



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra přírodovědných oborů

Bakalářská práce

Astigmatismus a cyklovergence

Astigmatism and cyclovergence

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Markéta Žáková

Jan Polícar

Kladno 2015

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2014/2015

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Jan Polícar**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Astigmatismus a cyklovergence**
Téma anglicky: Astigmatism and cyclovergence

Zásady pro vypracování:


Student popíše vliv cyklovergenčních mechanismů a rotace očního bulbu na vyšetřování astigmatismu a následnou astigmatickou korekci. Popíše astigmatismus jako takový, a také objektivní i subjektivní způsoby jeho měření. Dále se bude zabývat rotačními pohyby oka a jejich měřením za monokulárních a binokulárních podmínek. V závěru praktické části zhodnotí, jaký vliv mají cyklovergenční mechanismy na vyšetření astigmatismu.

Seznam odborné literatury:


- [1] ANTON, Milan, Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody, ed. 3, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, ISBN 80-7013-402-X
[2] KRAUS, H. a kol., Kompendium očního lékařství, ed. 1, Grada Publishing, 1997, 341 s., ISBN 80-7169-079-1
[3] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M., Borish's Clinical Refraction, ed. 2, Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2006, 1255 s., ISBN 978-0-7506-7524-6

zadání platné do: 29.09.2016

Vedoucí: Mgr. Markéta Žáková


.....
vedoucí katedry / pracoviště

l. s.


.....
děkan

V Kladně dne 15.01.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem

.....
vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které
uvádím v seznamu přiloženém k 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).

V dne podpis

Na tomto místě chci poděkovat Mgr. Markétě Žákové, za vynaložené úsilí, skvělé nápady a čas trávený při vedení mého projektu. Děkuji také Optice Jaroslav Polícar a jejímu týmu, za podporu, zázemí a poskytnuté prostředky k provedení měření. V neposlední řadě patří mé díky všem, kteří mi s prací pomáhali korekturou nebo třeba jen dobrou radou.

Název bakalářské práce:

Astigmatismus a cyklovergence

Abstrakt:

V práci je popsáno vyšetření astigmatismu a jeho vliv na spokojenost zákazníků s torickou korekcí. Práce popisuje astigmatismus a jeho dělení. Dále shrne objektivní i subjektivní metody jeho vyšetřování. V další části zkoumá mechanismy pohybů očního bulbu a potíže s torickou korekcí způsobené cyklotorzními kompenzačními pohyby oka. Tyto pohyby napomáhají jednoduchému binokulárnímu vidění při binokulární fixaci. V praktické části jsou určeny rozdíly mezi klasickým, monokulárním vyšetřením a vyšetřením astigmatismu za binokulárních podmínek. Výsledky analýzy jsou shrnuty a rozebrány z hlediska významu vlivu cyklotorzních pohybů na správnost výsledné korekce astigmatismu.

Klíčová slova:

astigmatismus, Polaskop 3D, torzní pohyby, cyklotorze, Listingův zákon

Master's Thesis title:

Astigmatism and cyclovergence

Abstract:

The work describes the examination of astigmatism and its impact on customer satisfaction with toric correction. It describes the astigmatism and its divisions. Furthermore, recaps objective and subjective methods of its investigation. The next section examines the mechanism of the eyeball movements and problems with toric correction caused by cyclotorsional compensatory eye movements. These movements help simple binocular vision during binocular fixation. In the practical section are examined differences between classical, monocular examination and testing of astigmatism under binocular conditions. Results of the analysis are summarized and analyzed in light of the importance of the influence of cyclotorsional movements on the accuracy of the resulting astigmatism correction.

Key words:

astigmatism, Polaskop 3D, torsional movements, cyclotorsion, Listing's law

Obsah

Úvod.....	1
Cíle práce	2
1 Astigmatismus	3
1.1 Co je astigmatismus	3
1.1.1 Historie.....	3
1.2 Rozdělení astigmatismu	4
1.2.1 Podle příčiny	4
1.2.2 Podle lokalizace	4
1.2.3 Podle tvaru rohovky.....	5
1.2.4 Podle polohy fokál	6
2 Vyšetření astigmatismu.....	7
2.1 Objektivní metody.....	7
2.1.1 Autorefraktokeratometr	7
2.1.2 Skiaskopie	8
2.1.3 Další objektivní metody pro zjištění astigmatismu.....	11
2.2 Subjektivní metody	11
2.2.1 Jacksonův zkřížený cylindr.....	12
2.2.2 Zamlžovací metoda.....	13
2.2.3 Optotypy	15
3 Pohyby bulbu	23
3.1.1 Přímé pohyby	23
3.1.2 Torzní pohyby.....	23
4 Praktická část	27
4.1 Pracovní hypotéza	27
4.2 Metodika měření	27
4.2.1 Vliv pootočení osy cylindru na zbytkovou refrakční vadu.....	30
4.3 Výsledky analýzy	32
4.3.1 Rotace	32
4.3.2 Cyklotorzní pohyby	33
4.3.3 Vliv cyklotorzních pohybů na zrakovou ostrost.....	33
4.3.4 Vliv cyklotorzních pohybů na komfort korekce	34
4.3.5 Vliv stávající korekce na osu astigmatismu.....	36
4.3.6 Rozdíly hodnot mezi ARK a subjektivním měřením.....	36

4.3.7	Faktory znemožňující použití cyklofúzního testu v praxi optomeristy	36
5	Diskuse.....	37
6	Závěr	38
7	Citovaná literatura.....	39
8	Seznam obrázků.....	42
9	Seznam grafů a tabulek.....	43
10	Seznam použitých zkratk	43

Úvod

K volbě tématu bakalářské práce mi napomohl fakt, že jsem získal přístup k optotypu, který disponuje testem pro vyšetření astigmatismu za binokulárních podmínek. Položil jsem si tedy otázku, jaký má vyšetření astigmatismu za binokulárních podmínek vliv na zákaznickový pocity s korekcí. Je obvyklé, že cylindrická korekce je v brýlích snášena hůře, nežli korekce sférická. Ale proč je tomu tak? Mají na tuto skutečnost vliv torzní pohyby oka, které při binokulárním pohledu podporují jednoduché binokulární vidění a zamezují rotační diplopii? Jaký mají tyto pohyby směr a o kolik stupňů se bulby stáčejí? To jsou otázky, které jsem si položil při výběru tématu.

Po logické úvaze jsem došel k závěru, že astigmatismus je vyšetřován monokulárně, zatímco běžný zrakový vjem je tvořen za binokulárních podmínek. To by se, vlivem torzních pohybů bulbu, mělo projevit v rozdílu os mezi vyšetřením monokulárním a binokulárním. Je rozdíl mezi těmito osami skutečně příčinou nespokojenosti s torickou korekcí? Bylo by možné zlepšit tímto vyšetřením zrakovou ostrost ve výsledné korekci?

V práci se budu zabývat astigmatismem, možnostmi jeho měření a následně principy torzních pohybů očních bulbů při binokulární fixaci. V praktické části budu ověřovat, zda vyšetření astigmatismu za binokulárních podmínek omezí problémy spojené s diskomfortem s astigmatickou korekcí.

Cíle práce

Práce popíše vliv cyklovergenčních mechanismů a rotace očního bulbu na vyšetřování astigmatismu a následnou astigmatickou korekci. Popíše astigmatismus jako takový, a také objektivní i subjektivní způsoby jeho měření. Dále se bude zabývat rotačními pohyby oka a jejich měřením za monokulárních a binokulárních podmínek. V závěru praktické části zhodnotí, jaký vliv mají cyklovergenční mechanismy na vyšetření astigmatismu.

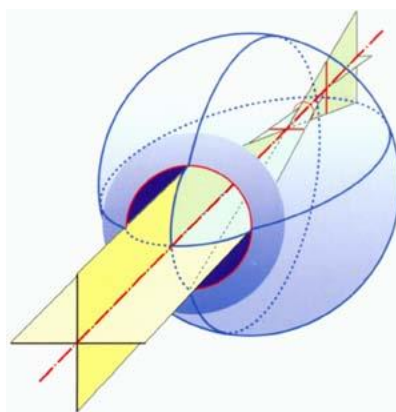
Cíle projektu: Cílem práce je prakticky dokázat, zda monokulární vyšetření astigmatismu je ideální pro bezchybnou korekci astigmatismu. Práce popíše vliv cyklovergenčních mechanismů binokulárního vidění na osu astigmatismu měřenou monokulárně porovná tyto dva typy měření z objektivního i subjektivního hlediska.

1 Astigmatismus

Astigmatismus je pojem, který je v dnešní době hodně používán. Rád bych proto nejdříve tento pojem vysvětlil.

1.1 Co je astigmatismus

Astigmatismus je vada, při které optický systém oka nemá stejnou lomivost ve všech meridiánech. To znamená, že paprsky, které přicházejí do oka z nekonečna, netvoří na sítnici bod, ale rozptylový kroužek. Nebodové zobrazení soustavy je dáno tím, že ohniska jednotlivých hlavních řezů rohovky jsou vůči sobě posunuta a tvoří tzv. ohniskové přímky neboli fokály. Vzdálenost fokál, nebo také fokální interval určuje stupeň vady. [1,2,3]



Obrázek 1: Astigmatismus [4]

Astigmatismus je ve většině případů vrozený, nicméně vada zakřivení rohovky může být i získaná, a to například po operacích, zánětech nebo jako následkem úrazu. Může být však způsoben například i subluxací čočky nebo nitroočního čočkového implantátu.[1,2,3]

1.1.1 Historie

Pojem astigmatismus vznikl už v roce 1727, kdy Isaac Newton poprvé zmínil nebodové zobrazení optické soustavy. V roce 1801 popsal podrobněji tuto vadu Thomas Young, který sám touto vadou trpěl. Roku 1827 byl poprvé astigmatismus korigován cylindrickou čočkou, a to astronomem Airym. Podrobnější studie provedl roku 1864 Dondres. [3]

První zmínky o vyšetření metodou zkříženého cylindru jsou z roku 1849, kdy Stokes použil cylindrická skla o hodnotě $-4,0$ Dpt a $+4,0$ Dpt tak, že se daly porovnávat možnosti komfortu vidění. Současná technika vyšetření byla prezentována Edwardem Jacksonem v roce 1887 pro

zjištění síly cylindru a v roce 1907 i pro zjištění osy astigmatismu. V roce 1911 byl Jacksonův zkřížený cylindr uveden na trh a rozšířen do praxí. [5]

1.2 Rozdělení astigmatismu

Astigmatismus jakožto nebodové zobrazení optické soustavy dělíme na několik typů.

1.2.1 Podle příčiny

Kurvturní astigmatismus

Nejčastější kurvturní astigmatismus je lokalizován na přední ploše rohovky. Častější je astigmatismus podle pravidla. Méně častý je pak astigmatismus proti pravidlu nebo šikmý astigmatismus.

Dalším typem astigmatismu je čočkový nebo také dynamický. Čočkový astigmatismus je celkem běžný a běžně se také stává, že kompenzuje rohovkový astigmatismus. Nabývá ovšem pouze zanedbatelných hodnot a vzhledem ke složitosti jeho měření je v běžné praxi ignorován. [6]

Indexový astigmatismus

Vzniká na základě nestejného indexu lomu v prostředích optického aparátu oka. Například při počínající kataraktě, kdy se čočka kalí pouze na určitých místech, může vyvolávat nepříjemnou monokulární diplopii.

Astigmatismus z decentrace

Bývá způsoben traumatickou subluxací čočky, ale může vzniknout i fyziologicky v důsledku asymetrického vyklenutí pouzdra čočky. Už při malé decentraci nitrooční čočky může tento astigmatismus nabývat významných hodnot.

1.2.2 Podle lokalizace

Astigmatismus dělíme podle toho, zda je lokalizován na rohovce, čočce nebo je výsledkem dalších vlivů a aberací optického systému oka. Takový typ nazýváme zbytkový astigmatismus a je zanedbatelný.

Čočkový

Čočkový astigmatismus je vzácnější forma této vady. Bývá nazýván také akomodativní či dynamický. To proto, že se může měnit s akomodací.

Může být způsoben také subluxací čočky, nebo změnou lomivosti čočky, například při počínající kataraktě.[3]

Rohovkový

Rohovkový astigmatismus je nejčastěji způsoben torickou, neboli nepravidelně zakřivenou rohovkou [1]

1.2.3 Podle tvaru rohovky

Podle tvaru rohovky se dá astigmatismus rozdělit na pravidelný a nepravidelný.

Pravidelný

O pravidelném astigmatismu mluvíme, pokud lze vadu korigovat pomocí cylindrické nebo sférocylindrické čočky a dosáhnout tak fokusace paprsků do fovey. [1]

Podle pravidla

Astigmatismus podle pravidla je výrazně častější než astigmatismus proti pravidlu. Najdeme ho cca v 80 % případů. Většinou je způsoben tlakem horního víčka na rohovku, která se tímto vyklene. V tomto případě je tedy nejstrmější meridián v ose kolem 90° a nejplošší meridián naopak v ose kolem 180° [1,3]

Tento typ astigmatismu najdeme hlavně u dospělých a dětí nad 5 let věku. [3]

Proti pravidlu

Astigmatismus proti pravidlu má naopak nejstrmější meridián kolem osy 180° a nejplošší kolem osy 90° . [1]

Astigmatismus proti pravidlu je nejčastější u dětí do 5 let věku. [3]

Šikmý astigmatismus

Šikmý astigmatismus vzniká v případě, že osy hlavních meridiánů nejsou v osách 90° nebo 180° , ale jsou v osách šikmých, tedy kolem hodnot 45° a 135° , a nelze tedy určit, který řez je horizontální, a který vertikální. [3]

Nepravidelný

Astigmatismus, který nemá na sebe kolmé meridiány, a tudíž ho nejsme schopni korigovat klasickou torickou čočkou, se nazývá nepravidelný. Na rozdíl od pravidelného tento typ astigmatismu je asymetrický a vzniká většinou v následku rohovkových jizev nebo keratokonu.

1.2.4 Podle polohy fokál

Astigmatismus jednoduchý (simplex)

U tohoto druhu je jedna fokála emetropická (leží na sítnici) a druhá ametropická (leží před, nebo za sítnicí).

Podle umístění ametropické fokály rozeznáváme astigmatismus simplex myopicus a astigmatismus simplex hypermetropicus. [3,6]

Astigmatismus složený (compositus)

Obě fokály jsou buď hypermetropické nebo myopické. Podle polohy fokál rozeznáváme astigmatismus compositus myopicus a astigmatismus compositus hypermetropicus. [3,6]

Astigmatismus smíšený (mixtus)

Jedna fokála je myopická a druhá je hypermetropická .[3]

2 Vyšetření astigmatismu

2.1 Objektivní metody

Objektivní metody vyšetření astigmatismu nám rychle a přesně říkají, jaké refrakční hodnoty optický aparát opravdu nabývá. Tyto metody jsou nezávislé na vjemech vyšetřované osoby a jsou pouze orientační složkou pro subjektivní refrakci.

2.1.1 Autorefraktokeratometr

Autorefraktokeratometrie je velmi přesná metoda ke zjištění refrakce oka. Vyšetřovaný je pouze instruován, aby fixoval barevný podmět, který uvolňuje akomodaci a simuluje pohled do dálky. Poté optometrista zaměří a zaostří na zornici. Autorefraktokeratometr (dále jen ARK) vyše do oka paprsek o vlnové délce 780-950nm. Tato vlnová délka se používá proto, že světločivé elementy na sítnici nejsou přizpůsobeny k reakci na takové záření, jsou tedy pro oko neviditelné a zornice zůstává roztažená. A také proto, že odrazem těchto paprsků se vrací na detektor kolem 9 % původní intenzity (měřeno pro 880nm). Pokud to samé provedeme například se zelenou barvou (550nm) odrazem se vrátí na detektor pouze 1 % původní intenzity záření. Po průchodu paprsku okem paprsky dopadnou na detektor, a podle jejich intenzity ARK spočítá potřebnou dioptrii ke korekci refrakční vady. Během jednoho měření proběhnou tři jednotlivé emise záření. Přístroj vyhodnotí jejich průměr, ten poté doporučí ke korekci.[5,7]

Badalův princip

Pro zobrazení vyslaného paprsku přímo na detektor i přes aberaci optické soustavy oka, která paprsek vychýlí a deformuje, se využívá Badalova principu. Jedná se o jednoduchý princip, který je založen na posunu čoček. Mezi jeho výhody patří zejména lineární poměr, který platí při změně vzdálenosti čočky od oka a refrakci na vrcholovém bodu. Druhá výhoda Badalova systému je, že při jeho použití bez ohledu na vzdálenost čoček, zůstává optické zvětšení konstantní.[8]



Obrázek 2:
Autorefraktokeratotonopachymetr
firmy Topcon TRJ-1P (vlastnictví
FBMI ČVUT) [vlastní zpracování]



Obrázek 3:
Autorefraktokeratotonopachy
metr firmy Topcon TRJ-1P
(vlastnictví FBMI ČVUT)
[vlastní zpracování]



Obrázek 4: Autorefraktometr NIDEK
firmy Oculus [11]

2.1.2 Skiaskopie

Je metoda sloužící k objektivnímu zjištění refrakce. Její počátek je datován do poloviny 19. stol. Může být použita v kombinaci s cykloplegiky z důvodu lepší viditelnosti reflexu, například u dětí. Metoda se dále využívá u mentálně postižených, zákazníků s velmi špatným vizelem nebo nespolutracujících zákazníků. V případě, že zákazník není schopen udát spolehlivé odpovědi při subjektivní refrakci, může být výsledek této metody určen jako výsledná refrakce. [5,10]

K tomuto vyšetření je potřeba skiaskopu (retinoskopu). Je to malý, ruční přístroj emitující viditelné světlo v úzkém pruhu. Vyšetřující pozoruje červený reflex v zákazníkovo oku polopropustným nebo perforovaným zrcadlem, které světlo láme do zákazníkova oka. Zákazník přitom fixuje na nekonečno. [5]

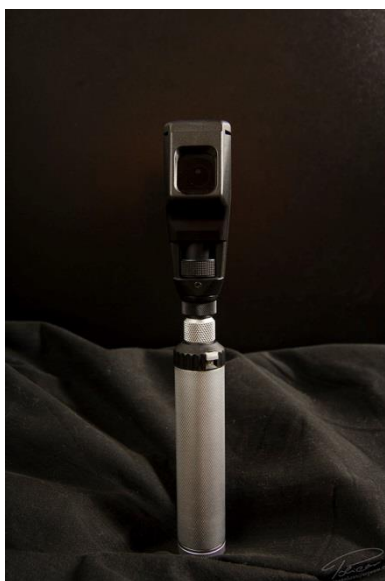
Dále je potřeba skiaskopických lišt, případně zkušební brýlové obruby nebo forofteru.

Vyšetřovací vzdálenost pro toto vyšetření je 40 až 100cm. Vyšetřovací vzdálenost ovšem musí být zohledněna ve výsledcích měření. Běžná vyšetřovací vzdálenost je 67cm. Tomu odpovídá úprava naměřené dioptrické hodnoty o $-1,50\text{Dpt}$. Pokud není možné tuto vzdálenost dodržet, je nutné upravit dioptrickou hodnotu, která se přičítá k dioptrické hodnotě naměřené po zastavení pohybu reflexu. Pro vyšetřovací vzdálenost 50cm a méně, přičítáme k výsledné korekci $-2,00\text{Dpt}$. Naopak při vyšetřovací vzdálenosti kolem 100cm přičítáme k výsledné korekci $-1,00\text{Dpt}$.

Skiaskop emituje světelný paprsek, kterým míříme zákazníkovi do oka. Po odrazu paprsku od sítnice vzniká červený reflex, který pozorujeme zornicí. Při pohybu skiaskopu ze strany na stranu se reflex pohybuje a vzniká stín, podle jehož pohybu posuzujeme refrakční vadu. [5]

Při pozorování reflexu hodnotíme směr jeho pohybu. Je-li pohyb „souhlasný“, to znamená, že reflex v zornici se pohybuje stejným směrem, jako se pohybuje paprsek skiaskopu, jedná se o oko hypermetropické, emetropické nebo lehce myopické a přidáváme do zkušební obruby (na skiaskopické liště) kladnou korekci, neboli „plusové dioptrie“ až do zastavení pohybu paprsku. V případě, že reflex se pohybuje opačným směrem než paprsek skiaskopu, jedná se o oko myopické a přidáváme zápornou dioptrickou hodnotu, neboli „mínusové dioptrie“. Toto opakujeme opět až do zastavení pohybu reflexu. Pokud se reflex zastaví, znamená to, že jsme našli správnou hodnotu korekce, nesmíme ovšem zapomenout na vyšetřovací vzdálenost a její zohlednění podle výše popsaného principu.

Skiaskopií se dá zjistit i objektivní složka astigmatismu. Pokud vertikální paprsek skiaskopu nezpůsobuje reflex v paralelním postavení, je to známka nestejně lomivosti meridiánů rohovky a tudíž astigmatismu. V takovémto případě natáčíme paprsek skiaskopu dokud není v paralelním postavení s reflexem v zornici. Poté provedeme výše popsaný postup až do zastavení pohybu reflexu. Pokud se reflex zastaví, otočíme paprsek skiaskopu o 90° a postup opakujeme. Tímto vyšetříme sílu astigmatismu v obou hlavních meridiánech rohovky a zároveň zjistíme i osu astigmatismu. [5,10]



Obrázek 5: Skiaskop [vlastní zpracování]



Obrázek 6: Skiaskopické vyšetření [vlastní zpracování]

Rohovková topografie

Rohovková topografie je metoda sloužící k zobrazování předního segmentu oka.

Moderní rohovkové topografy dokáží detailně zobrazit přední segment oka v 3D mapě, ale i v mapě s číselnými údaji o výšce jednotlivých bodů rohovky.

Pracují na principu Placidova keratoskopu, kamery snímající obraz na rohovce a počítače vyhodnocujícího naměřené údaje.

Mezi rohovkové topografy patří i Pentacam. Ten oproti jiným topografům pracuje na principu Scheimpflugovy kamery a je schopen zobrazit i zadní plochu rohovky.



Obrázek 7: Rohovkový topograf Rodenstock TS-1200 (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování]



Obrázek 8: Oculus Pentacam (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování]

Placidův keratoskop

Placidův keratoskop je přístroj sloužící pro orientační zjištění astigmatismu. Jeho základem je kotouč, na kterém se střídají černé a bílé koncentrické kruhy. Uprostřed kotouče je otvor pro pozorování odrazů kružnic na rohovce. Zákazník při vyšetření fixuje střed kotouče.

Pokud je rohovka sférická, zobrazí se odraz kružnic jako kruhový.

Pokud je přítomen astigmatismus a rohovka není sférická, bude obraz kruhů deformován.

Za přítomnosti pravidelného astigmatismu se bude obraz kruhů jevit jako elipsa. Při astigmatismu podle pravidla se bude delší osa elipsy nacházet v horizontální ose, u astigmatismu proti pravidlu ve vertikální ose.

Při nepravidelném astigmatismu se kruhy jeví jako nepravidelné obrazce.[12]



Obrázek 9: Placidův keratoskop [17]

2.1.3 Další objektivní metody pro zjištění astigmatismu

Javalův keratometr

Javalův keratometr je přístroj určený k měření parametrů přední plochy rohovky. Používá se k měření rohovkového astigmatismu. Jednoduchým postupem dokážeme velice přesně změřit poloměry křivosti a optickou mohutnost jednotlivých meridiánů rohovky. [12]



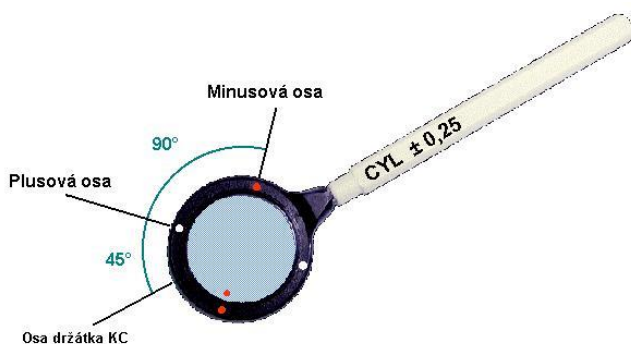
Obrázek 10: Javalův keratometr KER-200 (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování]

2.2 Subjektivní metody

Subjektivní metody vyšetření jsou založeny na komunikaci se zákazníkem. Zákazník udává své pocity nebo vjemy a vyšetřující se podle nich řídí a upravuje korekci. Pro subjektivní testy na astigmatismus je nezbytné nejprve správně najít „nejlepší sférickou korekci“, neboli sféricky dokorigovat na sítnici kroužek nejmenšího rozptylu.

2.2.1 Jacksonův zkřížený cylindr

Metoda Jacksonova zkříženého cylindru (JZC) má své kořeny již v 2. polovině 19. století (viz kapitola 1) a od té doby je metoda prakticky beze změny. Jedná se o velice přesnou subjektivní metodu pro vyšetřování astigmatismu. Vyšetřující je schopen určit osu a sílu astigmatismu s přesností na 1° a $1/8$ Dpt při plné reprodukovatelnosti vyšetření.



Obrázek 11: Jacksonův zkřížený cylindr[13]



Obrázek 12: Jacksonův zkřížený cylindr (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování]

Jacksonův cylindr je složen z dvou plancylindrických čoček, které jsou přiložené kolmo k sobě (sph $-0,25$ cyl $+0,50$ ax 90°). Dělá se v síle $\pm 0,25$ Dpt; $\pm 0,50$ Dpt; $\pm 1,00$ Dpt. Používá se tak, že v ruce otáčíme mezi prsty JZC v ose rukojeti a tím měníme polohy cylindrů o 90° .

K vyšetření se používá bodový test (viz Obrázek 13) nebo Landoltovy kruhy. Při vyšetřování JZC se vždy řídíme zápornou osou cylindru a používáme tudíž pouze „mínusové cylindry“.

Vyšetření se dá provádět klasickým Jacksonovým cylindrem (viz Obrázek 11 a 12) nebo foropterem.

Postup vyšetření

Zákazník je nejprve vykorigován nejlepší sférickou čočkou, se kterou dosáhl nejlepší zrakové ostrosti. Jedno oko je okludované a druhým vyšetřovaný fixuje vyšetřovací test (bodový test, Landoltovy kruhy).

Před zákazníkovo oko nyní předložíme Jacksonův cylindr nejprve do osy 180° , poté do 90° a ptáme se zákazníka, který obrázek (osa) se mu jevila jako lepší. To samé opakujeme v osách 135° a 45° .

Pokud zákazník vidí všechny obrazy stejně ostré, je astigmatismus vyloučen.

Pokud je ovšem jeden nebo dva obrazy lepší než ostatní, je astigmatismus potvrzen a zároveň známe jeho přibližnou osu.

Vložíme tedy korekční cylindru do přibližné osy. Sílu odhadneme podle zákazníkova vizu a pokračujeme ve vyšetření.

Přiložíme JZC do rukojetí souběžně s osou korekčního cylindru, zkusíme obě dvě polohy a ptáme se na porovnání.

Pokud jsou obrazy v obou osách stejné, nynější osa je osa astigmatismu.

Pokud se jeden obraz jeví jako lepší, potočíme korekční cylindru ve směru záporného cylindru, a to opakujeme až do vyrovnání kvality obou obrazů, tedy do polohy, ve které jsou obrazy v obou polohách stejně špatné.

Tím jsme zjistili osu cylindru, síla cylindru se měří následovně.

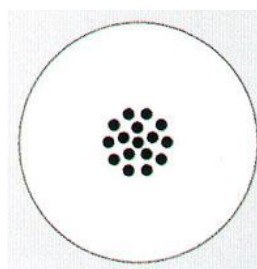
JZC přiložíme do osy cylindru zápornou osou, potom i kladnou osou a ptáme se na porovnání obrazů.

Pokud je obraz lepší se zápornou osou, přidáváme na síle korekčního cylindru.

Pokud je obraz lepší s kladnou osou, ubíráme na síle korekčního cylindru.

Toto opakujeme až do doby, kdy jsou oba obrazy stejné.

U vyšetřování JZC nesmíme zapomenout na změnu při použití pravidla, že na každou změnu mínusového korekčního cylindru o půl Dpt musíme změnit sférickou dioptrii ve zkušební obrubě o +0,25 Dpt. [13,15]



Obrázek 13: Bodový test [16]

2.2.2 Zamlžovací metoda

Zamlžovací metoda se používá pro zjištění astigmatismu a může být prováděna jako pretest k metodě Jacksonova zkříženého cylindru. K zamlžovací metodě se používá astigmatický vějíř nebo růžice (viz Obrázek 14 a 15) a zkušební obruba s brýlovou skříní nebo foropter.

Zamlžovací metoda pro vyšetření astigmatismu se provádí při lehkém rozmlžení zákazníka například +1,0Dpt, podle toho jakou má akomodační rezervu. Je důležité, aby zákazník neviděl vyšetřovací obrazec ostře.

Postup vyšetření

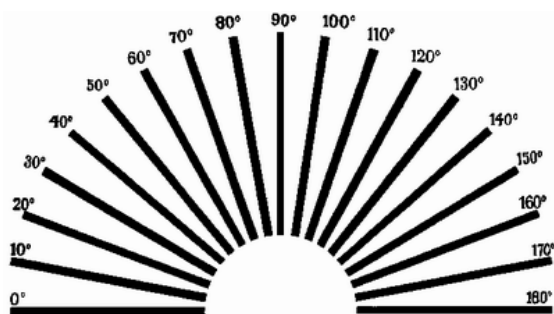
Nejprve zamlžíme pravé oko a levé okludujeme. Necháme zákazníka fixovat vyšetřovací obrazec (astigmatickou růžici nebo vějíř) a ptáme se, zda jsou některé osy v obrazci ostřejší nebo výraznější než ostatní. Pokud ano, zeptáme se zákazníka na jejich směr a kolmo k jejich směru vsadíme do zkušební obruby korekční cylindr.

Pokud se nejvýraznější osa srovnala s ostatními, korekce je hotova.

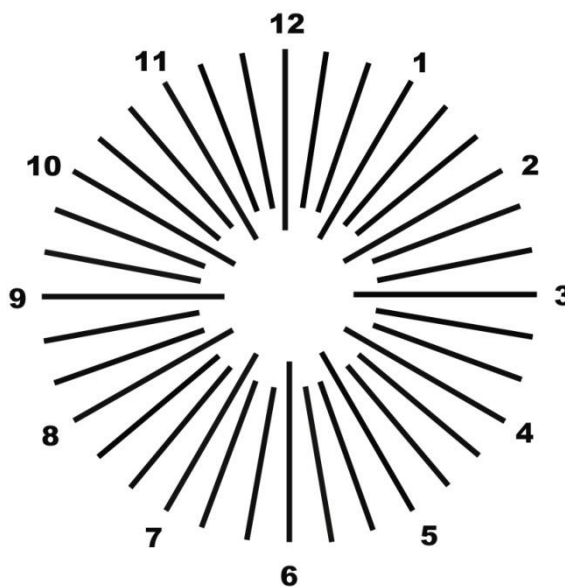
V případě, že osa je stále o výraznější, než ostatní přidáme silnější cylindr a znovu zkontrolujeme. Toto opakujeme až do srovnání výraznosti os.

Pokud se osa zeslabila a je nyní méně výrazná než osa k ní kolmá, použili jsme příliš silný cylindr a je potřeba ho zeslabit.

Po dokončení vyšetření zamlžovací metodou i pro druhé oko se pro kontrolu dá použít metoda Jacksonova zkříženého cylindru.[13]



Obrázek 14: Astigmatický vějíř [17]



Obrázek 15: Astigmatická růžice [18]

2.2.3 Optotypy

Optotyp je standardizovaná tabulka, kterou tvoří skupina písmen, čísel a znaků, které jsou zakresleny do čtverce tak, že tloušťka jejich znaku se rovná jedné pětině strany čtverce a odpovídá jedné úhlové minutě. Velikost čtverce je zvolena tak, aby se z určité vzdálenosti zobrazil na sítnici pod úhlem 5'. [19]

Optotypy do blízka

Pro vyšetřování zrakové ostrosti do blízka se používají optotypy do blízka neboli Jägerovy tabulky. Vyšetřovací vzdálenost těchto optotypů je 40cm.

Tyto tabulky jsou sestaveny tak, aby co nejvíce napodobovaly každodenní situace při čtení textu.

Optotypy do dálky

Běžná vyšetřovací vzdálenost optotypů do dálky je 5 nebo 6 metrů. Tato vzdálenost je určena proto, že na tuto vzdálenost oko již neakomoduje.

Každý řádek optotypu má své číslo. Číslo řádku udává vzdálenost v metrech, ze které by jej mělo být schopné rozlišit emetropické oko. [19]

Zlomkový

Zlomkový zápis udává z jaké vzdálenosti je zákazník schopen přečíst řádek, který je emetropické oko schopno přečíst z určité vzdálenosti.

Příklad zápisu

$V = 6/6$ tzn. zákazník je schopen přečíst ze šesti metrů týž řádek, který by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

$V = 3/6$ tzn. zákazník přečte ze tří metrů týž řádek, jaký by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

Desetinný

Převodem předchozího zlomkového zápisu získáme zápis desetinný.

Příklad zápisu

$V = 1$ tzn. zákazník přečte ze šesti (případně pěti) metrů týž řádek, který by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

$V = 0,5$ tzn. zákazník přečte ze tří metrů týž řádek, jaký který by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

Procentuální

Procentuální zápis udává zrakovou ostrost v procentech. V odborné mluvě není téměř používán. Je výhodné jej použít při rozhovoru s zákazníkem pro demonstraci jeho vizu.

Příklad zápisu

$V = 100\%$ tzn. zákazník přečte ze šesti (případně pěti) metrů týž řádek, který by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

$V = 50\%$ tzn. zákazník přečte ze tří metrů týž řádek, jaký který by měl být schopen přečíst emetropický zákazník ze šesti metrů.

Jednotlivé typy zápisu se mezi sebou dají přepočítávat. Například $V \ 6/6 = V \ 1 = V \ 100\%$

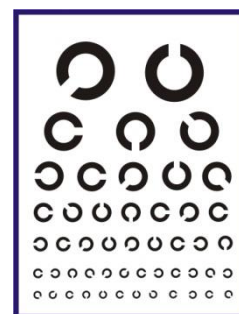
Optotypové znaky

Landoltovy kruhy

Světově uznávané znaky pro přesné určení zrakové ostrosti jsou Landoltovy kruhy. Jejich výhodou je možnost natočení do osmi poloh. Tím se výrazně snižuje možnost „odhadnutí“ znaku při vyšetření. Landoltovy kruhy jsou také nejpřesnější z optotypových znaků pro určení přítomnosti astigmatismu.

Landoltovy kruhy jsou znaky nápadně připomínající písmeno C. Jsou konstruovány podle výše popisovaných pravidel pro optotypové znaky.

Nevýhoda kruhů je nelehká spolupráce s vyšetřovaným při určování směru kruhu. Nabízí se možnost orientovat se podle ciferníku hodin. Vyšetřovaný pak pouze udá polohu neuzavřené části znaku podle jeho polohy na pomyslném ciferníku.



Obrázek 16:
Landoltovy kruhy [22]

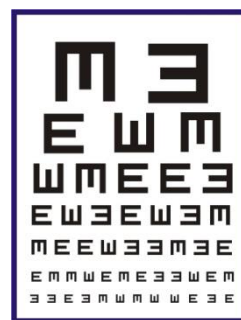
Pflügerovy háky

Jsou optotypové znaky, používané hlavně při vyšetřování dětí, analfabetů nebo cizinců, kteří mohou mít problém se Snellenovými optotypy.

Znak je konstruován podle výše popsaných norem pro optotypové znaky a připomíná tvar písmene E.

Jejich velkou výhodou je jednoduchost. Vyšetřovaný může například rukou naznačit směr, do kterého míří neuzavřená část znaku. Případně prsty jedné ruky napodobit znak a ukázat do požadovaného směru.

Nevýhoda těchto znaků je malá variabilita. Znak se dá natočit pouze do čtyř základních směrů a pro vyšetřovaného je tudíž jednodušší uhodnout směr natočení.



Obr. č. 9 Pflügerovy háky
[22]

Snellenovy optotypy

Snellenovy znaky jsou konstruovány podle běžných pravidel pro optotypové znaky tak, aby co nejvíce připomínaly symboly používané v běžném životě. Jsou to písmena velké abecedy a číslice. To je největší výhoda tohoto typu optotypu, ovšem to doprovází i spousta nevýhod. Od běžně používaných písmen je dělí především vysoký kontrast, který v psaném textu zpravidla není tak vysoký. Další nevýhodou je různá obtížnost čtení různých písmen a také nestejný počet písmen na řádku. To představuje problém zejména při hodnocení chybovosti.



Obr. č. 10 Snellenův optotyp [22]

Provedení optotypů

Tištěné

Tištěný optotyp, dříve běžně používaný, dnes již na ústupu, je bílý papír nebo plastová karta, na které jsou vytištěny znaky. Je důležité dodržet co nejvyšší bělost podkladového papíru, kvůli co největšímu kontrastu. Tento typ je velice náročný na osvětlení vyšetřovací místnosti vzhledem k absenci vlastního zdroje světla.

Světelné

Světelný optotyp je principiálně velice podobný tištěnému optotypu, ovšem s tím rozdílem, že tento optotyp je prosvěcován zespod vlastním zdrojem světla a tím není závislý na intenzitě osvětlení vyšetřovací místnosti a poskytuje optimální jas optotypových znaků. Kontrast těchto optotypů je tedy výrazně vyšší než tištěných.

Projekční

Projekční optotyp je dodnes hojně využíván. Je založen na principu diaprojektoru, který poskytuje řadu výhod oproti světelným a tištěným optotypům. Projekční optotypy poskytují větší množství testů jako např. Worthovy světla, červeno-zelený test, polarizační testy pro vyšetřování heteroforií atd.

Nevýhodou projekčních optotypů je náročnost dodržení hladiny osvětlení ve vyšetřovací místnosti tak, aby optotyp poskytoval ideální kontrast.

LCD

LCD optotypy jsou nejnovějším systémem. Jsou tvořeny plochou LCD obrazovkou a mikropočítačem, který zajišťuje funkci televize jakožto optotypu. Jejich hlavní výhody jsou možnosti nastavení intenzity jasu, vyšetřovací vzdálenosti a také dokonalá separace obrazů pomocí cirkulární, pozitivní polarizace.

Pozitivní polarizace zaručuje úplnou separaci obrazů bez „duchů“ které jsou běžné u negativní polarizace.

Speciální LCD 3D optotypy - Polaskop 3D, PasKal, i.Polatest

Speciální LCD 3D optotypy jsou nejnovějším trendem v oblasti optotypů. Jejich výhodou je cirkulární polarizace zaručující dokonalou separaci obrazů. Další výhody jsou například výborná obrazová kvalita, nebo ovládání pomocí tabletu.

Speciální LCD 3D optotypy na evropském trhu jsou například Polaskop 3D, nebo PasKal firmy HS.

Pro bližší popis jsem si vybral Polaskop 3D firmy Mailshop.

Polaskop 3D

Je LCD optotyp schopný zobrazit 3D obraz s pozitivní polarizací.

Je vybaven běžně používanými testy, jako jsou všechny druhy optotypových znaků, kompletní MKH metodika, testy na astigmatismus, klasické testy (Schoberův test, Worthův test, bichromatický test, červeno-zelený test atd), screeningové testy (Ishara, kontrastní citlivost), 3D testy a také cyklofúzní test.

Cyklofúzní test, je test umožňující měřit osu a sílu cylindru monokulárně, za binokulárních podmínek. [19]

Historie

V roce 2001 byl zveřejněn článek o změně osy cylindru při měření za binokulárních podmínek (DOZ – Deutsche optikerzeitung und brille & mode 04/2001). Ve kterém je uvedeno, že při binokulárním vyšetření os astigmatismu byly u 8 % vyšetřovaných nalezeny jiné osy. Toto bylo zjištěno pomocí Schendelova testu, který jako první zohledňuje rotační pohyby očí, které oko vykazuje při pohledu do dálky pro zajištění jednoduchého binokulárního vidění.[19]



Obrázek 17: Binokulární astigmatický test podle Schendela a rozdělení testových značek [23]

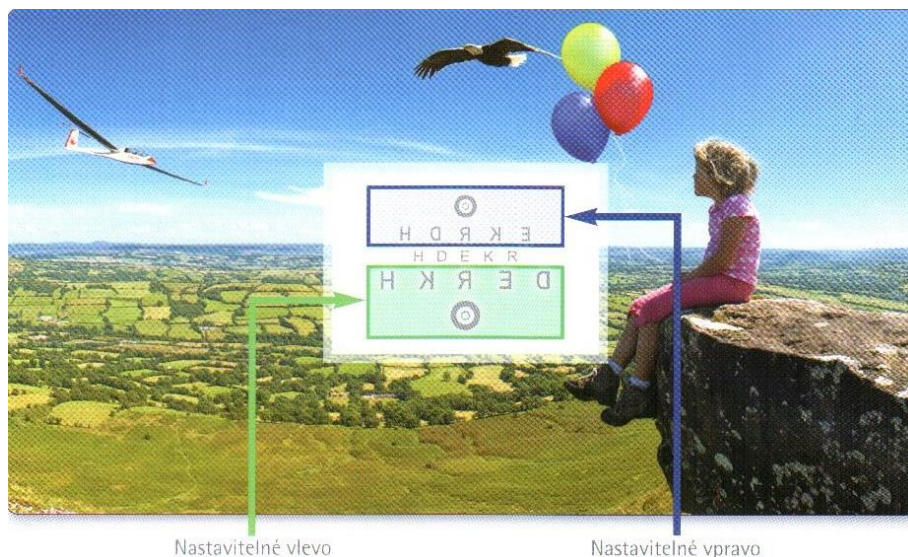
Tento test je založen na polarizační metodě, kdy pravé oko vidí horní řádek a zároveň fúzní podmět (tmavou čáru uprostřed) a levé oko spodní řádek a fúzní podmět.

Po vydání článku se test objevil ve výbavě některých optotypů, avšak nebyl a dodnes není běžnou součástí vybavení optotypů. [19]

Současnost

K měření cylindru za binokulárních podmínek se po více než deseti letech vrací tým firmy Mailshop a Schendelův test zdokonaluje za použití moderní techniky.

Zajištění fúze je podpořeno pozadím testu, které tvoří 3D obrázek, na kterém je samotný 2D test umístěn.



Obrázek 18: Cklofúzní test firmy Mailshop [23]

Někteří vyšetřovaní při sledování 3D obrazu mohou trpět nepříjemnými pocity, a proto byla přidána další verze testu, u které je fúze zajištěna na 2D pozadí fúzními podmínky po stranách testu.

3D pozadí je vybráno z důvodu zajištění periferní fúze. Pro vyšetření astigmatismu je periferní fúze lepším indikátorem, protože při centrální fúzi se nemusí chyba způsobená rotací oka projevit.

Další vylepšení dostal test ze strany vyšetření astigmatismu. Na běžném Snellenově optotypu není vhodné vyšetřovat astigmatismus. Podle firmy Mailshop je pro porovnávací otázky při vyšetření astigmatismu nejlepší kulatý podmět bez přednostního směru, například bod. Takovýto bod se používá například při bodovém testu. Znaky běžně používané, jako číslice 0, písmeno O nebo Landoltův kruh mají přednostní směr, a proto mohou vyšetření astigmatismu zkreslovat. Pro větší přesnost a možnost posouzení je v Polaskopu 3D použit dvojitý kruh o dva stupně visu větší, než odpovídající Landoltův kruh. [19]



Obrázek 19: Zleva písmeno O, číslice 0, Landoltův kruh, Dvojitý kruh [23]

3 Pohyby bulbu

Pro neustálou fixaci sledovaného předmětu musí okohybné svaly a mozkové centru řídicí motilitu očí velmi dobře spolupracovat. Za předpokladu, že vše funguje tak, jak má, obraz obou očí dopadá přímo na obě fovey. Očním bulbem pohybuje šest okohybných svalů. Čtyři přímé svaly (m. rectus medialis, m. rectus lateralis, m. rectus superior, m. rectus inferior) zapříčiňují pohyby horizontální a vertikální a dva šikmé svaly (m. superior oblique, m. inferior oblique) zapříčiňují torzní pohyby.[15]

3.1.1 Přímé pohyby

Okohybné svaly m. rectus medialis a m. rectus lateralis způsobují otáčení očního bulbu kolem vertikální osy a tím pohybují bulbem v rovině horizontální.

Svaly m. rectus superior a m. rectus inferior způsobují otáčení očního bulbu kolem horizontální osy a tím bulbem pohybují v rovině vertikální.

Pohyby oka způsobované přímými svaly se dělí na verzí (konjugované) a vergenční (disjungované).[15]

Verzí

Jsou pohyby, při kterých se úhel, který svírají pohledové osy nemění. Například při natáčení hlavy k ramenu podle vertikální osy při sledování statického bodu.

Vergenční

Při vergenčních pohybech se úhel mezi pohledovými osami mění, například při konvergenci.[15,32]

3.1.2 Torzní pohyby

Torzí pohyby bulbů jsou popisovány v literatuře již od poloviny 19. století.

Jako první se fuzní cyklovergenci zmínil Nagel roku 1861.[24] Do té doby byly zkoumány mnoha způsoby, například sledováním očního pozadí šterbinovou lampou při monokulární a binokulárním pohledu [25], nebo používáním „síticových stínů“ (tzv. afterimages), kdy po dlouhodobé fixaci výrazného podmětu umístěného na kontrastním podkladu se vyšetřovaný podíval na pozadí s jinou barvou a pozoroval chování „síticového stínu“. [24]

Většina těchto pokusů vede k jednoznačným závěrům, že oční bulbus rotuje kolem pohledové osy.

Tyto pohyby jsou nazývány torzními pohyby a jsou zajišťovány m. obliquus superior a m.obliquus inferior.[15,34,35]

Existují torzní pohyby dvojího typu. Cykloverzní a cyklovergenční.[5]

Cykloverze - stejnosměrné pohyby (konjugované)

Cykloverze je jev, kdy sítnice obou očí rotují stejným směrem a ve stejné míře. Cykloverze se snaží udržovat vertikální meridiány sítnic v objektivně vertikálním postavení v momentu, kdy se hlava naklání k ramenu.

Cykloverzní pohyby hrají v jednoduchém binokulárním vidění pouze malou roli, ale jsou velmi důležité při zjišťování parézy okohybného svalu při Bielschowsky testu. [5]

Cyklovergence – protisměrné (disjungované)

Tyto pohyby slouží ke kompenzaci cykloforií, nebo kompenzaci tendence vertikálních meridiánů sítnic odchylovat se od paralelního postavení při binokulárním vidění. Meridiány se mohou odchylovat od paralelního postavení i v rámci jednoduchého binokulárního vidění. To se následně může projevit jako absence fúze nebo rotační diplopie. [5]

Vyšetřování a cyklovergence

Studie ukazují [26], že rozdíl v osách astigmatismu při monokulárním a binokulárním vyšetření existuje. Jediným vysvětlením pro tento fakt jsou torzní pohyby bulbu při binokulární fixaci.

Astigmatismus se vždy vyšetřoval a stále vyšetřuje monokulárně, ovšem z fyziologického hlediska by bylo lepší, vyšetřovat osy astigmatismu při binokulární fixaci. Důvod pro toto tvrzení je jednoduchý - s brýlovou korekcí je fixace za normálních podmínek vidění vždy binokulární.

Při vyšetření astigmatismu monokulárně, ať už zamlžovací metodou nebo JZC, získáme údaje o ose astigmatismu a tím i o postavení bulbu v době, kdy není žádný důvod k tomu, aby byl bulbus stáčen, tedy se nachází základním postavení. Pokud je ovšem zapotřebí fúzovat obrazy obou očí při binokulárním pohledu, je bulbus nucen vykonávat kompenzační rotační pohyby v rámci zachování jednoduchého binokulárního vidění. Díky těmto rotacím kolem pohledové osy nevzniká torzně rozdvojený obraz. Tyto pohyby jsou cyklovergenční a míra těchto kompenzačních mechanismů je ovšem u každého jedince individuální.[26]

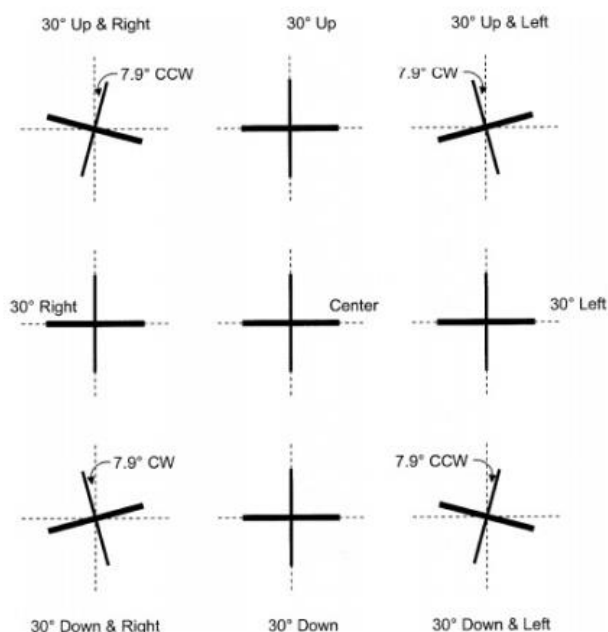


Obrázek 20: Teoretický binokulární vjem při protisměrné rotaci 3° [23]

Výsledkem kompenzačních mechanismů zabraňujících rotačnímu rozdělení obrazu je tedy rotace očních bulbů. To znamená, že osy naměřené při monokulární fixaci se mohou lišit od os, které zákazník používá výrazně častěji, tj. od os, které oční bulby zaujímají při binokulárních podmínkách. To může mít vliv na správnost korekce a tím i na zrakovou ostrost a komfort korekce.

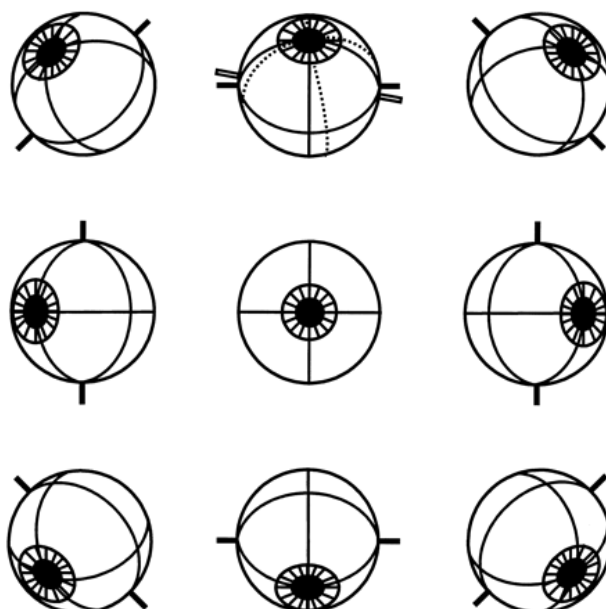
Listingův zákon

Listingův zákon upravuje trojrozměrnou orientaci oka a os jeho otáčení. Listingův zákon je doplněním a rozšířením zákona Dondersova. Ten říká, že orientace oka při pohledu v určitém směru je vždy stejná. Tzn že při pohledu nahoru a doleva zaujme oko vždy stejnou pozici. Listingův zákon konkretizuje zmíněnou Dondersovu orientaci (obrázek 22).



Obrázek 21: Torzní pozice oka podle Listingova zákona [30]

Listigův zákon popisuje matematický vztah mezi horizontálním a vertikálním směrem zrakové osy a torzními pohyby bulbu. Uvádí, že když je hlava fixně v jedné pozici, oko je v takzvané primární pozici. Primární pozice je pozice, ze které může být dosaženo polohy horizontální i vertikální bez rotace očního bulbu. Na obrázku 21 jsou vyznačeny osy otáčení bulbu do jednotlivých excentrických pohledových směrů. Primární pozice je vyznačena uprostřed obrázku. Všechny tyto osy leží v jedné rovině, ta se nazývá Listingova rovina. Binokulární rozšíření Listingova zákona je ekvivalentní k monokulárnímu Listingovu zákonu (kde je úhel vergence nulový) a upravuje torzní pohyby oka za přítomnosti konvergence. Listingův zákon je fyziologicky přítomen při fixaci, sakadických pohybech a vergenci, není ovšem přítomen ve spánku. [30,31,33]



Obrázek 22: Listingova rovina [30]

4 Praktická část

Praktická část byla prováděna měřením v refrakční místnosti Optiky Jaroslav Policar na optotypu Polaskop 3D. Měření bylo zaměřeno na zjištění a změření cyklovergenčních pohybů oka při binokulárním pohybu. Změřeno bylo celkem padesát zákazníků v rozsahu sférického refrakčního deficitu $-7,75\text{Dpt}$ až $+3,75\text{Dpt}$ a astigmatismu o síle 0Dpt až $2,5\text{Dpt}$. Pro měření byly vybrány osoby s astigmatismem ve věku 17 až 55 let (ročník 1998-1960) zastoupené 20 muži a 30 ženami. Vyšetřovací vzdálenost byla 560cm s použitím zrcadla. Tato vzdálenost byla zohledněna v Polaskopu 3D.

4.1 Pracovní hypotéza

Rotační pohyby očí jsou přítomny u většiny vyšetřovaných v míře minimálně 2° .

Hranice úspěšnosti hypotézy byla stanovena na 95 %.

4.2 Metodika měření

Pro správné stanovení cyklovergenčních pohybů bylo nejdříve potřeba přesně zjistit refrakční stav oka a ten bezchybně zkorigovat.

Stanovení a korekce refrakční vady probíhalo na manuálním foropteru RTE 60 značky Essilor a optotypu Polaskop 3D značky Mailshop. Ke zjištění objektivní složky refrakce byl použit kalibrovaný autorefraktokeratometr Potec PRK-5000.



Obrázek 24:
Autorefraktokeratometr Potec
PRK-5000(majetek firmy Optika
Jaroslav Policar)[vlastní tvorba]



Obrázek 23: Foreopter Essilor RTE 60 (majetek firmy
Optika Jaroslav Policar) [vlastní tvorba]

Do foropteru byly nastaveny přibližné hodnoty z autorefraktometru a poté dokorigovány pomocí Snellenových optotypových znaků. Bylo potřeba věnovat zvýšenou pozornost zejména stanovení správné osy astigmatismu. Měření a korekce astigmatismu probíhala metodou Jacksonova zkříženého cylindru na bodovém testu. Po monokulárním dokorigování sférické i torické složky refrakční vady obou očí následovalo binokulární vyvážení. K tomu bylo použito Osterbergova testu. Pro zjištění forií byly použity křížový a hákový test. Pro zjištění oční dominance byl použit dominantní test firmy Mailshop.



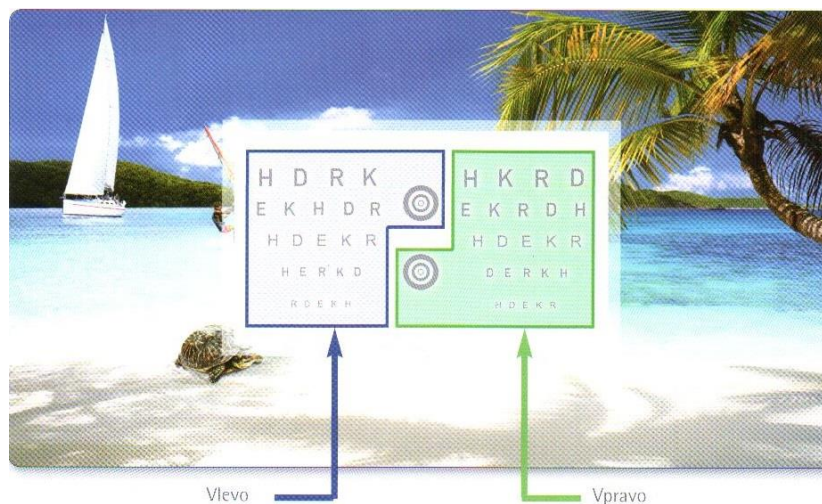
Obrázek 25: Test oční dominance firmy Mailshop [23]

Cyklofúzní test

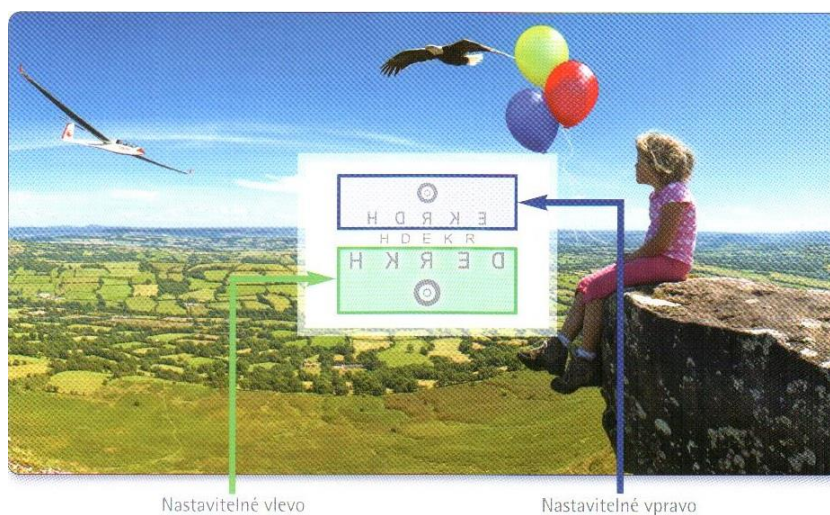
Po vykorigování refrakčního deficitu obou očí a binokulárním vyvážením následovalo použití cyklofúzního testu. Princip tohoto testu spočívá v porovnávání separátního vjemu obou očí za přítomnosti fuze, která je zajištěna 3D pozadím.

Možnosti použití cyklofúzního testu jsou statická a dynamická. Při použití statické metody je velkou výhodou současné porovnávání ostrosti více řádků. Tímto způsobem může sám zákazník subjektivně pozorovat, jak na které oko vidí. Toto srovnání je důležité zejména při demonstraci jednotlivých vizů obou očí v případě, že zákazník odmítá zvýšení dioptrií apod.

Při použití dynamické metody je možné každý řádek separátně zvětšit, či zmenšit, např. na nejmenší čitelný, a tak dosáhnout přesného porovnání v reálném čase.



Obrázek 26: Metoda statické refrakce [23]



Obrázek 27: Metoda dynamické refrakce [23]

K měření byla použita metod dynamická, a to tak, že pro každé oko byla nastavena velikost řádku, a tedy i dvojitého kruhu pro vyšetřování astigmatismu, o dva stupně vizu větší, než nejmenší čitelný řádek.

Zákazník byl poté požádán, aby se zaměřil na řádek a také dvojitý kruh viditelný právě vyšetřovaným okem. Pro pravé oko to je horní řádek a pro levé oko řádek spodní. Následně byl předsazen JZC a opět byla vyšetřena osa i síla astigmatismu.

Po binokulárním dokorigování astigmatismu obou očí byla přeměřena zraková ostrost binokulárně na optotypových znacích (Snellenův optotyp) a následně byla zjištěná korekce vsazena do zkušební obruby pro zkoušku na „pravé nekonečno“. Při vsazení do obruby byla osa cylindru shodná s osou naměřenou monokulárně.

Na pravé nekonečno byl zákazník dotázán, zda je daná korekce příjemná a zrakový vjem ostrý. Poté byl zákazník požádán, aby zavřel oči a osy byly přetočeny na osy naměřené binokulárně za pomoci cyklofúzního testu a zákazník byl opět dotázán na pohodlí a ostrost vjemu.

4.2.1 Vliv pootočení osy cylindru na zbytkovou refrakční vadu

Vzhledem k tomu, že reálná osa cylindru se vlivem pootočení očního bulbu změní a odchýlí se tím od osy stanovené monokulárně a vsazené do obruby, není astigmatismus korigován dokonale a tím vzniká nechtěná zbytková refrakční vada, která může mít vliv jak na ostrost vidění, tak na komfort korekce. Klasický sférocylindrický zápis je nevhodný pro výpočet zbytkové refrakční vady pro jeho vzájemnou závislost jednotlivých složek na sobě, použijeme proto pro zjištění velikosti zbytkové refrakční vady při přetočení cylindru astigmatickou dekompozici.

Ideální korekce sférické i cylindrické složky refrakční vady je vyjádřen jako S (sférická složka), C (cylindrická složka) a α (osa cylindru). Tato korekce by plně korigovala refrakční vadu. Pokud je ovšem stávající korekce (S' , C' a α') v brýlích vsazena v jiné ose, způsobí to neúplnou korekci refrakční vady a tím zbytkovou refrakční vadu. Rozdíl mezi správnou a reálnou korekcí vyjádříme jak ΔS , ΔC a $\Delta\alpha$, tedy souborem vzorců

$$C' = (C + \Delta C), \quad S' = (S + \Delta S), \quad \alpha' = (\alpha + \Delta\alpha). \quad (1)$$

Použijeme astigmatickou dekompozici pro oba stavy. Číslem 1 je značena stávající, odchýlená korekce a číslem 2 je značen refrakční stav oka. Pro výpočet jednotlivých složek M , J_0 a J_{45} byly použity soubory vztahů

$$M_1 = S' + \frac{C'}{2}, \quad J_{0,1} = C' \cos 2\alpha', \quad J_{45,1} = C' \sin 2\alpha' \quad (2)$$

a

$$M_2 = S + \frac{C}{2}, \quad J_{0,2} = C \cos 2\alpha, \quad J_{45,2} = C \sin 2\alpha. \quad (3)$$

Pokud odečteme jednotlivé odpovídající složky dekompozice, získáme odchylku mezi refrakčními stavy. Odečítáme podle souboru vztahů

$$\Delta M = M_2 - M_1, \quad \Delta J_0 = J_{0,2} - J_{0,1}, \quad \Delta J_{45} = J_{45,2} - J_{45,1}. \quad (4)$$

Pro zpětný přepočítání dekompozice na sférocylindrický zápis použijeme soubor vztahů

$$C_{\Delta} = \sqrt{\Delta J_0^2 + \Delta J_{45}^2}, \quad S_{\Delta} = \Delta M - \frac{J_{\Delta}}{2}, \quad \tan 2\alpha_{\Delta} = \frac{\Delta J_{45}}{\Delta J_0}. \quad (5)$$

Po zpětném přepočtení získáme hodnotu korekce, která by společně se stávající korekcí zajistila optimální korekci refrakční vady.

Následující tabulka zobrazuje změnu síly cylindru v závislosti na odchýlení osy od ideální korekce.[28,29]

Velikost chyby [°]	Síla cylindru [Dpt]					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
5°	0,09	0,17	0,26	0,35	0,44	0,52
10°	0,17	0,35	0,52	0,7	0,87	1,04
15°	0,26	0,52	0,78	1,04	1,29	1,55
20°	0,34	0,68	1,03	1,37	1,71	2,05
25°	0,42	0,85	1,27	1,69	2,11	2,54
30°	0,5	1	1,5	2	2,5	3

Tabulka 1: Vliv pootočení osy cylindru na zbytkovou vadu [27]

4.3 Výsledky analýzy

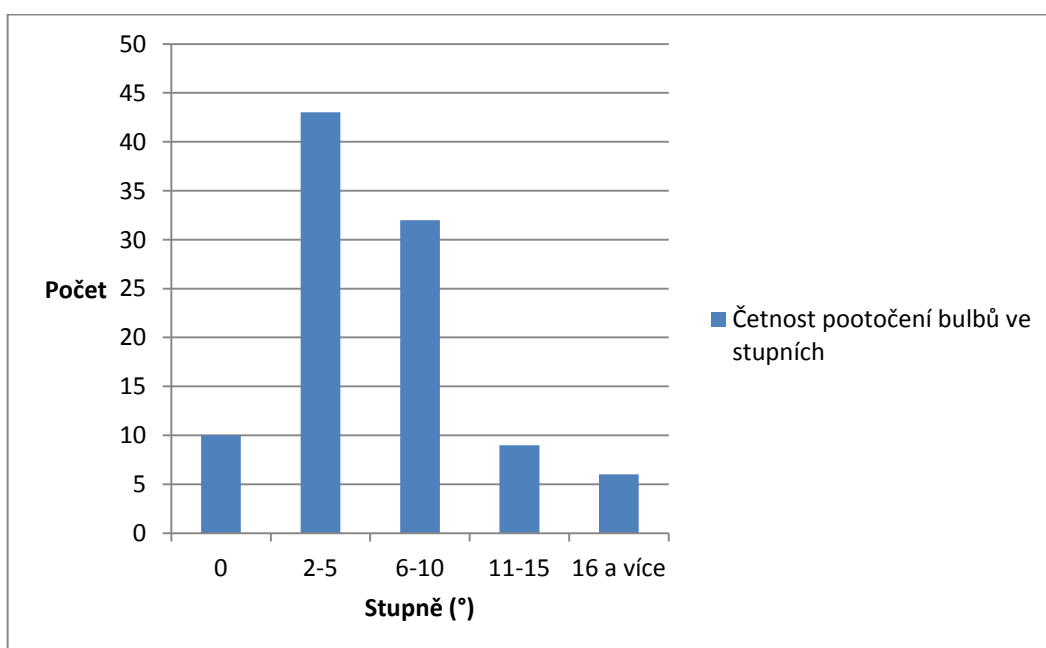
Analýzou bylo dokázáno, že oční bulby se při binokulárním pohledu stáčí kolem pohledové osy.

4.3.1 Rotace

Při měření došlo v 96 % vyšetření ke změně os alespoň na jednom oku při binokulárním vyšetření astigmatismu oproti monokulárnímu, přičemž k rotaci větší nebo rovno 5° došlo v 83 % případů. To dokazuje, že oční bulby se opravdu stáčí při binokulárním pohledu. Výsledky také dokazují, že kompenzační mechanismy nejsou přítomny u všech vyšetřovaných a pokud přítomny jsou, liší se mezi jednotlivci i mezi pravým a levým okem.

Budeme-li uvažovat jednotlivé oční bulby, tak rotace v absolutní hodnotě mezi monokulárním a binokulárním vyšetřením je dána následujícím grafem.

Graf 1: Graf četnosti rotace očního bulbu při binokulárním pohledu [vlastní zpracování]



Z grafu vyplývá, že jednotlivé oční bulby se při binokulárním pohledu stáčí v největší míře mezi $\pm 1^\circ$ - $\pm 10^\circ$.

4.3.2 Cyklotorzní pohyby

Vergenční (protisměrné)

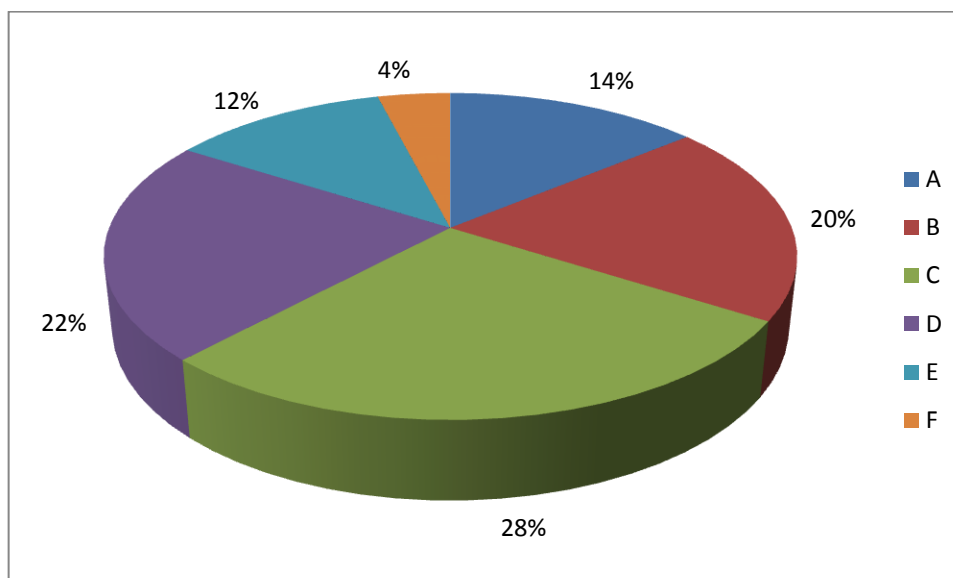
Incyklotorze, tedy protisměrný pohyb obou očí směrem nasálním, je znázorněna v grafu písmenem A. Excyklotorze je stejně jako incyklotorze pohyb protisměrný, ale směrem temporálním. Tato rotace je v grafu zastoupena písmenem B.

Verzní (stejnoseměrné)

Obousměrná rotace proti směru hodinových ručiček je v grafu zastoupena písmenem C a rotace po směru hodinových ručiček písmenem D.

Zákazníci, u kterých došlo k rotaci pouze u jednoho oka, jsou zastoupeni písmenem E a zákazníci, u kterých se rotace neprokázala písmenem F.

Graf 2: Procentuální shrnutí rotačních pohybů [vlastní zpracování]



4.3.3 Vliv cyklotorzních pohybů na zrakovou ostrost

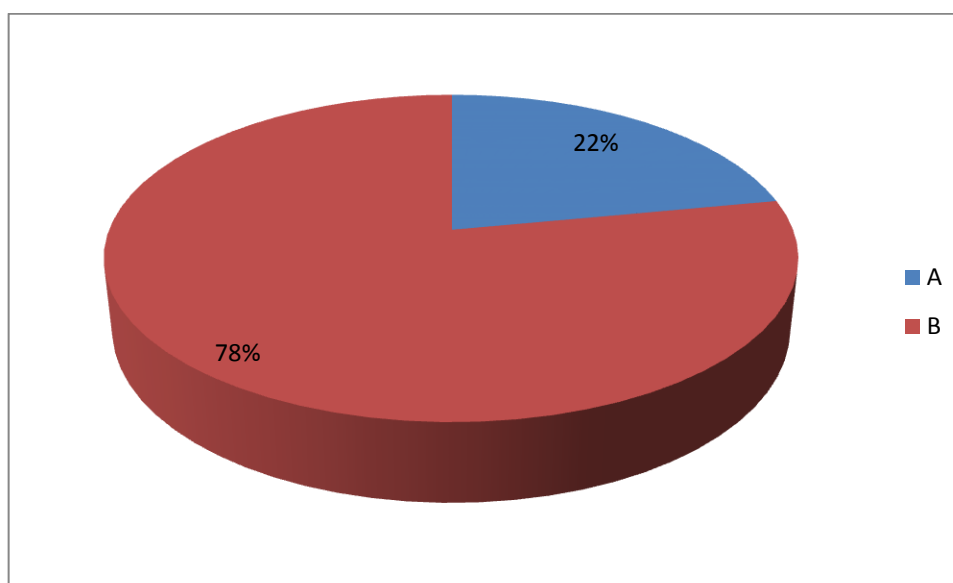
Při měření byla po binokulárním dokorigování os cylindrů na cyklofúzním testu opět objektivně zjištěna binokulární zraková ostrost na optotypových znacích. V některých případech bylo zaznamenáno zlepšení zrakové ostrosti o celý jeden řádek. U dalších zákazníků se projevilo zlepšení zrakové ostrosti tím, že dané optotypové znaky, ovšem změněné oproti původním pro zabránění zkreslení výsledků zapamatováním znaků, byly čteny s výrazně větší jistotou. Znaky byly popisovány jako černější nebo čitelnější a váhání i u nejmenších řádků čitelných zákazníkem bylo výrazně redukováno. U většiny zákazníků se

však objektivně změna zrakové ostrosti neprojevila. Zákazníci popisovali zrakovou ostrost po přeměření cylindrů binokulárně jako shodnou s monokulárním měřením.

Následující graf názorně okazuje změnu zrakové ostrosti při přetočení osy cylindru.

Počet procent zákazníků, u kterých bylo nalezeno signifikantní zlepšení vizu při změně osy cylindru je znázorněn písmenem A. Zákazníci, u kterých nebyla nalezena změna vizu jsou zastoupeni písmenem B.

Graf 3: Procentuální poměr zlepšení zrakové ostrosti při změně osy cylindru [vlastní zpracování]



4.3.4 Vliv cyklotorzních pohybů na komfort korekce

Zde již bylo pozorováno výraznějších změn. Někteří zákazníci (22 zákazníků) zaznamenali změnu v komfortu refrakce při zkoušce na pravé nekonečno. Ta probíhala formou vsazení refrakce do zkušební obruby a vyzvání zákazníka k pohledu do určeného bodu na ulici mimo optiku (vzdálenost cca 100m).

Z uvedených 22 zákazníků vnímalo 15 zákazníků korekci naměřenou cyklofúzním testem jako příjemnější, ostřejší a méně „tahající za oči“. Zákazníci, kteří neměli zkušenost s cylindrickou korekcí, popisovali pocity větší jistoty při orientaci v prostoru a při chůzi. Byly popisovány vjemy jako plovoucí podlaha nebo virtuální realita, které odpadly při přetočení cylindru na binokulárně vyšetřené osy. Čtyři vyšetřovaní popsali, že mezi osami je rozdíl, ale nedokázali říci, která osa je příjemnější. Ve třech případech byla popisována osa naměřená cyklofúzním testem jako méně příjemná. Tyto pocity nastávaly ve většině případů, kdy byl

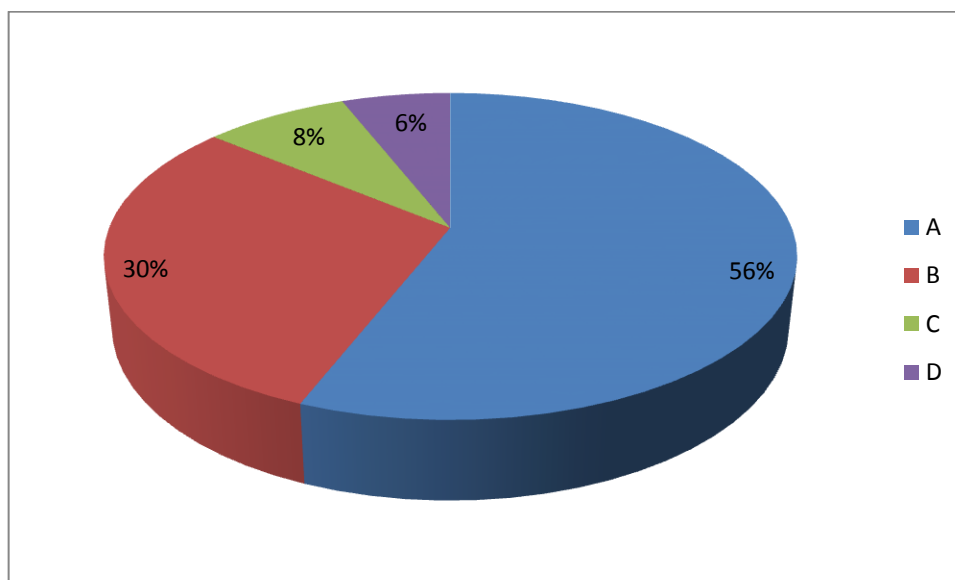
zákazník zvyklý na své brýle, ve kterých měl osy podobné, či shodné jako osy zjištěné monokulárním vyšetřením.

Zbytek vyšetřených (28 zákazníků) nepostřehl mezi rozdílnými osami žádný rozdíl v komfortu. To bylo dáno tím, že vliv pootočení cylindru při nízkých hodnotách astigmatismu (kolem 0.25Dpt) je velice těžko postřehnutelný. Rozdíl v komfortu při těchto hodnotách byli schopni zaznamenat pouze velmi vnímaví jedinci.

Následující graf názorně vyjadřuje procentuální poměr spokojenosti s osami naměřenými pomocí cyklofúzního testu.

Pro názornost bylo v grafu použito písmeno A pro znázornění počtu zákazníků, kteří nepostřehli žádný rozdíl, mezi klasickým a cyklofúzním měřením. Písmeno B znázorňuje počet zákazníků, kteří popisovali cyklofúzní měření jako příjemnější. Zákazníci, kteří postřehli změnu v komfortu vidění při přetočení os, ale nedokázali určit, co je pro ně příjemnější jsou znázorněni písmenem C a zákazníci, kteří považovali za příjemnější monokulární měření, jsou zahrnuti pod písmenem D.

Graf 4: Procentuální rozdíly komfortu mezi torickou korekcí naměřenou na cyklofúzním testu a monokulárně [vlastní zpracování]



4.3.5 Vliv stávající korekce na osu astigmatismu

Zákazníci, kteří poskytli jejich stávající korekci ke změření a měli v ní korigovaný astigmatismus (třináct zákazníků) vnímalo rozdíly v osách různě. Ve čtyřech případech byl zaznamenán příjemnější pocit v korekci měřené binokulárně oproti pocitu se stávajícími brýlemi. Dva zákazníci potvrdili příjemnější pocit s osami, které korespondovaly s osami v jejich brýlích, a v jednom případě bylo popisováno zhoršení vjemu oproti osám v jejich korekci. U dalších zákazníků (6) nebyla zaznamenána žádná změna oproti stávající korekci.

4.3.6 Rozdíly hodnot mezi ARK a subjektivním měřením

Byly vyhodnoceny rozdíly os mezi měření na ARK a monokulárním vyšetřením astigmatismu a také mezi ARK a měřením na cyklofúzním testu. Z jednotlivých měření byly odečteny rozdíly mezi osami a z těch poté spočítán průměr. Písmeno A v tabulce vyznačuje průměrný rozdíl os mezi měřením na ARK a měřením monokulární metodou. Písmeno B pak zastupuje průměrný rozdíl os měřením na ARK a měřením na cyklofúzním testu.

A	B
8,18°	9,05°

Tabulka 2: Průměrné rozdíly mezi osami [vlastní zdroj]

Z tabulky vyplývá, že menší rozdíly byly nalezeny mezi měřením zastoupeným písmenem A, tedy že monokulárně naměřené osy jsou více podobné osám naměřeným na ARK.

4.3.7 Faktory znemožňující použití cyklofúzního testu v praxi optomeristy

Při běžném používání cyklofúzního testu v praxi, jsem narazil na řadu případů, ve kterých nebylo možné test použít. Absolutní kontraindikací k použití testu je jakákoliv absence fuze. Častým důvodem je například amblyopie či dekompenzovaná forie, obzvláště pak hyperforie, nebo hypoforie. Setkal jsem se i s případy, kdy nebylo možné test použít z důvodu horší adaptace na 3D obraz, nebo dokonce světloplachosti. V případě špatného snášení 3D obrazu zákazníkem jsem použil cyklofúzní test ve 2D provedení.

5 Diskuse

Po prostudování dané problematiky a provedení analýzy bylo zjištěno, že vliv binokulárního vidění na správnost určení osy astigmatismu má zásadní vliv. Bylo zjištěno, že rotační pohyby očí v rámci změny mezi monokulárním a binokulárním pohledem jsou přítomny u 96 % vyšetřených minimálně na jednom oku, což znamená, že osa stanovená monokulárně a vsazená do konečných brýlí, je mírně odchýlená od reálné osy při binokulárním pohledu. Odchylka pro hodnotu cylindru 0.5 Dpt při přetočení osy o 5° činí 0,09 Dpt, při přetočení o 10° činí 0,17 Dpt a při přetočení o 15° činí 0,26 Dpt (Viz Tabulka 1). Přičemž nejčastěji se rotace oka pohybovala mezi dvěma až deseti stupni. Tímto měřením je tedy pracovní hypotéza potvrzena.

Rotační pohyby byly v největší míře přítomny v protisměru hodinových ručiček (Viz Graf 2). Vysvětlení tohoto jevu jsem hledal v Listingově zákonu. Z Listingova zákona vyplývá, že při pohledu nahoru a doprava oko rotuje v protisměru hodinových ručiček (viz obrázek 22). Vzhledem k tomu, že optotyp nebyl v přímé pohledové ose, ale mírně nahoře a vpravo, (Výškový rozdíl mezi zákaznickými očima a středem monitoru byl 50cm, což znamená pohled nahoru o cca 10° . Stranový posun mezi zákazníkem a středem monitoru byl 30cm, což znamená pohled mírně vpravo o cca 5°) je pravděpodobné, že mírné zvýšení počtu rotací v protisměru hodinových ručiček bylo zapříčiněno pouze tímto posunem.

Pokud budeme uvažovat vyšetření na ARK jako monokulární vyšetření, potom můžeme potvrdit, že osa naměřená na ARK bude více podobná monokulárnímu vyšetření, než binokulárnímu. Z průměrů rozdílů v rotacích jednotlivých os vyplývá, že rozdíl podobnosti os mezi jednotlivými subjektivními vyšetřeními a ARK je necelý jeden stupeň (Viz Tabulka 3). Více podobné byly osy mezi monokulárním vyšetřením a ARK. Ovšem pokud vezmeme v úvahu, jak veliké byly rozdíly mezi monokulárními a binokulárními osami, může se zdát tento rozdíl v nepoměru. Může mít vliv na to, zda je vyšetření na ARK více monokulární, či binokulární fakt, zda má zákazník při vyšetření otevřené druhé oko nebo například oční dominance? Bude tím ovlivněna podobnost os z jednotlivých vyšetření? Budiž toto námětem pro další práci.

Vzhledem k tomu, že monokulární měření astigmatismu metodou JZC je prověřený způsob, který je velmi přesný a celé generace zákazníků měřených touto metodou jsou se svou korekcí spokojeni, je tato metoda v praxi skvěle použitelná, a tudíž je optimální, ale je třeba si uvědomit, že celých 30 % zákazníků popsalo cyklofúzně naměřené osy cylindru jako

pohodlnější, nebo příjemnější. Mezi těmito zákazníky byli i lidé, kteří nesnesli cylindrickou korekci, a proto u nich nebyl astigmatismus nikdy korigován. Po vyšetření na cyklofúzním testu a vsazení torické korekce s hodnotami na něm naměřenými, byl pro ně vjem snesitelný a zraková ostrost byla vylepšena oproti stávajícímu sférickému ekvivalentu.

6 Závěr

Práce dokazuje, že vyšetřování astigmatismu za binokulárních podmínek má vliv na výslednou kvalitu astigmatické korekce. Torzní pohyby a jimi vytvářené kompenzační mechanismy jsou přítomny u většiny vyšetřených a jejich míra je různá, ale ať už se jedná o kvalitu zrakové ostrosti nebo pocit komfortu s korekcí, je procento zákazníků, kteří popsali korekci vyměřenou za binokulárních podmínek jako lepší, nezanedbatelné. U jistého počtu zákazníků byly nepříjemné pocity spojené s cylindrickou korekcí omezeny nebo odstraněny.

Pokud se v dohledné době dostane na trh obdobný přístroj jako Polaskop 3D pro vyšetření astigmatismu za binokulárních podmínek, ovšem na blízko, budeme zase o kus blíže ke korekci, která by byla pro zákazníka ideální.

Cyklofúzní test je v dnešní době nadstandardní vyšetření, které nejenže může nositeli cylindrické korekce přinést lepší zrakovou ostrost nebo lepší pohodlí v jeho nové korekci, ale také je jistou známkou kvality optiky nebo vyšetřovny jako takové. V neposlední řadě je jistým zážitkem pro zákazníky. Vyšetření na 3D technologii je ve vyšetřování zcela nový rozměr a zákazník pocítuje jistou míru nadstandardu, když vidí, že pro vyšetření jeho zraku jsou použity nejmodernější technologie. Spokojený zákazník je pro optiku ta nejlepší forma reklamy.

7 Citovaná literatura

1. KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, [40], 768 s. ISBN 978-802-4711-638.
2. ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2006, 373 s. ISBN 80-246-1213-5.
3. ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3. přeprac. vyd. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, 96 s. ISBN 80-701-3402-X.
4. <https://www.uni-due.de/~tah0f0/Excimer/Frames/Stabsichtigkeit.html> Datum citace 4.5.2015
5. BENJAMIN, William J a Irvin M BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006, xviii, 1694 p. ISBN 07-506-7524-1.
6. KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1997, 341 s. ISBN 80-716-9079-1.
7. BHATTACHARYYA, Bikas a Debashish Bhattacharya FOREWORD. *Textbook of visual science and clinical optometry*. 1st ed. New Delhi, India: Jaypee Bros. Medical Publishers, 2009. ISBN 978-818-4485-998.
8. TRUSIT, Dave. 2004. Automated refraction Design and applications. Automated refraction Design and applications. Dostupné také z:
http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/ae331f5e9f3c12ab8e23e345f22b45d4_dave20040604.pdf
9. <http://www.uniroma2.it/otticafp/va.html> Datum citace 1.3.2015
10. LEITMAN, Mark W. *Manual for eye examination and diagnosis*. 8th ed. Chichester, West Sussex: John Wiley, 2012, p. ISBN 978-047-0671-122.
11. http://www.oculus.cz/autorefrakto_keratometry Datum citace 1.3.2015
12. POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. 2. dopl. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury ve Středisku interních informací, 1975.
13. <http://home.tiscali.cz/optometrie/astig.html> Datum citace 5.5.2015
14. PŘEMYSL, Kučera. *Korekce refrakčních vad: Subjektivní refrakce*. Přednáška ČVUT FBMI. 2014. Datum citace 6.1.2015

15. ROSENFELD, Mark, Nicola LOGAN a Keith EDWARDS. *Optometry: science techniques and clinical management*. 2nd ed. New York: Butterworth Heinemann Elsevier, c2009, xi, 555 p. ISBN 978-075-0687-782.
16. http://www.seekglasses.com/news_2007-6-6/46336.html Datum citace 10.4.2015
17. http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/technology/search?-max=10&-Op_lit.reference=eq&lit.reference=lit66&-skip=130 Datum citace 2.4.2015
18. <http://www.vision-training.com/en/Vision%20test/Astigmatism%20test.htm> Datum citace 25.4.2015
19. MAILSHOP. Binokulární měření osy cylindru. 2014. Dostupné z: http://www.mailshop.cz/?module=dokument&action=display_dokument&id=68
20. <http://www.mixxer-medical.cz/Snellenova-tabulka-28-x-56-cm-Detska-d1621.htm> Datum citace 22.4.2015
21. <http://www.uniroma2.it/otticafp/va.html> Datum citace 22.4.2015
22. <http://www.argolens.cz/zrakova-ostroost.htm> Datum citace 13.2.2015
23. http://www.mailshop.cz/?module=dokument&action=display_dokument&id=68<http://fyzweb.mff.cuni.cz/knihovna/oko/oko.htm> Datum citace 15.2.2015
24. CRONE, R. A.; EVERHARD-HALM, Y. Optically induced eye torsion. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 1975, 195.4: 231-239.
25. SPIERER, Abraham. Measurement of cyclotorsion. *American journal of ophthalmology*, 1996, 122.6: 911-912.
26. RUTSTEIN, ROBERT P.; ESKRIDGE, J. BOYD. Effect of cyclodeviations on the axis of astigmatism (for patients with superior oblique paresis). *Optometry & Vision Science*, 1990, 67.2: 80-83.
27. <http://www.optikarium.cz/brylove-cocky-bryle/normy-v-ocni-optice> Datum citace 10.5.2015
28. THIBOS, LARRY N., WILLIAM WHEELER a DOUGLAS HORNER. Power Vectors: An Application of Fourier Analysis to the Description and Statistical Analysis of Refractive Error. *Optometry and Vision Science* [online]. 1997, vol. 74, issue 6, s. 367-375 [cit. 2015-05-19]. DOI: 10.1097/00006324-199706000-00019.
29. HARRIS, WILLIAM F. Power Vectors Versus Power Matrices, and the Mathematical Nature of Dioptric Power. *Optometry and Vision Science* [online]. 2007, vol. 84, issue 11, s. 1060-1063 [cit. 2015-05-19]. DOI: 10.1097/opx.0b013e318157acbb.

30. WONG, Agnes MF. Listing's law: clinical significance and implications for neural control. *Survey of ophthalmology*, 2004, 49.6: 563-575.
31. STRAUMANN, D. Primary Position and Listing's Law in Acquired and Congenital Trochlear Nerve Palsy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. 2003, vol. 44, issue 10, s. 4282-4292 [cit. 2015-05-20]. DOI: 10.1167/iovs.02-1181.
32. AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, 226 s. ISBN 80-701-3362-7.
33. DESOUZA, Joseph F.X., David A. NICOLLE a Tutis VILIS. Task-dependent changes in the shape and thickness of Listing's plane. *Vision Research* [online]. 1997, vol. 37, issue 16, s. 2271-2282 [cit. 2015-05-20]. DOI: 10.1016/s0042-6989(97)00023-0.
34. AZAR, Edited by Jorge Alio and Dimitri. *Management of complications in refractive surgery*. Berlin: Springer, 2007. ISBN 9783540375845.
35. COPELAND, Robert Allen a Natalie AFSHARI. *Copeland and Afshari's principles and practice of cornea*. New Delhi: Jaypee-Highlights Medical Publishers, 2013, lv, 898 p. ISBN 9789350901724.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Astigmatismus [4].....	3
Obrázek 2: Autorefraktokeratotonopachymetr firmy Topcon TRJ-1P (vlastnictví FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	8
Obrázek 3: Autorefraktokeratotonopachymetr firmy Topcon TRJ-1P (vlastnictví FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	8
Obrázek 4: Autorefraktometr NIDEK firmy Oculus [11].....	8
Obrázek 5: Skiaskop [vlastní zpracování].....	9
Obrázek 6: Skiaskopické vyšetření [vlastní zpracování].....	9
Obrázek 7: Rohovkový topograf Rodenstock TS-1200 (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	10
Obrázek 8: Oculus Pentacam (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	10
Obrázek 9: Placidův keratoskop [17].....	11
Obrázek 10: Javalův keratometr KER-200 (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	11
Obrázek 11: Jacksonův zkřížený cylindr[13].....	12
Obrázek 12: Jacksonův zkřížený cylindr (majetek FBMI ČVUT) [vlastní zpracování].....	12
Obrázek 13: Bodový test [16].....	13
Obrázek 14: Astigmatický vějíř [17].....	14
Obrázek 15: Astigmatická růžice [18].....	14
Obrázek 16: Landoltovy kruhy [22].....	16
Obrázek 17: Binokulární astigmatický test podle Schendela a rozdělení testových značek [23]	20
Obrázek 18: Cklofúzní test firmy Mailshop [23].....	21
Obrázek 19: Zleva písmeno O, číslice 0, Landoltův kruh, Dvojitý kruh [23].....	22
Obrázek 20: Teoretický binokulární vjem při protisměrné rotaci 3° [23].....	25
Obrázek 21: Torzní pozice oka podle Listingova zákona [30].....	25
Obrázek 22: Listingova rovina [30].....	26
Obrázek 23: Foropter Essilor RTE 60 (majetek firmy Optika Jaroslav Policar) [vlastní tvorba]	27
Obrázek 24: Autorefraktokeratometr Potec PRK-5000(majetek firmy Optika Jaroslav Policar)[vlastní tvorba].....	27
Obrázek 25: Test oční dominance firmy Mailshop [23].....	28
Obrázek 26: Metoda statické refrakce [23].....	29
Obrázek 27: Metoda dynamické refrakce [23].....	29

9 Seznam grafů a tabulek

Graf 1: Graf četnosti rotace očního bulbu při binokulárním pohledu [vlastní zpracování]	32
Graf 2: Procentuální shrnutí rotačních pohybů [vlastní zpracování].....	33
Graf 3: Procentuální poměr zlepšení zrakové ostrosti při změně osy cylindru [vlastní zpracování]	34
Graf 4: Procentuální rozdíly komfortu mezi torickou korekcí naměřenou na cyklofúzním testu a monokulárně [vlastní zpracování]	35
Tabulka 1: Vliv pootočení osy cylindru na zbytkovou vadu [27]	31
Tabulka 2: Průměrné rozdíly mezi osami [vlastní zdroje]	36

10 Seznam použitých zkratk

Obr.....	obrázek
Apod.....	a podobně
JZC.....	Jacksonův zkřížený cylindr
Tzv.....	takzvaný
Dpt.....	dioptrie
Sph.....	sféra
Cyl.....	cylindr
Ax.....	osa
V.....	vizus
m.....	musculus
č.....	číslo
ARK.....	autorefraktometer
FBMI.....	Fakulta biomedicínského inženýrství
ČVUT.....	České vysoké učení technické