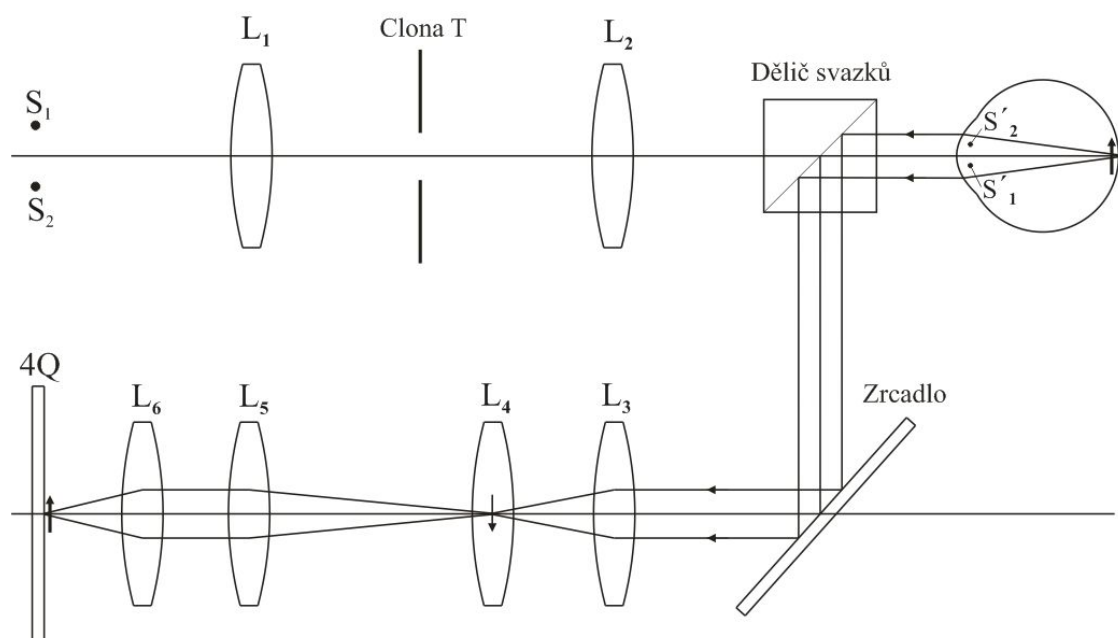


Obr. 33 – Princip autorefraktometru založeného na principu Scheinerova disku - vytvořeno podle [5]

Světlo z diod S_1 a S_2 je střídavě a rychle rozsvěcováno a zhasínáno. Pokud je clona nastavená na nulu (v ohnisku F_2), sítnice bude osvětlována jedním jednoduchým nebo dvěma střídavými světly v závislosti na přítomnosti nebo absenci ametropie. V případě ametropie jsou obrazy diod na sítnici v různé vzdálenosti od sebe a mohou být prohozené. Blikáním diod detektor vyhodnotí, o jaký druh ametropie se jedná a na základě získaných informací pohybuje clonou T v jednom či druhém směru do té doby, než dojde k splynutí dvou obrazů v jeden. Pozice clony udává velikost refrakční vady. Při měření astigmatismus se musí světelné diody a detektor synchronně otáčet. [5]

Schéma přístroje včetně fotodetektoru je zobrazeno na obr. 34. První část schématu je již popsána výše a znázorněna na obr. 33. Paprsky vycházející z oka jsou odraženy od děliče svazků a od zrcadla, a jsou promítány na soustavu čoček L_3 až L_6 , které jsou součástí zobrazovacího systému fotodetektoru. Paprsky procházející přes takovou soustavu čoček, jsou fokusovány na čtyř-segmentový fotodetektor (4Q). [5]

Zdroje jsou infračerveně vyřazující diody pracující v 935 nm. Měření je velice rychlé, proběhne během dvou sekund, při kterém se snižuje riziko chybného měření kvůli očním pohybům, slabé fixaci, mrkání, akomodačním změnám. [5]



Obr. 34 – Schéma autorefraktometru založeného na principu Scheinerova disku - vytvořeno podle [5]

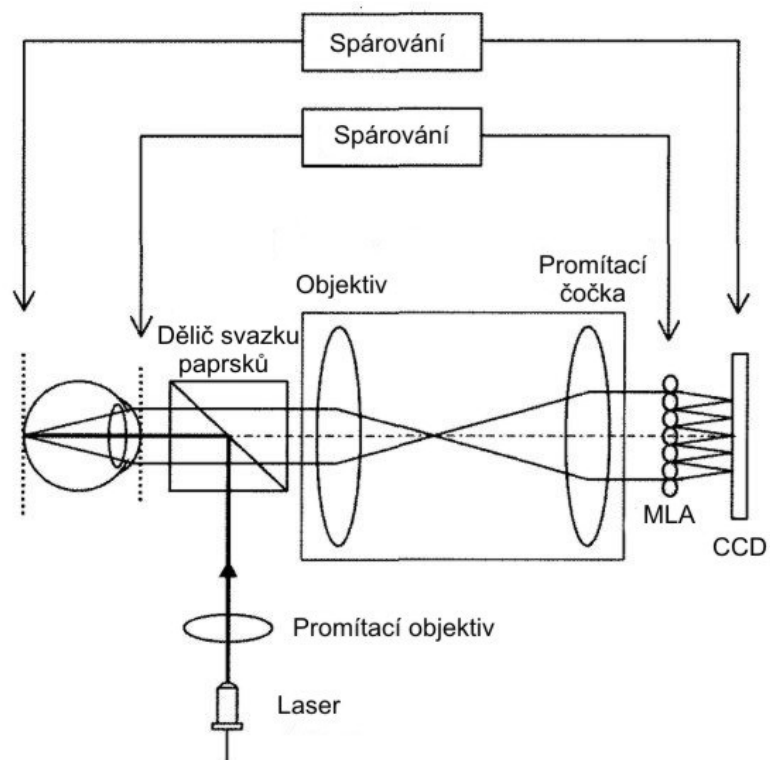
2.3.1.4 *Autorefraktometr (aberometr) pracující s Shack-Hartmanovým wavefront senzorem*

Ačkoliv je skiaskopie a refraktometrie efektivní při měření zrakové ostrosti, tyto metody podávají pouze základní informace o refrakčním stavu oka, kdy měření probíhá vždy jen v jednom bodě. Optimálně je vhodné měřit celou plochu zornice, protože lidské oko může mít nestejnorodou refrakční lomivost skrz celým okem a je zatíženo aberacemi. Je tedy nutné provádět měření optických aberací oka v každém bodě samostatně, aby byla diagnóza přesná. [21, 22]

Takovéto měření je možné provést na základě analýzy vlnoplochy vycházející z celé oblasti zornice pomocí vhodného senzoru – wavefront (vlnoplocha) senzoru. Senzor měří aberace celého oka vytvořené z obou rohovkových povrchů a krystalické oční čočky. Existuje mnoho senzorů, ale v dané oblasti se nejvíce používá Shack-Hartmanův senzor, který se nachází i v přístroj i.Profiler. Tento přístroj byl používán k získávání hodnot objektivního měření refrakce v experimentální části této diplomové práce.

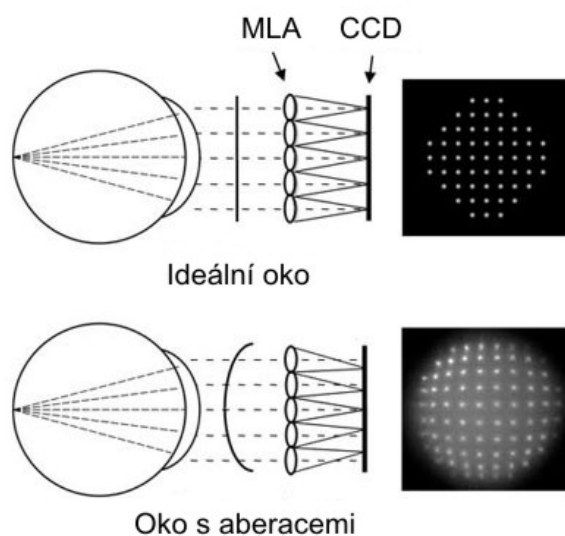
Vlastní Shack-Hartmanův senzor se skládá z několika stovek mikročoček (MLA) uspořádaných do matice (MLA) a CCD detektorem. Mikročočky mají stejný průměr a ohniskovou vzdálenost. CCD detektor leží v ohniskové rovině mikročoček a zaznamenává bodové obrazy vytvořené jednotlivými mikročočkami na základě jejich polohy. Zpětně je rekonstruován tvar dopadající vlnoplochy a z něj se následně matematickou analýzou vyhodnocuje refrakční stav oka. [21, 22]

Při měření aberačního stavu oka je analyzována vlnoplocha v rovině zornice, která je vysílána sekundárním bodovým světelným zdrojem na sítnici oka. Tento sekundární zdroj je vytvořen pomocí laserového zdroje. Paprsek vycházející z laserového zdroje je orientovaný na oční kouli a zaostřený pomocí nastavení promítacího objektivu na sítnici vyšetřovaného. Zaostřený paprsek tvoří sekundární bodový světelný zdroj na sítnici a může se objevit jako rovinná vlna v případě ideálního oka, nebo jako vlnoplocha zdeformovaná aberacemi oka. Tato zdeformovaná vlnoplocha dopadá na soustavu mikročoček MLA a následně je vyhodnocována CCD detektorem. Tvar dopadající vlnoplochy udává uspořádání obrazu vytvořeného MLA na CCD detektor. Schéma autorefraktometru (aberometru) pracujícího se Shack-Hartmanovým senzorem je na obr. 35. [21, 22]



Obr. 35 – Schéma autorefraktometru (aberometru) pracující se Shack-Hartmanovým wavefront senzorem ^[21]

Ideální oko má uspořádání obrazu na CCD disku stejné jako u mikročoček MLA. Avšak pokud má oko refrakční vadu či je postiženo aberacemi, obraz na CCD disku je zdeformovaný oproti tvaru matice mikročoček, viz obr. 36. Chybová vlnoplocha vyšetřovaného oka je definována jako rozdíl optické dráhy mezi vlnoplochou vyšetřovaného a vlnoplochou ideálního oka. [21, 22]



Obr. 36 – Shack-Hartmanův wavefront senzor

2.4 SROVNÁNÍ SKIASKOPIE A AUTOREFRAKTOMETRIE

Ačkoliv statická skiaskopie poskytuje přesnější výsledky při měření refrakčních vad než při použití autorefraktometru [14], je v dnešní době častěji nahrazována autorefraktometrií. Avšak autorefraktometrie je užitečná metoda měření objektivní refrakce převážně dospělých jedinců. Hlavním důvodem proč k nahrazování skiaskopie autorefraktometrem dochází, je délka vyšetření a jeho náročnost.

Výhody a nevýhody skiaskopie [14]

Statická skiaskopie je užitečná v mnoha ohledech. Pomocí této metody lze vyhodnotit stav očních médií (počínající katarakta, keratokonus), změřit refrakční vadu jak na dálku, tak i na blízko, zjistit akomodační dysfunkci. Skiaskop je lehký, je přenosný a jeho pořizovací cena není velká. Taktéž ho lze využít u osob, které jsou mentálně postižené, u ležících osob, u dětí a u osob, které odmítají spolupracovat. Skiaskopie při soustředění vyšetřovaného na vzdálený fixační bod snižuje možnost výskytu proximální akomodace a přístrojové myopie během měření.

Mezi hlavní nevýhodu skiaskopie patří náročnost vyšetření. Abychom dostali přesné výsledky, musí vyšetřující tuto metodu plně ovládat. Tato metoda se bohužel nedá naučit během jednoho dne, vyžaduje dlouhodobou zkušenost. Vyšetření komplikuje i průměr zornice, kdy při aplikaci cykloplegie nenastává žádný problém v měření, ale bez aplikace cykloplegie se při osvětlení oka skiaskopem zornice zúží a vyšetření je obtížnější. Další nevýhodou je, že vyšetření refrakční vady může trvat delší dobu (minuty).

Výhody a nevýhody autorefraktometrie [14]

Metoda autorefraktometrie poskytuje spolehlivou alternativu měření objektivní refrakce u mnoha dospělých lidí, může být obzvláště přesná při měření astigmatismu.

Vyšetření na autorefraktometru není náročné na obsluhu a praktické zkušenosti, jako je tomu u skiaskopie. Některé autorefraktometry jsou přímo napojeny na automatické foroptery, takže je výsledek měření na autorefraktometru automaticky nahrán do foroptery. Vyšetření na autorefraktometru je rychlé, většinou netrvá ani minutu a tyto špičkové technologie působí pozitivním dojmem na klienty.

Nevýhodou je možné navození proximální akomodace a s tím spojené přístrojové myopie, která ovlivňuje výsledky měření, proto tato metoda nemůže být použita u dětí, kterým nebyla aplikována cykloplegie z důvodu rizika zapojení vysoké proximální akomodace, převážně u mladých hypermetropů. Výsledky mohou být nepříznivě ovlivněny u lidí se špatnou fixací, s vysokou refrakční vadou, s malým průměrem zornic, s kataraktou, s nystagmem, amblyopií a v některých případech u lidí trpících věkem podmíněnou makulární degenerací. Navíc oproti skiaskopie mají autorefraktometry omezenou schopnost vyhodnocení stavu očních médií. Autorefraktometry jsou více náchylné k poruchám, než je tomu u skiaskopů a jejich pořizovací cena je řádově vyšší.

3 EXPERIMENTÁLNÍ SROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD OBJEKTIVNÍHO MĚŘENÍ REFRAKCE A JEJICH OPAKOVATELNOST

Experimentální část této diplomové práce byla zaměřena na srovnání vybraných metod objektivního měření refrakce, respektive srovnání odpovídajících přístrojů, které dané metody reprezentovaly (skiaskop, autorefraktometr, aberometr). Současně byla u odpovídajících přístrojů sledována a srovnávána opakovatelnost. Autorefraktometrie a aberometrie jsou porovnávány se skiaskopií, která je brána jako referenční na základě studie [1, 23], kde skiaskopii vyhodnocují jako dostatečně kvalitní metodu objektivního měření refrakce, která se se svými zjištěnými hodnotami nejvíce blížila k hodnotám získaným ze subjektivního měření refrakce.

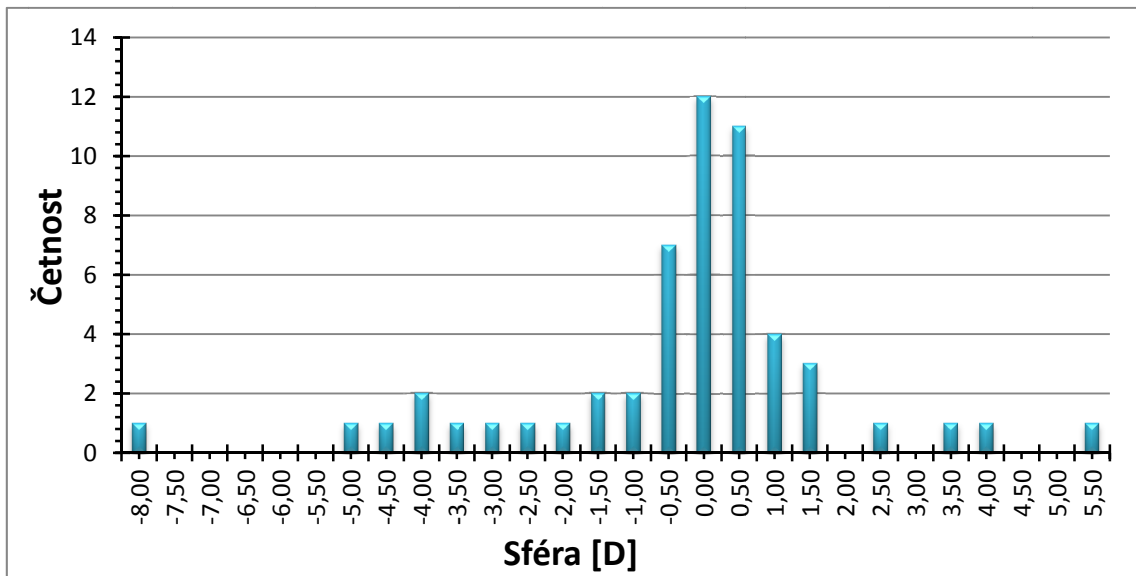
Cílem práce bylo zjistit, zda je mezi daty naměřenými jednotlivými přístroji klinicky významný rozdíl oproti hodnotám stanoveným pomocí skiaskopu, případně zda tento rozdíl závisí na velikosti refrakční vady. U cylindrické složky korekce je předpokládána rostoucí shoda měření velikosti i osy cylindru jednotlivými přístroji s velikostí cylindru. V případě sférické složky se předpokládá posun výsledků při měření automatickými přístroji do záporných hodnot oproti údajům ze skiaskopu. Tento předpoklad vychází z možného navození přístrojové myopie (viz kapitola 1.1.2), která by u skiaskopu měla být minimální. Dalším cílem je stanovit a porovnat opakovatelnost měření na jednotlivých přístrojích.

3.1 METODIKA

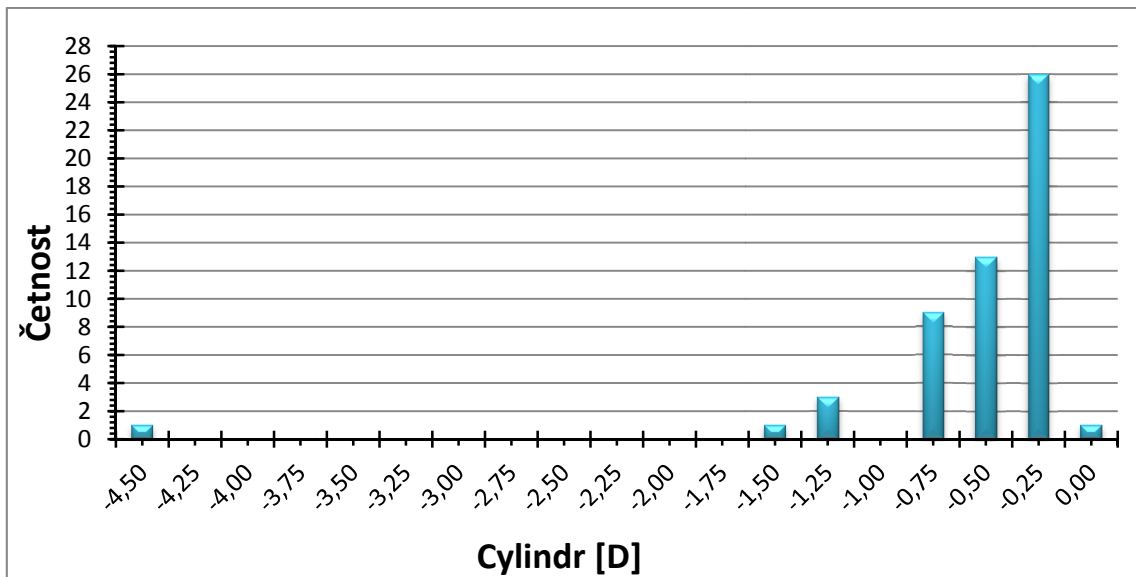
3.1.1 Probandi

Výzkumu se zúčastnilo celkem 54 probandů. Převážná většina probandů byli studenti z Univerzity Palackého v Olomouci. Ze studie byli vyřazeni 2 probandi z důvodu homogenity souboru, neboť jeden z probandů měl vysokou sférickou vadu = -8,00 D a druhý z probandů měl vysokou cylindrickou vadu = - 4,50 D, viz graf č. 1 a 2, kdy data byla získána z prvního objektivního měření refrakce metodou skiaskopie. Do výzkumu bylo tedy zařazeno 52 probandů, z toho bylo 41 žen a 11 mužů. Věkové rozmezí probandů bylo 16 – 54 let, z toho průměrný věk byl 23 let a směrodatná odchylka byla 7 let. Podmínky účasti ve výzkumu byly průhledná oční média (rohovka,

čočka, sklivec), zdravý stav oka – bez zjevných očních onemocnění a relativně dobrý zrak. Před každým měřením byl od každého probanda získán informovaný souhlas.



Graf č. 1 – Četnost rozdělení hodnot zjištěné z metody skiaskopie: sférická složka refrakce



Graf č. 2 – Četnost rozdělení hodnot zjištěné z metody skiaskopie: cylindrická složka refrakce

3.1.2 Metodika

Měření probíhalo v laboratoři katedry optiky na Univerzitě Palackého v Olomouci. Kompletní testování jednoho probanda trvalo přibližně 45 minut a vždy bylo měřeno jen levé oko. Během testování byly použity tři konkrétní přístroje,

přičemž každý z nich reprezentoval jednu ze studovaných metod. Měření refrakce na každém přístroji proběhlo u každého probanda 2 krát pro určení opakovatelnosti. Použité přístroje byly skaiskop značky Neitz RX, autorefraktometr RKT 7700 značky Nidek a aberometr i.Profiler značky Zeiss. Vyšetření probíhalo v přítomnosti z důvodu dosažení dostatečně široké zornice pro potřeby skiaskopie a aberometrie.

Nejprve byla probandovi změřena a zaznamenána velikost šíře zornice při osvětlení oka skiaskopem pomocí speciálního pravítka. Následovalo měření objektivní refrakce pomocí skiaskopu. Při měření byla využita zkušební brýlová obruba, skiaskop, skiaskopické lišty, sada zkušebních čoček a podpěrka hlavy. Skiaskopie byla prováděna pomocí sféro-cylindrické metody, kdy k neutralizaci cylindrické vady byly vždy využity jen záporné cylindry. Vyšetření probíhalo z 50 cm pracovní vzdálenosti. Aby nedocházelo během skiaskopie ke změně pracovní vzdálenosti, byl na podpěrku hlavy uvázan jedním koncem 50 cm provázek a druhým koncem připevněn ke skiaskopu. Po celou dobu měření byl provázek napnutý. Ve zkušební brýlové obrubě byla předřazena binokulárně dioptrická hodnota +2,00 D, která kompenzovala 50 cm pracovní vzdálenost. Proband během vyšetření sledoval červeno-zelený test, ve kterém se zaměřil na zelené pole, ze vzdálenosti 5-6 m binokulárně. Výsledky z prvního měření objektivní refrakce pomocí skiaskopu (SK1) byly zaznamenány a proband si sedl do křesla na chodbě a po dobu 10 minut se díval z okna do dálky z důvodu zachování uvolněné akomodace. Následně se opět zopakovalo objektivní měření refrakce pomocí skiaskopu (SK2) a opět byly výsledky zaznamenány. Následovala 5-10 minutová pauza z důvodů odeznění oslnění při skiaskopii a poté byl proband změřen na autorefraktometru (AR1) a aberometru (AM1), přitom pořadí použití přístrojů (autorefraktometr, aberometr) bylo zvoleno dle probandova roku narození, abych eliminovala vliv po sobě jdoucích měření. Probandi se sudým rokem narození byli při prvním měření automatické objektivní refrakce nejprve změřeni na autorefraktometru (AR1) a poté na aberometru (AM1) a při druhém měření naopak, tedy první na aberometru (AM2) a poté na autorefraktometru (AR2). Probandi narození v lichém roce byli měřeni právě naopak. Mezi prvním a druhým měřením na automatických přístrojích byla 5 minutová pauza. Měření na skiaskopu proběhlo samostatně před měřením na automatických přístrojích. Důvodem tohoto postupu byla eliminace vlivu znalosti přístrojové objektivní refrakce při skiaskopickém měření.

Při měření objektivní refrakce pomocí autorefraktometru se proband posadil k přístroji, řádně opřel bradu a čelo o opěrku hlavy a díval se na fixační značku

v přístroji. Přístroj pokaždé změřil 5 krát refrakci levého oka, ze kterých odvodil finální hodnotu.

Obdobně probíhalo měření na aberometru s tím rozdílem, že výsledky byly získány na základě třech po sobě jdoucích automatických měření. Výsledná refrakce byla stanovena softwarem přístroje na základě analýzy změřené vlnoplochy. Výsledná refrakce byla vyhodnocena vždy pro průměr zornice 3 mm a 5 mm.

Opakovatelnost měření byla vyhodnocena pro každý průměr zornice samostatně. Pro srovnání skiaskopie s aberometrií byly použity výsledky měření z 5 mm průměru zornice, protože u většiny probandů byla během měření objektivní refrakce pomocí metody skiaskopie velikost zornice kolem 5 až 6 mm.

3.1.3 Metodika statistického zpracování

a) Opakovatelnost

Statistické vyhodnocení výsledků opakovatelnosti bylo nejprve provedeno pomocí dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu, kdy hladina významnosti byla stanovena 5%. Opakovatelnost byla dále podrobněji analyzována Bland-Altmanovou metodou. Tato metoda vyhodnocuje závislost rozdílu dvou po sobě jdoucích měření na jejich aritmetickém průměru (hodnoty z druhého měření se odečítaly od hodnot z prvního měření). Vlastní opakovatelnost se vyhodnocovala na základě velikosti 95% konfidenčního intervalu (interval, ve kterém se nachází 95 % všech sledovaných rozdílových hodnot), meze intervalu byly stanoveny jako průměrná hodnota rozdílu $\pm 1,96 * SD$, kde SD prezentuje směrodatnou odchylku rozdílů. Opakovatelnost se samostatně stanovila pro sférickou složku *sph*, cylindrickou složku *cyl* a osu *ax*. V případě měření osy byla modifikací této metody sledována závislost rozdílu os na průměrné hodnotě cylindru.

b) Porovnání přístrojů

Statistické vyhodnocení výsledků při porovnání metod bylo podobné jako u opakovatelnosti metod. Vyhodnocení bylo provedeno vždy jen u dat získaných z prvního měření skiaskopem, autorefraktometrem, aberometrem a to pomocí dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu, kdy hladina významnosti byla stanovena opět 5%. Porovnání přístrojů bylo dále podrobněji analyzováno Bland-Altmanovou metodou popsanou v předchozím odstavci, přičemž vyhodnocovaný rozdíl v měření byl stanoven odečtem prvního měření automatických přístrojů od hodnot

z prvního měření skiaskopie. Pro vyhodnocení byl opět použit 95% konfidenčního intervalu. Vždy se mezi sebou porovnávaly sférické hodnoty *sph*, cylindrické hodnoty *cyl* a osy *ax*. V případě měření osy byla modifikací této metody sledována závislost rozdílu os na průměrné hodnotě cylindru. Závislost případných rozdílů měření na jednotlivých přístrojích byla sledována metodou korelační analýzy, kdy data v grafech Bland-Altmanovy analýzy jsou proložena regresní křivkou.

3.2 VÝSLEDKY

3.2.1 Opakovatelnost

Při porovnání výsledků opakovaných měření dvouvýběrovým párovým t-testem na střední hodnotu nebyl nalezen statisticky významný rozdíl ani u jedné z použitých metod a to ve sféře, cylindru a ose. Ve všech uvedených grafech vycházejících z Bland-Altmanovy metody představují modré čtverečky jednotlivé rozdíly naměřených hodnot. Tučná nepřerušovaná vodorovná čára prezentuje průměrný rozdíl hodnot získaných z prvního a druhého měření objektivní refrakce. Dvě vodorovné čárkované čáry odpovídají mezím 95% konfidenčního intervalu.

3.2.1.1 Skiaskop

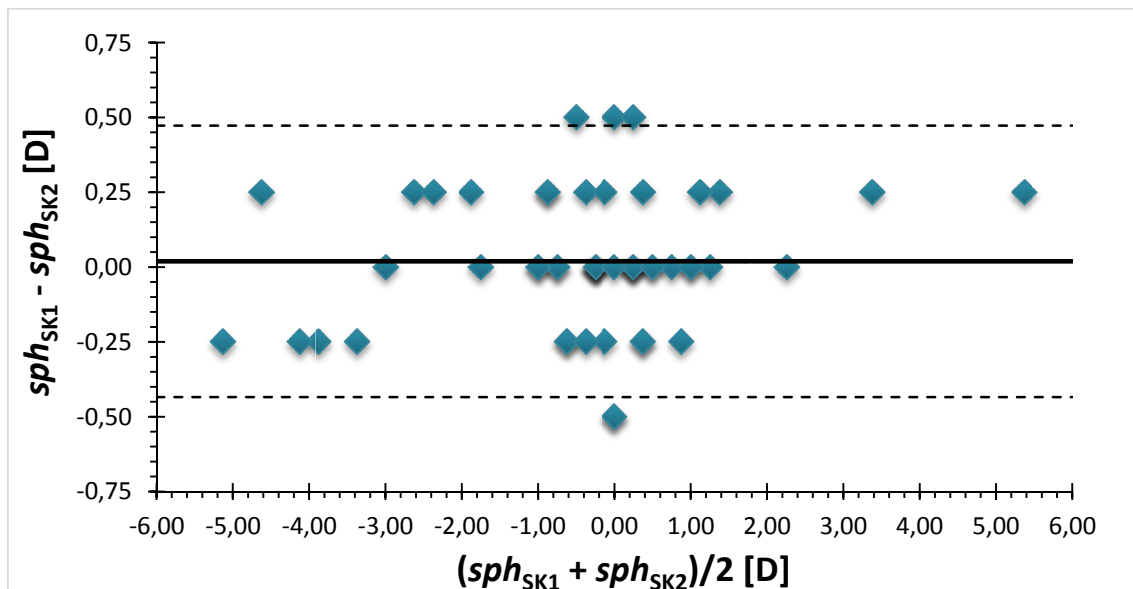
Při srovnání dat z prvního měření levého oka a druhého měření levého oka skiaskopem byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 55 \%$, u cylindru $p \approx 100 \%$ a u osy $p \approx 5,6 \%$. U vyhodnocování os byla ke srovnání použita data jen 48 probandů, protože u některých probandů nebyl nalezen při jednom či druhém měření cylindr, tudíž osa cylindru neexistovala a nemohl být porovnána.

Na grafech č. 3 - 6 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním a druhým měřením refrakce levého oka metodou skiaskopie (sférická složka, cylindrická složka a osa). Celkové hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 1. Z grafů je patrné, že rozptyl dat od průměrné hodnoty nezávisí, až na rozdíl v měření osy (viz graf č. 6), na velikosti refrakční vady, hodnoty jsou rovnoměrně rozloženy. Avšak u grafu č. 5 lze pozorovat dvě hodnoty os cylindru, které se výrazně odchyľují. Při dohledání těchto dvou hodnot se jedná o změřením os cylindru metodou skiaskopie

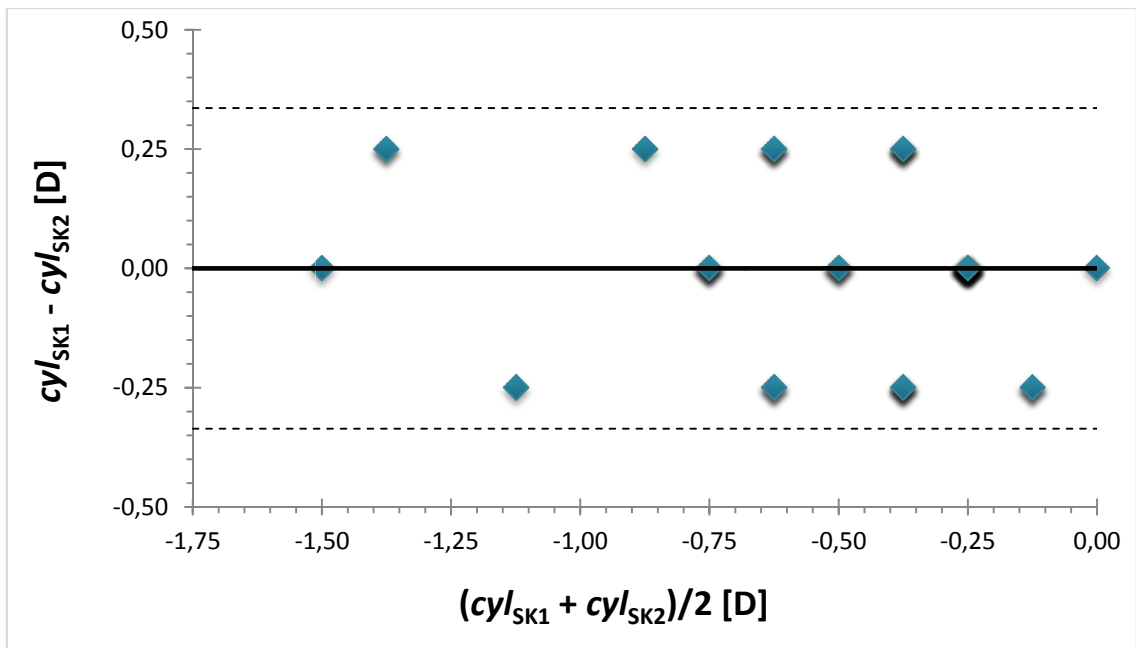
o hodnotě -0,25 D. Graf č. 6 porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Skiaskop			
	Bland-Altmanova analýza			
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu
Sférická složka	0,02 D	0,23 D	-0,43 D	+0,47 D
Cylindrická složka	0,00 D	0,17 D	-0,34 D	+0,34 D
Osa	3,75°	13,31°	-22,34°	+29,84°

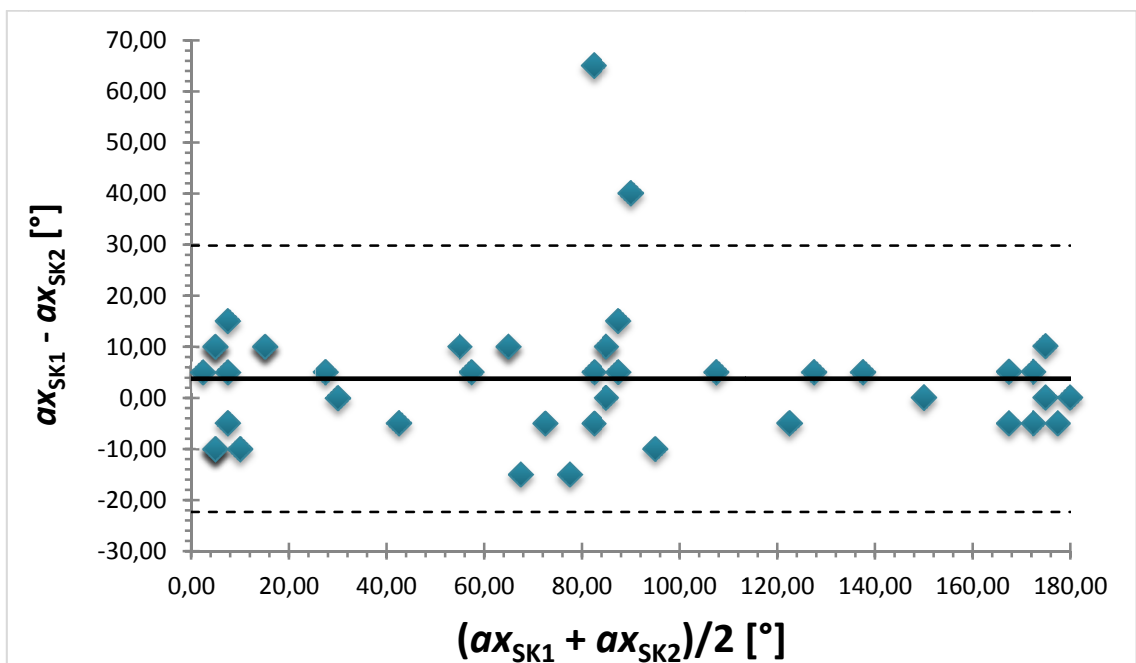
Tabulka č. 1 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



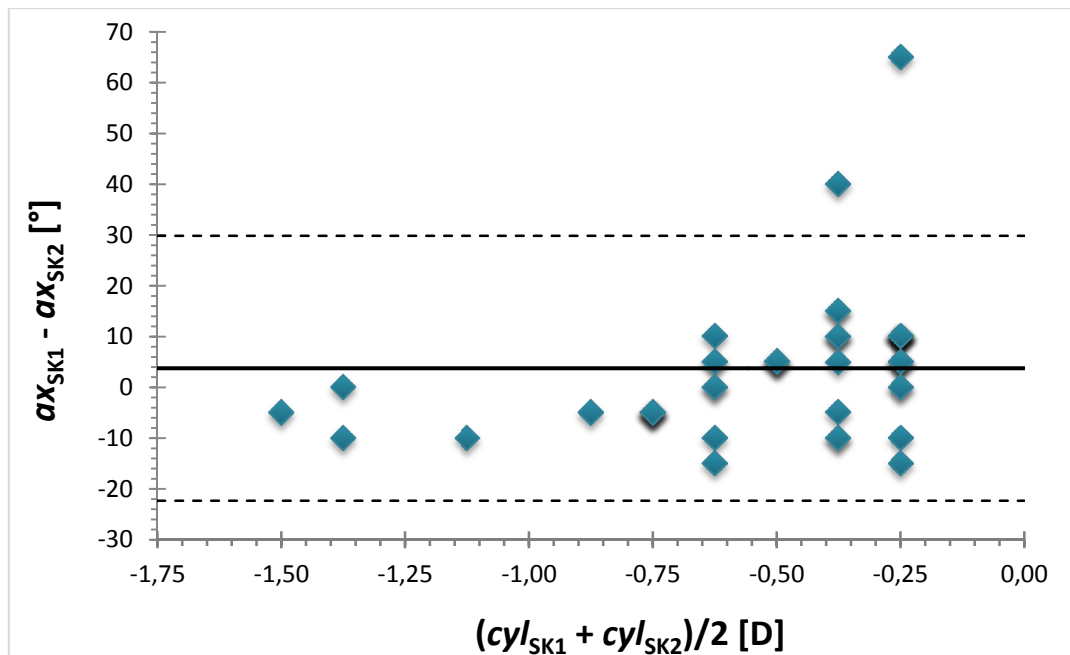
Graf č. 3 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření sférické složky refrakce stanovené skiaskopem



Graf č. 4 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření cylindrické složky refrakce stanovené skiaskopem



Graf č. 5 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření osy cylindru stanovené skiaskopem



Graf č. 6 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na průměrné hodnotě cylindru u skiaskopu

3.2.1.2 Autorefraktometr

Při srovnání dat z prvního měření levého oka a druhého měření levého oka autorefraktometrem byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 45,8 \%$, u cylindru $p \approx 38,5 \%$ a u osy $p \approx 6,5 \%$. U vyhodnocování os byla ke srovnání použita data jen 41 probandů, protože u některých probandů nebyla nalezena při jednom či druhém měření cylindrická hodnota, tudíž osa cylindru neexistovala a nemohl být porovnán.

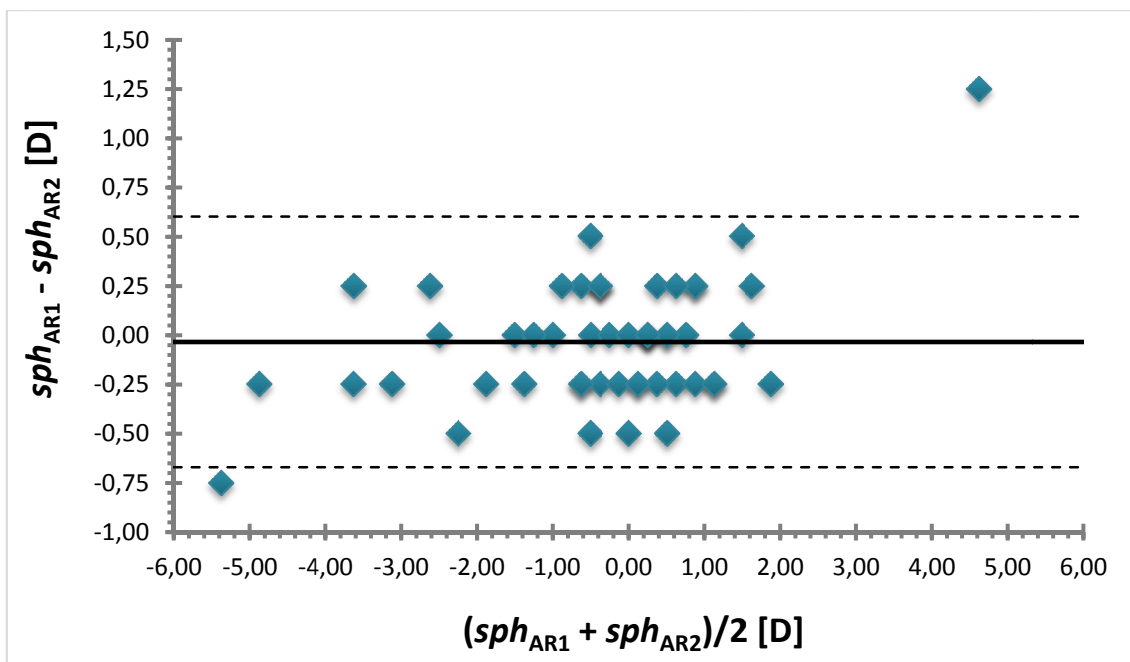
Na grafech č. 7 - 10 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním a druhým měřením refrakce levého oka autorefraktometrem (sférická složka, cylindrická složka a osa). Celkové hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 2.

Z grafů je patrné, že rozptyl dat od průměrné hodnoty nezávisí, až na rozdíl v měření osy (viz graf č. 10), na velikosti refrakční vady, hodnoty jsou rovnoměrně rozloženy. Pouze při velmi vysokých kladných hodnotách u sférické složky, viz graf č. 7, lze pozorovat jednu hodnotu sféry, která se výrazně odchyluje. Při dohledání hodnoty se jedná o rozdíl 1,25 D mezi prvním a druhým měřením sférické složky. Na grafu č. 9 se výrazněji odchylují dvě hodnoty os cylindru, kdy jedna z hodnot představuje osu cylindru o hodnotě -0,25 D a druhá osu cylindru o hodnotě -1,75 D. Obecně se vyskytují odchylky u osy cylindru většinou u nízkých hodnot, ojediněle

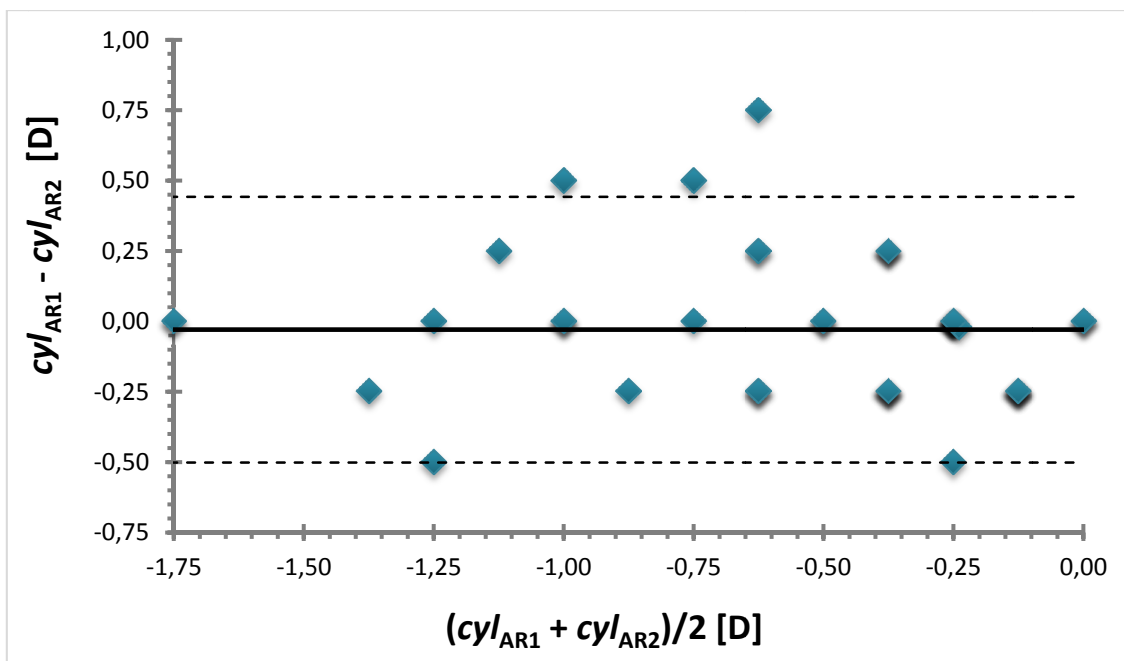
u větších hodnot cylindrů. Uvedené hodnoty jsou patrné i na grafu č. 10, který porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Autorefraktometr			
	<i>Bland-Altmanova analýza</i>			
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu
Sférická složka	-0,03 D	0,32 D	-0,67 D	+0,60 D
Cylindrická složka	-0,03 D	0,24 D	-0,50 D	+0,44 D
Osa	-3,56°	12,02°	-27,12°	+20,00°

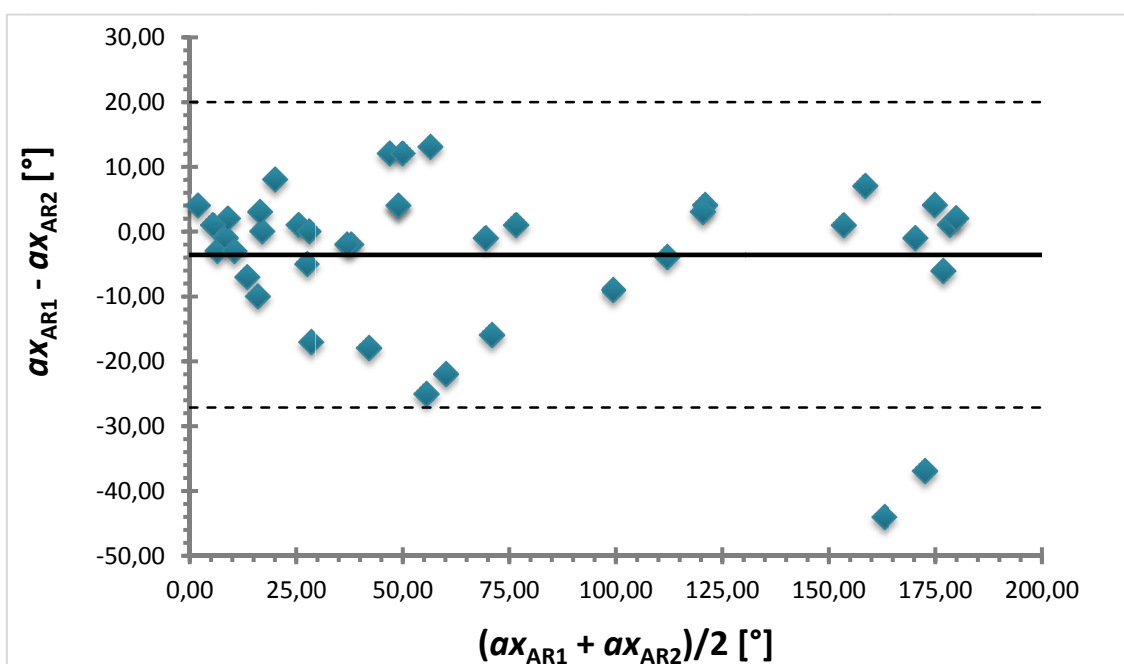
Tabulka č. 2 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



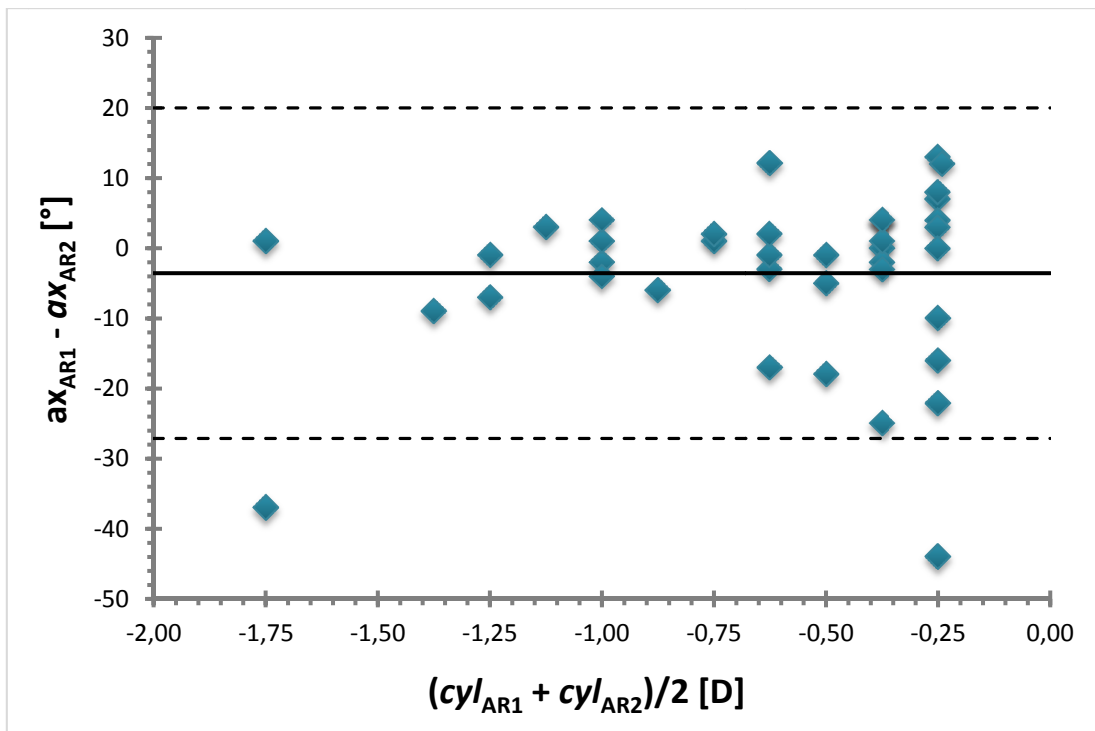
Graf č. 7 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření sférické složky refrakce stanovené autorefraktometrem



Graf č. 8 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření cylindrické složky refrakce stanovené autorefraktometrem



Graf č. 9 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření osy cylindru stanovené autorefraktometrem



Graf č. 10 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na hodnotě cylindru u autorefraktometru

3.2.1.3 Aberometr – 3 mm

Při srovnání dat z prvního měření levého oka a druhého měření levého oka aberometrem pro oblast měření zornice ve 3 mm byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 65,0 \%$, u cylindru $p \approx 15,0 \%$ a u osy $p \approx 49,8 \%$.

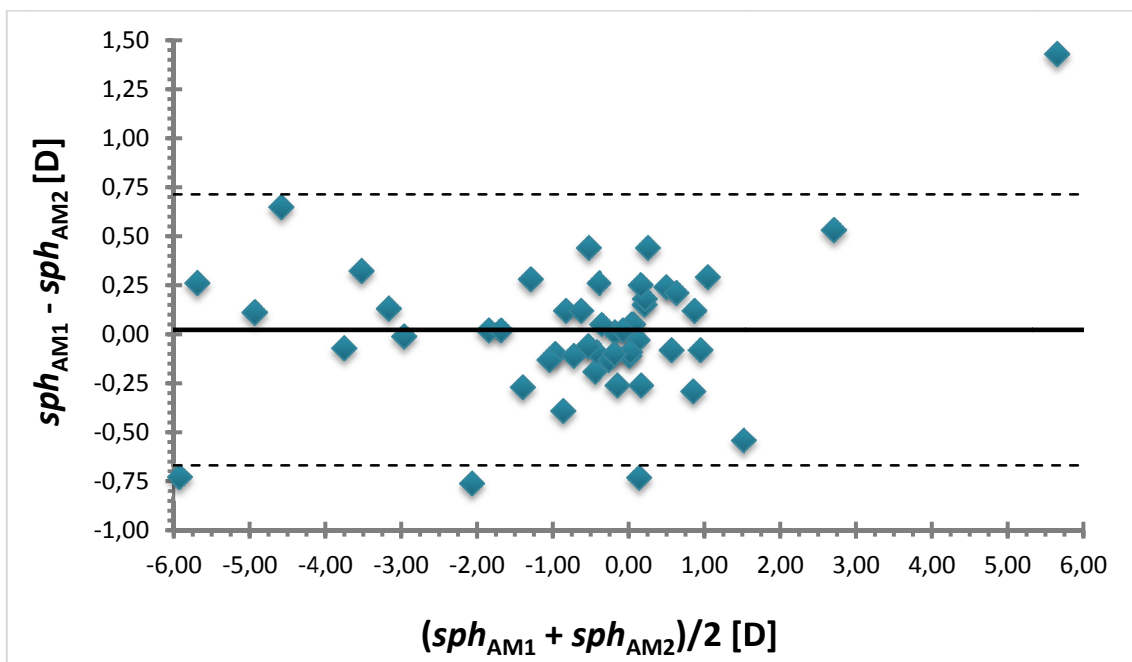
Na grafech č. 11 - 14 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním a druhým měřením refrakce levého oka pomocí aberometru (sférická složka, cylindrická složka a osa). Celkové hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 3.

Z grafů je patrné, že rozptyl dat od průměrné hodnoty nezávisí, až na rozdíl v měření osy (viz graf č. 14), na velikosti refrakční vady, hodnoty jsou rovnoměrně rozloženy. Pouze při velmi vysoké kladné hodnotě u sférické složky, viz graf č. 11, lze pozorovat jednu hodnotu sféry, která se výrazně odchyluje. Při dohledání hodnoty se jedná o rozdíl 1,43 D (6,37 D a 4,94 D) mezi prvním a druhým měřením sférické složky. Vzhledem k typu vady lze výrazný rozdíl přisoudit vlivu akomodace. Na grafu č. 12 se výrazněji odchyluje jedna hodnota cylindru. Při dohledání hodnoty jde o rozdíl -0,60 D (-0,75 D a -0,15 D). Na grafu č. 13 je jedna hodnota osy odchýlena, jednalo se o porovnání osy cylindru z prvního měření o hodnotě -0,26 D a z druhého měření -0,69 D. Tato odchylka se projevuje i na dalším grafu a je zřejmé, že odpovídá nižším

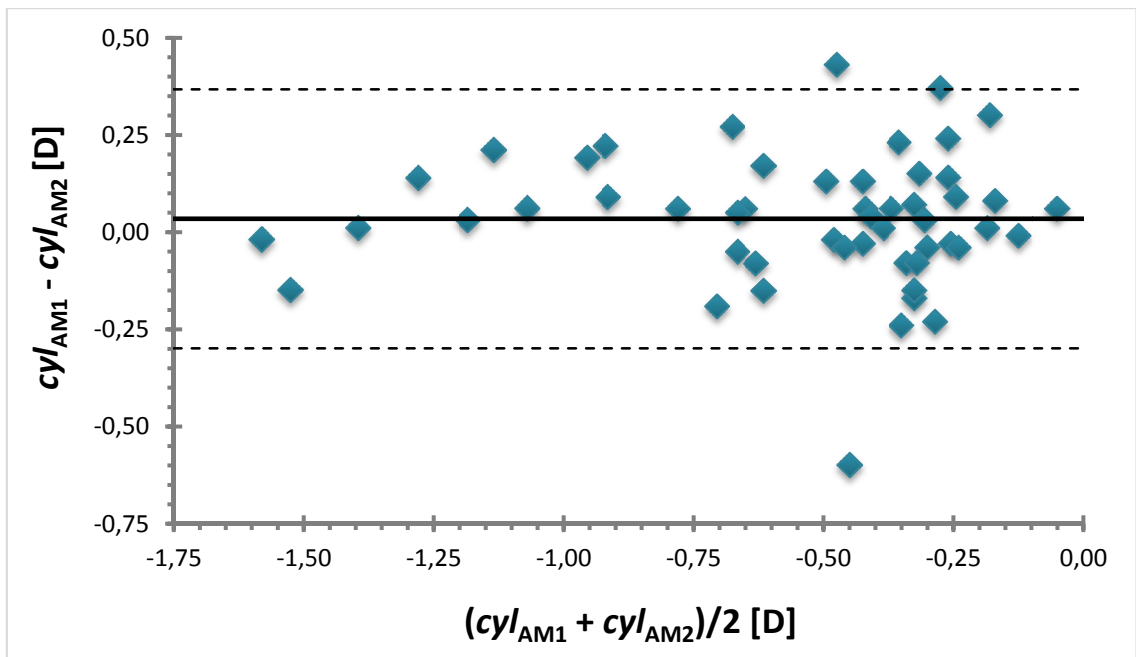
hodnotám cylindru. Lze tedy předpokládat, že osa cylindru u prvního měření byla špatně určena. Graf č. 14 porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Aberometr – 3 mm			
	Bland-Altmanova analýza			
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu
Sférická složka	0,02 D	0,35 D	-0,67 D	+0,71 D
Cylindrická složka	0,03 D	0,17 D	-0,30 D	+0,37 D
Osa	-2,12°	22,36°	-45,93°	+41,70°

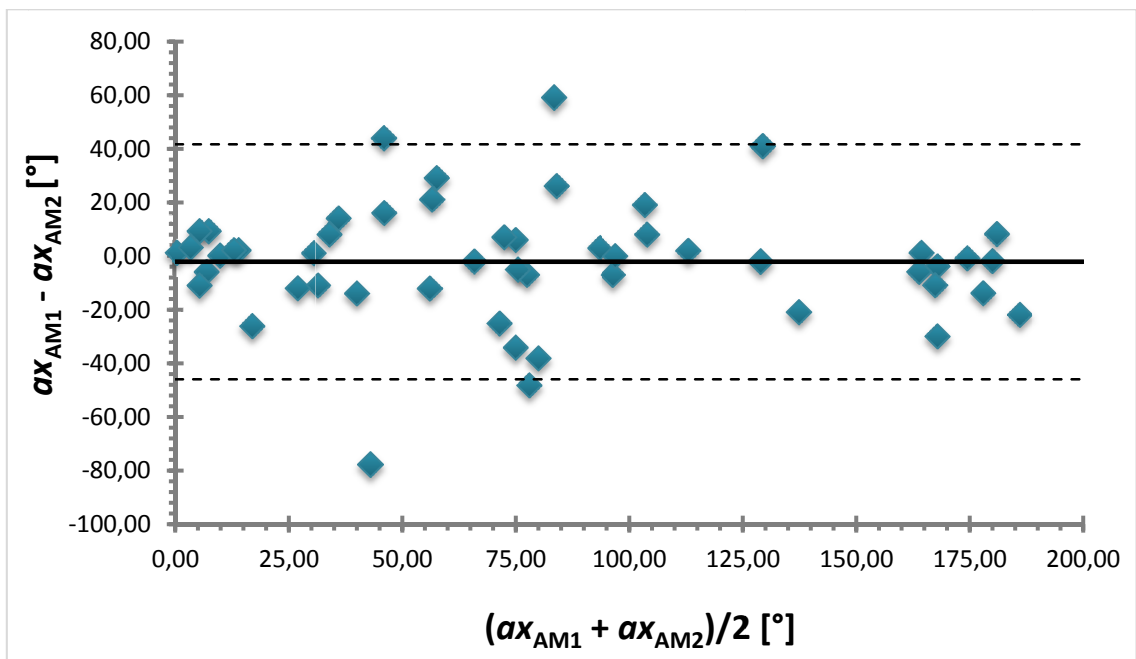
Tabulka č. 3 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



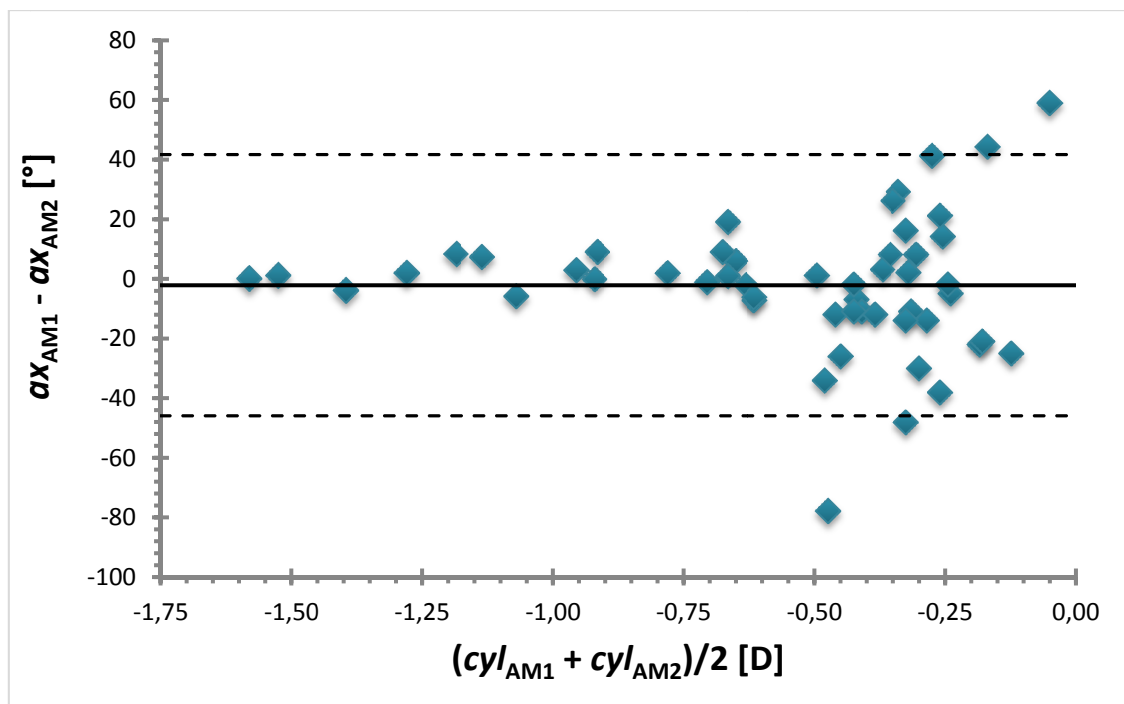
Graf č. 11 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření sférické složky refrakce stanovené aberometrem: 3 mm



Graf č. 12 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření cylindrické složky refrakce stanovené aberometrem: 3 mm



Graf č. 13 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření osy cylindru stanovená aberometrem: 3 mm



Graf č. 14 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na hodnotě cylindru u aberometru: 3 mm

3.2.1.4 Aberometr – 5 mm

Při srovnání dat z prvního měření levého oka a druhého měření levého oka aberometrem pro oblast měření zornice v 5 mm byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 88,6 \%$, u cylindru $p \approx 28,0 \%$ a u osy $p \approx 83,2 \%$. Údaje vycházejí ze stejného měření jako u aberometru pro oblast měření 3 mm zornice, pouze jsou vztažené k jiné hodnotě.

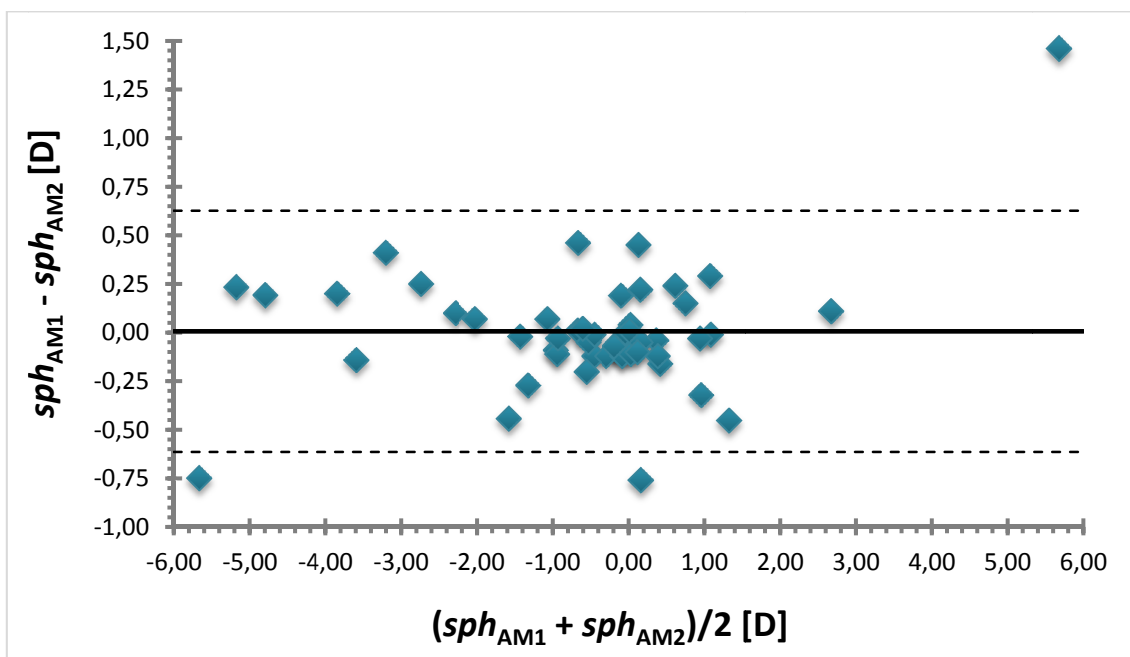
Na grafech č. 15 - 18 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním a druhým měřením refrakce levého oka aberometrem (sférická složka, cylindrická složka a osa). Celkové hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 4.

Z grafů je patrné, že rozptyl dat od průměrné hodnoty nezávisí, až na rozdíl v měření osy (viz graf č. 18), na velikosti refrakční vady, hodnoty jsou rovnoměrně rozloženy. Pouze při velmi vysoké kladné hodnotě u sférické složky, viz graf č. 15, lze pozorovat jednu hodnotu sféry, která se výrazně odchyluje, stejně jako tomu bylo i u vyhodnocení hodnot pro velikost zornice 3 mm. Na grafu č. 16 se výrazněji odchyluje jedna hodnota cylindru. Při dohledání hodnoty jde o rozdíl $-0,43$ D ($-0,25$ D a $-0,68$ D). Na grafu č. 17 je jedna hodnota osy výrazně odchýlena, jedná se o porovnání osy cylindru z prvního měření o hodnotě $-0,03$ D a z druhého měření $-0,05$ D. Lze tedy

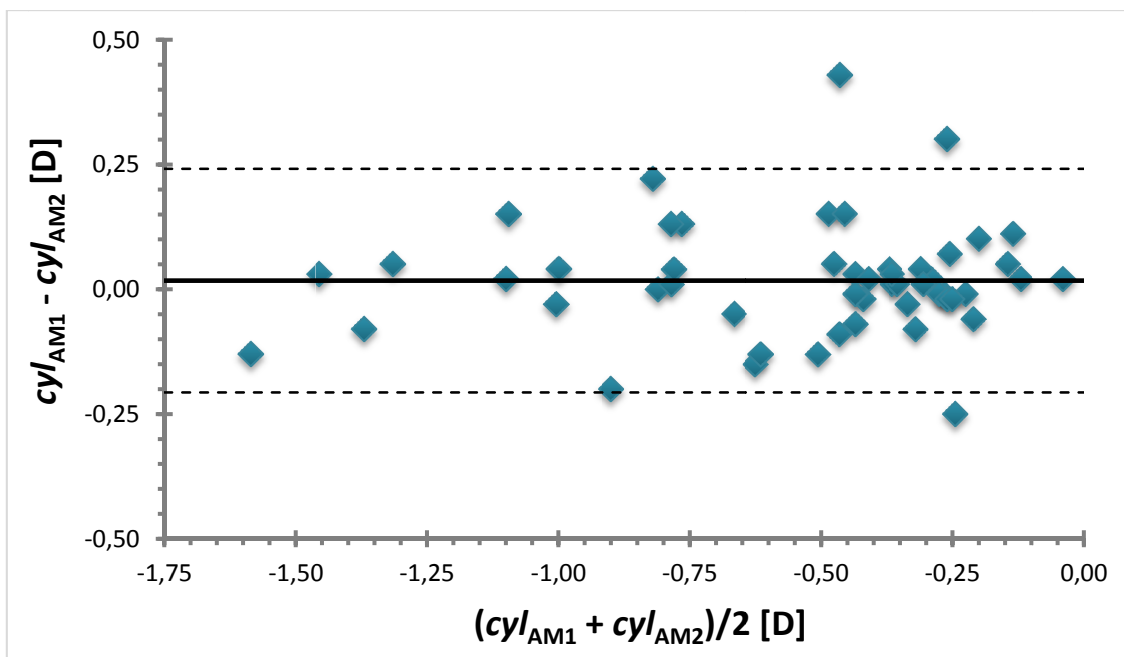
předpokládat u tak malého cylindru výraznou odchylku v určení osy cylindru. Graf č. 18 porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Aberometr – 5 mm			
	Bland-Altmanova analýza			
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu
Sférická složka	0,01 D	0,32 D	-0,61 D	+0,63 D
Cylindrická složka	0,02 D	0,11 D	-0,21 D	+0,24 D
Osa	-0,31°	10,41°	-20,71°	+20,09°

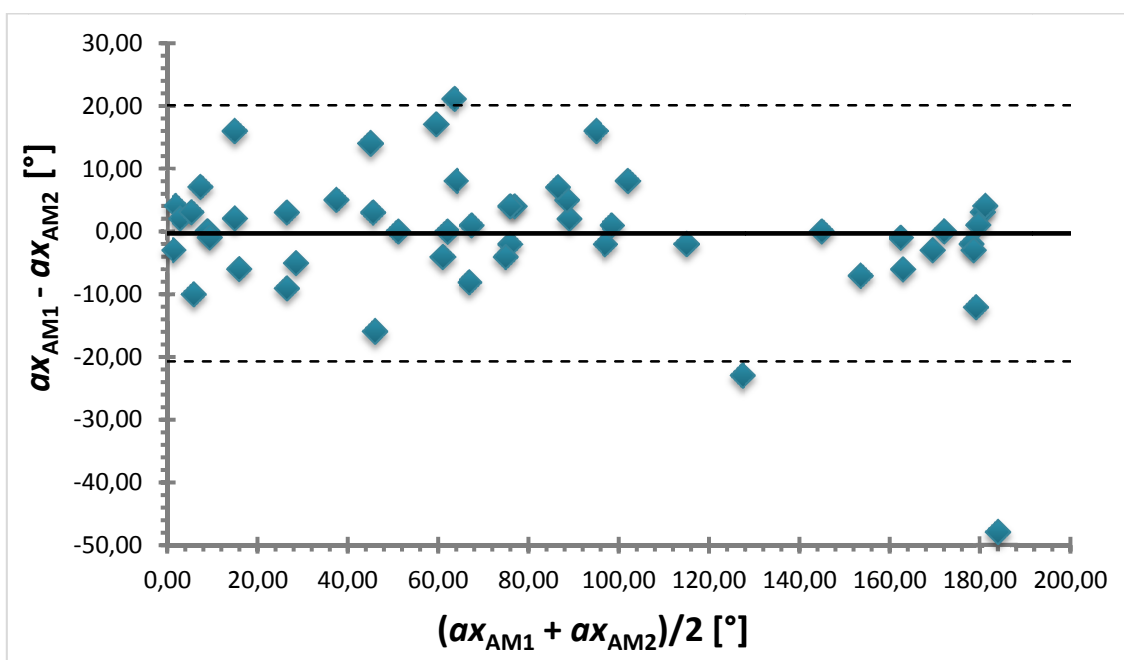
Tabulka č. 4 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



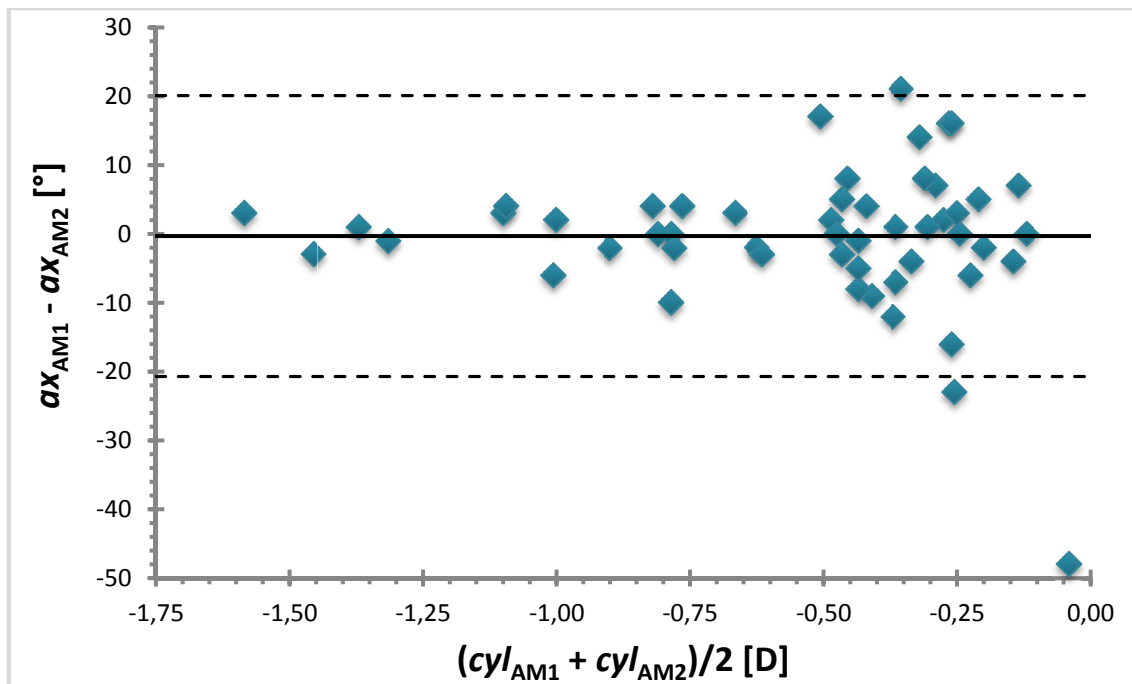
Graf č. 15 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření sférické složky refrakce stanovené aberometrem: 5 mm



Graf č. 16 - Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření cylindrické složky refrakce stanovené aberometrem: 5 mm



Graf č. 17 – Bland-Altmanova analýza opakovatelnosti měření osy cylindru stanovená aberometrem: 5 mm



Graf č. 18 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na hodnotě cylindru u aberometru: 5 mm

3.2.2 Porovnání přístrojů

Při porovnání výsledků dvouvýběrovým párovým t-testem na střední hodnotu nebyl nalezen statisticky významný rozdíl u porovnání přístrojů skiaskop vs. autorefraktometr, a to ve všech jeho částech (sféra, cylindr a osa). U porovnání přístrojů skiaskop vs. aberometr pro oblast měření 5 mm zornice byl dvouvýběrovým párovým t-testem na střední hodnotu nalezen statisticky významný rozdíl a to ve sférické a cylindrické složce, u osy byl statisticky nevýznamný rozdíl.

Ve všech uvedených grafech vycházejících z Bland-Altmanovy analýzy představují modré čtverečky jednotlivé rozdíly naměřených hodnot. Tučná nepřerušovaná vodorovná čára prezentuje průměrný rozdíl hodnot získaných z prvního měření refrakce pomocí skiaskopu a prvního měření objektivní refrakce pomocí autorefraktometru a aberometru. Dvě vodorovné čárkované čáry odpovídají mezím 95% konfidenčního intervalu. Měřenými body je proložena příslušná regresní křivka, která je v grafu znázorněna čerchovanou čarou.

3.2.2.1 Skiaskop vs. autorefraktometr

Při srovnání dat z prvního měření levého oka skiaskopem a prvního měření levého oka autorefraktometrem byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 83,1 \%$, u cylindru

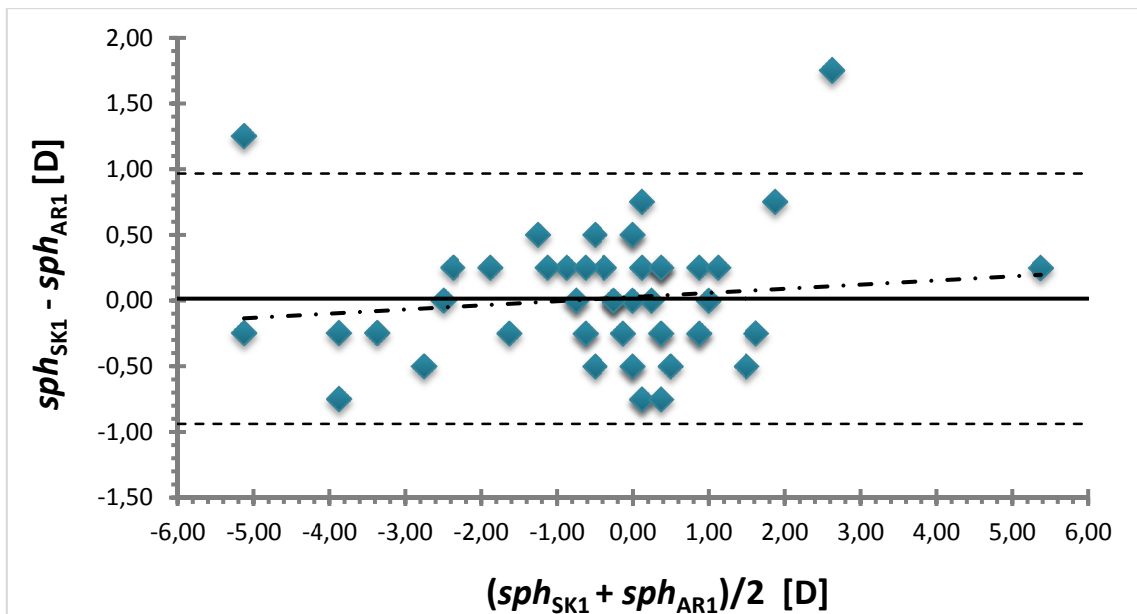
$p \approx 10,2 \%$ a u os $p \approx 6,1 \%$. U vyhodnocování os byla ke srovnání použita data jen 48 probandů, protože u některých probandů nebyla nalezena při jednom či druhém měření cylindrická hodnota, tudíž osa cylindru neexistovala a nemohl být porovnána

Na grafech č. 19 - 22 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním měřením refrakce levého oka skiaskopem a prvním měřením refrakce levého oka autorefraktometrem (sférická složka, cylindrická složka a osa). Metodou korelace je sledovaná závislost rozdílu na průměrné hodnotě sledované veličiny, reprezentovaná korelačním koeficientem r (viz tabulka č. 5) a regresní přímkou, minimální, vyšších hodnot dosahuje pouze v případě cylindrické složky. Při závislosti rozdílu při měření os na průměrné hodnotě cylindru byl zjištěn korelační koeficient $r = 0,10$.

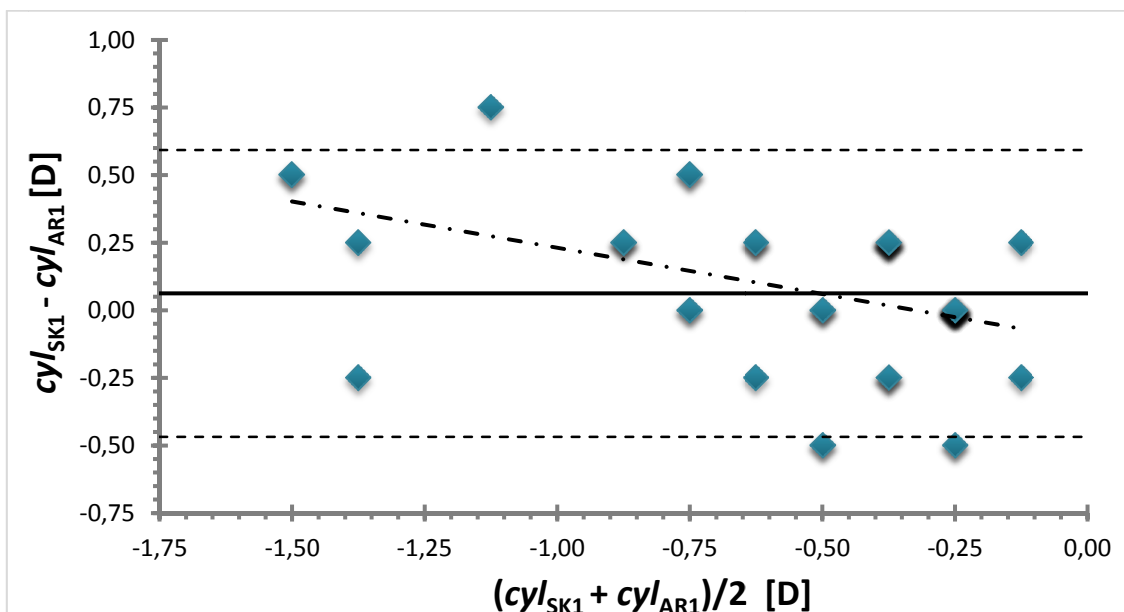
V grafu č. 19 se nachází jedna hodnota, která se odchyluje. Rozdíl hodnoty sféry mezi prvním měřením metodou skiaskopie a prvním měřením metodou autorefraktometrie je 1,75 D (3,50 D a 1,75 D). Na grafu č. 21 je jedna hodnota osy výrazně odchylena, jedná se o hodnotu porovnání osy cylindru o velikosti -0,25 D z obou měření (skiaskopie a autorefraktometrie), kdy rozdíl os byl 78° (115° a 193°). Tato odchylka se projevuje i na dalším grafu č. 22 a je zřejmé, že odpovídá nižším hodnotám cylindru. Lze tedy předpokládat u tak malého cylindru výraznou odchylku v určení osy cylindru. Graf č. 22 porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Skiaskop vs. autorefraktometr				
	<i>Bland-Altmanova analýza</i>				
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu	Korelační koeficient r
Sférická složka	0,01 D	0,49 D	-0,94 D	+0,97 D	0,12
Cylindrická složka	0,06 D	0,27 D	-0,47 D	+0,59 D	0,44
Osa	7,98°	28,82°	-48,51°	+64,46°	0,03

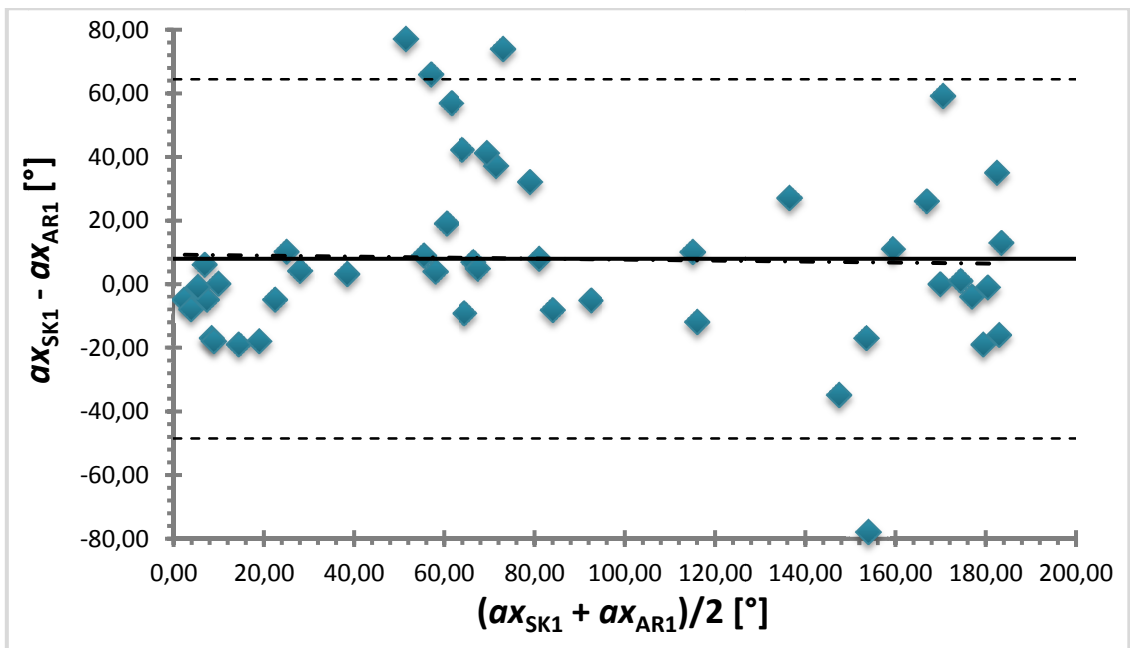
Tabulka č. 5 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



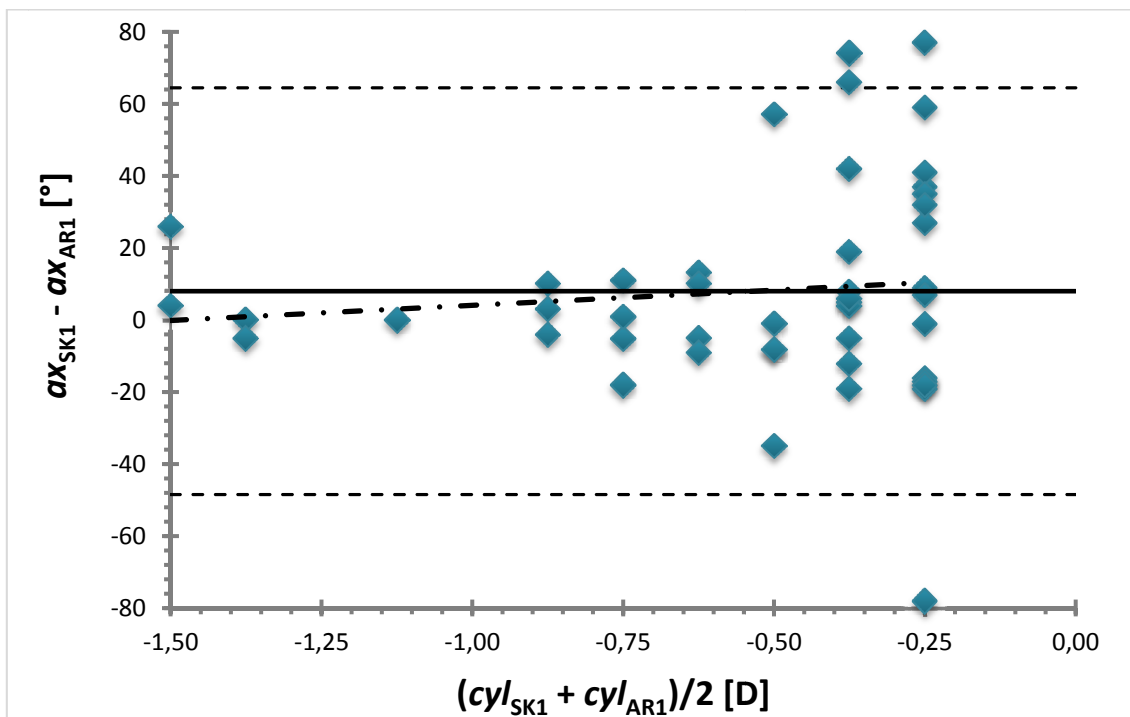
Graf č. 19 – Bland-Altmanova analýza srovnání sférické složky refrakce stanovené přístroji skiaskop vs. autorefraktometr



Graf č. 20 – Bland-Altmanova analýza srovnání cylindrické složky refrakce stanovené přístroji skiaskop vs. autorefraktometr



Graf č. 21 – Bland-Altmanova analýza srovnání osy cylindru stanovené přístroji skioskop vs. autorefraktometr



Graf č. 22 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na hodnotě cylindru u přístrojů skioskop vs. autorefraktometr

3.2.2.2 *Skiaskop vs. aberometr*

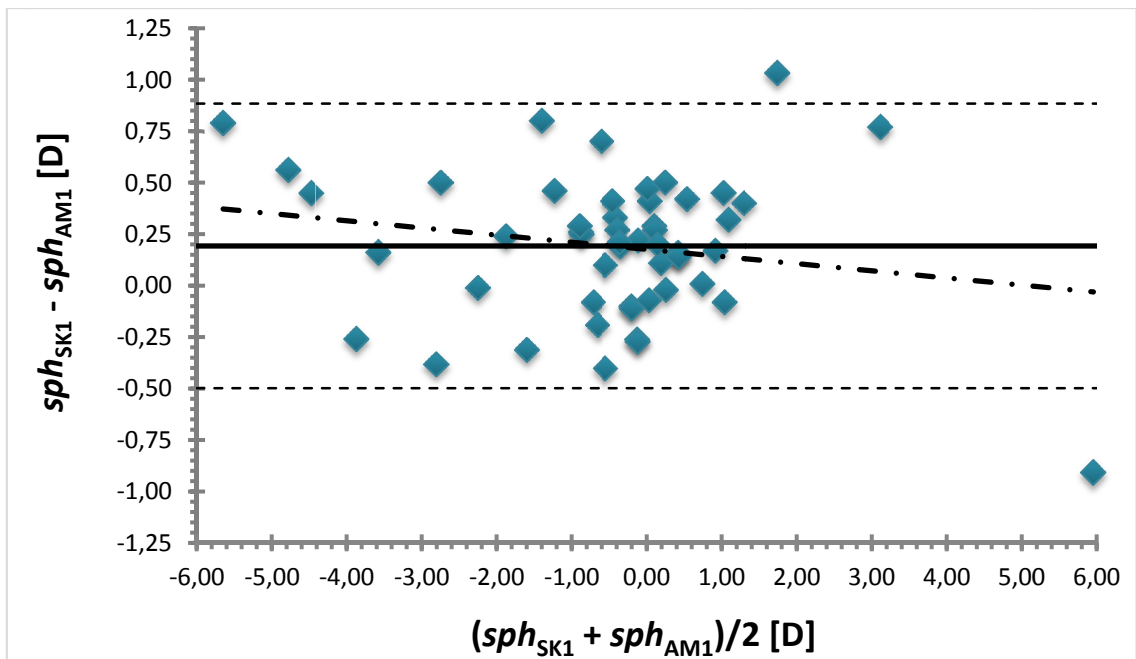
Při srovnání dat z prvního měření levého oka skiaskopem a prvního měření levého oka aberometrem byla mezní hladina významnosti u sféry $p \approx 0,03 \%$, u cylindru $p \approx 3,5 \%$ a u osy $p \approx 84,3 \%$. U vyhodnocování os byla ke srovnání použita data jen 51 probandů, protože u jednoho probanda nebyla nalezena při jednom či druhém měření cylindrická hodnota, tudíž osa cylindru neexistovala a nemohl být porovnán.

Na grafech č. 23 - 26 jsou prezentovány Bland-Altmanovy analýzy shody mezi prvním měřením refrakce levého oka skiaskopem a prvním měřením refrakce levého oka aberometrem (sférická složka, cylindrická složka a osa). Metodou korelace sledovaná závislost rozdílu na průměrné hodnotě sledované veličiny, reprezentovaná korelačním koeficientem r (viz tabulka č. 6) a regresní přímkou, je minimální, vyšších hodnot dosahuje pouze v případě cylindrické složky. Při závislosti rozdílu při měření os na průměrné hodnotě cylindru byl zjištěn korelační koeficient $r = 0,01$.

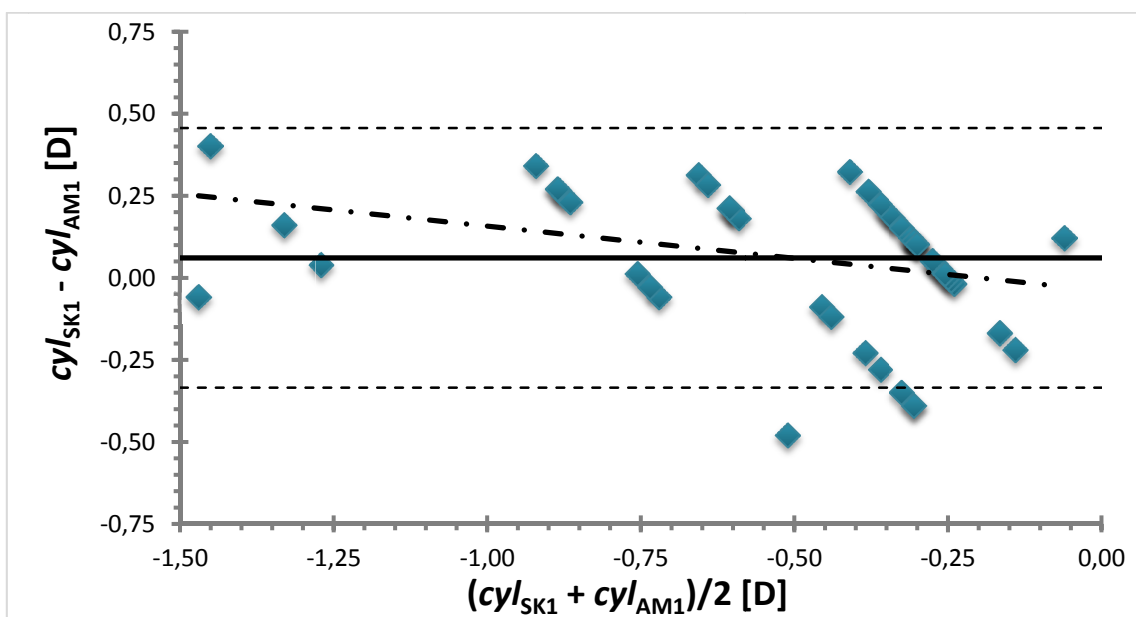
V grafu č. 23 se nachází jedna hodnota, která se výrazněji odchyluje. Rozdíl hodnoty sféry mezi prvním měřením skiaskopem a prvním měřením aberometrem je 0,91 D (5,50 D a 6,41 D). Na grafu č. 25 jsou tři hodnoty osy odchýleny, vždy se jedná o stanovení osy cylindru o velikosti do -0,25 D u obou měření (skiaskopie a aberometrie), kdy rozdíl os byl průměrně 46°. Tato odchylka se projevuje i na dalším grafu č. 26 a je zřejmé, že odpovídá nižším hodnotám cylindru. Lze tedy předpokládat u tak malého cylindru výraznou odchylku v určení osy cylindru. Graf č. 26 porovnává závislost rozdílu měření osy na hodnotě cylindru. Rozptyl dat je u malých cylindrů větší, u větších cylindrů menší. Rozdíl v průměrných hodnotách není statisticky významný.

	Skiaskop vs. aberometr				
	<i>Bland-Altmanova analýza</i>				
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Dolní mez 95% konfidenčního intervalu	Horní mez 95% konfidenčního intervalu	Korelační koeficient r
Sférická složka	0,19 D	0,35 D	-0,50 D	+0,88 D	0,19
Cylindrická složka	0,06 D	0,20 D	-0,33 D	+0,46 D	0,32
Osa	-0,47°	16,83°	-33,46°	+32,52°	0,02

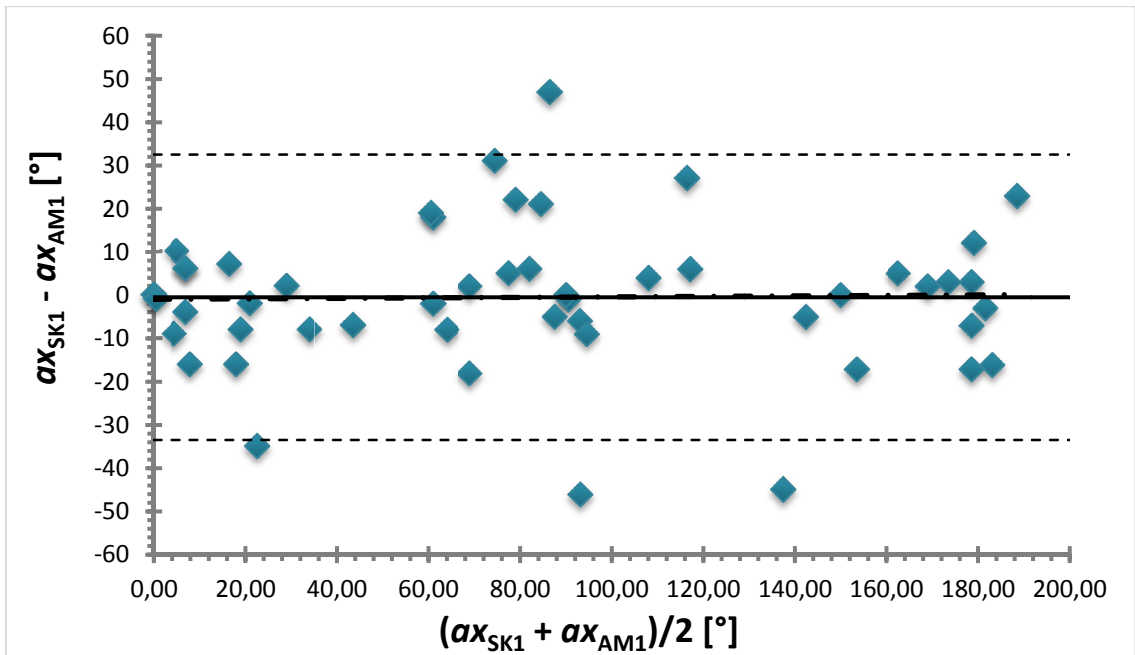
Tabulka č. 6 – Souhrn výsledků Bland-Altmanovy analýzy



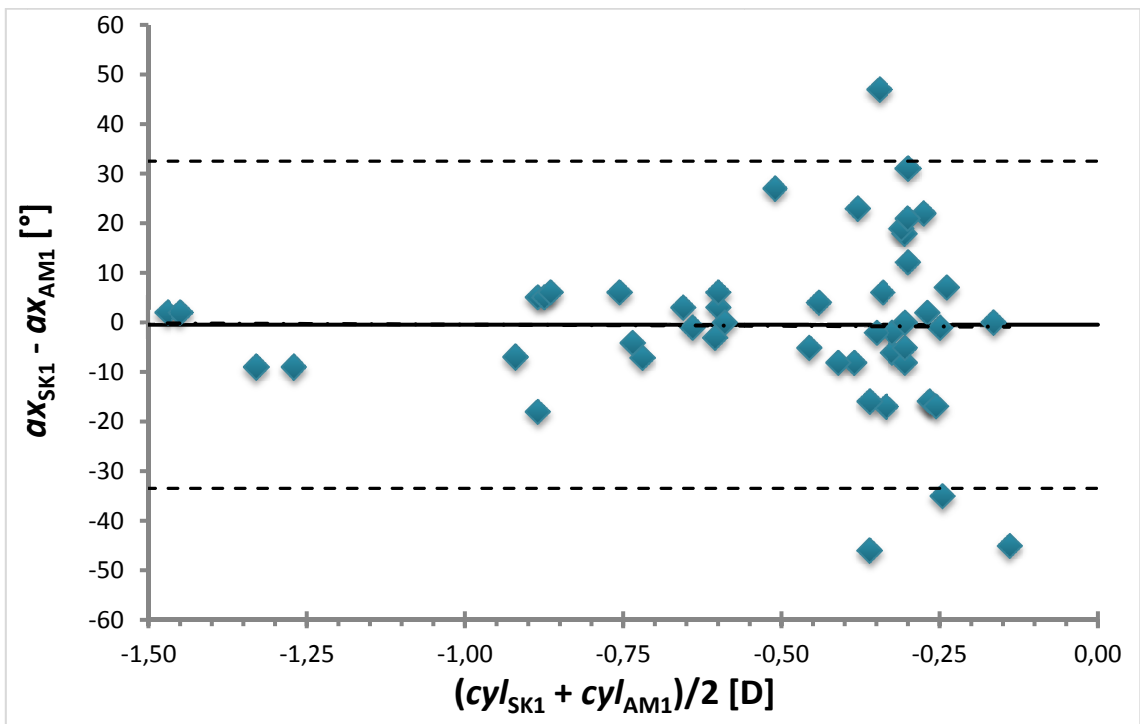
Graf č. 23 – Bland-Altmanova analýza srovnání sférické složky refrakce stanovené přístroji skiaskop vs. aberometr



Graf č. 24 – Bland-Altmanova analýza srovnání cylindrické složky refrakce stanovené přístroji skiaskop vs. aberometr



Graf č. 25 – Bland-Altmanova analýza srovnání osy cylindru stanovené přístroji skiaskop vs. aberometr



Graf č. 26 – Bland-Altmanova analýza závislosti rozdílu měření osy na hodnotě cylindru u přístrojů skiaskop vs. aberometr

3.3 DISKUZE

V experimentální části diplomové práce byly pozorovány přístroje – skiaskop, autorefraktometr a aberometr, reprezentující tři různé metody pro objektivní stanovení refrakce. U těchto přístrojů byla zkoumána jejich opakovatelnost měření a zároveň byl srovnán skiaskop s autorefraktometrem a skiaskop s aberometrem hodnocený pro šíři zornice 5 mm. Výsledky analýzy jsou ovlivněny menším počtem vyšších refrakčních vad.

Na základě studie [1], která porovnávala přístroje skiaskop a autorefraktometr se subjektivní refrakcí, je brána metoda skiaskopie jako zlatý standard objektivního měření refrakce, po kterém by měla následovat subjektivní refrakce. Nutno připomenout, že při měření objektivní refrakce metodou skiaskopie bez použití cykloplegie, je důležité provádět vyšetření v přítmí z důvodu rozšíření zornice. Následné subjektivní vyšetření se měří za normálních denních světelných podmínek při zúžené zornici. Takže zdrojem neshody mezi skiaskopií a subjektivní refrakcí může být přítomnost aberací vyšších řádů při měření objektivní refrakce metodou skiaskopie.

3.3.1 Opakovatelnost

Průměrný rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními objektivní refrakce skiaskopem, autorefraktometrem a aberometrem (3 a 5 mm) a jejich směrodatné odchylky jsou shrnuty v tabulce č. 7. Ani u jedné z metod, ve všech jeho složkách, není průměrný rozdíl statisticky významný. U sféry i cylindru se průměrná hodnota rozdílu prakticky blíží k nule.

	OPAKOVATELNOST							
	Skiaskop		Autorefraktometr		Aberometr: 3 mm		Aberometr: 5 mm	
	<i>Průměrný</i> Δ	σ	<i>Průměrný</i> Δ	σ	<i>Průměrný</i> Δ	σ	<i>Průměrný</i> Δ	σ
Sféra [D]	0,02	0,23	-0,03	0,32	0,02	0,35	0,01	0,32
Cylindr [D]	0,00	0,17	-0,03	0,24	0,03	0,17	0,02	0,11
Osa [°]	3,75	13,31	-3,56	12,02	-2,12	22,36	-0,31	10,41

Tabulka č. 7 – Souhrn průměrného rozdílu Δ a směrodatné odchylky σ

Rozsahy konfidenčních intervalů (viz tabulka č. 8), které udávají míru opakovatelnosti měření, jsou u Bland-Altmanovy analýzy klinicky akceptovatelné,

velikost jednotlivých rozdílů hodnot se obvykle pohybuje u sférické složky kolem hodnoty $\pm 0,50$ D a u cylindrické složky $\pm 0,25$ D. S tím že celkově lze opakovatelnost, měřenou šíří konfidenčního intervalu, vyhodnotit nejlépe u skiaskopu a aberometru pro oblast měření 5 mm. Nejlepší opakovatelnost při měření sférické složky vykazuje skiaskop, naopak nejhorší hodnoty má autorefraktometr. Při měření cylindrické složky vykazuje nejlepší opakovatelnost aberometr pro oblast měření 5 mm, nejhorší opakovatelnost byla opět zjištěna u autorefraktometru a aberometru pro oblast měření 3 mm. Vzhledem k tomu, že objektivní refrakce by měla vždy představovat pouze podklad pro následující subjektivní vyšetření, jsou hodnoty opakovatelnosti pro sférickou a cylindrickou složku klinicky akceptovatelné. Opakované měření osy cylindru již nevykazuje tak přesné výsledky jako u sférické a cylindrické složky. Zde jsou meze 95% konfidenčního intervalu poměrně široké, ale jsou u všech přístrojů, vyjma aberometru pro oblast měření 3 mm, téměř shodné. Z toho vyplývá, že aberometr pro oblast měření ve 3 mm, má opakovatelnost měření osy cylindru nejhorší. Při hodnocení klinické významnosti je nutné přihlídnout též k závislosti rozptylu dat v závislosti na hodnotě cylindru (viz grafy č. 6, 10, 14, 18). Částečně je při tom možné vycházet například z tolerance stočení osy cylindru při zábrusu [24]. Z grafů je zřejmé, že větší rozptyl vykazují především nízké hodnoty cylindru, u nichž je tolerance ke stočení osy větší. Nicméně nezanedbatelná část měřených dat přesahuje tyto limity. Odchytky mohou být částečně způsobené například natočením hlavy při usazení k přístroji. Je tedy nutné vždy výslednou cylindrickou korekci upravit subjektivně. Vzhledem k tomu, že příslušné normy, z nichž jsou odpovídající výňatky uvedené například na stránkách Společnosti českých optiků a optometristů [24], se vztahují k zábrusu finální korekce (nikoliv přímo k předpisu) a vzhledem k potřebě subjektivního upravení korekce je možné odchytky akceptovat. Pro podrobnější rozbor však nejsou ve studovaném vzorku dostatečně zastoupeny vyšší hodnoty cylindrické složky korekce.

	Meze 95% konfidenčního intervalu							
	skiaskop		autorefraktometr		abrometr: 3 mm		abrometr: 5 mm	
Sféra [D]	-0,43	+0,47	-0,67	+0,60	-0,67	+0,71	-0,61	+0,63
Cylindr [D]	-0,34	+0,34	-0,50	+0,44	-0,30	+0,37	-0,21	+0,24
Osa [°]	-22,34	+29,84	-27,12	+20,00	-45,93	+41,70	-20,71	+20,09

Tabulka č. 8 – Souhrn 95% konfidenčního intervalu

U všech měření vychází lepší opakovatelnost u měření cylindrické složky, než sférické složky, nejmenší rozdíl je patrný u skiaskopie. Měření sféry může být ovlivněno akomodací a přístrojovou myopií, tím lze vysvětlit horší opakovatelnost u sférické složky a současně i některé extrémní hodnoty, které lze vidět na příslušných grafech. Tyto hodnoty se vyskytují především u hypermetropů, kde lze výraznější zapojení akomodace očekávat. Opakované měření cylindru je zřejmě ovlivněno především náhodnými chybami, vliv případných fluktuací akomodace zde nebude příliš významná.

Jak již bylo uvedeno, nejlepší opakovatelnost v měření objektivní refrakce má tedy skiaskopie, kdy směrodatná odchylka u sféry se pohybuje v akceptovatelné hodnotě v průměru 0,17 D a u cylindru 0,31 D. Avšak výsledky mohou být ovlivněny a zkresleny metodikou vyšetřování, protože obě po sobě jdoucí měření metodou skiaskopie provedl jen jeden vyšetřující, který mohl být ovlivněn znalostí výsledků prvního měření. V ideálním případě by metoda opakovatelnosti měla být měřena dvěma na sobě nezávislými vyšetřujícími. Tento přístup nebyl z organizačních důvodů v provedeném experimentu možný, proto byla snaha eliminovat uvedený efekt dostatečným odstupem druhého (opakovaného) měření od prvního, přičemž v té době současně vyšetřující měřil dalšího probanda.

V dosud provedených a již publikovaných studiích byly většinou objektivní metody měření refrakce porovnávány se subjektivní metodou měření refrakce a většinou byla sférická a cylindrická složka přepočítána na sférický ekvivalent a osa cylindru byla reprezentována průmětem do vybraných směrů. Výsledky studií tedy nejsou přímo srovnatelné s výsledky této práce. V prezentovaném experimentu použité metodice stanovení opakovatelnosti se nejvíce blíží metodika studie [25], která srovnávala opakovatelnost objektivního měření refrakce metodou autorefraktometrie s metodou subjektivního měření refrakce. Sférická složka při autorefraktometrii měla průměrný rozdíl 0,16 D a jeho meze 95% konfidenčního intervalu byly $\pm 0,31$ D, cylindrická složka měla průměrný rozdíl 0,19 D s 95% konfidenčním intervalem $\pm 0,37$ D. Osa cylindru měla průměrný rozdíl $15,88^\circ$ s 95% konfidenčním intervalem $\pm 31,1^\circ$. Další studie opět srovnávala [26] opakovatelnost objektivního měření refrakce autorefraktometrem s metodou subjektivního měření refrakce, kde byl autorefraktometr vyhodnocen jako přístroj s vyšší opakovatelností než metoda subjektivního měření refrakce. Průměrný rozdíl sférického ekvivalentu autorefraktometru byl +0,01 D a jeho meze 95% konfidenčního intervalu byly od -0,36 D do +0,40 D. Při porovnání s mými

výsledky, viz tabulka č. 2, může být větší rozdíl konfidenčního intervalu sférické složky u mého objektivního měření autorefraktometrem vysvětlen možným navozením akomodace při pohledu do přístroje. Ve studii byl použit jiný typ autorefraktometru, u kterého je možné, že měl lepší systém pro uvolnění akomodace. I tak se ostatní hodnoty k sobě blíží a lze tedy říci, že objektivní měření refrakce autorefraktometrem můžeme považovat za spolehlivou metodu a jeho opakovatelnost je vysoká.

Ze studie [27], která porovnávala přesnost, opakovatelnost a míru navození přístrojové myopie při měření objektivní refrakce na aberometru a autorefraktometru vyplývá, že přesnost, opakovatelnost měření a míra navozené přístrojové myopie je stejná u obou přístrojů. Lze tedy říci, že opakovatelnost měření objektivní refrakce aberometrem je stejně dostatečná jako u autorefraktometru. Z mých výsledků vyplývá, že opakovatelnost aberometru v oblasti měření 5 mm je vyšší než opakovatelnost měření na autorefraktometru, což také potvrzuje studie [28].

3.3.2 Porovnání přístrojů

Při analýze výsledků byly zjištěny statisticky významné odchylky od měření skiaskopem pouze u aberometru (a to při měření sféry i cylindru). Při vyhodnocení jejich klinické významnosti je však třeba přihlídnout k jejich skutečné velikosti a též k výsledkům Bland-Altmanovy analýzy, která udává meze, v nichž se oba přístroje (autorefraktometr a aberometr) ve většině případů liší. Průměrné rozdíly a jejich směrodatné odchylky jsou shrnuty v tabulce č. 9, 95% konfidenční intervaly Bland-Altmanovy analýzy prezentuje tabulka č. 10.

Předpoklad, že přístroje určené k objektivnímu měření refrakce budou vykazovat sférické hodnoty posunuté do záporných hodnot oproti skiaskopii (z důvodů zapojení akomodace a navození přístrojové myopie) se potvrdil jen u aberometru (statisticky významný rozdíl oproti skiaskopii je 0,19 D). Vzhledem k velikosti není významná klinicky. Původní předpoklad tedy nebyl potvrzen. Autorefraktometr a aberometr vykazují hodnoty cylindrů posunuté v průměru o 0,06 D směrem do záporné hodnoty oproti skiaskopii. Z klinického hlediska je tento průměrný rozdíl nevýznamný, statisticky se ukázal jen v případě aberometrie.

	POROVNÁNÍ PŘÍSTROJŮ			
	Skiaskop vs. Autorefraktometr		Skiaskop vs. Aberometr	
	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka	Průměrný rozdíl	Směrodatná odchylka
Sféra [D]	0,01	0,49	0,19	0,35
Cylindr [D]	0,06	0,27	0,06	0,20
Osa [°]	7,98	28,82	-0,47	16,83

Tabulka č. 9 – Souhrn průměrného rozdílu a směrodatné odchylky

Autorefraktometr vykazuje průměrné rozdíly statisticky nevýznamné, nicméně rozptyl dat Bland-Altmanovy analýzy udává hodnoty poněkud vyšší oproti srovnání skiaskopu a aberometru. Tabulka č. 10 představuje meze 95% konfidenčního intervalu. Zejména rozsah konfidenčního intervalu u měření sféry se u Bland-Altmanovy analýzy blíží k hranici klinické akceptovatelnosti $\pm 1,00$ D. Přes statisticky významný rozdíl se tedy se skiaskopickými výsledky více shodují údaje z aberometru, než údaje z autorefraktometru. Srovnání metod objektivního měření refrakce v oblasti měření os cylindru již nevykazuje tak přesnou shodu, jako u sférické a cylindrické složky, obdobně jako u hodnocení opakovatelnosti. Zde jsou meze 95% konfidenčního intervalu široké, navíc jsou meze intervalu při srovnání skiaskopu s autorefraktometrem skoro dvojnásobné oproti mezím intervalu při srovnání skiaskopu s aberometrem. Z těchto výsledků lze usoudit, že aberometr se i v tomto případě blíží svými hodnotami více ke skiaskopii a je tedy přesnější než autorefraktometr. Vliv na tyto výsledky může mít také opakovatelnost měření, která byla jako nejhorší vyhodnocena právě u autorefraktometru, a to zejména ve stanovení velikosti cylindrické složky a její osy. Rozborem grafů závislosti měření rozdílu osy cylindru na průměrné hodnotě cylindru je vidět, že rozptyl dat je vysoký zejména pro nízké hodnoty cylindru. Pro vysoké hodnoty jsou rozdíly minimální. Závislost rozdílu na průměrné hodnotě sledované veličiny, reprezentovaná korelačním koeficientem r a regresní přímkou, je minimální. Vyšších hodnot závislosti dosahuje pouze v případě cylindrické složky. Regresní přímka u cylindrické složky znázorňuje, že s rostoucí velikostí cylindru jsou údaje o cylindrické složce z autorefraktometru a aberometru posunuty více k záporným hodnotám (tj. velikost změřeného záporného cylindru je větší) oproti skiaskopickým výsledkům. Při hodnotách cylindru do asi $-0,50$ D vykazují podle regresní přímky uvedené přístroje cylindry o menší velikosti než skiaskop. Avšak u vysokých cylindrů je naměřených hodnot méně, což může zkreslovat výsledky.

	Meze 95% konfidenčního intervalu			
	skiaskop vs. autorefraktometr		skiaskop vs. aberometr: 5 mm	
sféra [D]	-0,94	+0,97	-0,50	+0,88
cylindr [D]	-0,47	+0,59	-0,33	+0,46
osa [°]	-48,51	+64,46	-33,46	+32,52

Tabulka č. 10 – Souhrn 95% konfidenčního intervalu

Hodnoty, které se výrazněji odchylovaly v grafech ve sférické složce, mohou být opět způsobeny navozenou akomodací a přístrojovou myopií. Odchyly hodnot u cylindrických složek, mohou být způsobeny náhodnými chybami.

Podle studie [1], která porovnávala objektivní měření refrakce pomocí skiaskopu a autorefraktometru se subjektivní metodou měření refrakce bez užití cykloplegie vyplývá, že autorefraktometr přeměřoval více do záporných hodnot než subjektivní refrakce a skiaskopie, což může být způsobeno proximální akomodací a přístrojovou myopií, která se navozuje při pohledu do přístrojů. Ze studie je dále patrné, že měření objektivní refrakce pomocí skiaskopu je až o 0,50 D přesnější než měření objektivní refrakce pomocí autorefraktometru. Navíc se hodnoty měření ze skiaskopu více shodují s hodnotami získanými ze subjektivní refrakce. Odchyly měření mezi jednotlivými metodami mohou být odlišné a mohou souviset se šíří zornice. Subjektivní refrakce je měřena při normálních denních podmínkách, kdy je zornice přes den zúžena. Naopak během měření skiaskopem je potřeba, aby zornice byla širší, tím bude měření přesnější, ale naopak může být ovlivněno větším výskytem aberací. Z další studie [23], která porovnávala objektivní měření refrakce pomocí skiaskopu s autorefraktometrem opět vyplývá, že metoda skiaskopie je brána jako spolehlivá metoda určení refrakční vady a je brána jako zlatý standard. Metoda autorefraktometrie je dobrá screeningová metoda. Z výsledků studií vyplývá, že se hodnoty zjištěné z objektivní refrakce skiaskopem blíží k hodnotám stanoveným ze subjektivní refrakce. Lze tedy očekávat, že pokud se výsledky získané z mého měření na aberometru blíží k hodnotám skiaskopie, pak se tato metoda se svými hodnotami z objektivního měření refrakce více blíží k hodnotám ze subjektivního měření refrakce než hodnoty získané z autorefraktometru.

ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena na dvě stěžejní části, a to na teoretickou a experimentální část. Teoretická část diplomové práce obsahuje popis dioptrického stavu oka a jeho základních refrakčních vad, které nejčastěji postihují oko. Stěžejní teoretická část je zaměřena na popis přístrojů sloužících k změření objektivní refrakce, kde jsou důkladně rozebrány skiaskop, refraktometr a autorefraktometr. Skiaskop je členěn na několik podkapitol, které se zabývají obecnou konstrukcí, principem a užitím metody skiaskopie. Kapitola refraktometry je členěna na objektivní a subjektivní refraktometry a jejich důkladný popis. A v kapitole autorefraktometry je popsán jeho princip a členění.

Experimentální část diplomové práce je věnována popisu provedeného výzkumu na srovnání vybraných metod objektivního měření refrakce a jejich opakovatelnost. Do výzkumu bylo zařazeno 52 probandů. Každý z probandů byl dvakrát změřen skiaskopem, autorefraktometrem a aberometrem. U každého z přístrojů byla porovnávána opakovatelnost na základě dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu a analyzována Bland-Altmanovou metodou. Z výsledků vyplývá, že všechny zkoumané přístroje s přihlédnutím ke klinickému užití (podklad pro následnou subjektivní refrakci) mají akceptovatelnou opakovatelnost. Nejvyšší opakovatelnost měly přístroje skiaskop a aberometr v oblasti měření 5 mm zornice. Naopak nižší opakovatelnost měly autorefraktometr a aberometr pro oblast měření 3 mm. Dále byl skiaskop srovnáván s autorefraktometrem a aberometrem. V obou případech byla shoda měření zhodnocena jako klinicky akceptovatelná s tím, že výstupy z aberometru se více blíží skiaskopu. Pokud budeme uvažovat výstupy z objektivního měření pouze jako orientační podklad pro následnou subjektivní refrakci, je shoda v obou případech klinicky akceptovatelná.

Závěrem lze shrnout, že všechny vybrané přístroje sloužící k objektivnímu měření refrakce vykazují přijatelnou opakovatelnost. Aberometr se svou vyspělou technologií patří ke špičkám na trhu. Manipulace s ním je jednoduchá a vyšetření je poměrně rychlé. Bohužel cena je oproti autorefraktometrům vyšší. Autorefraktometr je nenáročný na obsluhu, měření je rychlé (několik sekund) a jeho nižší cena oproti aberometru je důvodem jeho větší rozšířenosti na trhu, zejména v očních optikách. Navíc může disponovat keratometrem a tonometrem. Z výsledku však vyplývá,

že v oblasti sledovaných dioptrických hodnot vykazuje horší opakovatelnost a srovnatelnost se skiaskopem. Oba dva přístroje však mohou být ovlivněny navozenou přístrojovou myopií a akomodací. Vzhledem k tomu, že výsledky jsou pouze orientační podklad pro subjektivní refrakci, lze shodu se skiaskopem, který dobře koreluje se subjektivní refrakcí, považovat za akceptovatelnou.

Nesmíme ovšem zapomenout, že při pohledu do přístrojů sloužící k změření objektivní refrakce se může u vyšetřovaného navodit akomodace a přístrojová myopie. Na to si musíme dávat pozor převážně u mladých hypermetropů. Skiaskop je přístroj, který patří svou vysokou opakovatelností a srovnatelností hodnot získaných z měření objektivní refrakce k subjektivní refrakci za velice kvalitní metodu. Jeho pořizovací cena je oproti automatickým přístrojům minimální a minimalizuje riziko navození proximální akomodace a s ní spojené přístrojové myopie. Avšak doba měření objektivní refrakce metodou skiaskopie trvá déle, zatěžuje více vyšetřovaného a hlavně klade vysoké nároky na praxi vyšetřujícího. Také je třeba, aby zornice vyšetřovaného byla rozšířená, protože při zúžené zornici se obtížněji provádí vyšetření. Na druhou stranu při širší zornici se může více projevit nehomogenita zakřivení rohovky směrem k periférii.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JORGE J., QUEIRÓS A.: *Retinoscopy/Autorefracton: Which Is the Best Starting Point for a Noncycloplegic Refraction?*, Zdroj: *Optometry and Vision Science*: January 2005, Vol. 52., No. 1, s. 64 – 68, ISSN 10405488
- [2] FUKA J., HAVELKA B., a kol.: *Optika a atomová fyzika, I. Optika – fyzikální kompendium pro vysoké školy, IV. díl*, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961
- [3] MICHAELS DAVID D.: *Visual Optics and Refraction, a Clinical Approach*, The C. V. Mosby Company, 1985, 3rd edition, ISBN 0-8016-3504-7
- [4] Co je to akomodace oka?
(<http://www.videni.cz/oko/18-akomodace>)
- [5] TUNNACLIFFE A.H.: *Introduction to visual optics*, England: Godmersham - ABDO College, 1993, 4th edition, ISBN 0 9009 928 3
- [6] TING P.W.K., SCHMID K.L. a kol.: *Objective real-time measurement of instrument myopia in microscopists under different viewing conditions*, Zdroj: *Vision Research* 46, Jule: 2006, s. 2354 – 2362, Pergamon Elsevier science LTD, ISSN 00426989
- [7] CERVINO A., HOSKING S.L. a kol.: *Wavefront analyzers induce instrument myopia*, *Journal of Refractive Surgery*: 2006, Vol. 22, s. 795-803, ISSN 1081-597X
- [8] GROSVENOR T.: *Primary Care Optometry*, Butterworth-Heinemann Elsevier: 2007, St. Louis, 5th edition, ISBN 13: 978-0-7506-7575-8
- [9] ROZSÍVAL P., a kol.: *Oční lékařství*, Nakladatelství Galén, 2006, Praha, ISBN 80-7262-40408
- [10] MOORE B.D., AUGSBURGER A.R., a kol.: *Care of the Patient with Hyperopia*, American Optometric Association, 1997, St. Louis, Revised 2008, MO 63141-7881 (<http://www.aoa.org/documents/optometrists/CPG-16.pdf>)
- [11] RUTRLE M.: *Přístrojová optika*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, Brno: 2000, ISBN 80-7013-301-5
- [12] HORNIG M., HARMS K-R.: *Die Praxis der Skiaskopie*, DOZ-Verlag, Heidelberg: 2011, ISBN 978-3-942873-03-1

- [13] CORBOY J.M., NORATH D.J.: *The Retinoscopy Book – An Introductory Manual for Eye Care Professionals*, SLACK Incorporated, USA: 2003, 5th edition, ISBN 1-55642-623-2
- [14] ELLIOTT D.J.: *Clinical Procedures in Primary Eye Care*, Butterworth-Heinemann Elsevier: 2007, 3rd edition, ISBN 978-0-7506-8896-3
- [15] ROSENFELD M., LOGAN N., a kol.: *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*, Elsevier Health Sciences: 2009, 2nd edition, ISBN 978-0-7506-8778-2
- [16] KOSLOWE K.C.: *The Dynamic Retinoscopies*, zdroj: Journal of Behavioral Optometry: 2010, Vol. 21, Issue 3, s. 63-67, ISSN 10458395
- [17] PRESS L.J., MOORE B.D.: *Clinical Pediatric Optometry*, Butterworth-Heinemann Elsevier: 1993, ISBN 0-7506-9080-1
- [18] FRANKLIN A.: *Subjective Refraction: Principles and Techniques for the Correction of Spherical Ametropia*.
<https://www.us.elsevierhealth.com/media/us/samplechapters/9780750688895/9780750688895.pdf>
- [19] POLÁŠEK J., ZOUBEK R., a kol.: *Technický sborník oční optiky*, Státní nakladatelství technické literatury, Oční optika, Praha: 1974, Chybí ISBN
- [20] AUTOREFRAKTOMETR
<http://www.cocky.cz/autorefraktometr.html>
- [21] KO D.S., LEE B.H.: *Optics of Refractometers for Refractive Power Measurement of the Human Eye*, Zdroj: Journal of the Optical Society of Korea: 2006, Vol. 10, No. 4, s. 145 – 156, ISSN: 1226-4776
- [22] PORTER J., HOPE M.Q. a kol.: *Adaptive Optics for Vision Science – Principles, Practices, Design, and Applications*, Wiley – Interscience, John Wiley & Sons, Hoboken: 2006, ISBN: 978-0-471-67941-7
- [23] POKUPEC R., MRAZOVAC D. a kol.: *Comparison Between Refractometer and Retinoscopy in Determining Refractive Errors in Children – False Doubt*, Zdroj: Collegium Antropologicum: 2013, Vol. 37, s. 205 – 208, ISSN: 0350-6134
- [24] SPOLEČENSTVO ČESKÝCH OPTIKŮ A OPTOMETRISTŮ – Zásady posuzování kvality práce očního optika (zhotovení brýlí jako korekční pomůcky), Praha: 2006
<http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/ps10/optika/web/pages/15-norma.html>

- [25] ROSENFELD M., CHIU N.N.: *Repeatability of subjective and objective refraction*, Zdroj: Optometry and Vision Science: 1995, 72(8): s. 577-579, ISSN: 10405488
- [26] BULLIMORE M.A., FUSARO R.E.: *The repeatability of automated and clinician refraction*, Zdroj: Optometry and Vision Science: 1998, 75 (8): s. 617 – 622, ISSN: 10405488
- [27] SALMON T.O., WEST R.W., a kol.: *Measurement of refractive errors in young myopes using the COAS Shack-Hartmann aberrometer*, Zdroj: Optometry and Vision Science: 2003, 80 (1): s. 6 – 14, ISSN: 10405488
- [28] COOPER J., CITEK K., a kol.: *Comparison of refractive error measurements in adults with Z-View aberrometer, Humphrey autorefractor, and subjective refraction*, Zdroj: Optometry-Journal of the American Optometric Association: 2011, 82 (4): s. 231 - 240, ISSN: 15291839

OBRÁZKY

Obr. 13 – Schéma elektrického skiaskopu (upraveno podle):

<http://www.opthalworld.de/cosmoshop/pix/a/z/002004/Beta200%20Skiaskop%20Schema.jpg>

Obr. 16 – Fixační karty s centrálním otvorem

<http://eyedolatra.blogspot.cz/2014/07/investigating-visual-system-with-mem.html>

Obr. 17 – Harmonova vzdálenost

<http://jplagaceod.files.wordpress.com/2012/07/harmon23.png>

Obr. 18 – Wolffovy hůlky

<http://optometrytimes.modernmedicine.com/optometrytimes/news/vision-therapy-top-10-must-have-list>

Obr. 19 – Jednoduchý optometr

<http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/vlpimages/images/img7546.jpg>

Obr. 36 – Shack-Hartmanův wavefront senzor

http://www.cvs.rochester.edu/williamslab/r_shackhartmann.html