

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2017

**KRISTÝNA
DRÁŽKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Výpočet hodnoty nitrooční čočky po předchozí refrakční operaci

Intraocular lens calculation after previous refractive surgery

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Kristýna Drážková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eliška Palkovičová

Konzultant bakalářské práce: MUDr. Jiří Cendelín, CSc.

Kladno, Květen 2017

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2016/2017

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

Student: **Kristýna Drážková**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Výpočet hodnoty nitrooční čočky po předchozí refrakční operaci**
Téma anglicky: Intraocular lens calculation after previous refractive surgery

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce je věnována problematice výpočtu nitrooční čočky po předchozí rohovkové refrakční operaci. V teoretické části budou shrnuty metody výpočtu hodnoty nitrooční čočky a jejich modifikace pro stavy po refrakčním výkonu. V praktické části bude porovnána přesnost různých postupů u pacientů s nitrooční čočkou implantovanou po předchozí refrakční operaci. Do výzkumu budou zahrnuti pacienti, kteří byli operováni v Centru mikrochirurgie oka Ofta v Plzni. Soubor bude tvořit nejméně 40 očí u nejméně 20 pacientů. Výsledkem statistického zpracování by měl být výběr vhodných metod výpočtu.

Seznam odborné literatury:

- [1] WANG, L., TANG, M., HUANG, D., WEIKERT, M.P., KOCH, D.D., Comparison of newer intraocular lens power calculation methods for eyes after corneal refractive surgery, *Ophthalmology*, ročník 122, číslo 12, 2015, 2443-2449
[2] MCCARTHY, M., GAVANSKI, G.M., PATON, K.E., HOLLAND, S.P., Intraocular Lens Power Calculations after Myopic Laser Refractive Surgery: A Comparison of Methods in 173 Eyes, *Ophthalmology*, ročník 118, číslo 5, 2011, 940-944 s.
[3] HAIGIS, W., Challenges and approaches in modern biometry and IOL calculation, *Saudi Journal of Ophthalmology*, ročník 26, číslo 1, 2012, 7-12 s.

Zadání platné do: 11.09.2018
Vedoucí: Ing. Eliška Palkovičová
Konzultant: MUDr. Jiří Cendelín, CSc.

vedoucí katedry / pracoviště

děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce:

Výpočet hodnoty nitrooční čočky po předchozí refrakční operaci

Abstrakt:

Tato práce je věnována problematice výpočtu hodnoty nitrooční čočky (IOL) po předchozí refrakční operaci, kdy nelze použít klasické výpočtové metody. Proto se v takových případech používají nové metody pro výpočet IOL, které laserový zákrok na rohovce zohledňují.

Cílem experimentální části bylo porovnat přesnost devíti různých metod pro výpočet IOL u souboru 25 pacientů (43 očí), kterým byla odoperována katarakta a podstoupili v minulosti hypermetropický refrakční zákrok. U každé metody byla porovnána hodnota IOL dle daného výpočtového vzorce s optimální hodnotou IOL, která byla stanovena na základě refrakce dle autorefraktometru (ARK) a dle defokusační křivky. Dle ARK vyšly jako nejpřesnější vzorce SRK/T a Haigis (chyba do $\pm 1,00$ D u 74% a 75% očí) a dle defokusační křivky vzorec Haigis (chyba do $\pm 1,00$ D u 83% očí).

Klíčová slova:

biometrie, keratometrie, refrakční chirurgie, vzorce pro výpočet IOL, metody výpočtu IOL po předchozí refrakční operaci

Bachelor's Thesis title:

Intraocular lens calculation after previous refractive surgery

Abstract:

This thesis deals with the problem of intraocular lens (IOL) calculation after previous refractive surgery, where it is not possible to use classic methods of IOL calculation. Therefore, new IOL calculation methods taking into account the previous refractive surgery are used in such cases.

The aim of the experimental part was to compare the accuracy of nine different methods of IOL calculation in a sample of 25 patients (43 eyes), who underwent cataract surgery after previous hyperopic refractive surgery. For each method, the calculated IOL power was compared with the optimal IOL power determined by autorefractometer (ARK) refraction and defocus curve refraction. According to the ARK, the most accurate were the SRK/T and Haigis formulas (error $\pm 1,00$ D in 74% and 75% of the eyes). According to the defocus curve, the most accurate was the Haigis formula (error $\pm 1,00$ D in 83% of the eyes).

Key words:

biometry, keratometry, refractive surgery, formulas for IOL calculation, methods of IOL calculation after previous refractive surgery

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala své vedoucí Ing. Elišce Palkovičové a konzultantovi MUDr. Jiřímu Cendelínovi, CSc. za cenné rady, připomínky a lidský přístup při konzultacích této práce. Dále bych chtěla na tomto místě poděkovat Očnímu centru OFTA v Plzni za mnoho praktických zkušeností. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za podporu během mého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Výpočet hodnoty nitrooční čočky po předchozí refrakční operaci*“ 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).

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

ÚVOD	1
TEORETICKÁ ČÁST	2
1. BIOMETRIE OKA	2
1.1 ULTRAZVUKOVÁ BIOMETRIE OKA (AKUSTICKÁ)	2
1.2 OPTICKÁ BIOMETRIE.....	3
2. METODY A PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ZAKŘIVENÍ ROHOVKY	5
2.1 KERATOMETRIE	5
2.2 KERATOSKOPIE.....	5
2.3 ROHOVKOVÁ TOPOGRAFIE.....	5
2.4 ROHOVKOVÁ TOMOGRAFIE NA PRINCIPU SCHEIMPFLUGOVY KAMERY.....	6
2.5 ROHOVKOVÝ TOMOGRAF NA PRINCIPU SLIT-SCANNING	7
3. ROHOVKOVÉ LASEROVÉ ZÁKROKY	8
3.1 PRK (PHOTOREFRACTIVE KERATECTOMY)	9
3.2 LASEK (LASER-ASSISTED SUBEPITHELIAL KERATECTOMY)	10
3.3 LASIK (LASER IN SITU KERATOMILEUSIS).....	10
3.4 EPI-LASIK.....	12
3.5 RELEX FLEX (FEMTOSECOND LENTICULE EXTRACTION)	12
3.6 RELEX SMILE.....	13
3.7 INTRACOR	13
4. VZORCE PRO VÝPOČET NITROOČNÍ ČOČKY	14
4.1 VZORCE PRVNÍ GENERACE	14
4.1.1 <i>Vergenční rovnice</i>	14
4.1.2 <i>Binkhorstův vzorec</i>	15
4.2 VZORCE DRUHÉ GENERACE	15
4.2.1 <i>SRK</i>	15
4.2.2 <i>SRK II</i>	16
4.3 VZORCE TŘETÍ GENERACE	17
4.3.1 <i>Holladay 1</i>	18
4.3.2 <i>SRK/T</i>	18
4.3.3 <i>Hoffer Q</i>	18
4.4 VZORCE ČTVRTÉ GENERACE	19
4.4.1 <i>Haigis</i>	19
4.4.2 <i>Holladay 2</i>	19
4.5 VÝBĚR VHODNÉHO VZORCE	19
4.6 SROVNÁNÍ PŘESNOSTÍ VZORCŮ.....	20
5. VÝPOČET OPTICKÉ MOHUTNOSTI IOL PO PŘEDCHOZÍ ROHOVKOVÉ REFRAKČNÍ OPERACI. 22	
5.1 METODY ZALOŽENÉ NA ZNALOSTI KLINICKÉ HISTORIE PACIENTA	24
5.1.1 <i>Klinická historická metoda (Clinical history method)</i>	24
5.1.2 <i>Arramberri Double-K metoda</i>	24
5.1.3 <i>Corneal Bypass Methoda</i>	25
5.1.4 <i>Metoda Feiz-Mannis</i>	26
5.1.5 <i>Metoda Latkany</i>	26
5.1.6 <i>Masket metoda</i>	27
5.1.7 <i>Modifikace Masket metody</i>	28
5.1.8 <i>Barret True K</i>	28
5.2 METODY ZALOŽENÉ NA NEZNALOSTI KLINICKÉ HISTORIE PACIENTA	28

5.2.1	Metoda s použitím kontaktních čoček (Contact lens method).....	28
5.2.2	Metoda peroperační refraktometrie lanchulev	29
5.2.3	Metoda peroperační refraktometrie Mackool.....	29
5.2.4	Metoda Koch – Wang – Maloney	30
5.2.5	Shammas No History metoda	30
5.2.6	Vzorec Haigis-L	30
5.2.7	Topographic Central Corneal Power Adjustment Method	31
5.2.8	Metoda Pentacam	31
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST		32
6.	CÍL VÝZKUMU	32
7.	METODIKA VÝZKUMU	32
7.1	SOUBOR PACIENTŮ	32
7.2	PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	32
7.2.1	IOL Master 700	32
7.2.2	Pentacam.....	33
7.3	POSTUP MĚŘENÍ	33
7.3.1	Data týkající se laserového zákroku.....	33
7.3.2	Biometrická a keratometrická data	34
7.3.3	Stanovení refrakce	34
7.3.4	Kalkulace IOL	34
7.3.5	Stanovení optimální hodnoty IOL.....	37
7.3.6	Určení chyby	37
7.4	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	37
8.	VÝSLEDKY	38
9.	DISKUZE	44
10.	ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		47
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK		51
SEZNAM OBRÁZKŮ		53
SEZNAM TABULEK		54

Úvod

Dnešní doba plná moderních technologií umožňuje korigovat ametropie oka refrakčními zákroky na rohovce. Laserové refrakční operace snižují refrakční vadu a díky tomu se pacient zpravidla zbaví potřeby nosit optickou korekční pomůcku.

Refrakční zákroky vedou k nevratným změnám na rohovce. Po refrakční operaci dochází ke změně zakřivení rohovky a mění se poměr mezi přední a zadní plochou rohovky. Tyto změny na rohovce se mohou zdát jako nepodstatné, ale mají velký vliv při výpočtu hodnoty nitrooční čočky (IOL) při operaci katarakty.

Operace katarakty patří mezi nejčastější operační zákroky v oboru oftalmologie. Během operace katarakty je pacientovi odstraněn zkalený obsah čočky a do zbylého čočkového pouzdra se implantuje umělá nitrooční čočka o určité optické mohutnosti. V dnešní době se stále více pacientů, kteří v minulosti podstoupili refrakční zákrok na rohovce, dostává do věku typického pro vznik katarakty. U těchto pacientů je důležité, aby byla důkladně změřena biometrie oka a keratometrie, jelikož se jedná o data, která se dosazují do vzorců pro výpočet optické mohutnosti umělé nitrooční čočky. Dále je důležité vybrat správný vzorec pro výpočet hodnoty IOL – v dnešní době existuje mnoho výpočtových vzorců, které zohledňují předchozí refrakční zákrok na rohovce. Speciálně upravené vzorce se od sebe liší potřebnými vstupními daty. Cílem práce bude tyto vzorce porovnat.

Teoretická část práce je zaměřena na problematiku výpočtu hodnoty umělé nitrooční čočky po předchozí refrakční operaci. V práci jsou zmíněny vyšetřovací metody biometrie oka a keratometrie a jsou zde popsány laserové refrakční operace na rohovce. Dále jsou uvedeny klasické vzorce pro výpočet hodnoty nitrooční čočky, které jsou rozděleny do generací dle doby vzniku, a je porovnána přesnost vzorců v závislosti na axiální délce oka. Závěr teoretické části je věnován metodám výpočtu hodnoty nitrooční čočky u pacientů po předchozí refrakční operaci – tyto metody jsou rozděleny do dvou skupin podle znalosti či neznalosti klinické historie pacienta. V experimentální části budou porovnány vzorce pro výpočet hodnoty nitrooční čočky po předchozím laserovém hypermetropickém zákroku na rohovce.

Teoretická část

1. Biometrie oka

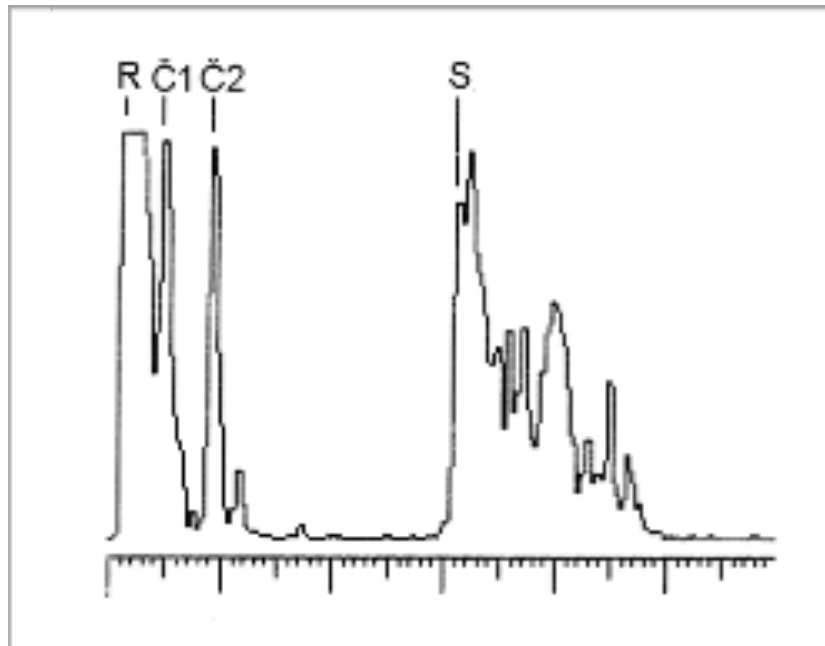
Biometrie patří mezi nejčastější oční vyšetření v oftalmologii, při kterém se měří axiální délka oka. „*Axiální délka oka je vzdálenost mezi centrem povrchu rohovky a místem nejostřejšího vidění na sítnici (fovea centralis)*“. [1]

Stejnými body je vedena osa vidění, která je spojnicí fovea centralis a bodu fixace v prostoru. Osa vidění prochází uzlovými body a je odkloněna od optické osy temporálně o 4 až 7°. Optická osa je definována jako přímka, která spojuje středy refrakčních ploch. Biometrii oka můžeme rozdělit do dvou skupin na ultrazvukovou a optickou, které se navzájem doplňují. [1, 2, 3, 4]

1.1 Ultrazvuková biometrie oka (akustická)

Ultrazvuková biometrie je založena na principu odrazu ultrazvukového signálu od echogenních rozhraní v oku. Ultrazvuk můžeme definovat jako mechanické kmity částic prostředí kolem rovnovážné klidové polohy s frekvencí, která je vyšší než 20 kHz. V oftalmologii je ultrazvukové vlnění nejčastěji využíváno o frekvenci 8 až 20 MHz. Rychlost šíření ultrazvukového signálu je závislá na frekvenci ultrazvukových vln a akustické impedanci daného prostředí. Vyšetření ultrazvukem využíváme při neprůhlednosti předního segmentu oka, kdy nelze změřit axiální délku oka optickou biometrií. V oku se nachází pět akustických rozhraní. Patří sem rozhraní rohovka–komorová voda, komorová voda–čočka, čočka–sklivec, sklivec–sítnice a skléra–retrobulbární tkáň. [1, 3, 5]

Impulzy od jednotlivých akustických rozhraní jsou na obrazovce přístroje registrovány jako vertikální výchylky, které se nazývají echo. Vzdálenost výchylek určuje skutečný poměr vzdáleností mezi jednotlivými prostředními. Pro správné měření přístroje je důležité dodržet správnou pozici sondy. Sonda musí být kolmá k povrchu oka. [1, 3, 4, 6]



Obrázek č. 1: – Ultrazvukový echogram oka (R – odraz od přední plochy rohovky a splývá s odrazem od zadní plochy rohovky, Č1 – odraz od přední plochy čočky, Č2 – odraz od zadní plochy čočky, S – konečný odraz echa od sítnice) [7]

Pro ultrazvukové biometrické měření axiální délky oka využívám metodu zobrazení A-Scan. A-scan je jednorozměrný lineární způsob zobrazení ve směru vyslaného ultrazvukového vlnění. V současné době rozlišujeme na dvě metody: A-scan kontaktní metoda, A-scan imerzní metoda. [1, 3, 6]

Dnešní biometrické ultrazvukové přístroje používají digitalizovaný A-scan. Dále obsahují software pro výpočet umělé intraokulární čočky. Hlavní předpoklad pro správné měření axiální délky oka je znát rychlost šíření ultrazvukového vlnění v jednotlivých prostředích. Starší přístroje používají pro výpočet jednu průměrnou rychlost šíření ultrazvukového vlnění pro celé oko. Nové přístroje využívají počítačové předzpracování signálu a vypočítají axiální délku oka na základě jednotlivých vzdáleností s užitím jednotlivých rychlostí pro dané prostředí. [3, 4]

1.2 Optická biometrie

Jedná se o bezkontaktní biometrické vyšetření pro měření axiální délky oka, které slouží k výpočtu optické mohutnosti IOL. Přístroj vznikl v roce 1999. Optická biometrie je založena na principu parciální koherentní interferometrie. „*Termín koherence vyjadřuje fyzikální vlastnost dvou vlnoploch, které mají dočasně konstantní nebo pravidelně se měnící fázový posun, a to v každém bodě prostoru.*“ [1]

Používá se infračervené světlo o vlnové délce 780 nanometrů s krátkou koherentní délkou 130 mikrometrů, které je rozděleno na dva paprsky s rozdílnými délkami optické dráhy. Oba paprsky se odráží od rohovky a sítnice. Měřena je vzdálenost mezi povrchem rohovky a pigmentovým epitelem sítnice. K interferenci světla dochází, pokud je rozdíl optický drah obou paprsků menší než koherentní délka. [1, 3, 5]

Hlavní výhodou optické biometrie je bezkontaktní měření na rozdíl od ultrazvukové biometrie oka. Není zde riziko infekce a nemusí být aplikovány anestetika. Další výhodou spočívá ve změření axiální délky podél osy vidění. Pacient při samotném vyšetření fixuje na světelný bod. [1, 3, 6]

Hlavní nevýhodou optické biometrie spočívá v pohlcení světla v neprůhledných prostředích, tudíž tuto metodu nelze použít u neprůhledných očních medií. V takových případech je optická biometrie nahrazena ultrazvukovou biometrií oka. [1, 3]

Kromě měření axiální délky může být přístroj využíván k měření zakřivení rohovky, pachymetrie rohovky, hloubky přední komory, měření WTW (White To White), pupilometrie, tloušťky sítnice. [1, 3, 6]

2. Metody a přístroje pro měření zakřivení rohovky

Keratometrická data, spolu s měřením axiální délky oka pomocí optické nebo ultrazvukové biometrie patří mezi nejdůležitější údaje pro výpočet umělé intraokulární čočky. Rohovka má ze 2/3 podíl na celkové optické mohutnosti oka. Proto je nezbytně nutné správně změřit optickou mohutnost rohovky, aby nedošlo k nepřesnému výpočtu optické mohutnosti intraokulární čočky. [1, 4]

2.1 Keratometrie

Keratometrie je nekontaktní měřicí metoda, která funguje na principu použití přední plochy rohovky jako konvexního zrcadla. Přední plocha rohovky odráží část paprsků, které dopadají na povrch rohovky a vytváří tak přímý, skutečný a zmenšený obraz. Při této metodě měříme zakřivení přední plochy rohovky ve dvou na sebe kolmých meridiánech v nejstrmějším a nejplošším zakřivením rohovky, jelikož rohovka není sférická plocha. Při keratometrii měříme zakřivení přední plochy rohovky, ze které se vypočítá zakřivení zadní plochy a také optická mohutnost rohovky. Měření zakřivení rohovky probíhá v paracentrální části rohovky o průmětu 2–4 mm. [3, 5, 8, 9]

Problém nastává při keratometrii pacientů, kteří podstoupili v minulosti refrakční operaci, jako je např. PRK, LASEK, LASIK, Epi-LASIK nebo Femto-LASIK. Při laserových refrakčních operacích je opracována centrální část rohovky. Výpočet optické mohutnosti centrální části rohovky, kdy je zakřivení rohovky měřeno v paracentrální části, tak bývá u těchto pacientů značně nepřesný. [3, 5]

2.2 Keratioskopie

Keratioskopické vyšetření využívá Placidových kružnic, které jsou promítány na povrch přední plochy rohovky. Metoda využívá odrazu Placidových kružnic od povrchu rohovky, která funguje jako zrcadlo. Vyšetření umožňuje určit pravidelný a nepravidelný astigmatismus, protože dochází k deformaci Placidových kruhů. [3]

2.3 Rohovková topografie

Rohovková topografie je počítačové zpracování keratioskopického obrazu rohovky. Rohovková topografie funguje na principu Placidova keratoskopu. Při vyšetření jsou na povrch rohovky promítány koncentrické kružnice. Nepravidelnost zakřivení rohovky se promítne na deformaci odražených kružnic. Jestliže je deformace v celé jedné rovině rohovky, kružnice se

zobrazí jako elipsa. V takovém případě stav odpovídá astigmatismu. Naopak, deformace kružnic pouze v určité zóně rohovky odpovídá složitějším nepravidelnostem rohovky, jako je např. keratokonus. Některé přístroje mají automatickou diagnostiku, která dokáže odhadnout keratokonus v raném stádiu. [3, 5, 9]

Výsledkem měření a zpracováním naměřených hodnot jednotlivých oblastí rohovky je barevná topografická mapa, která znázorňuje nejstrmější a nejplošší meridiány. Na barevné mapě vidíme zakřivení rohovky v jednotlivých optických zónách, které je převedeno do barevné škály pro lepší přehlednost. [3, 5, 9]

Hlavní problém nastává při měření rohovky po laserové refrakční chirurgii. Při laserovém zákroku je centrum rohovky opracováno – centrální část rohovky pak nelze přesně zhodnotit promítnutím kružnic a hodnoty centrální části jsou matematicky dopočítávány z hodnot bezprostředního okolí centra. Vypočtené hodnoty jsou proto značně nepřesné. [5]



Obrázek č. 2 – Rohovkový topograf [5]

2.4 Rohovková tomografie na principu Scheimpflugovy kamery

Scheimpflugův princip je známý ve světě fotografie už od 20. století. Princip byl využíván k omezení distorze při fotografování povrchu země z létajícího balónu ke kartografickým účelům. Základem principu je protnutí tří rovin v jedné ose, mezi které patří rovina snímání, rovina čočky a rovina fotografovaného objektu. [5]

Rohovková tomografie, která pracuje na Scheimpflugově principu, je využívána teprve pár let – např. Pentacam. Tato metoda slouží k podrobnému vyšetření předního segmentu oka.

Během vyšetření pacient pozoruje světlo ve tvaru štěrbin, které velmi rychle rotuje v rozsahu 360°. Celý proces vyšetření trvá asi 2 vteřiny. Během těchto 2 vteřin je pořízeno kolem 50 fotografií předního segmentu oka. Následnou analýzou je získáno mnoho údajů o předním segmentu oka mezi, které patří dokonalé zmapování přední plochy rohovky, měření zadní plochy rohovky, tloušťka rohovky, údaje o šířce a anatomii komorového úhlu, objem a hloubka přední komory, denzita čočky a mnoho dalších údajů. [5]

Nepostradatelné zastoupení má tato metoda při měření optické mohutnosti centra rohovky u pacientů, kteří v minulosti prodělali refrakční zákrok na rohovce. Předchozí metody, jako je keratometrie, keratoskopie a rohovková topografie měří hodnoty zakřivení přední plochy rohovky v paracentrální části rohovky. Zmíněné metody měří zakřivení pouze přední plochy rohovky a poté je z naměřených hodnot je dopočítáváno zakřivení zadní plochy rohovky. Poměr zakřivení mezi přední a zadní plochou rohovky u pacientů, kteří nepodstoupili refrakční zákrok, je relativně stálý. Avšak problém nastává u pacientů po refrakčním zákroku, kdy dochází k oprávnění přední plochy rohovky. U těchto pacientů poměr zakřivení mezi přední a zadní plochou rohovky neplatí. [5]

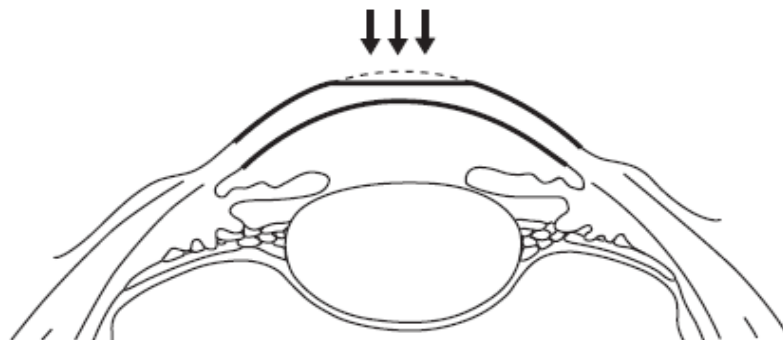
2.5 Rohovkový tomograf na principu Slit-scanning

Princip metody slit-scanning je podobný jako při biomikroskopii oka na štěrbinové lampě. U metody slit-scanning je využíván štěrbinový paprsek. Přístroj využívá dvou štěrbin – ty jsou orientovány v úhlu 45° od osy přístroje, který zachytí 20 obrazů z levé strany a 20 obrazů z pravé strany. Během jednoho měření je zachyceno dohromady 40 obrazů, které jsou získány odrazem světla do rohovky. Na principu slit-scanning pracuje oftalmologický přístroj Orbscan. [10]

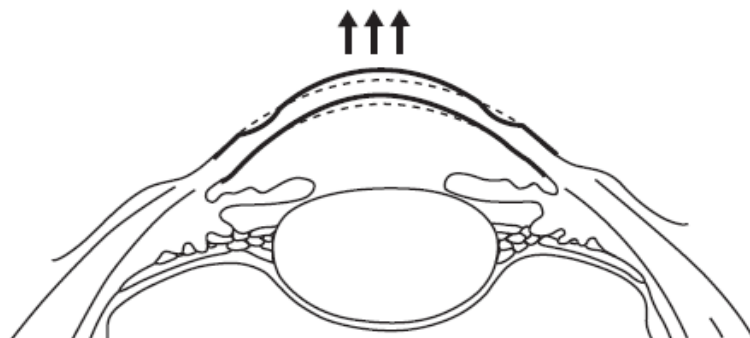
3. Rohovkové laserové zákroky

První odborná práce, která popisuje použití excimerového laseru při ablací rohovkové tkáně pochází z minulého století v roce 1983. Koncem osmdesátých let byl excimerový laser použit při refrakčním zákroku. Nejdříve k provedení rohovkových nářezů a následně k fotoablací stromatu rohovky, která vedla ke změně zakřivení přední plochy rohovky. Metoda dostala název PRK. V roce 1990 byl publikován nový operační postup, který dostal název LASIK. U LASIKU byly zkombinovány dvě refrakční technologie, kdy je nejprve použit mikrokeratom pro vytvoření lamely a poté následuje fotoablace stromatu rohovky excimerovým laserem. [11]

Metody laserových zákroků se liší hloubkou, kde je zákrok prováděn, a strukturami, které jsou dočasně nebo trvale změněny. Mezi povrchové refrakční zákroky patří PRK, LASEK a Epi-LASIK. Mezi hluboké laserové refrakční zákroky patří LASIK, kde dochází k fotoablací v hlubších vrstvách stromatu rohovky. Laserová fotoablace vede ke vzniku nového zakřivení rohovky a tím ke korekci myopie, hypermetropie a astigmatismu. Při korekci myopie dochází k fotoablací v centrální části rohovky, která vede k oploštění rohovky. Naopak při korekce hypermetropie dochází k fotoablací prstencového tvaru v periferní části rohovky, která vede k zestrmění centrální části rohovky. [3, 11]



Obrázek č. 3 – Fotoablace při korekci myopie [3]



Obrázek č. 4 – Fotoablace při korekci hypermetropie [3]

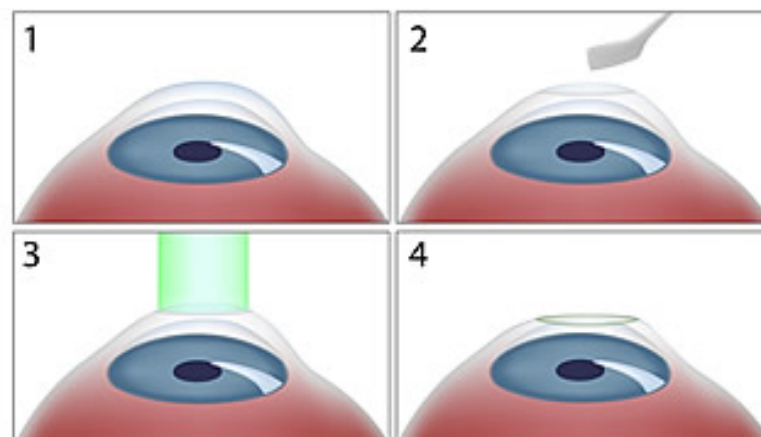
3.1 PRK (Photorefractive keratectomy)

Laserový refrakční zákrok PRK patří mezi povrchové laserové refrakční zákroky. Základním principem PRK metody je po prvotním odstranění epitelové vrstvy rohovky provést povrchovou fotoablaci rohovky. [11]

Techniky odstranění epitelové vrstvy rozdělujeme do dvou skupin, a to na mechanické a chemické. Mechanické metody můžeme dále rozdělit podle použití tupých nebo ostrých nástrojů. Nejčastěji používaný nástroj nese název „hokejka“. Chemická metoda využívá účinků alkoholů na epitel rohovky. Marker, nejčastěji naplněný 20% ethylalkoholem, je přitisknut na povrch rohovky po dobu 20 až 45 sekund. Působením alkoholu dochází k dehydrataci rohovkového epitelu, který se pak snadno odloučí. [3, 11]

Po odstranění rohovkového epitelu dochází k samotné laserové fotoablaci. Vlastní laserový zákrok trvá jen několik desítek sekund. Systém Technolas využívá spolupráce pacienta při centraci osy fotoablace tím, že pacient pozoruje červený laserový paprsek během zákroku. Tak je zajištěno spojení optické osy pacienta s osou refrakčního zákroku. Moderní přístroje využívají systém „eyetracker“, který kontroluje pohyb oka pacienta při operačním zákroku. Do určité tolerované meze pohybu je schopen souhlasně vychylovat laserový paprsek s pohybem oka. Při překročení určité meze dojde k přerušení zákroku. [3, 11]

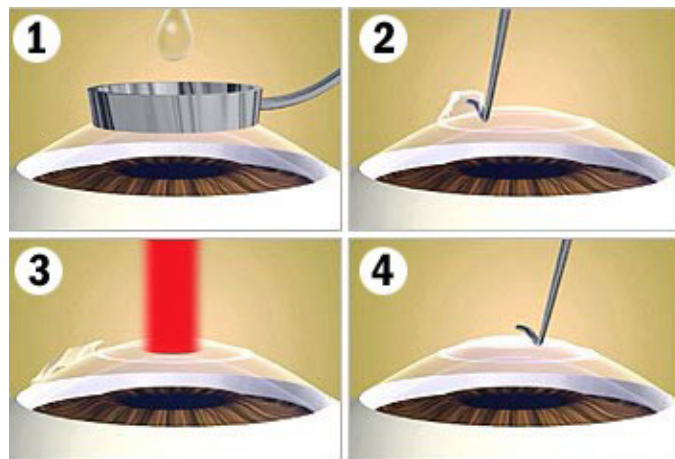
Během fotoablace se odsává přebytečná sekrece, aby povrch rohovky zůstal suchý. Nesmí se během zákroku hydratovat stroma rohovky. Teprve až po dokončení kompletní fotoablace rohovky je povrch rohovky opět hydratován. Pacientovi po zákroku je aplikována na 4 až 5 dní ochranná měkká kontaktní čočka. [3, 12]



Obrázek č. 5 – Metoda PRK [13]

3.2 LASEK (Laser-assisted subepithelial keratectomy)

Laserový refrakční zákrok LASEK patří mezi povrchové refrakční zákroky. Při LASEKu se využívá tzv. epitelový flap neboli lamela. Na počátku refrakčního zákroku se přikládá na povrch rohovky marker ve tvaru kroužku, do kterého se aplikuje 20% alkohol po dobu 20 sekund. Po této době je alkohol odsát a rohovka následně opláchnuta. Dalším krokem je ostrá separace rohovkového epitelu, který je v celku shrnován pomocí tupého nástroje na opačné straně hingu budoucí epitelové lamely. Po shrnutí kompletní lamely se přechází k laserové fotoablacii rohovky, která je stejná jako u metody PRK. Po ukončení laserové fotoablace je stroma rohovky opláchnuta a epitelová lamela je umístěna zpět na své původní místo. Pacientovi po zákroku je aplikována na 4 až 5 dní ochranná měkká kontaktní čočka. [3, 11, 12]



Obrázek č. 6 – Metoda LASEK [12]

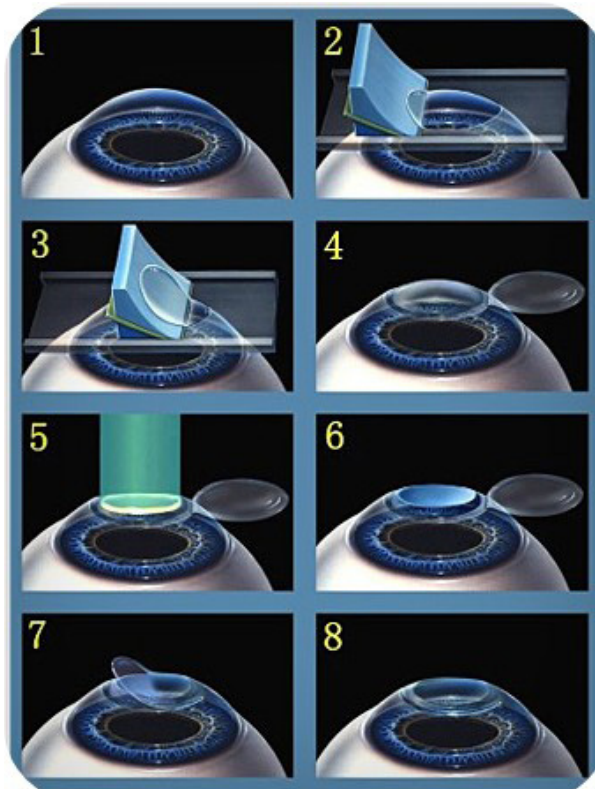
3.3 LASIK (Laser in situ keratomileusis)

Laserový refrakční zákrok LASIK patří do skupiny hlubokých refrakčních zákroků, kdy dochází k fotoablacii v hlubších vrstvách stromatu rohovky. Hlavní rozdíl mezi laserovými refrakčními zákroky LASIK a LASEK spočívá v tom, že je potřeba mít kromě excimerového laseru ještě přístroj zvaný mikrokeratom. Modernější technologie LASIKu (FemtoLASIK) využívá místo mikrokeratomu femtosekundový laser. [3, 11]

Mikrokeratom je složitý technický přístroj, který slouží k vytvoření epitelové lamely o pravidelné tloušťce. Tento přístroj se skládá ze sukčního prstence a řezací hlavy. Sukční prsteneček má dvě funkce. Zaprvé musí adharovat k bulbu pacienta a vytvořit základnu pro řezací hlavu. Druhá funkce sukčního prstence spočívá ve stabilizaci rohovky a zvýšení nitroočního tlaku. Vakuová pumpa je spojena se sukčním prstencem a společně jsou ovládány pedálem. Druhá část přístroje, řezací hlava, obsahuje velmi ostrý nůž, který osciluje s rychlostí 6 000 až

15 000 otáček za minutu. Pro správné vytvoření lamely je velmi důležité zajistit dokonalé přisátí mikrokeratomu. [3, 11]

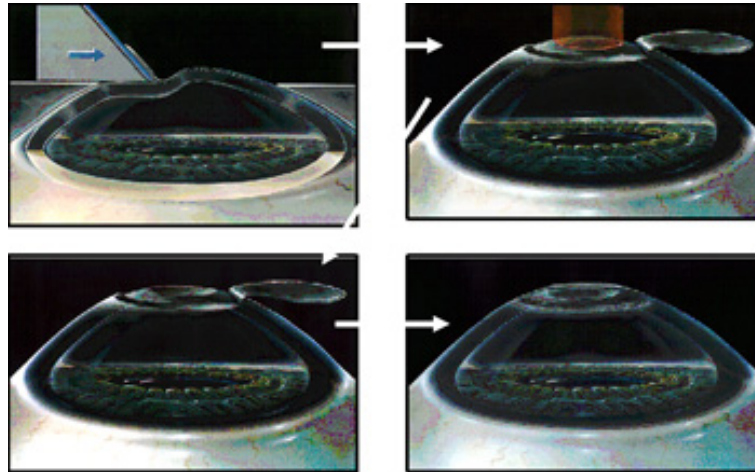
V první fázi refrakčního zákroku je třeba vytvořit rohovkovou lamelu. Následným krokem je seříznutí rohovkové lamely, která je po dokončení řezu nadzvednuta buď nazálně, nebo superiorně. Následuje laserová fotoablace stromatu rohovky. Až po dokončení fotoablace je možné hydratovat stroma rohovky. Poté je lamela umístěna zpět na své původní místo. Následuje vypláchnutí prostoru pod lamelou a fixace. Jestliže jsou odstraněny všechny nečistoty, je potřeba zajistit definitivní pozici lamely pomocí vyznačených značek. Doba prvotního přilepení trvá okolo 2 minut, při kterých zvlhčujeme povrch rohovky. Když se zdá lamela dostatečně přichycena, provádíme tzv. striae test, při kterém tlačíme tupým nástrojem vně od lamelárního řezu na povrchu rohovky. Vlivem tlačení dochází k nařasení rohovky. Pokud se rohovka nařasí na plochu lamely přes lamelární řez, jedná se o důkaz pevného přilnutí. Naopak když nedojde k nařasení přes lamelární řez, je potřeba znovu počkat a test zopakovat. U LASIKU se ochranná měkká kontaktní čočka aplikuje pouze výjimečně, a to při pooperačních komplikacích. Pacient rovnou po refrakčním zákroku musí absolvovat okamžitou kontrolu na štěrbinové lampě, na které se kontroluje stav a pozice lamely. Stejná kontrola následuje za 15 až 20 minut. [3]



Obrázek č. 7 – Metoda LASIK [12]

3.4 Epi-LASIK

U laserového refrakčního zákroku, který se nazývá Epi-LASIK, se používá k vytvoření lamely obdobný mikrokeratom jako u refrakční metody LASIK. Rozdíl je však v tom, že mikrokeratom u metody Epi-LASIK používá tupý břit, zatímco u metody LASIK ostrý nůž. U metody Epi-LASIK je lamela separována – na rozdíl od LASIKU, kde je odříznuta. Epitelový defekt je zhojen za 3 až 4 dny. Je uváděna i menší bolestivost zákroku oproti metodě PRK. [3]



Obrázek č. 8 – Metoda Epi-LASIK [14]

3.5 ReLEx flex (femtosecond lenticule extraction)

Metoda laserové operace, která se nazývá ReLEx flex, byla publikována v roce 2008. Kromě povrchové lamely je pomocí femtosekundového laseru proveden ještě další hlubší řez ve stromatu rohovky. Tímto vzniká čočka z rohovkové tkáně, tzv. lentikula, která je po odklopení lamely odstraněna. Slouží ke korekci myopie extrakcí rohovkové lentikuly – tvar a tloušťka rohovkové lentikuly ovlivňuje refrakční výsledek laserového zákroku. [11]

Hlavní rozdíl této metody od Femto-LASIKU spočívá v tom, že není použit excimerový laser, ale je používán po celou dobu operačního zákroku femtosekundový laser. [11]



Obrázek č. 9: – Metoda ReLEx flex [15]

3.6 ReLEx SMILE

Metoda laserové operace ReLEx SMILE navázala na metodu ReLEx flex. Při této technice není vytvořena klasická lamela jako u předchozích laserových zákroků. Lentikula je vytvářena obdobně jako u metody ReLEx flex uvnitř stromatu rohovky. Boční vertikální řez je 2–4 mm dlouhý. Tímto malým řezem po separaci tupým nástrojem, který se nazývá spatula je celá lentikula vytažena pinzetou. [11]

Stejně jako u ReLEx flex není použit excimerový laser, ale je používán po celou dobu operačního zákroku femtosekundový laser. [11]

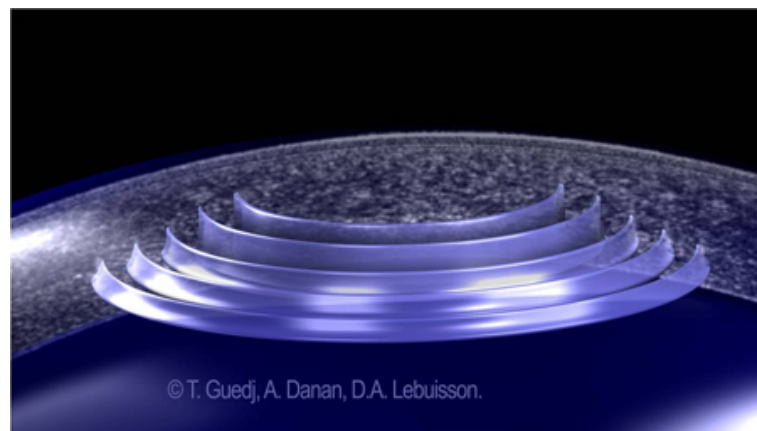
Nevýhodou této operace je indikační omezení tohoto laserového refrakčního zákroku. Metoda je indikována pouze k provedení refrakčního zákroku u myopie a myopického astigmatismus. [11]



Obrázek č. 10 – Metoda ReLEX SMILE [16]

3.7 INTRACOR

INTRACOR je chirurgická refrakční metoda, při které je korigována presbyopie. Refrakční zákrok se provádí v centrální části stromatu rohovky. Femtosekundovým laserem je vytvořeno pět koncentrických kruhů, které vedou k nepatrnému vyklenutí rohovky. U metody INTRACOR se provádí korekce monokulárně pouze u nedominantního oka. Tato metoda je nevhodná pro pacienty s myopií nebo vyšším astigmatismem. [12, 17]



Obrázek č. 11 – Metoda INTRACOR [12]

4. Vzorce pro výpočet nitrooční čočky

Při operaci katarakty je zkalený obsah přirozené čočky odsát a do zbylého čočkového pouzdra je implantována umělá intraokulární čočka o určité optické mohutnosti. Pro výpočet hodnoty implantované intraokulární čočky je potřeba znát biometrické a keratometrické údaje o oku pacienta, které se následně dosazují do matematických vzorců. Cílem výpočtu hodnoty optické mohutnosti intraokulárních čoček při operaci katarakty je dosáhnout refrakčního stavu, který se nazývá emetropie. Tomuto pooperačnímu stavu se výpočty neustále přibližují již od doby prvních implantací intraokulárních čoček. Zbytková refrakce oka po operačním zákroku je závislá na výběru vhodného vzorce pro výpočet umělé intraokulární čočky. Vzorce můžeme rozdělit podle doby jejich vzniku do čtyř generací. Vzorce jednotlivých generací se mezi sebou liší zejména vstupními parametry. V dnešní době se nejvíce používají vzorce třetí a čtvrté generace, které mají lepší pooperační výsledky než vzorce první a druhé generace. [3, 4, 7, 18]

4.1 Vzorce první generace

V počátcích operování katarakty se do oka vkládala všem pacientům stejná umělá nitrooční čočka o konstantní optické mohutnosti +18 D. Tato metoda vedla k vysokým zbytkovým refrakcím po operačním zákroku, v některých případech až +9 D. První snaha vypočítat optickou mohutnost umělé intraokulární čočky byla podle následujícího vzorce [7]:

$$P = 21 + 1,25 \cdot B \quad (1)$$

P – optická mohutnost IOL [D], B – hodnota brýlové čočky [D]. [7]

4.1.1 Vergenční rovnice

V roce 1967 ruský chirurg Fjodorov, přišel s řešením v podobě vergenční rovnice. S podobnými vzorci, které byly rozdílnými interpretacemi vzorce, přišli pánové Binkhorst, Hoffer a Colenbrander. [7]

Vergenční rovnice má znění:

$$P = \frac{1336}{AL - ELP} - \frac{1336}{\frac{1336}{\frac{1000}{DP_{\text{PostRx}}} - V} + K} - ELP$$

(2)

P – optická mohutnost IOL [D], AL – axiální délka bulbu [mm], ELP – efektivní pozice IOL [mm], D_{PostRX} – požadovaná refrakce po operaci [D]. [7]

4.1.2 Binkhorstův vzorec

S postupem času se uchýlil jednodušší Binkhorstův vzorec, který byl dobře využitelný u předněkomorových intraokulárních čoček. [7]

Binkhorstův vzorec má znění:

$$P = \frac{1336}{AL - PK} - \frac{1336}{\frac{1336}{K} - PK} \quad (3)$$

P – optická mohutnost IOL [D], AL – axiální délka bulbu [mm], PK – hloubka přední komory [mm], K – optická mohutnost rohovky [D]. [7]

4.2 Vzorce druhé generace

4.2.1 SRK

V roce 1980 trojice autorů Sanders, Retzlaff a Kraff představila vzorec SRK. Vzorec SRK byl odvozen snadnou lineární regresivní analýzou pooperační zbytkové refrakce ze souboru, který obsahoval 1200 pacientů. Vzorec byl navrhnut s 60% až 70% přesností, kdy výsledná refrakce nebude vyšší než ± 1 D. Vzorec se stal velmi oblíbeným pro svou jednoduchou aplikovatelnost. [7]

Vzorec SRK má znění:

$$P = A_{konst} - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K \quad (4)$$

P – optická mohutnost IOL [D], A_{Konst} – hodnota daná výrobcem pro příslušnou IOL, AL – axiální délka bulbu [mm], K – optická mohutnost rohovky [D]. [7]

Na počátku měla A-Konstanta hodnotu 116,5. U předněkomorových čoček měl vzorec dobré výsledky na rozdíl od zadněkomorových čoček, kde byla chyba větší. Autoři se tuto chybu snažili vyřešit. Tak vznikla proměnná A-Konstanta, která byla individuální pro každou intraokulární čočku. Výrobci intraokulárních čoček začali přidělovat každé čočce vlastní A-

Konstantu. Hodnota A-Konstanty, která byla závislá na fyzikálně-optických parametrech čočky, se pohybovala u předněkomorových čoček mezi hodnotou 114 a 116. Vyšší hodnoty měla u zadněkomorových čoček, u kterých byla mezi 118 a 118,7. A-Konstanta nebyla vždy přesná a potřebovala dodatečnou úpravu. Vzorec SRK dosahuje nejlepších výsledků při axiálních délkách bulbu v rozsahu mezi 22–24 mm. U krátkých bulbu, které mají axiální délka kratší než 22 mm, docházelo k myopizaci oka. Naopak u dlouhých bulbů, které mají axiální délku větší než 24 mm, docházelo k hypermetropizaci oka. Autoři se snažili dosáhnout nulové pooperační refrakce. Proto se snažili určit ideální hodnotu A-Konstanty pomocí následujícího vztahu. [7]

Vzorec má znění:

$$AKonst = \frac{8,55 \cdot B - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K - P}{0,0875 \cdot B - 1} \quad (5)$$

B – pooperační brýlová korekce [D], AL – axiální délka oka [mm], K – optická mohutnost rohovky [D], P – optická mohutnost IOL [D]. [7]

Velké odchylky u extrémních bulbu, které jsou větší než 26 mm nebo menší než 22 mm, vedly autory SRK vzorce k vymyšlení nového vzorce. [7]

4.2.2 SRK II

Vzorec byl publikován v roce 1988 a byl pojmenován SRK II. Vzorec má stejné znění jako SRK, ale liší se vstupními parametry, které se dodatečně upravují. [7]

Vzorec SRK II má znění:

$$P = AKonst - 2,5 \cdot AL - 0,9 K \quad (6)$$

kde pro:

$$AL < 20 \text{ mm:} \quad AKonst = AKonst + 20 \text{ mm}$$

$$\leq AL < 21 \text{ mm:} \quad AKonst = AKonst + 2$$

$$21 \text{ mm} \leq AL < 22 \text{ mm:} \quad AKonst = AKonst + 1$$

$$22 \text{ mm} \leq AL < 24,5 \text{ mm:} \quad AKonst = AKonst$$

$$AL > 24,5 \text{ mm:} \quad AKonst = AKonst - 0,5$$

U vzorce SRK II se k původní A-Konstantě přičítá číselná hodnota, která je závislá na axiální délce oka. [7]

Vzorec pro individualizovanou A-Konstantu vzorce SRK II má znění:

$$AKonst = P + B \cdot rf + 2,5 \cdot AL + 0,9 \cdot K - C \quad (7)$$

P – optická mohutnost IOL [D], B – pooperační brýlová korekce [D], rf – udává refrakční faktor, AL – axiální délka oka [mm], K – optická mohutnost rohovky [D], C – faktor udává hodnotu A-Konstanty v závislosti na axiální délce oka [7]

Pro refrakční faktor platí: $P < 16$: $rf = 1,00$

$P > 16$: $rf = 1,25$

Pro faktor C s ohledem na axiální délku bulbu platí:

$AL < 20$ mm: $C = AKonst + 3$

$20 \text{ mm} \leq AL < 21$ mm: $C = AKonst + 2$

$21 \text{ mm} \leq AL < 22$ mm: $C = AKonst + 1$

$22 \text{ mm} \leq AL < 24,5$ mm: $C = AKonst$

$AL > 24,5$ mm: $C = AKonst - 0,5$

[7]

Avšak ani jeden z obou vzorců nezohledňuje vlastnosti a pozici umělé intraokulární čočky. [7]

4.3 Vzorce třetí generace

Pro vzorce třetí generace je charakteristické, že se přistupuje ke kombinaci teoreticky-statistického přístupu. Také se začíná poprvé pracovat s hloubkou přední komory. Vzorce jsou součástí přístroje, který měří axiální délku oka. Díky tomu, že se nemusí pracně dosazovat do vzorců, se otevřela nová cesta ke složitější kalkulaci umělé intraokulární čočky. Všechny tři vzorce - jmenovitě Holladay, SRK/T a Hoffer Q – jsou založeny na stejných matematických principech, ale liší se ve výpočtu konečné pozice umělé intraokulární čočky. Všechny tyto vzorce mají poměrně dobré výsledky při axiální délce bulbu 24 mm. [7]

4.3.1 Holladay 1

V roce 1988 J. T. Holladay uvedl vzorec, který byl určen pro plankonvexní čočky. Vzorec dostal název Holladay 1. Na rozdíl od vzorců SRK a SRK II má svůj vlastní individualizační parametr SF, který se nazývá Surgeon Factor. Pro výpočet hloubky přední komory J. T. Holladay uvádí v rozsahu 20 až 25,32 mm proporcionalní závislost axiální délky oka a přední komory. Při hodnotách vyšších než 25,32 mm je považována hloubka přední komory za konstantní. V oftalmologii byla stále více zavedena A-Konstanta, proto autor vzorec upravil, aby obsahoval A-Konstantu. A-Konstantu lze přepočítat na SF pomocí jednoduchého vzorce. [7]

Vzorec má znění:

$$SF = AKonst \cdot 0,5663 - 65,60$$

(8)

SF – Surgeon Factor [7]

4.3.2 SRK/T

Trojice autorů vzorce SRK a SRK II reagoval na vzorec Holladay 1. Tak byl v roce 1990 vymyšlen nový vzorec pro výpočet umělé intraokulární čočky, který nese název SRK/T. Na rozdíl od předchozích vzorců počítá vzorec SRK/T s hloubkou přední komory (ACD), která se určí z předoperačně získaných údajů. Dále vzorec obsahuje novou vstupní veličinu HVID (Horizontal Visible Iris Diameter), což v češtině známe jako „Horizontální průměr viditelné duhovky“, někdy též označovaný jako WTW (White To White). Vzorec SRK/T má nejvíce uspokojivé výsledky z rodiny vzorců SRK u extrémně dlouhých bulbu, ale u ostatních délek má jen patrně lepší výsledky. [7]

4.3.3 Hoffer Q

Po pár letech byl vymyšlen vzorec Hoffer Q, který se specializuje na krátké a normální axiální délky oka. Studie v roce 1996 profesora J. K. Hoffera ukázaly, že vzorec Hoffer Q má přesnější výsledky u očí, které mají axiální délku bulbu menší než 22 mm. Vzorec využívá při výpočtu intraokulární čočky ACD konstantu. [7, 18, 19]

4.4 Vzorce čtvrté generace

4.4.1 Haigis

Mezi vzorce čtvrté generace patří vzorec Haigis, který byl publikován v roce 1991. Vzorec má stejný matematický základ jako vzorce třetí generace, ale je rozšířen o počet vstupních proměnných. Mezi individualizované parametry patří optická mohutnost rohovky, hloubka přední komory a axiální délka oka. Na rozdíl od předchozích vzorců je důležité zmínit, že se všechny tyto proměnné dají individualizovat zvlášť, zatímco u předchůdců se individualizace slučuje do jediné proměnné. Proto má vzorec velmi dobré výsledky napříč různými axiálními délkami oka. [7, 18]

4.4.2 Holladay 2

Autor vzorce Holladay 1 v roce 1996 vydává vzorec s názvem Holladay 2. Vzorec využívá sedm proměnných (axiální délka oka, horizontální průměr viditelné duhovky, průměrná hodnota keratometrie, refrakce oka, hloubka přední komory, tloušťka čočky a věk pacienta). Vzorec má velmi dobré výsledky u krátkých a dlouhých bulbů. Avšak u normálních axiálních délek oka má horší výsledky než předchozí vzorce třetí generace. [7]

4.5 Výběr vhodného vzorce

Vzorce jsou v dnešní době obsaženy v přístrojích jako je např. IOL Master, který slouží ke měření axiální délky oka, keratometrie a hloubky přední komory. IOL Master má ve svém softwaru např. vzorce SRK II, SRK/T, Haigis, Holladay 1, Hoffer Q a Holladay 2. Dále obsahuje programy, které slouží k individualizaci zmíněných vzorců. [7, 20]

Ve speciálních případech, jako jsou předchozí refrakční zákroky na rohovce, vyžaduje výpočet u polypseudoafakie a výpočet fakické nitrooční čočky speciální výpočty umělé intraokulární čočky. Dále je třeba mít se na pozoru při výpočtu intraokulární čočky u dětských pacientů s použitím hypermetropizace podle věku. Vždy není cílem emetropický stav, ale lehká krátkozrakost. [3]

Tabulka č. 1 – Výběr vhodného vzorce podle axiální délky oka [3]

Axiální délka oka	Vzdálenost v mm	Vhodný vzorec
Krátká	20,99-21,99	Haigis, Hoffer Q, Holladay 2
Průměrná	22,00-25,99	Holladay 1, Hoffer Q, SRK/T
Středně dlouhá	26,00-28,00	Holladay 2, SRK/T
Dlouhá	28,00-30,00	Holladay 2, Holladay 1

4.6 Srovnání přesností vzorců

Úspěšnost každého vzorce můžeme vyjádřit jako procentuální zastoupení se zbytkovou pooperační refrakcí do ± 1 D. Přesnost každého vzorce je závislá na axiální délce oka. K nejčastějším zdrojům chyb při výpočtu IOL patří: chyba při měření axiální délky oka, špatný odhad šíření zvuku, špatně změřené zakřivení rohovky, chybný odhad hloubky přední komory, špatně zvolený kalkulační vzorec. [7]

Například autoři vzorce SRK/T udávají rozptyl do ± 1 D u 79 % očí, Holladay pak u 72 % očí. V porovnání se vzorci druhé generace SRK a SRK II není znát velký posun k lepším výsledkům. Úspěšnost vzorce SRK II dosahuje v průměru do ± 1 D okolo 83 % pacientů. Při minimalizaci všech chyb měření a individualizaci výpočtových vzorců můžeme dosáhnout přesnosti až nad 80 % v rozptylu do ± 1 D. [7]

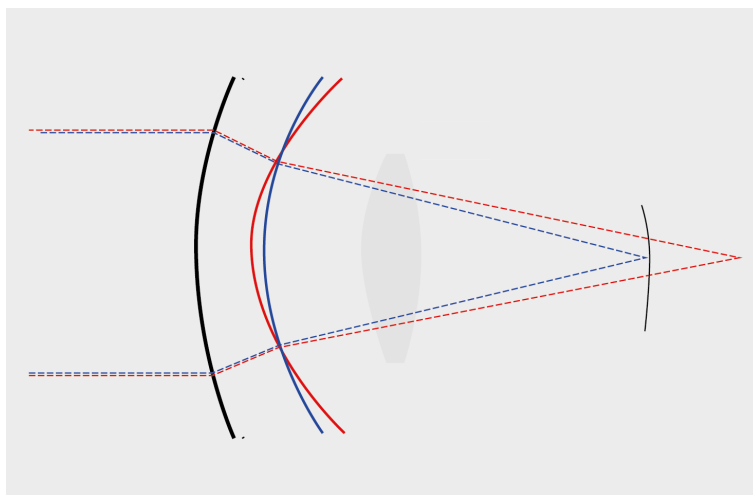
Podle profesora J. K. Hoffera studie ukázaly, že vzorec Hoffer Q má přesnější výsledky u očí, které mají axiální délku bulbu menší než 22 mm a vzorec SRK/T má přesnější výsledky u očí, které mají axiální délku větší než 26 mm. Pro oči s axiální délkou bulbu v rozmezí mezi 24,5 až 26 je nejpřesnější vzorec Holladay 1. Dále uvádí, že všechny tři zmíněné vzorce fungují velmi dobře u axiální délky oka mezi 22 až 24,5 mm. Naopak vzorec Holladay 2 má podle studie u průměrných a středně dlouhých očí horší výsledky než předchozí tři zmíněné vzorce. Holladay 2 disponuje dobrými výsledky u extrémně krátkých a velmi dlouhých axiálních délek bulbů. [18]

J. K. Wanga studie zahrnuje 200 očí s axiální délkou 20,16 mm až 31,16 mm. Optická mohutnost implantovaných IOL byla v rozmezí od + 6 D až + 30 D. Při studii byl použit přístroj IOL Master. Studie zahrnuje vzorce Haigis, Holladay 1, SRK/T a Hoffer Q. Nejpřesnějších výsledků zde dosahoval vzorec Haigis oproti ostatním vzorcům. Vzorec Haigis jako jediný měří hloubku přední komory. Vzorce Holladay 1, Hoffer Q a SRK/T pouze předpovídají ELP v závislosti na axiální délce oka a keratometrii rohovky. Druhou nejvyšší přesnost vykazuje vzorec SRK/T. Následují vzorce Holladay 1 a Hoffer Q. J. K. Wang studie dále zahrnuje výsledky vzorců podle axiální délky oka. Byly zde zahrnuty vzorce Holladay 1, Haigis, Hoffer Q a SRK/T. Při studii byl použit IOL Master. Podle axiální délky byli pacienti rozděleni do tří skupin. Do první skupiny patřili pacienti s axiální délkou menší než 22 mm. Do druhé skupiny pacienti s axiální délkou 22 mm až 26 mm. Do poslední, třetí, skupiny patřili pacienti s axiální délkou větší než 26 mm. Optická mohutnost IOL byla určena podle sférického ekvivalentu. Ve skupině č. 1 bylo do studie zahrnuto 33 očí s průměrnou axiální délkou $21,52 \pm 0,47$ mm. Nejpřesnějších výsledků zde dosahoval vzorec Haigis. Vzorec Hoffer Q dosahoval téměř stejných výsledků jako vzorec Haigis. Vzorce Holladay 1 a SRK/T dosahovaly podstatně nižší přesnosti než předchozí dva vzorce. Ve skupině č. 2 bylo do studie zahrnuto 92 očí s průměrnou axiální délkou $23,45 \pm 0,99$ mm. Nejpřesnějších výsledků také dosahoval vzorec Haigis. Dále následuje vzorec Holladay, který má velmi podobné výsledky jako vzorec SRK/T. Nejnižší přesnost průměrné axiální délky má vzorec Hoffer Q. Ve skupině č. 3 bylo do studie zahrnuto 75 očí s průměrnou axiální délkou $28,03 \pm 1,22$ mm. Opět dosahoval nejpřesnějších výsledků vzorec Haigis. Vzorec SRK/T dosahoval stejných výsledků jako vzorec Haigis. Vzorce Holladay 1 a Hoffer Q dosahovaly podstatně nižší přesnosti než předchozí dva vzorce. [21]

5. Výpočet optické mohutnosti IOL po předchozí rohovkové refrakční operaci

V dnešní době přibývá pacientů, kteří v minulosti podstoupili refrakční zákrok na rohovce. Při refrakčním zákroku dochází ke změnám anatomie rohovky. Tyto změny způsobují značné problémy při výpočtu optické mohutnosti intraokulární čočky, protože nelze použít běžný postup výpočtu. Výpočet IOL je ovlivněn následujícími faktory. [12]

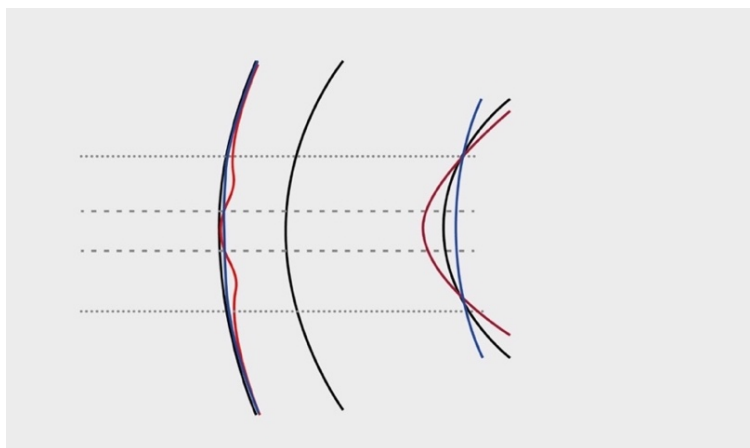
Optickou mohutnost rohovky po předchozím refrakčním zákroku je obtížné změřit, protože neplatí poměr mezi přední a zadní plochou rohovky. Tento poměr je důležitý, protože měřicí přístroje jsou vyvinuté pro měření optické mohutnosti rohovky pomocí standardního indexu lomu 1,3375. Tento index lomu vychází z konstantního poměru mezi přední a zadní plochou rohovky. Přístroje jako keratometr nebo rohovkový topograf předpokládají normální poměr mezi přední a zadní plochou rohovky. Tyto dva přístroje měří pouze zakřivení přední plochy rohovky. Zakřivení zadní plochy rohovky je dopočítáváno z naměřených hodnot. Výpočet je tedy ovlivněn zadní plochou rohovky, protože se předpokládá proporcionální vztah mezi přední a zadní plochou rohovky. [5, 22, 23, 24, 25]



Obrázek č. 12 – Vliv zadní plochy rohovky [25]

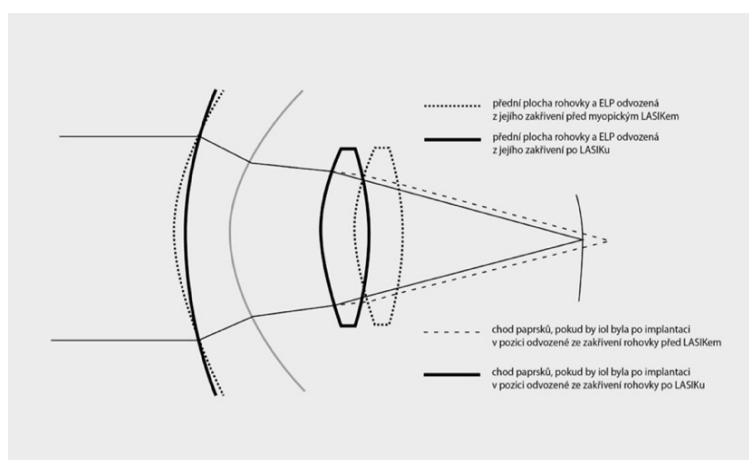
U obou přístrojů (keratometr, rohovkový topograf) probíhá měření v paracentrální části rohovky. Při laserových operacích dochází k opracování centrální části rohovky, což vede k nepřesnému změření zakřivení rohovky. Hodnoty centrální části rohovky jsou dopočítávány, avšak vzhledem k opracování centrální části rohovky je tento dopočet nepřesný. Rohovkové tomografie na principu Scheimpflugovy kamery měří zakřivení přední i zadní plochy rohovky,

což je důležité právě u pacientů po předchozí laserové refrakční operaci, neboť u těchto pacientů dochází ke změně poměru mezi přední a zadní plochou rohovky. Druhým faktorem, který ovlivňuje výpočet IOL, je tedy asféricita rohovky, která má vliv na měření jejího zakřivení po refrakčním zákroku, protože přístroje předpokládají sférický tvar rohovky. [5, 22, 23, 24, 25]



Obrázek č. 13 – Vliv asféricity rohovky na měření zakřivení po refrakčním zákroku [25]

Další problém nastává u moderních vzorců třetí a čtvrté generace kromě vzorce Haigis. Vzorce vycházejí z naměřených hodnot axiální délky bulbu a keratometrie po refrakčním zákroku k předpovědi ELP (Effective Lens Position = efektivní poloha nitrooční čočky). Po refrakčním zákroku tato předpověď vede k chybným výsledkům. Posledním faktorem, který ovlivňuje výpočet IOL, je tedy vliv výpočtu efektivní polohy nitrooční čočky po refrakčním zákroku, protože se předpokládá proporcionální vztah mezi zakřivením rohovky a hloubkou přední komory [24, 25, 26]



Obrázek č. 14 – Vliv výpočtu efektivní polohy nitrooční čočky (ELP) po myopickém refrakčním zákroku [25]

Tyto chybné výsledky při výpočtu IOL vedly k vymyšlení nových vzorců, které mají za cíl dosáhnout přesnějších výsledků u pacientů po předchozím refrakčním zákroku. Metody pro výpočet IOL po předchozí refrakční chirurgii můžeme rozdělit do dvou skupin: metody založené na znalosti klinické historie pacienta a metody bez znalosti klinické historie pacienta. [24, 27]

5.1 Metody založené na znalosti klinické historie pacienta

5.1.1 Klinická historická metoda (Clinical history method)

Metoda byla představena autorem moderních vzorců třetí a čtvrté generace J. T. Holladayem v roce 1989. Metoda výpočtu udává teoreticky skutečnou optickou mohutnost rohovky. Při této metodě je nutné znát hodnotu keratometrie před refrakčním zákrokem. Metoda není vhodná po radiální keratotomii, protože se rohovka zplošťuje ještě několik let po refrakčním zákroku. Problém spočívá v nedostupnosti nebo nepřesnosti těchto parametrů. [22, 28, 29]

Vzorec má znění:

$$K = K_{PRE} + R_{PRE} - R_{PO} \quad (9)$$

K – optické mohutnosti rohovky [D], K_{PRE} – optická mohutnosti rohovky před refrakčním zákrokem [D], R_{PRE} – sférický ekvivalent refrakce před refrakčním zákrokem [D], R_{PO} – sférický ekvivalent refrakce po refrakčním zákroku [D]. [29]

5.1.2 Arramberri Double-K metoda

Metoda byla v roce 2001 vytvořena ve Španělsku autorem Arramberi San Sebastian. Moderní teoretické vzorce mimo vzorce Haigis, využívají optickou mohutnost rohovky k určení ELP a výpočtu optické mohutnosti IOL. Formulace a algoritmy, které slouží k určení ELP, jsou založeny na anatomii předního segmentu oka. Po refrakční chirurgii se mění anatomie předního segmentu oka, v tomto případě je určení ELP nepřesné. [28]

Pro výpočet parametru ELP se používá hodnota zakřivení rohovky před refrakčním zákrokem. Pro výpočet optické mohutnosti IOL se používá hodnota keratometrie, která je vypočtena po refrakčním zákroku. Zakřivení rohovky po refrakčním zákroku lze určit pomocí Clinical History Method. Tímto se snižuje chyba při určení ELP a výpočtu IOL. [28, 29]

Metoda slouží k úpravě moderních vzorců třetí a čtvrté generace (Hoffer Q, Holladay 1, SRK/T, Holladay 2). Bez této úpravy nelze vzorce použít při výpočtu IOL po refrakční chirurgii. [28, 29]

Tabulka č. 2 – Úprava vzorce Hoffer Q po myopickém refrakčním zákroku [22]

Myopické oko	Axiální délka oka [mm]					
	20	22	24	26	28	30
Refrakční korekce [D]						
2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0
3	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0
4	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.0
5	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.0
6	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.1
7	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5	0.1
8	1.6	1.2	1.0	0.7	0.6	0.2
9	1.7	1.3	1.1	0.8	0.7	0.2
10	1.9	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3

Tabulka č. 3 – Úprava vzorce Hoffer Q po hypermetropickém refrakčním zákroku [22]

Hypermetropické oko	Axiální délka oka [mm]					
	20	22	24	26	28	30
Refrakční korekce [D]						
2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
3	0.7	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0
4	0.9	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0
5	1.1	0.7	0.4	0.2	0.0	0.0
6	1.3	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0

5.1.3 Corneal Bypass Methoda

Hlavní výhodou této metody spočívá v tom, že není potřeba znát optickou mohutnost rohovky po laserovém refrakčním zákroku. K výpočtu intraokulární čočky u myopických pacientů je třeba znát axiální délku oka po refrakčním zákroku a zakřivení rohovky před laserovým refrakčním zákrokem. Výsledná refrakce je určena pomocí sférického ekvivalentu z hodnot před laserovým refrakčním zákrokem. [22]

5.1.4 Metoda Feiz-Mannis

U této metody je nejméně pravděpodobné, že po operaci dojde u myopických pacientů k hypermetropickému překvapení. Tuto metodu je dobré použít, pokud máme k dispozici kvalitní historická data o pacientovi. Pro výpočet intraokulární čočky po laserovém refrakčním zákroku je potřeba znát zakřivení rohovky před refrakčním zákrokem, refrakční hodnotu v brýlích pacienta a axiální délku oka. Nejdříve se musí vypočítat optická mohutnost IOL, jako kdyby pacient nikdy nepodstoupil refrakční zákrok. Poté následuje výpočet IOL po předchozím refrakčním zákroku pomocí vzorce. [22]

Vzorec má znění:

$$IOL_{post} = IOL_{pre} - \left(\frac{\Delta D}{0,7} \right) \quad (10)$$

IOL_{post} – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], IOL_{pre} – optické mohutnosti IOL před refrakčním zákrokem [D], ΔD – stabilní refrakční hodnota v brýlích pacienta po refrakčním zákroku [D]. [22]

5.1.5 Metoda Latkany

Autorem této metody je chirurg Robert Latkany. Metoda je určena pro myopické oko po laserovém zákroku LASIK. Hlavní výhodou této metody je, že je potřeba znát pouze sférický ekvivalent refrakce pacienta před laserovým refrakčním zákrokem. Sférický ekvivalent refrakce lze získat například z brýlové korekce pacienta, kterou nosil před refrakčním zákrokem. Tato metoda využívá vzorec SRK/T pro výpočet finální hodnoty IOL. Finální hodnotu IOL získáme sečtením hodnoty IOL po refrakčním zákroku a hodnoty IOL podle vzorce SRK/T. Finální hodnota IOL se musí zaokrouhlit na nejbližší 0,50 D. [22]

Vzorec má znění:

$$IOL_{postLASIK} = -(0,47 \cdot (SE_{preLASIK}) + 0,85) \quad (11)$$

$IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], $SE_{preLASIK}$ – sférický

ekvivalent refrakce před refrakčním zákrokem [D]. [22]

$$IOL_{Final} = IOL_{postLasik} + IOL_{SRK/T} \quad (12)$$

IOL_{Final} – optická mohutnost finální IOL [D], $IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], $IOL_{SRK/T}$ – optická mohutnost IOL vypočtená vzorcem SRK/T [D]. [22]

5.1.6 Masket metoda

Autorem této metody je Samuel Masket. U této metody se IOL vypočítá pomocí vzorce Holladay 1 u axiální délky bulbu větší než 23 mm. Naopak u bulbů menších než 23 mm se využívá vzorec Hoffer Q. U této metody se nedoporučuje vzorec SRK/T, protože docházelo k nepřesným výsledkům IOL. U Masket Method je využívána simulovaná keratometrie místo Arramberriho Double K Method. Metoda má uplatnění u myopického i hypermetropického LASIKU. [22]

Vzorec má znění:

$$IOL_{postLASIK} = (LSE \cdot (-0,326)) + 0,101 \quad (13)$$

$IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], LSE – sférický ekvivalent korigovaných dioptrií laserem vztažené k vertex distance [D]. [22]

$$IOL_{Final} = IOL_{PostLasik} + IOL_{Holladay 1/Hoffer Q} \quad (14)$$

IOL_{Final} – optická mohutnost finální IOL [D], $IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], $IOL_{Holladay 1/Hoffer Q}$ – optická mohutnost IOL vypočtená vzorcem Holladay 1/Hoffer Q [D]. [22]

5.1.7 Modifikace Masket metody

Modifikovaná metoda Masket se liší od předchozí Masket metody pouze v dosazených hodnotách v rovnici pro výpočet IOL po refrakčním zákroku LASIK. Tato metoda se využívá u myopického i hypermetropického LASIKU. [22]

Vzorec má znění:

$$IOL_{postLASIK} = (LSE \cdot (-0,4385)) + 0,0295 \quad (15)$$

$IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], LSE – sférický ekvivalent korigovaných dioptrií laserem vztažené k vertex distance [D]. [22]

$$IOL_{Final} = IOL_{PostLasik} + IOL_{Holladay\ 1/Hoffer\ Q} \quad (16)$$

IOL_{Final} – optická mohutnost finální IOL [D], $IOL_{postLASIK}$ – optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku [D], $IOL_{Holladay\ 1/Hoffer\ Q}$ – optická mohutnost IOL vypočtená vzorcem Holladay 1/Hoffer Q [D]. [22]

5.1.8 Barret True K

Vzorec Barret True K je založen na teoretickém modelu oka. Metoda výpočtu je určena pro výpočet hodnoty IOL po myopickém nebo hypermetropickém refrakčním zákroku. Existují dvě verze tohoto vzorce. U první verze Barret True K je potřeba znát hodnotu keratometrie rohovky před a po refrakční operaci s maximální přesností. U druhé verze výpočtu není potřeba znát hodnotu keratometrie před refrakční operací. U druhé verze Barret True K No History je potřeba znát pouze hodnoty po refrakční operaci. [30, 31]

5.2 Metody založené na neznalosti klinické historie pacienta

5.2.1 Metoda s použitím kontaktních čoček (Contact lens method)

Tato metoda výpočtu byla v minulosti považována za dobrý způsob, jak správně odhadnout optickou mohutnost rohovky po refrakčním zákroku zvaném radiální keratotomie. V současné době se již nepoužívá, protože vedla k nepřesným výsledkům u laserových

refrakčních operací, jako je PRK, LASEK, LASIK. Hlavní nevýhodou této metody bylo, že ji nebylo možné u pacientů s pokročilým stupněm katarakty. Princip této metody spočívá v tom, že je aplikována tvrdá kontaktní čočka z materiálu PMMA o známé optické mohutnosti a zakřivení kontaktní čočky. Před samotnou aplikací kontaktní čočky byla změřena refrakce oka. Následně po aplikaci byla znovu změřena refrakce oka. Poté se vypočítala optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku podle následujícího vzorce. [22, 29]

Vzorec má znění:

$$K = C_{base} + C_{power} + R_{cl} + R_{bare} \quad (17)$$

K – optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku [D], C_{base} – zakřivení kontaktní čočky [D], C_{power} – optická mohutnost kontaktní čočky [D], R_{cl} – sférický ekvivalent refrakce s kontaktní čočkou [D], R_{bare} – sférický ekvivalent refrakce bez kontaktní čočky [D]. [22]

5.2.2 Metoda peroperační refraktometrie Ianchulev

Metoda byla navrhnutá v roce 2005 autorem Ianchulevem. Princip této metody spočívá v tom, že během operačního zákroku katarakty, kdy je z oka vyjmuta zkalená fyziologická čočka, je měřena afakická refrakce pacienta. Momentální afakická refrakce je měřena pomocí ručního přenosného autorefraktometru. Výsledná refrakce oka je dosazena do vzorce. Hlavní nevýhoda této metody spočívala v tom, že musela být velká zásoba IOL na operačním sále. [29]

Vzorec má znění:

$$IOL = 2,02 \cdot AR + (A - 118,84) \quad (18)$$

IOL – optická mohutnost IOL [D], AR – afakická refrakce oka [D], A – A-Konstanta IOL. [29]

5.2.3 Metoda peroperační refraktometrie Mackool

Metoda Mackool je velmi podobná metodě Ianchulev. Hlavní rozdíl je v tom, že pacient po vyjmutí zkalené čočky z oka musel opustit operační sál, aby byla změřena afakická refrakce oka klasickým autorefraktometrem. Vypočtená hodnota IOL byla následně implantována do oka. [29]

Vzorec má znění:

$$IOL = 1,75 \cdot AR + (A - 118,84) \quad (19)$$

IOL – optická mohutnost IOL [D], AR – afakická refrakce oka [D], A – A-Konstanta IOL. [30]

5.2.4 Metoda Koch – Wang – Maloney

Tato modifikovaná metoda byla původně popsána Robertem Maloneym. Původní metodu následně upravili autoři Doug Koch a Li Wang. Při použití této metody se využívá optická mohutnost v centru podle „Axial Map of the Zeiss Humphrey Atlas topographer“. Optická mohutnost rohovky po refrakční chirurgii je následně vypočítána podle následujícího vzorce. [22]

Vzorec má znění:

$$K = (C_{CP} \cdot 1,114) - 6,1 \quad (20)$$

K – optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku [D], C_{CP} – optická mohutnost v centrální části rohovky [D]. [22]

5.2.5 Shammas No History metoda

Metoda využívá k výpočtu optické mohutnosti rohovky po refrakčním zákroku hodnotu změřené keratometrie po refrakčním zákroku na rohovce. Hodnota keratometrie je měřena klasickým manuálním keratometrem. Změřená hodnota keratometrie je dosazena do následujícího vzorce. [29]

Vzorec má znění:

$$K = 1,14 \cdot K_{PO} - 6,8 \quad (21)$$

K – optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku [D], K_{PO} – optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku měřena manuálním keratometrem [D]. [29]

5.2.6 Vzorec Haigis-L

Vzorec Haigis-L umožňuje výpočet IOL u myopických i hypermetropických pacientů po laserovém refrakčním zákroku. Výpočtové vzorce Haigis a Haigis-L jsou téměř stejné. Hlavní rozdíl mezi těmito vzorci spočívá v tom, že u vzorce Haigis-L přístroj IOL Master nejdříve změří zakřivení rohovky a pomocí algoritmu pře počítá na zakřivení rohovky po refrakční zákroku. Následně je použit klasický vzorec Haigis pro výpočet optické mohutnosti IOL. Tímto způsobem je eliminována chyba výpočtu IOL u pacientů po laserovém refrakčním zákroku, kdy docházelo ke špatnému určení optické mohutnosti rohovky. Vzorec Haigis-L je v dnešní součásti přístroje IOL Master od firmy Carl Zeiss. [22, 29]

Vzorec má znění:

$$r_{corr} = \frac{331,5}{-5,1626 \times r_{meas} + 82,2603 - 0,35} \quad (22)$$

r_{corr} – přepočtená hodnota zakřivení rohovky [mm], r_{meas} – průměrné zakřivení rohovky [mm]. [22]

$$D_{corr} = \frac{333,75}{r_{corr}} \quad (23)$$

D_{corr} – centrální optická mohutnost rohovky [D], r_{corr} – přepočtená hodnota zakřivení rohovky [mm]. [22]

5.2.7 Topographic Central Corneal Power Adjustment Method

Pro změření optické mohutnosti v centru rohovky se využívá měřicí přístroj tzv. „Zeiss Humphrey Atlas topographer“. U této metody topograf měří optickou mohutnost rohovky v zóně 1 mm, 2 mm, 3 mm a 4 mm. Jednotlivé hodnoty se zprůměrují a vznikne tak výsledná hodnota optické mohutnosti v centrální části rohovky. Hodnota je následně snížena o 19 % na každou dioptrii u myopického oka korigovaným laserovým refrakčním zákrokem LASIK. [22]
Vzorec má znění:

$$K = C_{CP} + (\Delta D \cdot 0,19) \quad (24)$$

K – optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku [D], C_{CP} – optická mohutnost v centrální části rohovky [D], ΔD – refrakční změna po refrakčním zákroku [D]. [22]

5.2.8 Metoda Pentacam

Metoda Pentacam využívá oftalmologický přístroj Pentacam, který funguje na principu Scheimpflugovy kamery. Přístroj obsahuje tzv. „Holladay Report“. Tento mód byl vytvořen ve spolupráci s J. T. Holladayem pro zlepšení přesnosti měření hodnot keratometrie, které jsou zásadní pro výpočet IOL u pacientů, kteří v minulosti podstoupili refrakční zákrok na rohovce. Výpočet hodnot keratometrie je vztažen v tomto módu k centru pupily nikoliv k apexu rohovky. [32]

Experimentální část

6. Cíl výzkumu

Cílem výzkumu bylo zhodnotit soubor pacientů po operaci katarakty, kteří v minulosti podstoupili hypermetropický laserový zákrok PRK. U těchto pacientů bylo zkoumáno, jaká hodnota umělé nitrooční čočky měla být implantována do oka, aby výsledná refrakce byla nulová.

7. Metodika výzkumu

7.1 Soubor pacientů

Do výzkumu byli zahrnuti pacienti, kterým byla odoperována katarakta v Centru mikrochirurgie oka Ofta v Plzni a v minulosti podstoupili laserovou korekci hypermetropie metodou PRK. Soubor tvořilo 43 očí – 25 osob (14 mužů a 11 žen) ve věku od 45 do 81 let (průměrný věk 64 let).

7.2 Přístrojové vybavení

7.2.1 IOL Master 700

IOL Master 700 od firmy ZEISS je moderní přístroj pro měření biometrie oka. Měřením lze získat všechny biometrické parametry, např. axiální délku oka v rozmezí 14–38 mm, hloubku přední komory v rozmezí 0,7–8 mm, zakřivení rohovky v rozmezí 5–11 mm, White To White v rozmezí 8–16 mm, centrální tloušťku rohovky v rozmezí 0,2–1,2 mm) a jiné. Kromě optické biometrie, obsahuje také OCT pro zobrazení oka v celé jeho délce. Tento přístroj umožňuje oftalmologovi zobrazit jednotlivé řezy od rohovky až po sítnici. [33]

Přístroj obsahuje vzorce pro výpočet optické mohutnosti umělé intraokulární čočky. Naměřená data jsou automaticky dosazena do různých výpočtových vzorců a následně jsou navrženy vhodné hodnoty optické mohutnosti IOL. Jedná se například o vzorce Holladay 2, SRK/T, Hoffer Q, Haigis, Haigis-L a Haigis-T. [33]



Obrázek č. 15 – IOL MASTER 700 [33]

7.2.2 Pentacam

Pentacam je oftalmologický přístroj, který pracuje na principu Scheimpflugovy kamery. Měření trvá asi 2 vteřiny a výsledkem je trojrozměrný model předního segmentu oka, který je vygenerován z 25 000 změřených skutečných výškových bodů. [32, 34]

Topografie a pachymetrie přední a zadní plochy rohovky je měřena z celé její plochy od limbu k limbu. Mezi další měřené parametry předního segmentu oka patří výpočet komorového úhlu, objem a výška přední komory, hloubka přední komory, snímky přední a zadní plochy čočky a duhovky, měření denzitometrie čočky a rohovky. [32, 34]

Pentacam je jediný přístroj, který měří kromě přední plochy rohovky i zadní plochu rohovky. Pomocí obou map zakřivení vzniká mapa „True Net Power Map“. [32]

7.3 Postup měření

Součástí výzkumu byla práce s daty z doby provedení laserového zákroku a dále s daty aktuálními (před a po operaci katarakty). Tato data byla vložena do IOL kalkulátorů. Podle hodnoty implantované nitrooční čočky a výsledné subjektivní a objektivní refrakce byla vypočítána optimální hodnota nitrooční čočky. S touto optimální hodnotou byly porovnány výsledky kalkulátorů pro různé typy vzorců.

7.3.1 Data týkající se laserového zákroku

Kromě aktuálních dat byla zpracována data před a po laserovém výkonu: refrakce oka před laserovou operací, počet odebraných dioptrií a refrakce oka 1 až 2 roky po laserové operaci.

7.3.2 Biometrická a keratometrická data

Dále byla zpracována data před operací katarakty z optického biometru IOL Master 700 a z Pentacam. Z IOL Masteru byla zpracována tato data: keratometrický index, zakřivení přední plochy rohovky, zakřivení zadní plochy rohovky, osa astigmatismu, axiální délka oka, hloubka přední komory, konstanty A-const, SF, Haigis a0, Haigis a1 a Haigis a2. Z přístroje Pentacam byla zpracována tato data rohovky: K1 a K2 přední plochy, K1 a K2 zadní plochy.

7.3.3 Stanovení refrakce

U pacientů byla měřena objektivní a subjektivní refrakce, a to vždy před operací a po operaci katarakty. Objektivní refrakce byla měřena pomocí autorefraktometru, subjektivní refrakce byla měřena metodou defokusační křivky. Defokusační křivka udává, jakou má pacient zrakovou ostrost na různé vzdálenosti. Tyto vzdálenosti simulujeme monokulárně pomocí plusových a minusových čoček, které vkládáme do zkušební obruby. Předložené čočky pacientovi mění vergenci. Pacienti byli vyšetřováni monokulárně na vzdálenost 6 metrů pomocí LCD optotypu. [35]

7.3.4 Kalkulace IOL

K výpočtu hodnoty IOL byly použity tři různé kalkulátory: kalkulátor integrovaný v přístroji IOL Master, online kalkulátor ASCRS a kalkulátor PhacoOptic.

Naměřená data na IOL Masteru použil přístroj jako zdrojová data pro výpočet hodnoty IOL podle různých vzorců. V našem případě byly použity hodnoty IOL dle vzorců SRK/T a Haigis.

OD pravé				OS levé			
AL: 21.41 mm (SNR = 328.8) R1: 7.23 mm / 46.68 dpt x 72° R2: 7.16 mm / 47.14 dpt x 162° R / SE: 7.20 mm / 46.91 dpt Cyl.: -0.46 dpt x 72° ACD: 2.40 mm				AL: 21.31 mm (SNR = 101.9) R1: 7.12 mm / 47.40 dpt x 15° R2: 7.04 mm / 47.94 dpt x 105° R / SE: 7.08 mm / 47.67 dpt Cyl.: -0.54 dpt x 15° ACD: 2.46 mm			
Status: Phakické				Status: Phakické			
SRK®/T		Haigis		SRK®/T		Haigis	
Konstanta A: 118.90		Konst. A0: -2.135 Konst. A1: 0.263 Konst. A2: 0.267		Konstanta A: 118.90		Konst. A0: -2.135 Konst. A1: 0.263 Konst. A2: 0.267	
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
26.5	-1.15	25.5	-1.28	26.0	-1.05	24.5	-0.97
26.0	-0.80	25.0	-0.90	25.5	-0.71	24.0	-0.60
25.5	-0.45	24.5	-0.53	25.0	-0.37	23.5	-0.23
25.0	-0.12	24.0	-0.16	24.5	-0.04	23.0	0.13
24.5	0.22	23.5	0.21	24.0	0.29	22.5	0.49
24.0	0.55	23.0	0.57	23.5	0.62	22.0	0.85
23.5	0.88	22.5	0.92	23.0	0.94	21.5	1.20
Emme. IOL: 24.83		Emme. IOL: 23.78		Emme. IOL: 24.44		Emme. IOL: 23.18	
HofferQ		Holladay 1		HofferQ		Holladay 1	
Konst. pACD: 5.50		SF: 1.73		Konst. pACD: 5.50		SF: 1.73	
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
26.5	-1.2	26.0	-0.93	26.0	-1.2	25.5	-0.94
26.0	-0.8	25.5	-0.58	25.5	-0.8	25.0	-0.59
25.5	-0.5	25.0	-0.24	25.0	-0.5	24.5	-0.25
25.0	-0.1	24.5	0.10	24.5	-0.2	24.0	0.08
24.5	0.2	24.0	0.43	24.0	0.2	23.5	0.42
24.0	0.5	23.5	0.77	23.5	0.5	23.0	0.74
23.5	0.9	23.0	1.09	23.0	0.8	22.5	1.07
Emme. IOL: 24.79		Emme. IOL: 24.64		Emme. IOL: 24.26		Emme. IOL: 24.12	

Obrázek č. 16 – Data z IOL Masteru [vlastní zdroj]

Získaná data byla zadána do online kalkulátoru ASCRS po hypermetropickém zákroku. Do online kalkulátoru byla dosazována refrakce před PRK, refrakce 1 až 2 roky po PRK a data z IOL Masteru (K1, K2, AL, ACD, A-const(SRK/T), SF(Holladay1), Haigis a0, Haigis a1, Haigis a2). Hodnota IOL byla vypočtena podle následujících šesti vzorců: Masket Formula, Modified Masket, Haigis-L, Shammas, Barrett True K No History a Barret True K.

IOL Calculator for Eyes with Prior Hyperopic LASIK/PRK
(Your data will not be saved. Please print a copy for your record.)

Please enter all data available and press "Calculate"

Doctor Name Patient Name Patient ID
Eye IOL Model Target Ref(D)

Pre-LASIK/PRK Data:

Refraction* Sph(D) Cyl(D) Vertex (if empty, 12.5 mm will be used)
Keratometry K1(D) K2(D)

Post-LASIK/PRK Data:

Refraction* Sph(D) Cyl(D) Vertex (if empty, 12.5 mm will be used)
Topography EysSys EFRP
Atlas 0mm 1mm 2mm 3mm
OCT (RTVue or Avanti XR) Net Corneal Power Posterior Corneal Power Central Corneal Thickness

Optical/Ultrasound Biometric Data:

Ks** K1(D) K2(D) Device Keratometric Index (n) 1.3375 1.332 Other
AL(mm) ACD(mm) Lens Thick (mm) WTW (mm)

Lens Constants*** A-const(SRK/T) SF(Holladay1)
Haigis a0 (if empty, converted value is used) Haigis a1 (if empty, 0.4 is used) Haigis a2 (if empty, 0.1 is used)

*If entering "Sph(D)", you must enter a value for "Cyl(D)", even if it is zero.
**Not manual/SimKs from other devices.
***Enter the constant available; the other will be calculated. If ultrasonic AL is entered, be sure to use your ultrasound lens constants. It is preferable to use optimized a0, a1, and a2 Haigis constants.

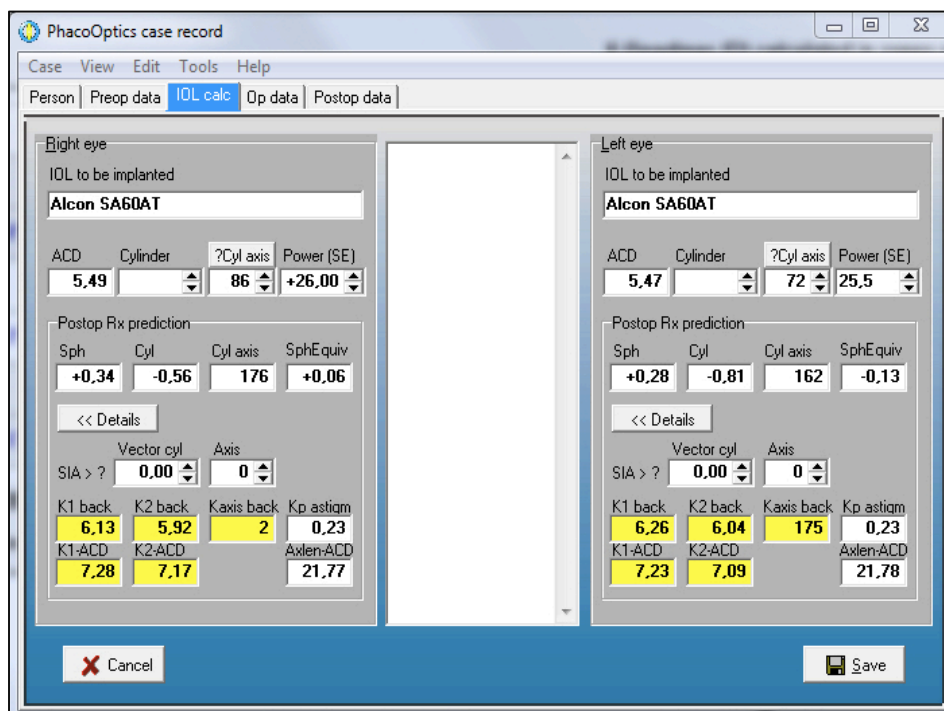
Calculate Reset Form

Obrázek č. 17 – Kalkulátor pro výpočet IOL po hypermetropickém refrakčním zákroku [36]

IOL Powers Calculated Using Double-K Holladay ¹ , Shammas-PL ² , Haigis-L ³ , OCT-based ⁴ , & Barrett True K ⁵			
Using Δ MR		Using no prior data	
¹ Adjusted EffRP	--	² Shammas	20.15 D
¹ Adjusted Atlas 0-3	--	³ Haigis-L	19.70 D
Masket Formula	19.93 D	⁴ OCT	--
Modified-Masket	19.59 D	⁵ Barrett True K No History	19.86 D
⁵ Barrett True K	19.90 D		
Average IOL Power:		19.86 D	
Min:		19.59 D	
Max:		20.15 D	

Obrázek č. 18 – Hodnota IOL podle vzorců ASCRS [36]

Dále byla stanovena hodnota IOL pomocí programu PhacoOptics, který byl nainstalován jako externí software do přístroje Pentacam. Hodnota IOL byla počítána pro konkrétní implantovanou IOL; pokud nebyla daná IOL v databázi programu, bylo kalkulováno s čočkou Alcon SA60AT. Program PhacoOptics čerpal keratometrická data přímo z Pentacamu. Biometrická data (AL, ACD) byla použita z přístroje IOL Master. Tloušťka (naturální) čočky byla vkládána jako konstantní hodnota 4,5 mm.



Obrázek č. 19 – Hodnota IOL podle programu PhacoOptics [vlastní zdroj]

7.3.5 Stanovení optimální hodnoty IOL

Aby mohla být určena optimální hodnota IOL, musel být stanoven vztah mezi IOL a refrakcí pacienta. IOL o hodnotě 1 D odpovídá hodnotě 0,7 D v refrakci pacienta. [37]

$$1,0 D_{IOL} = 0,7 D_{refrakce} \quad (25)$$

Optimální hodnota IOL byla stanovena vždy pro dvě různé hodnoty pooperační refrakce: objektivní (dle autorefraktometru) a subjektivní (dle defokusační křivky). Optimální hodnota IOL byla vypočtena podle následujícího vztahu:

$$IOL_{optimální} = IOL_{implantovaná} + \left(\frac{refrakce}{0,7} \right) \quad (26)$$

$IOL_{optimální}$ – hodnota optimální IOL, $IOL_{implantovaná}$ – hodnota implantované IOL, $refrakce$ – sférický ekvivalent pooperační refrakce

7.3.6 Určení chyby

Po vypočtení optimální hodnoty IOL (na základě objektivní i subjektivní pooperační refrakce) následovalo porovnání s hodnotou IOL, která byla vypočtena pomocí zmíněných kalkulátorů. Velikost chyby byla vypočtena podle následujícího vztahu:

$$Chyba\ vzorce = (IOL_{optimální} - IOL_{vypočtená}) \cdot 0,7 \quad (27)$$

$IOL_{optimální}$ – hodnota optimální IOL, $IOL_{vypočtená}$ – hodnota IOL dle kalkulátoru

7.4 Zpracování výsledků

Naměřené výsledky byly zpracovány formou tabulek a grafů. Data byla následně statisticky vyhodnocena (průměr, směrodatná odchylka, minimální a maximální hodnota, absolutní a relativní četnost). Na základě statistických údajů bylo stanoveno, které výpočtové metody vedly k nejpřesnějším výsledkům.

8. Výsledky

Tabulka č. 4 obsahuje získaná a naměřená data jednotlivých pacientů. V tabulce jsou uvedena data o refrakční operaci PRK, data před operací katarakty, data z IOL Masteru a Pentacamu. U pacienta č. 24 chybí počet odebraných dioptrií, avšak znalost refrakce oka před laserovou operací a refrakce 1 až 2 roky po operaci je dostačující. U 11 očí nebylo možné změřit hloubku přední komory (ACD), tak data byla doplněna podle ACD druhého oka (ACD*) či dle naměřených dat z Pentacamu (ACD**).

Tabulka č. 5 obsahuje hodnoty IOL dle různých výpočtových vzorců a metod – z kalkulátoru integrovaného v IOL Masteru (SRK/T a Haigis), z online kalkulátoru ASCRS (Masket, Modified Masket, Haigis-L, Shammas, Barret True K No History a Barret True K) a z kalkulátoru PhacoOptics. U 15 očí chybí hodnoty u vzorce Haigis z důvodu, že IOL Master nezměřil hloubku přední komory pomocí. Tabulka dále obsahuje hodnotu a typ implantované IOL, refrakci po operaci katarakty podle autorefraktometru (ARK) a podle defokusační křivky a jim odpovídající sférické ekvivalenty (SE). V tabulce jsou uvedeny optimální hodnoty IOL vypočítané na základě sférického ekvivalentu podle ARK a podle defokusační křivky pacienta.

Tabulka č. 6 obsahuje chybu výpočtu jednotlivých vzorců podle ARK a defokusační křivky. Přesnost jednotlivých výpočtových vzorců byla porovnána s optimální hodnotou IOL podle ARK a defokusační křivky pacientů po operaci katarakty.

Tabulka č. 4 – Přehled naměřených dat I

PACIENT	REFRAKČNÍ OPERACE			KONTROLA PŘED OPERACÍ KATARAKTY		DATA Z IOL MASTERU										DATA Z PENTACAMU			
	odstranění dioptrie	refrakce před laserem	refrakce 1-2 roky po laseru	refrakce dle ARK	vrchol def. k.	K1	K2	Ona	AL	ACD	A-const. (SRK/T)	SF1 (HoL1)	Haigis a0	Haigis a1	Haigis a2	K1 Cornea Front	K2 Cornea Front	K1 Cornea Back	K2 Cornea Back
PACIENT č. 1 OP	+4,25	+3,75	+1,25/+0,75/7	+4,00/-0,25/66	-	46,23	46,55	172	21,77	3,19	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	46,3	47,1	-6,50	-6,80
PACIENT č. 1 OL	+4,00	+4,00	+1,75	+3,25/-0,50/133	-	46,75	47,27	159	21,78	3,18	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	46,7	47,6	-6,40	-6,60
PACIENT č. 2 OP	+7,50	+8,00/+1,0/90	+3,00/+2,50/92	+6,50/-1,0/14	-	47,87	48,98	15	20,27	2,76	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	46,7	48,2	-6,30	-7,20
PACIENT č. 2 OL	+6,50	+8,00/+1,5/80	+1,75/+2,50/72	+6,25/-2,0/160	-	48,15	50,45	172	20,10	2,66	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	43,8	48,1	-6,10	-6,60
PACIENT č. 3 OP	8,00	+10,00	+2,25/3,00/178	+7,00/-2,25/166	-	49,34	53,49	163	19,52	3,04*	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	47,8	48,9	-6,00	-6,30
PACIENT č. 3 OL	+8,00	+10,00/+1,0/95	+2,25/4,00/175	-	-	50,90	53,49	176	19,16	3,04	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	48,4	50,3	-6,10	-6,50
PACIENT č. 4 OL	+1,75	+2,00	0,00	-6,75/-0,25/108	0,7 s -7,00	46,42	48,28	130	22,62	3,39	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	47,2	47,6	-6,40	-6,60
PACIENT č. 5 OP	+4,00	+3,00	+0,75/-1,0/15	+2,25/-0,25/60	-	45,73	46,11	158	23,22	3,51	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,9	45,5	-6,00	-6,40
PACIENT č. 5 OL	+3,25	+3,00	+0,75/-2,0/176	+2,00/-0,50/171	-	45,06	46,04	4	23,08	3,51*	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,6	45,9	-6,10	-6,20
PACIENT č. 6 OP	+6,00/+1,0/10	+6,00/+1,00/10	+0,75/-1,0/?	+2,75/-0,50/100	-	48,70	49,34	165	21,49	2,85	119,1	1,85	-0,179	0,189	0,197	47,4	47,9	-6,40	-6,70
PACIENT č. 6 OL	+4,50/+1,0/160	+4,5/+1,00/160	+1,00/-0,50/?	+3,50/-0,75/74	-	47,54	47,67	62	21,76	3,14	119,1	1,85	-0,179	0,189	0,197	45,8	46,5	-6,20	-6,50
PACIENT č. 7 OP	+2,75	+2,75	+1,0/-0,50/18	+2,75/-1,75/38	-	44,94	47,01	23	21,70	2,75	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	44,8	46,2	-6,30	-6,90
PACIENT č. 8 OL	+6,00	+4,00	+0,50/-0,75/23	+3,25/-0,50/83	-	47,07	47,27	159	21,44	2,54	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	45,1	45,8	-6,20	-6,30
PACIENT č. 9 OP	+3,00	+2,75/+0,50/160	+0,75	+0,00/-1,00/79	0,5 s +2,00	44,64	45,24	156	22,99	2,53	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	43,8	44,3	-6,30	-6,80
PACIENT č. 9 OL	+3,50	+2,75	+0,50	+0,50/-1,00/107	0,3 s +2,00	45,55	46,75	165	22,72	2,60	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,8	45,6	-6,40	-6,90
PACIENT č. 10 OP	+6,60/+0,50/15	+7,00/-0,50/107	-0,50	+3,00/-0,50/76	0,9 s +1,00	49,71	50,37	8	20,05	2,43**	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	49,0	49,7	-6,50	-6,80
PACIENT č. 11 OP	+5,00/+3,00/60	+5,00/+3,50/60	+0,50/-4,25/171	+9,00/-6,25/156	-	42,13	49,06	166	21,33	2,70	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	43,6	48,2	-5,60	-7,00
PACIENT č. 11 OL	+5,00/+1,50/170	+5,00/+1,5/170	+0,75/+1,00/138	+5,75/-1,50/50	0,6 s +2,00	45,79	47,20	22	21,70	3,03	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	46,2	46,9	-6,20	-6,70
PACIENT č. 12 OP	+4,25	+3,25	+1,00	-	-	44,44	44,70	97	22,63	2,69	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	-	-	-	-
PACIENT č. 12 OL	+2,50	+2,00	+0,25/-0,50/130	-0,50/-1,75/136	-	45,86	46,55	158	22,71	2,76	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	45,7	46,3	-6,00	-6,50
PACIENT č. 13 OP	+10,00	-	-	+6,00/-1,75/108	-	47,01	48,35	126	19,62	2,18	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	46,3	47,9	-6,30	-6,70
PACIENT č. 13 OL	+10,00	-	-	+5,75/-2,25/81	-	47,34	49,56	101	19,45	2,18*	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	47,3	48,0	-6,50	-6,60
PACIENT č. 14 OP	+2,50/+0,50/165	+2,50/+0,50/165	-0,25	-3,00	-	46,55	47,40	170	22,81	3,34	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	45,5	46,6	-6,00	-6,20
PACIENT č. 14 OL	+2,25/+0,25/180	+2,25/+0,50/180	-0,25	-1,25/-0,75/112	-	46,49	47,54	152	22,72	2,73	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	45,9	46,7	-6,10	-6,40
PACIENT č. 15 OP	+5,25/+2,25/15	+5,25/+2,25/15	+2,00/-0,75/79	+0,25/-2,00/97	-	47,20	47,80	11	20,83	2,36	118,4	1,40	0,980	0,400	0,100	46,0	48,1	-6,10	-6,40
PACIENT č. 15 OL	+6,25/+1,75/155	+6,25/+2,25/155	+2,25/-1,75/28	+6,50/-1,75/43	-	46,62	48,21	21	20,64	2,47	118,4	1,40	0,980	0,400	0,100	45,7	47,6	-5,90	-6,30
PACIENT č. 16 OP	+2,75/-2,25/10	+2,75/-2,25/10	+0,75/+1,25/88	+1,75/-2,00/165	0,7 s 0 až -1,00	43,72	46,49	171	23,18	2,73*	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	43,4	45,8	-5,70	-6,20
PACIENT č. 16 OL	+2,00	+2,50/+0,75/45	+1,25/+0,50/53	+2,25/-1,50/149	0,6 s 0,00	44,82	46,49	174	22,76	2,73	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,5	45,9	-5,90	-6,20
PACIENT č. 17 OL	+5,75	+5,75/+2,50/85	+1,00/-1,50/74	+7,00/-0,75/109	-	42,94	44,70	157	21,62	3,26**	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,2	45,3	-5,80	-6,40
PACIENT č. 18 OP	+8,00	-	-	+8,50/-1,25/15	0,8 s +5,0	44,94	47,87	6	20,08	2,93	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,9	46,4	-6,00	-6,50
PACIENT č. 18 OL	+8,00	-	-	+6,75/-0,75/68	0,8 s +5,0	48,98	49,49	168	19,61	3,06	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	47,0	48,5	-6,20	-6,60
PACIENT č. 19 OP	+2,75/-0,50/109	+2,50/+0,50/10	-2,00/-0,75/113	-3,00/-2,75/91	-	45,24	46,11	114	23,03	3,35	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	41,1	41,8	-5,70	-6,20
PACIENT č. 19 OL	+2,50/+0,50/165	+2,50/+0,50/165	-3,50/-1,00/133	-3,00/-1,00/67	-	46,17	46,81	3	23,06	4,42	188,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	39,3	41,4	-5,20	-6,00
PACIENT č. 20 OP	+7,00/+1,00/90	+9,00/+1,00/75	+3,00/+1,25/84	+7,00/-1,25/158	-	46,30	48,56	179	19,86	2,77**	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	46,9	47,2	-6,00	-6,30
PACIENT č. 20 OL	+7,00/+1,00/90	+10,00	+2,75/+1,75/85	+7,75/-0,75/22	-	45,98	47,80	0	19,97	2,77**	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	45,4	47	-6,00	-6,40
PACIENT č. 21 OP	+3,00/+1,75/85	+2,75/+1,75/85	+1,25/+1,00/93	-	-	44,12	46,11	10	21,92	2,66	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,0	46,1	-6,10	-6,50
PACIENT č. 21 OL	+4,00/+1,00/80	+2,75/+1,50/80	+0,50/+0,50/84	-	-	44,23	45,67	178	22,29	2,50	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	44,0	45,4	-6,10	-6,60
PACIENT č. 22 OL	+2,00/+0,50/175	+1,75/+0,75/175	-0,75/-0,50/165	-4,00	0,5 s -3,00	45,92	47,34	173	22,25	2,78	118,8	1,67	-0,111	0,249	0,179	45,2	45,7	-6,30	-6,30
PACIENT č. 22 OP	+6,50	+6,00	+0,50	+3,50/-0,75/123	1,0 s +3,50	49,41	50,22	15	20,57	2,82*	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	48,4	49,0	-6,40	-6,70
PACIENT č. 23 OL	+7,50	+7,00	+0,50/-0,75/180	+4,50/-0,75/142	0,5 s +4,50	48,91	51,06	155	20,02	2,82	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	48,0	49,7	-6,40	-6,90
PACIENT č. 24 OP	-	+3,25/-1,25/142	+4,75/+0,75/50	-	-	43,43	44,77	?	21,45	2,94**	118,8	není	-0,111	0,249	0,179	43,6	45,0	-5,90	-6,10
PACIENT č. 24 OL	-	+0,50/-2,75/30	+4,75/+1,25/140	-	-	43,45	44,76	?	21,38	2,96**	118,8	není	-0,111	0,249	0,179	43,2	44,5	-5,80	-5,90
PACIENT č. 25 OP	+1,5/+0,5/120	+1,5/+0,5/120	+0,75/-1,50/91	+2,25/-1,25/88	-	46,68	47,14	72	21,41	2,4	118,9	1,73	-2,135	0,263	0,267	46,2	46,5	-6,40	-6,70

Tabulka č. 5 – Přehled naměřených hodnot II

PACIENT	KALKULACE IOL MASTER		KALKULACE ASCRS						KALKULACE PHACOPTICS		IMPLANTOVANÁ IOL		REFRAKCE PO OPERACI KATARAKTY				OPTIMÁLNÍ HODNOTA IOL	
	SRK-T	Hatigh	Market Formula	Modified Market	Hatigh-L	Shammas	Barrett True K No History	Barrett True K	Kalkulovaná IOL	Zbytková refrakce	IOL hodnota	IOL typ	refrakce ARK	SE dle ARK	vrchol dekoncentrační křivky	SE dle dekoncentrační křivky	dle ARK	dle deřk.
PACIENT č. 1 OP	24,0	23,5	23,06	22,73	23,39	23,48	23,08	23,19	26,00	0,06	23,50	SA60AT	+0,75/-0,75/142	+0,375	0,8 x -1,0	-1,00	24,04	22,07
PACIENT č. 1 OL	23,0	23,0	22,22	21,88	22,57	22,50	22,17	22,33	25,50	-0,13	23,00	SA60AT	0,00	0,00	1,0 -1,0	-1,00	23,00	21,57
PACIENT č. 2 OP	27,5	27,0	25,91	25,27	27,25	27,23	26,81	26,57	28,00	-0,03	27,50	AAB00	-1,75/-0,50/47	-2,00	0,8 x -2,0	-2,00	24,64	24,64
PACIENT č. 2 OL	27,5	27,0	24,87	24,04	27,03	26,74	26,39	25,93	28,00	-0,02	27,50	AAB00	0,25/-2,00/147	-1,25	0,6 x -3,0	-3,00	25,71	23,21
PACIENT č. 3 OP	28,5	-	23,46	22,19	27,19	26,65	26,42	25,44	33,00	-0,11	28,50	AAB00	2,50/-2,50/171	+1,25	0,5 x -3,0	-3,00	30,29	24,21
PACIENT č. 3 OL	29,5	27,0	23,77	22,37	28,08	27,42	27,25	26,13	33,50	0,13	28,50	AAB00	+1,25/-2,00/35	+0,25	0,3 x 0 a -1,0	-1,00	28,86	27,07
PACIENT č. 4 OL	20,0	19,0	18,88	18,58	18,95	18,72	18,94	19,30	20,00	-0,07	20,00	AAB00	0,25/-0,25/114	0,375	1,2 x 0,0	0,00	20,54	20,00
PACIENT č. 5 OP	19,5	19,0	18,28	17,89	18,65	18,63	18,79	18,61	20,00	0,04	19,50	AAB00	+0,50/-0,75/13	+0,125	1,0 x 0,0	0,00	19,68	19,50
PACIENT č. 5 OL	20,5	-	19,07	18,62	19,65	19,70	19,56	19,04	21,00	-0,01	21,50	AAB00	0,50/-0,75/170	-0,875	1,0 x -1,0	-1,00	20,25	20,07
PACIENT č. 6 OP	22,5	21,5	19,66	18,82	21,54	21,05	20,73	19,76	23,50	-0,14	22,50	SA60AT	0,25/-0,50/10	0,00	1,2 x 0,0	0,00	22,50	22,50
PACIENT č. 6 OL	23,0	22,5	21,29	20,70	22,20	22,07	21,74	21,20	24,50	-0,14	23,50	SA60AT	0,00	0,00	1,2 x -0,50	-0,50	23,50	22,79
PACIENT č. 7 OP	24,5	24,5	23,89	23,58	23,98	24,39	23,74	23,84	-	-	25,00	SA60AT	+0,75/-0,75/82	+0,375	-	-	25,54	-
PACIENT č. 8 OL	24,5	23,5	22,83	22,30	23,42	23,71	23,06	22,85	26,50	-0,05	24,00	SA60AT	+1,75/-1,50/86	+1,00	-	-	25,43	-
PACIENT č. 9 OP	21,5	20,5	20,46	20,12	20,29	20,95	20,50	20,29	21,50	-0,01	21,00	AAB00	0,00/-0,50/144	-0,25	1,0 x -0,50	-0,50	20,64	20,29
PACIENT č. 9 OL	21,0	20,0	20,55	20,21	20,37	20,91	20,53	20,46	21,50	-0,13	22,50	AAB00	-1,00	-1,00	1,0 x -1,00	-1,00	21,07	21,07
PACIENT č. 10 OP	27,5	-	23,82	22,87	25,66	26,01	25,63	25,02	26,50	-0,06	26,50	AAB00	0,50/-1,00/171	0,00	0,9 x -1,00	-1,00	26,50	25,07
PACIENT č. 11 OP	26,5	26,5	23,55	22,47	26,27	26,56	25,90	24,76	26,00	-0,06	26,50	AAB00	+0,25/-2,75/44	-1,125	5 x -1,0 až -0,1	-0,75	24,89	25,43
PACIENT č. 11 OL	24,0	24,0	22,34	21,72	23,47	23,61	23,15	22,41	23,50	-0,04	24,00	AAB00	0,25/-0,25/180	0,375	0,8 x -1,00	-1,00	24,54	22,57
PACIENT č. 12 OP	-	-	20,44	19,82	21,15	21,76	23,17	22,46	-	-	21,50	SOFTEC 1	-1,00/-1,00/77	-1,50	1,0 x -1,50	-1,50	19,36	19,36
PACIENT č. 12 OL	21,0	20,0	19,99	19,69	19,74	20,11	19,90	20,07	20,50	0,08	21,00	AAB00	0,75/-0,50/120	-1,25	1,0 x -1,50	-1,50	19,21	18,86
PACIENT č. 13 OP	31,5	30,0	27,94	26,59	29,92	31,92	31,82	30,49	32,00	-0,13	30,00	SA60AT	+1,00/-0,75/71	0,625	0,7 x +3,00	+3,00	30,89	34,29
PACIENT č. 13 OL	31,5	-	27,81	26,45	29,85	31,67	31,61	30,28	31,50	-0,10	31,00	SA60AT	-0,50/-2,00/87	-1,50	0,5 x +3,00	+3,00	28,86	35,29
PACIENT č. 14 OP	19,5	19,0	18,32	17,90	18,68	18,56	18,74	18,65	20,50	0,06	19,00	AAB00	0,75/-0,50/121	+0,50	0,9 x -0,50	-0,50	19,71	18,29
PACIENT č. 14 OL	20,0	19,0	18,60	18,18	18,67	18,84	18,75	18,67	20,50	-0,16	19,00	AAB00	0,25/-1,00/111	-0,25	1,0 x -2,0	-2,00	18,64	16,14
PACIENT č. 15 OP	25,5	25,0	23,83	23,16	25,01	25,33	24,95	24,59	26,50	0,09	25,00	ASPHINA 40	0,25/-1,25/67	-0,375	-	-	24,46	-
PACIENT č. 15 OL	26,5	26,5	24,24	23,41	26,10	26,32	25,98	25,36	28,00	-0,16	26,00	ASPHINA 40	0,75/-0,50/120	-1,00	-	-	24,57	-
PACIENT č. 16 OP	20,5	-	20,28	20,18	19,56	20,00	19,82	20,50	21,50	-0,01	20,00	AAB00	1,50/-1,50/15	+0,75	0,8 x +1,50	+1,50	21,07	22,14
PACIENT č. 16 OL	21,5	20,5	20,69	20,45	20,27	20,75	20,44	20,74	21,50	-0,09	21,00	AAB00	0,25/-1,25/16	-0,375	0,9 x -0,50	-0,50	20,46	20,29
PACIENT č. 17 OL	27,0	-	25,15	24,24	27,27	28,09	27,28	26,22	28,50	-0,07	26,00	AAB00	1,75/-1,25/13	+1,125	0,5 x +2,00	+1,50	27,61	28,14
PACIENT č. 18 OP	30,5	30,5	28,11	27,04	30,03	31,44	31,03	29,94	33,00	-0,01	29,50	AAB00	+2,50/-2,00/12	+1,50	0,8 x 0,00	0,00	31,64	29,50
PACIENT č. 18 OL	-	-	26,74	25,67	28,96	29,58	29,24	28,39	33,50	0,15	28,00	AAB00	0,75/-0,75/111	0,375	0,7 x 0,00	0,00	28,54	28,00
PACIENT č. 19 OP	20,0	-	18,38	17,73	19,49	18,74	18,72	17,61	21,00	-0,04	22,50	ASPHINA 40	3,50/-1,25/104	-4,125	0,7 x -5,00	-5,00	16,61	15,36
PACIENT č. 19 OL	19,5	-	16,77	15,95	18,79	18,26	18,84	17,44	20,00	0,13	19,50	ASPHINA 40	-2,25/-0,75/91	-2,625	1,0 x -2,5	-2,50	15,75	15,93
PACIENT č. 20 OP	-	-	28,55	27,69	29,64	31,03	30,70	30,03	32,00	0,10	28,00	SA60AT	-0,75/-1,75/75	-1,625	0,4 x -2,00	-2,00	25,68	25,14
PACIENT č. 20 OL	-	-	28,46	27,53	29,77	31,28	30,92	30,11	32,50	0,17	26,50	SA60AT	2,25/-2,00/10	+1,25	0,6 x +0,50	+0,50	28,29	27,21
PACIENT č. 21 OP	25,0	24,5	24,25	23,95	24,01	24,90	24,13	24,08	24,50	-0,14	24,50	AAB00	+0,50/-1,25/8	-0,125	1,0 x -0,50	-0,50	24,32	23,79
PACIENT č. 21 OL	23,5	23,0	22,77	22,37	22,76	23,64	22,90	22,59	23,50	-0,13	23,50	AAB00	+0,25/-1,00/1	-0,25	1,0 x -1,00	-1,00	23,14	22,07
PACIENT č. 22 OL	22,0	21,5	20,66	20,23	20,96	21,15	20,71	20,53	23,50	-0,15	22,00	AAB00	-0,25/-0,75/17	-0,625	0,7 x -0,50	-0,50	21,11	21,29
PACIENT č. 22 OP	25,5	23,5	22,40	21,66	23,92	23,78	23,70	22,95	25,50	0,07	23,50	AAB00	1,25/-0,25/154	1,125	1,2 x 0,0	0,00	25,11	23,50
PACIENT č. 23 OL	27,5	-	24,15	23,23	26,15	26,25	25,88	25,32	27,00	0,15	27,50	AAB00	0,75/-1,75/13	-0,125	0,5 x -0,50	-0,75	27,32	26,43
PACIENT č. 24 OP	29,5	-	27,81	28,05	26,59	27,17	28,60	29,95	29,00	-0,14	26,00	AR40c	+1,75	+1,75	0,2 x +2,00	+2,00	28,50	28,86
PACIENT č. 24 OL	29	-	29,34	30,02	26,89	27,47	28,91	31,93	28,50	0,15	26,50	AR40c	+1,75	+1,75	1,0 x 0,00	0,00	29,00	26,50
PACIENT č. 25 OP	25	24	24,16	23,89	23,53	24,38	23,72	24,03	24,50	-0,09	24,50	AAB00	-0,75/-0,50/78	-1,00	0,6 x -1,0	-1,00	23,07	23,07

Tabulka č. 6 – Přehled naměřených dat III

PACIENT	Chyba ve výpočtu IOL - SRK-T (IOL Master)		Chyba ve výpočtu IOL - Haigis (IOL Master)		Chyba ve výpočtu IOL - Masket Formula (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - Modified Masket (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - Haigis - L (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - Shammas (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - Barret True K No History (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - Barret True K (ACRS)		Chyba ve výpočtu IOL - PhacoOptics	
	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.	dle ARK	dle def. k.
PACIENT č. 1 OP	0,02	-1,35	0,37	-1,00	0,68	-0,69	0,91	-0,46	0,45	-0,92	0,39	-0,99	0,67	-0,71	0,59	-0,78	-1,38	-2,75
PACIENT č. 1 OL	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,55	-0,45	0,78	-0,22	0,30	-0,70	0,35	-0,65	0,58	-0,42	0,47	-0,53	-1,75	-2,75
PACIENT č. 2 OP	-2,00	-2,00	-1,65	-1,65	-0,89	-0,89	-0,44	-0,44	-1,83	-1,83	-1,81	-1,81	-1,52	-1,52	-1,35	-1,35	-2,35	-2,35
PACIENT č. 2 OL	-1,25	-3,00	-0,90	-2,65	0,59	-1,16	1,17	-0,58	-0,92	-2,67	-0,72	-2,47	-0,47	-2,22	-0,15	-1,90	-1,60	-3,35
PACIENT č. 3 OP	1,25	-3,00	-	-	4,78	0,53	5,67	1,42	2,17	-2,08	2,55	-1,71	2,71	-1,54	3,39	-0,86	-1,90	-6,15
PACIENT č. 3 OL	-0,45	-1,70	1,30	0,05	3,56	2,31	4,54	3,29	0,54	-0,71	1,01	-0,24	1,13	-0,12	1,91	0,66	-3,25	-4,50
PACIENT č. 4 OL	0,37	0,00	1,08	0,70	1,16	0,78	1,37	0,99	1,11	0,74	1,27	0,90	1,12	0,74	0,86	0,49	0,37	0,00
PACIENT č. 5 OP	0,12	0,00	0,47	0,35	0,98	0,85	1,25	1,13	0,72	0,60	0,73	0,61	0,62	0,50	0,75	0,62	-0,23	-0,35
PACIENT č. 5 OL	-0,18	-0,30	-	-	0,83	0,70	1,14	1,02	0,42	0,30	0,39	0,26	0,48	0,36	0,85	0,72	-0,53	-0,65
PACIENT č. 6 OP	0,00	0,00	0,70	0,70	1,99	1,99	2,58	2,58	0,67	0,67	1,02	1,02	1,24	1,24	1,92	1,92	-0,70	-0,70
PACIENT č. 6 OL	0,35	-0,15	0,70	0,20	1,55	1,05	1,96	1,46	0,91	0,41	1,00	0,50	1,23	0,73	1,61	1,11	-0,70	-1,20
PACIENT č. 7 OP	0,72	-	0,72	-	1,15	-	1,37	-	1,09	-	0,80	-	1,26	-	1,19	-	-	-
PACIENT č. 8 OL	0,65	-	1,35	-	1,82	-	2,19	-	1,41	-	1,20	-	1,66	-	1,81	-	-0,75	-
PACIENT č. 9 OP	-0,60	-0,85	0,10	-0,15	0,13	-0,12	0,37	0,12	0,25	0,00	-0,22	-0,47	0,10	-0,15	0,25	0,00	-0,60	-0,85
PACIENT č. 9 OL	0,05	0,05	0,75	0,75	0,37	0,37	0,60	0,60	0,49	0,49	0,11	0,11	0,38	0,38	0,43	0,43	-0,30	-0,30
PACIENT č. 10 OP	-0,70	-1,70	-	chyba ACD	1,88	0,88	2,54	1,54	0,59	-0,41	0,34	-0,66	0,61	-0,39	1,04	0,04	0,00	-1,00
PACIENT č. 11 OL	-1,13	-0,75	-1,13	-0,75	0,94	1,32	1,70	2,07	-0,96	-0,59	-1,17	-0,79	-0,70	-0,33	0,09	0,47	-0,78	-0,40
PACIENT č. 11 OL	0,37	-1,00	0,37	-1,00	1,54	0,16	1,97	0,60	0,75	-0,63	0,65	-0,73	0,97	-0,40	1,49	0,11	0,72	-0,65
PACIENT č. 12 OP	-	-	-	-	-0,76	-0,76	-0,32	-0,32	-1,26	-1,26	-1,68	-1,68	-2,67	-2,67	-2,17	-2,17	-	-
PACIENT č. 12 OL	-1,25	-1,50	-0,55	-0,80	-0,54	-0,79	-0,33	-0,58	-0,37	-0,62	-0,63	-0,88	-0,48	-0,73	-0,60	-0,85	-0,90	-1,15
PACIENT č. 13 OP	-0,43	1,95	0,63	3,00	2,07	4,44	3,01	5,39	0,68	3,06	-0,72	1,66	-0,65	1,73	0,28	2,66	-0,78	1,60
PACIENT č. 13 OL	-1,85	2,65	-	-	0,73	5,23	1,69	6,19	-0,70	3,81	-1,97	2,53	-1,93	2,57	-1,00	3,50	-1,85	2,65
PACIENT č. 14 OP	0,15	-0,85	0,50	-0,50	0,98	-0,02	1,27	0,27	0,72	-0,28	0,81	-0,19	0,68	-0,32	0,75	-0,26	-0,55	-1,55
PACIENT č. 14 OL	-0,95	-2,70	-0,25	-2,00	0,03	-1,72	0,32	-1,43	-0,02	-1,77	-0,14	-1,89	-0,08	-1,83	-0,02	-1,77	-1,30	-3,05
PACIENT č. 15 OP	-0,72	-	-0,37	-	0,44	-	0,91	-	-0,38	-	-0,61	-	-0,34	-	-0,09	-	-1,43	-
PACIENT č. 15 OL	-1,35	-	-1,35	-	0,23	-	0,81	-	-1,07	-	-1,22	-	-0,99	-	-0,55	-	-2,40	-
PACIENT č. 16 OP	0,40	1,15	-	-	0,55	1,30	0,62	1,37	1,06	1,81	0,75	1,50	0,88	1,63	0,40	1,15	-0,30	0,45
PACIENT č. 16 OL	-0,72	-0,85	-0,02	-0,15	-0,16	-0,28	0,01	-0,12	0,14	0,01	-0,20	-0,33	0,02	-0,11	-0,19	-0,32	-0,72	-0,85
PACIENT č. 17 OL	0,43	0,80	-	-	1,72	2,10	2,36	2,73	0,24	0,61	-0,34	0,04	0,23	0,60	0,97	1,35	-0,63	-0,25
PACIENT č. 18 OP	0,80	-0,70	0,80	-0,70	2,47	0,97	3,22	1,72	1,13	-0,37	0,14	-1,36	0,43	-1,07	1,19	-0,31	-0,95	-2,45
PACIENT č. 18 OL	-	-	-	-	1,26	0,88	2,01	1,63	-0,30	-0,67	-0,73	-1,11	-0,49	-0,87	0,10	-0,27	-3,48	-3,85
PACIENT č. 19 OP	-2,38	-3,25	-	-	-1,24	-2,12	-0,79	-1,66	-2,02	-2,89	-1,49	-2,37	-1,48	-2,35	-0,70	-1,58	-3,08	-3,95
PACIENT č. 19 OL	-2,63	-2,50	-	-	-0,71	-0,59	-0,14	-0,01	-2,13	-2,00	-1,76	-1,63	-2,16	-2,04	-1,18	-1,06	-2,98	-2,85
PACIENT č. 20 OP	-	-	-	-	-2,01	-2,39	-1,41	-1,78	-2,77	-3,15	-3,75	-4,12	-3,52	-3,89	-3,05	-3,42	-4,43	-4,80
PACIENT č. 20 OL	-	-	-	-	-0,12	-0,87	0,53	-0,22	-1,04	-1,79	-2,10	-2,85	-1,84	-2,59	-1,28	-2,03	-2,95	-3,70
PACIENT č. 21 OP	-0,47	-0,85	-0,12	-0,50	0,05	-0,33	0,26	-0,12	0,22	-0,16	-0,40	-0,78	0,13	-0,24	0,17	-0,21	-0,12	-0,50
PACIENT č. 21 OL	-0,25	-1,00	0,10	-0,65	0,26	-0,49	0,54	-0,21	0,27	-0,48	-0,35	-1,10	0,17	-0,58	0,39	-0,36	-0,25	-1,00
PACIENT č. 22 OL	-0,63	-0,50	-0,28	-0,15	0,31	0,44	0,61	0,74	0,10	0,23	-0,03	0,10	0,28	0,40	0,40	0,53	-1,68	-1,55
PACIENT č. 22 OP	-0,28	-1,40	1,13	0,00	1,90	0,77	2,41	1,29	0,83	-0,29	0,93	-0,20	1,20	0,07	1,51	0,39	-0,28	-1,40
PACIENT č. 23 OL	-0,12	-0,75	-	-	2,22	1,60	2,86	2,24	0,82	0,20	0,75	0,12	1,01	0,38	1,40	0,78	0,23	-0,40
PACIENT č. 24 OP	-0,70	-0,45	-	-	0,48	0,73	0,32	0,57	1,34	1,59	0,93	1,18	-0,07	0,18	-1,02	-0,76	-0,35	-0,10
PACIENT č. 24 OL	0,00	-1,75	-	-	-0,24	-1,99	-0,71	-2,46	1,48	-0,27	1,07	-0,68	0,06	-1,69	-2,05	-3,80	0,35	-1,40
PACIENT č. 25 OP	-1,35	-1,35	-0,65	-0,65	-0,76	-0,76	-0,57	-0,57	-0,32	-0,32	-0,92	-0,92	-0,45	-0,45	-0,67	-0,67	-1,00	-1,00

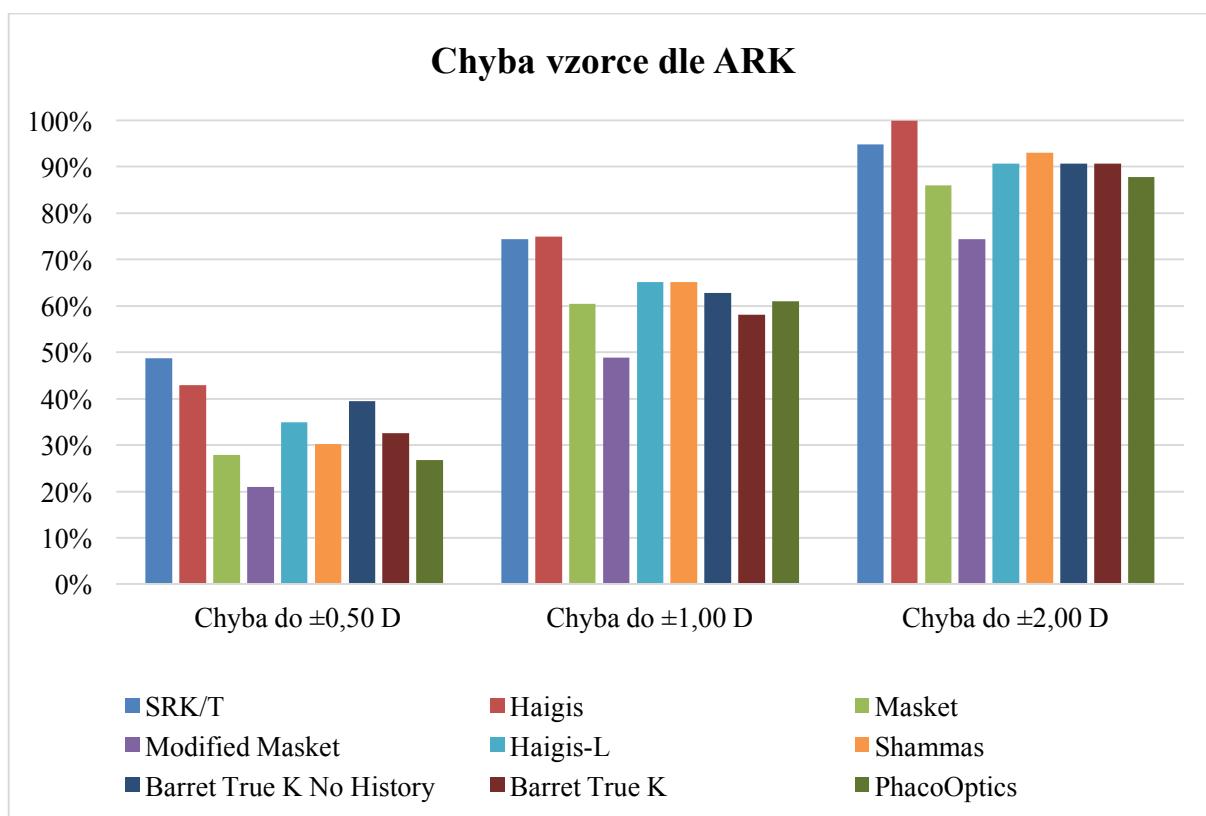
Tabulka č. 7 obsahuje statistické údaje pro jednotlivé vzorce dle ARK. Tabulka obsahuje počet očí, průměrnou chybu, směrodatnou odchylku, minimální a maximální chybu výpočtu pro jednotlivé vzorce. Tabulka dále obsahuje absolutní a relativní četnost chyb. Četnost chyb byla hodnocena pro odchylky do $\pm 0,50$ D, do $\pm 1,00$ D a do $\pm 2,00$ D.

Tabulka č. 7 – Chyba vzorce dle autorefraktometru – statistické údaje

CHYBA VZORCE dle ARK	SRK/T	Haigis	Masket	Modified Masket	Haigis-L	Shammas	Barret True K No History	Barret True K	PhacoOptics
Počet očí	39	28	43	43	43	43	43	43	41
Průměr	-0,43	0,14	0,76	1,19	0,11	-0,13	0,00	0,24	-1,16
Směrodatná odchylka	0,87	0,78	1,25	1,40	1,05	1,17	1,21	1,22	1,16
Minimální chyba	-2,63	-1,65	-2,01	-1,41	-2,77	-3,75	-3,52	-3,05	-4,43
Maximální chyba	1,25	1,35	4,78	5,67	2,17	2,55	2,71	3,39	0,72
Absolutní četnost chyb									
Chyba do $\pm 0,50$ D	19	12	12	9	15	13	17	14	11
Chyba do $\pm 1,00$ D	29	21	26	21	28	28	27	25	25
Chyba do $\pm 2,00$ D	37	28	37	32	39	40	39	39	36
Relativní četnost chyb									
Chyba do $\pm 0,50$ D	49%	43%	28%	21%	35%	30%	40%	33%	27%
Chyba do $\pm 1,00$ D	74%	75%	60%	49%	65%	65%	63%	58%	61%
Chyba do $\pm 2,00$ D	95%	100%	86%	74%	91%	93%	91%	91%	88%

Obrázek č. 20 obsahuje hodnoty relativní četnosti chyb pro jednotlivé vzorce dle ARK z tabulky č. 7. Ve sloupcovém grafu jsou vyneseny hodnoty relativní četnosti chyb pro odchylky do $\pm 0,50$ D, do $\pm 1,00$ D a do $\pm 2,00$ D. Podle relativní četnosti chyb dosahuje nejpřesnějších výsledků do $\pm 0,50$ D vzorec SRK/T, do $\pm 1,00$ D vzorec Haigis a do $\pm 2,00$ D vzorec Haigis.

Obrázek č. 20 – Chyba vzorce dle autorefraktometru



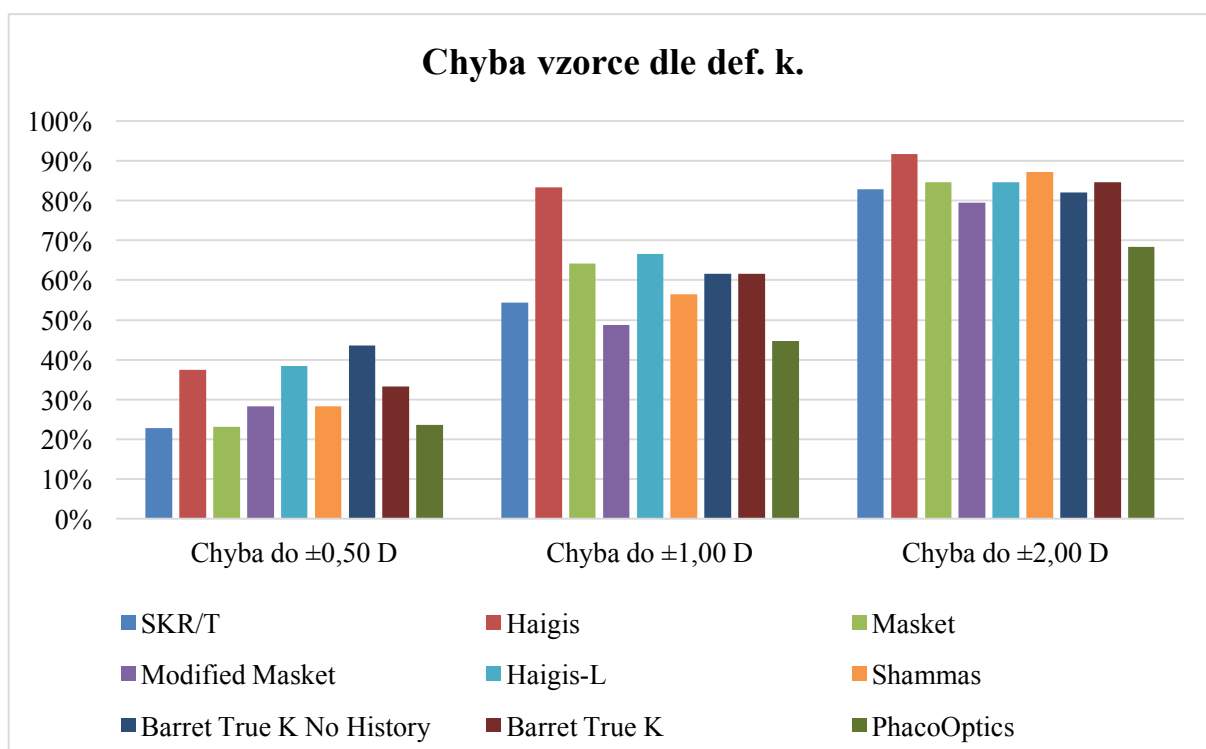
Tabulka č. 8 obsahuje statistické údaje pro jednotlivé vzorce dle defokusační křivky. Tabulka obsahuje počet očí, průměrnou chybu, směrodatnou odchylku, minimální a maximální chybu výpočtu pro jednotlivé vzorce. Tabulka dále obsahuje absolutní a relativní četnost chyb. Četnost chyb byla hodnocena pro odchylky do $\pm 0,50$ D, do $\pm 1,00$ D a do $\pm 2,00$ D.

Tabulka č. 8 – Chyba vzorce dle defokusační křivky – statistické údaje

CHYBA VE VÝPOČTU dle def. k.	SRK/T	Haigis	Masket	Modified Maket	Haigis-L	Shammas	Barret True K No History	Barret True K	PhacoOptics
Počet očí	35	24	39	39	39	39	39	39	38
Průměr	-0,87	-0,36	0,33	0,76	-0,32	-0,57	-0,45	-0,21	-1,55
Směrodatná odchylka	1,28	1,07	1,54	1,72	1,41	1,29	1,31	1,43	1,75
Minimální chyba	-3,25	-2,65	-2,39	-2,46	-3,15	-4,12	-3,89	-3,80	-6,15
Maximální chyba	2,65	3,00	5,23	6,19	3,81	2,53	2,57	3,50	2,65
Absolutní četnost chyb									
Chyba do $\pm 0,50$ D	8	9	9	11	15	11	17	13	9
Chyba do $\pm 1,00$ D	19	20	25	19	26	22	24	24	17
Chyba do $\pm 2,00$ D	29	22	33	31	33	34	32	33	26
Relativní četnost chyb									
Chyba do $\pm 0,50$ D	23%	38%	23%	28%	38%	28%	44%	33%	24%
Chyba do $\pm 1,00$ D	54%	83%	64%	49%	67%	56%	62%	62%	45%
Chyba do $\pm 2,00$ D	83%	92%	85%	79%	85%	87%	82%	85%	68%

Obrázek č. 21 obsahuje hodnoty relativní četnosti chyb pro jednotlivé vzorce dle defokusační křivky z tabulky č. 8. Ve sloupcovém grafu jsou vyneseny hodnoty relativní četnosti chyb pro odchylky do $\pm 0,50$ D, do $\pm 1,00$ D a do $\pm 2,00$ D. Podle relativní četnosti chyb dosahuje nejpřesnějších výsledků do $\pm 0,50$ D vzorec Barret True K No History, do $\pm 1,00$ D vzorec Haigis a do $\pm 2,00$ D vzorec Haigis.

Obrázek č. 21 – Chyba vzorce dle defokusační křivky



9. Diskuze

Cílem této práce bylo porovnat přesnost různých metod pro výpočet IOL u souboru pacientů (43 očí – 25 osob), kteří v minulosti podstoupili hypermetropický refrakční zákrok PRK a byla jim odoperována katarakta. U každé z devíti sledovaných výpočtových metod byla porovnána hodnota IOL kalkulovaná dle daného vzorce s optimální hodnotou IOL, která byla stanovena na základě objektivního (ARK) a subjektivního měření (defokusační křivka).

Dle ARK se jako nejpřesnější jevíly vzorce z IOL Masteru SRK/T a Haigis: chyba do $\pm 0,50$ D byla u 49%, resp. u 43% očí, do $\pm 1,00$ D u 74%, resp. u 75% očí a do $\pm 2,00$ D u 95%, resp. 100% očí. Jako nejméně přesný se jevil vzorec Modified Masket.

Výsledky dle defokusační křivky byly vyrovnanější: ve skupině s chybou do $\pm 0,50$ D vyšly nejlépe vzorce Haigis (38%), Haigis-L (38%) a Barret True K No History (44%). Ve skupině do $\pm 1,00$ D byl nejpřesnější Haigis (83%, po něm Haigis-L až 67%). Chyba do $\pm 2,00$ D vyšla velice podobně – kromě PhacoOptics (68%) vyšly všechny ostatní vzorce s relativní četností od 79% do 92%.

Důležité je zmínit, že nejpřesnější výsledky měly běžné výpočtové vzorce třetí a čtvrté generace (SRK-T a Haigis), což je paradoxní, neboť vzorce v ASCRS kalkulátoru jsou specifické právě pro případy po předchozím refrakčním zákroku na rohovce, a proto bychom od nich čekali vyšší úspěšnost. Stejně tak jsme neočekávali, že v žádném z případů (dle ARK ani dle defokusační křivky) nebude vzorec Haigis-L přesnější než vzorec Haigis, který byl speciálně upraven na Haigis-L právě pro oči po laserovém výkonu.

Nepřesnost výsledků u vzorců se znalostí klinické historie může být zapříčiněna nepřesným změřením dat, která spadají do klinické historie pacienta, např. keratometrie nebo refrakce oka před laserovou operací. Větší chyba v naší studii může být způsobena i použitím defokusační křivky při hodnocení subjektivní refrakce – po hypermetropických zákrocích jsme zjistili plošší křivky, centrum plochého vrcholu křivky nemusí dávat stejné výsledky jako optimální korekce hodnocená směrem od nulové hodnoty. Stejně tak mohla být nepřesnost výsledků ovlivněna nepřesností oftalmologických měřících přístrojů, např. autorefraktometr mohl být „zmaten“ nepravidelností rohovky a mohl nepřesně dopočítat keratometrické údaje – z tohoto důvodu má subjektivní měření refrakce (defokusační křivka) z praktického hlediska větší výpovědní hodnotu.

V roce 2009 publikoval S. Awwad studii [38], v níž porovnával přesnost výpočtu IOL po hypermetropickém zákroku LASIK u 10 různých vzorců. Tato studie zahrnovala s námi hodnocených metod dva vzorce: Masket a Modified Masket. U vzorce Masket byla chyba do \pm

0,50 D 63% (u nás byla chyba 28%), $\pm 1,00$ D 88% (u nás 60%) a do $\pm 2,00$ D 96% (u nás 86%). U vzorce Modified Masket byla chyba do $\pm 0,50$ D 54% (u nás 21%), $\pm 1,00$ D 83% (u nás 49%) a do $\pm 2,00$ D 96% (u nás 74%). Oba vzorce zde vykazují významně vyšší přesnost.

V roce 2015 publikoval Ch. Hodge studii [39], v níž porovnával přesnost výpočtu IOL po laserové refrakční operaci. Tato studie zahrnovala 20 výpočtových metod. Tato studie zahrnovala vzorec Shammas a Masket. U vzorce Shammas byla chyba do $\pm 1,00$ D 93% (u nás 65%). U vzorce Masket byla chyba do $\pm 0,50$ D 93% (u nás 28%), $\pm 1,00$ D 100% (u nás 60%). V této studii oba vzorce vykazují vyšší přesnost než v naší práci.

V roce 2011 publikoval McCarthy studii [40], v níž porovnával přesnost výpočtu IOL po myopickém laseru u 25 různých vzorců. Jako nejpřesnější bylo vyhodnoceno pět metod, podle nichž byla u 70 až 85 % očí odchylka od cílové refrakce do $\pm 1,00$ D. Dle již zmíněné Awwadovy studie [38], která srovnávala 10 vzorců pro výpočet IOL po hypermetropickém laseru, vyšlo nejlépe pět metod s chybou do $\pm 1,00$ D u 83 až 88% očí. Na základě porovnání těchto dvou studií lze říct, že dochází k přesnějším výsledkům u pacientů po hypermetropickém laseru než u pacientů po myopickém zákroku.

10. Závěr

Cílem této práce bylo porovnat přesnost různých metod pro výpočet IOL u pacientů po operaci katarakty, kteří v minulosti podstoupili hypermetropický refrakční zákrok na rohovce PRK. U devíti výpočtových metod byla porovnána hodnota IOL dle daného výpočtového vzorce s optimální hodnotou IOL, která byla stanovena na základě refrakce dle autorefraktometru a dle defokusační křivky.

Dle ARK vyšly jako nejpřesnější vzorce SRK/T a Haigis, a to ve všech třech skupinách (chyba do $\pm 0,50$ D, do $\pm 1,00$ D i do $\pm 2,00$ D). Nejpřesnější vzorec dle defokusační křivky s odchylkou do $\pm 0,50$ D je vzorec Barret True K No History, do $\pm 1,00$ D a do $\pm 2,00$ D vzorec Haigis. Lepší výsledky tedy paradoxně vykazují vzorce, které jsou určeny pro případy bez předchozího refrakčního výkonu.

Seznam použité literatury

- [1] VESELÝ, P., HŘEBCOVÁ, J., MATĚJKOVÁ, R. Biometrie v klinické praxi. Česká oční optika. 2010, 51(2/2010): 56-59. ISSN 1211-233X.
- [2] SMITH G.; ATCHISON D. Optics of the human eye. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 0750637757.
- [3] KUCHYNKA, P. a kol. Oční lékařství. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, s. 768, ISBN 978-802-4711-638
- [4] Olsen, T. Calculation of intraocular lens power: a review.. Acta Ophthalmologica Scandinavica. [online]. © 1999 – 2016 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0420.2007.00879.x/full>
- [5] HLOŽÁNEK, M. a BRŮNOVÁ B. Přístrojová technika v oftalmologii. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902160-9-9.
- [6] BENEŠ, P. Přístroje pro optometrii a oftalmologii. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [7] FALHAR, M. Vzorce pro výpočet optické mohutnosti intraokulárních čoček. JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA. 2008, (2): 35-40. ISSN 0447-6441.
- [8] Základy kontaktologické praxe. Vyšetření zakřivení rohovky. THE VISION CARE INSTITUTE. [online]. © Johnson & Johnson, s. r. o., 2012 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: http://www.thevisioncareinstitute.cz/sites/default/files/content/cz/Zakladykontaktologicepraxe_Vysetrenizakrivenirohovky.pdf
- [9] ROZSÍVAL, P. Oční lékařství. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [10] Dostálová, L. ;Pluháček F.: Topografie rohovky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc 2009, 31s.
- [11] KUCHYNKA, P. Oční lékařství. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [12] REFRAKTIVE CHIRURGIE. Dr. med. Gerrett Brief Facharzt für Augenheilkunde. [online]. 2016 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://www.augenarzt-brief.de/leistungsspektrum/refraktive-chirurgie.php>

- [13] PRK. DENVER EYE SURGEONS. [online]. 2016 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <https://www.denvereyesurgeons.com/prk.htm>
- [14] Epi-LASIK. Medical City Eye Center. [online]. © 2015 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://www.medicalcityeye.com/epi-lasik.html>
- [15] Relex Flex Painless Laser Eye Surgery. Medilaser Cataract and Laser Center Pune (Pune). [online]. 2000 – 2016 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://www.indiabizclub.com/pharmaceuticals-and-healthcare/relex-flex-painless-laser-eye-surgery-pune-b2b-product-q4zqaxsu5oax01qrt.html#>
- [16] SMILE LASIK. Perfect Vision Netralaya, Dr. Virendra laser, Phaco Surgery Center. [online]. © 2010 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: <http://www.newperfectvision.com/smile-lasik.htm>
- [17] Léčba Presbyopie. Klinika Jana Leštáka. [online]. © 2016 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: http://www.eyecentrum.cz/oft_laser_presbyoptie.html
- [18] ORAVEC, A. IOL Power Calculation. Cataract&Refractive Surgery Today. [online]. 2002 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: http://crstoday.com/articles/2002-feb/0202_1_041.html/
- [19] Kenneth J. Hoffer, MD. The Hoffer Q formula: A comparison of theoretic and regression formulas. Research Gate. [online]. 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/14928458_The_Hoffer_Q_formula_A_comparison_of_theoretic_and_regression_formulas
- [20] ROZSÍVAL, P. CIHELKOVÁ, I. Trendysoudobéoftalmologie,svazek1.:Biometrieoka po refrakčním zákroku na rohovce. 1. vyd. Praha: Galén, 2005, s. 246, sv. 3. ISBN 80-726-2405-9
- [21] Wang, J.K. and Chang, S.W. Optical biometry intraocular lens power calculation using different formulas in patients with different axial lengths. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. [online]. 2013 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3633751/>
- [22] Post Keratorefractive Surgery. IOL Power Calculations Post Keratorefractive Surgery. [online]. 2016 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.doctor-hill.com/iol-main/keratorefractive.htm>
- [23] Savini, G. MD. IOL Power Calculation After Refractive Surgery. Cataract & Refractive Surgery Today. [online]. 2016 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://crstoday.com/articles/2015-oct/iol-power-calculation-after-refractive-surgery/>

- [24] Biometry for Intra-Ocular Lens (IOL) power calculation. EyeWiki. [online]. 2015 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: [http://eyewiki.aao.org/Biometry_for_Intra-Ocular_Lens_\(IOL\)_power_calculation](http://eyewiki.aao.org/Biometry_for_Intra-Ocular_Lens_(IOL)_power_calculation)
- [25] CENDELÍN, J. Nitrooční čočky popředchozírefrakčníoperaci. Praha. 2014. [soukromá prezentace]
- [26] Mesa-Gutierrez, J.C. IOL Power Calculation After Refractive Surgery. Journal of Clinical & Experimental Ophthalmology. [online]. 2011 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <https://www.omicsonline.org/myopic-lasik-with-no-revious-data-a-review-of-available-methods-2155-9570.1000126.php?aid=1102>
- [27] Intraocular lens power calculation following laser refractive surgery. Biomed Central, Eye and Vision. [online]. 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://eandv.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40662-015-0017-3>
- [28] Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery. Eye Wiki. [online]. 2014 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://eyewiki.aao.org/Intraocular_lens_power_calculation_after_corneal_refractive_surgery#IOL_Power_Formulae_for_Post-Refractive_Surgery_Eyes
- [29] Hoffer, J.K. MD. Intraocular lens power calculation after previouslaser refractive surgery. Research Gate. [online]. 2009 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/24217639_Intraocular_lens_power_calculation_after_previous_laser_refractive_surgery
- [30] PubMed Central Canada: Comparison of newer IOL power calculation methods for post-corneal refractive surgery eyes [online]. 2015 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://pubmedcentralcanada.ca/pmcc/articles/PMC4658226/>
- [31] PubMed: Accuracy of the Barrett True-K formula for intraocular lens power prediction after laser in situ keratomileusis or photorefractive keratectomy for myopia. [online]. 2016 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/m/pubmed/27006324/>
- [32] NÁVOD K POUŽITÍ PENTACAM, PENTACAM HR Měřicí a vyhodnocovací systém přední segment oka
- [33] IOLMaster 700 from Carl ZEISS [online]. [cit. 2016-12-18] Dostupné z: <https://www.zeiss.com/corporate/int/home.html>

- [34] Pentacam®. OCULUS. [online]. Copyright © 2016 OCULUS [cit. 2016-12-21].
Dostupné z: <https://www.pentacam.de/en.html>
- [35] CRSToday Get to Know the Defocus Curve. [online]. Copyright © 2015 Bryn Mawr Communications, LLC. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z:
<http://crstoday.com/articles/2010-nov/feature-story-get-to-know-the-defocus-curve/>
- [36] IOL power calculation in eyes that have undergone LASIK/PRK/RK. American Society of Cataract and Refractive Surgery. [online]. © 2017 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z:
<http://iolcalc.ascrs.org/wbfrmCalculator2.aspx>
- [37] Pospíšilová, J.; Cendelín J.: Porovnání přesnosti různých metod výpočtů optické mohutnosti intraokulární čočky po rohovkových refrakčních zákrocích, Fakulta biomedicínského inženýrství, Kladno 2015, 28s.
- [38] Corneal Refractive Power Estimation and Intraocular Lens Calculation after Hyperopic LASIK | James McCulley - Academia.edu. [online]. Copyright © 2017 [cit. 18.05.2017].
Dostupné z:
http://www.academia.edu/27281625/Corneal_Refractive_Power_Estimation_and_Intraocular_Lens_Calculation_after_Hyperopic_LASIK
- [39] Intraocular lens power calculation following laser refractive surgery. National Center for Biotechnology Information [online]. [cit. 18.05.2017]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4655459/#CR81>
- [40] National Center for Biotechnology Information [online]. Copyright © 2011 American Academy of Ophthalmology. Published by Elsevier Inc. All rights reserved. [cit. 18.05.2017]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21131054>

Seznam symbolů a zkratk

A	A-Konstanta IOL
ACD	hloubka přední komory
AL	axiální délka oka
AR	afakická refrakce oka
ARK	autorefraktometr
A-Konsnt	hodnota daná výrobcem pro příslušnou IOL
B	hodnota brýlové čočky
C	faktor udává hodnotu A-Konstanty v závislosti na axiální délce
C_{base}	zakřivení kontaktní čočky
C_{CP}	optická mohutnost v centrální části rohovky
C_{power}	optická mohutnost kontaktní čočku
D_{corr}	centrální optická mohutnost rohovky
DPostRX	požadovaná pooperační refrakce
ELP	efektivní pozice čočky
HVID	horizontální průměr viditelné duhovky
IOL	nitrooční čočka
IOL_{Final}	optická mohutnost finální IOL
$IOL_{Holladay\ 1/Hoffer\ Q}$	optická mohutnost IOL vypočtená vzorcem Holladay 1/Hoffer Q
IOL_{post}	optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku
$IOL_{postLASIK}$	optická mohutnost IOL po refrakčním zákroku LASIK
IOL_{pre}	optické mohutnosti IOL před refrakčním zákrokem
$IOL_{SRK/T}$	optická mohutnost IOL vypočtená vzorcem SRK/T
K	optická mohutnost rohovky
K_{PRE}	optická mohutnosti rohovky před refrakčním zákrokem
K_{PO}	optická mohutnost rohovky po refrakčním zákroku měřena manuálním keratometrem
LASEK	Laser-assisted subepithelial keratectomy

LASIK	Laser in situ keratomileusis
LSE	SE korigovaných dioptrií laserem vztažené k vertex distance
OCT	optická koherenční tomografie
P	optická mohutnost IOL
PK	hloubka přední komory
PRK	Photorefractive keratectomy
R_{bare}	sférický ekvivalent refrakce bez kontaktní čočky
R_{cl}	sférický ekvivalent refrakce s kontaktní čočkou
r_{corr}	přepočtená hodnota zakřivení rohovky
r_f	refrakční faktor
r_{meas}	průměrné zakřivení rohovky
R_{PRE}	sférický ekvivalent refrakce před refrakčním zákrokem
R_{PO}	sférický ekvivalent po refrakčním zákroku
SE	sférický ekvivalent
SF	Surgeon Factor
SRK	Sanders - Retzlaff – Kraff
$SE_{preLASIK}$	sférický ekvivalent refrakce před refrakčním zákrokem LASIK
WTW	horizontální průměr rohovky (od limbu k limbu)
ΔD	stabilní refrakční hodnota v brýlích pacienta po refrakčním zákroku
$IOL_{optimální}$	hodnota optimální IOL
$IOL_{implantovaná}$	hodnota implantované IOL
$IOL_{vypočtená}$	hodnota IOL dle kalkulátoru

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: – Ultrazvukový echogram oka (R – odraz od přední plochy rohovky a splývá s odrazem od zadní plochy rohovky, Č1 – odraz od přední plochy čočky, Č2 – odraz od zadní plochy čočky, S – konečný odraz echa od sítnice) [7].....	3
Obrázek č. 2 – Rohovkový topograf [5]	6
Obrázek č. 3 – Fotoablace při korekci myopie [3].....	8
Obrázek č. 4 – Fotoablace při korekci hypermetropie [3]	8
Obrázek č. 5 – Metoda PRK [13].....	9
Obrázek č. 6 – Metoda LASEK [12]	10
Obrázek č. 7 – Metoda LASIK [12].....	11
Obrázek č. 8 – Metoda Epi-LASIK [14].....	12
Obrázek č. 9: – Metoda ReLEx flex [15].....	12
Obrázek č. 10 – Metoda ReLEX SMILE [16]	13
Obrázek č. 11 – Metoda INTRACOR [12].....	13
Obrázek č. 12 – Vliv zadní plochy rohovky [25].....	22
Obrázek č. 13 – Vliv asféricity rohovky na měření zakřivení po refrakčním zákroku [25]	23
Obrázek č. 14 – Vliv výpočtu efektivní polohy nitrooční čočky (ELP) po myopickém refrakčním zákroku [25]	23
Obrázek č. 15 – IOL MASTER 700 [33].....	33
Obrázek č. 16 – Data z IOL Masteru [vlastní zdroj].....	35
Obrázek č. 17 – Kalkulátor pro výpočet IOL po hypermetropickém refrakčním zákroku [36]	35
Obrázek č. 18 – Hodnota IOL podle vzorců ASCRS [36].....	36
Obrázek č. 19 – Hodnota IOL podle programu PhacoOptics [vlastní zdroj].....	36
Obrázek č. 20 – Chyba vzorce dle autorefraktometru	42
Obrázek č. 21 – Chyba vzorce dle defokusační křivky	43

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Výběr vhodného vzorce podle axiální délky oka [3]	20
Tabulka č. 2 – Úprava vzorce Hoffer Q po myopickém refrakčním zákroku [22].....	25
Tabulka č. 3 – Úprava vzorce Hoffer Q po hypermetropickém refrakčním zákroku [22]	25
Tabulka č. 4 – Přehled naměřených dat I.....	39
Tabulka č. 5 – Přehled naměřených hodnot II	40
Tabulka č. 6 – Přehled naměřených dat III	41
Tabulka č. 7 – Chyba vzorce dle autorefraktometru – statistické údaje	42
Tabulka č. 8 – Chyba vzorce dle defokusační křivky – statistické údaje	43