

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

**DENISA
HEŘMANOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra přírodovědných oborů

**Porovnání metod výpočtu torické nitrooční čočky a zjištění její
pooperační stability**

**Comparison of methods for toric intraocular lens power calculation
and assessment of lens stability after the surgery**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika
Studijní obor: Optika a optometrie

Vedoucí práce: MUDr. Jiří Cendelín, CSc.

Denisa Heřmanová

Kladno 2018

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2017/2018

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

Student: **Denisa Heřmanová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Porovnání metod výpočtu torické nitrooční čočky a zjištění její pooperační stability**
Téma anglicky: Comparison of methods for toric intraocular lens power calculation and assessment of lens stability after the surgery

Zásady pro vypracování:

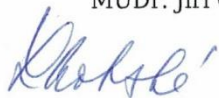
V teoretickém úvodu bude podán přehled různých metod korekce astigmatismu při operaci katarakty, včetně jejich výhod a nevýhod. Důraz bude kladen na korekci pomocí torických čoček, u nichž bude shrnut jejich vývoj a výsledky. V praktické části bude u skupiny pacientů po operaci katarakty porovnána přesnost výpočtu torické nitrooční čočky pomocí různých metod a zhodnocena rotační stabilita čoček porovnáním jejich peroperační a pooperační polohy.

Seznam odborné literatury:

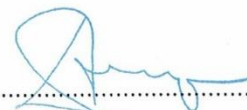
- [1] HENDERSON, B.A., GILLS, J.P, A complete surgical guide for correcting astigmatism: an ophthalmic manifesto, ed. 2nd, Thorofare, NJ: SLACK, 2011, ISBN 978-1556429354
- [2] TITIYAL, J.S., KHATIK, M., SHARMA, N., et al., Toric intraocular lens implantation versus astigmatic keratotomy to correct astigmatism during phacoemulsification. Journal of Cataract & Refractive Surgery, ročník 40, číslo 5, 2014, pp. 741-747
- [3] KESSEL, L., ANDRESEN, J., TENDAL, B., ERNGAARD, D., FLESNER, P., HJORTDAL, J., Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery, Ophthalmology, ročník 123, číslo 2, 2016, pp. 275-286

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: MUDr. Jiří Cendelín, CSc.



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Název bakalářské práce: Porovnání metod výpočtu torické nitrooční čočky a zjištění její pooperační stability

Abstrakt:

Torické IOL představují v současné době běžnou metodu korekce astigmatismu při operaci katarakty. V naší práci jsme se zabývali hodnocením výsledků torických nitroočních čoček T-flex (Rayner). Soubor tvořilo 9 očí 7 pacientů, kterým byly na pracovišti Ofta v Plzni implantovány torické IOL. Cílem studie bylo zjistit, která přístrojová vyšetření a metody výpočtu poskytnou nejlepší údaje pro velikost cylindru a osu implantace torické IOL.

Vektorová analýza poskytla údaje o optimální ose a velikosti cylindru a vzhledem k němu byly porovnávány další výsledky. Průměrná hodnota předoperačního rohovkového astigmatismu byla $-2,64 \pm 0,85$ dpt. A průměrná hodnota pooperačního refrakčního cylindru byla $-0,31 \pm 0,27$ dpt.

IOL T-flex prokázaly dobrou stabilitu. Včasná pooperační rotace dosáhla hodnoty $1,57 \pm 1,01^\circ$. Nejlepší metodu pro výběr osy torické nitrooční čočky byl IOL Master (průměrný rozdíl od ideální polohy byl $4,89 \pm 4,68^\circ$). Pro výpočet velikosti cylindru torické IOL byl nejlepší firemní kalkulátor Raytrace (Rayner) (průměrná odchylka $0,45 \pm 0,31$ dpt). Metody zahrnují zadní plochu rohovky nepřinesly žádné zlepšení výsledků.

Klíčová slova:

Kalkulátory torických IOL, zadní plocha rohovky, stabilita torických IOL, vektorová analýza

Bachelor's Thesis title: Comparison of methods for toric intraocular lens power calculation and assessment of lens stability after the surgery

Abstract:

Toric IOLs are a common method of correcting astigmatism during cataract surgery. The thesis deals with the evaluation of the results of the T-flex toric intraocular lens (Rayner). The set consisted of 9 eyes of 7 patients, who were implanted toric IOL at the Ofta workplace in Pilsen. The aim of the thesis was to find out which instrumental examinations and calculation methods will provide the best data for the size of the cylinder and the axis of the implantation of the toric IOL.

Vector analysis provided data on the optimum axis and cylinder size. Other results were compared to this. The mean value of preoperative corneal astigmatism was -2.64 ± 0.85 dpt and the mean value of the postoperative refractory cylinder was -0.31 ± 0.27 dpt.

IOL T-flex showed good rotation stability (mean rotation was 1.57 ± 1.01 °). The best method for selecting the toric IOL was the IOL Master (4.89 ± 4.68 °). The best calculator used to calculate the size of the toric IOL cylinder was the company calculator Raytrace (Rayner) (mean deviation 0.45 ± 0.31 dpt). Methods including the back surface of the cornea did not bring any improvement in the results.

Key words:

Toric IOL calculators, the back surface of the cornea, stability of toric IOL, vector analysis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své práce MUDr. Jiřímu Cendelínovi, CSc. za jeho vedení a rady. Dále bych chtěla poděkovat celému personálu oční kliniky OFTA v Plzni. V neposlední řadě děkuji své rodině, za jejich podporu.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Porovnání metod výpočtu torické nitrooční čočky a zjištění její pooperační stability 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 18. května 2018

Denisa Heřmanová

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Cíle práce	1
1.1.1 Hypotézy.....	1
2. Astigmatismus	2
3. Korekce astigmatismu	3
3.1 Vstupní incize	3
3.2 Arkuátní astigmatická keratotomie	4
3.3 Limbální rohovkové incize	5
3.4 Excimerová laserová ablace.....	5
3.4.1 PRK	6
3.4.2 LASIK	6
3.5 Piggyback IOL.....	6
3.6 Torické IOL	7
3.6.1 Haptika	7
3.6.2 Torické IOL v současnosti.....	8
3.7 Metody značení usazení IOL v průběhu operace.....	9
3.7.1 Manuální značení.....	9
3.7.2 Navigační systémy.....	10
4. Kalkulátory torických IOL	11
4.1 ASSORT	11
4.2 HOLLADAY IOL CONSULTANT	12
4.3 BARRETT	13
5. Hodnocení refrakčního překvapení	14
5.1 ASSORT	14
5.2 TORIC RESULTS ANALYZER.....	15
5.3 I-TRACE.....	16
6. Použité přístroje.....	17
6.1 Keratometr	17
6.2 IOL Master.....	17
6.3 Pentacam.....	18

6.4	I-Trace.....	19
6.5	Štěrbínová lampa	19
7.	Metody práce	20
7.1	Metodika operace.....	21
7.2	Osa implantované torické IOL.....	22
7.3	Astigmatický rozklad.....	23
7.4	Ukázka výpočtu	24
7.5	Statistické zpracování	25
8.	Výsledky.....	26
9.	Diskuze	33
10.	Závěr.....	36
	Seznam použité literatury	37
	Seznam symbolů a zkratek	42
	Příloha A: Obsah příloženého CD	43

1. Úvod

Katarakta patří mezi hlavní příčiny slepoty v rozvojových zemích. V ekonomicky vyspělých zemích je operace katarakty nejčastějším operačním zákrokem prováděným na očích. První operace katarakty byly provedeny před 4 tisíci lety, kdy byla oční čočka decentrovaná ze zrakové osy a oko se tak po zákroku stalo afakickým. Dnes je již operace prováděná malými nářezy na rohovce. Poté je využívána fakoemulzifikace, kdy je pomocí ultrazvukových vln nejprve rozbito a následně odsáto jádro oční čočky. Při tomto zákroku je zachováno pouzdro oční čočky, do kterého je následně vložena nitrooční čočka (IOL).

V dnešní době již operace katarakty neslouží pouze ke svému primárnímu účelu – odstranění zkalené čočky, ale začíná být i důležitou součástí refrakční chirurgie. Jejímž cílem je pooperační nezávislost pacienta na brýlové korekci či kontaktní čočce.

Čočka a rohovka jsou optická média, z nichž každé má dvě lámavé plochy. Hodnoty oční čočky, ať už její přední či zadní plochy, nejsou pro výpočet nitrooční čočky významné. Oftalmology především zajímají hodnoty rohovky. Většina v současnosti využívaných přístrojů je schopna změřit pouze hodnoty přední plochy rohovky. Práce je věnována především korekci astigmatismu, který se může nacházet jak na přední, tak i zadní ploše rohovky. Zadní plocha rohovky může často ovlivnit celkovou refrakci pacienta. Důsledkem může být pacientovo překorigování či podkorigování.

V práci je nabídnut přehled jednotlivých možností korekce astigmatismu v průběhu operace katarakty, jejich základní charakteristiky, výhody a nevýhody. Popsány jsou i dostupné kalkulátory torických IOL. Metody práce jsou věnovány popisu jednotlivých přístrojů, které byly využity v experimentální části práce.

1.1 Cíle práce

Cílem práce bylo nalezení nejpřesnější metody či přístroje pro určení osy pro implantaci torické IOL. Dále určení nejpřesnějšího kalkulátoru pro určení cylindrické hodnoty torické IOL.

1.1.1 Hypotézy

Byl předpoklad, že u přístrojů a kalkulátorů torických IOL započítávajících přední i zadní plochu rohovky, by měly být naměřené a vypočtené hodnoty přesnější než u přístrojů, které počítají pouze přední plochu rohovky.

2. Astigmatismus

Astigmatismus je refrakční vada vyskytující se asi u 95 % lidí. Jeho korekce za účelem zlepšení visu má význam asi u 10-20 % a je prováděna sférocyklindrickou korekcí. Astigmatismus, který se projeví při refrakci nazýváme celkový. Je složen z rohovkového a čočkového astigmatismu. Při průchodu světla okem, se světlo láme na astigmatické rohovce či čočce a není fokusované na sítnici, kde v důsledku vzniká neostrý obraz. [1]

Astigmatismus můžeme dělit na:

- Pravidelný – strmý a plochý meridián jsou na sebe kolmé
- Nepravidelný – meridiány na sebe nejsou kolmé

- Jednoduchý – jeden hlavní řez je fokusován na sítnici, druhý před nebo za sítnici
- Složený – oba hlavní řezy fokusovány před sítnici, či oba za sítnici
- Smíšený – jeden hlavní řez fokusován před sítnici a druhý za sítnici

- Podle pravidla – strmý meridián 70-110°, nejčastěji rohovkový astigmatismus
- Proti pravidlu - strmý meridián 160-20°, obvykle čočkový astigmatismus
- Šikmý – strmý meridián 20-70° a 110-160° [1]

3. Korekce astigmatismu

Cílem dnešní kataraktové chirurgie je pooperační nezávislost pacienta na brýlích. U pacientů s myopií či hypermetropií je dosažení takového stavu závislé pouze na výběru vhodné sférické velikosti IOL. Podle studií je u 34 % či 32,3 % pacientů přítomen astigmatismus vyšší než 1 až 1,25 dpt a u 10 % dokonce vyšší než 2,0 dpt. [2, 3]

Právě u těchto pacientů představuje korekce astigmatismu v průběhu operace katarakty jedinou možnost na zvýšení zrakové ostrosti, bez použití brýlové korekce. Chirurgické korekce astigmatismu může být dosaženo několika technikami – excimerovou laserovou ablací, limbální relaxační incizí, arkuátní astigmatická keratotomií, úmyslnou změnou velikosti a polohy vstupních řezů při operaci katarakty či implantací torické IOL. V některých případech je zvolena kombinace více technik, pokud předoperační astigmatismus pacienta byl vysoký, pro řešení pouze jednou technikou. [3, 4, 5, 6]

Existuje skupina pacientů, u kterých je naměřen keratometrický astigmatismus, ale při refrakci se neprojeví. Naopak u dalších keratometrický astigmatismus naměřen není, a přesto se při refrakci astigmatismus projeví. [7] Dříve byl kladen důraz na přední plochu rohovky, tyto skupiny pacientů však ukazují význam započtení zadní plochy rohovky do výsledného rohovkového astigmatismu. Díky čemu může dojít k přesnějšímu výpočtu torické IOL. Pokud k přístrojům měřícím zadní plochu nemáme přístup, bylo by vhodné, alespoň započítat průměrnou hodnotu zadní plochy rohovky. Představit si můžeme minusovou čočku, které u pacientů s astigmatismem podle pravidla sníží celkový astigmatismus rohovky asi o 0,5 dpt a u pacientu s astigmatismem podle pravidla naopak zvýší celkový astigmatismus rohovky přibližně o 0,3 dpt. Další nezanedbatelnou veličinou je chirurgem indukovaný astigmatismus, který bude podrobněji popsán v následující kapitole. [3, 5, 7]

3.1 Vstupní incize

Vhodné umístění a velikost řezu může korigovat nízký astigmatismus, bez použití jiného korekčního postupu. [3] Vstupním řezem způsobíme na rohovce chirurgicky indukovaný astigmatismus (SIA).

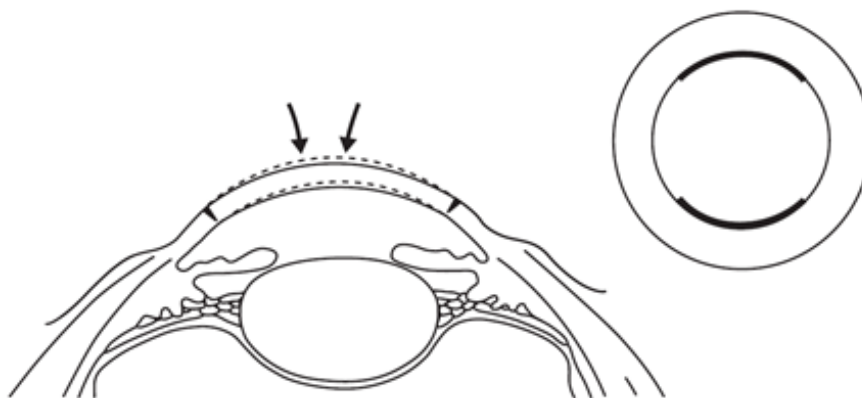
SIA je důležitý parametr, je však nesmírně složité určit jeho hodnotu. Jeho hodnota se liší podle umístění a velikosti vstupních řezů při operaci katarakty. Velikost SIA může ovlivnit přítomnost stehů či věk pacienta. Každý lékař věnující se dnes operacím katarakty, by si měl být vědom velikosti svého SIA. Pro ty, kteří ho neznají existují SIA kalkulačky. Měl by být

brán zřetel i na doporučený nářez pro implantaci u jednotlivých modelů torických IOL. [2, 3, 8]

V průběhu let byla snaha udat průměrnou hodnotu SIA. Kalkulátor AcrySoft do 30. září 2012 měl nastavenou výchozí hodnotu SIA 0,5 dpt. Výzkumy ale ukazují, že hodnota SIA je individuální. Například výzkum Ernesta a Podvina udává SIA $0,25 \pm 0,13$ dpt (pro výzkum bylo využito 38 očí), Hoffmann a kolektiv při výzkumu využívajícího 40 očí, udali SIA $-0,07 \pm 0,42$ dpt. Pro oba zmíněné výzkumy byla použita posteriorní limbální incize o velikosti 2,2 mm. Pro následující dva byla naopak použita limbální incize o velikosti 3,0 mm ve strmém meridianu. Goggin a kolektiv provedl výzkum o 38 očí s naměřeným SIA $0,81 \pm 0,54$ dpt. Výzkum Bauera kolektivu porovnal i SIA při aplikaci T4 IOL $0,61 \pm 0,43$ a T5 IOL $1,24 \pm 0,51$ dpt. [2]

3.2 Arkuátní astigmatická keratotomie

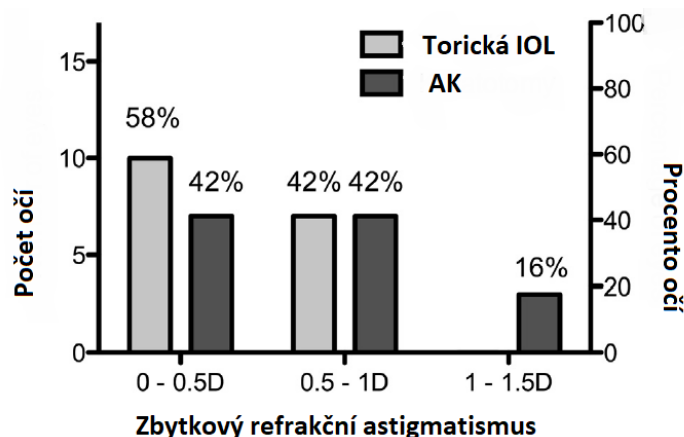
Během arkuátní astigmatické keratotomie (AK) jsou prováděny ve vybrané optické zóně poloměsíčité nářezy rohovky viz obr. 3.1. V závislosti na velikosti astigmatismu pacienta je zvolená výseč, kde bude AK provedena (nejčastěji 45-90°). Mezi možné komplikace patří mikrobiální keratitida, rohovková ektázie či endoftalmitida. [1, 9]



Obr. 3.1: Arkuátní astigmatická keratotomie [1]

Studie porovnávající pooperační astigmatismus a zrakovou ostrost u pacientů, kteří podstoupili AK v rámci operace katarakty a pacientů s implantovanou torickou IOL, byla provedena roku 2014. Studie se účastnilo 34 pacientů ve věku od 45 do 65 let s pravidelným astigmatismem 1,25–3,0 dpt. Aplikovány byly IOL – Acrysof IQ toric, Acrysof IQ a Alcon Surgical – sférické i torické. Zbytkový pooperační astigmatismus pacientů po AK byl $0,77 \pm 1,92$, ax 174, u pacientů s implantovanou torickou IOL $0,44 \pm 1,89$, ax 160. Tato data

byla zpracovaná vektorovou analýzou. Na grafu 3.1. můžete vidět závislost velikosti zbytkového pooperačního astigmatismu na počet očí. V průběhu studie nedošlo k žádným komplikacím u AK, ani u torických IOL. Zadní povrch rohovky nebyl brán v potaz. Studie prokázala, že AK je u hodnot středního astigmatismu srovnatelná s implantací torické IOL. [9]



Graf 3.1: Zbytkový pooperační astigmatismus [9]

3.3 Limbální rohovkové incize

Limbální rohovkové incize (LRI) jsou relativně jednoduchý zákrok, který může být prováděn v rámci operace katarakty. Pro incizní nářezy rohovky je využíváno diamantového nože s přednastavenou, nebo nastavitelnou hloubkou řezu. Tato metoda je považována za hůře předpověditelnou, počítačovými kalkulátory, můžeme alespoň zjistit požadovanou hloubku a umístění řezu, pro co neoptimálnější pooperační refrakci. Do kalkulátorů je nutné zadat věk pacienta, pevnost rohovky, nitrooční tlak a další data. Např. online LRI kalkulátor ASSORT. Nevýhodou je možnost korigovat astigmatismus pouze do 2-2,5 dpt. [4, 8, 10]

3.4 Excimerová laserová ablace

Během zákroku excimerovým laserem jsou odpařeny vrstvy rohovky, za účelem změny jejího zakřivení. Zákroky excimerovým laser dělíme na tyto techniky – Photorefractive keratectomy (PRK), Laser in situ keratomileusis (LASIK), Laser subepithelial keratomileusis (LASEK) a Epithelial laser in situ keratomileusis (Epi LASIK). [4, 8, 11]

Pro naše téma se jedná především o metody LASIK a PRK. Laserové zákroky jsou považovány za jednu z nejpřesnějších metod korekce astigmatismu, z časového hlediska jsou pro pacienta nepraktické. Zákroky excimerovým laser nejsou prováděná v rámci operace katarakty, ale teprve po zhojení rohovky. V tu dobu již je IOL v kapsulárním vaku stabilizovaná a naměřená zbytková refrakce by se již neměla měnit. Tyto zákroky lze kombinovat s LRI i s torickou IOL. [4, 8]

3.4.1 PRK

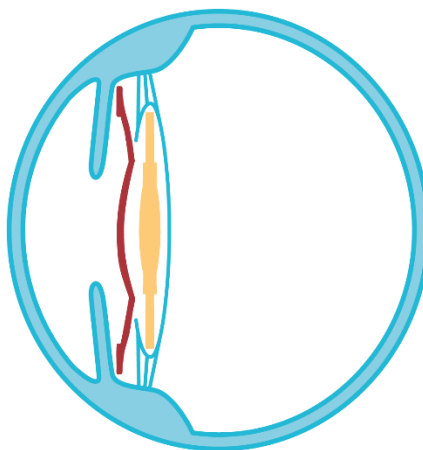
PRK byla poprvé byla provedena v roce 1988 doktorem Marguerite McDonalodem. Před samotnou laserovou ablací je nutné odstranit rohovkový epitel. Abrazie epitelu může být provedena mechanicky nebo chemicky, kdy využíváme účinků alkoholu na rohovkový epitel. [1, 12, 13]

3.4.2 LASIK

V roce 1989 v Řecku byla provedená první laserová operace LASIK doktorem Ioannis Pallikaris. V současnosti se jedná o nejoblíbenější laserový refrakční zákrok. U metody LASIK je před laserovou ablací vytvořena na oku femtosekundovým laserem lamela, která po samotné ablací opět překryje zasažené místo. [1, 12, 13]

3.5 Piggyback IOL

Při refrakčním překvapení po operaci katarakty, je možné do oka implantovat přídatnou piggyback IOL. Piggyback torická IOL může být použita v kombinaci s torickou IOL pro korekci vysokého cylindru, bez zásahu na rohovce, či k vyřešení zbytkové refrakce (sférické i cylindrické) po operaci katarakty. Piggyback IOL se umísťuje buď do samotného kapsulárního vaku či do sulku (viz. obr. 3.2). V případě umístění do vaku se snižuje riziko rotace, neboť dvě IOL zcela zaplní vak. V současné době převládá implantace piggyback IOL do sulku. [4]



Obr. 3.2: Implantace piggyback IOL do sulku [14]

K dispozici jsou piggyback IOL monofokální, multifokální a torické. Zástupci jsou piggyback IOL od firmy Rayner, Add-On od firmy HumanOptics a AddOn od firmy 1stQ. [14, 15, 16]

3.6 Torické IOL

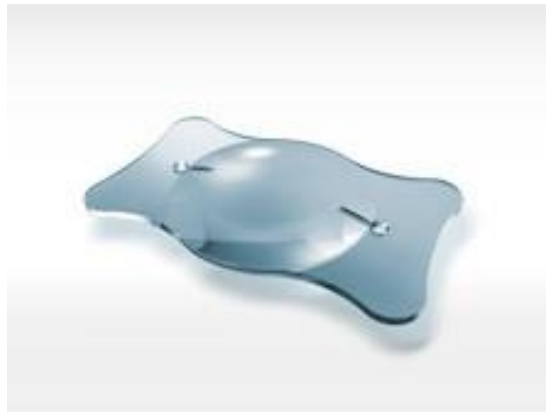
Pro pacienty s pravidelným astigmatismem představují torické IOL jednu s nej přesnějších a nejúčinnějších metod korekce astigmatismu. Implantace torické IOL je jedna z nejdiskutovanějších otázek dnešní kataraktové chirurgie. I malé pootočení IOL ve vaku oční čočky ovlivní zrakovou ostrost pacienta. Za využití moderních přístrojů, nástrojů a technik jsou schopni zkušení oční chirurgové torických IOL snížit pooperační zbytkový astigmatismus na minimum. Zbytkový astigmatismus, může být způsobem i samovolnou rotací torické IOL. Odchylka osy torické IOL o 1° , znamená snížení korekce astigmatismu o 3,3 %. Pokud by tedy došlo k pootočení o 30° torická IOL by měla stejný korekční účinek jako obyčejná sférická. [5, 6, 8]

První torická IOL byla navržena roku 1992 Shimizu a kolektivem. Čočka byla vyrobena z neohebné PMMA a byla složena ze tří částí. Z tohoto důvodu byla pro aplikaci nutná incize 5,7 mm. V současné době má většina IOL ohebný jednokusový design. [3]

3.6.1 Haptika

Ke stabilizaci IOL dochází v momentě spojení zadní a přední plochy vaku. Tato doba je ovlivněná designem a materiálem IOL a velikostí CCC. Základními typy haptiky jsou plate (obr. 3.3) a loop (obr. 3.4). [4]

- **PLATE** – Po implantaci IOL tohoto designu dochází během dvou týdnů k celkovému a symetrickému spojení vaku, z tohoto důvodu je pozdní rotace výrazně nižší než u loop haptiky. Časné rotaci zabráníme výběrem vhodné IOL, která se odvíjí od velikosti vaku pacienta. [4]



Obr. 3.3: AT Torbi [17]

- **LOOP** – Z důvodu designu loop haptiky dochází k fúzi ve směru hodinových ručiček a fúze je asymetrická. Pozdní rotace je tedy u tohoto designu haptiky běžnější. [4]



Obr. 3.4: IQ Toric [18]

3.6.2 Torické IOL v současnosti

V dnešní době můžeme najít i kombinaci torické a multifokální IOL pro zajištění optimálního vidění na různé vzdálenosti. V roce 2013 bylo dostupných 14 modelů torických IOL z nichž 4 byly multifokální. [3]

Alcon má zástupce v obou kategoriích v jednoohniskových torických IOL **Acrysof** a u multifokální **Acrysof IQ Restor toric**. Obě s průměrem 13 mm, s loop haptikou a možnou incizí 2,2 mm. [3]

Další firmou mající zástupce v obou skupinách je Carl Zeiss Meditec – **Acri,Comfort/AT Torbi** a **Acri,Lisa Toric** s průměrem 11,0 mm plate haptikou a možnou velikostí řezu menší, než 2,0mm. [3]

T-flex (jednoohnisková) a **M-flex T** (multifokální) jsou zástupci firmy Rayner mající průměr 12,0/12,5 mm, loop haptiku a možností řezu menšího, než 2,0 mm. [3]

Poslední dvojicí je od firmy Oculentis **Lentis Tplus** a **Lentis Mplus toric**. Pro jednoohniskový model s průměrem 12,0/11,0 mm loop/plate haptikou a u multifokálního modelu s průměrem 11,0 mm plate haptikou. Pro oba modely s incizí 2,6 mm. [3]

Torická **IOL AF-1 toric** od firmy Hoya s průměrem 12,5 mm s loop haptikou a nutnou incizí 2,0 mm. Od HumanOptics **Microsil/Torica** s průměrem 11,6 mm loop haptikou a možnou incizí 3,4 mm. **Morcher 89A** je zástupcem Morcher GmbH má průměr 7,5 mm s incizí 2,5 mm. Staar od Staar Surgical Company s průměrem 10,8/11,2 mm s plate haptikou a možným řezem 2,8 mm. Poslední zástupce je od firmy Abbott Medical Optics **Tecnis toric** s průměrem 13,0 mm, loop haptikou a incizí 2,2 mm. [3]

3.7 Metody značení usazení IOL v průběhu operace

Existuje několik metod vhodných pro označení polohy řezu či osy astigmatismu v případě torické IOL.

3.7.1 Manuální značení

V první části značení je pacientovi v sedě vytvořena značka u šesté hodiny, nebo dvě značky na vodorovné ose, poté operátor zkontroluje centraci značky. Tato metoda byla vylepšena markerem s vodováhou. Pokud je značka přesně uprostřed oftalmolog si může být jist, že osa proložená značkami je vodorovná. A nakonec je označena vybraná osa, toto značení se již provádí v leže na operačním sále. Další možností je označení osy implantace přímo, na štěrbinové lampě [2, 7].

3.7.2 Navigační systémy

VERION

Navigační systém VERION se skládá z několika přístrojů. Pacient je změřen na referenční jednotce, biometrická data jsou zaznamenána a převedena do počítače. Za použití speciálního softwaru je vytvořen operační plán a místa umístění jednotlivých řezů na základě sklerálních cévek, limbu a duhovky. Po vytvoření operačního plánu je na oko umístěna digitální značka. Poté již operátor v operačním mikroskopu vidí nejprve centraci, velikost kapsulorexe a následně osu implantované torické IOL. [19, 20]

ZEISS CALLISTO EYE

Systém Callisto pracuje s daty z IOL Master 500/700. Během zákroku systém spolupracuje s chirurgickým mikroskopem ZEISS OPMI LUMERA. Jednotlivé funkce jsou umístění řezů, velikost kapsulorexe, osa torické IOL a zobrazení zakřivení rohovky při její transplantaci. Při zákroku mohou být pořizovány fotografie či videa. [21]

4. Kalkulátory torických IOL

Existuje množství online kalkulátorů torických IOL. Část z nich je univerzální a umožňuje kalkulaci pro různé typy IOL např. Barrett, ASSORT. Většina firem dodávající torické IOL má vlastní online kalkulátory např. Carl Zeiss Meditec, Abbott Medical Optics, Bausch + Lomb, Oculentis, Rayner Intraocular Lenses, STAAR Surgical. [22]

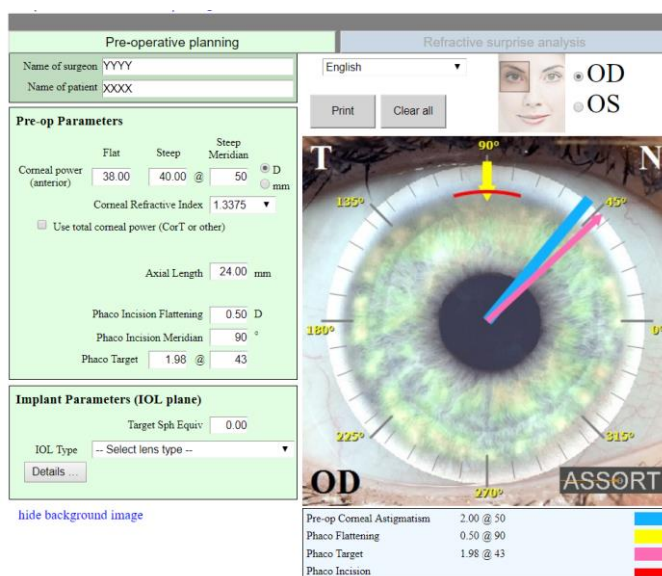
Kalkulátory se liší v zohlednění zadní plochy rohovky (může být počítáno např. pouze s průměrnou hodnotou). Dále v zohlednění předpokládané polohy IOL a SIA.

4.1 ASSORT

Kalkulátor torických IOL ASSORT (obr. 4.1) dělíme na dvě části, na předoperační výpočet IOL a na pooperační vyšetření.

Pro předoperační vyšetření počítá kalkulátor s:

- axiální délkou oka
- keratometrií (dpt, mm)
- celkovým astigmatismem
- keratometrickým indexem
- SIA (dpt, umístění)
- vzorcem pro výpočet



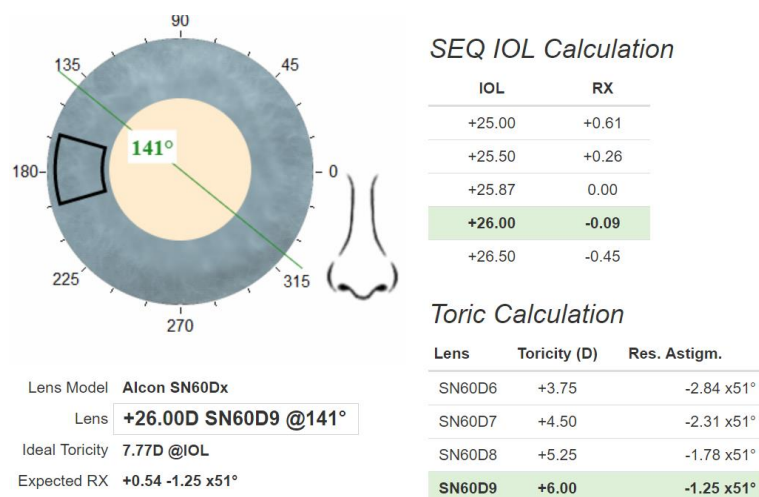
Obr. 4.1: Kalkulátor ASSORT [23]

Vybíráme keratometrický index (1.3315, 1.333, 1.336, 1.3375), ze vzorců SRK/T A constant, Holladay 1 Surgeon Factor, Hoffer Q Pacd a Haigise. Výhodou je možnost zadání celkového astigmatismu rohovky, kde je započítáno působení zadní plochy rohovky. Následně je operatérovi nabídnut seznam čoček k výběru. Po zvolení čočky může být posouváno s její sférickou i cylindrickou hodnotou. [22, 23]

4.2 HOLLADAY IOL CONSULTANT

I kalkulátor Holladay (obr. 4.2) má předoperační a pooperační část. Pro výpočet torické IOL kalkulátor počítá s:

- axiální délkou oka
- hloubkou přední komory
- WtW
- keratometrií
- cílovou refrakcí
- refrakcí před nástupem katarakty
- SIA



Obr. 4.2: Holladay IOL Consultant [24]

SIA může být zadána individuálně, nebo může operatér zvolit standardní 2,5 mm temporální incizi. Za nevýhodou kalkulátoru může být považována skutečnost, že si torickou IOL vybíráme již při zadávání dat. Čočka lze sice po výpočtu ještě měnit, ale nedává to člověku možnost porovnat jednotlivé IOL, jak jsme zvyklí od jiných kalkulátorů. [22, 24]

U pooperačního výpočtu je počítáno s parametry torické IOL, keratometrií a refrakcí pacienta. [22, 24]

4.3 BARRETT

Pro výpočet kalkulátor potřebuje:

- axiální délku oka
- hloubku přední komory
- WtW
- tloušťku čočky
- keratometrická data

Zakřivení zadní plochy rohovky je odvozeno na základě modelu. Barrettův torický kalkulátor je v současnosti využíván i firmou Alcon (obr. 4.3). v jejich případě je však výběr torických IOL omezen na jejich produkty. [22, 25, 26]

The screenshot shows the Barrett IOL calculator interface. It includes input fields for patient and surgeon names, axial length (24 mm), anterior chamber depth (3.5 mm), keratometry data (spherical equivalent 20.0 D, flat meridian 50, steep meridian 140), and IOL parameters (surgical induced astigmatism 0.5 D, index 1.3375, position 90 degrees). A central diagram shows the eye's astigmatism with a 153-degree axis. On the right, a table lists results for different IOL models: Non Toric (2.17 D, 153°), SNGAT4 (0.60 D, 153°), SNGAT5 (0.07 D, 153°), and SNGAT6 (0.45 D, 63°). The SNGAT5 model is selected.

Vyberte	Čočka	Magnituda	Meridián
•	Non Toric	2.17 D	153°
•	SNGAT4	0.60 D	153°
•	✓ SNGAT5	0.07 D	153°
•	SNGAT6	0.45 D	63°

Obr. 4.3: Barrettův kalkulátor – Alcon [25]

5. Hodnocení refrakčního překvapení

Refrakční překvapení u implantace torické IOL může být způsobeno nevhodným umístěním čočky v důsledku např. chybného značení, pooperační rotace. Možnost rotace je považována za jedinou velkou nevýhodu torických IOL. V průběhu let bylo provedeno několik studií porovnávající závislost pooperační rotace a axiální délky oka, průměru kapsulárního vaku, a stažení kapsulárního vaku po implantaci. [4]

Je i možnost, že přístroje užívané pro předoperační vyšetření zvolily špatnou osu implantace a u pacienta zůstává vysoký pooperační cylindr. V takovýchto případech je vhodné uvažovat o pootočení torické IOL. Pro správné zvolení míry pootočení nám můžou pomoci kalkulátory či samotné přístroje. Například již zmíněný kalkulátor ASSORT nebo HOLLADAY IOL consultant. Ke zvolení špatné osy pro implantaci mohlo dojít z důvodu nezapočítání zadní plochy rohovky.

U pacientů s astigmatismem podle pravidla dochází často k překorigování a u pacientů s astigmatismem proti pravidlu naopak k podkorigování. Za příčinu bylo označeno nezapočítání zadní plochy rohovky do celkového rohovkového astigmatismu. [5, 7, 27]

Během let 2009-2013 byla provedena studie porovnávající úspěšnost korekce astigmatismu podle pravidla a astigmatismu proti pravidlu. Z výzkumu byly vyřazeni pacienti se šikmým astigmatismem. Předoperační vyšetření byla provedena na IOL Masteru a keratometru. Pro výpočet byl použit kalkulátor Carl Zeiss Meditec. Během analýzy výsledků byly pacienti rozděleni do dvou skupin. V první skupině, u pacientů mající astigmatismus vyšší než 2,5 dpt, bylo zjištěno, že pro výpočet torické IOL stačí hodnoty přední plochy rohovky. U pacientů s astigmatismem 2,0 dpt či menším (druhá skupina) bylo potvrzeno překorigování pacientů s astigmatismem podle pravidla a podkorigování pacientů s astigmatismem proti pravidlu. [27]

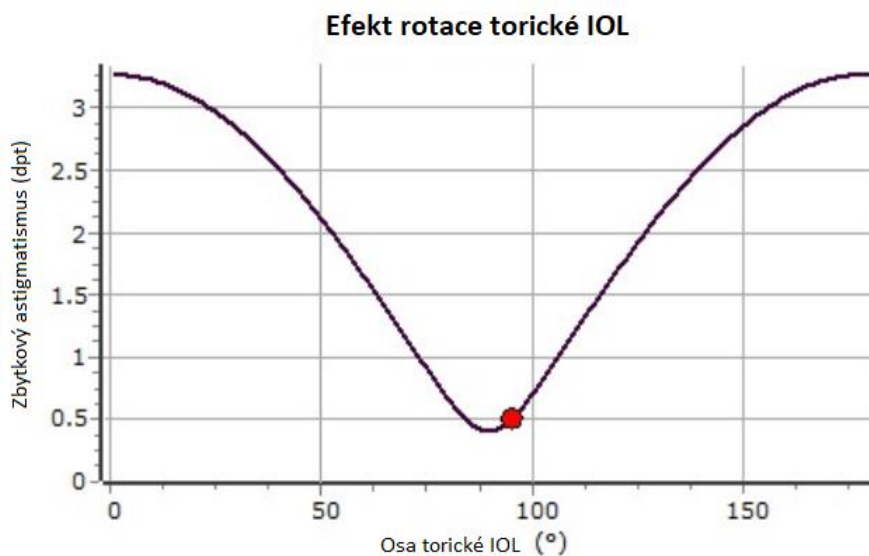
Operatérům je doporučeno zanechat pacientů spíše drobný astigmatismus podle pravidla, neboť stárnutím se rohovkový astigmatismus posouvá proti pravidlu. [7]

5.1 ASSORT

U pooperačního vyšetření slouží k posouzení vhodnosti rotace IOL při refrakčním překvapení. Kalkulátor počítá s:

- axiální délkou oka
- keratometrií
- celkovým astigmatismem rohovky

Poté je vybrána implantovaná čočka a kalkulátor vypočte míru úbytku zbytkové refrakce jejím pootočením (graf 5.1), případně navrhně výměnu IOL či zákrok LASIK. Výsledkem je graf 5.1 znázorňující závislost velikosti zbytkového astigmatismu na ose torické IOL. [22, 23]

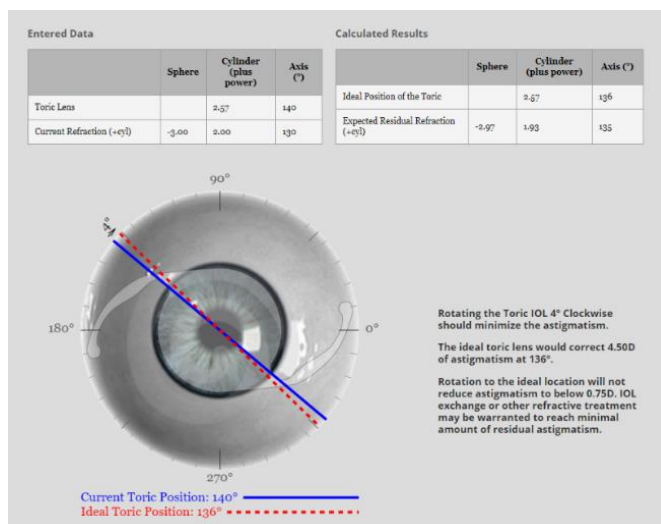


Graf 5.1: Efekt rotace torické IOL [23]

5.2 TORIC RESULTS ANALYZER

Toric results analyzer (obr. 5.1) slouží pro řešení zbytkového astigmatismu po implantaci torické IOL. Jeho úkolem je vypočítat, zda pro korekci stačí pootočení IOL, nebo je nutná její výměna či laserový zákrok. [22, 28]

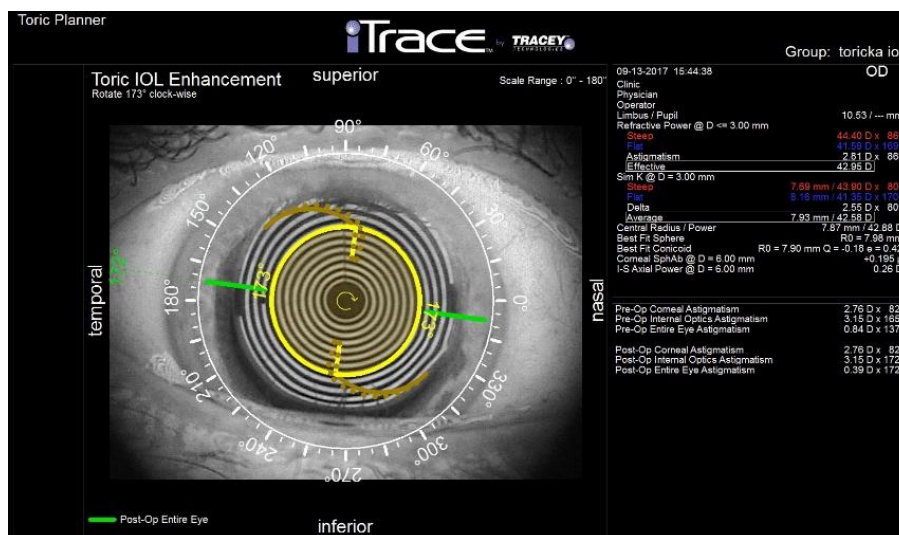
Pro výpočet je nutno zadat název a parametry implantované čočky, zvolená osa a současná osa umístění IOL, pokud došlo k jejímu pootočení. Je zadána i refrakce pacienta, předoperační a pooperační keratometrie s metodou jejího měření, axiální délka oka, hloubka pření komory, visus naturalis, visus s korekcí a doba, která uplynula od operace. Dále je operátor dotazován, zda počítal se SIA, se zadní plochou rohovky, který kalkulátor byl použit pro výpočet torické IOL, nebo zda byl při operaci využit navigační systém či femtosekundový laser. Zadává se, zda pacient podstoupil nějaké předchozí zákroky na rohovce např. LASIK, PRK, keratotomii či keratoplastiku. [22, 28]



Obr. 5.1: Toric results analyzer [28]

5.3 I-TRACE

Na základě výsledků z rohovkové topografie a aberometrie, dokáže přístroj posoudit optimální úhel pro co nejnižší pooperační astigmatismus. Následně posoudí, zda postačí čočku pootočit a vypočte zbytkový astigmatismus (obr 5.2). [29, 30]



Obr 5.2: Doporučená rotace torické IOL

6. Použité přístroje

Pro experimentální část práce bylo využito dat z přístrojů využívající různé fyzikální principy. Hodnoty byly následně porovnány. Míra přesnosti jednotlivých přístrojů byla zjištěna na základě hodnot pooperačního vyšetření. Pooperační vyšetření bylo prováděno na stejných přístrojích jako předoperační, následně byla pacientovy provedena subjektivní refrakce.

6.1 Keratometr

Keratometr měří v centrální části rohovky její zakřivení. Povrch rohovky je považován za vypuklé zrcadlo, na jehož povrch jsou promítány testovací značky v dané vzdálenosti od sebe, zakřivení je odvozeno jejich promítnutí na rohovku. [31, 32]

Často bývá v kombinaci s autorefraktometrem. V našem případě se jedná o autorefraktokeratometr Topcon KR-1 (obr. 6.1).



Obr. 6.1: Topcon KR-1 [32]

6.2 IOL Master

IOL Master je optická biometrie založena na parciální koherentní interferometrii. Pro měření bylo využito IOL Master 700 (Obr. 6.2). Přístroj je schopen bezchybně změřit 99 % pacientů s kataraktou. Dále obsahuje kontrolu fixace. Vyšetření obou očí trvá méně než 45 vteřin, neboť přístroj provádí 2 000 snímků za sekundu. V nové verzi přístroje jsou zabudovány vzorce

Barrett Universal II, Barrett Tru-K a Barrett Toric, které počítají s vlivem zadní plochy rohovky, další vzorce jsou např. Haigis, Haigis-L, Haigis-T, Hoffer Q, Holladay 1 & 2, SRK/T. [33]



Obr. 6.2: IOL Master 700 [33]

6.3 Pentacam

V případě přístroje Pentacam (Obr. 6.3) se jedná o rotující Scheimpflugovu kameru, která analyzuje přední segment oka. Je vytvořena 3D mapa předního segmentu a zaznamenány topografická data přední a zadní plochy rohovky. Je provedena i pachymetrie, respektive je naměřen komorový úhel, objem přední komory a výška komory. [29, 34]



Obr. 6.3: Pentacam [35]

True net power (TNP) je optická mohutnost rohovky při zohlednění přední i zadní plochy rohovky. Byla využita data naměřená v zóně 3 mm a centrovaná na apex. [34]

6.4 I-Trace

Přístroj i-Trace (obr. 6.4) v sobě spojuje 5 přístrojů – autokeratometr, rohovkový topograf, autorefraktometr, pupilometr a aberometr. Vyšetření se skládá se dvou částí. Během první je na oko promítáno 256 tenkých paprsků IR záření, které dopadá na sítnici. Přístroj analyzuje vlnoplochy a vypočítá aberace vyšších řádů a objektivní refrakci pacienta, dále určí, zda se nachází na rohovce či čočce. Druhá část měření zahrnuje projekci placidových kruhů na oko v rámci rohovkové topografie. Sám přístroj i-Trace v sobě zahrnuje kalkulátor torických čoček a překryvem jednotlivých obrazů může pomoci k určení co nejpřesnější osy implantované torické IOL, dále je používán při pooperační kontrole pro zhodnocení nutnosti rotace. [29, 30]



Obr. 6.4: i-Trace [30]

6.5 Štěrbínová lampa

Štěrbínová lampa je základním přístrojem oftalmologa. Slouží ke zhodnocení předního a zadního (v případě použití přídatné čočky) segmentu oka.

Jedná se o dvě soustavy zvětšovací a osvětlovací. Úhel, který tyto soustavy navzájem svírají, můžeme měnit pro různé techniky osvětlení. Osvětlovací soustava používá halogenové zářivky či LED diody a může se jednat o dolní (Zeiss) či horní (Haag-Streit) osvětlení. Zvětšení štěrbinové lampy se pohybuje od 10-50x. Je možné ovlivňovat šířku paprsku a měnit pomocí filtrů barvu světla. [31, 36]

7. Metody práce

Do studie bylo zařazeno 9 očí u 7 pacientů. Ve všech případech se jednalo o ženy. Velikost rohovkového astigmatismu měřená autokeratorefraktometrem dosahovala průměrné hodnoty $-2,64 \pm 0,85$ dpt. Mezi základní kritéria výběru patřilo, že pacienti netrpěli žádnou další oční chorobou, kromě katarakty a že u nich byla dostupná všechna potřebná vyšetření.

Všem pacientům byly implantovány torické nitrooční čočky Rayner T-flex 623T (obr 7.1), s průměrem optické části 6,25 mm. Jedná se o jednodusovou hydrofilní akrylovou IOL. Standardně se vyrábí v rozsahu sféry +6,0 do +30,0 dpt (v 0,5 dpt rozestupech) a v rozsahu cylindru +1,0 do +6,0 dpt (v 0,5 dpt rozestupech). [37]



Obr. 7.1: Rayner T-flex [37]

Z předoperačního vyšetření pacienta byly do tabulky vypsány následující hodnoty:

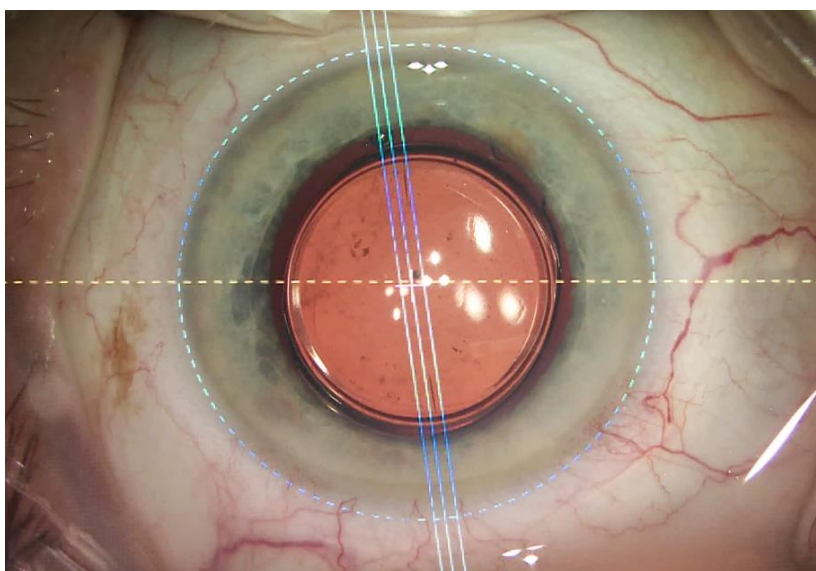
- keratometrie z autorefraktokeratometru
- keratometrie z IOL Master
- keratometrie z Pentacamu
- true net power (TNP) z Pentacamu, v jejímž případě je počítáno i s působením zadní plochy rohovky
- keratometrie z i-Trace

7.1 Metodika operace

Hodnota nitroočních čoček byla vybrána pomocí online firemního kalkulátoru RayTrace (Rayner) a korigována pro zadní plochu rohovky podle hodnoty TNP získané z Pentacamu v zóně 3 mm.

Při operaci byl použit navigační systém Callisto od firmy Zeiss (obr 7.2). Pomocí navigačního systému byly provedeny incize v rozsahu $\pm 45^\circ$ od osy implantace. Obě korneolimbální incize byly provedeny stejným nožem. Hlavní incize měla šířku 2,5 mm, pomocná incize šířku přibližně 1,5 mm.

Nitrooční čočka byla umístěna do osy navržené přístrojem IOL Master (Zeiss).



Obr. 7.2: Znárodnění osy implantace systémem Callisto

Šest až osm týdnů po operaci proběhla následující vyšetření pro účely studie:

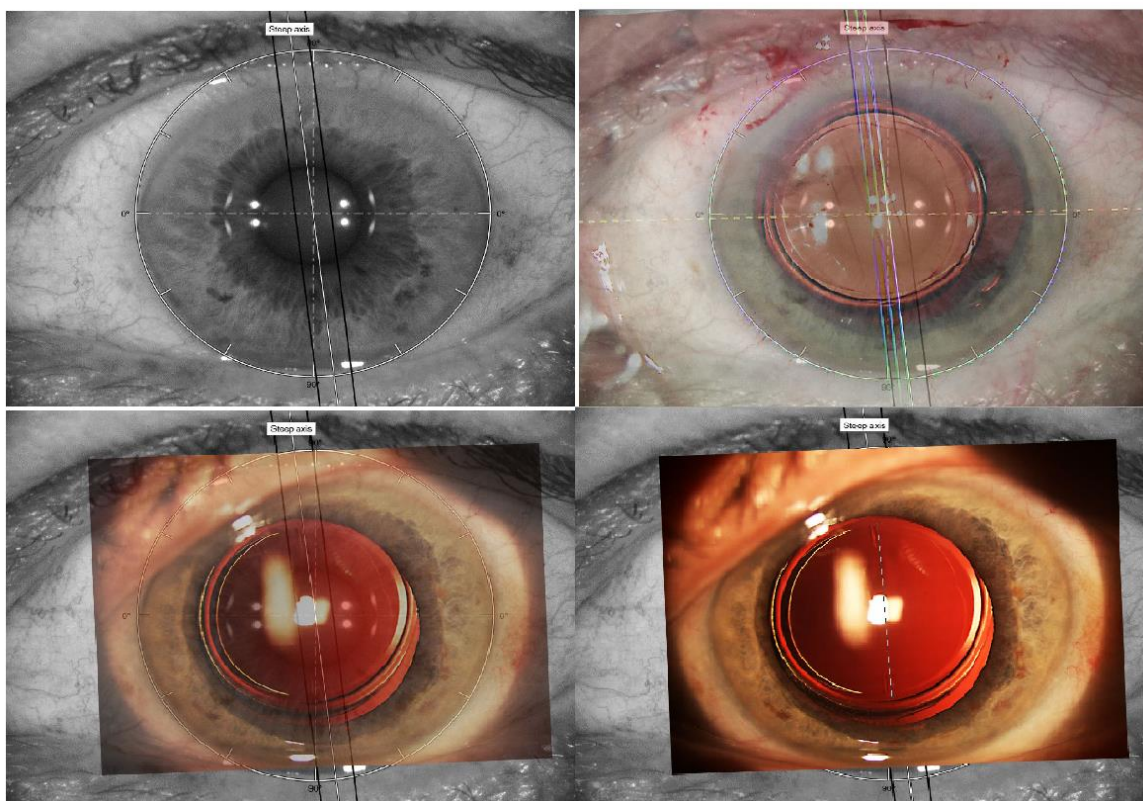
- keratometrie z autorefraktokeratometru
- refrakce z autorefraktokeratometru
- keratometrie z IOL Master
- hloubka přední komory z IOL Master
- keratometrie z Pentacamu
- TNP z Pentacamu
- hloubka přední komory z Pentacamu
- keratometrie z i-Traca

- refractive power z i-Trace
- refrakce z i-Trace
- návrh rotace z i-Trace
- návrh rotace z ASSORT

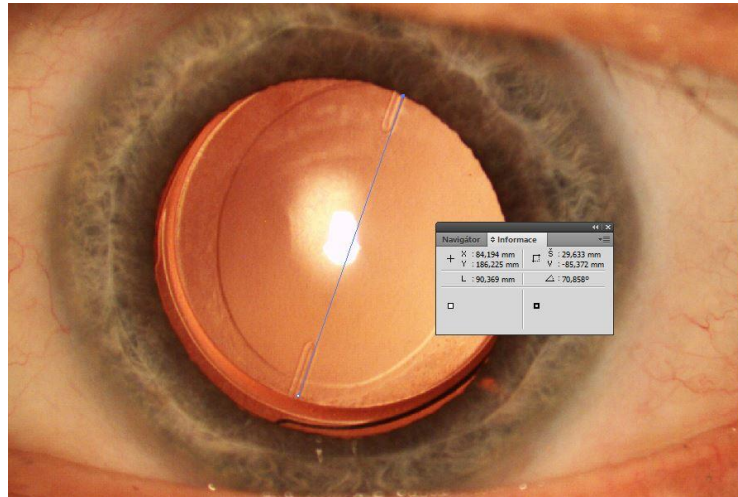
7.2 Osa implantované torické IOL

V programu Photoshop Adobe Creative Suite 5.5 byl na pozadí umístěn sklerální obraz získaný z IOL Masteru. Do další vrstvy byl umístěn, a vzhledem k cévní kresbě a duhovkovým anomáliím zarovnan, obraz usazené torické nitrooční čočky na konci operace. Zarovnáním bylo umožněno díky změnám průhlednosti jednotlivých vrstev. Měřítkem byl zjištěn úhel, který svírají značky torické IOL s horizontálou. Do další vrstvy byl umístěn a obdobně zarovnan obraz získaný z fotografické štěrbinové lampy a opět pomocí měřítka zjištěn úhel značek

(obr. 7.3,7.4).



Obr. 7.3: Postup určení osy implantované torické IOL



Obr 7.4: Hodnota osy implantované torické IOL

7.3 Astigmatický rozklad

Pro výpočty s cylindrickými parametry byla využita Thibosova metoda rozkladu sférocylického zápisu refrakční chyby na tři složky – M , J_0 , J_{45} .

$$M = S + \frac{C}{2}$$

M značí sférický ekvivalent, S sférickou a C cylindrickou hodnotu.

$$J_0 = \left(-\frac{C}{2}\right) \cos 2\beta$$

β je neúčinná osa daného cylindru.

$$J_{45} = \left(-\frac{C}{2}\right) \sin 2\beta$$

Pro zpětnou transpozici na sférocylický zápis, byly využity následující vzorce:

$$S = M - \frac{C}{2}$$

$$C = -2\sqrt{J_0^2 + J_{45}^2} \quad [38]$$

Pro zpětný přepočítání hodnoty osy cylindru existuje více variant jednoho vzorce, závisí na hodnotách J_0 a J_{45} .

$J_0 > 0$:

$$\beta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{J_{45}}{J_0}$$

$J_0 < 0 \wedge J_{45} \geq 0$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \frac{J_{45}}{J_0} + 180 \right)$$

$J_0 < 0 \wedge J_{45} < 0$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \frac{J_{45}}{J_0} - 180 \right)$$

$J_0 = 0 \wedge J_{45} > 0$

$$\beta = 45^\circ$$

$J_0 = 0 \wedge J_{45} < 0$

$$\beta = 135^\circ$$

[38]

Byl sečten zbytkový pooperační astigmatismus pacienta naměřený autokeratorefraktometrem a hodnota implantované torické IOL v současné ose. Tímto způsobem byla zjištěna ideální osa, do které by torická IOL měla být pootočena, pro co nejnižší pooperační astigmatismus. Výsledky byly zaokrouhleny na celé stupně. Dále byla zjištěna celková velikost cylindru, který měl být torickou IOL korigován.

$$\text{celkový astigmatismus} - \text{torická IOL} = \text{zbytkový pooperační astigmatismus}$$

↓

$$\text{celkový astigmatismus} = \text{torická IOL} + \text{zbytkový pooperační astigmatismus}$$

7.4 Ukázka výpočtu

Aby bylo možné sečíst hodnoty naměřené autokeratorefraktometrem a parametry torické IOL, byla nejprve hodnota torické IOL přepočtena na adekvátní hodnotu ve VD = 12 mm.

Přepočet byl proveden na základě koeficientu, že chybné určení hodnoty IOL o 1,0 dpt vyvolá zbytkovou refrakci 0,7 dpt. [39]

Parametry torické IOL:

cyl. +1,4

ax.95,2

Zbytková refrakce:

cyl. – 0,5

ax.164

$$J_0 = 0,6885$$

$$J_{45} = 0,1264$$

$$J_0 = 0,2120$$

$$J_{45} = -0,1325$$

$$J_0 = 0,9005$$

$$J_{45} = -0,0061$$

 cyl. -1,80 dpt

ax. 180°

Byla zhodnocena velikost pooperační rotace torické IOL na základě porovnání osy implantace se současnou polohou torické IOL.

Vypočtená ideální osa byla porovnána s doporučenou rotací z přístroje iTrace a online pooperačního kalkulátoru ASSORT.

Následně byla naměřená ideální osa srovnána s předoperačními keratometriemi z keratometru, IOL Master, TNP z Pentacamu a Phaco Optics. V případě pooperačních keratometrií byla porovnána s keratometrem, IOL Master a TNP.

Vypočtená hodnota cylindru, který měl být v oku korigován, byla přepočtena zpět na hodnoty IOL a následně byla porovnána s doporučenou velikostí cylindru ze tří kalkulátorů – Barrett, RayTrace a PhacoOptics.

Na základě předoperačních a pooperačních keratometrií z keratometru a IOL Master byl vypočten SIA.

7.5 Statistické zpracování

U vypočtených a zapsaných dat byl vypočten průměr a směrodatná odchylka.

8. Výsledky

Průměrná hodnota předoperačního cylindru byla $-2,64 \pm 0,85$ dpt. Pooperační cylindr byl průměrně $-0,31 \pm 0,27$ dpt. Průměrně byl tedy astigmatismus snížen o 2,33 dpt.

V tabulce 8.1 můžete vidět naměřené hodnoty zbytkového astigmatismu a v tabulce 8.2 parametry torické IOL se současnou osou.

Tabulka 8.1: Naměřené hodnoty zbytkového astigmatismu

	cyl. (dpt)	ax (°)
1	-0,5	164
2	-0,5	131
3	0	0
4	0	0
5	-0,25	83
6	-0,5	159
7	0	0
8	-0,75	115
9	-0,25	127

Tabulka 8.2: Parametry torické IOL se současnou osou

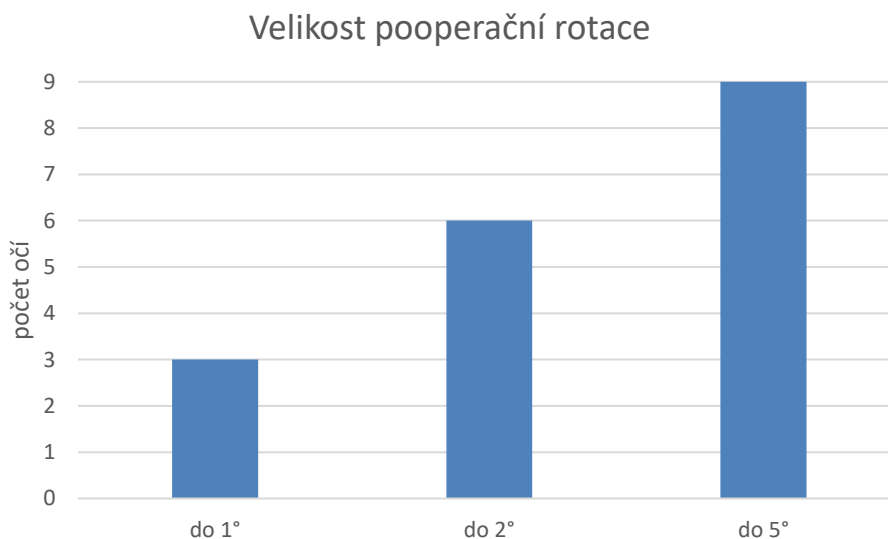
	sf. (dpt)	cyl. (dpt)	ax (°)
1	16,5	2	95,2
2	6	1,5	72,7
3	21	3,5	73,7
4	20,5	3,5	94,6
5	18	5,5	117
6	17,5	3,5	120,5
7	16,5	3,5	69,8
8	13	2,5	57,8
9	20	4	101,3

Tabulka 8.3 ukazuje osu implantace a osu, ve které se torická IOL v současné době nachází.

Tabulka 8.3: Osa implantace a současná osa

	ax původní (°)	ax současná (°)
1	95,5	95,2
2	72	72,7
3	77,2	73,7
4	96	94,6
5	116,5	117
6	118,4	120,5
7	71,2	69,8
8	55,8	57,8
9	103,5	101,3

Graf 8.1 ukazuje rozdělení počtu očí do skupin podle velikosti rotace. Průměrná pooperační rotace činila $1,57 \pm 1,01^\circ$.

**Graf 8.1:** Velikost pooperační rotace

Vypočtené hodnoty osy a celkového cylindru dle Thibosovy metody (tabulka 8.4). Hodnota cylindru je přepočtena na hodnotu torické IOL.

Tabulka 8.4: Vypočtený celkový cylindr a ideální osa

	cyl. (dpt)	ax (°)
1	2,57	180
2	2,00	152
3	3,50	164
4	3,50	5
5	5,39	29
6	3,41	25
7	3,50	160
8	3,10	139
9	4,00	11

V tabulce 8.5 můžete vidět odchylku od této ideální osy v případě online pooperačního kalkulátoru ASSORT a přístroje iTrace.

Tabulka 8.5: Odchylky od ideální osy

	ASSORT (°)	iTrace (°)
1	1	6
2	1	6
3	0	8
4	0	3
5	0	1
6	1	6
7	0	1
8	0	15
9	2	1

Průměrná hodnota odchylky osy pro kalkulátor ASSORT byla $0,56 \pm 0,73^\circ$ Pro přístroj iTrace byla průměrná hodnota odchyl osy $5,22 \pm 4,52^\circ$.

V tabulce 8.6 jsou zapsány předoperační osy mínusového cylindru pro jednotlivé přístroje.

Tabulka 8.6: Osy mínusového cylindru z předoperačních keratometrií

	ideální osa (°)	keratometr (°)	IOL Master (°)	TNP (°)	PhacoOptics (°)
1	180	4	8	4,2	185
2	152	164	167	161,2	164
3	164	162	167	169,3	170
4	5	5	7	3,8	5
5	29	20	27	27,9	27
6	25	18	29	26,3	27
7	160	153	160	159,9	177
8	139	138	147	157,2	156
9	11	4	13	14,7	14

Při porovnání ideální vypočtené osy s předoperačními keratometriemi byla průměrná odchylka pro autokeratorefraktometr $5,44 \pm 3,97^\circ$, pro IOL Master $4,89 \pm 4,68^\circ$, pro TNP $4,92 \pm 5,72^\circ$ a pro Phaco Optics $7,11 \pm 6,57^\circ$.

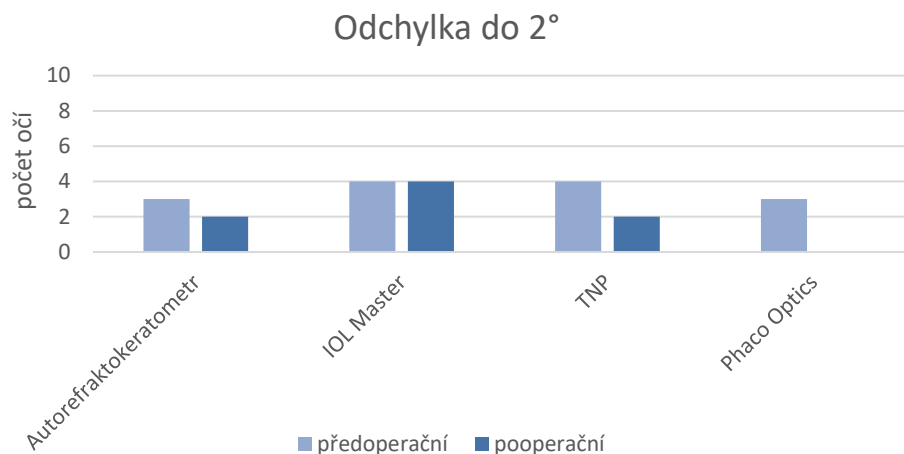
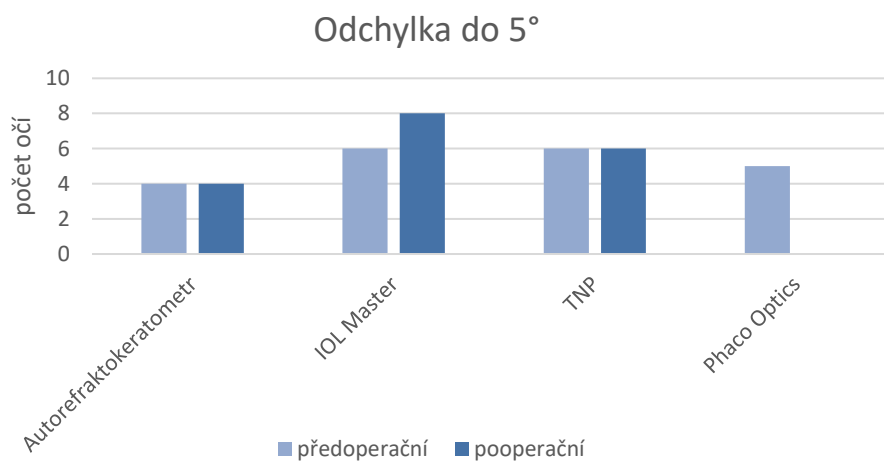
V tabulce 8.7 jsou zapsány pooperační osy mínusového cylindru pro jednotlivé přístroje.

Tabulka 8.7: Osy mínusového cylindru z pooperačních keratometrií

	ideální osa (°)	keratometr (°)	IOL Master (°)	TNP (°)
1	180	172	6	178,5
2	152	151	157	139,8
3	164	161	166	166,8
4	5	6	7	2,5
5	29	21	24	26,7
6	25	19	20	18,7
7	160	151	159	155,1
8	139	144	143	148,4
9	11	3	9	12,9

Při porovnání vypočtené osy s pooperačními keratometriemi byla průměrná odchylka pro autokeratorefraktometr $5,44 \pm 3,13^\circ$, pro IOL Master $3,56 \pm 1,81^\circ$ a pro TNP $4,87 \pm 3,76^\circ$.

Následující grafy udávají pro jednotlivé přístroje počet očí do odchylky 2° (graf 8.2), 5° (graf 8.3) a 10° (graf 8.4) od vypočtené ideální osy torické IOL. Znázorněny jsou předoperační i pooperační měření.

**Graf 8.2:** Počet očí do odchyly 2°**Graf 8.3:** Počet očí do odchyly 5°**Graf 8.4:** Počet očí do odchyly 10°

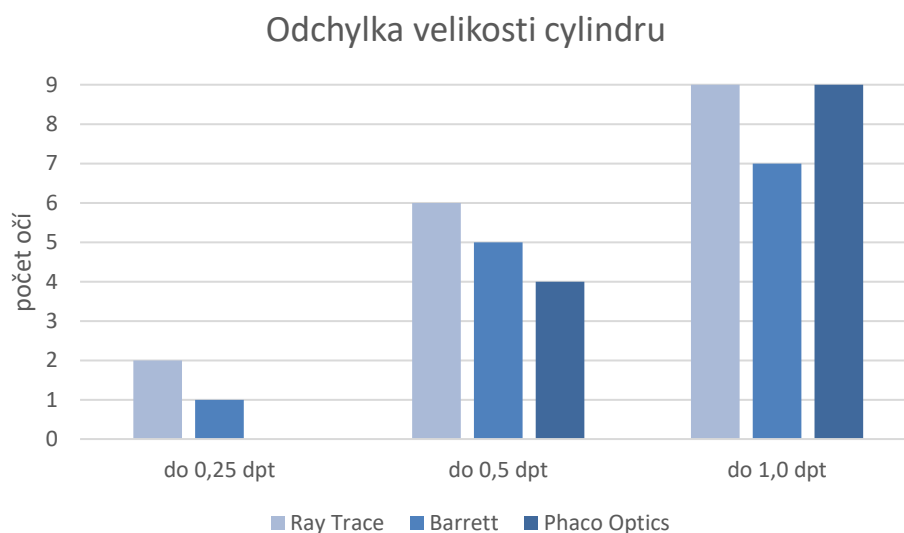
V tabulce 8.8 můžete vidět doporučené hodnoty cylindru torické IOL pro kalkulátory Barrett, RayTrace a PhacoOptics.

Tabulka 8.8: Doporučená cylindrická hodnota torické IOL

	vypočtená (dpt)	RayTrace (dpt)	Barrett (dpt)	PhacoOptics (dpt)
1	2,57	3	1,5	2
2	2,00	2,5	1,5	1,5
3	3,50	4,5	3	4
4	3,50	3,5	3	4
5	5,39	6	6	6
6	3,41	3	2,25	4
7	3,50	3,5	3	4
8	3,10	2,5	2,25	2,5
9	4,00	4,5	3,75	5

Při porovnání vypočtené ideální hodnoty torické IOL byla průměrná odchylka cylindru pro kalkulátor RayTrace $0,45 \pm 0,31$ dpt, pro kalkulátor Barrett $0,66 \pm 0,30$ dpt a pro kalkulátor Phaco Optics $0,60 \pm 0,16$ dpt.

Na grafu 8.5 můžete vidět rozdělení počtu očí dle velikosti odchylky cylindru.



Graf 8.5: Odchylka velikosti cylindru pro jednotlivé kalkulátory

V tabulce 8.9 je zapsán předoperační a pooperační rohovkový astigmatismus, naměřený autorefraktometrem a IOL Master.

Tabulka 8.9: Předoperační a pooperační keratometrie

	Autokeratorefraktometr				IOL Master			
	předoperační		pooperační		předoperančí		pooperačné	
	cyl (dpt)	ax (°)	cyl (dpt)	ax (°)	cyl (dpt)	ax (°)	cyl (dpt)	ax (°)
1	-1,75	4	-1,75	172	-2,06	8	-1,94	6
2	-1,5	164	-1,25	151	-1,5	167	-1,06	157
3	-3	162	-2,75	161	-3,33	167	-3,49	166
4	-3	5	-2,5	6	-2,9	7	-2,88	7
5	-4,25	20	-4,75	21	-4,96	27	-5,23	24
6	-2,5	18	-2,25	19	-2,15	29	-2,7	20
7	-2,5	153	-2,5	151	-2,57	160	-2,76	159
8	-2	138	-2,25	144	-1,88	147	-2,62	143
9	-3,25	4	-3,25	3	-3,71	13	-3,59	9

Průměrná hodnota SIA vypočtená z předoperačních a pooperačních hodnot z autokeratorefraktometru byla $-0,42 \pm 0,22$ dpt, v případě hodnot z IOL Master činila průměrná hodnota SIA $-0,45 \pm 0,31$ dpt.

9. Diskuze

U našeho souboru byl průměrný předoperační astigmatismus, zjištěný keratometrií, $-2,64 \pm 0,85$ dpt. Po operaci bylo dosaženo zbytkového astigmatismu v refrakci $-0,31 \pm 0,27$ dpt. Žádná z pacientek nepotřebuje po operaci cylindrickou složku korekce na dálku, ani do blízka. Z toho můžeme usuzovat, že korekce torickou IOL je účinnou metodou korekce astigmatismu.

Neočekávaná zbytková cylindrická složka refrakce může být způsobena umístěním torické IOL do nesprávné osy, chybným měřením parametrů, chybným výpočtem (např. nezahrnujícím zadní plochu rohovky), změnou rohovkového astigmatismu, vyvolanou operačním zákrokem a následnou rotací nitrooční čočky.

Cílem práce bylo nejen zhodnotit obecně úspěšnost implantace, ale rozebrat právě tyto dílčí vlivy a navrhnout změny, které by mohli vést k ještě přesnějším výsledkům.

V první řadě jsme se zabývali následnou rotací nitrooční čočky po operaci. U našeho souboru byla průměrná rotace $1,57 \pm 1,01^\circ$. Takto nízká pooperační rotace měla minimální vliv na celkové výsledky. Nenalezli jsme studii, která by se věnovala speciálně rotaci IOL T-flex. Nejčastěji hodnocenými IOL jsou torické IOL Acrysof.

Weinand a spol. implantovali hydrofobní akrylové IOL a po 6 měsících byla průměrná pooperační rotace $0,9-1,8^\circ$. Podobnou studii provedli i Koshy a spol. v jejich případě byla pooperační rotace $2,7 \pm 2,0^\circ$. Kwartz a spol. zjistili po 2 letech průměrnou pooperační rotaci $2-3^\circ$. [3]

Torické IOL Acrysof jsou obecně považovány za velmi stabilní. Jedním z důvodů jejich stability je rychlá a přetrvávající adheze hydrofobního materiálu k pouzdru čočky. Námi použité čočky T-flex jsou hydrofilní, proto k pouzdru čočky neadherují a to ani déle po implantaci. Jejich časná stabilizace je umožněna mechanickým tlakem haptik. Dlouhodobá fixace je umožněna adhezí přední a zadní části pouzdra navzájem. Pacienti z naší studie vykazovali v průběhu 6-8 týdnů od operace velmi dobrou stabilitu, srovnatelnou s čočkami s hydrofobních materiálů. Bylo by vhodné posoudit stabilitu s delším odstupem, jestli se na ní projeví vlastnosti čočky.

Pro další výpočty bylo nutné určit ideální polohu a hodnotu cylindru torické IOL. Použili jsme Thibosovu metodu pro rozklad astigmatické hodnoty na tři veličiny, pro sečtení zbytkového pooperačního astigmatismu a cylindrické hodnoty torické IOL se současnou osou.

Tento výpočet jsme porovnali s online kalkulátorem ASSORT a hodnotami získanými z přístroje iTrace. Rozdíl mezi naším výpočtem a kalkulátorem ASSORT byl minimální. Při našem výpočtu a při zadávání do kalkulátor jsou použity stejné hodnoty, je pravděpodobné, že tento kalkulátor využívá stejný postup výpočtu a drobný rozdíl může být vysvětlen jiným použitím celočíselných hodnot a způsobem zaokrouhlování. Rozdíl mezi naším výpočtem a výsledkem iTrace byl větší ($5,22 \pm 4,52^\circ$). Přístroj využívá odlišný princip – keratometrii odvozuje z topografie a refrakci z aberometrie. Tyto metody jsou náchylnější k větším chybám, které mohou být například způsobeny nestabilním slzným filmem. Výhodou hodnocení rotace pomocí iTrace je, že pacient nemusí mít mydriázu.

Snažili jsme se zjistit, které přístrojové vyšetření nám nejlépe určí osu, do které má být čočka implantována. Porovnávali jsem osu navrženou těmito přístroji autokeratorefraktometr, IOL Master, TNP z Pentacamu a PhacoOptics. Největší rozdíl mezi předoperačně navrženou a ideální osou měl PhacoOptics, nejnižší IOL Master. Podle předoperačních vyšetření by bylo nejvhodnější se řídit tímto přístrojem, ale rozdíly nebyly výrazné. Protože osa rohovkového astigmatismu se může v průběhu operace změnit (SIA), posuzovali jsem u přístrojů doporučenou osu implantace i při následném pooperačním vyšetření. Rozdíl mezi doporučením před operací a po operaci je právě způsoben SIA. Rozdíl hodnot ideální osy IOL a osy navržené z aktuálních pooperačních hodnot byl překvapivě vysoký. Z grafů 8.2, 8.3, 8.4 je patrné, že chyba navržené osy nebyla výrazně ovlivněna indukovaným astigmatismem. Navržená hodnota osy zahrnující zadní plochu (TNP a PhacoOptics) byla méně přesná než osa navržená přístrojem IOL Master. Část chyb může být způsobena chybami při měření, největší může být pravděpodobně nesprávná poloha hlavy nebo přístrojová cyklotorze. Lze shrnout, že žádná z uvedených přístrojových metod neposkytuje úplně spolehlivé doporučení osy implantace torické čočky. Tento výsledek je poměrně překvapivý vzhledem k dobrým výsledkům refrakce. Podle našich výsledků by bylo nejvhodnější se řídit osou navrženou přístrojem IOL Master.

Doporučené hodnoty cylindru toricko IOL vypočítané kalkulátory Barrett, Rayner a PhacoOptics byly porovnány oproti ideální hodnotě získané vektorovým výpočtem. Průměrně nejlepších hodnot dosáhl firemní kalkulátor Rayner. Tento výsledek je zajímavý, protože tento kalkulátor vůbec nezahrnuje vliv zadní plochy ani efektivní polohu nitrooční čočky. Barrettův kalkulátor v našem případě zahrnoval vliv zadní plochy podle nomogramu a PhacoOptics zahrnoval naměřenou zadní plochu, včetně vlivu asféricity obou ploch rohovky. Sofistikované metody by v našem případě nepřinesly lepší výsledek. Může to být mimo jiné způsobeno chirurgicky indukovaným astigmatismem, který je porovnáván v tabulce 8.9. Pro praxi je však

důležité, že při daném operačním postupu nejlépe předpoví hodnotu cylindru uvedené IOL firemní kalkulátor.

SIA je vhodné hodnotit jako vektor. Průměrná hodnota vektoru neposkytuje operatérovi jasnou informaci. Proto je běžné hodnotit jako chirurgicky indukovaný astigmatismus, pouze změnu velikosti cylindru. V našem případě jsme hodnotili odděleně velikost osu cylindru.

Otázkou je, zda doba šesti týdnů od operace je dostatečná k hodnocení výsledku implantace torické nitrooční čočky. U většiny pacientů jsem na pachymetrických mapách z Pentacamu pozorovali ztlustění v periférii rohovky v místě operačních incizí. Další odeznívání otoku ještě může dále ovlivnit výsledky a pravděpodobně vést ke snižování SIA.

10. Závěr

Torická IOL představuje běžnou metodu korekce astigmatismu při operaci katarakty.

Torické IOL T-flex (Rayner) se ukázaly jako účinná možnost korekce astigmatismu při operaci katarakty. U pacientů s průměrnou hodnotou předoperačního rohovkového astigmatismu $-2,64$ dpt byla průměrná pooperační hodnota refrakčního cylindru $-0,31$ dpt.

Námi hodnocené torické IOL T-flex vykázali dobrou stabilitu v časně pooperační fázi (průměrná rotace $1,57 \pm 1,01^\circ$).

Nejlepší metodu pro výběr osy torické IOL byl IOL Master, ale i u něho byl rozptyl odchylky od ideální osy čočky nezanedbatelný ($4,89 \pm 4,68^\circ$). Metody zahrnující zadní plochu rohovky (TNP z Pentacamu) poskytly horší výsledky.

Pro výpočet velikosti cylindru torické IOL byl nejlepší firemní kalkulátor Raytrace (Rayner) (průměrná odchylka $0,45 \pm 0,31$ dpt), poskytl lepší výsledky než kalkulátory, které zahrnovaly zadní plochu rohovky.

Seznam použité literatury

- [1] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [2] SAVINI, Giacomo, Kenneth J. HOFFER a Pietro DUCOLI. A New Slant on Toric Intraocular Lens Power Calculation. *Journal of Refractive Surgery* [online]. 2013, **29**(5), 348-354 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.3928/1081597X-20130415-06. ISSN 1081-597x. Dostupné z: <http://www.healio.com/doiresolver?doi=10.3928/1081597X-20130415-06>
- [3] VISSER, Nienke, Noël J.C. BAUER a Rudy M.M.A. NUIJTS. Toric intraocular lenses: Historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [online]. 2013, **39**(4), 624-637 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.02.020. ISSN 08863350. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0886335013001910>
- [4] HENDERSON, Bonnie An. a James P. GILLS. *A complete surgical guide for correcting astigmatism: an ophthalmic manifesto*. 2nd ed. Thorofare, NJ: SLACK, c2011. ISBN 978-1556429354.
- [5] LEE, Hun, Tae-im KIM a Eung Kweon KIM. Corneal astigmatism analysis for toric intraocular lens implantation. *Current Opinion in Ophthalmology* [online]. 2015, **26**(1), 34-38 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.1097/ICU.000000000000119. ISSN 1040-8738. Dostupné z: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00055735-201501000-00008>
- [6] KESSEL, Line, Jens ANDRESEN, Britta TENDAL, Ditte ERNGAARD, Per FLESNER a Jesper HJORTDAL. Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery. *Ophthalmology* [online]. 2016, **123**(2), 275-286 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.10.002. ISSN 01616420. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0161642015011483>
- [7] KENT, Christopher. Toric IOLs: Nailing The Aligment. *REVIEW of Ophthalmology* [online]. 22. Ledna 2013 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.reviewofophthalmology.com/>

- [8] ROACH, Linda. Toric IOLs: Four Options for Addressing Residual Atigmatism. *EyeNet Magazine* [online]. Duben 2012 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.aao.org/eyenet/article/toric-iols-four-options-addressing-residual-astig>
- [9] TITIYAL, Jeewan S., Mukesh KHATIK, Namrata SHARMA, et al. Toric intraocular lens implantation versus astigmatic keratotomy to correct astigmatism during phacoemulsification. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [online]. 2014, **40**(5), 741-747 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.10.036. ISSN 08863350. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0886335014002247>
- [10] Femto LRI Calculator. *ASSORT* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.assort.com/assort-femto-lri-calculator-0>
- [11] KEPLOVÁ, Gabriela. *Korekce refrakčních vad laserem* [online]. Brno, 2007 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/72301/lf_m/Korekce_refrakcnich_vad_laserem.txt. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce MUDr. Šárka Skorkovská.
- [12] KRUEGER, Ronald R., Raymond Alan. APPLGATE a Scott. MACRAE. *Wavefront customized visual corrections: the quest for super vision II*. Thorofare, NJ: SLACK, c2004. ISBN 1-55642-625-9.
- [13] DAI, Guang-ming. *Wavefront optics for vision correction*. Bellingham, Wash.: SPIE Press, c2008. ISBN 978-0-8194-6966-3.
- [14] Supplementary IOLs: Sulcoflex Toric. *Rayner* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.rayner.com/en/iols/supplementary/sulcoflex-toric>
- [15] Intraocular lenses: AddOn IOL. *1st Q* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.1stq.de/209,1,2>
- [16] Overview Add-on. *HumanOptics* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.humanoptics.com/en/surgeons/media-center/51-press/287/overview-add-on.html>
- [17] AT TORBI 709M/MP. *Zeiss* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/meditec/int/products/ophthalmology-optometry/cataract/iol-implantation/mics-platform/mics-preloaded-toric-monofocal-iol/at-torbi-709m-mp.html>

- [18] AcrySof IQ: AcrySof IQ Toric. *Alcon* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.cz.alcon.com/content/acrysofr-iq>
- [19] FŮS, Martin. *Stanovení angulární pozice torických intraokulárních čoček*. Kladno, 2017. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství, Obor: Přístroje a metody pro biomedicínu. Vedoucí práce Šárka Pitrová.
- [20] VERION: Image Guided System. *My Alcon: Resources for Eye Care and Health Care Professionals* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.myalcon.com/products/surgical/verion-guided-system/>
- [21] CALLISTO eye: Computer assisted cataract surgery. *ZEISS* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/meditec/int/products/ophthalmology-optometry/cataract/visualization/computer-assisted-cataract-surgery/callisto-eye.html#highlights>
- [22] ALPINS, Noel, Graham D. BARRETT, Mark S. HANSEN, John P. BERDAHL, David R. HARDTEN a Jack T. HOLLADAY. Innovative Toric IOL Calculators and How to Use Them: Surgeons describe tools they have created to improve toric IOL calculations and to fix refractive surprises. *CRSTEurope* [online]. květen 2015 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://crstodayeurope.com/articles/2015-may/innovative-toric-iol-calculators-and-how-to-use-them/>
- [23] ASSORT Toric IOL Calculator. *ASSORT* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://assort.com/assort-toric-iol-calculator>
- [24] International Holladay2 and Toric Calculator. *Holladay IOL Consultant Software & Surgical Outcomes Assessment: IOL Calculation Software for Ophthalmologists - Jack T. Holladay, MD, MSEE, FACS* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.hic-soap.com/calc/preop>
- [25] ONLINE ALCON KALKULÁTOR PRO TORICKÉ NITROOČNÍ ČOČKY. *MYALCON* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.myalcon-toriccalc.com/#/calculator>
- [26] Barrett Toric Calculator. *ASCRS: American Society of Cataract and Refractive Surgery* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.ascrs.org/barrett-toric-calculator>

- [27] GOGGIN, Michael, Katherine ZAMORA-ALEJO, Adrian ESTERMAN a Lourens VAN ZYL. Adjustment of Anterior Corneal Astigmatism Values to Incorporate the Likely Effect of Posterior Corneal Curvature for Toric Intraocular Lens Calculation. *Journal of Refractive Surgery* [online]. 2015, **31**(2), 98-102 [cit. 2017-12-19]. DOI: 10.3928/1081597X-20150122-04. ISSN 1081-597x. Dostupné z: <http://www.healio.com/doiresolver?doi=10.3928/1081597X-20150122-04>
- [28] Berdahl & Hardten Toric IOL Calculator. *Toric Results Analyzer* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://astigmatismfix.com/>
- [29] DESAI, Nell R., Paul MANN, Dee G. STEPHENSON a William B. TRATTLER. Advanced Planning Devices: Surgeons discuss the strengths and weaknesses of four systems. *Cataract & Refractive Surgery Today* [online]. červen 2015 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://crstoday.com/articles/2015-jun/advanced-planning-devices/>
- [30] ITrace. *TRACEY TECHNOLOGIES* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.traceytechnologies.com/products.html>
- [31] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [32] KR-1 Auto Kerato-Refractometer. *TOPCON* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.topconmedical.com/products/kr1.htm>
- [33] IOL Master 700: Next generation biometry from ZEISS. *ZEISS* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/meditec/int/products/ophthalmology-optometry/cataract/diagnostics/optical-biometry/iolmaster-700.html>
- [34] *Pentacam HR Návod k použití: Měřicí a vyhodnocovací systém pro přední segment oka*. Oculus. 2003.
- [35] OCULUS Pentacam: analyzátor předního segmentu oka. *OCULUS, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.oculus.cz/pentacam>
- [36] HLOŽÁNEK, Martin a Blanka BRŮNOVÁ. *Přístrojová technika v oftalmologii*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902-1609-9.
- [37] T-flex: Aspheric Toric. *Rayner* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.rayner.com/en/iols/toric/t-flex-aspheric-toric>

- [38] MILLER, Joseph M., Douglas D. KOCH, Warren HILL a Adi ABULAFIA. *Clinical Applications of Power Vectors: III. Criteria for analyzing outcomes*. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181a6a211. ISBN 10.1097/OPX.0b013e3181a6a211. Dostupné také z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-200906000-00012>
- [39] WANG, Li, Douglas D. KOCH, Warren HILL a Adi ABULAFIA. *Pursuing perfection in intraocular lens calculations: III. Criteria for analyzing outcomes*. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.08.003. ISBN 10.1016/j.jcrs.2017.08.003. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0886335017305448>

Seznam symbolů a zkratk

AK – akuátní astigmatická keratotomie

CCC – continual circular capsulorhexis

Epi LASIK – Epithelial laser in situ keratomileusis

IOL – nitrooční čočka

LASEK – Laser subepithelial keratomileusis

LASIK – Laser in situ keratomileusis

LRI – limbální relaxační incize

OCT – optická koherenční tomografie

PRK – Photorefractive keratectomy

SIA – chirurgicky indukovaný astigmatismus

TNP – true net power

Příloha A: Obsah přiloženého CD

- 1) Klíčová slova
- 2) Abstrakt v českém jazyce
- 3) Abstrakt v anglickém jazyce
- 4) Naskenované zadání bakalářské práce
- 5) Kompletní bakalářská práce