

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

**TEREZA
DOMINOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Rozptyl světla u artefakie

Ocular straylight in patients with arthephakia

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Tereza Dominová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Hlaváček

Kladno 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dominová** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **503408**
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:

Rozptyl světla u artefakie

Název bakalářské práce anglicky:

Ocular straylight in patients with arthropakia

Pokyny pro vypracování:

Popište kontrastní citlivost, zrakovou ostrost, aberaci nižších a vyšších řádů. Pozornost věnujte problematice rozptylu světla. Popište, jak se rozptyl světla měří, při jakých stavech může docházet k jeho zvýšení a jak se prakticky zvýšený rozptyl světla projevuje. Experimentálně porovnejte rozptyl světla u pacientů po implantaci rozdílných typů intraokulárních čoček.

Seznam doporučené literatury:

- [1] TAN, Donald T.H. a Allan FONG, Efficacy of neural vision therapy to enhance contrast sensitivity function and visual acuity in low myopia, Journal of Cataract and Refractive Surgery, ročník 34, číslo 4, 2008
- [2] VAN DEN BERG, Thomas J.T.P., Luuk FRANSEN, Bastiaan KRUIJT a Joris E. COPPENS, History of ocular straylight measurement: A review, Zeitschrift für Medizinische Physik, ročník 23, číslo 1, 2013

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jakub Hlaváček

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název bakalářské práce: Rozptyl světla u artefakie**Abstrakt:**

Tato práce je zaměřena na vliv rozptylu světla a jeho dopadu na kvalitu zraku. Rozptyl světla jako jedna složka ze zrakových funkcí ovlivňuje jiné a při nadměrném rozptylu dochází ke zhoršení celkového vízu. První kapitola popisuje zrakovou ostrost, která je nejčastěji používanou klasifikací pro měření vízu. Tato metoda je založena na měření zrakové ostrosti pomocí optotypů, v současné praxi především LCD optotypů, které jsou užitečné svou multifunkčností a specifícností pro různé potřeby.

Dále je popsána kontrastní citlivost, ta je jednou z důležitých parametrů pro určení kvality vidění. S přibývajícím věkem se zvyšuje rozptyl světla a snižuje se tak kontrast obrazu, pro takové vyšetření se používají testy se sinusovými mřížky. Modifikací mohou být i testy s oslněním, na kterých lépe pozorujeme, jak se kvalita obrazu mění při podmínkách více simulující situace v běžném životě.

Druhá kapitola popisuje oční aberace a jejich dvě hlavní klasifikace: aberace nižších řádů a aberace vyšších řádů. Pro rozptyl světla jsou zásadní aberace vyšších řádů, které vznikají defekty především čočky, rohovky nebo mohou vzniknout i příčinou refrakční a nitrooční chirurgie. Následně je popsán princip Shack-Hartmannova aberometru, který slouží k diagnostice aberací. Ve dvou hlavních kapitolách se zabývám fyziologií oka, zaměřenou na rozptyl světla v jednotlivých částech zrakového orgánu a jaké patologie mohou jeho funkci narušit. Následně intraokulárním čočkám, které pomocí chirurgického zákroku nahrazují patologicky poškozenou čočku. Diskuse o nitroočních čočkách se točí kolem vzniku nadměrného rozptylu světla a jeho příspěvku k vzniku vedlejších optických fenoménů. Nakonec jsou popsány metody měření rozptylu světla, ať už u pacientů s implantovanými nitroočními čočkami nebo bez nich. V praxi se pro taková měření používají dva přístroje, C-Quant a HD Analyzer.

Klíčová slova:

Rozptyl světla, Artefakie, Intraokulární čočky, C-Quant, HD Analyzer, Aberace oka

Bachelor's Thesis title: Ocular straylight in patients with arthepakia**Abstract:**

This work focuses on the impact of light scattering on visual quality. Light scattering, as one of the components of visual function, affects others, and excessive scattering leads to a deterioration of overall vision. The first chapter describes visual acuity, which is the most commonly used classification for measuring vision. This method is based on measuring visual acuity using optotypes, mainly LCD optotypes, which are useful for their multifunctionality and specificity for different needs.

The chapter further describes contrast sensitivity, which is an important parameter for determining the quality of vision. As age increases, light scattering increases, and thus the contrast of the image decreases. Tests with sinusoidal gratings are used for such examinations. Modifications can also include glare tests, on which we better observe how the quality of the image changes under conditions more simulating situations in everyday life.

The second chapter describes ocular aberrations and their two main classifications: lower-order aberrations and higher-order aberrations. For light scattering, higher-order aberrations are crucial, which arise primarily from defects in the lens, cornea, or can also occur due to refractive and intraocular surgery. The principle of the Shack-Hartmann aberrometer, which is used to diagnose aberrations, is then described. In two main chapters, I deal with the physiology of the eye, focusing on light scattering in individual parts of the visual organ and what pathologies can disrupt its function. Subsequently, I discuss intraocular lenses that replace a pathologically damaged lens through a surgical procedure. The discussion of intraocular lenses revolves around the occurrence of excessive light scattering and its contribution to the development of secondary optical phenomena.

Finally, methods for measuring light scattering are described, whether in patients with implanted intraocular lenses or without them. In practice, two devices, the C-Quant and HD Analyzer, are used for such measurements.

Key words:

Ocular straylight, Arthepakia, intraocular lenses, C-Quant, HD Analyzer, Aberrations of the eye

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Mgr. Jakobovi Hlaváčkovi, za vedení bakalářské práce, odborné konzultace a za poskytnutí cenných rad a informací, které mi během realizace poskytl.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Rozptyl světla u artefakie*“ vypracovala samostatně a použila 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	6
1.1 Cíle práce	6
2. Zrakové funkce	7
2.1 Zraková ostrost	7
2.2 Kontrastní citlivost	8
2.2.1 Křivka kontrastní citlivosti	9
2.2.2 Měření kontrastní citlivosti	9
3. Aberace oka	11
3.1 Aberace nižších řádů	11
3.2 Aberace vyšších řádů	12
3.3 Měření aberací oka	12
3.3.1 MTF (Modulation Transfer Function)	13
3.3.2 PSF (Point Spread Function)	13
4. Vidění a rozptyl světla	14
4.1 Rohovka	14
4.1.1 Edém rohovky	15
4.1.2 Keratokonus	15
4.1.3 Dystrofie rohovky	16
4.2 Sklivec	16
4.2.1 Sklivcové zákaly	16
4.3 Čočka	16
4.3.1 Katarakta	17
5. Intraokulární čočky	19
5.1 Glistening	21
6. Měření rozptylu světla	22
6.1 C-Quant	22
6.2 HD Analyzer	23
7. Experimentální studie	25
7.1 Úvod experimentální části	25
7.2 Metodika výzkumu	25

7.3 Hypotézy.....	26
7.4 Výsledky.....	27
7.4.1 Analýza vzorku.....	28
7.4.2 Statistická analýza	29
7.4.2.1 Hypotéza 1	29
7.4.2.2 Hypotéza 2.....	30
7.5 Diskuze	32
7.6 Závěr experimentální části.....	33
8. Závěr.....	34
Seznam použité literatury	35
Seznam obrázků a grafů	42
Seznam tabulek.....	43

1. Úvod

Světlo nám umožňuje vnímat okolní prostředí, pomáhá nám v prostorové orientaci a rozpoznávání předmětů. Zrak je pro člověka klíčovou smyslovou modalitou. Právě světelné paprsky prochází optickými médii oka, transparentnost těchto optických médií je nanejvýš důležitá pro minimalizaci rozptylu světla.

Měření zrakové ostrosti tvoří základ každého vyšetření kvality zraku, další směrodatná vyšetření jsou na kontrastní citlivost, přítomnost aberací oka a intraokulární rozptyl.

Především s rostoucím věkem dochází k zvýšení míry intraokulárního rozptylu, což může vyvolat zamlžené, nejasné vidění a sníženou schopnost vnímat kontrast a barvy. Vyšší intraokulární rozptyl je pozorován například u osob s počínající kataraktou. Osoby s přítomností katarakty podstupují refrakční operace, při kterých dochází k výměně čočky za čočku nitrooční, ale i tak se po implantaci mohou objevit nepříjemné komplikace s doprovodnými optickými fenomény.

1.1 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je prozkoumat možnosti vyjádření kvality obrazu. Důraz bude kladen na patologické stavy, které mohou vést ke snížení kvality obrazu a diskomfortu, především v důsledku zvýšeného nitroočního rozptylu. Cílem je poskytnout důkladné prozkoumání tématu na základě relevantní literatury a výsledků výzkumu.

Celkově tato práce přispěje k lepšímu pochopení faktorů, které mohou ovlivnit kvalitu zraku a poskytne pohled na dostupné možnosti měření. Výsledky výzkumu prezentované v této práci mohou být zajímavé jak pro odborníky v oboru oftalmologie, optometrie, tak pro výzkumníky a studenty.

2. Zrakové funkce

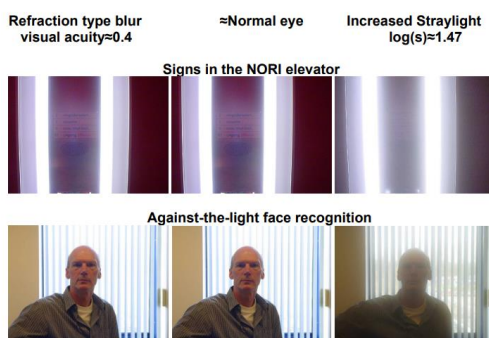
Zrakové vnímání je komplexní proces, který se skládá z několika složek, včetně vnímání světla, barev, kontrastu, hloubky (stereopse), tvarů, rozlišení a adaptace. Tyto komponenty spolupracují, aby lidem poskytly komplexní pochopení vizuálního světa.

Vnímání světla je prvním krokem zrakového vnímání, protože je nezbytné pro detekci jakéhokoli zrakového podnětu. Vnímání barev je další kritickou složkou, jelikož umožňuje rozlišení mezi různými vlnovými délkami světla. Vnímání kontrastu umožňuje jednotlivcům vnímat rozdíly v jasu, zatímco vnímání hloubky umožňuje vnímání trojrozměrného prostoru a prostorových vztahů mezi objekty. [7]

2.1 Zraková ostrost

Zraková ostrost, též nazývána vizus, je kvantitativním měřítkem schopnosti oka rozlišovat drobné detaily a oddělovat blízké objekty. Jedná se o nejmenší zorný úhel, pod kterým je oko schopné rozpoznat a rozlišit dva objekty tak, aby byly vnímány odděleně. Tato vlastnost je klíčová pro lidské vidění a má zásadní význam při posuzování kvality zraku. [1]

Nadměrný intraokulární rozptyl světla může negativně ovlivnit kvalitu zraku a zhoršit celkový zrakový vjem při přítomnosti jasných a silných světelných zdrojů. Jak uvádí článek „Berg, Tom van den. Introduction to retinal straylight“ v úvodu k problematice retinálního rozptylu, zvýšený rozptyl má větší vliv na vnímanou kvalitu obrazu světla než pouhé snížení zrakové ostrosti. Přiložený obrázek č. 1 prezentuje různé každodenní situace, kde lze porovnat účinky zhoršení zrakové ostrosti o 0,4 logMAR (levý sloupec) a zvýšeného rozptylu světla pomocí filtrů o 1,47 log(s) (pravý sloupec). Toto srovnání poukazuje na to, že kvalita zraku je ovlivňována nejen zrakovou ostrostí, ale i jinými faktory, jako je rozptyl světla. Vzhledem k významnému dopadu rozptylu světla na zrakový vjem je důležité zohlednit tento aspekt při posuzování kvality zraku a při diagnostice zrakových poruch. [26]

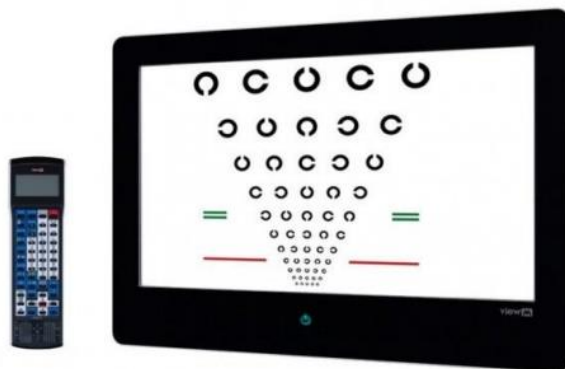


Obrázek 1: Srovnání snížené zrakové ostrosti a rozptylu světla na vidění

Zraková ostrost je běžně považována za nejrozšířenější metodu pro stanovení a klasifikaci vízu. V současnosti se provádí pomocí LCD optotypu, který je umístěn ve vzdálenosti šesti metrů od pacienta. K dispozici je široká škála možností měření zrakové ostrosti, včetně Pflügerových háků, Schoberových symbolů, obrázků, číslic a dalších, v závislosti na potřebách pacienta. Optotyp LCD se pohybuje od zrakové ostrosti 0,03 až po velmi malé symboly 2,0. [8]

Druhým nejčastěji používaným optotypem je LogMAR ETDRS, který se skládá ze 14 řádků, z nichž každý má 5 písmen vzdálených od sebe 0,1 log. [8]

Stav ostrosti se odvíjí od rozlišovací schopnosti oka, refrakčního stavu oka a od patologických stavů. Normální zraková ostrost je dána transparentí optických prostředí oka, jejich fyziologickou lomivostí, funkcí čoček, funkcí zrakového nervu a funkcí zrakového korového centra. [1]



Obrázek 2: LCD optotyp

2.2 Kontrastní citlivost

Vyšetření kontrastní citlivosti se stalo jedním z důležitých parametrů pro určení kvality vidění. Jde především o takové vyšetření, aby zrakové funkce byly vystaveny podmínkám běžného života.

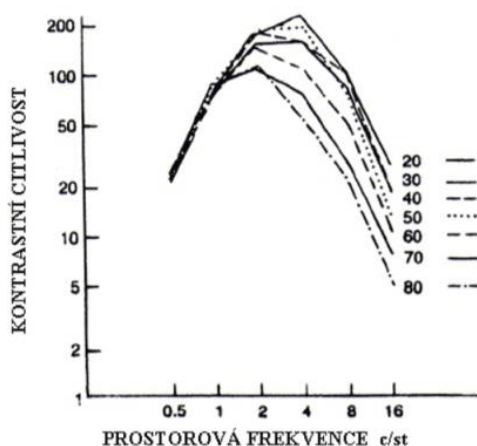
Lze ji definovat jako převrácenou hodnotu kontrastního prahu, kterým je nejmenší hodnota kontrastu, které je lidské oko schopno vnímat. Také zjednodušeně řečeno, kdy je oko schopno od sebe rozeznat dva různé světelné objekty.

Prostorová frekvence je druhým parametrem pro hodnocení. Jednotkou je jeden cyklus na stupeň (cyklus/stupeň), což je každá dvojice černého a bílého pruhu, která je součástí sinusové mřížky, na jeden stupeň zrakového úhlu. [11]

2.2.1 Křivka kontrastní citlivosti

Uvedená křivka znázorňuje závislost kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci (c/st). Jak je znázorněno na obrázku č. 4, křivka zaujímá tvar zvonu, přičemž nejvyšší vrchol se vyskytuje kolem 3-6 c/st, což představuje maximální kontrastní citlivost, kterou jsou lidé schopni vnímat. Kontrastní citlivost postupně klesá na vyšších a nižších prostorových frekvencích. Oblast pod křivkou odpovídá rozsahu zrakového vjemu, zatímco oblast nad křivkou je pro člověka nepostřehnutelná. [9,10]

Křivka vykazuje variabilitu s ohledem na věk pacienta, s výrazným poklesem začínajícím kolem 40. roku věku. Tento pokles je zvláště výrazný ve středních až vysokých prostorových frekvenčních rozsazích. Rozptyl světla na rohovce a čočce, který způsobuje difúzní oslnění se také s přibývajícím věkem mění, konkrétně se zvyšuje rozptyl světla a snižuje se tak kontrast obrazu. Co dále ovlivňuje výslednou křivku jsou působící patologické stavy oka, můžeme uvést například glaukom, věkem podmíněnou makulární degeneraci nebo kataraktu. [35, 36,37,38,39]

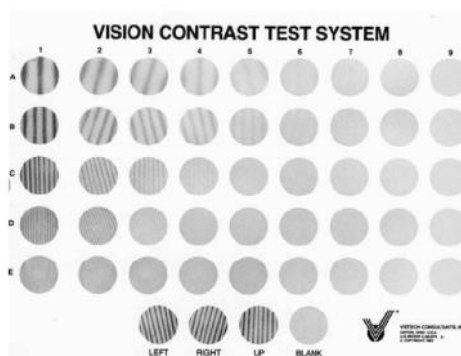


Obrázek 3: Křivka kontrastní citlivosti

2.2.2 Měření kontrastní citlivosti

Pro vyšetření kontrastní citlivosti existuje celá řada testů. Tyto testy lze rozdělit do dvou skupin a to testy písmenkové a testy využívající sinusovou mřížku.

K vyšetření pomocí sinusové mřížky řadíme takové metody využívající Micholsonův zákon, definovaný: $K = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$, jde o rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším jasem dělený jejich součtem. Patří sem například Ardenovy tabule, vertikální pruhy, střídající se v černých a bílých barvách vedle sebe. Vyšetřovaný určí místo, kde se mu pruhy jeví jako řada šedi. Dalším příkladem takovéto sinusové mřížky jsou Ginsburgovy tabule, změnou je, že sinusové mřížky se nacházejí v kruzích a úkolem pacienta je určit jejich směr. Na principu Ginsburgových tabulí byla vyvinuta řada modelů s odlišnými názvy. Metodou využívající tento princip je Vision Contrast test systém – VCTS, tento test obsahuje devět sloupců u kterých se postupně snižuje kontrast. I u tohoto testu je úkolem rozeznat směr mřížky. Poslední mřížku, kterou vyšetřovaný rozezná je ukazatel kontrastní citlivosti daného pacienta. U této varianty je možnost provádět vyšetření na blízko i na dálku. [9,43,44,45]



Obrázek 4: Vision Contrast test systém

Poslední nejvyžívanější zmíněnou metodou jsou testy CSV – 1000, lišící se od ostatních svým podsvícením (85 cd/m^2), které zajišťuje kontrastní osvětlení. Mění se zde 4 prostorové frekvence a to 3; 6; 12; 18 c/st, i zde se zaznamenává poslední rozeznatelné pole a pomocí těchto odpovědí sám sestavuje křivku kontrastní citlivosti. [46]

Modifikací takového testu je CSV – 1000HGT, kde jsou přidány dva zdroje osvětlení, které simulují oslnění. Podle potřeby jde míra oslnění snižovat nebo zvyšovat. Průběh testování se jinak od CSV-1000 testu neliší. I vliv oslnění nás zajímá z hlediska rozptylu světla na jednotlivých strukturách oka, jelikož snižuje celkovou kvalitu zrakového vjemu. Testování zrakové ostrosti i kontrastní citlivosti není dostačující pro měření intraokulárního rozptylu, tato modifikace měření má větší vzájemné propojení oproti klasickému měření kontrastní

citlivosti. Proto je také dobré zahrnout i testy na oslnění. Ty nám můžou poskytnout cenné informace o příčinách a intenzitě pocíťovaných potíží při vidění. [6,47,58]

3. Aberace oka

Aberace oka lze chápat jako vady oka. Kdybychom brali oko zcela ametropické, bez zobrazovacích vad, tak by se pozorovaný obraz přenášel na sítnici a paprsky by tvořily rovinnou vlnoplochu.

V populaci jsou dnes velmi časté oční vady, ty rozdělujeme na aberace nižších a vyšších řádů. Tyto vady se nejméně projevují, pokud paprsky prochází v blízkosti optické osy, v tzv. paraxialním prostoru. Mimo tento prostor se již začínají aberace výrazněji projevovat. Jsou parametry, které míru aberace ovlivňují, jsou jimi šířka a centrace zornice. Šířku zornice ovlivňují především světelné podmínky okolí, při šeru a tmě se zornice rozšiřuje a nastává stav, který nazýváme mydriáza. Naopak při dostačeném až přílišném osvětlení se zornice smršťuje, tomu říkáme mióza, zornice začne fungovat jako clona, aby paprsky dostatečně odstínila. [12,13,14]

Následkem očních aberací, je snížení zrakové ostrosti. Ke zhoršení dochází za šera a mohou nastávat nechtěné světelné efekty, ke kterým řadíme tvorbu tzv. duchů u předmětů (ghosting), kruhů kolem světelných předmětů (halo efekt) a efekty oslnění (glare). [19]



Obrázek 5: Světelné efekty

3.1 Aberace nižších řádů

Také jim říkáme Low Order Aberrations, zkratkou LOA. Tyto aberace se pohybují od 1. do 2. řádu. Patří sem všechny refrakční vady, které jdou korigovat brýlemi, kontaktními čočkami nebo laserovou chirurgií. Jedná se tedy o sférické vady lomivosti, kam zahrnujeme myopii, hypermetropii a astigmatismus. [12]

3.2 Aberace vyšších řádů

Ty můžeme pojmenovat jako High Order Aberrations, zkratkou HOA. Aberace vyšších řádu se popisují pomocí vlnového popisu, jelikož se světlo šíří ve vlnoplochách a má tedy vlnový charakter.

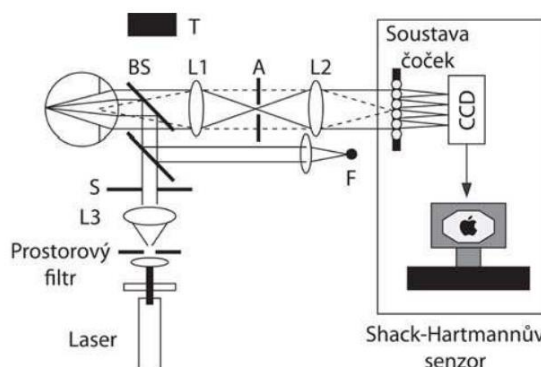
Do této skupiny řadíme odchylky třetího a vyššího řádu. Které vznikají defekty především čočky a rohovky, jako jsou záněty, katarakta, traumata, jizvy. Nebo mohou vnikat i příčinou refrakční a nitrooční chirurgie. [13,14]

3.3 Měření aberací oka

Pro takové měření optické soustavy oka používáme aberometry. Ty fungují zjednodušeně na principu měření vlnoploch, lze tuto techniku pojmenovat také jako wavefront analýza. Poskytují nám komplexní aberační stav oka, jak u aberací nižšího i vyššího řádu. [15]

V klinické praxi je dnes nejvyužívanější Shack-Hartmannův aberometr, také nazývaný jako výstupní reflexní aberometr. V této metodě se využívá laserový zdroj světla nejčastěji superluminiscenční dioda, Shack-Hartmannův senzor, který je složen ze soustavy mikročoček a ze senzoru CCD. Z diodového laseru vystupuje paprsek o vlnové délce 850 nm (odpovídá infračervenému záření) a o velikosti cca 1 mm. Paprsek se manifestuje jako vlnoplocha, která proniká až na sítnici, kde dochází k rozptylu a následnému odrazu zpět do přístroje. Tyto odražené vlnoplochy jsou zachyceny pomocí Shack-Hartmannova senzoru, který je analyzuje za použití mikročoček a CCD detektoru. Výsledkem této analýzy je vytvoření bodové mapy, která je poté porovnána se stavem oka, který nevykazuje žádné aberační vady. Pro číselnou charakterizaci aberací nám pomáhají Modulation Transfer Function (MTF) a Point Spread Function (PSF). [15,16,17,18,62,63]

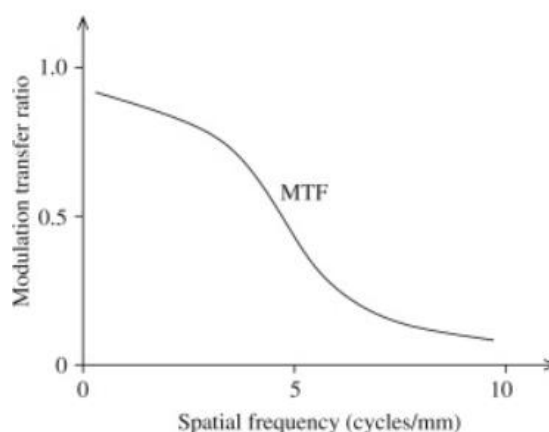
Aberometry, které využívají tohoto principu, jsou například Topcon KR-9000PW (Topcon), Wasca Analyzer (Zeiss), LADARwave (Alcon) a Zywave (Bausch&Lomb). [16]



Obrázek 6: Schéma Shack-Hartmannova aberometru

3.3.1 MTF (Modulation Transfer Function)

Funkce popisuje účinnost přenosu kontrastu na jednotlivých prostorových frekvencích. Prostorová frekvence se udává jako počet páru čar na milimetr (lp/mm). Hodnoty se zobrazují na graf s osou x a y. Osa x se udává v cyklech/stupních a podává informace o prostorových frekvencích, zatím co osa y udává hodnotu modulační přenosové funkce (MTF). [64,65,66]



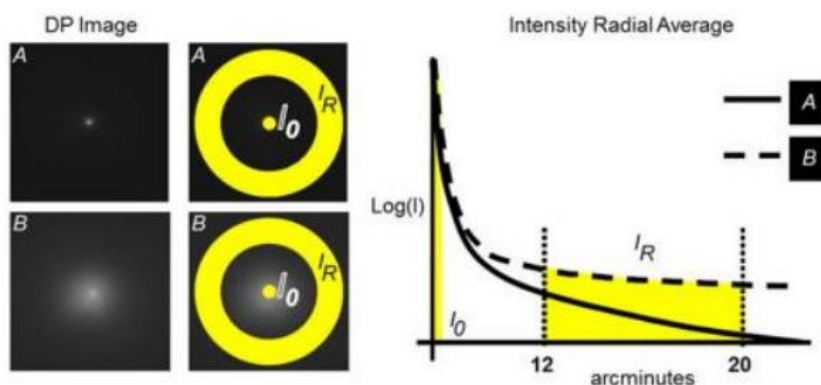
Obrázek 7: Graf MTF

3.3.2 PSF (Point Spread Function)

Bodová rozptylová funkce (PSF) je matematická funkce, která popisuje rozložení intenzity světla z jednoho bodového zdroje na obrazové rovině optického systému. Jedná se tedy o charakteristickou funkci optického systému, která označuje kvalitu získaných obrazů.

Pro praktické aplikace umožňuje například korekci optických vad, jako je chromatická aberace. PSF lze získat experimentálně nebo pomocí výpočetních metod. [6,69]

Na obrázku č. 9 lze porovnat výsledky měření získané za podmínek nízkého (A) a vysokého (B) rozptylu světla. U vysokého rozptylu je zřejmý větší stupeň periferního rozptylu světla. [6,69]



Obrázek 8: Porovnání nízkého a vysokého rozptylu světla

4. Vidění a rozptyl světla

Správné vizuální vnímání našeho okolí závisí zásadně na zdroji světelného záření. Správný fyziologický proces vidění vyžaduje neporušenou strukturu oka bez jakýchkoli patologických stavů nebo poranění. O kvalitě vidění rozhoduje především čočka, která v důsledku stárnutí ztrácí svou elasticitu a propustnost pro kratší vlnové délky. [4,5]

Optický vstup do oka začíná světlem, které dopadá na rohovku. Světlo prochází rohovkou a vstupuje do komorové vody, dále pokračuje na čočku, která je umístěna za komorovou vodou. Čočka dále ohybuje světelné paprsky a soustřeďuje je na sítnici, která je umístěna na zadní části oka. Sítnice obsahuje fotoreceptory, které jsou citlivé na světlo a umožňují začátek procesu vidění. Když světlo dopadá na fotoreceptory, ty generují elektrické signály, které jsou následně přenášeny nervovými vlákny do mozku.

Pro vytvoření kvalitního obrazu je důležité, aby byly všechny struktury oka, kterými prochází světelný tok zcela transparentní. Kdyby tak nebylo, pak by mohlo docházet k nadměrnému rozptylu světla. [1,2,4]

Lze tedy říct, že čím větší je rozptyl světla na strukturách oka, tím je výsledný obraz horší. Rozptyl světla se podílí s dalšími faktory na kvalitě obrazu. Nechtěný intraokulární rozptyl má za následky už zmiňovanou tvorbu světelných efektů například oslnění, haló efekt nebo ghosting, ale také snížení kontrastu a celkové mlžení vytvořeného obrazu. [19,20]

Existují dva druhy optického rozptylu: dopředný a zpětný. Dopředný rozptyl způsobuje nežádoucí světelné efekty, které se vyskytují při pozorování silného světelného zdroje. Tento druh rozptylu se šíří ve směru světla, které dopadá na oční systém. Zpětný rozptyl se v oftalmologii využívá jako klíčový jev při provádění oftalmoskopie, topografie a dalších oftalmologických vyšetření. Jedná se o jev, při kterém dochází k rozptylu dopadajícího světla směrem opačným ke směru jeho pohybu. Tento proces vede ke snížení dopadajícího světla na sítnici. [5, 6, 20, 21]

4.1 Rohovka

Rohovka vykazuje maximální míru rozptylu světla mezi všemi strukturami oka. Tento jev je převážně způsoben poruchami slzného filmu a patologiemi vyplývajícími z laserové refrakční chirurgie, keratoplastiky a z dalších souvisejících poruch. Vrstvy rohovky jsou ovlivněny procesy spojenými s věkem. S přibývajícím věkem dochází k zvětšování

kolagenových vláken ve stromatu rohovky a snižování hustoty keratocytů. Tento vývoj má za následek pokles průhlednosti rohovky. Další vrstvou, která podléhá procesům stárnutí, je endotel, který je zodpovědný za průhlednost rohovky a správnou hydrataci. Endotel se skládá z endotelových buněk, normální hustota buněk se pohybuje v rozmezí 2600-3000 buněk/mm². S věkem tato hustota klesá v důsledku neschopnosti regenerace. Nadměrný rozptyl světla na rohovce je nejčastěji připisován patologickým stavům, jako je edém rohovky, keratokonus a dystrofie rohovky. [12, 22, 23]

4.1.1 Edém rohovky

Tato patologie nastává v důsledku hypoxické acidózy a změn osmolarity ve stromatu. Otoky vznikají především nadměrným nošením kontaktních čoček a překročením doporučené doby používání, což vede k hypoxii a odumírání epitelálních buněk v důsledku nedostatku kyslíku. Mrtvé shluky epitelu vytvářejí v hlubokých vrstvách epitelu mikrocysty o velikosti 10-15 mikrometrů. Ve střední vrstvě epitelu vede hypoxie k tvorbě vakuol. To v konečném důsledku vede ke zvětšení tloušťky rohovky a špatné průhlednosti, což ovlivňuje nadměrný rozptyl světla. Pacienti s takovými obtížemi uvádějí zhoršené vidění a „haló efekt“ způsobující barevné efekty při pohledu na silné osvětlení.

Mikrocysty a vakuoly mohou být zcela vyléčeny během několika měsíců, když pacienti přestanou nosit kontaktní čočky. V dnešní době je takových případů minimum, a to díky zdokonalování technologií výroby kontaktních čoček z hlediska propustnosti kyslíku. [29,30]

4.1.2 Keratokonus

Jde o degenerativní onemocnění rohovky, bez zánětlivých nálezů. Viditelný defekt, kdy dochází ke konickému vyklenutí rohovky. Při keratokonu dochází ke ztenčení a deformaci rohovky, která ztrácí svou původní kulovou a pravidelnou tvarovou strukturu. Tento proces vede k narušení refrakčních vlastností oka, což má za následek nadměrný intraokulární rozptyl. Příznakem keratokonu bývá ze začátku zhoršení vízu, který se po krátké době stále zhoršuje. Subjektivně pacient popisuje rozmazané vidění, astenopické potíže, diplopii, oslnění, kruhy okolo světél nebo rozpínavé pruhy ze světél. [31,32,33]

Příčiny mohou být různé, nejčastěji se uvádí genetické predispozice, především u geneticky podmíněných onemocnění, jako jsou Marfanův syndrom nebo Downův syndrom. Déle epitelové buňky vystavené mechanickému poškození například při nošení nesprávných

kontaktních čoček, kdy drážděním dochází k tvorbě cytokinů, které může způsobovat apoptózu keratocytů. [34]

4.1.3 Dystrofie rohovky

Dystrofie rohovky je patologický stav, při kterém dochází k postupnému rozpadu struktury rohovky. Tato porucha může být způsobena různými faktory, jako jsou genetické predispozice, trauma, infekce a další. Dystrofie rohovky se projevuje ztrátou průhlednosti rohovky, což vede k nadměrnému intraokulárnímu rozptylu. Existuje několik typů dystrofie rohovky, včetně Fuchsovy dystrofie, Meesmannovy dystrofie nebo Kogenovy dystrofie, která se vyznačuje charakteristickým výskytem tzv. „otisků prstů“, na kterých se rozptyluje světlo. Tyto „otisky prstů“ jsou způsobeny nepravidelností ve struktuře síťových vrstev a pigmentových vrstev, které způsobují změny v odrazu a rozptylu světla. [3]

4.2 Sklivce

Sklivce představuje přibližně 80% objemu oka. Jeho hlavní funkcí je vyplnění sklivcové dutiny a je tvořeno převážně vodou, která tvoří 98% jeho složení. Další složky sklivce jsou převážně bílkoviny. Transparentnost této tkáně je zásadní, aby nedocházelo k nadměrnému rozptylu světelných paprsků a vzniku světelných jevů. [29]

4.2.1 Sklivcové zákaly

Transparentnost sklivce mohou narušit sklivcové zákaly (floaters), které mohou negativně ovlivňovat rozptyl světla a vytvářet tak světelné fenomény. Nejčastější příčinou bývá stárnutí sklivce, kdy dochází ke změnám struktur, ty se rozvolňují a kapalní. Pacient tyto změny struktur popisuje jako kousky pavučin, vláken či nitek plujících přes zorné pole. [12,40,41]

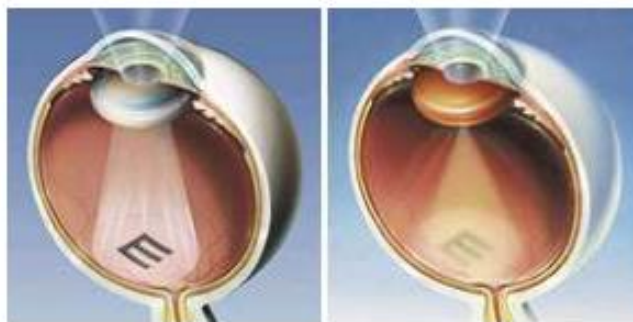
4.3 Čočka

Jak již bylo výše zmíněno, oční čočka podléhá procesu stárnutí. S přibývajícím věkem ztrácí čočka svou elasticitu, akomodační schopnost a tím pádem i schopnost korigovat rozptyl světla. Dále je ovlivněna transparentnost čočky, která se snižuje s postupujícím věkem, což často vede ke vzniku zákalů, známých jako katarakta. Platí, že čím je transparentnost čočky nižší, tím více dochází k rozptylu světla. [6, 24]

4.3.1 Katarakta

Jedná se o patologický stav, kdy začíná být zakalení jinak průhledné oční čočky. Kataraktu jinak označujeme jako šedý zákal. Vzniká procesem stárnutí, čočka přestává mít svou elasticitu a průhlednost, brání tím kvalitní zrakové ostrosti a zvýšenému rozptylu světla, ten může zapříčinit snížení kontrastu a problémy s oslněním. Za zvýšení intraokulárního rozptylu může degenerace čočkových lamel, mezi kterými vznikají vakuoly. Vakuoly následně zvyšují rozptyl světelných paprsků dopadajících na sítnici.

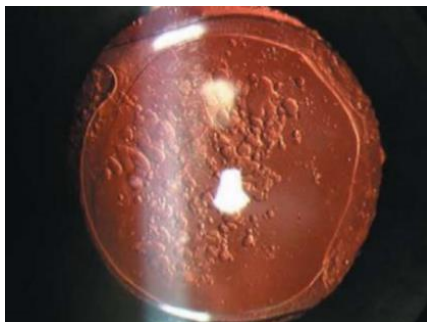
Příčin vzniku může být několik, máme tyto typy katarakty: senilní, traumatická, radiační, kongenitální, metabolická, komplikovaná a sekundární. K přiblížení některých typů, metabolická katarakta vzniká jako přidružený faktor k metabolickým onemocněním, nejčastěji při diabetes mellitus, ale také u onemocnění jater, ledvin a dalších. Traumatická se vyskytuje po mechanickém poranění oka (penetrace, kontuze, chemikálie). Senilní katarakta je nejčastější příčinou vzniku, postihuje více jak polovinu osob nad 65 let. Vlivem stárnutí dochází k chemickým změnám, ty ovlivňují proteiny v čočce, tímto dějem se utváří pigmentace, také se omezuje aktivní transport látek a nabývá oko přílišné hydratace. Všechny uvedené faktory mají za následek zvětšení hmotnosti čočky a její zakalení. [29, 42, 57]



Obrázek 9: Oko zdravé/Oko s kataraktou

Chirurgická léčba katarakty, je dnes velmi běžnou rutinou operatérů. Jde o nejčastější chirurgický zákrok. (43) Operačních technik je více, můžou to být intrakapsulární extrakce (ICCE), extrakapsulární extrakce (ECCE), fakoemulzifikace (FE) nebo operace katarakty asistovaná femtosekundovým laserem (FLACS). Vybereme-li si operaci technikou fakoemulzifikace, odstraňuje se zkalená čočka, která je následně nahrazena čočkou umělou nitrooční, k rozdrčení zakalené čočky slouží ultrazvuková energie. Důležité je, aby došlo pouze k rozdrčení obsahu nikoliv k poškození pouzdra. Do pouzdra je pak za pomoci injektoru vložena nitrooční čočka. [29,40]

I když jde o rutinní operaci i u ní dochází k pooperačním komplikacím, nejčastější bývá už zmiňovaná sekundární katarakta, kdy dochází ke zkalení zadního pouzdra a způsobí snížení zrakové ostroty. Epitelové buňky, které se dostávají do částí mezi optickou částí implantované čočky a pouzdrem, vytváří Elschnigovy perly, tento děj nastává u sekundární katarakty proliferací formy. U druhé fibrózní formy dochází k tvorbě myofibroblast, které vnikají také z epitelových buněk s rozdílem, že u této formy se nepohybují, zůstávají na místě a pouze se přemění. [18, 29, 50]



Obrázek 10: Elschnigovy perly

K odstranění vzniklé sekundární katarakty slouží YAG kapsulotomie. Při takovém zákroku se vytvoří za pomoci Nd:YAG laseru otvor v zadním pouzdře. Paprsky laseru směřují do zadního pouzdra a snaží se o uvolnění místa, kde se hromadily zbytky čočkových epitelových buněk, ze začátku jsou použity energicky nízké stupně, poté se zvyšuje. Principem Nd:YAG laseru je převedení elektrické energie na světlo. Paprsek pak vychází ze stimulované emise. Tento pevný látkový laser je poháněn diodou. Ze studie „Effect of Nd:Yag laser capsulotomy on retinal straylight values in patients with posterior capsule opacification“, která zkoumala vliv YAG kapsulotomie na rozptyl světla a zrakovou ostrot, vyplynulo, že tento zákrok má průkazné zlepšení v obou aspektech. [59, 60, 61]

5. Intraokulární čočky

Po provedení implantace intraokulární čočky se mohou vyskytnout i další komplikace kromě sekundárních katarakty. V současné době se refrakční chirurgie snaží poskytovat intraokulární čočky s vysokou kvalitou a vynikajícími optickými vlastnostmi. Tyto čočky jsou navrženy tak, aby minimalizovaly rozptyl světla a minimalizovaly vznik vedlejších optických fenoménů. [51]

V současné době existuje mnoho studií, které se zaměřují na srovnání různých typů nitroočních čoček. V této studii jde o srovnání sférických a asférických čoček, jakož i srovnání hydrofobních a hydrofilních materiálů. Zahrnovala 70 pacientů, kteří podstoupili implantaci nitrooční čočky. Bylo testováno 5 různých typů čoček: 16x Tecnis ZA9003 (hydrofobní materiál od společnosti Johnson and Johnson), 16x Sensar AR40e (hydrofobní materiál od společnosti Johnson and Johnson), 12x SA60AT (hydrofobní materiál od společnosti Alcon), 15x XLSTABI ZO (hydrofilní materiál od společnosti Zeiss) a 11x Akeros AO (hydrofilní materiál od společnosti Bausch+Lomb).

Tabulka 1: Srovnání rozptýleného světla v různých IOL mezi normální a rozšířenou zornicí

Zornice	Normální stav	Rozšířená (dilatovaná)
Celkový:		
Rozptyl světla (log(s))	1,29 ± 0,20	1,54 ± 0,23
AR40e:		
Rozptyl světla (log(s))	1,32 ± 0,24	1,50±0,20
ZA9003:		
Rozptyl světla (log(s))	1,35±0,14	1,62±0,18
SA60AT:		
Rozptyl světla (log(s))	1,41 ± 0,19	1,61 ± 0,26
XLSTABI ZO:		
Rozptyl světla (log(s))	1,20 ± 0,16	1,49 ± 0,27
Akeros AO:		
Rozptyl světla (log(s))	1,17 ± 0,16	1,49 ± 0,19

Pacienti podstoupili několik testů, včetně měření zrakové ostrosti pomocí Snellenových tabulek, měření průměru zornice před a po aplikaci mydriatik (tropikamidu) a

test na intraokulární rozptyl světla na přístroji C-Quant. Tyto testy byly provedeny přibližně měsíc po operaci, a to jak při přirozených, tak i rozšířených zornicích.

Výsledky jsou uvedeny v tabulce (tabulka č. 1), kde je průkazný vztah mezi zvýšenou dilatací zornice a zvýšeným rozptylem světla, v celkových hodnotách se rozptyl pohyboval u dilatované rozince $1,54 \pm 0,23 \log(s)$.

Dále můžeme vyčíst, že u sférické a asférické nitrooční čočky, jsou zanedbatelné rozdíly při stavu normální zornice, ale rozptýlené světlo asférické nitrooční čočky bylo významně vyšší než sférické nitrooční čočky u dilatované zornice. Při porovnání hydrofilní a hydrofobní nitrooční čočky pozorujeme, vyšší rozptyl světla hydrofobní nitrooční čočky ve srovnání s hydrofilní nitrooční čočkou. [52,53]

Další studií bylo porovnat monofokální a multifokální intraokulární čočky, konkrétněji sférické monofokální, asférické monofokální a difrakční multifokální čočky (hydrofobní akrylové), tento výzkum byl prováděn v České republice na 12 osobách. Doba sledování byla od 3 do 12 měsíců a měření probíhalo pomocí přístroje C-Quant. Závěrem bylo několik výsledků. Prvním z nich, že multifokální čočka má vyšší rozptyl světla než čočka monofokální, to konkrétně v porovnání $1,23 \pm 0,21 \log(s)$ (difrakční multifokální) a $1,16 \pm 0,23 \log(s)$ (monofokální asférická). Druhým prokazatelným výsledkem byl rozdíl mezi monofokálním sférickým a asférickým modelem, kdy sférický ($1,47 \pm 0,22 \log(s)$) model nabýval většího rozptylu světla než asférický ($1,16 \pm 0,23 \log(s)$). I v této studii prokázali vyšší rozptyl světla u hydrofobní nitrooční čočky. [54]

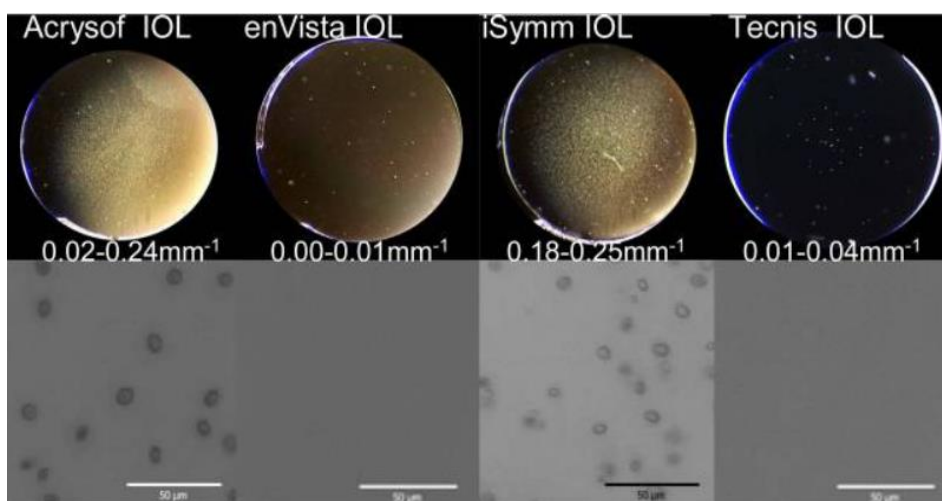
Tabulka 2: Porovnání IOL multifokálních oproti monofokálních

Intraokulární čočka	Optické parametry	Materiál	Rozptyl světla (log(s))
ReSTOR SN6AD1 IOL (Alcon)	Difrakční multifokální čočka	Hydrofobní Akryl	$1,23 \pm 0,21 \log(s)$
AcrySof IQ IOL (Alcon)	Asférická monofokální čočka	Hydrofobní Akryl	$1,16 \pm 0,23 \log(s)$
AR40e (AMO)	Sférická monofokální čočka	Hydrofobní Akryl	$1,47 \pm 0,22 \log(s)$
HQ201hep (Hexavision)	Sférická monofokální čočka	Hydrofilní Akryl	$1,37 \pm 0,24 \log(s)$

5.1 Glistening

Lesk, definovaný jako přítomnost vodou naplněných mikrovakuol uvnitř nitroočních čoček, byl identifikován jako faktor přispívající ke zvýšenému rozptylu světla a snížené kvalitě vidění. Tento jev je připisován rozdílnému indexu lomu mikrovakuol a objemového polymerního materiálu, který způsobuje nadměrný rozptyl světla. Zatímco lesk se může objevit u jakéhokoli typu nitrooční čočky, nejčastěji je pozorován u hydrofobních akrylových čoček. Primárním problémem při řešení glisteningu je absence neinvazivního léčebného přístupu. Jedinou schůdnou možností je chirurgická explantace nitrooční čočky, která přináší rizika. [55,56]

Mooren, Marrie, Franssen, Luuk a Piers, Patricia provedli studii „Effects of glistenings in intraocular lenses“ o hydrofobních akrylových nitroočních čočkách (IOL), konkrétně Acrysof, iSymm, enVista a Tecnis. Cílem studie bylo určit, která IOL vykazovala nejvyšší hustotu mikrovakuol a následně způsobila i větší rozptyl světla. Výsledky experimentu odhalily, že IOL Acrysof (výrobce Alcon) obsahovala nejvyšší počet mikrovakuol v materiálu, přítomných u 60-87 % pacientů. Naproti tomu IOL Tecnis (výrobce Johnson and Johnson) vykazovala nejnižší množství mikrovakuol. Studie dále dospěla k závěru, že výrobci IOL by měli zvážit hodnocení rozptylu světla IOL jako standardní postup při zavádění nových modelů IOL. Navíc lze dojít k závěru, že pro minimalizaci vlivu lesku a zvýšení rozptylu světla je nutné udržet hustotu pod $0,08\text{mm}^{-1}$. [55]



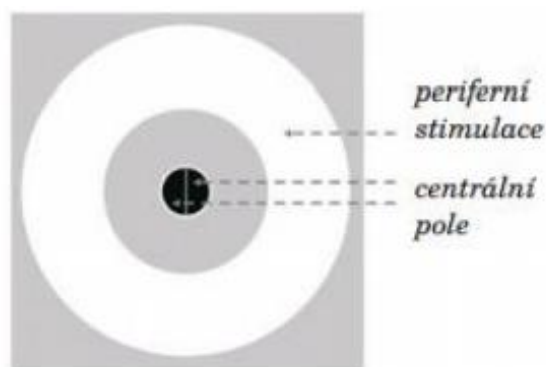
Obrázek 11: Porovnání hustoty mikrovakuol u konkrétních IOL

6. Měření rozptylu světla

V současné době existují dva hlavní způsoby, jak měřit nitrooční rozptyl světla. První z nich je psychofyzikální test založený na metodě kompenzačního srovnání (compensation comparison), který využívá přístroj C-Quant od německé firmy Oculus. Druhým způsobem je využití přístroje HD Analyzer od španělské firmy Visiometrics, který pracuje na principu dvojitého průchodu (double-pass technique) a promítá infračervené paprsky na sítnici oka. Tyto metody jsou nejčastěji používané pro měření nitroočního rozptýleného světla, protože jsou nejdostupnější a nejefektivnější. [25,48]

6.1 C-Quant

Při měření na přístroji C-Quant musí testovaná osoba porovnávat v časovém intervalu intenzitu blikání indukovaného zdrojem oslnění, s protifázovým kompenzačním světlem. Při pohledu do optické části je vidět kruhové testovací pole, které je rozděleno na dva půlkruhy, kolem tohoto testovacího pole jsou dva prstence. Bliká pouze oblast, která je na obrázku č. 13 popsána jako periferní stimulace. Periferní stimulace využívá záblesk, a vzhledem k rozptylu světla se rozptýlí i do centrální oblasti, což vytváří zdání blikání v centrálním poli. V centrální oblasti se zdá, že půlkruh bliká buď vlevo nebo vpravo dle protifáze. Blikají oba půlkruhy, ale díky protifázi jedna strana bliká více než druhá. Intenzita protifáze se mění dle odpovědi vyšetřujícího. Jedná se tak o zcela subjektivní testovací metodu.



Obrázek 12: testovací pole C-Quant

Toto odborné vyšetření probíhá monokulárně, což znamená, že je nezbytné, aby druhé oko bylo správně zakryté. C-Quant přistupuje k vyhodnocení výsledků měření prostřednictvím psychometrických křivek a zaznamenává naměřené hodnoty do grafu. Průměr

těchto hodnot pak slouží jako indikátor polohy testované osoby na křivce. Graf dále ukazuje křivku, která udává normu pro rozptýlené světlo na věku jedince. [6, 25, 26, 27, 28]

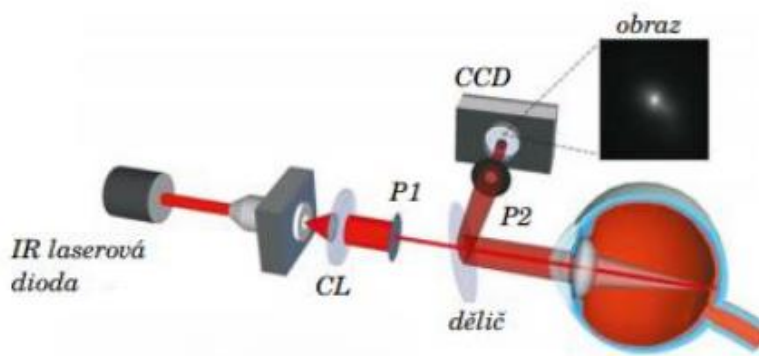
Hodnoty jsou udávány v logaritmu parametru (s), zkráceně log(s). Normální udávaná hodnota oka bez patologií u mladého člověka se pohybuje přibližně 0,85. Tato hodnota se u osob starších 40 let navyšuje až dvojnásobně. [25,26]



Obrázek 13: Příklad přístroje C-Quant

6.2 HD Analyzer

Metoda měření nitroočního rozptylu pomocí HD Analyzery je založena na odlišném principu od přístroje C-Quant. HD Analyzer je sofistikovanějším přístrojem s více funkcemi, který umožňuje kvantitativní a objektivní vyhodnocení nitroočního rozptýleného světla, optické kvality oka, degradace slzného filmu, detekce a klasifikace šedého zákalu, vyhodnocení pseudoakomodace a posouzení polohy optické osy ke středu zornice. Příklad pracuje na bázi techniky dvojitého průchodu. [48,6]



Obrázek 14: Schéma HD Analyzery

Infračervená laserová dioda (vlnová délka 780 nm) sloužící jako bodový zdroj světla, který prochází optickým prostředím a je zobrazen na sítnici, tento světelný svazek musí být před tím filtrován a soustředěn pomocí čočky, poté prochází aperturní clonou, následně se až zobrazuje na sítnici, kde dojde k odrazu a očními médii projde dvakrát. Vrací se na CCD kameru. Při odražení přístroj vyhodnocuje velikost a tvar odraženého světelného bodu. Vyhodnotí obraz bodu PSF (rozptylová funkce bodu), tímto se získá objektivní index rozptylu, který objektivně posuzuje nitrooční rozptyl světla a porovnává kolik světla bylo rozptýleno v periférii vzhledem k množství světla v jeho středu. [48,6,21]

Normální hodnoty OSI (objektivní index rozptylu) se pohybují pod 0,5. Při prvních stádiích patologických změn oka je hodnota OSI mezi 1,5 až 4. U progredujících stavů je hodnota vyšší než 4. [48]



Obrázek 15: Přístroj HD Analyzer

7. Experimentální studie

7.1 Úvod experimentální části

V této části bakalářské práce se zaměřujeme na vyšetření rozptylu světla a zrakové ostrosti u pacientů se sekundární kataraktou, kteří podstoupili YAG kapsulotomii a implantaci nitrooční čočky. Cílem této práce je porovnat účinky dvou různých typů intraokulárních čoček.

Experimentální studie byla provedena v prostorách očního oddělení Fakultní nemocnice Královské Vinohrady. Zvoleným cílem bylo porovnání dvou skupin pacientů, z nichž první měla intraokulární čočky Acrysof od firmy Alcon a druhá skupina čočky Tecnis od Johnson & Johnson. Kritérii pro zařazení pacientů do studie byly minimálně jeden rok po implantaci nitrooční čočky a minimálně týden po provedení YAG kapsulotomie, bez dalších přidružených patologií oka.

Celkový počet účastníků experimentu byl 30, z toho 15 osob v každé skupině, ve věku od 65 do 80 let. V rámci skupiny pacientů bylo genderové rozložení 19 žen a 11 mužů.

7.2 Metodika výzkumu

Nejprve jsme ve spolupráci s oftalmology z očního oddělení zkontrolovali zdravotní dokumentaci (anamnézu) pacientů, kteří podstoupili YAG kapsulotomii nebo implantaci nitrooční čočky a splnili všechna výše uvedená kritéria, abychom našli vhodné adepty. Identifikovali jsme 30 vhodných kandidátů, u nichž oftalmologové vyloučili sekundární kataraktu, dystrofii a další oční patologie.

Následně jsem provedla objektivní měření refrakce pomocí autorefraktometru Topcon KR-800A a pokračovali subjektivním měřením pomocí brýlové skříně a projekčního optotypu od Essiloru (CP 550). Byl změřen (binokulárně a monokulárně) visus naturalis, poté sférocylická korekce. Dále jsme provedli test oční dominance pomocí zamlžovací techniky pro určení vedoucího oka. To bylo provedeno pouze na pacientech, kteří měli v obou očích implantované intraokulární čočky, aby se určilo, které oko podstoupí další experiment.

Po refrakci jsme pokračovali přístrojem C-Quant. Vyšetření probíhalo v zatemněné místnosti (šero). Každému pacientovi jsem vysvětlila principy, průběh a délku vyšetření a poté jsme zahájili proces měření. Nevyšetřované oko bylo zakryté okluzorem a druhým

nezakrytým se vyšetřovaný díval do okuláru přístroje. Na konci testování program automaticky vyhodnotil výsledky.

7.3 Hypotézy

Můj předpoklad pro výše uvedený experiment je, že intraokulární čočka Acrysof (Alcon) prokáže signifikantně vyšší rozptyl světla než čočka Tecnis (Johnson & Johnson). Žádná studie v současné době neprovedla přímé srovnání těchto dvou typů čoček s měřením zrakové ostrosti a rozptylu světla na přístroji C-Quant.

Svou hypotézu jsem postavila na základě více studií. První studie nazvaná „Effects of glistenings in intraocular lenses" se zabývala přímou závislostí mezi tvorbou glisteningu a zvýšeným rozptylem světla. Tato studie prokázala několik významných závěrů, které jsou směrodatné pro mou hypotézu:

1. Glistening značně ovlivňuje zvýšení intraokulárního rozptylu světla.
2. Acrysof měl největší hustotu mikrovakuol ze všech 4 druhů IOL.
3. IOL Tecnis měly naopak nejnižší výskyt mikrovakuol v materiálu. [55]

Druhá studie „A comparison of mesopic visual acuity and objective visual quality following cataract surgery with hydrophobic acrylic intraocular lenses", zahrnovala 181 očí 136 pacientů, kteří podstoupili operaci šedého zákalu s implantací monofokálních hydrofobních akrylových nitroočních čoček. Porovnávala pouze rozptyl světla bez faktoru tvorby mikrovakuol v materiálu. Měření bylo prováděno na přístroji HD Analyzer. I tato studie pro mě měla pár významných závěrů:

1. IOL Tecnis měly statisticky významně lepší mezopickou CDVA ($0,08 \pm 0,08$).
2. IOL Acrysof měly mezopickou CDVA ($0,11 \pm 0,07$).
3. OSI je statisticky významně lepší pro IOL Tecnis ($1,65 \pm 0,92$).
4. OSI je statisticky horší pro IOL Acrysof ($2,01 \pm 1,36$). [70]

Stanovuji nulové hypotézy:

Hypotéza H01

Intraokulární čočka Tecnis od firmy Johnson & Johnson bude mít statisticky signifikantně menší rozptyl světla než čočka Acrysof od firmy Alcon.

Hypotéza H02

Zraková ostrost bude u čoček Tecnis od firmy Johnson & Johnson výrazně lepší než zraková ostrost u IOL Acrysof od firmy Alcon.

Stanovuji alternativní hypotézy:

Hypotéza H1

Intraokulární čočka Tecnis od firmy Johnson & Johnson nebude mít statisticky signifikantně menší rozptyl světla než čočka Acrysof od firmy Alcon.

Hypotéza H2

Zraková ostrost nebude u čoček Tecnis od firmy Johnson & Johnson statisticky signifikantně lepší než zraková ostrost u čočky Acrysof od firmy Alcon.

Součástí hodnocení výsledků bude posouzení, zda existuje korelace mezi rozptylem světla a zrakovou ostrostití. Tato analýza bude prováděna s cílem zjistit, zda tyto dvě charakteristiky vzájemně souvisí a zda jejich kombinovaný vliv může ovlivnit výsledky studie. Konkrétně bude sledována korelace mezi změnami rozptylu světla a eventuálními změnami zrakové ostrostiti u jedinců, kteří jsou součástí studie. Vyhodnocení této korelace bude mít dopad na interpretaci výsledků a umožní nám lépe porozumět vztahu mezi těmito dvěma parametry

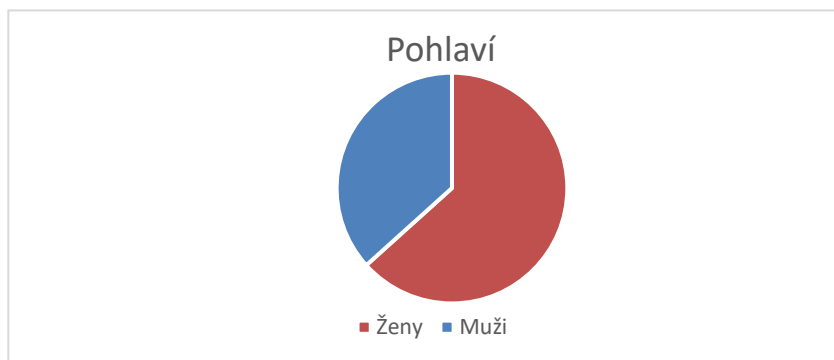
7.4 Výsledky

V této kapitole budu uvádět výsledky mého měření. Jako první budu graficky znázorňovat rozložení pohlaví všech 30 zúčastněných dobrovolníků. Dále statisticky porovnam naměřené hodnoty rozptylu světla a zrakové ostrostiti u obou skupin IOL.

Pro srovnání výsledků mezi těmito dvěma skupinami bude použit nezávislý t-test. T-test se bude provádět jednotlivě pro rozptyl světla a pro zrakovou ostrost, abychom mohly porovnat, zda jsou pro nás výsledky se signifikantním rozdílem.

7.4.1 Analýza vzorku

V experimentu se zúčastnilo celkem 30 osob, z toho 19 bylo žen a 11 mužů. Všichni účastníci experimentu byli ve věku od 65 do 80 let. Pomocí procentuálního vyjádření lze říci, že 63,3 % účastníků experimentu byly ženy a 36,7 % byli muži. Na obrázku č. 17 je grafické znázornění pomocí koláčového grafu.



Obrázek 16: Graf genderového rozložení účastníků

Tabulka 3: Naměřené hodnoty IOL Tecnis

Tecnis	Rozptyl světla log(s)	Zraková ostrost (logMAR)
1	1,48	1,00
2	1,55	0,9
3	1,50	0,9
4	1,45	1,00
5	1,53	1,00
6	1,55	0,9
7	1,53	1,00
8	1,45	0,8
9	1,50	0,9
10	1,55	0,9
11	1,45	1,00
12	1,50	1,00
13	1,50	0,8
14	1,55	1,00
15	1,55	0,9

Tabulka 4: Naměřené hodnoty IOL Acrysof

Acrysof	Rozptyl světla log(s)	Zraková ostrost (logMAR)
1	1,50	1,00
2	1,60	0,8
3	1,52	0,9
4	1,50	1,00
5	1,63	0,9
6	1,70	0,9
7	1,55	1,00
8	1,47	0,8
9	1,55	0,9
10	1,60	0,8
11	1,49	0,9
12	1,45	0,9
13	1,52	0,7
14	1,48	1,00
15	1,60	0,8

V následujících tabulkách číslo 3 a 4 jsou uvedeny výsledky měření rozptylu světla na přístroji C-Quant a zrakové ostrosti na projekčním optotypu.

Tabulky obsahují rozepsané hodnoty měření rozptylu světla, které byly zaznamenány při použití přístroje C-Quant. Jedná se o zaznamenané údaje během experimentu, kdy byl přístroj použit k měření rozptylu světla u dvou různých IOL. Výsledky jsou uvedeny v jednotkách, které odpovídají standardům v této oblasti. A dále zahrnují rozepsané hodnoty měření zrakové ostrosti, které byly zaznamenány při použití projekčního optotypu.

7.4.2 Statistická analýza

V rámci analýzy první hypotézy budou vzájemně porovnány naměřené hodnoty 30 subjektů vázané pouze na rozptyl světla u 15 IOL Acrysof a u 15 IOL Tecnis. Cílem je zjistit, zda existují mezi těmito hodnotami rozdíly a pokud ano, jak jsou statisticky významné. Pro statistickou analýzu bude použito tří parametrů: průměr, směrodatná odchylka a medián.

Nejprve bude pomocí F-testu ověřeno, zda jsou rozptyly metod shodné nebo se liší. Výsledky F-testu, mi dále poskytnou informace k provedení T-testu.

Druhá hypotéza využívá stejný statistický princip jako první hypotéza, s tím rozdílem, že se zaměřuje na porovnání zrakové ostrosti mezi jednotlivými čočkami. Cílem této hypotézy je analyzovat a porovnat rozdíly v zrakové ostrosti mezi čočkami.

Výsledky této analýzy mohou poskytnout důležité informace o rozdílech intraokulárních čoček Acrysof a Tecnis, budou také součástí posouzení, která z těchto IOL by mohla být pro pacienty výhodnější.

U doplňkové statistiky použijí hodnoty rozptylu světla a zrakové ostrosti pro každý jeden typ IOL zvlášť, abych korelační křivkou graficky znázornila vztah mezi rozptylem světla a zrakovou ostroší.

7.4.2.1 Hypotéza 1

Cílem této hypotézy bylo ověřit, zda existuje signifikantní rozdíl v rozptylu světla mezi dvěma typy intraokulárních čoček (IOL) na základě měření pomocí přístroje C-Quant. Pro účely statistické analýzy jsou v tabulce č. 5 průměry, směrodatné odchylky a mediány pro oba typy intraokulárních čoček.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty IOL Tecnis pro průměr, směrodatnou odchylku a medián

Rozptyl světla		
	Tecnis	Acrysof
Průměr (log(s))	1,509	1,544
Smodch	0,037	0,067
Medián	1,500	1,520

Zde jsem porovnávala hodnoty rozptylu světla pomocí dvouvýběrového T-testu. Test byl prováděn na hladině významnosti 5% ($\alpha = 0,05$). Hodnota pravděpodobnosti byla $p = 0,102$, tudíž je $\alpha < p$. Tento výsledek vedl k potvrzení alternativní hypotézy H_01 a k zamítnutí H_1 . Lze učinit závěr, že u obou z vybraných nitroočních čoček nebyl prokázán statisticky signifikantně významně vyšší rozptyl světla.

7.4.2.2 Hypotéza 2

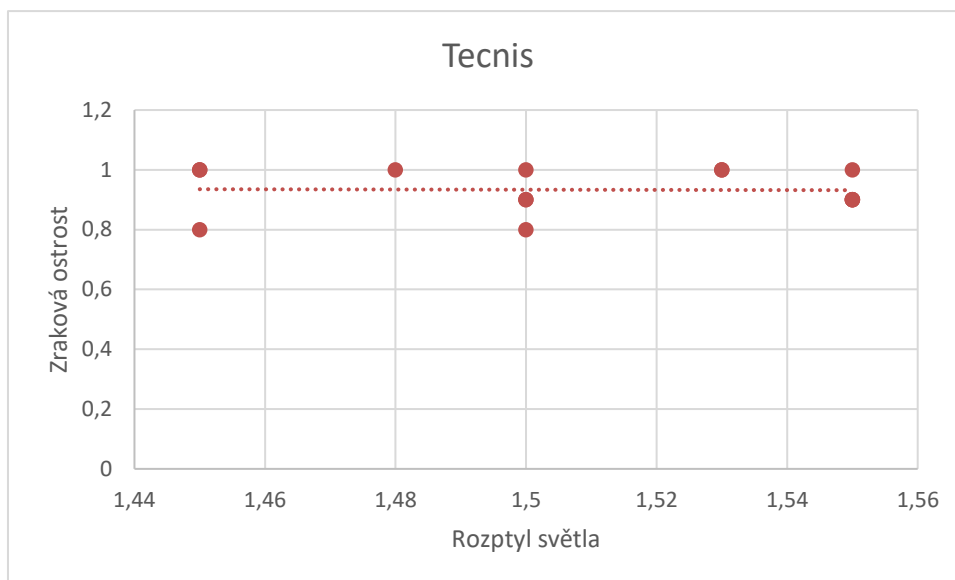
V druhé hypotéze, bylo cílem porovnat zrakovou ostrost u IOL Tecnis a Acrysof. Tabulka č. 6 uvádí také výsledné hodnoty průměru, směrodatné odchylky a mediánu.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty IOL Acrysof pro průměr, směrodatnou odchylku a medián

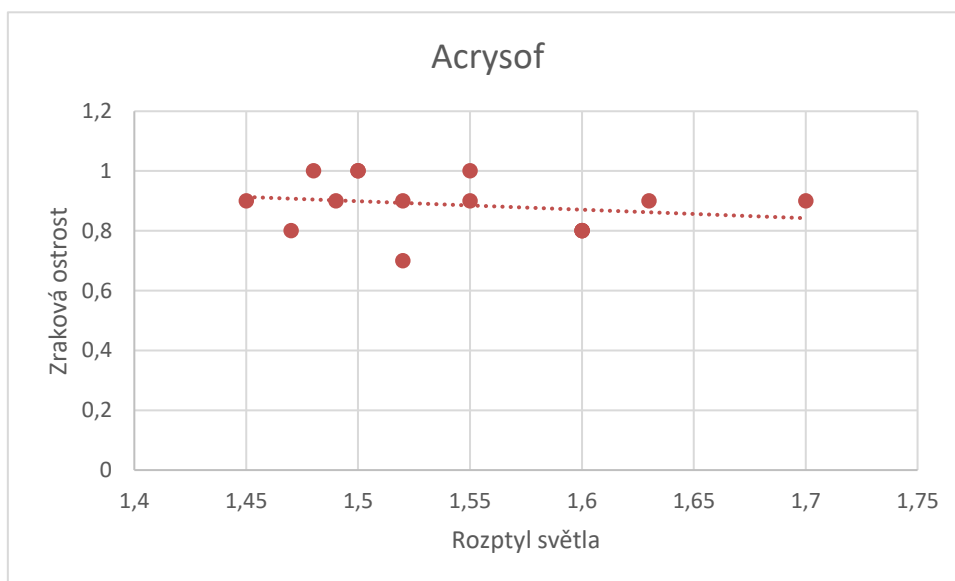
Zraková ostrost		
	Tecnis	Acrysof
Průměr (logMAR)	0,933	0,887
Smodch	0,070	0,088
Medián	0,900	0,900

V této analýze byl proveden dvouvýběrový T-test s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Vypočtená hodnota pravděpodobnosti byla $p = 0,133$. Vzhledem k tomu, že tato hodnota pravděpodobnosti je větší než zvolená hladina významnosti α , můžeme tak přijmout alternativní hypotézu H_2 a zamítnout nulovou hypotézu H_02 . Z tohoto výsledku vyplývá, že mezi dvěma srovnávanými skupinami není statisticky významný rozdíl.

Z tabulek č. 4,5, jsem vytvořila korelační křivky (Graf 1 a Graf 2), závislosti rozptylu světla na zrakové ostrosti u čoček Tecnis a čoček Acrysof. Cílem bylo zjistit, jestli mají tyto dva parametry vzájemnou korelaci.



Graf 1: Korelační křivka závislosti rozptylu světla na zrakové ostrosti u IOL Tecnis



Graf 2: Korelační křivka závislosti rozptylu světla na zrakové ostrosti u IOL Acrysof

V rámci analýzy intraokulárních čoček Tecnis byl proveden graf číslo 1, ve kterém byly porovnány dva výše uvedené parametry. Získaný korelační koeficient pro tyto parametry byl stanoven na hodnotu $r = -0,1873$. Na základě této hodnoty je možné konstatovat, že korelace mezi rozptylem světla a zrakovou ostroší je zanedbatelná.

Tato analýza byla provedena i u intraokulárních čoček Acrysof, jak znázorňuje graf č. 2. Zde byl korelační koeficient stanoven na $r = -0,1969$. I v tomto případě se jedná o negativní vztah mezi proměnnými. To znamená, že existuje slabá inverzní lineární vazba mezi těmito proměnnými.

7.5 Diskuze

Optická kvalita lidského oka je ovlivněna faktory, jako je rozostření, rozptyl světla a optické aberace. Po operaci šedého zákalu může být optická kvalita oka ovlivněna aberacemi a rozptylem světla způsobeným implantovanou nitrooční čočkou. V tomto experimentu jsem hodnotila vliv dvou hydrofobních akrylových materiálů (Acrysof a Tecnis) na fotonickou zrakovou ostrost a kvalitu zraku. K měření dopředného rozptylu světla bylo použito zařízení C-Quant.

Nulovou hypotézou H01, zda intraokulární čočka Tecnis od firmy Johnson & Johnson bude mít statisticky signifikantně menší rozptyl světla než čočka Acrysof od firmy Alcon. Jsem postavila na základě studie „A comparison of mesopic visual acuity and objective visual quality following cataract surgery with hydrophobic acrylic intraocular lenses“. V rámci zmiňované studie byly sledovány dvě skupiny subjektů s implantovanými nitroočními čočkami Tecnis a Acrysof po dobu od 14 měsíců až téměř 10 let. Skupina s čočkami Tecnis měla delší sledování než skupina s čočkami Acrysof. Přesto oči s implantovanými čočkami Tecnis prokázaly dlouhodobě lepší optické vlastnosti. [70]

V rozsahu mé studie jsem zamítla nulovou hypotézu H01 a potvrdila alternativní hypotézu H1, jelikož nebyl prokázán statisticky signifikantně menší rozptyl u čoček Tecnis. Zdá se, že tato skutečnost může být způsobena omezenou dobou trvání samotného experimentu, která neumožnila dostatečně dlouhá období pro projevy faktorů ovlivňujících rozptyl světla v dostatečné míře.

Rozdíly v optické kvalitě nitroočních čoček, lze přičíst i k prokazatelnému glisteningu (zvýšenému lesku) u čoček Acrysof od firmy Alcon, ten byl v porovnání i u jiných hydrofobních akrylových IOL výrazně vyšší. [67,68] Jiná studie ukázala, že povrchový rozptyl světla s Acrysof IOL se nepřetržitě zvyšoval až 15 let po operaci a byl rizikovým faktorem pro snížení zrakové ostrosti. [71]

Také v rámci mé experimentální části je porovnání korelace mezi zrakovou ostroť a intraokulárním rozptylem světla pro každou z vybraných čoček. Cílem experimentu bylo

zjistit, zda existuje statistický významný vztah mezi těmito dvěma proměnnými. Pro porovnání byly využity korelační koeficienty. Výsledky korelační analýzy pro čočku IOL Acrysof ukázal korelační koeficient $r = -0,1873$, zatímco pro čočku IOL Tecnis byl zjištěn koeficient $r = -0,1969$. Obě čočky mají pouze velmi slabou korelaci mezi zrakovou ostroší a intraokulárním rozptylem světla.

Výsledkem mé práce je několik důležitých praktických poznatků, které jsem získala:

- Neexistuje přímý vztah mezi zrakovou ostroší a rozptylem světla.
- Provázanost mezi zrakovou ostroší a rozptylem světla je velmi malá, jelikož se rozptyl světla projevuje až při jeho vyšších hodnotách.
- Pacienta stěžující si na snížení zrakové ostroší při přítomnosti silnějšího zdroje světla (protijedoucí auta), je lepší vyšetřovat nejen na klasickém optotypu, kde jsou černá písmena na bílém pozadí bez oslnění. Je lepší použít i optotypy s oslněním, jelikož takové podmínky nekorespondují s běžnými každodenními situacemi.
- Vzájemný vztah je i mezi kontrastem a rozptylem světla, kdy zvýšený rozptyl světla vede k malému zhoršení kontrastní citlivosti. [3]
- Aberometrie nepřihlíží k vysokým hodnotám rozptylu světla a jejich vlivu na zrakové vnímání. Aberometrem se rozptyl světla neprojeví a tak výsledek nadhodnocuje kvalitu vidění u lidí s vysokým rozptylem světla.

7.6 Závěr experimentální části

Na základě všech výsledků experimentální části, jsem potvrdila alternativní hypotézu H1 a to že intraokulární čočka Tecnis od firmy Johnson & Johnson nebude mít statisticky menší rozptyl světla než čočka Acrysof od Alconu. Ze statistického vypracování vyplývá, že zde nebyla prokázána statisticky významná hodnota, kterou jsem předpokládala u nulové hypotézy H01.

U druhé nulové hypotézy H02, jsem též neprokázala její platnost. Tudíž jsem hypotézu H02 zamítla a potvrdila hypotézu alternativní H2. Tedy že zraková ostrost nebude u čoček Tecnis významně lepší než zraková ostrost u čočky Acrysof.

Dále jsem ověřila vzájemnou korelaci zrakové ostroší a rozptylu světla. V rámci mého experimentu jsem zjistila velmi malé propojení těchto dvou faktorů, u kterých nebyl dosažen statisticky významný výsledek. Je tedy důležité konstatovat, že je vhodné tyto dva aspekty zkoumat samostatně.

8. Závěr

Bakalářská práce se v teoretické části věnuje problematice kvality zrakového obrazu. V rámci této práce jsem se zaměřila na zkoumání možných technik měření, které se v současné praxi používají. Při hodnocení zrakové kvality je obvykle kladen největší důraz na zrakovou ostrost, která je měřena pomocí optotypů. Nicméně je důležité brát v úvahu subjektivní pocity samotného vyšetřovaného jedince, které může popisovat. Tyto faktory mohou mít vliv na celkovou kvalitu vidění. V situacích tohoto typu je vhodné věnovat pozornost také metodám měření kontrastní citlivosti, oslnění, aberací očí a intraokulárnímu rozptylu světla.

Dále se tato práce zabírala rozptylem světla a jeho dopadem na kvalitu obrazu. Byly vybrány a rozepsané patologie, které vedou k jeho zvýšení.

Na závěr teoretické části bylo zjištěno, že hydrofobní materiály vykazují vyšší míru rozptylu světla ve srovnání s hydrofilními materiály. V porovnání mezi multifokálními a monofokálními intraokulárními čočkami, bylo zjištěno, že multifokální IOL vykazuje horší výsledky. To je přičítáno nadměrnému rozptylu světla na přechodových částech čočky.

Tato závěrečná zjištění jsou v souladu s předchozími studiemi, které se zabývali optickými vlastnostmi různých typů materiálů a designů IOL. Přítomnost nadměrného rozptylu světla u IOL může negativně ovlivnit vizuální výkon pacienta a zhoršit jeho schopnost vidět ostré obrazy. Vzhledem k těmto zjištěním je důležité při výběru vhodného typu IOL zohlednit biokompatibilita a manipulace během chirurgického zákroku, ale také optické vlastnosti materiálu a design čočky.

Praktická část bakalářské práce byla zaměřena na porovnání dvou nitroočních čoček (IOL), konkrétně Acrysof (Alcon) a Tecnis (Johnson a Johnson). Pomocí naměřených hodnot jsem nejprve porovnávala rozptyl světla těchto dvou IOL a následně pro každou čočku zvlášť zkoumala korelaci mezi rozptylem světla a zrakovou ostrostí. Bylo zjištěno, že čočka Tecnis nevykazovala signifikantně menší průměr rozptylu ani lepší zrakovou ostrost ve srovnání s čočkou Acrysof, také bylo zjištěno, že vztah mezi zrakovou ostrostí a světelným rozptylem je pro obě IOL malý a tak statisticky nevýznamný.

Seznam použité literatury

- [1] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. Fyziologie oka a vidění. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1
- [2] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. Nauka o zraku. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7
- [3] Berg, T. J. T. P. van den, Franssen, Luuk a Coppens, J.E. Ocular Media Clarity and Straylight. [Online] 2010. [Citace: 15. 01 2023.] <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S003191550200230X>.
- [4] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (2): Zrak a vidění (1. část). Světlo. 2008, 2008(5), 53-55.
- [5] ATCHISON, David A. a George SMITH. Optics of the human eye. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 0-7506-3775-7.
- [6] NOVÁK, Jiří. Intraokulární rozptyl světla: Důležité faktory pro kvalitu vidění. TRENDY V OČNÍ OPTICE 2018. S-Press Publishing, 2018, 2018, 26-30. Dostupné také z: http://www.s-presspublishing.cz/archiv/201802_trendy.pdf
- [7] AUTRATA, Rudolf a Jana ČERNÁ. Nauka o zraku. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [8] Veselý Petr, Beneš Pavel. Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi. místo neznámé : Grada Publishing a.s., 2019, stránky 17-20.
- [9] VENTRUBA, J. Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení. Česká oční optika, [online]. [2008-3-2]. [cit. 2023-08-03] Dostupné na adrese: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2008_01.pdf
- [10] Pluháček, F. Fyziologická optika – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2010.
- [11] Measurement of spatial frequency. In: Ucalgary [online]. [cit. 2023-09-03]. Dostupné z: <http://ucalgary.ca/pip369/mod4/spatial/frequency1>
- [12] CAVALLOTTI, Carlo a CERULLI, Luciano. Age-related changes of the human eye. Totowa, N.J.: Humana Press, c2008. ISBN 978-1-934115-55-8.
- [13] SUDER, M. Aberace oka v optometrické praxi I, II, III, IV. Olomouc, Podpůrné materiály k předmětu Aberace oka v optometrické praxi, 2012. Katedra optiky
- [14] VENTRUBA, Jakub: Aberace vyššího řádu a laserová refrakční operace, Oční optika, 2009, č. 1, str. 50-52
- [15] PEPOSE, J.S., APPLGATE, R.A.: Making Sense Out of Wavefront Sensing, American Journal of Ophthalmology, 139, 2005, 2: s. 335-343

- [16] CARVALHO , L . A . V. ; CASTRO , J. C : Measuring higher order optical aberrations of the human eye: techniques and applications, Brazilian Journal of medical and biological research, 2002, str. 1395-1406 ISSN 1678-4510.
- [17] Otrřisalová, K.: Využití zobrazovacích metod při vyšetření rohovky, Brno, 2012
- [18] Vlková E., Pitrová Š., Vlk F.: Lexikon Očního lékařství. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2008. ISBN 978-80-239- 8906-9.
- [19] FEUERMANNOVÁ, A , KOMENDA , I, ROZSÍVAL, P.: Wavefront analýza - nový směr ve vyšetřování a léčbě refrakčních vad. In Rozsival, P.: Trendy soudobé oftalmologie - svazek 4, Praha, Galén, 2007, s. 39-60.
- [20] HABEL, Jiří a Karel DVOŘÁČEK, 2013. Světlo a osvětlování. 2013. Praha: FCC public. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [21] MONTENEGRO MARTÍNEZ, Gustavo A. Intraocular straylight measurement as a new parameter in visual quality assessment. Universitat Autònoma de Barcelona, 2015, 121 s. ISBN 9788449061532. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10803/382640>. Disertace. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [22] KALVAČH, Zdeněk. Geriatrie a gerontologie. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0548-6.
- [23] SALVI, S. M . Ageing changes in the eye. Postgraduate Medical Journal [online]. 2006, 82(971), 581-587 [cit. 2023-10-04]. DOI: 10.1136/pgmj.2005.040857. ISSN 0032-5473. Dostupné z: <http://pmi.bmi.com/cgi/doi/10.1136/pgmi.2005.040857>
- [24] BROWN, N . The change in lens curvature with age. Experimental Eye Research. 1974, 19(2), 175-183. ISSN 0014-4835.
- [25] Martínez, Gustavo A. Montenegro. Intraocular Straylight Measurement as a New Parameter in Visual Quality Assessment. místo neznámé : Universitat Autònoma de Barcelona, 2015. 8449061539, 9788449061530.
- [26] Berg, Tom van den. Introduction to retinal straylight.
- [27] ASLAM, Tariq M., David HAIDER a Ian J. MURRAY. Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. Acta Ophthalmologica Scandinavica. 2007, 85(4), 354-360. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x. ISSN 13953907. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x>
- [28] C-Quant-Technical data. Oculus [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.oculus.de/en/products/visual-test-equipment/c-quant/technical-data/>
- [29] KUCHYNKA, P. a kol. Oční lékařství. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978- 80-247-1163-8.
- [30] PETROVÁ, S., MAŠKOVÁ, Z., JUREČKA, T. Základy aplikace kontaktních čoček. Brno: NCO NZO, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2
- [31] Keratoconus. The Global Keratoconus Foundation [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <http://kcglobal.org/content/view/14/26/>

- [32] WAHEEDA, Illahi. Keratoconus: Diagnosis, contact lens fitting and management [online]. 2006, , 8 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <http://www.davidthomas.com/assets/Keratoconus-Diagnosis-contact-lens-fitting-andmanagement-Waheeda-Illahi.pdf>
- [33] Keratoconus. The Global Keratoconus Foundation [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <http://kcglobal.org/content/view/14/26/>
- [34] Příčiny keratokonu: 1. část. Česká oční optika [online]. 2012, 53(3), 18-21 [cit. 2023-03-03]. ISSN ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2012_03.pdf
- [35] Kara, S., Gencer, B., Ersan, I., Arikan, S., Kocabiyik, O., Tufan, H. A., & Comez, A. Repeatability of contrast sensitivity testing in patients with age-related macular degeneration, glaucoma, and cataract. . Arq Bras Oftalmol. 2016, stránky 323-327.
- [36] Kolektiv autorů Oční kliniky 1. LF UK a ÚVN v Praze. Glaukom – vybrané kapitoly. vid. 1. Hradec Králové: RNDr. F. Skopec, CSc. – Nukleus HK, 2008, 240 s. ISBN 978-80-87009-35-2
- [37] CSF and age. In: Ucalgary [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <http://ucalgary.ca/pip369/mod4/spatial/contrast>
- [38] Contrast sensitivity testing. In: Contrast sensitivity [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <http://www.contrastsensitivity.net/swg.html>
- [39] ONDRA, D. Vliv kontrastní citlivosti na zrakovou ostrost. Rukopis. Brno, 2003
- [40] KRAUS, Hanuš. Kompendium očního lékařství. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [41] SEBAG, J. Age-Related Differences in the Human Vitreoretinal Interface. Archives of Ophthalmology [online]. 1991,109(7) [cit. 2023-05-04]. DOI: 10.1001/archophth.1991.01080070078039. ISSN 0003-9950. Dostupné z: <http://archophth.amanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/archophth.1991.01080070078039>
- [42] Floaters and the Quality of Life. Sebag, Jerry. 1, 2011, American Journal of Ophthalmology, Sv. 152, stránky 3-4.
- [43] HYCL, J., TRYBUČKOVÁ, L. Atlas oftalmologie. Praha: Triton, 2008.- 239 s.

- [43] JANOUSHKOVÁ, Petra. Kontrastní citlivost - metodika vyšetření, hodnocení získaných dat. Brno, 2015. Masarykova univerzita v Brně, Lékařská fakulta. Vedoucí práce MUDr. Veronika Pandoščáková. Dostupné na adrese: https://is.muni.cz/auth/th/394837/lf_b/Kontrastni_citlivost.pdf
- [44] Vyšetření kontrastní citlivosti [online] [cit. 2023-04-02]. Dostupné na adrese: <https://docplaver.cz/41595018-Vvsetreni-kontrastni-citlivosti-lf-mu-brno-optika-aoptometrie-i.html>
- [45] HAL L LUECK, Amanda. Functional vision, [online], [cit. 2023-02-03]. Dostupné na adrese: <https://books.google.cz/books?id=cCUjPoZW0NMC&printsec=frontcover#v=onepag e&q&f=false>
- [46] Standardized Testing - Contrast Sensitivity, ETDRS and Glare In: CSV 1000 [online], [cit. 2023-26-02]. Dostupné na adrese: <http://www.vectorvision.com/csv1000/>
- [47] CSV-1000HGT. VectorVision [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <http://www.vectorvision.com/csv1000-glare/>
- [48] HD Analyzer. Visiometrics [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: https://www.keelerusa.com/pub/media/productattachments/files/h/d/hd_analyzer_v2.2_rev6_cod2_czech.pdf
- [49] ROZSÍVAL, P. Oční lékařství. Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0
- [50] ÚZP-125_OSP-90-ZEISS_PCO_Intraocular.
- [51] Iijima A., Shimizu K., Yamagishi M. et al.: Assessment of subjective intraocular forward scattering and duality of vision after posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (Hole ICL) implantation. *Acta Ophthalmol*, 94; 2016: e716–e720.
- [52] Franssen L, Coppens JE, van den Berg TJ. Compensation comparison method for assessment of retinal straylight. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006;47(2):768–776.
- [53] Comparison of pseudophakic retinal straylight in spherical/aspherical and hydrophobic/hydrophilic intraocular lens. Tang, Yong, a další. 6, 2015, *International Journal of Ophthalmology*

- [54] Retinal straylight measurements in patients with implanted bioanalogic polyfocal lens. Kateřina Liehneová, Sylvie Ovesná, Eva Adamusová, Martin Hložánek. 2015.
- [55] Mooren, Marrie & Franssen, Luuk & Piers, Patricia. Effects of glistenings in intraocular lenses. *Biomedical optics express*. 4. 1294-304. 10.1364/BOE.4.001294. Effects of glistenings in intraocular lenses. *Biomedical optics express*.
- [56] Werner L. Glistenings and surface light scattering in intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(8):1398–1420
- [57] KOLÍN, Jan. *Oftalmologie praktického lékaře*. Praha: Univerzita Karlova, 1994. ISBN 80-7066-861-X.
- [58] Measurement of stray light and glare: comparison of Nyktotest, Mesotest, stray light meter, and computer implemented stray light meter. Rijn, L J van, a další. 3, 2005, *British Journal of Ophthalmology*, Sv. 89, stránky 345-351.
- [59] JELÍNKOVÁ, Helena. *Lasers for medical applications: diagnostics, therapy, and surgery*. Philadelphia: WP/Woodhead Publishing, 2013. ISBN 978-085-7092-373.
- [60] ALAM, Mohammad. ND: YAG LASER. *The Professional Medical Journal*. 2018, 25(12), 1848-1851. DOI: 10.29309/TPMJ/18.4743. ISSN 2071-7733. Dostupné také z: <http://www.theprofesional.com/index.php/tpmj/article/view/2205>
- [61] 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 978-352-7410-682.
- [62] Artal, Pablo. *Handbook of Visual Optics, Volume Two: Instrumentation and Vision Correction*. místo neznámé : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. stránky 17-37. 148223792X, 9781482237924
- [63] Michael Kaschke, Karl-Heinz Donnerhacke, Michael Stefan Rill. *Optical Devices in Ophthalmology and Optometry: Technology, Design Principles and Clinical Applications*. místo neznámé : John Wiley & Sons, 2013. stránky 127-140. 3527648984, 9783527648986.
- [64] A. Drastich, *Netelevizní zobrazovací systémy*. 1. vyd. Brno: Vydavatelství VUT, 2001. s. 150 - 173, ISBN 80-214-1974-1.

- [65] FLIEGEL, K. Modelování charakteristik obrazových snímačů v Matlabu. Praha: ČVUT. Fakulta elektrotechnická. Katedra radioelektroniky, 2004. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hozman.
- [66] Artal, Pablo. Handbook of Visual Optics, Volume Two: Instrumentation and Vision Correction. místo neznámé : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. stránky 121-129. 148223792X, 9781482237924.
- [67] LeydoltCSchrieflSSstifterEHaszczAMenapaceRPosterior capsule opacification with the iMics1 NY-60 and AcrySof SN60WF 1-piece hydrophobic acrylic intraocular lenses: 3-year results of a randomized trialAm J Ophthalmol20131562375381.e223677137
- [68] BehndigAMönestamEQuantification of glistenings in intraocular lenses using Scheimpflug photographyJ Cataract Refract Surg2009351141719101419
- [69] Artal P, Benito A, Pérez GM, et al. An objective scatter index based on double-pass retinal images of a point source to classify cataracts. PLoS ONE. 2011, Sv. 6
- [70] George HH Beiko, Miso Gostimir & Lila Haj-Ahmad (2017) Srovnání mezopické zrakové ostrosti a objektivní zrakové kvality po operaci katarakty hydrofobními akrylovými nitroočními čočkami, Clinical Ophthalmology, 11:, 641-646, DOI: 10.2147/OPHTH.S131 [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2147/OPHTH.S131607?scroll=top&needAccess=true&role=tab&aria-labelledby=full-article>
- [71] MiyataKHonboMOTaniSNejimaRMinamiKEffect on visual acuity of increased surface light scattering in intraocular lensesJ Cataract Refract Surg201238222122622322162 [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886335011017950>
- [72] OLBRECHT, Jan. Kontrastní citlivost a řízení motorových vozidel [online], [cit. 2019-25-03]. Dostupné na adrese: <http://theses.cz/id/xtqgzr/00178758-986550418.pdf>
- [73] VAN DEN BERG, Thomas J. T. P., 2018. Intraocular light scatter, reflections, fluorescence and absorption: what we see in the slit lamp. Ophthalmic and Physiological Optics. 38(1), 6-25. DOI: 10.1111/opo.12426. ISSN 02755408. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/opo.12426>

- [74] Díaz-Doutón F, Benito A, Pujol J, Arjona M, Güell JL, Artal P. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006, stránky 1710-1716.
- [75] Optické prístroje SK. [online]. Copyright © 2023 [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://optickepristroje.sk/cs/>
- [76] ScienceDirect. ScienceDirect [online]. Copyright © [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/modulation-transfer-function>

Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1: Srovnání snížené zrakové ostrosti a rozptylu světla na vidění [53].....	7
Obrázek 2: LCD optotyp [75].....	8
Obrázek 3: Křivka kontrastní citlivosti [72].....	9
Obrázek 4: Vision Contrast test systém [73].....	10
Obrázek 5: Světelné efekty [19].....	11
Obrázek 6: Schéma Shack-Hartmannova aberometru [17].....	12
Obrázek 7: Graf MTF [76].....	13
Obrázek 8: Porovnání nízkého a vysokého rozptylu světla [74].....	13
Obrázek 9: Oko zdravé/Okno s kataraktou [29].....	17
Obrázek 10: Elschnigovy perly [29].....	18
Obrázek 11: Porovnání hustoty mikrovakuol u konkrétních IOL [55].....	21
Obrázek 12: testovací pole C-Quant [52].....	22
Obrázek 13: Přístroj C-Quant [52].....	23
Obrázek 14: Schéma HD Analyzer [6].....	23
Obrázek 15: Přístroj HD Analyzer [6].....	24
Obrázek 16: Graf genderového rozložení účastníků.....	28
Graf 1: Korelační křivka závislosti rozptylu světla na zrakové ostrosti u IOL Tecnis	31
Graf 2: Korelační křivka závislosti rozptylu světla na zrakové ostrosti u IOL Acrysof	31

Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání rozptýleného světla v různých IOL mezi normální a rozšířenou zornicí [53]	19
Tabulka 2: Porovnání IOL multifokálních oproti monofokálních [54]	20
Tabulka 3: Naměřené hodnoty IOL Tecnis pro průměr, směrodatnou odchylku a meridián...	30
Tabulka 4: Naměřené hodnoty IOL Acrysof pro průměr, směrodatnou odchylku a meridián	30