

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2020

**MATĚJ
LANGHAMMER**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu

**Comparsion of determination of objective and subjective refraction of
astigmatism**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Matěj Langhammer

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Hlaváček

Kladno 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Langhammer** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **474294**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of objective and subjective determination of astigmatism

Pokyny pro vypracování:

Hlavním cílem teoretické části je popis principu objektivního (přistrojového) a subjektivního určení astigmatismu v praxi optometristy. Dále budou popsány refrakční vady se zvláštním důrazem na astigmatismus, jeho typy a prevalenci v populaci. Student se také bude věnovat popisu onemocnění keratokonus, pro které je výskyt vysokého astigmatismu charakteristický. V závěru praktické části práce budou uvedeny možnosti řešení astigmatismu (KČ, brýle, refrakční operace) a krátké shrnutí výsledků vybraných studií, které porovnávaly rozdíly objektivního a subjektivního určení refrakce. Cílem experimentální části práce bude porovnání výsledků objektivního a subjektivního určení astigmatismu. Výsledky budou následně statisticky zhodnoceny a hlavním výstupem bude zodpovězení otázky, zda určení subjektivní hodnoty astigmatismu přináší významné zlepšení vidění oproti objektivnímu měření.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M., Borish's Clinical Refraction, ed. 2, Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2006, 1255 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
- [3] VLKOVÁ, E., VLK, F., PITROVÁ, Š., Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník, ed. 1, Brno: František Vlček, 2008, 607 s., ISBN 978-802-3989-069

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jakub Hlaváček

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **10.02.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**



doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.
podpis vedoucí(ho) katedry



prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Název bakalářské práce: Srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu

Abstrakt:

Tato práce popisuje možnosti objektivního (přístrojového) a subjektivního vyšetření astigmatismu v praxi optometristy. Nejdříve popisují stručně anatomii oka s důrazem na rohovku, její vrstvy a inervaci. Dále popisují refrakční vadu astigmatismus, vysvětlují její typy, příznaky a výskyt. Také se zabývám korekcí astigmatismu, včetně korekce pomocí kontaktních čoček. V práci dále popisují nemoci ovlivňující astigmatismus, především onemocnění zvané keratokonus, pro který je výskyt astigmatismu typický. V závěru teoretické části práce se zabývám vyšetřením astigmatismu, a to jak pomocí objektivní, tak subjektivní refrakce. Dále popisují princip autorefraktometru, možnosti vyšetření rohovky pomocí topografu a skiaskopické vyšetření refrakčního stavu oka. Dále znázorňují možnosti subjektivního vyšetření astigmatismu pomocí Jacksonova zkříženého cylindru a pomocí metody zamlžení. Součástí kapitoly jsou také typy optotypů, které se pro toto vyšetření používají.

V praktické části mé práce zprvu vysvětlují, jakým stylem probíhalo vyšetření respondentů pro tuto bakalářskou práci. Poté se zaměřuji na analýzu nasbíraných dat, kde nejdříve představuji výsledky pro pohlaví a věk. Ohledně naměřených hodnot analyzuji prevalenci hodnot síly a osy astigmatismu, rozdílů těchto hodnot mezi objektivní a subjektivní refrakcí a jejich průměrnou odchylku mezi sebou.

Klíčová slova:

Rohovka, astigmatismus, refrakce, Jacksonův zkřížený cylindr, keratokonus, autorefraktometr

Theses's title: Comparison of determination of objective and subjective refraction of astigmatism

Abstract:

This work describe the accuracy of objective and subjective examination of astigmatism in optometric practice. In first part I briefly describe the eye anatomy with an emphasis on the cornea, its layers and innervation. Astigmatism and its types are described as a refractive error. Further I introduce a special kind of disease (keratoconus) with high incidence of irregular astigmatism. Objective (topograph, skiascopy) and subjective (Jackson's cross cylinder, clock dial test) examinations of astigmatism are described in the end of teoretical part. Objective description includes information about autorefraktometer and principle of measurement is briefly descibed as well. I also describe the device of autorefractometer and the principles on which it is based.

In the practical part I describe methodology that includes information about tested group and measurement technique that has been used. Further I analyse collected data and present the results for gender and age. Finally, I provide information about prevalence of astigmatism in tested group and compare differences between subjective and objective assessment of astigmatic power and axis.

Key words:

Cornea, astigmatism, refraction, Jackson's cross cylinder, keratoconus, autorefractor

PODĚKOVÁNÍ

Na prvním místě bych rád poděkoval vedoucímu této práce, Mgr. Jakubu Hlaváčkovi, za pomoc a cenné rady při psaní této práce. Dále bych rád bych poděkoval své přítelkyni, která mi byla oporou po celou dobu psaní této práce a pomáhala mi se zhotovením. V neposlední řadě bych rád poděkoval přátelům a rodině za to, že mě svými neustálým připomínáním motivovali ke psaní.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu*“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Přehled současného stavu	1
1.2	Cíle práce, motivace a hypotézy	2
1.2.1	Motivace.....	2
1.2.2	Hypotézy	2
2	Anatomie oka	3
2.1	Rohovka	3
2.1.1	Hodnoty.....	3
2.1.2	Vrstvy	3
2.1.3	Inervace	4
2.1.4	Výživa	5
2.2	Čočka	5
2.2.1	Hodnoty.....	5
2.2.2	Akomodace	5
2.3	Sítnice	6
2.3.1	Fotoreceptory	6
2.3.2	Makula, fovea a foveola.....	6
3	Astigmatismus.....	7
3.1	Klinické příznaky.....	7
3.2	Dělení astigmatismu	8
3.2.1	Podle tvaru rohovky	8
3.2.2	Podle příčiny	9
3.3	Výskyt astigmatismu.....	9
3.4	Korekce astigmatismu.....	9
3.4.1	Korekce pomocí kontaktních čoček.....	10

3.5	Nemoci ovlivňující astigmatismus.....	12
3.5.1	Keratokonus	12
3.5.2	Keratoglobus	14
3.5.3	Cornea plana	14
3.5.4	Megalocornea.....	14
4	Vyšetření astigmatismu	15
4.1	Objektivní refrakce	15
4.1.1	Optometr	15
4.1.2	Autorefraktometer.....	16
4.1.3	Topografie rohovky.....	18
4.1.4	Skioskopie	18
4.2	Subjektivní refrakce	20
4.2.1	Zraková ostrost.....	20
4.2.2	Optotypy.....	21
4.2.3	Zamlžení.....	22
4.2.4	Jacksonův zkřížený cylindr.....	23
5	Experimentální část	26
5.1	Metodika měření	26
5.1.1	Anamnéza.....	26
5.1.2	Objektivní refrakce	26
5.1.3	Subjektivní refrakce	27
5.1.4	Dokorigování	28
5.2	Hodnocení výsledků	29
6	Diskuse	40
7	Závěr.....	42
	Seznam použité literatury	43
	Seznam obrázků.....	46

Seznam grafů a tabulek.....	47
Seznam použitých zkratk	47

1 Úvod

K zpracování tématu „Srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu“ mě vedl fakt, že jsem se při své praxi na různých pracovištích setkal s ne zcela správným stanovením a postupem astigmatické korekce na vyšetřovaném. Jednalo se převážně o vynechávání pomůcek a testů, které jsou při určování astigmatismu důležité. Kladl jsem si tedy otázky: Je opravdu důležité dbát na co nejpřesnější korekci astigmatismu? Jak velký vliv na vidění má špatně korigovaný astigmatismus? Jsou na trhu dostatečné prostředky na to, aby se dal astigmatismus přesně určit? Jaké jsou možnosti určení astigmatismu? Potřeba znát odpovědi mě vedla k výběru tohoto tématu.

V bakalářské práci bych se chtěl zaměřit na základy anatomie oka, a to zejména rohovky a čočky, které mají nejvýznamnější vliv na vznik astigmatismu. Dále popíši jeho typy, výskyt, možnosti korekce včetně kontaktních čoček a nemoci, které jej způsobují. V neposlední řadě se zaměřím na objektivní a subjektivní vyšetření astigmatismu, principy přístrojů a na postupy jednotlivých testů.

V druhé polovině práce zanalyzuji naměřené hodnoty. Budu se zabývat hodnotami síly a osy astigmatismu, které nám určí autorefraktometr a které naměřím pomocí Jacksonova zkříženého cylindru. Mimo jiné bych rád zjistil, v jakých hodnotách se nejčastěji astigmatismus objevuje a které hodnoty jsou spíše vzácnější.

1.1 Přehled současného stavu

V dnešní době se často setkávám s postupem, kdy vyšetřující nepraktikuje správný postup vyšetření astigmatismu. Často se spokojí s hodnotou, kterou určí objektivní refrakce. Tuto hodnotu si však již spousta vyšetřujících nepřeměřují a nesnaží se jí doladit do co nejpřesnějších hodnot. Vzhledem k obecně horší snášenlivosti astigmatické korekce si myslím, že je zapotřebí klientovi tuto hodnotu co nejpřesněji naměřit, aby mu korekce co nejvíce vyhovovala.

1.2 Cíle práce, motivace a hypotézy

Mým hlavním cílem je popsat princip objektivního a subjektivního určení astigmatismu v praxi optometristy a poukázat na to, proč je důležité nebrat výsledky z objektivní refrakce jako konečné. Cílem je sepsat přístroje pro měření, jakými jsou například autorefraktometr či skiaskop, ale také pomůcky pro měření astigmatismu s důrazem na Jacksonův zkřížený cylindr a testy spojené s ním. Dále bych chtěl popsat refrakční vadu astigmatismus, jeho typy, výskyt, příznaky a korekci. Cílem je také popsat onemocnění, které jsou pro výskyt astigmatismu charakteristické, převážně keratokonus.

1.2.1 Motivace

Mojí motivací pro sepsání této práce byl fakt, že jsem se setkal s optometristy, kteří dle mého správně nekorigovali astigmatickou vadu. Jednalo se především o vynechávání jednotlivých testů a pomůcek, které jsou nezbytné pro co nejpřesnější korekci astigmatismu. Rád bych poukázal na důležitost pokračovat v subjektivní refrakci a nespokojit se s hodnotami, které nám určí přístroje.

1.2.2 Hypotézy

Pro moji práci jsem si zvolil 2 hypotézy, které bych chtěl pomocí naměřených výsledků v praktické části této bakalářské práce potvrdit. Mé hypotézy zní:

1. Hodnota torické síly se bude za užití Jacksonova zkříženého cylindru lišit, oproti hodnotám z autorefraktometru, alespoň o 0,50 cylD.
2. Hodnota naměřené osy pomocí Jacksonova zkříženého cylindru se, oproti hodnotám z autorefraktometru, bude lišit alespoň o 10°.

2 Anatomie oka

Oko je párový orgán, který nám umožňuje vnímat světlo a barvy. Zrakový orgán se nachází v očnici a je tvořen oční koulí a přídatnými očními orgány (adnexa). Díky očím vstřebáváme největší procento informací. Tuto informaci dále odvede zrakový nerv, vystupující ze zadní části bulbu, pomocí zrakové dráhy až do centra. [1, 2]

2.1 Rohovka

Rohovka (cornea) je za fyziologických podmínek bezbarvá, transparentní, elastická a avaskulární tkáň sférického tvaru, která je lehce vyklenuta dopředu. Společně se sklérou tvoří pevný obal oka. [3, 4, 5]

2.1.1 Hodnoty

Na předním segmentu oka zaujímá rohovka 1/6 povrchu. Její horizontální a vertikální hodnoty se od sebe lehce liší (horizontální 11,5-12 mm, vertikální 11 mm). Centrální fyziologická tloušťka rohovky je 550 mikrometrů, směrem do periferie se ztlušťuje a dosahuje tloušťky 750 až 900 mikrometrů. Rohovka má nejvyšší lomivý účinek, jenž činí 43 Dpt, z optického hlediska je tedy nejdůležitějším refrakčním prostředím. Zevně hraničí se vzduchem (index lomu 1,0) a vnitřně s komorovou vodou (index lomu 1,336), což má za následek zvýšení její lomivé síly. [1, 2, 3, 4, 5]

2.1.2 Vrstvy

Rohovku rozdělujeme do pěti základních vrstev: epitel, Bowmanova membrána, stroma, Descemetova membrána a endotel. [2, 3, 4, 6]

Epitel

Epitel je tvořen v podobě nekeratinizujícího skvamózního epitelu a je schopný rychlé regenerace. Regenerace epitelu probíhá v průměru každých 7 dní díky schopnosti limbálních buněk. Je tvořen čtyřmi až šesti vrstvami a zaujímá 10% rohovkové tloušťky. Na povrchu epitelu nalezneme mikroklky, které jsou zodpovědné za přilnutí mucinu ze slzného filmu. Povrch epitelu brání rohovku před vniknutím nežádoucí infekce. [2, 4]

Bowmanova membrána

Na tuto tenkou bazální membránu (8-12 mikrometrů) nasedají bazální buňky skvamózního epitelu rohovky. Dojde-li k porušení membrány, přeruší se schopnost regenerace. Jako následek této neschopnosti se vytvoří rohovková jizvy. Základní vlastnosti bazální membrány jsou: oddělení epitelu od stromatu a podílení se na uspořádání bazální vrstvy epitelových buněk. [2, 4, 7]

Stroma

Stroma je tvořeno velkým množstvím kolagenních fibril usprádaných do 300-500 rovnoběžných lamel, které jsou produkovány fibroblasty (keratocyty). S 90 % se jedná o nejtlustší vrstvu rohovky. Oproti epitelu má stroma velmi malou schopnost regenerace. [2, 4]

Descemetská membrána

Pevná vrstva tvořena mřížkou kolagenních fibril. Regenerace zde probíhá pomocí funkčních endotelových buněk. Se stoupajícím věkem dochází k její ztlušťování. [2, 4]

Endotel

Vrstva o tloušťce 4-6 mikrometrů tvořena přibližně 400.000 hexagonálními buňkami. Endotel je zodpovědný za průhlednost a maximální hydrataci. Díky této schopnosti může endotel udržovat stálou optickou mohutnost rohovky. U zdravého endotelu se pohybuje buněčná hustota okolo 2600-3000 buněk/mm². Vzhledem k tomu, že tyto buňky prakticky nemají schopnost regenerace, s rostoucím věkem jejich počet klesá. Prostor po odumření buněk vyplňují stávající buňky posunem a zvětšením svého objemu. [1, 2, 4]

2.1.3 Inervace

Inervace probíhá pomocí trojklaného nervu cestou *nervus ophthalmicus*, *n. nasociliaris* a *nn. ciliares breves*. Senzitivní a sympatická (cestou *ganglion cervicale superior*) inervace vstupují do rohovky v oblasti korneosklerálního limbu. Konečná větev je rozdělena na subepitelový a stromální plexus. [1, 2, 4]

Rohovka má nejvíce nervových zakončení na mm² a je nejcitlivější tkání v celém lidském těle. Při podráždění tkáně dojde k vyvolání mrkacího reflexu. Naruší-li se rohovkový epitel, obnaží se senzitivní zakončení trojklaného nervu a nastupuje intenzivní bolest, kterou doprovází reflexní slzení a neovladatelné sevření víček (blefarospasmus). [1, 2, 4]

2.1.4 Výživa

Rohovka je vyživována cestou výživných metabolitů (aminokyseliny a glukóza) a zásobována kyslíkem třemi cestami:

- Difuzí z kapilár limbu.
- Difuzí a aktivním transportem z komorové tekutiny (glukóza).
- Difuzí z prekorneálního slzného filmu (kyslík). [2, 4]

2.2 Čočka

Čočka (lens) je avaskulární a transparentní tkáň bikonvexního tvaru, která primárně zajišťuje akomodaci. Její další funkcí jsou refrakce a udržování své vlastní transparentnosti. Je to tkáň bez inervace a přímého cévního zásobení. Nachází se mezi pigmentovým listem a přední sklívcovou membránou. [2, 3, 4, 5]

Skládá se z pouzdra, epitelu, kortexu a jádra. Čočka je umístěna v pouzdře a její tvar se mění na závislosti tahu vláken závěsného aparátu. Čočka je fixována pomocí zonulárních fibril (upínající se v oblasti před a za ekvátorem čočky), které vycházejí z výběžku řasnatého tělíska. Na přední část pouzdra čočky nasedají epitelové buňky kubického tvaru. Jsou uspořádané do jedné řady a metabolicky jsou velice aktivní. [2, 3, 4, 5]

2.2.1 Hodnoty

Během narození má čočka hmotnost 90 mg, v dospělosti dosahuje hmotnosti 255 mg. V neakomodovaném stavu je průměr čočky 9 mm a tloušťka 4-5 mm. Optická mohutnost čočky zaujímá 19 D, což zaujímá přibližně 1/3 optické mohutnosti celého oka. Poloměr zakřivení přední plochy bez akomodace je 10-11 mm, zadní plocha má poloměr zakřivení 6 mm. Během stárnutí dochází ke zmenšení poloměru zakřivení a zesílení kortikální části. [2, 3, 4, 5]

2.2.2 Akomodace

Jak již bylo řečeno, jedna ze základních funkcí čočky je akomodace. Je to schopnost oka změnit optickou mohutnost a zaostřit na předměty mezi dalekým bodem (punctum remotum) a blízkým bodem (punctum proximum) tak, aby se zobrazily ostře na sítnici. Akomodace je automatický reflex oka, avšak ji lze ovládat také vůlí. [2, 5]

Vlastní akomodaci můžeme rozdělit na 2 složky – aktivní (činnost ciliárního svalu) a pasivní (čočka, závěsný aparát a sklivec). Účinnost akomodace nejvíce ovlivňuje ciliární sval a schopnost čočky měnit svůj tvar. Při dívání na vzdálené předměty je akomodace a zakřivení menší, než je tomu u sledování obrazu na blízko, kdy je akomodace a zakřivení čočky větší. [2, 5, 8, 9]

2.3 Sítnice

Sítnice (retina) je jemná, průhledná blána na vnitřní stěna oka, která je citlivá na světlo. Dělíme ji na zadní část (pars optica retinae) pokrývající celý vnitřní povrch cévnatky a obsahující světločivé buňky, a přední část (pars caeca retinae), která pokrývá část řasnatého tělesa a zadní část duhovky. Tyto dvě hlavní části jsou od sebe odděleny zubovitou linií ora serrata. Sítnice sousedí na vnitřní straně se sklivcem a na zevní straně s cévnatkou, ke které adheruje v místě ora serrata a k okraji zrakového terče. [3, 4, 5]

2.3.1 Fotoreceptory

Fotoreceptory jsou základem optické části sítnice, které po podráždění zahajují proces vidění. Mezi fotoreceptory řadíme čípky a tyčinky, které jsou zanořeny do pigmentového epitelu. Čípky jsou uspořádány v oblasti nejostřejšího vidění, kterému říkáme žlutá skvrna. Čípky jsou zodpovědné za barevné vidění a jsou používány při vidění za světla. V periférii naopak nalezneme tyčinky, které jsou zodpovědné za vidění při špatných světelných podmínkách (šero a noc). [3, 5]

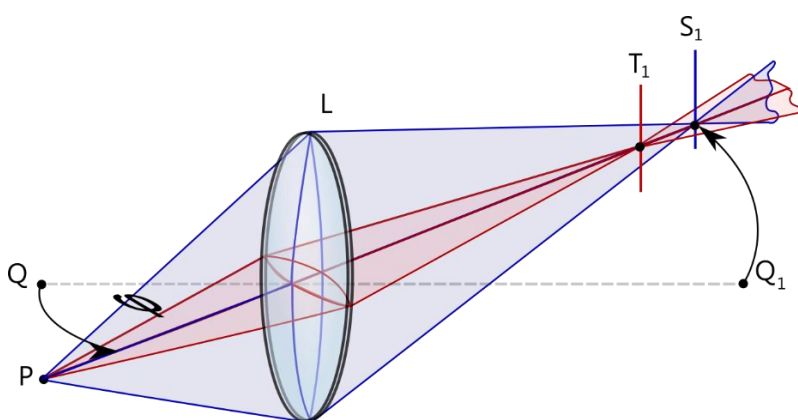
2.3.2 Makula, fovea a foveola

Makula (macula lutea) – neboli žlutá skvrna – je místo nejostřejšího vidění na sítnici. Díky schopnosti žluté skvrny můžeme rozeznávat detaily (např. číst). Uprostřed Makuly najdeme prohlubeň, ve kterém se nachází fovea centralis o průměru 1,5 mm. Ve středu prohlubně nalezneme foveolu o průměru 0,35 mm. Každý čípek v místě centrální svazku má svojí bipolární a gangliovou buňku, a tak se jedná o místo s nejvyšší rozlišovací schopností. [2, 5]

3 Astigmatismus

Astigmatismus je refrakční vada, při které je nepravdělně zakřivená rohovka nebo čočka (případně obojí). Při nepravdělném zakřivení optických ploch nastává, že optický systém oka nemá ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost. Netvoří se tak na sítnici bod, ale tzv. rozptylový kroužek. [2, 3, 4]

Nejčastěji se setkáváme s astigmatismem rohovky, čočkový astigmatismus je naopak vzácnější. Tato refrakční vada je z největší části vrozená. Astigmatismus se však může projevit také při subluxaci čočky, po operacích, zánětech či po úrazech oka. [2, 4, 10]



Obrázek 1: Zobrazení astigmatického oka

3.1 Klinické příznaky

Osoba s astigmatismem se snaží pomocí akomodace posunout refrakci do jedné z rovin fokálních linií. Častěji bývá upřednostňován meridián, který je blíže k emetropii. Pokud má tato osoba stejnou chybu v obou meridiánech, bývá upřednostňován vertikální fokál. [3]

Obecně mají tyto osoby tendenci přivírat víčka a simulovat si tak stenopeickou šterbinu, která odřezává vertikální meridián. Má-li vyšetřovaný šikmé osy, nastává zde snaha horizontalizaci (a vertikalizaci) astigmatismu pomocí náklonu hlavy. Astenopické obtíže se objevují převážně u lidí, u kterých je možnost pomocí akomodačního úsilí přinést výrazné zlepšení – u malých a středních vad, těžký astigmatismus tyto problémy většinou nepřináší. Je-li astigmatismus nekorigovaný či špatně korigovaný, může docházet k bolestem hlavy, podrážděnosti a neurastenii. Osoby, které trpí astigmatismem, si často stěžují, že se jim obraz náhle zamlží a zmizí až po zavření či promnutí očí. [3]

3.2 Dělení astigmatismu

Astigmatismus se dělí podle několika kritérií, které popíšu v následujících odstavcích.

3.2.1 Podle tvaru rohovky

Pravidelný astigmatismus

Jedná se o onemocnění, kde osy, které jsou na sebe vzájemně kolmé ($<20^\circ$), mají největší a nejmenší lomivost. Jestliže se nejstrmější meridián rohovky pohybuje okolo 90° , hovoříme o astigmatismu podle pravidla. Pokud se nejstrmější meridián nachází kolem osy 180° , jedná se o astigmatismus proti pravidlu. Nenalézá se meridián v ani jednom ze zmíněných intervalů, hovoříme o astigmatismu smíšeném. Pravidelný astigmatismus (astigmatismus regularis) dále můžeme rozdělit na: [2, 3, 4, 11]

1. Astigmatismus simplex

Při tomto typu je oko v jedné ose emetropické, v druhé ose ametropické. To znamená, že obraz se v jedné ose nachází na sítnici, v druhé před/za sítnicí. Podle druhu odchylky se jedná o astigmatismus simplex myopicus či astigmatismus simplex hypermetropicus. [2, 3, 4]

2. Astigmatismus compositus

U složeného astigmatismu se obě osy zobrazí buď před sítnicí, nebo za sítnicí. Jedná se tedy o astigmatismus myopický či hypermetropický. [2, 3, 4, 12]

3. Astigmatismus mixtus

Oko se smíšeným astigmatismem má jednu osu před okem a druhou za okem. [2, 3, 4, 12]

Nepravidelný astigmatismus

Nepravidelný astigmatismus nemá na sebe vzájemně kolmé meridiány ($>20^\circ$), a tak ho oproti astigmatismu pravidelnému nelze tak dobře korigovat. Tento druh astigmatismu je charakteristický zhoršeným viděním a představuje jednu z nejvážnějších komplikací rohovkové refrakční chirurgie. [2, 3, 4, 10, 13]

3.2.2 Podle příčiny

Kurvturní astigmatismus

Jedná se nejčastěji o rohovkový astigmatismus. Jedná se o astigmatismus s malým refrakčním stavem ($=0,25$ D). Takto nízký astigmatismus naměříme u většiny vyšetřovaných ve formě přímého fyziologického astigmatismu. Kurvturní získaný astigmatismus může být naměřen u osob po zánětech, po prodělaném traumatu či operaci (katarakta, keratoplastika). V této podobě se objevuje také čočkový astigmatismus, avšak nedosahuje výrazných hodnot – jedná se spíše o kompenzaci astigmatismu rohovkového. [2, 3]

Astigmatismus z decentrace

Tento typ astigmatismu nalzáme u subluxaci čočky, která vzniká po vyklenutí čočkového pouzdra. Větší hodnoty naměříme již při malé decentraci nitroočních implantátů. [2, 3]

Indexový astigmatismus

Indexový astigmatismus vzniká při počínajícím šedém zákalu. Může docházet také k monokulární diplopii či polyplpii. [2, 3]

3.3 Výskyt astigmatismu

Existuje několik studií, kde se zkoumaly změny astigmatismu spojené s věkem. Tyto studie zjistili, že předpoklad astigmatismu podle pravidla klesá s rostoucím věkem, naopak předpoklad astigmatismu proti pravidlu s rostoucím věkem stoupá. Šikmý astigmatismus se dle naměřených výsledků zvyšuje v první dekádě života, po zbytku let zůstává konstantní. Studie však také potvrdili, že tyto změny nejsou nijak markantní. [14, 15]

3.4 Korekce astigmatismu

Malý astigmatismus do $=0,5$ D obvykle nečiní větší problémy. Vždy je ale důležitý individuální přístup, protože u některých osob dojde ke zlepšení vykorigováním i takto nízkého astigmatismu. U těchto osob může dojít také ke zlepšení jejich subjektivních problémů. [3]

Je důležité počítat s tím, že korekce astigmatismu vyvolává meridionální aniseikonii a distorzi binokulárního prostorového vidění. Astigmatická aniseikonie vzniká ve chvíli, kdy je refrakční stav astigmatismu rozdílný na obou očích, nebo jsou tyto hodnoty vysoké. V tomto

případě nastává deformace obrazu v meridionální rovině. Čím větší je vzdálenost korekčního skla od pupilární roviny, tím je větší makulární distorze obrazu. [3, 16, 17]

U dětí se aplikuje plná korekce, protože jsou adaptabilnější (musíme však samozřejmě přepočítat na odpovídající vrcholovou vzdálenost korekce). Se snesitelnou korekcí naopak musíme začínat u dospělých, protože na cylindrickou korekci nejsou zvyklí. Snesitelnější osy cylindrů jsou 90° a 180° , než v šikmých osách. S korigovanou astigmatickou korekcí je vidění kontrastnější a ostřejší. Vyšetřování s menší astigmatickou vadou (cca do $-1,0$ D) obvykle nemají větší obtíže při zvládnání běžných denních aktivit bez brýlové korekce. [3, 16]

Korekci lze provést brýlemi, kontaktními čočkami nebo operací. Pokud předepisujeme astigmatickou korekci dospělé osobě, která nikdy neměla tuto korekci předepsanou, musíme se přesvědčit, že jí bude tolerovat. [16]

3.4.1 Korekce pomocí kontaktních čoček

Astigmatismus lze korigovat pomocí sférických či torických kontaktních čoček. Při výběru musíme dbát na předpis sférické i torické korekce. Co se materiálu týče, používají se měkké či tvrdé kontaktní čočky. V dnešní době se na trhu prodávají kontaktní čočky se sférickým dioptrickým rozsahem od -20 D do $+20$ D v závislosti na výrobcu, materiálu, režimu nošení, zakřivení, průměru, obsahu vody apod. Torické kontaktní čočky se vyrábějí od $-0,75$ cylD do $-5,75$ cylD. V dnešní době poskytuje nejvyšší rozsah jak sférické, tak torické dioptrie společnost CooperVision. [10, 12, 18]

Měkké kontaktní čočky

V případě, kdy má klient cylindrickou hodnotu $-0,75$ D či vyšší, je zapotřebí zvolit měkké torické kontaktní čočky. Předepisují se také ve chvíli, kdy je klient chce nosit příležitostně, jako je například na sport nebo do divadla. Tuto korekci předepíšeme také ve chvíli, kdy se u klienta již dříve objevila zvýšená citlivost na tvrdé kontaktní čočky. [18]

Tvrdé kontaktní čočky

Mnoha klientům však může aplikace tvrdých kontaktních čoček způsobovat lepší vidění. Tvrdá kontaktní čočka může v závislosti na nepravidelnosti rohovky zajistit také přijatelnější zrakovou ostrost než při aplikaci měkkých torických kontaktních čoček. [18]

Sférická korekce

Při korekci astigmatismu pomocí sférických čoček se musíme řídit sféro-cylindrickým ekvivalentem (S.E.), který se počítá dle vzorce:

$$SE = S + \frac{C}{2} [dpt] \quad (1)$$

SE: Sférický ekvivalent

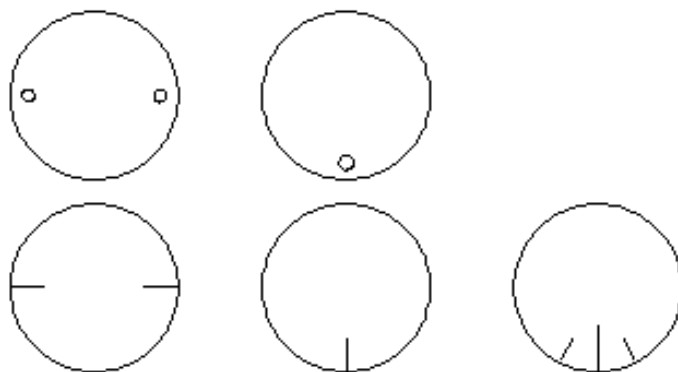
S: sférická hodnota [dpt]

C: cylindrická hodnota [dpt]

Sférické čočky musíme použít u pacienta, který má 0,50cylD a méně, protože torické čočky se v těchto hodnotách nevyrábí. Čočky se na oko s takto malou hodnotou cylindru dokáží velmi dobře přizpůsobit, a tak není vidění nijak zhoršeno. [10]

Torická korekce

Korekce pomocí torických čoček se používá ve chvíli, kdy sférické čočky neposkytují dostatečnou optickou korekci astigmatismu, nebo jsou hodnoty cylindrické korekce vysoké. Po aplikaci těchto čoček je zapotřebí zkontrolovat na štěrbinové lampě orientační značky na čočce, které nám značí, zda je čočka správně nasazena. Tyto značky se nejčastěji objevují po stranách (3. a 9. hodina), či na dolní části čočky (6. hodina). Podle polohy testových značek můžeme určit případný úhel vychýlení a vypočítat tak správný úhel rotace. Ve chvíli, kdy se čočka otočí ve směru hodinových ručiček, musíme úhel přičíst k již nasazené čočce. Jakmile je čočka otočena proti směru hodinových ručiček, musíme hodnotu rotace odečíst. Jakmile se čočka ani po úpravě osy nezrotuje správně, tak už osu neměníme. [10, 19]



Obrázek 2: Značení na torické kontaktní čočce

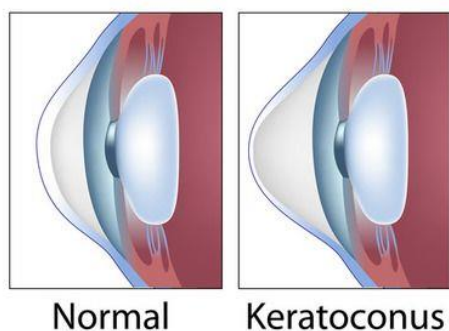
Stabilizační mechanismy

Abychom zabránili rotaci torické kontaktní čočky na rohovce a tím eliminovali riziko zhoršeného vidění, je zapotřebí povrchová úprava torické čočky. V dnešní době evidujeme 4 stabilizační mechanismy – trunkace, prizmatické ztluštění, ztenčení zóny a zadní torický povrch. Při trunkaci dochází k zarovnání dolního okraje čočky. Čočka s trunkací není na oku příjemná a pohodlná, a to kvůli seříznutí, které mechanicky dráždí oko. Výhodou této úpravy je, že při otočení hlavy (pozice vleže) nedochází k rotaci osy. U prizmatického ztluštění (někdy nazýváno jako prizmatické zatížení či prism ballast) je spodní část čočky ztlustěna, funguje tedy na principu gravitace a tonu víček. Vzhledem k tomu dochází k rotaci osy při pootočení hlavy, a tím ke zhoršené zrakové ostrosti klienta. Povrchová úprava pomocí ztenčení zón umožňuje velmi dobrý kontakt víček při mrkání s již ztenčenými zónami kontaktní čočky. To má za následek pohodlí pro klienta. Zadní torický povrch se využívá u tvrdých kontaktních čoček. V tomto případě je cylinder na zadní ploše čočky. To má za následek, že kontaktní čočka nasedne dle potřeby na přední stranu rohovky, a tak nelze vykorigovat zadní povrch rohovky či čočkový astigmatismus. [19]

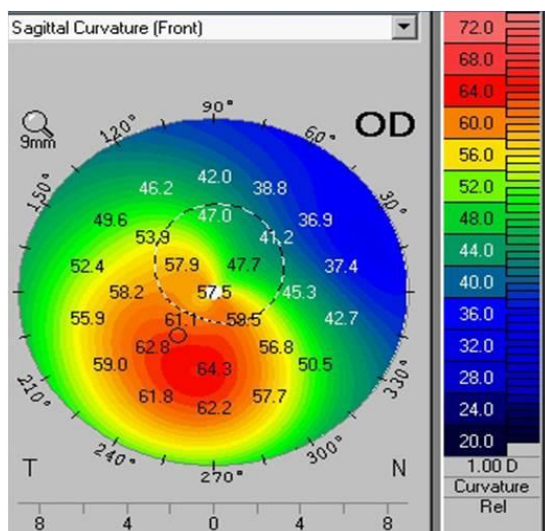
3.5 Nemoci ovlivňující astigmatismus

3.5.1 Keratokonus

Jedná se o degenerativní onemocnění rohovky, které je charakterováno vyklenováním rohovky v jejím centru nebo paracentrálně. Tato nemoc je spojena se vznikem iregulárního astigmatismu (viz. kapitola 3.2.1.). Keratokonus často postupuje zvolna a nejčastěji se objevuje v období puberty či později. Až v 85% případech se keratokonus objevuje oboustranně. Jedná se částečně o dědičné onemocnění (6-10% všech případů), které může mít souvislost s jinými chorobami, jako je např. Downův syndrom, Turnerův syndrom, Marfanův syndrom apod. [2, 20]



Obrázek 3: Simulace keratokonu na rohovce



Obrázek 4: Zobrazení keratokonu na topografu

Klinické příznaky

Nejčastějším projevem keratokonu je nárůst myopie či iregulárního astigmatismu, jehož korekce brýlovými skly je značně limitována. Můžeme pozorovat vypadávání solí železa v okraji ektazie – tzv. Fleisherův prstencík či deformaci dolního víčka – Munsonův příznak. Při pozorování na štěrbinové lampě můžeme pozorovat horizontální trhliny Descemetovy membrány ve středu rohovky. Ruptury Descemetovy membrány a edém stromatu rohovky mohou mít za následek akutní zhoršení vize – akutní keratokonus. [2]

Terapie

Keratokonuse se nejdříve snažíme korigovat astigmatickou brýlovou korekcí. Jestliže již brýlová korekce nestačí, musí se začít vyšetřovaný aplikovat tvrdé kontaktní čočky. Pokud vyšetřovaný nedokáže čočky snést či keratokonus dále progreduje, musí se přejít k operativnímu řešení. [2]

Chirurgické řešení spočívá v transplantaci rohovky buď v celé tloušťce (perforující keratoplastika), nebo se zachováním Descemetovy membrány (přední hluboká lamelární keratoplastika). [2]

3.5.2 Keratoglobus

Keratoglobus je vývojové onemocnění vyskytující se nejčastěji hned po narození. Jedná se o velmi vzácné onemocnění, kdy je celá rohovka protenčená a má kulovité zakřivení. Naopak od keratokonu se tak keratoglobus projevuje často hypermetropií. Rohovka je v tomto případně normální velikosti s optickou mohutností mezi 60-70D. Dochází zde k fragmentaci Bowmanovy membrány, protenčení stromatu a descemetové membrány. [2, 4]

Nejvhodnější možnost je korekce pomocí brýlových čoček, případně lze korigovat také tvrdými kontaktními čočkami. Operativní řešení (keratoplastika) se vzhledem ke stabilnímu nálezu provádí jen vzácně. [2, 4]

3.5.3 Cornea plana

Při tomto onemocnění, známe také pod názvem sclerocornea. má rohovka plochý meridián zakřivení okolo 20-30D. Rohovka je v centru i periférii opakní až neprůhledná, dochází k tzv. skleratizaci rohovky. Cornea plana je neprogresivní a oboustranná se symetrickým nálezem. Může se vyskytovat jak sporadicky, tak geneticky a postihuje stejně muže i ženy. Horší prognóza je ve chvíli, kdy má onemocnění autozomálně recesivní formu. Cornea plana má iregulární epitel a fragmentaci Bowmanovy membrány. [4]

3.5.4 Megalocornea

Jestliže je rohovka větší než 12,8 mm, nazýváme to jako megalocornea. Ke zvětšení dochází v celém předním segmentu oka a často se toto onemocnění vyskytuje oboustranně. Onemocnění je stacionární se správně transparentní rohovkou. Mohou se zde objevovat ruptury Descemetové membrány, zkalení rohovky či její zákal. Megalocornea se častěji objevuje u mužů a je geneticky vázaný na X-chromozom. [4]

Megalocornea se projevuje myopií a astigmatismem. Často jsou tyto onemocnění doprovázená také kataraktou a defekty zonulárního aparátu čočky. [4]

4 Vyšetření astigmatismu

Astigmatismus je možné vyšetřit pomocí objektivní a subjektivní refrakce. Je nutné použít řadu testů a pomůcek, abychom dokázali přesně naměřit hodnotu astigmatismu.

4.1 Objektivní refrakce

Objektivní refrakce nám říká, jakým refrakčním deficitem vyšetřovaný disponuje. Po objektivní refrakci máme přibližné hodnoty (nejen) astigmatismu, včetně síly a osy. Jak bylo již řečeno, tyto hodnoty jsou pouze orientační a musí být dokorigované pomocí subjektivní refrakce.

4.1.1 Optometr

V dnešní době se jedná už o historickou pomůcku k určování zrakové ostrosti. Jednalo se o poměrně jednoduchou konstrukci, jejímž základem byla vodící lišta, na které byla stupnice. Na tuto lištu byla kolmo připevněna rukojeť, ke které byla umístěna oftalmoskopická (Badalova) čočka, který měla optickou mohutnost +10 D. Na vodící liště se dále nacházela na samostatném pojezdu testová značka, která byla umístěna dále od obličejě tak, aby její vzdálenost odpovídala předměťové rovině oftalmoskopické čočky. Tato čočka byla volně vyměnitelná. [21]

Měření bylo v režii vyšetřovaného, který si subjektivně určoval svůj refrakční stav posunem testové značky tak, aby ji viděl co nejvíce ostře. Vyšetřovaný se tak snažil učít svůj daleký bod. Testová značka se vždy posouvala z nekonečna (z konce lišty) směrem k oku. [21]



Obrázek 5: Historický optometr

4.1.2 Autorefraktometer

Jedná se o přístroj, který se využívá v objektivní refrakci pro zjištění refrakčního deficitu a změření zakřivení rohovky v milimetrech i dioptriích. Autorefraktometer dokáže též změřit průměr rohovky a pupilární distanci. Přístroj nám určí průměr několika měření a poskytne refrakční odhad pro začátek subjektivní refrakce. Automatické oční refraktometry se dělí na několik typů v závislosti na principu, na kterém jsou založeny. [5, 22, 23]

Základem každého autorefraktometru jsou 2 základní paprsky, kterými jsou osvětlovací paprsek a paprsek pozorovací. Tyto paprsky jsou od sebe odděleny pomocí děliče světla nebo polarizátory. Osvětlovací paprsek vstupuje do oka skrze duhovkovou clonu. Paprsek se dostane na oční pozadí, kde se odrazí a rozptýlí. Pomocí pozorovací soustavy přístroj vyhodnotí, o jakou refrakční vadu se jedná a určí přibližné hodnoty. Je důležité, aby se eliminovali všechny možné rušivé odlesky, které by mohli způsobit chybné měření přístroje. Tyto hodnoty je vždy zapotřebí subjektivně doměřit. [21, 24]

Autorefraktometry se vzájemně liší podle designu či podle toho, jaký typ měřící metody využívají. Všechny typy automatických refraktometrů měří pomocí infračervených paprsků (880nm). Infračervené světlo se využívá převážně proto, protože na očním pozadí má 10x vyšší odrazivost než paprsky z viditelného světla. Díky větší vlnové délce, kterou infračervené záření má (není pro lidské oko viditelné), se neaktivují reflexy, které by zabránili správnému naměření hodnot (pupilární, resp. akomodační reflex). [21, 24, 25]

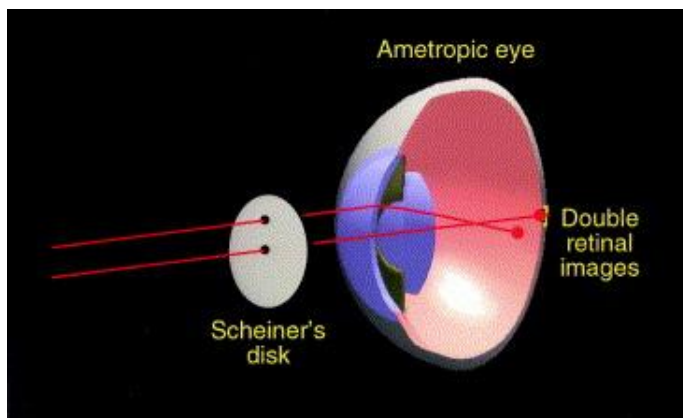
Dnešní oční automatické refraktometry používají kombinace principů předešlých zařízení na určování refrakce. Jedná se tedy o využití poznatků z oftalmoskopie, skiaskopie (viz. kapitola Skiaskopie), principu Badalova optometru a Scheinera pokusu. Autorefraktometry jsou ještě doplněny o několik přídatných zařízení, které kontrolují akomodaci a fixaci oka. [21, 24, 25, 26]

Scheinerův princip

Z výše uvedeného vyplývá, že moderní autorefraktometry využívají několika principů. Mezi jeden z nejčastějších se řadí Scheinerův pokus, který zde popíši.

Scheiner v roce 1619 objevil, že bod, na který vyšetřovaný kouká, lze snadno rozdělit na 2 body pomocí dírkových otvorů, které se předloží před vyšetřovaného. Paralelní paprsky světla ze vzdáleného objektu jsou tímto rozděleny na dva malé svazky světla. V případě emetropického oka se zaměří na sítnici jeden bod. Jde-li o oko ametropické, vzniknou na sítnici

dva obrazy – u hypermetropického oka za sítnicí, u myopického oka před sítnicí. Úpravou polohy objektu (štěrbiny) se dalo zjistit, kde se nachází vzdálený bod oka a mohla tak být určena refrakční vada. [21, 26]



Obrázek 6: Scheinerův disk u ametropického oka

První autorefraktometr, který se více prosadil, byl od společnosti Acuity System. Na podobném principu převzaly své autorefraktometry také japonské firmy Topcon a Nidek. Fungují na principu dvou párů světelných diod, které osvětlují kruhovou clonu, a ta se zobrazuje na sítnici vyšetřovaného. Světelné diody se promítají na pupilu vyšetřovaného. Simulují tím tak Scheinerovy štěrbinu (viz. Scheinerův princip). Ve chvíli, kdy má oko refrakční vadu, tak se zobrazí několik plošek na sítnici. Světelné diody se střídavě rozsvěčují, což způsobuje dojem, že se osvětlená místa na sítnici pohybují. Čtyřsegmentový detektor tento stav analyzuje a vytváří snahu, aby se osvětlená místa sítnice sloučily do jedné plošky. Posuvem oftalmoskopického systému dochází k určení hodnoty a míry ametropie. Při měření astigmatismu je nutné, aby se detektory a světelné diody synchronně otáčely. [25]



Obrázek 7: Autorefraktometr

Obsluha:

Obsluhování autorefraktometru není nijak obtížné. Vyšetřující musí dbát na to, aby vyšetřovaný měl řádně opřenou hlavu a bradu o opěrku. Poučíme vyšetřovaného, aby sledoval bod (obrázek) v přístroji. Tento vjem simuluje neakomodované pozorování do nekonečna. Joystickem provedeme hrubé zaostření na střed oka. Stisknutím tlačítka autorefraktometr případně doostří a naměří hodnoty. Provedeme alespoň 3 měření každého oka, abychom měli relevantní průměr. Pokud naměření něco bránilo (např. zákal), přístroj nás o tom informuje a můžeme tak upravit vyšetření. [25]

Princip keratometrie

Keratometry využívají na měření přední plochu rohovky jako konvexní zrcadlo. Od rohovky se tak odrazí část dopadajících paprsků, který následně tvoří přímý, zmenšený a neskutečný obraz světelného zdroje. Míra zmenšení je dána poloměrem zakřivení přední plochy rohovky. [23]

4.1.3 Topografie rohovky

Jedná se o přístroj, který slouží k vyšetření přední plochy rohovky. Rohovkový topograf dokáže změřit celý povrch přední plochy, povrch pod víčky si dopočítává. Skládá ze svítících soustředných kružnic. Světlo se od rohovky odrazí a putuje zpět do přístroje, kde je snímáno speciální kamerou. Přístroj zanalyzuje povrch rohovky na principu Placidova keratoskopu. Výsledkem měření je barevná topografická mapa, která nám znázorňuje změnu zakřivení a tím spojenou změnu optické mohutnosti přední plochy rohovky na měřených místech. Z těchto hodnot dokážeme diagnostikovat, zda se na rohovce nenachází ektatické onemocnění rohovky, jako je například keratokonus. Systém také dokáže navrhnout korekci, která by kompenzovala deformaci povrchu rohovky. [5, 22]

4.1.4 Skiaskopie

Tato technika se používá k objektivnímu stanovení refrakčního stavu oka. Tento reflex použil pro diagnostiku astigmatismu. Skiaskopie se nejčastěji využívá při vyšetření dětí, lze ji ale použít i u osob, kteří mají velmi nízký visus či nespolutracují (poruchy soustředění, intelektu). Obecně se lze na skiaskopické nálezy spolehnout při předepisování optické korekce, pokud vyšetřovaní nejsou schopni nebo ochotni poskytnout spolehlivé subjektivní odpovědi. [5, 11]

Skiaskop je malý ruční přístroj, který vyzařuje viditelné bílé světlo směrem k zornici vyšetřovaného. Optometristovi to umožňuje zkoumat červené reflexní světlo, které se odráží zpět přes zornici z očního pozadí. Vyšetření se nejčastěji provádí ve vzdálenosti 40–100 cm od oka vyšetřovaného, aby mohl vyšetřující pohodlně předsazovat čočky před oko. Nedílnou součástí vyšetření pomocí skiaskopu jsou tak skiaskopické lišty, popřípadě zkušební obruby. Vyšetřovaný po dobu vyšetření fixuje vzdálený bod. [5, 11]

Během vyšetření sledujeme červený reflex na pozadí oka. Při otáčení zjistíme, zda je reflex s otáčením zrcátka souhlasný, nebo nesouhlasný. Pokud je pohyb souhlasný, jedná se o pacienta hypermetropického. Jedná-li se o pohyb nesouhlasný, jedná se buď o myopického, emetropického či slabě hypermetropického pacienta. Během vyšetření předkládáme zkušební skla (+/-) až do momentu, kdy se reflex neobjeví přes celé oko. V tomto momentě zapíšeme hodnotu skla, se kterou tento jev nastal. [5, 11, 23]

Pomocí skiaskopu lze vyšetřit také astigmatismus. Pokud na oko svítíme vertikálním paprskem a reflex nepůsobí v paralelním postavení, jedná se o astigmatické oko. V tomto případě musíme pootočit osu na skiaskopu do paralelního postavení reflexu v oku. Zjistíme hodnotu v pootočené ose (viz. předchozí odstavec) a pootočíme osu ve skiaskopu o 90°. Stejně jako u předešlého měření, i zde dostaneme refrakční hodnotu v druhém meridiánu. Zjistíme tak osu a sílu v obou meridiánech a tuto hodnotu si zapíšeme. [5, 11]

Důležitou součástí je přepočítání reálné refrakce, protože musíme zohlednit také vyšetřovací vzdálenost. Na 1 m musíme vyšetřovanému přičíst -1 D, na 0,5 m přičteme -2 D. To znamená, že pokud jsme naměřili vyšetřovanému hodnotu $+3,5$ D a měřili jsme na vzdálenost 1 m, jeho výsledná refrakce je $+4,5$ D. [5, 11]



Obrázek 8: Skiaskop

4.2 Subjektivní refrakce

Subjektivní refrakce je nedílnou součástí vyšetření. Jedna z nejdůležitějších složek subjektivní refrakce je správná komunikace se zákazníkem, jeho poučení s probíhajícími testy a kladení správných otázek. Na rozdíl od objektivní refrakce se zde zákazníka ptáme na jeho subjektivní pocity a dle toho volíme postup naší refrakce.

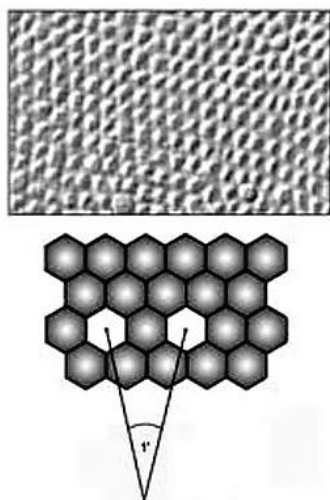
Při vyšetřování astigmatismu je nejdůležitější co nejpřesněji naměřit sférickou korekci, abychom mohli získat přesné údaje síly a osy cylindrické korekce. Sílu a osu cylindrické korekce můžeme zjistit několika způsoby.

4.2.1 Zraková ostrost

Vyšetření zrakové ostrosti (minimum separabile) je jedno ze základních částí subjektivní refrakce. Toto vyšetření provádíme při denním světle, abychom mohli naměřit co nejpřesnější hodnoty. Do 100 luxů zraková ostrost klesá, do 1000 luxů zůstává konstantní a nad 1000 luxů zraková ostrost klesá v důsledku oslnění. Vyšetření zrakové ostrosti zahrnuje mimo stav optického systému oka (objektivní refrakce) také stav sítnice, zrakové dráhy a mozkových center. [27]

Zraková ostrost (minimum separabile) je schopnost oka odlišit dva co nejblíže ležící body. Vyšetření ovlivňují faktory psychologické (pozornost), fyziologické (adaptace) a fyzikální (vadami optického systému). Vyšetření provádíme monokulárně i binokulárně, přičemž při binokulárním vyšetření naturální zrakové ostrosti bychom měli dostat vyšší hodnoty. Je to dáno tím, že při binokularitě se zmenšují fixační pohyby očí a může nastat binokulární kompenzace chyb zobrazení. [27]

Emetropické oko (oko bez refrakčního deficitu) rozezná dva sblížující body jako dva, pokud zorný úhel neklesne pod 1 minutu. V tuto chvíli dopadají oba body do žluté skvrny na dvou čípcích ob jeden, čípek mezi zůstává nepodrážděný (viz. obr. 9).[27]



Obrázek 9: Fotoreceptory

4.2.2 Optotypy

Optotypy obsahují řadu testů, které nám umožňují správně určit zrakovou ostrost vyšetřovaného.

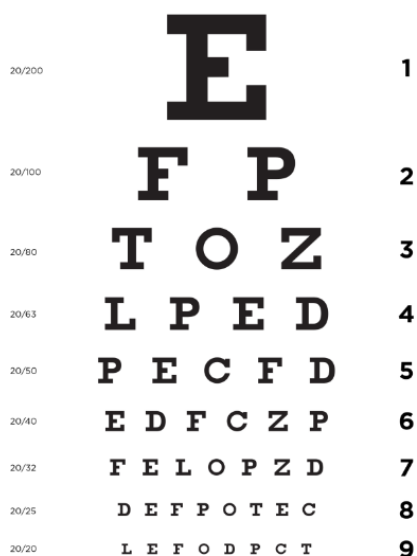
Snellenovy optotypy

Slouží pro vyšetření zrakové ostrosti do dálky, nejčastěji na vzdálenost 5-6 metrů. Po dosažení nejvyšší zrakové ostrosti vyšetřovaného zapíšeme hodnotu, kterou vyšetřovaný dokázal přečíst. Hodnoty se zapisují buď ve zlomku, nebo jako desetinné číslo. Pokud používáme zlomkové vyjádření, tak čitatel udává hodnotu, ze které vzdálenosti vyšetřovaný daný řádek přečetl a jmenovatel udává hodnotu, ze které vzdálenosti tento řádek přečte oko emetropické (oko bez refrakční vady). Pokud tedy vyšetřovaný přečte ze vzdálenosti 6 metrů řádek, který emetropické oko přečte z 60 metrů, zapíšeme hodnotu 6/60. Tato hodnota by se také mohla zapsat v desetinném tvaru, tedy 0,1 (10% zrakové ostrosti). Ideální stav nasává ve chvíli, když vyšetřovaný z dané vzdálenosti přečte stejný řádek jako oko emetropické. V tuto chvíli zapíšeme hodnotu 6/6, neboli 1,0 (100% zrakové ostrosti). V subjektivní refrakci však nadále pokračujeme, protože vyšetřovanému lze zrak ještě více zlepšit.

Snellenovy optotypy se používají také na vyšetření zrakové ostrosti do blízka. Vyšetřovaný čte (nejčastěji) na vzdálenost 40 cm souvislý text, který se postupně zmenšuje. Dle nejlépe přečteného řádku volíme další postup refrakce a zapíšeme hodnotu zrakové ostrosti.

Znaky používané na optotypech

V dnešní době se na vyšetření nejčastěji setkáváme s písmeny (viz. obr. 10), avšak lze použít také Pflügerovy háky, Landoltovy kruhy, číslice či obrázky. U každého řádku je psaná hodnota, ze které vzdálenosti by mělo oko emetropické tento řádek přečíst.



Obrázek 10: Snellenův optotyp

4.2.3 Zamlžení

Metodu zamlžení při vyšetření cylindrů používáme ve větší míře při vyšších hodnotách cylindru, či jako pretest JZC. Při vyšetřování využíváme plnou sférickou korekci. Při metodě zamlžením se využívá testu zvaný „astigmatická růžice“ či „astigmatický vějíř“ (viz. obr. 8 a 9). Zákazníka zamlžíme dle síly jeho akomodace, nejčastěji však hodnotou +1,00D (visus by se měl zhoršit alespoň o 2 řádky). [28]

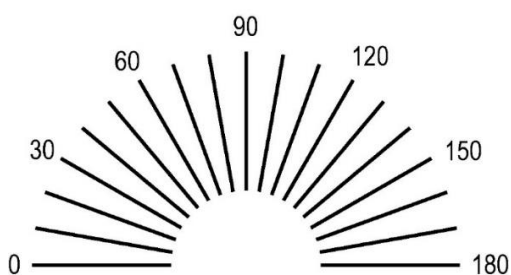
Postup:

Zakryjeme levé oko okluzorem a pravé oko zamlžíme danou hodnotou. Na optotypu nastavíme astigmatickou růžici či astigmatický vějíř. Poprosíme vyšetřovaného, aby sdělil, která osa se mu jeví nejvýraznější či nejostřejší. Pokud jsou všechny osy stejné, je astigmatismus vyloučen. [28]

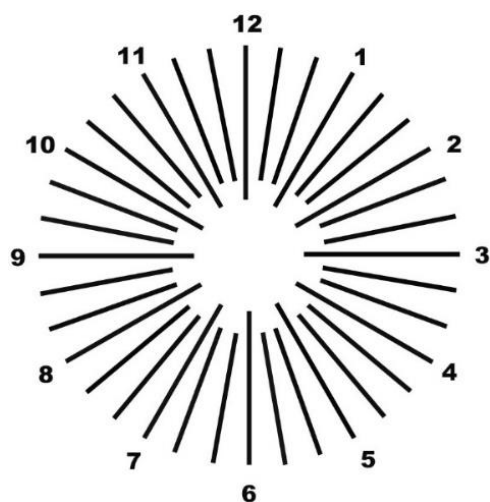
Pokud nám vyšetřovaný sdělí jednu z os, vezmeme korekční torické sklo a vložíme ho do obruby v opačné ose (např.: vyšetřovanému se jeví ostřejší osa v 90°, my vložíme korekční sklo do osy 180°). [28]

Jestliže vyšetřovaný stále vidí nejostřeji předchozí osu (v našem případě osu 90°), přidáváme na síle cylindrické korekce. Přidáváme až do doby, dokud se mu všechny osy nejeví stejně ostré. Pro zkoušku lze přidat ještě $-0,25\text{cylD}$ – v tuto chvíli by výrazná osa na optotypu měla být stejná, jako má v obrubě (v našem případě by měl nejostřejší osu ve 180°). Toto nám říká, že je vyšetřovaný již překorigován a musíme se vrátit o krok zpět. [28]

Při naměření hodnot cylindru je nutno pokračovat přesnějším cylindrickým dokorigováním pomocí Jacksonova zkříženého cylindru. [28]



Obrázek 11: Astigmatický vějíř

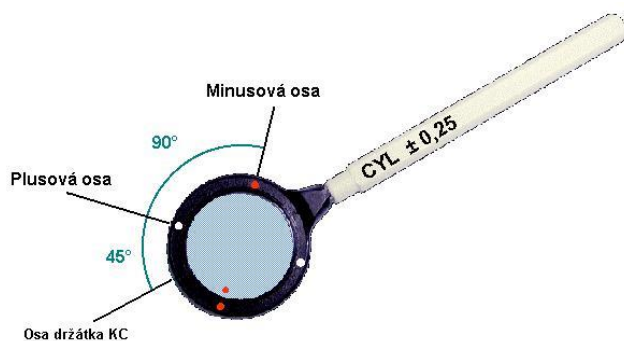


Obrázek 12: Astigmatická růžice

4.2.4 Jacksonův zkřížený cylindr

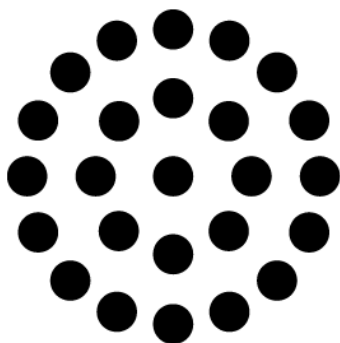
Historie Jacksonova zkříženého cylindru (JZC) sahá až do 19. století, přesněji do roku 1887, kdy jej vynalezl L. V. Edward Jackson. Jednou řekl, že JZC je nejspíše „mnohem užitečnější a mnohem užívanější“ než jakákoliv čočka v klinické refrakci. Ačkoliv se jedná (vzhledem k vývoji) o starší vynález, je to stále nejspolehlivější a nejpřesnější metoda určení osy a síly astigmatismu. [29]

JZC je kombinace dvou plan-cylindrů, které jsou na sebe kolmé a mají rozdílnou optickou mohutnost. Nejčastěji jsou využívány hodnoty $\pm 0,25D$ a $\pm 0,50D$. JZC o síle $-0,25D$ je pro měření přesnější, nicméně pro vyšetřovaného je obtížnější poznat rozdíl dvou obrazů. [29, 30]



Obrázek 13: Jacksonův zkřížený cylindr

Otáčením JCC o 180° vyšetřovanému ukážeme 2 obrazy, které musí porovnat. Vyšetřovaný se dívá na bodový test (Brokův test – viz obr. 11) na vzdálenost 5-6 metrů a hodnotí, který z dvou ukazovaných obrazů je pro něj ostřejší, kontrastnější. Pokud není na optotypu bodový test, můžeme si pomoci jakýmkoli kulatým znakem. Při vyšetření se ptáme otázkou „Je lepší obraz číslo jedna, nebo obraz číslo dvě?“ Podle odpovědi postupujeme refrakcí.



Obrázek 14: Brokův test

Postup:

1. Určení osy

Jako první určíme osu, ve které se astigmatismus nachází. Vyšetřovanému přiložíme JCC do osy 180° a 90° , poté do 45° a 135° . Pokud nám vyšetřovaný alespoň na jednu možnost odpoví, že je lepší jak druhá, máme potvrzený astigmatismus. Vložíme astigmatickou čočku do polohy, kde nám vyšetřovaný hlásil, že je to lepší.

Přesné určení osy astigmatismu určíme tak, že držadlo JZC přiložíme do osy cylindru v korekční obrubě a opět otáčíme o 180° . Při odpovědi, že jeden z obrazů je lepší, natočíme osu směrem, kam nám směřovala osa mínusového cylindru. Při odpovědi „stejně“ jsme našli přesnou osu.

2. Určení síly

Po určení přesné osy cylindru musíme také naměřit sílu astigmatismu. Nyní budeme předkládat osu JZC na osu korekční čočky v obrubě. Stejně jako při určení síly, i zde natočíme osu o 180° a ptáme se, jaký obraz je lepší. Pokud je pro vyšetřovaného lepší obraz, ve kterém je mínusová osa JZC na ose korekční čočky, navyšujeme sílu astigmatismu o $-0,25D$. Pokud je lepší obraz ve chvíli, kdy je mínusová osa JZC kolmá na osu v obrubě, musíme sílu cylindru snížit o $-0,25D$. Pokud sílu astigmatismu navýšíme o $-0,50D$ (tzn. vždy při $0,50$, $1,00$, $1,50$, $2,00, \dots$), je nutné snížit hodnotu sféry o $0,25$, aby byl zachován S.E.

5 Experimentální část

Výsledky pro srovnání určení objektivní a subjektivní refrakce astigmatismu byly měřeny v první polovině roku 2020 v oční optice Langhammer optik v Litvínově. Při měření byla využita vyšetřovací vzdálenost 5,80 metrů s použitím zrcadlového systému. Použitý projektor byl značky Essilor CPE 60. Objektivní refrakce probíhala na autorefraktokeratometru značky Essilor AKR 500.

5.1 Metodika měření

5.1.1 Anamnéza

Celkové vyšetření začínalo vyplněním anamnézy, což je nedílná součást každého vyšetření. Cílem anamnézy bylo zjistit, ve kterém prostředí se pacient nejčastěji nachází a k čemu chce danou refrakci využívat. Další z mnoha dotazů bylo, zda se neléčí s nějakou chorobou, jako je třeba cukrovka či zvýšený krevní tlak. Dále jsem chtěl zjistit, zda neužívá léky, které ovlivňují zrak. Jsou jimi například antihistaminika, antikoncepce, antidiabetika či antihypertonika.

5.1.2 Objektivní refrakce

Poté jsem přistoupil k objektivní refrakci. Jak již bylo zmíněno, tak toto měření probíhalo na autorefraktokeratometru Essilor AKR 500 (viz. obrázek 15). Jak již název napovídá, mimo základní měření poskytuje tento typ také keratometrická data. Dle výrobce dokáže tento přístroj měřit sféru s přesností na 0,12D. Co se týká hodnot ohledně cylindru, tak by výsledky měli být přesné o síle $\pm 0,12D$ a ose $1^\circ/5^\circ$. Naměřené hodnoty slouží k počátečním informacím o stavu ametropie.



Obrázek 15: Autorefraktokeratometr Essilor AKR 500

5.1.3 Subjektivní refrakce

Po objektivní refrakci jsem vyšetřovanému zjistil monokulárně visus naturalis. Tento krok mě vedl k tomu, abych zjistil, jakou má vyšetřovaný zrakovou ostrost bez jakékoliv korekce. Poté jsem přešel na monokulární vyšetření sférické hodnoty, kdy jsem se snažil dosáhnout co nejlepšího visu. V tomto postupu jsem používal Snellenův optotyp, jehož definice a charakteristika jsou uvedeny v teoretické části této práce (kapitola 4.2.2). Sférickou hodnotu jsem se snažil změřit co nejpřesněji, protože je to nezbytným krokem k určení co nejpřesnější hodnoty astigmatismu. Jakmile bychom nepřesně naměřili hodnotu nejlepší sférické korekce, došlo by k nepřesným výsledkům také u měření cylindrické hodnoty. Je důležité pokračovat v měření cylindrických hodnoty, i když vyšetřovaný disponuje již velmi dobrým visem ze sférického měření. Cylindrická složka může jeho zrakovou ostrost ještě vylepšit.

Po určení nejlepší možné sférické korekce jsem začal s testováním korekce astigmatické. Pro stanovení astigmatické složky korekce jsem používal Jacksonův zkřížený cylindr o hodnotě $-0,25\text{cylD}$ a $-0,50\text{cylD}$, astigmatickou růžici a Brokův test. Celé měření astigmatické složky jsem započal na astigmatické růžici, kde jsem chtěl určit přibližnou osu astigmatické korekce vyšetřovaného. Klienta jsem si zaměřil takovou hodnotou, aby se jeho zraková ostrost snížila alespoň o dva řádky, a tak mohl být tento test účinný. Vyšetření na astigmatické růžici jsem prováděl dle pravidel, které jsou uvedeny v teoretické části této bakalářské práce. Jelikož se toto vyšetření používá jen jako pretest k vyšetření pomocí Jacksonova zkříženého cylindru, tak následovalo přesné dokorigování. Na přesné dokorigování jsem používal bodový test, na kterém je toto měření nejpřesnější. Alternativou však může být jakýkoliv kulatý znak (nejlépe O nebo C). Hodnotu astigmatické korekce jsem se snažil změřit na přesnost 1° , aby bylo toto měření co nejpřesnější.

Jakmile mi vyšetřovaný uváděl, že již zobrazené body na testu jsou při předložení os v kolmých směrem stejné, přešel jsem zpět na Snellenův optotyp. Žádal jsem klienta, aby mi přečetl daný řádek na optotypu, a tím jsem zkoumal jeho zrakovou ostrost po cylindrickém vykorigování. Abych zjistil, zda předložená korekce ve zkušební obrubě vyšetřovaného je ta správná, vyzkoušel jsem řadu testů na dokorigování.

5.1.4 Dokorigování

Na monokulární dokorigování jsem používal červenozeleň test, kde jsem si ověřoval, zda jsou znaky v červeném a zeleném úseku stejné. Jakmile jsem byl s monokulárním měřením spokojen, přešel jsem na monokulární měření oka druhého, kde jsem uplatňoval stejný postup, který je popsán výše. Po uspokojivém změření oka druhého jsem vyjmul clonu na prvním oku. Důležitá pro mě byla prvotní reakce vyšetřovaného, kde jsem se dotazoval, zda se mu nijak nemotá hlava a pro něj vidění pohodlné. Vše jsem si ověřil binokulárním dokorigováním.

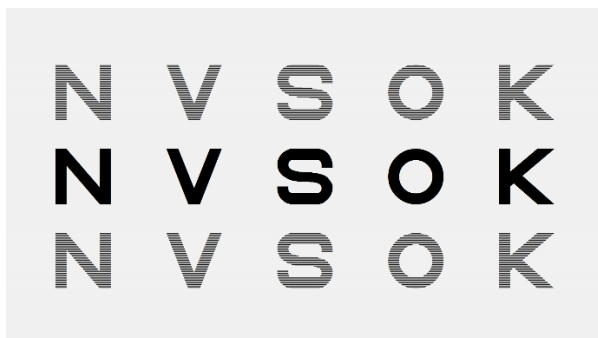
Pro binokulární dokorigování jsem používal třířádkový test, Worthův test a Osterbergův test. Binokulární měření jsem zahájil na Worthově testu (viz. obrázek 16), kdy jsem se snažil zjistit, zda vyšetřovaný nemá supresi na jednom z očí, či jestli vyšetřovaný netrpí diplopií. Na tomto testu jsem vyšetřoval s červenozeleňmi předsádkami. Dotazoval jsem se na polohu, barvu a tvar znaků. Poté jsem přešel na Osterbergův test. Jedná se o červenozeleň test s písmeny (viz. obrázek 17). Vyšetřovaného jsem se ptal, zda jsou číslice v některém poli ostřejší od ostatních. Na třířádkový test (viz. obrázek 18) jsem používal polarizační předsádky a dotazoval se, zda znaky v horním či dolním řádku nejsou vzájemně jinak ostré. Jestliže znaky v horním řádku byly ostřejší, předložil jsem před pravé oko $+0,25D$. V tomto testu se vždy zhoršuje to oko, které má řádek ostřejší. Cílem je, aby znaky v horním a dolním znaku byly vzájemně stejně ostré.



Obrázek 16: Worthova světla



Obrázek 17: Osterbergův test



Obrázek 18: Třířádkový pola-test

5.2 Hodnocení výsledků

Jak již bylo řečeno, měření probíhalo během mé odborné praxe v optice. Z důvodu dlouhodobého uzavření optiky pro refrakci, které bylo způsobeno vyhlášenou pandemickou situací, se mi nepodařilo za určitý čas nashromáždit větší množství vzorků. Pro vyhodnocování mé praktické práce pracuji s 39 očima, u kterých byl po dobu mé praxe nalezen astigmatismus a mohl jsem je tak započítat do mé práce. V níže uvedené tabulce uvádím data, která byla naměřena. Porovnávám v ní sílu a osu, kterou mi určil autorefraktometer a sílu s osou, kterou jsem naměřil pomocí Jacksonova zkříženého cylindru. V tabulce nejsou zaznamenány osy ve chvíli, kdy autorefraktometr nenaměřil žádné hodnoty, a tak nebylo mé měření s čím srovnávat.

Tabulka 1: Porovnané hodnoty z ARK a JZC

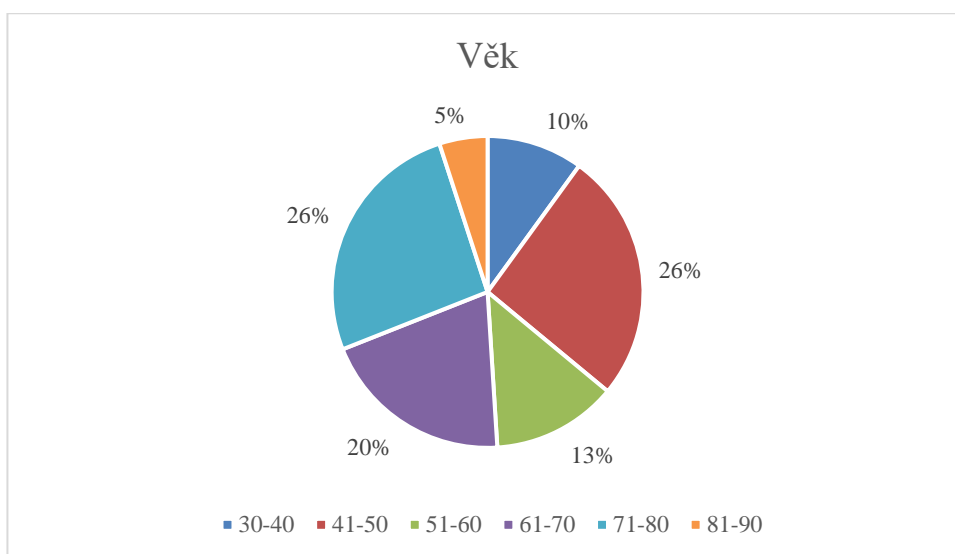
Oko	ARK		JZC	
	Síla [cylD]	Osa [°]	Síla [cylD]	Osa [°]
1	-0,75	166	-0,50	52
2	-1,25	160	-0,50	163
3	-1,50	160	-1,25	167
4	-1,25	170	-1,25	168
5	-1,50	175	-1,00	164
6	-1,75	175	-1,00	15
7	-1,25	83	-1,00	88
8	-1,00	93	-0,50	89
9	-1,25	91	-1,50	83
10	-1,75	105	-1,50	92
11	-1,25	82	-0,50	90
12	0,00	-	-0,50	90
13	-1,25	9	0,00	-
14	-2,00	153	-1,00	136
15	-0,75	94	0,00	-
16	-0,75	128	-0,50	90

17	-0,50	77	-1,00	88
18	-1,00	124	-1,00	118
19	-0,75	109	0,00	-
20	-0,25	118	-0,50	161
21	-1,25	175	-1,50	180
22	-1,50	8	-1,50	0
23	-0,75	159	-1,00	152
24	-3,00	23	-1,00	45
25	-1,00	59	-0,50	87
26	-4,00	163	-0,50	95
27	-0,25	100	0,00	-
28	-1,00	100	0,00	-
29	-0,75	105	-0,50	110
30	-0,50	5	-0,25	0
31	0,00	-	-0,25	0
32	-0,75	170	-0,50	180
33	-0,50	160	-0,50	160
34	-0,50	105	-0,75	110
35	-1,50	80	-1,00	75
36	-1,00	150	0,00	-
37	-0,25	80	0,00	-
38	-0,25	80	0,00	-
39	-0,25	30	0,00	-
Průměr	-1,04	108,8	-0,63	101,6
SD	0,76	50,51	0,48	53,60

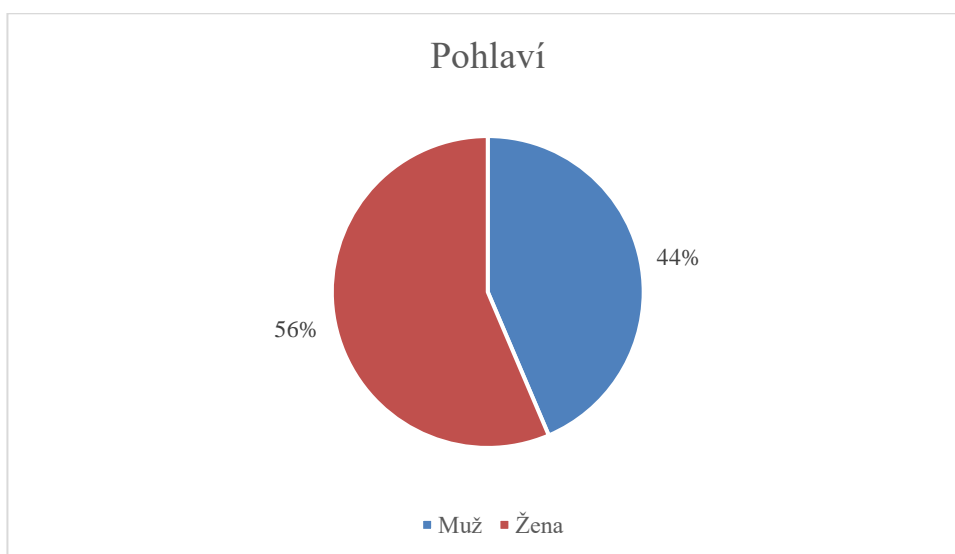
Pro měření výsledků jsem neměl nijak vyhrazenou věkovou skupinu, kterou pro měření mohu použít. Je to převážně z toho důvodu, že astigmatismus se objevuje napříč všemi generacemi a u všech by měl být naměřen co nejpřesněji, aby se dosáhlo co nejlepšího vidění. Nejmladšímu klientovi bylo 31 a nejstaršímu bylo 81.

Co se týče pohlaví, ani to nijak nehraje zásadní roli v měření astigmatismu. I přesto níže pro zajímavost uvádím grafy s věkem a pohlavím jednotlivých respondentů. Veškerá data v grafech jsou uváděna na jedno naměřené oko.

Graf 1: Věk respondentů



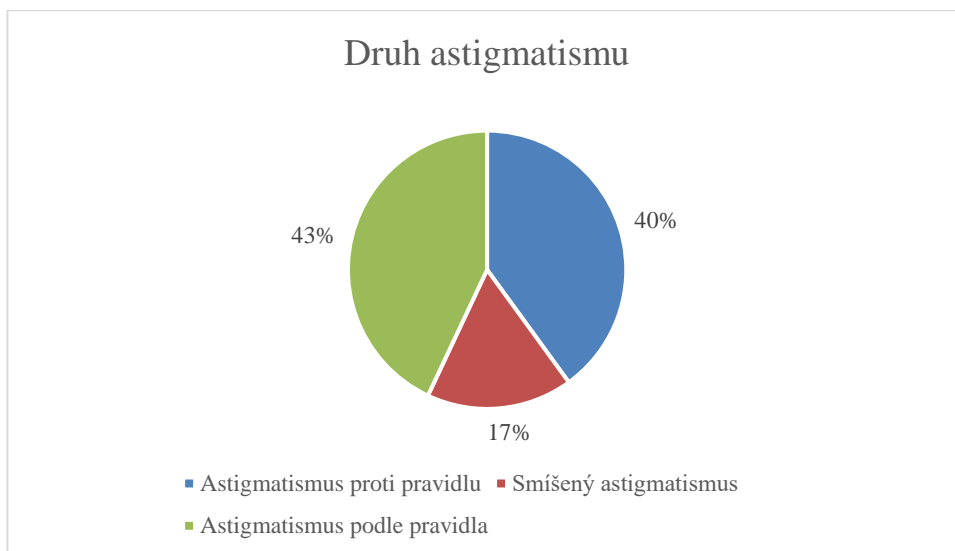
Graf 2: Pohlavní respondentů



Nejvíce zastoupená věková skupina v mém měření se nachází v rozmezí 41-50 let a 71-80 let. Obě věkové hranice jsou zastoupeny s počtem 10 očí. V mém měření mírně převládalo ženské pohlaví.

Při analýze svých výsledků jsem se zaměřil na hodnoty os, které jsem naměřil. Z těchto údajů jsem mohl sestavit graf, ve kterém znázorňuji, jaká je četnost určité astigmatické vady – v mém případě astigmatismus podle pravidla, astigmatismus proti pravidlu a smíšený astigmatismus. Pokud má respondent hlavní osu okolo 90° , jedná se o astigmatismus podle pravidla. Jestliže má hlavní osu okolo 180° , jedná se o astigmatismus proti pravidlu. Pokud nemá osu ani v jenom zmíněném řezu, mluvíme o astigmatismu smíšeném.

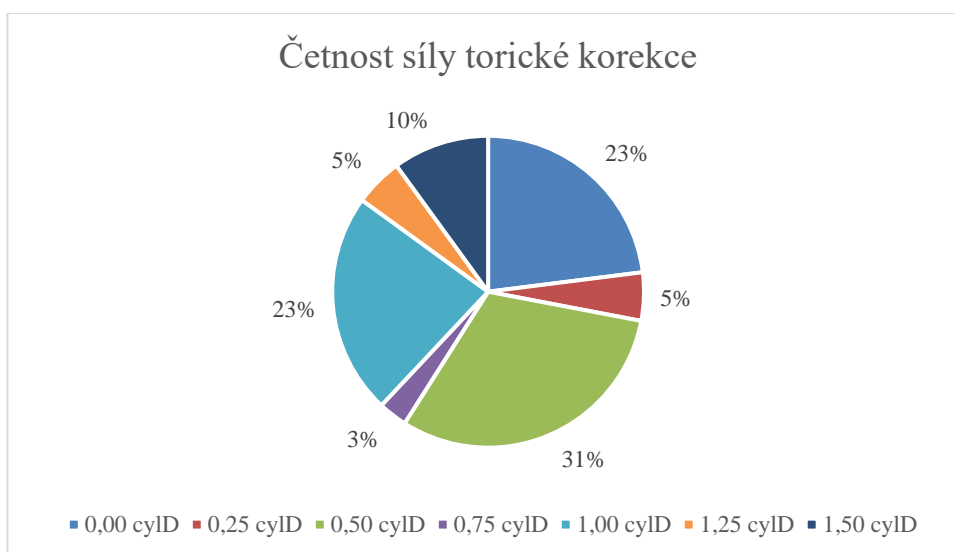
Graf 3: Četnost určitého druhu astigmatismu



Z výsledků vyplývá, že astigmatismus podle pravidla a proti pravidlu se objevují v populaci ve velmi podobném množství. Vzácnější je dle mé analýzy naopak šikmý astigmatismus, který jsem zjistil jen u 5 očí ze 39.

Mimo vyhodnocení os jsem se také zaměřil na četnost síly astigmatismu, která se objevuje nejčastěji v mém vzorku respondentů. Jedná se o hodnoty od 0,00 cylD do -1,50 cylD. Chtěl jsem tím poukázat na to, že i když nám hodnoty z autorefraktometru často ukazují určitou sílu, tak převážně u prvonositelů je často vyšší hodnota astigmatismu nedoporučována kvůli horšímu návyku.

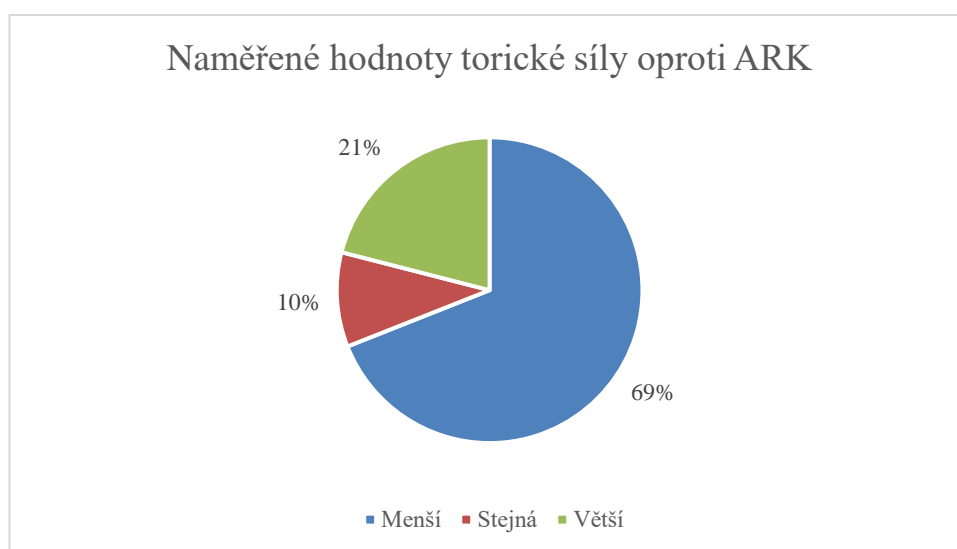
Graf 4: Četnost síly torické korekce v absolutní hodnotě



Nejčastější hodnotou astigmatismu, kterou jsem doporučil předepsat, je hodnota -0,50 cylD, a to v 31 %. Ať už je to kvůli návyku u prvositelů, či dobré snášenlivosti na tuto hodnotu. Výrazné zastoupení tu mají také hodnoty 0,00 cylD. Nulovou hodnotu jsem zde započítal z toho důvodu, abych poukázal na to, že i když nám objektivní refrakce navrhuje určitou astigmatickou korekci, tak vyšetřovaný často tuto hodnotu ani nakonec neakceptuje.

V další analýze dat jsem se zaměřil na to, zda jsou hodnoty síly astigmatismu vyšší, stejné nebo menší, než je tomu po subjektivní refrakci. Chtěl jsem tím zjistit, jakým směrem autorefraktometr nepřesně měří tuto hodnotu.

Graf 5: Hodnoty naměřené pomocí JZC oproti ARK



Výsledkem tohoto měření je, že autorefraktometr, který byl použit pro mé měření, udává v 69 % vyšší hodnoty, než jaké subjektivně klientovi naměříme (viz. graf 5). Hodnoty, které nám udává autorefraktometr, jsou vyšší z toho důvodu, že klient objektivně touto vadou disponuje. Jelikož však s určitou vadou často žije mnoho let, tak si již na daný obraz „navykne“. Pokud bychom klientovi předepsali hodnotu, kterou nám dal autorefraktometr, může se velmi snadno stát, že si klient na takovou hodnotu nezvykne a bude popisovat astenopické potíže. Dle grafu ale můžeme poznamenat, že někteří klienti takovou hodnotu akceptují a ve výjimkách dokonce předepisují astigmatismus vyšší, než nám udal autorefraktometr.

Pro mou bakalářskou práci jsem si zvolil 2 hypotézy, které si v následujících krocích buď potvrdím, nebo vyvrátím. Jak je již na začátku psáno, mé hypotézy znějí:

1. Hodnota torické síly se bude za užití Jacksonova zkříženého cylindru lišit, oproti hodnotám z autorefraktometru, alespoň o 0,50 cylD.
2. Hodnota naměřené osy pomocí Jacksonova zkříženého cylindru se, oproti hodnotám z autorefraktometru, bude lišit alespoň o 10°.

Rád bych připomněl, že mým hlavním cílem bylo poukázat na fakt, že torické hodnoty z objektivní refrakce se výrazně liší oproti subjektivní refrakci. Jak jsem již zmínil, tak je potřeba pečlivě provádět jednotlivé kroky subjektivní refrakce pro dosažení nejlepší zrakové ostroty a pohody. Hodnoty síly astigmatismu se snažíme naměřit na přesnost -0,25cylD a hodnotu osy až na 1°.

Změny hodnot síly a osy jsem zaznamenal do tabulky, která je uvedena níže. Změnu síly torické korekce zaznamenáváme od 0,00 cylD až do 3,50 cylD. Síla torické korekce je pro výpočty uvedena v absolutní hodnotě. Osa se v mém měření lišila od 0° až do 68°.

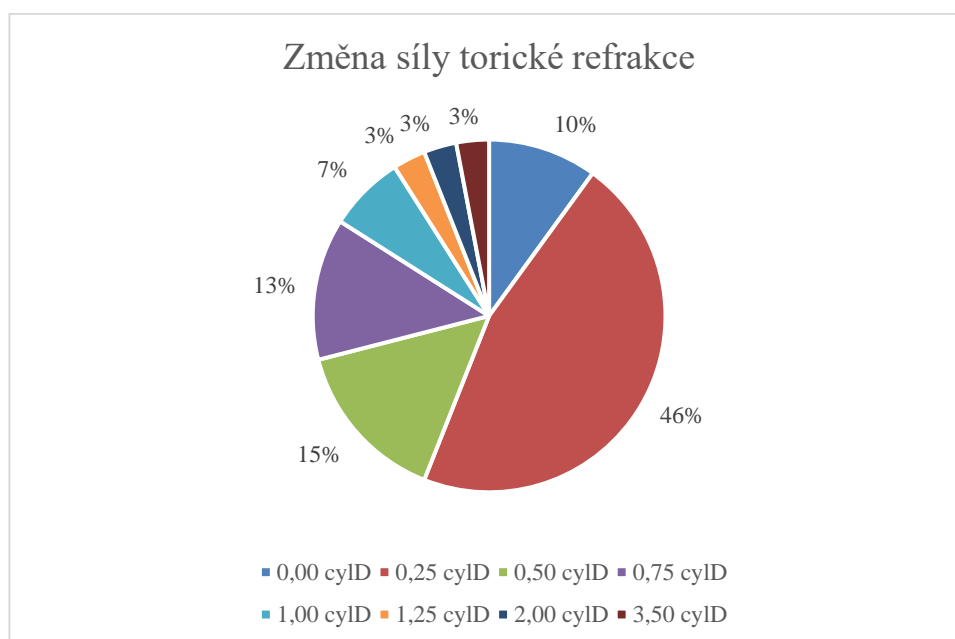
Tabulka 2: Naměřené změny síly a osy cylindru

Oko	Změna síly [cylD]	Změna osy [°]
1	0,25	66
2	0,75	3
3	0,25	7
4	0,00	2
5	0,50	9
6	0,75	20
7	0,25	5
8	0,50	4
9	0,25	8
10	0,25	13
11	0,75	8
12	0,50	-
13	1,25	-
14	1,00	17
15	0,75	-
16	0,25	38
17	0,50	11
18	0,00	6
19	0,75	-
20	0,25	43
21	0,25	5
22	0,00	8

23	0,25	7
24	2,00	22
25	0,50	28
26	3,50	68
27	0,25	-
28	1,00	-
29	0,25	5
30	0,25	5
31	0,25	-
32	0,25	10
33	0,00	0
34	0,25	5
35	0,50	5
36	1,00	-
37	0,25	-
38	0,25	-
39	0,25	-

Zprvu bych se zaměřil na odchylky v naměřené síle torické refrakce. Hodnoty jsou naměřeny u 39 očí, a to i ve chvíli, kdy autorefraktometr žádná data neměřil. V níže uvedeném grafu uvádím, o kolik se nejčastěji tato síla měnila.

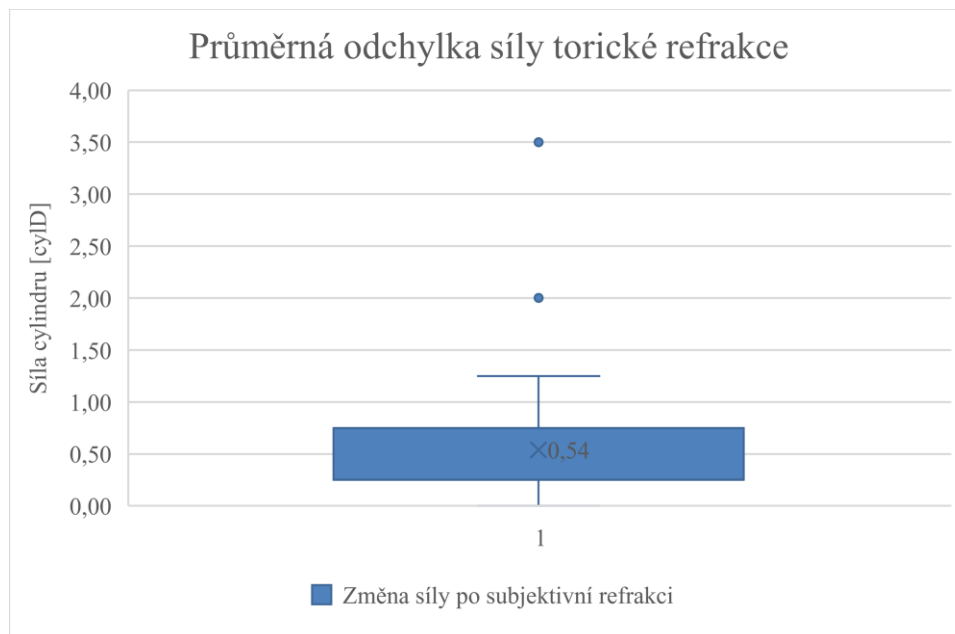
Graf 6: Změna síly torické refrakce



Výsledky ukazují, že se síla nejčastěji lišila o 0,25 cylD, a to ve 46 %.

Pro ověření mé hypotézy č. 1 použiji krabicový graf, ve kterém je znázorněno, o kolik se průměrně změní síla po subjektivním doměření a v jaké části se nejčastěji objevuje daná úchylka měření.

Graf 7: Průměrná odchylka síly torické refrakce

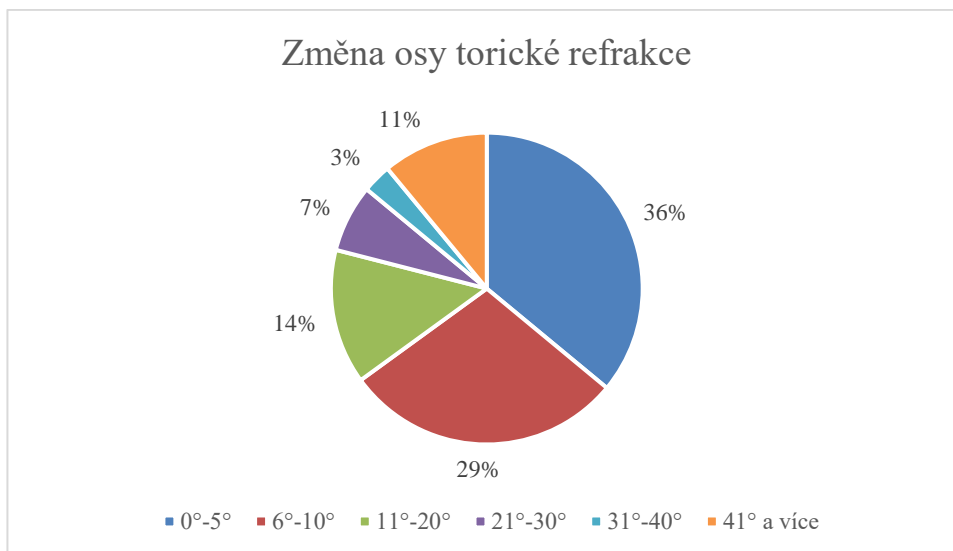


Z naměřených údajů zjišťujeme, že se síla torické korekce pomocí subjektivního dokorigování změní průměrně o 0,54 cylD, což lze pro naše účely zaokrouhlit na 0,50 cylD. Pomocí tohoto měření jsem si tedy potvrdil svoji hypotézu č. 1, která zněla: „Hodnota torické síly se bude za užití Jacksonova zkříženého cylindru lišit, oproti hodnotám z autorefraktometru, alespoň o 0,50 cylD.“ Z grafu č. 7 lze také vyčíst, že torická refrakce se nejčastěji liší o 0,25 cylD až o 0,75 cylD. V daném grafu jsou také uvedeny 2 vysoké odchylky, a to o -2,00 cylD a -3,50 cylD. Takto vysoké odchylky mohli být způsobeny vnějšími vlivy, jakými jsou chyba autorefraktometru, vyšetřovaný při objektivní refrakci zamžoural, nepochopení testu, chyba vyšetřujícího apod., nebo to mohla být první zkušenost s cylindry u klienta, a tak se pro jistotu zvolila menší hodnota síly.

Druhou podstatnou částí mé praktické části bakalářské práce je zjištění, o kolik stupňů se změní osa za pomoci Jacksonova zkříženého cylindru oproti autorefraktometru. V tomto případě počítám s 28 očima. Důvodem je, že některé oči vyhodnotil autorefraktometr jako oči bez astigmatické vady, a tak není s čím porovnat finální naměřenou osu, jako tomu bylo například u porovnání síly torické korekce.

Nejdříve bych opět poukázal na to, v jakých hodnotách se osa nejčastěji měnila. Pro lepší znázornění jsem zprvu použil rozmezí hodnot po pěti, tj. 0° - 5° a 6° - 10° . Dále je již rozmezí po 10° .

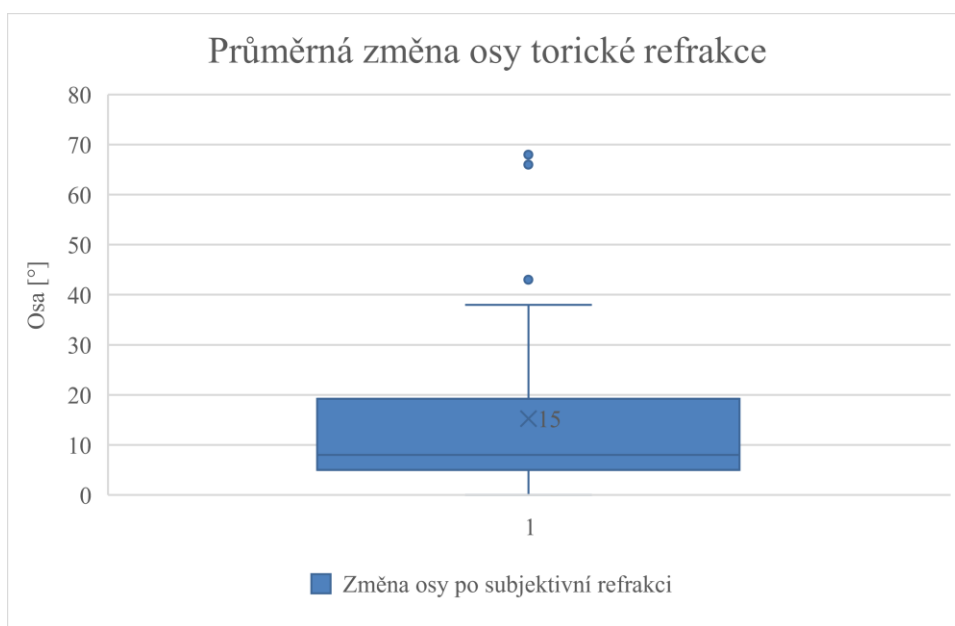
Graf 8: Změna osy torické refrakce



Z grafu výše nám vychází, že ve 33 % se osa po subjektivní refrakci změní o 0° - 5° . Ve 27 % se osa změní o 6° - 10° . Zajímavým poznatkem je, že v 10 % se osa změní o více než 41° . Takto velké odchylky se objevují o klientů, co mají cylindrickou sílu $-0,50$ cylD. Může to být způsobeno několika faktory – „zamžoural“ u objektivní refrakce, nepochopil otázky optometristy, nerozeznal změny a odpovídal náhodně, únava z delšího vyšetření či chybné měření na z mé strany.

Podobně jako u průměrné změny síly torické korekce, tak i zde pro potvrzení hypotézy č. 2 použiji krabicový graf. Znázorním si tak průměrnou odchylku osy, kterou jsem naměřil po použití Jacksonova zkříženého cylindru oproti objektivní refrakci.

Graf 9: Průměrná odchylka osy po subjektivním doměření



Průměrnou hodnotou, o kolik se změní osa po subjektivní refrakci pomocí Jacksonova zkříženého cylindru, je 15°. Tímto si tak potvrzují hypotézu č. 2, která zněla: „Hodnota naměřené osy pomocí Jacksonova zkříženého cylindru se, oproti hodnotám z autorefraktometru, bude lišit alespoň o 10°.“ V grafu jsou uvedeny 3 vyšší odchylky, a to o 43°, 66° a 68°. Tyto odchylky mohli být opět způsobeny vnějšími vlivy, jakými jsou chyba autorefraktometru, vyšetřovaný při objektivní refrakci „zamžoural“, nepochopení testu, vlastní chyba apod.

Osa se průměrně tedy měnila o 15°, což je velká odchylka. Je tak opravdu důležité co nejpřesněji pacienta dokorigovat pomocí Jacksonova zkříženého cylindru, aby nedocházelo ke špatnému zabroušení skel do brýlové obruby pacienta. Pokud by se tak stalo, pro pacienta by nebylo pohodlné, dokonce až nesnesitelné tuto korekci nosit.

Své naměřené výsledky jsem ke konci práce statisticky zhodnotil pomocí párového t-testu. Zjištěné údaje jsou zapsány v tabulce níže.

Tabulka 3: Statistické měření

	Síla astigmatismu	Osa
T-test	0,001	0,1601
Významnost	$p < 0,01$	$p > 0,05$

Ze statistických hodnot naměřených pomocí t-testu vyplývá, že dochází ke statisticky vysoce významnému rozdílu mezi hodnotami pořízenými autorefraktometrem a Jacksonovým zkříženým cylindrem. Převáděno do praxe – objektivní určení hodnoty astigmatismu by mělo být následováno subjektivním dokorigováním.

Při statistickém zkoumání osy cylindru bylo zjištěno, že nedochází ke statisticky významnému rozdílu hodnot. Z pohledu statistiky by to v praxi znamenalo, že osy naměřené z autorefraktometru a Jacksonova zkříženého cylindru se nemění natolik, aby je bylo nutné jakkoliv řešit.

6 Diskuse

Během studování odborných knih, časopisů a studia na vysoké škole jsem se dozvěděl, že se subjektivní refrakce astigmatismu nemůže svou přesností rovnat s objektivní refrakcí. Je to dáno tím, že objektivní refrakce měří stav optického systému, avšak subjektivní refrakce pracuje s pocity klienta a jeho pohodlného vidění. V dnešní době se astigmatismus koriguje snadno, ať už pomocí brýlových či kontaktních čoček. Po prozkoumání rozsahu dostupnosti kontaktních čoček mohu tvrdit, že tento rozsah je naprosto dostačující. Toto tvrzení podkládám analýzou v grafu č. 4, kde jsem se zabýval četností torické síly.

Důležitost subjektivní refrakce astigmatismu jsem podkládal hodnotami, které jsem naměřil během mé praxe v optice. Z výsledků měření je jasné, že subjektivně dokorigovávat je opravdu nezbytné. Během porovnávání os jsem naměřil několik vysokých odchylek. Tyto odchylky o 41° a více bych nepřikládal za vinu nepřesnosti autorefraktometru, avšak vnějším podmínkám. Mohlo se stát, že při vyšetření na autorefraktometru vyšetřovaný „mžoural“, a tak autorefraktometr naměřil chybné osy. Dalším faktorem je nepochopení testu ze strany vyšetřovaného, a tím jsem zřejmě dostával chybné odpovědi. Zde je důležité, aby se optometrista vždy přesvědčil, zda vyšetřovaný správně pochopil daný test a dával zřetel na správně kladené otázky.

Po podrobném prozkoumání jsem zjistil, že vysoké odchylky os se objevily u klientů s nízkou hodnotou astigmatismu ($-0,50$ cylD). Díky nízké hodnotě cylindru tak mohlo docházet, že vyšetřovaný zkrátka nepoznal rozdíl – ve spojitosti se špatně kladenými otázkami jsem tak mohl dosáhnout nepřesného výsledku. Navzdory faktu, že změna os je statisticky nevýznamná, je však opravdu důležité tuto hodnotu subjektivně dokorigovávat. Změnu osy o 2° - 5° bere statistika jako nevýznamnou. U nízkých hodnot cylindrické korekce ($0,50$ cylD) může být tato odchylka dobře tolerována. Naopak u vyšších hodnot už tato odchylka hraje výraznou roli. Při analýze dat jsem zjistil, že u vyšších hodnot cylindru ($>1,00$ cylD) se osa liší v průměru o 10° . Při takto velké odchylce osy by u vyšších cylindrů došlo k intoleranci korekční pomůcky, která by tak neplnila svou funkci. Je však důležité mít na paměti, že každý klient je jiný a každý snáší případnou odchylku osy jinak. Z tohoto důvodu je nutné u každého klienta korigovat sílu a osu subjektivně.

Při analýze dat ze síly torické korekce jsem došel k závěru, že odchylka přesnosti měření se nejčastěji vyskytuje v hodnotách $0,25$ cylD až $0,75$ cylD. Průměrná odchylka měření činila $0,54$ cylD, zaokrouhleno na $0,50$ cylD. Takto nepřesné hodnoty jsou způsobeny tím, že

vyšetřovaný opravdu disponuje refrakční vadou v těchto hodnotách, avšak takto plná korekce by pro něj byla nepohodlná a nesnesitelná. Dle mé analýzy změřených dat vyplývá, že použitý autorefraktometr udává vyšší hodnotu síly torické korekce o 69 %. Také statistické měření nám říká, že rozdíl naměřených hodnot je vysoce významný. Je tedy velmi důležité, pomocí subjektivní refrakce, zjistit, jaká hodnota síly torické korekce je pro něj přijatelná a pohodlná a nedávat vyšetřovanému plnou korekci s tím, že „si na to zvykne“.

Pro mou práci jsem si určil 2 hypotézy, které jsou napsané v úvodu mé práce. Pomocí praktické části jsem obě hypotézy potvrdil. V hypotéze číslo 2 dokonce vyšla odchylka os o 5° víc, než kolik jsem předpokládal.

7 Závěr

Mým hlavním cílem bylo popsat princip objektivního a subjektivního měření astigmatismu v praxi optometristy. V práci jsem poukázal na to, proč je důležité, aby se hodnoty z objektivní refrakce dále dokorigovaly pomocí refrakce subjektivní. V práci jsem též udělal výčet přístrojů, které se na měření podílejí a popsal jejich principy měření. Uvedl jsem typy optotypů, které se používají pro subjektivní hodnocení astigmatismu. Vyhodnotil jsem pomůcky pro vyšetření této refrakční vady a uvedl postupy, jak se správně s těmito pomůckami pracuje. V práci jsem dále pojmenoval oční onemocnění, které se mohou podílet na vzniku astigmatismu. Poukázal jsem na to, že byť jsou dnes již velmi vyvinuté technologie, stále nedosahují takové přesnosti, jako při subjektivním dokorigování. I přes přesnost subjektivních metod měření spousta vyšetřujících tento krok vynechává.

Všechny tvrzení z odborných knih a časopisů jsem podložil v praktické části této práce. Potvrdil jsem, že hodnoty síly a os astigmatismu z objektivní refrakce se výrazně liší oproti subjektivní refrakci. Mimo jiné jsem poukázal na to, jakým směrem nejčastěji autorefraktometr neměří přesně či jaké hodnoty cylindru se nejčastěji objevují v populaci.

Představil jsem výsledky, které prakticky poukazují na fakt, že je subjektivní refrakce důležitá. Doufám tedy, že se mi podaří touto prací přesvědčit skupinu optometristů, kteří subjektivně astigmatismus nekorigují, o účinnosti a přesnosti tohoto měření a zvýším tím tak kvalitu a zrakovou ostrost budoucích klientů.

Seznam použité literatury

- [1] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [2] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [3] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-716-9079-1.
- [4] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [5] PITROVÁ, Šárka a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. 2., přepracované a doplněné vydání. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [6] PHILLIPS, Anthony J. a Lynne SPEEDWELL. *Contact Lenses*. Sixth edition. Poland: Elsevier, 2019.
- [7] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Kontaktní čočky*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-387-2.
- [8] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.
- [9] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [10] MANNIS, Mark J. *Contact lenses in ophthalmic practice*. New York: Springer, c2003. ISBN 0-387-40400-7.
- [11] BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006. ISBN 07-506-7524-1.
- [12] Vaše čočky: Co je astigmatismus: definice, symptomy, diagnostika a následná péče [online]. 2018 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.vasecocky.cz/blog/astigmatismus-osa-cylind.html>
- [13] WANG, Ming X. *Irregular astigmatism* [online]. In: . [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://docplayer.net/6409143-Irregular-astigmatism.html>

- [14] Prevalence of refractive errors in the European adult population: the Gutenberg Health Study (GHS). *The British journal of ophthalmology* [online]. **2014** [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013.304228.
- [15] Refractive error magnitude and variability: Relation to age. *Journal of Optometry* [online]. Elsevier, **2019** [cit. 2020-04-14].
- [16] Astigmatismus [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.4oci.cz/astigmatismus_4c349
- [17] EVANS, Bruce J. W. a David PICKWELL. *Pickwell's binocular vision anomalies*. 5th ed. New York: Elsevier Butterworth Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [18] HOM, Milton M. 1997. Manual of contact lens prescribing and fitting. Boston: Butterworth-Heinemann, xiii, 418 p. ISBN 0750697415
- [19] Sborník přednášek - Kurz kontaktologů: 3. teoretická část. 2000, Česká kontaktologická společnost, Praha
- [20] REINHARD, T. *Corneal disease: recent developments in diagnosis and therapy*. Heidelberg: Springer, [2013]. ISBN 978-3-642-28746-6.
- [21] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [22] VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. *Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.
- [23] HLOŽÁNEK, Martin a Blanka BRŮNOVÁ. *Přístrojová technika v oftalmologii*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902-1609-9.
- [24] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2014. ISBN 978-3-527-41068-2.
- [25] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-701-3301-5.
- [26] Autorefractometer [online]. In: . 2015 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/aroradevanshu/autorefractometer>

- [27] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-701-3402-X.
- [28] Korekce astigmatismu [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/optometrie/astig.html>
- [29] BALAJI, Nirupama. *Jackson's Cross Cylinder (JCC)*. 2007.
- [30] DOMINIQUE, Meslin. *Listy očních optiků: Praktická refrakce*. Paris: ESSILOR ACADEMY EUROPE, 2008. ISBN 979-10-90678-22-4.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Zobrazení astigmatického oka. Zdroj: https://de.cleanpng.com/	7
Obrázek 2: Značení na torické kontaktní čočce. Zdroj: https://www.opticaltraining.com/	11
Obrázek 3: Simulace keratokonu na rohovce. Zdroj: https://www.sightmd.com/	12
Obrázek 4: Zobrazení keratokonu na topografu. Zdroj: https://www.keratoconuscenter.com/	13
Obrázek 5: Historický optometr. Zdroj: https://www.catawiki.eu/	15
Obrázek 6: Scheinerův disk u ametropického oka. Zdroj: https://www.sciencedirect.com	17
Obrázek 7: Autorefraktometr. Zdroj: https://player.slideplayer.cz/	17
Obrázek 8: Skiaskop. Zdroj: https://v-medtech.de/	19
Obrázek 9: Fotoreceptory. Zdroj: https://player.slideplayer.cz/	21
Obrázek 10: Snellenův optotyp. Zdroj: http://jablkon.eu/	22
Obrázek 11: Astigmatický vějíř. Zdroj: http://img.tfd.com/	23
Obrázek 12: Astigmatická růžice. Zdroj: http://angartleo.addr.com/	23
Obrázek 13: Jacksonův zkřížený cylindr. Zdroj: http://home.tiscali.cz/	24
Obrázek 14: Brokův test. Zdroj: https://is.muni.cz/	24
Obrázek 15: Autorefraktometr Essilor AKR 500 [vlastní zdroj]	26
Obrázek 16: Worthova světla. Zdroj: https://www.em-consulte.com	28
Obrázek 17: Osterbergův test. Zdroj: https://www.ohi.at/	28
Obrázek 18: Třířádkový pola-test. Zdroj: https://www.thomson-software-solutions.com/	29

Seznam grafů a tabulek

Graf 1: Věk respondentů.....	31
Graf 2: Pohlavní respondentů.....	31
Graf 3: Četnost určitého druhu astigmatismu.....	32
Graf 4: Četnost síly torické korekce v absolutní hodnotě	32
Graf 5: Hodnoty naměřené pomocí JZC oproti ARK.....	33
Graf 6: Změna síly torické refrakce.....	35
Graf 7: Průměrná odchylka síly torické refrakce.....	36
Graf 8: Změna osy torické refrakce	37
Graf 9: Průměrná odchylka osy po subjektivním doměření	38
Tabulka 1: Porovnané hodnoty z ARK a JZC	29
Tabulka 2: Naměřené změny síly a osy cylindru	34
Tabulka 3: Statistické měření	38

Seznam použitých zkratek

Apod.	a podobně
Tzv.	takzvaně
Obr.	obrázek
JZC	Jacksonův zkřížený cylindr
cylD	cylindrická dioptrie
č.	číslo
ARK	autorefraktometr