

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**TEREZA
SVEJKOVSKÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Operace katarakty po refrakčních operacích

Cataract surgery after refractive operations

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Tereza Svejková

Vedoucí bakalářské práce: doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Fůs

Kladno 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svejkovská** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **499973**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodních věd**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Operace katarakty po refrakčních operacích

Název bakalářské práce anglicky:

Cataract surgery after refractive operations

Pokyny pro vypracování:

V praktické části bakalářské práce budou konkrétně hodnoceny dosažené výsledky zrakových funkcí u skupiny pacientů, jejichž oči byly operovány pro kataraktu po různých typech refrakčních operací. Pozornost bude též soustředěna na refrakční překvapení, včetně jeho příčiny, které se může objevit po operaci katarakty a které je předmětem nespokojenosti pacientů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Heissigerová Jarmila, Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu, ed. 1, Maxdorf, Jessenius, 2018, ISBN 978-80-7345-580-4
- [2] HAMILTON DR, Cataract surgery in patients with prior refractive surgery, Curr. Opin Ophthalmol, ročník 14, číslo 14, 2003

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Martin Fůs

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

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

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

Název bakalářské práce: Operace katarakty po refrakčních operacích

Abstrakt:

Teoretická část této práce se zabývá rozdělením typů katarakty, způsobů jejich operací. Dále rozdělením druhů refrakčních operací, nitrooční čoček, a nakonec výpočtem správné optické mohutnosti nitroočních čoček. V praktické části bakalářské práce jsou zhodnoceny dosažené výsledky zrakových funkcí u skupiny pacientů, jejichž oči byly operovány pro kataraktu po různých typech refrakčních operací. Na základě dosažených výsledků operace katarakty je určena přesnost metod sloužících pro výpočet dioptrické síly nitrooční čočky a určen jejich vliv na optimální výsledek operace.

Klíčová slova: katarakta, chirurgie katarakty, refrakční chirurgie, vzorce pro výpočet nitrooční čočky

Bachelor's Thesis title: Cataract surgery after refractive surgery

Abstract:

The theoretical part of this paper deals with the division of cataract types, the methods of their operations. Then the division of refractive operations, intraocular lenses, and finally the calculation of the correct optical power of intraocular lenses. In the practical part of the bachelor thesis, the achieved results of visual functions in a group of patients whose eyes were operated on for cataract after various types of refractive operations are evaluated. Based on the achieved results of cataract surgery, the accuracy of the methods used for the calculation of dioptric power of intraocular lenses is determined and their influence on the optimal outcome of the operation is determined.

Key words: cataract, cataract surgery, refractive surgery, intraocular lens calculation formulas

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala své vedoucí doc. MUDr. Šárce Pitrové, CSc., za cenné rady, trpělivost a čas a dále Ing. Martinu Fůsovi za připomínky a vstřícný přístup. Další poděkování patří mé rodině, která to se mnou vše protrpěla.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Operace katarakty po refrakčních operacích*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1. Úvod	6
1.1. Cíle práce	6
2. Teoretická část	7
2.1. Čočka	7
2.1.1. Anatomie čočky	7
2.2. Katarakta	7
2.2.1. Senilní	8
2.2.2. Vrozená	9
2.2.3. Traumatická	9
2.2.4. Sekundární	11
2.2.5. Metabolická	11
2.2.6. Způsoby operace katarakty	12
2.3. Refrakční operace	16
2.3.1. Základní charakteristika refrakčních operací	16
2.3.2. Typy refrakčních operací	16
2.4. Výpočet dioptrické síly nitrooční čočky	21
2.4.1. Na oku po refrakční operaci	22
2.5. Typy kalkulačních vzorců	22
2.5.1. Vzorce první generace	23
2.5.2. Vzorce druhé generace	24
2.5.3. Vzorce třetí generace	25
2.5.4. Vzorce čtvrté generace	26
2.5.5. Software	28
2.5.6. Vzorce po refrakčních operacích	29
2.5.7. Výběr vhodného vzorce	30
3. Experimentální část	31
3.1. Soubor pacientů	31
3.2. Metodika	31
3.3. Výsledky	35
4. Diskuse	41
5. Závěr	42
Seznam použité literatury	43

Seznam symbolů a zkratk	47
Seznam obrázků a grafů	48
Seznam tabulek.....	49

1. Úvod

Refrakční operace umožňuje vykorigovat ametropickou vadu oka. Nejčastěji prováděnou za použití laseru, který nevratně změní zakřivení rohovky. To může vést k chybám při výpočtu síly nitrooční čočky při následné operaci katarakty.

Operace katarakty patří mezi nejčastěji prováděné operace očí, kdy se pacientovi vyjme původní oční čočka a implantuje se umělá nitrooční čočka. Síla nové nitrooční čočky závisí na přesném změření biometrie oka, jejíž součástí je zaměření axiální délky oka v mm a keratometrie v D, tyto hodnoty se následně vsadí do vzorců pro výpočet optické mohutnosti čočky. [1]

1.1. Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je vyhodnocení literárních rešerší týkajících se problematiky operace katarakty po refrakčních operacích. Budou popsány nejčastěji prováděné laserové refrakční operace a hlavní pozornost bude zaměřena na problematiku výpočtu dioptrické síly nitrooční čočky a metod, které dávají optimální výsledky operace. Praktická část se zabývá vyhodnocením předoperačních a pooperačních dat a následným vyhodnocením výsledků zrakových funkcí pacientů pro kataraktu, kteří v minulosti podstoupili rohovkovou refrakční chirurgii. Na základě těchto dat budou realizovány hypotetické výpočty dle alternativních metodik a vzorců, z nichž bude určena neoptimálnější varianta pro predikci residuální refrakce u dané kategorie pacientů.

Na základě dosaženým výsledků operace katarakty bude zhodnocena přesnost metod sloužících pro výpočet dioptrické síly nitrooční čočky a určen jejich vliv na optimální výsledek operace.

2. Teoretická část

2.1. Čočka

2.1.1. Anatomie čočky

Oční čočka představuje průhlednou strukturu s proměnlivou optickou mohutností, a náleží mezi refrakční systémy oka. Má bikonvexní tvar a je bezcévná. Její průměr činí 9 milimetrů, tloušťka se pohybuje mezi 4 a 5 milimetry a její optická mohutnost se řadí do rozmezí 15-20 DPT. [2, 3]

Hlavní funkcí oční čočky je umožnit akomodaci a tím zajišťovat ostrost obrazu na sítnici a udržovat průhlednost oka. Akomodace je dynamický proces působící změnu optického systému oka, díky němuž se mění pohledová vzdálenost (dálka, blízko). [2, 3]

Oční čočka se nachází mezi duhovkou a přední sklivcovou membránou. Skládá se z pouzdra, kortexu a jádra. V oku je udržována na svém místě pomocí závěsného aparátu spojeného s řasnatým tělískem. Pouzdro je elastické a na jeho přední straně, o tloušťce 12 μm , jsou uloženy epitelové buňky, které jsou metabolicky velmi aktivní. Postupně se prodlužují a tvoří čočková vlákna, přičemž se zvyšuje obsah proteinů. V centrální části čočky jsou vlákna více koncentrována a tvoří jádro čočky. [2–4]

2.2. Katarakta

Katarakta, známá také jako šedý zákal, je stav při kterém dochází k zakalení oční čočky. Tato změna způsobuje ztrátu elasticity a průhlednosti čočky, což v vede k postupnému zhoršení zraku až slepotě. [1, 2, 4]

Zakalení čočky nastává v důsledku chemických změn v bílkovinách, které tvoří čočku. Tím dochází k jejímu kalení a mění se i její barva, to jsme schopni pozorovat pomocí šterbinové lampy nebo i pouhým okem v pokročilých stádiích onemocnění. [2, 5, 6]

Hlavním příznakem katarakty je postupné zhoršování zraku, který se stává zamlženým a neostrým. Pacienti si mohou také stěžovat na oslnění, změnu vnímání barev, sníženou citlivost na kontrasty, narůstající myopii a postupné zmenšování zorného pole. Toto onemocnění je obvykle spojováno s postupným stárnutím a častěji postihuje ženy, ale existují i jiné typy katarakty než pouze senilní. [6–8]

2.2.1. Senilní

Senilní katarakta, také nazývaná věkem podmíněná katarakta, se vyvíjí postupně s věkem, obvykle kolem 60. roku a je častější u žen. Jedná se o nejčastěji operovaný typ katarakty. [1, 2]

Během procesu stárnutí dochází v čočce k chemickým změnám proteinů, což vede k vytváření pigmentace, snížení obsahu draslíku a glutathionu a zároveň k vyšší koncentraci sodíku, vápníku a zejména zvýšené hydrataci. To má za následek zvětšení hmotnosti čočky a její předozadní rozměr, což dále snižuje její schopnost akomodace, tedy přizpůsobovat se různým vzdálenostem. [2, 6]

Kortikální

Zakalení katarakty postihuje přední a zadní kortikální vrstvu čočky a začíná z periferie, postupně směrem ke středu. Tento proces je způsoben změnami v složení kortikální části čočky. Kortikální katarakta bývá oboustranná, avšak rychlost jejího postupu se může lišit u jednotlivých pacientů. [1, 7]

Vliv katarakty na vidění je různý a závisí na místě, kde dochází k zakalení, a na ose vidění. Pro vyšetření se často využívá šterbinová lampa, která umožňuje pozorování vakuol a klínovitého zakalení v přední nebo zadní části kortikální vrstvy čočky. Tyto změny jsou orientovány z periferie směrem ke středu čočky. [6, 7]

V případě, že je celá čočka zakalená a má bílý vzhled, hovoříme o maturní kataraktě. Tato forma katarakty se projevuje silným zakalením čočky, což může výrazně ovlivnit zrakové vnímání. [7]

Nukleární

Nejvýraznějším projevem nukleární katarakty je myopizace oka, která způsobuje potíže se zaostřením na vzdálené objekty. Oči mohou mít hnědé až hnědočervené zbarvení, a na centrálním místě čočky se objevuje zákal. Tento typ katarakty obvykle postihuje obě oči a jeho progres je pomalá. [6, 7]

V některých případech může nukleární katarakta způsobit změnu indexu jádra vůči kortexu čočky, což může vést k vnímání dvojitého obrazu (monokulární diplopie). U pacientů s presbyopií, může nukleární katarakta paradoxně zlepšit schopnost čtení bez potřeby brýlové korekce, ale naopak zhoršit zrak na dálku. [1, 7]

Hodnocení zakalení jádra čočky a jeho stupeň se provádí pomocí pozorování na štěrbinové lampě, což umožňuje lékaři detailněji prozkoumat strukturu čočky a posoudit rozsah katarakty. [2, 7]

Zadní subkapsulární

Zadní subkapsulární katarakta je typ katarakty, který se často vyskytuje u mladších pacientů a nachází se před zadním pouzdrzem čočky. Vzniká díky přemístění a zvětšení epiteliálních buněk čočky. [2, 7]

Tento typ katarakty může být způsoben dlouhodobým užíváním kortikosteroidů nebo expozicí radiaci. Při vyšetření na štěrbinové lampě pozorujeme jemný duhovkový lesk v kortikálních vrstvách a šedobělavé až hnědobělavé zbarvení. [2, 7]

2.2.2. Vrozená

Vrozená, také nazývaná kongenitální katarakta, je forma katarakty, která se častěji vyskytuje u dětí v rozvojových zemích. Její příčinou může být dědičnost (hereditární faktory) nebo expozice teratogenním látkám nebo infekčním onemocněním matky během těhotenství. [6, 7]

Je velmi důležité provést včasnou operaci co nejdříve po narození dítěte, nejpozději do dvou měsíců od narození. Pokud by operace nebyla provedena včas, hrozí amblyopie, což je porucha zraku v důsledku přítomnosti katarakty. [7]

Afakické oko (oko bez čočky) lze korigovat vložением intraokulární čočky, ale do dvou let lidské oko prochází změnami tvaru a velikosti, a proto je častěji používána korekce pomocí kontaktních čoček nebo brýlové korekce. [2, 7]

2.2.3. Traumatická

Traumatická katarakta je typ katarakty, který se nejčastěji vyskytuje u mladých pacientů a vzniká v důsledku mechanického poranění oka tupým nebo ostrým předmětem, vystavením chemikálií, záření nebo elektrickému proudu. Takové poranění může mít za následek změnu polohy oční čočky, což přispívá k vývoji traumatické katarakty nebo může vést k rozvoji sekundárního glaukomu. [6, 7]

Traumatická katarakta je závažné poranění oka, které vyžaduje okamžitou lékařskou péči a možná i chirurgický zákrok, aby bylo možné obnovit zrak a minimalizovat trvalé následky zranění oka. [7, 9]

Tupý předmět

Poranění oka tupým předmětem může ovlivnit čočku celkově nebo jen částečně. Poranění se projevuje vytvořením hvězdicovité opacity, která může postihovat jak přední, tak i zadní pouzdro čočky, ale může se také rozšířit po celé čočce. Kromě toho může poranění způsobit prasknutí pouzdra a nadměrné zadržování vody ve vláknech čočky, což vede k rychlému vzniku zákalu. [6, 7]

V případě poranění může dojít ke změně polohy čočky, kdy se může posunout do prostoru sklivce nebo do přední komory oka, kvůli přetržení zonulárních vláken. V důsledku toho může dojít k subluxaci nebo luxaci čočky. Taková situace ovlivňuje schopnost akomodace oka, což může vést k monokulární diplopii nebo vysokému astigmatismu. [1, 7]

Ostrý předmět

Poranění oka ostrým předmětem, jako například nožem, může způsobit vážné poškození. Pokud je ostrý předmět dostatečně silný, může proniknout do oka a porušit jeho stěnu, což může mít za následek vážné komplikace. [7, 9]

Pokud ostrý předmět pronikne do čočky, může dojít k jejímu lokálnímu poškození nebo dokonce k jejímu úplnému zákalu. V případě totálního zákalu je vidění silně narušeno a může dojít až k ztrátě zraku. [1, 7]

Chemikálie

Poranění oka chemikáliemi, jako například poleptáním bulbu, spojivky, rohovky nebo duhovky žíravinou, může mít za následek vznik kortikální katarakty. Kortikální katarakta je typ katarakty postihující kortikální vrstvu čočky. [6, 7]

Při poranění chemikáliemi může dojít ke změně chemického prostředí oka. Například použití alkalických kyselin může zvýšit pH komorové vody a snížit hladinu glukózy a askorbátu, což jsou důležité látky pro normální fungování oka. [6, 8]

Záření

Poranění oka ionizujícím zářením, infračerveným zářením a ultrafialovým zářením může mít za následek specifické změny v čočce. V důsledku těchto druhů záření může dojít k vytvoření tečkovitých opacit na zadním pouzdrů čočky. Také mohou vzniknout peříčkovité opacity, které jsou charakteristické pro poškození způsobené radiačním

zářením. [7, 9]

Elektrický proud

Katarakta způsobená elektrickým proudem, který projde hlavou, je zapříčena koagulací proteinů v čočce. Toto poranění elektrickým proudem může mít za následek vznik opacit v čočce, které se tvoří v periférii čočky a dále postupují lineární opacity v předním subkapsulárním kortexu čočky. [7, 9]

2.2.4. Sekundární

Sekundární katarakta je komplikací, která může nastat po operaci katarakty jako pozdní následek. V této situaci dochází k zahuštění zadního pouzdra původní lidské čočky. [1, 2, 7]

Pro léčbu sekundární katarakty se používá několik postupů. Jedním z nich je YAG laserová kapsulotomie nebo chirurgická discize zadního pouzdra. Obě metody jsou účinné a pomáhají obnovit zrakovou ostrost u pacientů, kteří trpí sekundární kataraktou. Volba mezi YAG laserovou kapsulotomií a chirurgickou discizí závisí na individuálních okolnostech a potřebách pacienta. [1, 2]

Proliferační typ

Následkem proliferace a přemístěním epitelových buněk. Vyskytuje se častěji než fibróza zadního pouzdra a nejčastěji se vyskytuje u dětí. [2, 7]

Fibróza zadního pouzdra

Nastává do šesti měsíců po operaci katarakty. Pacient si stěžuje na zhoršený vzhled a monokulární diplopii. [1, 2, 6]

2.2.5. Metabolická

Metabolická katarakta je způsobena vlivem metabolických onemocnění, jako je diabetes mellitus, galaktosemie, Wilsonova choroba, onemocnění jater a ledvin, a také kouřením. [1, 2, 9]

Diabetes mellitus ovlivňuje čočku z několika důvodů. Zvýšená hladina cukru v krvi způsobuje zvýšené množství glukózy ve sklivci, což následně proniká do oční čočky. V čočce se glukóza přeměňuje na sorbitol, který se ukládá v čočce a přispívá k jejímu

zakalení. To zvyšuje riziko vzniku senilní katarakty u mladších osob. Pravá diabetická katarakta je oboustranná a projevuje se vločkovitými opacitami, které se rychle rozšiřují po celé čočce. Pokud se diabetes kompenzuje a hladina cukru v krvi je udržována pod kontrolou, může být katarakta v počáteční fázi reverzibilní, tzn. že může být částečně odstraněna nebo zlepšena. [1, 2, 6, 9]

2.2.6. Způsoby operace katarakty

Prozatím neexistuje žádný způsob, jak zastavit vznik nebo progresi katarakty. Jedinou účinnou a efektivní léčbou katarakty je chirurgický zákrok. [2]

Existuje několik různých operačních technik: reklinace (couching),), intrakapsulární extrakce (IKE/ICCE), extrakapsulární extrakce (ECCE), fakoemulzifikace (FE) a operace katarakty asistovaná femtosekundovým laserem (FLACS), v rozvojových zemích se často používá technika nazývaná manual small incision cataract surgery (MSICS), což je metoda manuálního odstranění katarakty malým řezem. [1, 2, 6]

Každá z těchto technik má své vlastní výhody a použití závisí na individuálních potřebách a podmínkách pacienta. Operační zákrok je obecně považován za bezpečný a účinný způsob odstranění katarakty, což výrazně zlepšuje zrakové vnímání a kvalitu života pacientů. [1, 2, 6]

Reklinace

První operační technika používaná v historii na odstranění katarakty má své počátky v Indii kolem roku 800 př. n. l. Tato technika se nazývá reklinace nebo také couching. Postup spočíval v tom, že lékař vkládal ostrou jehlu do oka, zhruba 4 milimetry od limbu nebo skrze rohovku, směrem ke bílé opacitě v čočce. Poté čočku ručně posouval zornicí do sklivcového prostoru. Operační zákrok skončil tehdy, když pacient začal ostře vidět. [1, 2, 6]

I přesto, že tato primitivní metoda je stará a má své limity, stále se používá v některých oblastech Afriky, kde moderní medicína a technologie nejsou všude přístupné. [2, 5]

Intakapsulární extrakce (ICCE)

ICCE (intrakapsulární extrakce) považujeme za historickou metodu, kdy se odstraní celá čočka s intaktním pouzdrém. Proces začíná přimražením čočky na kryosondu a následným rozrušením zonul, což umožní vyjmutí čočky z oka pomocí velkého limbálního

řezu v délce poloviny rohovky. Poté se provádí bazální iridektomie, což je chirurgický zákrok na duhovce, který předejde nárůstu nitroočního tlaku. Výslednou zrakovou ostrost lze dosáhnout pomocí afakické brýlové korekce, která je obvykle kolem +11D. [1, 2, 10]

Výhodou této techniky je možnost odstranění tvrdých čoček bez nutnosti speciálního vybavení. Nicméně nevýhodou je nemožnost implantace nitrooční čočky, což může vést k vysokému riziku pooperační endoftalmitidy, odchlípení sítnice, častému indukování vysokého astigmatismu a expulzivní hemoragii. [1, 2]

Tato technika byla v České republice používána až do konce devadesátých let 20. století. V současné době se používá jen výjimečně nebo v některých oblastech světa, kde nemusí být k dispozici modernější metody oční chirurgie. [1, 2, 10]

Extrakapsulární extrakce (ECCE)

ECCE spočívá v odstranění zkaleného jádra limbálním řezem v délce poloviny rohovky, a kortexu čočky se zachováním části předního a celého zadního čočkového pouzdra. Díky tomu se může implantovat nitrooční čočka, to je velkou výhodou. Po odstranění čočkových hmot se stabilizuje nitrooční tlak tím, že se do oka iriguje speciální roztok s cílem udržení stabilní hloubky přední komory. Nevýhodou je vysoké riziko pooperační endoftalmitidy a způsobení refrakčních vad, především astigmatismu. [1, 5]

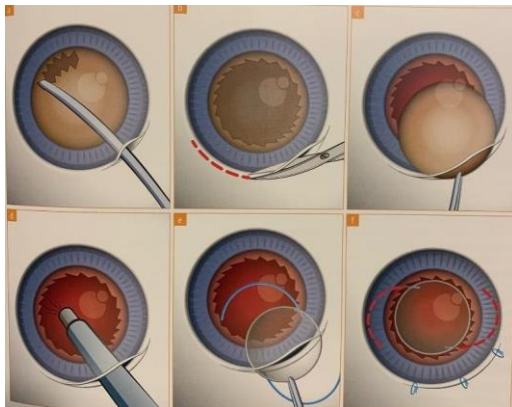
ECCE (extrakapsulární extrakce) spočívá v odstranění zkaleného jádra čočky pomocí limbálního řezu, který je v délce poloviny rohovky. Kortex čočky se při tomto zákroku zachovává s částí předního a celým zadním čočkovým pouzdrem. Důležitou výhodou této metody je, že umožňuje implantaci nitrooční čočky, což je velkou výhodou pro pacienta. [1, 2, 11, 12]

Během zákroku se odstraní zkalená čočková hmota, a poté se stabilizuje nitrooční tlak irigací speciálním roztokem, aby se udržela stabilní hloubka přední komory oka. [1, 2]

Nevýhodou ECCE je vysoké riziko pooperační endoftalmitidy, a také způsobení

refrakčních vad, zejména astigmatismu. [1]

Tato metoda byla v minulosti často používána, ale dnes je preferována modernější metoda zvaná "fakoemulzifikace", která je méně invazivní a má nižší riziko komplikací. [1, 2]



Obrázek 1: operace katarakty technikou ECCE [1]

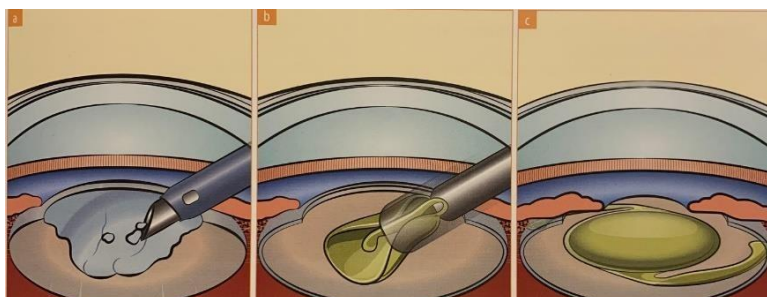
Fakoemulzifikace

Fakoemulzifikace je podobná jako ECCE, s tím rozdílem, že zkalené jádro čočky je fragmentováno a odsáto z čočkového vaku pomocí ultrazvukem ovládaného hrotu fako jehly. Tato technika přináší několik výhod oproti tradičním metodám jako ICCE a ECCE. [1, 2]

Hlavní výhodou fakoemulzifikace je malý řez do 3 mm, kterým se hrot fako jehly zavádí do oka. Tento menší řez snižuje výskyt pooperačních komplikací, výrazně redukuje pooperační astigmatismus a urychluje proces zrakové rehabilitace. [1, 2, 13, 14]

Další výhodou je, že po provedení zákroku nemusí být rána uzavřena stehem. Díky tomu je možné implantovat měkké nitrooční čočky pomocí malého řezu, což dále zlepšuje zrakový výsledek operace. Samotná operace je rychlá a s malým rizikem vzniku pooperačních komplikací a refrakčních vad. [1, 2, 13]

Fakoemulzifikace je v současné době jednou z nejčastěji používaných a nejmodernějších metod chirurgického odstranění katarakty. [1, 2]



Obrázek 2: operace katarakty technikou FE [1]

Operace katarakty asistovaná femtosekundovým laserem (FLACS)

Operace katarakty asistovaná femtosekundovým laserem, známá také jako FLACS (Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery) a rozšiřuje možnosti operačních technik. [2]

Postup operace začíná spojením laserové hlavičky s okem, a to pomocí předněsegmentového OCT. Tímto způsobem je nejprve označena lokalizace a šířka rohovkových řezů na operovaném oku, dále je provedeno otevření předního pouzdra (kapsulorhexi) a rozdělení (fragmentace) zkaleného jádra čočky. Tímto krokem je jádro čočky odděleno od zadního pouzdra. Poté následuje standardní postup, který je shodný s fakoemulzifikací. [1, 2]

FLACS má několik výhod a zlepšení oproti tradiční fakoemulzifikaci. Především umožňuje zpřesnění některých důležitých fází operace, což může vést k lepšímu výsledku a rychlejšímu hojení. Díky laseru lze lépe kontrolovat tvary a velikosti řezů a kapsulorhexe, což může být pro některé pacienty výhodné, zejména pokud mají složitější kataraktu nebo specifické oční potíže. [1, 2, 15]

Nicméně je třeba zdůraznit, že FLACS neznamena náhradu fakoemulzifikace. Po provedení klíčových kroků femtosekundovým laserem následuje standardní fakoemulzifikace, a to včetně rozpuštění a odstranění zkaleného jádra čočky a implantace IOL. FLACS tedy zlepšuje určité aspekty operace, ale neeliminuje tradiční fakoemulzifikaci. [9, 15]

Manual small incision cataract surgery

MSICS kombinuje operaci ECCE s relativně malým řezem. ECCE zahrnuje odstranění zkalené čočky z oka s použitím klasické chirurgické metody. Při MSICS se provádí podobný postup, ale velikost řezu je menší než u tradiční ECCE. Místo toho se čočka odstraní v jednom celistvém kusu. [1]

Výhodou MSICS je nižší cena a relativně nižší riziko komplikací ve srovnání s nákladnějšími moderními metodami, jako je fakoemulzifikace. MSICS může být pro místní komunity s omezenými zdroji a finančními možnostmi lepší volbou. Navíc méně zkušený chirurg může provádět tuto techniku s relativní úspěšností. [1, 16]

Nicméně, existují i některé nevýhody MSICS. Vyšší riziko komplikací může být spojeno s ručním způsobem odstranění čočky a menším řezem. Dále je vyšší

pravděpodobnost vzniku refrakčních vad, což může vést k nutnosti brýlí nebo jiných korekcí zraku po operaci. [1, 6, 16]

Každý pacient by měl být individuálně posouzen a volba operační metody by měla záviset na mnoha faktorech, včetně typu katarakty, zdravotního stavu oka a přístupnosti moderních technologií. V některých situacích může být MSICS stále přijatelnou a účinnou metodou pro odstranění katarakty. [1, 16]

2.3. Refrakční operace

2.3.1. Základní charakteristika refrakčních operací

Základním rysem refrakčních operací je změna zakřivení rohovky pomocí laseru na jejím povrchu nebo v hloubce. U pacientů trpících myopií je cílem operace oploštění centrální části rohovky, zatímco u pacientů s hypermetropií je cílem operace zestrmení centrální části rohovky. Pokud je potřeba korekce astigmatismu, refrakční operace zlepšuje původně nepravidelný tvar rohovky. Operace myopie, hypermetropie a astigmatismu mohou být provedeny v jednom kombinovaném zákroku. [1, 17]

Je důležité si uvědomit, že refrakční zákroky nejsou vhodné pro všechny pacienty, neprovádějí se u pacientů mladších 18 let, dále nejsou vhodné u pacientů s pokročilými očními onemocněními, jako je katarakta, glaukom nebo vážná onemocnění sklivce a sítnice. Před provedením refrakční operace je nutné provést důkladné vyšetření očí, aby byla zajištěna bezpečnost a vhodnost zákroku pro každého jednotlivého pacienta. [1, 18]

Refrakční operace mohou být účinným řešením pro korekci refrakčních vad u vhodných pacientů, ale rozhodnutí o provedení takového zákroku by mělo být vždy pečlivě zváženo společně s očním lékařem nebo odborníkem na refrakční chirurgii. [1]

2.3.2. Typy refrakčních operací

Laser in situ keratomileusis (LASIK)

Laser in situ keratomileusis (LASIK) je jednou z nejčastěji používaných, nejpřesnějších a nejbezpečnějších technik refrakčních zákroků na rohovce. Nejvíce se využívá při korekci myopie, nižší až střední hypermetropie a astigmatismu. [1, 2]

Tato metoda spočívá v seříznutí rohovkové lamely, jejíž tloušťka se pohybuje

v rozmezí 130-180 μm , podle typu použitého mikrokeratomu nebo vytvoření lamely pomocí femtosekundového laseru, dále fotoablaci stromatu excimerovým laserem, který vyzařuje elektromagnetické záření spadající do ultrafialového světelného spektra. Velikost a rozložení fotoablace záleží na typu a velikosti refrakční vady. Hojení rány je velice rychlé, trvá několik hodin, zraková rehabilitace několik dní a stabilitu výkonu očekáváme přibližně po jednom měsíci. [1, 2, 19, 20]

Před samostatnou operací probíhá předoperační vyšetření, především pachymetrie. Tloušťka rohovky rozhoduje, kolik dioptrií lze odstranit (průměrná tloušťka rohovky je 550 μm). Základním pravidlem fotoablace je ponechání 250 μm neporušené rohovkové tkáně kvůli menšímu riziku vzniku ektázie rohovky způsobenou operací. [1, 2, 19]

Průběh operace se rozděluje do tří fází: přípravnou, operační a pooperační.

Přípravná fáze se věnuje důslednému předoperačnímu vyšetření a pohovoru s pacientem. Chirurg zadá do softwaru laserového přístroje typ refrakční vady pacienta, parametry rohovky a z těchto údajů je následně automaticky vypočteno parametrické zadání pro excimerový laser. [1, 2, 11, 17, 18]

Operační výkon se provádí v místní anestezii. Nejprve se očistí víčka a okolí oka dezinfekčním přípravkem, zakryjí se horní i spodní řasy víčka incizní folií a nasadí se víčkový rozvěrač. Methylenovou modří se naznačí orientační značky na povrchu rohovky a na bulbus se nasadí přísavný kroužek, který fixuje bulbus a udržuje stabilní nitrooční tlak. Po spojení kroužku s mikrokeratomem se seřízne lamela, dalším krokem je fotoablace stromatu rohovky. Po vyčištění stromatu je lamela přiklopena zpět na původní místo, přilnutí trvá 2-3 minuty a není potřeba šití či krytí kontaktní čočkou. [1, 2, 19–21]

Posledním krokem je aplikace antibiotik a nesteroidních antiflogistik. [1, 2, 19–21]

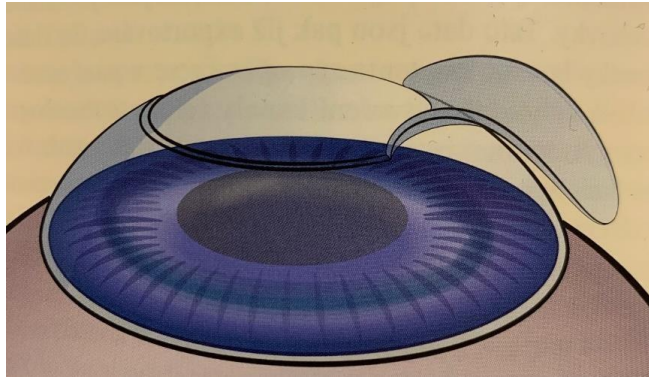
Pooperační fáze je důležitá pro samostatné hojení, aplikují se kortikoidy a arteficiální slzy každé 2 hodiny první den po výkonu, další den 5krát denně po dobu dvou týdnů. Zrakovou ostrost zkusíme týden po operaci, po měsíci a dále po 6 měsících, a nakonec rok po operaci. [1, 2, 19, 21]

Případné komplikace LASIKu dělíme na peroperační, časné a pozdní peroperační.

Mezi peroperační komplikace řadíme nekompletní seříznutí lamely nebo seříznutí lamely v celé ploše. [1, 2, 19–21]

Do časných pooperačních komplikací zahrnujeme epiteliopatie, epitelové vrůsty (haze), strie lamely, difúzní lamerální keratitidu. [1, 2, 19, 21]

Pozdní pooperační komplikací je nejčastěji iatrogenní keratektázie. [1, 2, 19, 21]



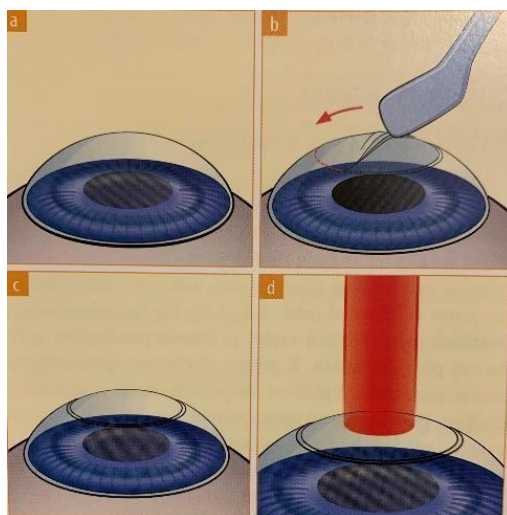
Obrázek 3: refrakční operace metodou LASIK [1]

Fotorefrakční keratektomie (PRK)

Fotorefrakční keratektomie (PRK) je nejstarší metodou laserové operace, při níž je záření excimerového laseru aplikováno na povrch rohovky po předchozím mechanickém odstranění epitelu. Tato technika se používá především k řešení nižší až střední myopie a hypermetropie. [1, 2, 8]

Tento způsob refrakční operace je na rozdíl od předešlé poměrně bolestivý, samotná regenerace epitelu rohovky trvá minimálně 4 dny a po provedené fotoablaci je nutné krytí měkkou kontaktní čočkou. Stabilizace výkonu a optimální vidění se očekává po měsíci a déle. [1, 2, 8, 20]

Možnou komplikací může být regrese refrakční vady, infekce nebo opacifikace předního stromatu rohovky. [1, 2, 8]



Obrázek 4: refrakční operace metodou PRK [1]

Not touch

Tento typ operace je branný za „moderní“ metodu, kdy je epitel odstraněn excimerovým laserem. Zde nastává problém, protože každý má individuální výšku epiteliální vrstvy, která se nedá předem zjistit, proto se epitel odstraňuje odhadem a výsledky mohou být velmi nepřesné. [1, 8, 22]

Laserová termokeratoplastika (LTK)

Laserová termokeratoplastika neboli LTK se využívá pro korekci hypermetropie, astigmatismu a dokorigování zbytkové vady. Při tomto typu operace se používá Holmium:YAG laser, který vyzařuje elektromagnetické záření odpovídající infračervené

složce světelného spektra, to způsobuje ložiskové změny rohovkového kolagenu, přesněji kontrakci fibril. Tím je způsobeno větší vyklenutí rohovky a následně zvýšena její refrakce. [1, 2, 23]

Astigmatická keratotomie (AK)

Astigmatická keratotomie (AK) je mikrochirurgická metoda využívaná pro korekci astigmatismu. Principem jsou incize rohovky, různé délky, hloubky a lokalizace dosáhnou požadované změny zakřivení rohovky. [1] K jejímu provedení se může využít manuální technika či femtolaser. K přesnému refrakčnímu výsledku se používají nomogramy. [1, 2]

Fakická nitrooční čočka

Tato metoda funguje na principu implantace nitrooční čočky přes rohovkový nebo sklerální řez při zachování původní přirozené čočky. [1, 2, 8]

Využívá se hlavně k řešení vysoké myopie, ale i hypermetropie a astigmatismu. Umístění a uchycení se liší podle typu implantované čočky, stejné však zůstává umístění před přirozenou čočkou, tím docílíme potřebné změny dioptrické mohutnosti při zachování akomodace. [1, 2, 8]

První fakické nitrooční čočky se implantovaly v 50. letech 20. století a docházelo k závažným pooperačním komplikacím, například edematózním změnám rohovky na podkladě endotelové dekompenzace, následkem byl pooperační úbytek endotelových buněk. Další komplikací byly retrakce duhovky, časté záněty, vznik sekundární katarakty a glaukomu. [1, 2, 8]

V současnosti se používají měkké fakické čočky, které jsou implantována do přední komory (předněkomorové) tak i do zadní (zadněkomorové). Předněkomorová čočka je uchycena na duhovku, případně jiný typ se se fixuje v komorovém úhlu. Zadněkomorové čočky leží na přední ploše původní čočky, podobně jako kontaktní čočka na rohovce. [2, 1, 8]

Základní kritéria pro implantaci fakické nitrooční čočky jsou stabilita refrakční vady, hloubka přední komory minimálně 2,75 milimetrů. Vyhodnocuje se šířka zornice, velikost předního segmentu oka, nitrooční tlak a počet endotelových buněk. [1, 2, 8]

Bioptics

Bioptics je typ refrakční chirurgie, který kombinuje výše uvedené metody. Nejprve se implantuje nitrooční čočka a následně se provede laserové seříznutí rohovky k dokorigování reziduální refrakční vady. Je možné kombinovat i s astigmatickou keratomií. Využívá se především u korekce vysokých refrakčních vad. [2, 18]

Extrakce čiré čočky

Jak sám název napovídá cílem této metody je výměna přirozené nezkalené čočky za umělou nitrooční čočku. Zákrok probíhá obdobně jako operace katarakty. [2, 8]

Využívá se ke korekci hypermetropie, myopie, astigmatismus, dále jako PRELEX u presbyopických pacientů. [2, 8]

Mohou zde nastat jisté komplikace jako například endoftalmitida, neadekvátní refrakční výsledky a ochlípení sítnice u mladších pacientů s vyšší myopií. [1, 2, 8]

2.4. Výpočet dioptrické síly nitrooční čočky

Nitrooční čočky dělíme do několika skupin podobně jako kontaktní čočky podle typu materiálu, počtu ohnisek a polohy. [2, 5, 8, 24]

Tvrdé, které se používaly především na začátku implantací intraokulárních čoček, jsou vyrobené převážně z polymethylmethakrylátu (PMMA). Jejich zavedení není výjimkou ani dnes, ale musí se počítat s větším operačním řezem, kolem 5-6 milimetrů. [2, 5, 8, 24]

Měkké nitrooční čočky obsahují silikonové a akrylové látky. Jejich implantace je mnohem jednodušší s menším zaváděcím řezem kolem 2,2 mm. [2, 5, 8, 24, 25]

Jedno ohniskové neboli monofokální nitrooční čočky korigující sférickou refrakční vadu obdobně jako brýlová sférická korekce. [5, 8]

Více ohniskové korigují převážně presbyopické pacienty. Mohou být bifokální, trifokální nebo multifokální. Podobně jako u multifokálních kontaktních čoček i multifokální nitrooční čočky mají soustředné kruhy vedené od kraje k centru, aby byla zajištěna ostrá zraková ostrost při pohledu do dálky, tak i do blízka. Pacienti s tímto typem čočky mohou pociťovat i nedostatky v celkovém vidění, jako například fotopsie, mají zhoršenou kontrastní citlivost, pocit nestálosti čočky v oku a jsou citlivější na oslnění. [2, 5, 8, 24, 26]

Dále torická nitrooční čočka pro korekci astigmatismu, který musí být pravidelný,

u nepravidelného nelze zajistit skvělé výsledky zrakové ostrosti. Jako brýlová torická čočka, tak i intraokulární torická čočka musí být v oku natočena do správné osy. To je docíleno správným výpočtem dioptrické síly, výběrem správného designu a polohy. [2, 5, 8, 24–26]

Pro výpočet síly nitrooční čočky je nutné znát přesné parametry oka. Potřebný je refrakční stav oka, biometrie (axiální délka oka) a keratometrie, které se následně vsadí do matematického kalkulačního vzorce. [2, 5, 8, 24]

2.4.1. Na oku po refrakční operaci

Během refrakční operace dojde ke změnám anatomie rohovky, to způsobuje problémy při správném výpočtu optické mohutnosti intraokulární čočky. Tomografie na principu Scheimpflugovy kamery změří zakřivení přední i zadní části rohovky, protože u pacientů po refrakční operaci neplatí proporcionální vztah mezi přední a zadní plochou rohovky. Dalším ovlivňujícím faktorem je asfericita rohovky. Chybné výpočty nitrooční čočky vedly k vymyšlení nových vzorců. [11, 27, 28]

2.5. Typy kalkulačních vzorců

Vzorci jsou důležité k výpočtu dioptrické síly nitrooční čočky a pro dosažení emetropických podmínek po operaci. Pro správné použití kalkulačních vzorců je potřeba vědět přesné rozměry poloměru křivosti, indexu lomu a pozice optické osy. Mohou zde nastat jisté problémy, nejsme schopni změřit všechny parametry přesně a tím nezískáme správné hodnoty. Další problém nastává při samotné operaci implantace IOL, protože každé oko je individuální systém a nevíme, jak přesně na to zareaguje. Pro výpočet nitrooční čočky nelze zahrnout i případnou změnu, které souvisí s operací. Z těchto důvodů je celá operace závislá na správně změřené biometrii oka. Pooperační refrakce je závislá na výběru vhodného vzorce pro výpočet intraokulární čočky. Samostatné vzorce se dělí do čtyř generací podle doby jejich vzniku. S technologií přichází i nové možnosti měření parametrů oka, proto se vzorce v jednotlivých generacích liší nově změřenými vstupními parametry. V dnešní době se používají převážně vzorce třetí a čtvrté generace, které mají přesnější pooperační výsledky než vzorce první a druhé generace. [25–27, 29]

2.5.1. Vzorce první generace

Na začátku operací katarakty se do oka vkládala stejná umělá čočka o optické mohutnosti +18 DPT. Bohužel tato metoda vedla k velkým zbytkovým refrakcím, v některých případech až +9 DPT. To vedlo k prvním pokusům pro přesný výpočet potřebné nitrooční čočky za použití vzorce: $P = 21 + 1,25 \cdot B$ [5, 30]

P označuje optickou mohutnost nitrooční čočky v DPT, B označuje hodnotu brýlové čočky v DPT. [5, 30]

Vergenční rovnice

Ruský chirurg Fjodorov představil v roce 1967 možnost výpočtu IOL za použití vergenční rovnice. [5, 30]

$$P = \frac{1336}{AL-ELP} - \frac{1336}{\frac{1336}{\frac{1000}{DPostRx} - V} - K - EL P} \quad [30]$$

P označuje optickou mohutnost nitrooční čočky v DPT, AL je pro axiální délku oka v milimetrech, ELP = efektivní pozice čočky (po operaci) v milimetrech, K je celková optická mohutnost rohovky v DPT, V označuje vertikální vzdálenost korekční brýlové čočky od rohovky v milimetrech, DPostRx je požadovaná pooperační refrakce v DPT. [5, 30]

Podobné vzorce měli také Colenbrander, Hoffer a Binkhorst, vzorec se od předchozího lišil v jiném rohovkovém indexu a jiné interpretaci. [5, 30]

Binkhorstův vzorec

V průběhu let se více uchytil jednodušší Binkhorstův vzorec, který se využíval u implantací nitrooční čočky do přední komory. Jeho znění: $P = \frac{1336}{AL-PK} - \frac{1336}{\frac{1336}{K} - PK}$ [5, 30]

P – optická mohutnost čočky v DPT, AL – axiální délka oka v milimetrech, PK – hloubka přední komory v milimetrech, K – optická mohutnost rohovky v DPT. [5, 30]

2.5.2. Vzorce druhé generace

SRK

Trojice autorů Sanders, Retzlaff a Kraft představili v roce 1980 nový vzorec SRK. Používají statistiku jako hlavní metodu. Vzorec se používal u implantací do přední komory, kde se prokázaly zásadně lepší výsledky než u zadněkomorových nitroočních čoček, protože A- konstanta měla ze začátku hodnotu 116,5, kvůli snaze o zmenšení chyby u implantací do zadní komory se začala používat proměnná A-konstanta, která byla individuální pro každou umělou čočku. Výrobci tak začali každé čočce přidělovat vlastní A-konstantu. [27, 30, 31]

$$P = A_{konst} - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K [30]$$

P – optická mohutnost implantované čočky v DPT, A_{konst} – hodnota konstanty implantované nitrooční čočky, AL – axiální délka oka v mm, K – optická mohutnost rohovky v D. [27, 30, 31]

Aby se dosáhlo nulové pooperační refrakce, musela se vypočítat ideální hodnota A-konstanty pomocí vzorce: $A - konst = \frac{8,55 \cdot B - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K - P}{0,0875 \cdot B - 1}$ [30]

Kde B je pooperační brýlová korekce v DPT, AL je axiální délka oka v milimetrech, K je optická mohutnost rohovky v DPT a P je optická mohutnost nitrooční čočky v DPT. [27, 30, 31]

SRK II

V případě extrémních délek bulbů (menší než 21 mm a větších než 26 mm) docházelo k velkým nepřesnostem. Proto byli autoři nuceni vydat nový vzorec, který pojmenovali SRK II. Byl vydán v roce 1988, má stejné parametry jako SRK, ale liší se vstupními parametry. [27, 30, 31]

$$P = A_{konst} - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K [30]$$

Kde platí pro:

AL < 20 mm	A _{konst} = A _{konst} + 3	
20 mm ≤ AL < 21 mm	A _{konst} = A _{konst} + 2	
21 mm ≤ AL < 22 mm	A _{konst} = A _{konst} + 1	
22 mm ≤ AL < 24,5 mm	A _{konst} = A _{konst}	
AL > 24,5 mm	A _{konst} = A _{konst} - 0,5	[27, 30, 31]

U vzorce SRK II se přičítá k A-kontantě celočíselná hodnota závislá na axiální délce oka

Pro výpočet individualizované konstanty se používá vztah:

$$AKonst\ individual = P + B \cdot rf + 2,5 \cdot AL + 0,9 \cdot K - C \quad [30]$$

P je optická mohutnost nitrooční čočky v DPT, B je pooperační brýlová korekce v DPT, AL je axiální délka oka v milimetrech, K je optická mohutnost rohovky v DPT, C je faktor upravující A-konstantu v závislosti na axiální délce, rf je refrakční faktor, pro který platí následující: [27, 30, 31]

$$P < 16 \text{ je } rf = 1,00$$

$$P > 16 \text{ je } rf = 1,25 \quad [29]$$

Pro faktor C platí:

$AL < 20 \text{ mm}$	$C = A_{konst} + 3$	
$20 \text{ mm} \leq AL < 21 \text{ mm}$	$C = A_{konst} + 2$	
$21 \text{ mm} \leq AL < 22 \text{ mm}$	$C = A_{konst} + 1$	
$22 \text{ mm} \leq AL < 24,5 \text{ mm}$	$C = A_{konst}$	
$AL > 24,5 \text{ mm}$	$C = A_{konst} - 0,5$	[27, 30, 31]

2.5.3. Vzorce třetí generace

Vzorce třetí generace jsou charakterizovány kombinací teoreticko-statického přístupu, dá se říct, že jsou nejvíce přesné. Začíná se poprvé počítat i s hloubkou přední komory a jako v předešlých vzorcích s axiální délkou oka, a navíc také s rohovkovým zakřivením. Mezi zástupce patří Holladay, Hoffer Q a upravený vzorec z předešlé generace SRK/T. [27, 30, 31]

Holladay I

J. T. Holladay uvedl v roce 1988 vzorec, který se používal u plankonvexní čočky. Obsahuje svůj vlastní individualizační parametr SF, což je surgeon factor (faktor operace). Počítá s 20 – 25,32 mm proporcionalní závislosti hloubky přední komory na axiální délce

oka, po překročení hranice 25,32 mm považuje hloubku přední komory za konstantní. Zbylá vzdálenost, vzdálenost od duhovky k přední ploše implantované čočky, je parametr zohledňující SF. Holladay svůj vzorec upravil, aby se mohla využít více zavedená A-konstanta. Přepočítání mezi SF a Akonst vypadá následující: $SF = Akonst \cdot 0,5663 - 65,60$ [27, 30, 31]

SRK/T

Sanders, Retzlaff a Kraft představili v roce 1990 jako odpověď na Holladayovi formuli vzorec SRK/T, který je založen na rozšířeném zápisu vergenčních závislostí poupraveném regresní analýzou. Vzorec počítá s hloubkou přední komory (ACD) a s veličinou WTW (průměr viditelné duhovky). Ze všech SRK vzorců má SRK/T nejlepší výsledky u extrémně dlouhých bulbu, u ostatních délek jsou výsledky jen nepatrně lepší. [27, 30, 31]

Hoffer Q

Po pár letech vynalezl Hoffer vzorec Hoffer Q, který se využívá u krátkých a normálních axiálních délek oka. Ve studii z roku 1996 bylo prokázáno, že má vzorec přesnější výsledky u očí s axiální délkou bulbu menší než 22 mm. Vzorec využívá u výpočtu nitrooční čočky ACD konstantu. [27, 30, 31]

2.5.4. Vzorce čtvrté generace

Haigis

V roce 1991 byl publikován vzorec Haigis, který má stejný matematický základ jako vzorce třetí generace, ale pracuje se zde s více vstupními proměnnými, s optickou mohutností čočky, hloubkou přední komory a axiální délkou oka. Rozdílem od předchozí generace vnímáme možnost individualizace každého parametru zvlášť, což vede i k vyhovujícím výsledkům u všech různě dlouhých bulbu. [30, 32]

Holladay II

Pár let na to zareagoval Holladay a prezentoval svůj další vzorec, který nazval Holladay II. byl upraven díky 30 000 pacientům a má nově sedm vstupních proměnných. Vzorec má velmi dobré výsledky u krátkých a dlouhých axiálních délek oka, naopak u

normální axiální délky vykazuje výsledky horší než u jeho předchozí verze vzorce. Kvůli ne tak skvělým výsledkům představil program Holladay IOL Calculatant, který každému chirurgovi umožní výpočet nitrooční čočky podle jeho zadání. Program má databázi údajů, které vkládá sám operatér a u nich vyhodnocuje správnou dioptrickou sílu nitrooční čočky. [30, 33]

Program obsahuje všechny známé vzorce pro výpočty a díky pooperačním výsledkům se dále snaží o statisticky nejlepší hodnotu refrakce po operaci. [30]

Barretův kalkulátor

Barrettův kalkulátor vymyslel australský profesor Graham Barrett. Je používán při předoperačním vyšetření pro výpočet vhodné umělé nitrooční čočky. Vypočítá polohu čočky pro každého pacienta individuálně. Barrettův kalkulátor je k dispozici v pěti verzích: Barrett Universal II Formula, Barrett True K Formula, Barrett Tru K Toric Formula, Barrett Toric Calculator a Barrett RX Formula. [34–36]

Barrett Universal II Formula je založený na Gaussových principech. S využitím hloubky přední komory (ACD), AL, keratometrií, tloušťky čočky a WTW, dokáže předpovědět odhadovanou polohu čočky. Nemusí brát v úvahu dlouhou axiální délku oka u myopických pacientů, protože funguje na jiných přesnějších principech než regresivní metody. Barrett Universal II Formula je základem pro Barrett Toric Calculator, který určuje hodnoty torických nitroočních čoček u korekce astigmatických pacientů. [34–36]

Pro pacienty po prodělání refrakční operace slouží kalkulátor Barrett True K, případně jeho modifikace pro torické čočky Barrett True K Toric. Barrettův kalkulátor zvládne předpovědět individuální zakřivení zadní plochy rohovky, díky zákonitosti zadního rohovkového astigmatismu včetně protisměrné orientace astigmatických os přední i zadní plochy u většiny pacientů. [34–36]

Doctor Name	<input type="text"/>	Patient Name	<input type="text"/>	Patient ID	<input type="text"/>
Lens Factor	<input type="text"/> (-2.0-5.0)	or A Constant	<input type="text"/> (112-125)	Personal Constant	<input type="text"/>
History OD:	<input type="text"/> Myopic Lask	History OS:	<input type="text"/> Myopic Lask		
Pre-Lasik Ref. (R)	<input type="text"/>	Post-Lasik Ref. (R)	<input type="text"/>	Pre-Lasik Ref. (L)	<input type="text"/>
Post-Lasik Ref. (L)	<input type="text"/>				
Measurements:					
Axial Length (R)	<input type="text"/> (12-38 mm)	Axial Length (L)	<input type="text"/> (12-38 mm)		
Measured K1 (R)	<input type="text"/> (30-60 D)	Measured K1 (L)	<input type="text"/> (30-60 D)		
Measured K2 (R)	<input type="text"/> (30-60 D)	Measured K2 (L)	<input type="text"/> (30-60 D)		
Optical ACD (R)	<input type="text"/> (0-6 mm)	Optical ACD (L)	<input type="text"/> (0-6 mm)		
Target Ref. (R)	<input type="text"/> 0 (-10-10 D)	Target Ref. (L)	<input type="text"/> 0 (-10-10 D)		
Optional:					
Lens Thickness (R)	<input type="text"/> (2-8 mm)	Lens Thickness (L)	<input type="text"/> (2-8 mm)		
WTW (R)	<input type="text"/> (8-14 mm)	WTW (L)	<input type="text"/> (8-14 mm)		

Obrázek 5: Barrett True K [35]

Shammas

Shammas metoda byla vytvořena Dr. Hadyem S. Shammasem a publikována v roce 1990. Od té doby se stala populární alternativou ke klasickým metodám výpočtu IOL. Některé studie naznačují, že tato metoda může poskytovat přesnější výsledky pro pacienty s vysokými refrakčními chybami. [37, 38]

Metoda se používá k výpočtu nitrooční čočky u pacientů se známou klinickou historií, tak i u pacientů u kterých historii neznáme. Hlavní hodnota pro výpočet je hloubka přední komory, protože se nemění refrakčním zákrokem, na rozdíl od keratometrie. [37, 38]

Masketův vzorec

Metoda Samuela Masketa začíná výpočtem hodnoty IOL, jako by pacient refrakční zákrok nepodstoupil, používají se k tomu nejčastěji vzorce SRK/T, Hoffer Q nebo Holladay 1. Poté se vypočítá pomocí Masketova vzorce přídavek k této hodnotě IOL:

$$IOL_{AD} = SIRC \cdot (-0,326) + 0,101 \quad [37, 38]$$

kde IOL_{AD} udává hodnotu přídavku k vypočtené IOL v dioptriích a SIRC je změna refrakce indukovaná refrakčním zákrokem v dioptriích. Výsledný přídavek se přičte k původní hodnotě IOL v případě myopie, nebo odečte v případě hypermetropie. [25, 38]

2.5.5. Software

Okulix

Okulix je počítačový software pro výpočet nitrooční čočky, který je založen na raytracingu, neboli trasování paprsku. Jedním z dostupných softwarů, který na tomto principu pracuje, je Okulix. Program byl vyvinut v Německu. Vyhodnocuje světelné paprsky, které jsou omezeny pouze velikostí zornice, to je hlavní rozdíl mezi Okulixem a standardními výpočty pro nitrooční čočky. Ty jsou založeny na Gaussově optice, která platí pouze pro paraxiální paprsky. Obraz na sítnici nevytváří pouze paprsky, které jsou blízko optické osy. Paprsky jsou lomeny na jednotlivých optických površích v závislosti na jejich indexu lomu. Data zahrnutá do výpočtů nitrooční čočky jsou například poloměr, zakřivení, index lomu, tloušťka a měření topografie rohovky. [39]

PhacoOptics

System, který také pracuje na principu sledování paprsků, je PhacoOptics. Výkonný systém pro výpočet nitroočních čoček dále zlepšuje jejich správný výsledek. [40]

System sledování paprsků pracuje na základě přesného sledování paprsků, zde se aplikuje Snellův zákon a Gaussova optika sleduje paraxiální paprsky. Vynikající účinnost dokládá vědecká publikace Thomase Olsena, autora programu. Výpočet výkonu nitrooční čočky zahrnuje kromě patentového konceptu C-konstanty i nejnovější generaci algoritmů pro předpovídání odhadované roviny čočky. Podle toho se poloha nitrooční čočky předpovídá z předoperačního vyšetření čočky (tloušťka a hloubka přední komory čočky). Tímto způsobem můžeme předpovídat hodnotu nitrooční čočky nejen u dlouhých a krátkých očí, ale i u očí s příkřejším nebo plošším povrchem rohovky, u pacientů po LASIKU a u pacientů s dalšími netradičními očními případy. Konvenční keratometrie je založena pouze na měření předního povrchu rohovky. Pro úplný popis je ale třeba vzít v úvahu i zadní povrch. System PhacoOptics podporuje zpracování dat o zadní ploše rohovky. Data lze získat pomocí moderních zobrazovacích systémů předního segmentu oka, jako je OCT nebo Scheimpflug kamera. Databázový system PhacoOptics je nezávislý počítačový software, který je vytvořen pro Microsoft Windows. Celá verze systému obsahuje obsáhlý manuál a pomocný system, který bezpečně provede uživatele všemi aspekty a úskalími výpočtu nitrooční čočky. [40, 41]

2.5.6. Vzorce po refrakčních operacích

Double K

Arramberi San Sebastian přišel v roce 2001 s metodou zvanou Double K. pro výpočet hodnoty ELP se využívá zakřivení rohovky před refrakční operací. Optickou mohutnost IOL vypočítá z hodnot keratometrie po refrakčním zákroku. Metoda slouží k úpravě vzorců třetí a čtvrté generace, které jinak nelze použít pro výpočet IOL po refrakční operaci. [29, 42]

Feiz-Mannis

U této metody je nejmenší pravděpodobnost vzniku hypermetropického překvapení u myopických pacientů. Pro výpočet je důležité znát zakřivení rohovky před refrakční operací, správnou korekci pacienta a axiální délku oka. Nejdříve se vypočítá optická mohutnost nitrooční čočky jako kdyby pacient refrakční operaci nikdy nepodstoupil, poté se vypočítá IOL po refrakčním zákroku. [43]

$$IOL_{post} = IOL_{pre} - \frac{\Delta D}{0,7} \quad [43]$$

IOL_{post} – optická mohutnost IOL po refrakční operaci v DPT, IOL_{pre} – optická mohutnost IOL před refrakční operací v DPT, ΔD – korekce pacienta v DPT. [43]

2.5.7. Výběr vhodného vzorce

V současné době jsou vzorce obsaženy v přístrojích, jako je IOL Master, který se používá k 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 se používají k individualizaci zmíněných vzorců. Ve speciálních případech, jako jsou předchozí refrakční zákroky na rohovce, vyžaduje výpočet pro polypseudoafakii a výpočet fakické nitrooční čočky speciální výpočty umělé nitrooční čočky. [27, 30]

Tabulka 1: odpovídající typ vzorců pro výpočet IOL dle axiální délky oka [26, 29]

Axiální délka oka [mm]		Vzorec
Krátká	20,00 – 21,99	Haigis, Hoffer Q, Holladay 2
Průměrná	22,00 – 25,99	Holladay 1, SRK/T, Hoffer Q
Středně dlouhá	26,00 – 27,99	Holladay 2, SRK/T
Dlouhá	28,00 – 30,00	Holladay 1, Holladay 2

Dále je důležité při výpočtu nitrooční čočky u dětských pacientů používajících hypermetropizaci závislou na věku. Cílem není vždy emetropický stav, ale lehká myopie. [27, 30]

3. Experimentální část

V experimentální části jsem se zaměřila na analýzu dat a porovnání jednotlivých vzorců pro výpočet optické mohutnosti intraokulární čočky pacientů po předchozím rohovkovém refrakčním zákroku. K této části mi byla poskytnuta data doc. MUDr. Šárky Pitrové, CSc. která byla chirurgem všech pacientů a provedla operace katarakty na Oční klinice JL. Refrakční operace rohovky se u každého pacienta prováděly jinde.

3.1. Soubor pacientů

Sledovaný soubor tvoří 15 pacientů a 24 očí po refrakčním zákroku a následně odoperovanou kataraktou. Pacienti jsou ve věku 47 až 66 let. Refrakční zákroky rohovky byly provedeny u každého z pacientů zvlášť, a to v rozmezí let 1993–2011 s tím, že většina zákroků byla prováděna na obou očích. Následné operace katarakty byly provedeny v letech 2019–2023.

Převážná většina refrakčních zákroků byla provedena metodou Lasik (64,28 %), další metodou byla PRK, arkuátní keratotomie byla u jednoho pacienta. U některých pacientů však nebylo možno zjistit, o jaký refrakční zákrok se jednalo.

Do očí u pacientů našeho souboru byly nejčastěji implantovány nitrooční čočky MA50BM, které jsou monofokální sférické, dále intraokulární čočky SN6ATx, asférická nitrooční čočka CLAREON, SN6AT monofokální, asférická torická a SN60WF monofokální asférická.

20 operací proběhlo typem fakoemulzifikací a 4 operace metodou FLACS v kombinaci s femtosekundovým laserem.

3.2. Metodika

Všem pacientům ze sledovaného souboru, bylo provedeno komplexní předoperační vyšetření, které obsahovalo podrobnou biometrii oka, zjištění délky oka (AL), hloubku přední komory (ACD), tloušťku čočky (LT), průměr rohovky (WTW), optické mohutnosti rohovky v strmějším a plošším meridiánu (K1 K2), dále celkovou optickou mohutnost čočky, zadní sílu čočky a tloušťka čočky, změřen nitrooční tlak, vyšetřen visus do dálky a přesná refrakce. Pro každé oko byl vybrán nejvhodnější typ nitrooční čočky a vypočítána její optická mohutnost.

Pooperační vyšetření zahrnovalo zjištění visu do dálky a případná korekce, změřen nitrooční tlak.

Dále byla poskytnuta data vložena do kalkulátoru „IOL power calculation in eyes that have undergone LASIK/PRK/RK“ společnosti ASCRS. Zde se dalo vybrat ze tří možností výpočtu podle toho, jestli šlo o myopii před provedeným LASIKem/PRK, hypermetropii nebo jestli se jednalo o operaci PR. Kalkulátor vypadal následovně:

IOL Calculator for Eyes with Prior Myopic 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 is 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 EyeSys EIRP Tomex ACCP Galilei TCP2
 Atlas.Zone.value Atlas 9000 4mm zone Pentacam TNP_Apex_4.0 mm Zone
 Atlas.Ring.Values 0mm 1mm 2mm 3mm
 OCT (RT/View 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.
 †Most recent stable refraction prior to development of a cataract.
 ‡ Magellan ACP or OPD-Scan III APP 3-mm manual value (personal communication Stephen D. Klyce, PhD).
 †† Enter any constants available, others will be calculated from those entered. 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 6: Ukázka kalkulátoru [43]

Po vložení potřebných dat, kterými jsou cílová refrakce, refrakce před LASIK/PRK zákrokem, data týkající se biometrie oka a A-konstanty pro daný typ nitrooční čočky, kalkulátor vypočítal vhodnou hodnotu nitrooční čočky pomocí Barret True K vzorce, Haigis vzorec, Shammas, Masket Formula, dále vypočítal minimální, maximální a průměrnou hodnotu, jakou by měla mít nitrooční čočka.

IOL calculation formulas used: Double-K Holladay ¹, Shammas-PL², Haigis-L³, OCT-based⁴, & Barrett True K⁵

Using ΔMR		Using no prior data	
¹ Adjusted EffRP	--	² Wang-Koch-Maloney	--
² Adjusted Atlas 9000 (4mm zone)	--	² Shammas	21.72 D
¹ Adjusted Atlas Ring Values	--	³ Haigis-L	21.49 D
Masket Formula	20.23 D	¹ Galilei	--
Modified-Masket	20.06 D	² Potvin-Hill Pentacam	--
¹ Adjusted ACCP/ACP/APP	--	⁴ OCT	21.74 D
⁵ Barrett True K	19.89 D	⁵ Barrett True K No History	21.25 D
Average IOL Power (All Available Formulas):		20.91 D	
		Min: 19.89 D	
		Max: 21.74 D	

Obrázek 7: Výsledky z online kalkulátoru [27]

Tato data byla následně porovnávána mezi sebou s cílem zjistit, která z těchto metod by hypoteticky byla nejvhodnější k použití pro výpočet nitrooční čočky po refrakční operaci.

Soubor operovaných očí byl rozdělen do dvou skupin. Do první skupiny byly zařazeny ty, které měly nastavenou cílovou refrakci na 0 dioptrií (13 očí). Následně druhá skupina zahrnuje oči, které měly nastavenou cílovou refrakci na -2,5 dioptrií (11 očí).

Každou skupinu můžeme rozdělit ještě na dvě podskupiny, skupina 1A, kde se konečná korekce rovná cílové refrakci.

Tabulka 2: výsledky různých typů vzorců u skupiny 1A [vlastní zdroj]

Oko	Implantovaná nitrooční čočka (D)	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket Formula
1.	17,50	18,79	20,06	20,79	18,69
2.	16,50	16,83	18,88	19,64	16,61
3.	22,00	19,77	21,32	21,56	20,09
4.	17,00	18,12	19,01	19,35	17,28
5.	20,00	19,28	18,68	19,13	18,32
6.	13,50	10,01	9,61	10,93	8,16
7.	10,00	8,26	8,66	9,88	6,49

V tabulce 2 můžeme vidět implantovanou sílu nitrooční čočky, dále vypočtenou hodnotu přes kalkulátor vzorcem pro Barrett True K metodu, Haigis vzorcem a Masket Formula. V tomto souboru je 7 operovaných očí.

U této skupiny 1A se konečná korekce po operaci rovná cílové refrakci, tedy emetropickému stavu oka. Z toho vyplývá, že u nitrooční čočky byla vypočítaná správná optická mohutnost.

U druhé podskupiny 1B je konečná korekce odlišná od cílové, v těchto případech měla být cílová refrakce 0, ale konečná korekce je odlišná.

Tabulka 3: výsledky různých typů vzorců u skupiny 1B [vlastní zdroj]

Oko	Implantovaná nitrooční čočka (D)	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket Formula	Konečná korekce
1.	19,00	16,31	17,24	17,99	15,29	+0,75
2.	19,00	16,77	17,90	18,64	15,99	+1,00
3.	20,50	-	22,68	23,06	-	+1,00 / -1,00 /120°
4.	20,00	-	21,74	21,74	-	0 / -1,00 / 10°
5.	20,00	20,68	21,19	21,16	20,39	+1,00
6.	21,00	19,84	20,71	21,51	18,91	-0,50

U tabulce jsou vidět 3 výpočty optické mohutnosti nitrooční čočky, síla implantovaná IOL, následně výpočet Barrett True K, Haigis a Masket Formula, další sloupec představuje velikosti konečných korekcí oproti cílové 0.

Z tabulky 3 vyplývá, že se u výběru dioptrické síly nitrooční čočky nepodařilo vybrat správnou, aby konečná korekce byla shodná s emetropickým stavem oka u 6 očí.

Druhou skupinu můžeme také rozdělit do dvou podskupin. Skupina 2A, kde vyšla konečná korekce jako cílová refrakce, která byla nastavena na -2,5 dioptrií.

Tabulka 4: výsledky různých typů vzorců u skupiny 2A [vlastní zdroj]

Oko	Implantovaná nitrooční čočka (D)	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket formula
1.	12,50	-	13,27	13,93	-
2.	17,50	-	18,09	18,84	-

Jak z tabulky 4 vyplývá, konečná korekce se rovná cílové refrakci -2,5D, které jsme dosáhli u dvou případů. Lze konstatovat, že v těchto případech dioptrická síla IOL byla vypočítaná správně.

Druhá podskupina 2B shrnuje výsledky u těch operovaných očí, kde vyšla konečná korekce odlišně, než byla cílová refrakce -2,5D.

Tabulka 5: výsledky různých typů vzorců u skupiny 2B [vlastní zdroj]

Oko	Implantovaná nitrooční čočka (D)	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket formula	Pooperační refrakce
1.	20,50	15,81	19,06	19,73	14,89	-2,00 / -2,00 / 175°
2.	19,50	17,97	19,31	19,43	17,71	-3,00 / -0,50 / 165°
3.	14,00	12,21	14,98	15,42	8,04	-2,50 / -0,75 / 150°
4.	21,00	21,25	22,67	23,07	21,22	-1,00 / -0,75 / 15°
5.	21,00	17,80	18,78	19,26	16,92	-2,50 / -0,50 / 90°
6.	10,50	-	11,58	11,84	-	-2,00 / -1,75 / 160°
7.	11,50	-	12,50	12,93	-	-3,00
8.	20,50	20,68	21,19	21,82	20,41	-1,50
9.	19,50	17,84	18,89	19,24	19,64	-2,25 / -0,50 / 180°

Z tabulky 5 je vidět, že konečná korekce není stejná jako cílová refrakce, která měla být -2,5 dioptrií, to znamená že vypočítaná síla nitrooční čočky nebyla správná. Nepřesné hodnoty vyšly u 9 očí ze souboru.

3.3. Výsledky

Pro určení optimální optické mohutnosti nitrooční čočky je nezbytné znát informace o IOL a refrakci pacienta. Je známo, že IOL o optické mohutnosti 1 dioptrie odpovídá refrakci 0,7 dioptrie v brýlích. [29]

Optimální hodnota nitrooční čočky byla stanovena na základě měření pooperační objektivní refrakce a pooperační subjektivní refrakce. Tato hodnota je získána prostřednictvím následujícího vztahu.

$$IOLO_{\text{optimální}} = IOI_{\text{implantovná}} + \left(\frac{SE}{0,7}\right) [29]$$

kde IOLOptimální je hodnota optimální IOL vycházející v dioptriích, IOL implantovaná je hodnota implantované IOL v dioptriích a SE je sférický ekvivalent pooperační refrakce v dioptriích, který se vypočítá: $SE = SPH + \left(\frac{CYL}{2}\right)$ [29, 30]

Kde SPH je velikost sférické korekce a CYL hodnota cylindrické korekce, obojí v dioptriích.

Poté, co byla nalezena optimální optická mohutnost IOL, porovnála se s hodnotou optické síly nitrooční čočky, která byla vypočítána pomocí předchozích kalkulátorů. Pro určení míry chyby byl použit následující vzorec. [29]

$$\text{Chyba vzorce} = (IOL \text{ optimální} - IOL \text{ vypočítaná}) \cdot 0,7 [29]$$

kde IOLOptimální je hodnota optimální IOL v dioptriích, IOLvypočítaná je hodnota IOL dle kalkulatoru taktéž v dioptriích. [29]

Tyto vzorce využijeme pro výpočet chyb u jednotlivých typů vzorců, u implantované IOL, Barrett True K, Haigis, Shammas a Masket. Pro skupinu 1A vyšly chyby vzorce následovně:

Tabulka 6: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu operovaných očí 1A [vlastní zdroj]

			Chyba výpočtu				
Oko	IOL Implantovaná	IOL Optimální	IOL implantované	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
1.	17,50	17,50	0,00	-0,90	-1,80	-2,30	-0,80
2.	16,50	16,50	0,00	-0,20	-1,70	-2,20	-0,10
3.	22,00	22,00	0,00	+1,60	+0,40	+0,30	+1,30
4.	17,00	17,00	0,00	-0,80	-1,40	-1,60	-0,20
5.	20,00	20,00	0,00	+0,50	+0,90	+0,60	+1,20
6.	13,50	13,50	0,00	+2,40	+2,70	+1,80	+3,70
7.	10,00	10,00	0,00	+1,20	+0,90	+0,10	+2,50

Pro skupinu 1B vidíme chyby ve výpočtech v následující tabulce 7:

Tabulka 7: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 1B operovaných očí [vlastní zdroj]

			Chyba výpočtu				
Oko	IOL implantovaná	IOL optimální	IOL implantovaná	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
1.	19,00	20,07	+0,75	+2,00	+2,00	+1,50	+3,30
2.	19,00	20,43	+1,00	+2,60	+1,80	+1,30	+3,10
3.	20,50	21,21	+0,50	+14,90	-1,00	-1,30	+14,90
4.	20,00	19,30	-0,50	+13,50	-1,70	-1,70	+13,50
5.	20,00	21,40	+1,00	+0,50	+0,20	+0,20	+0,70
6.	21,00	20,30	-0,50	+0,30	-0,30	-0,90	+1,00

Pro skupina 2A vyšly chyby vzorce následovně:

Tabulka 8: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 2A operovaných očí [vlastní zdroj]

			Chyba výpočtu				
Oko	IOL implantovaná	IOL optimální	chyba	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
1.	12,50	8,93	-2,50	+6,30	-3,00	-3,50	+6,30
2.	17,50	13,93	-2,50	+9,80	-2,90	-3,40	+9,80

U skupina 2B jsou porovnané chyby v následující tabulce:

Tabulka 9: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 2B operovaných očí [vlastní zdroj]

Oko	IOL implantovaná	IOL optimální	Chyba výpočtu				
			IOL implantovaná	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
1.	20,50	16,22	-3,00	+0,30	-2,00	-2,50	+0,90
2.	19,50	14,86	-3,30	-2,20	-3,10	-3,20	-2,00
3.	14,00	9,89	-2,90	-1,60	-3,60	-3,90	+1,30
4.	21,00	19,04	-1,38	-1,60	-2,50	-2,80	-1,50
5.	21,00	17,07	-2,75	-0,50	-1,20	-1,50	+0,10
6.	10,50	6,39	-2,88	+4,50	-3,60	-3,80	+4,50
7.	11,50	7,21	-3,00	+5,10	-3,70	-4,00	+5,10
8.	20,50	18,36	-1,50	-1,60	-2,00	-2,40	-1,40
9.	19,50	15,93	-2,50	-1,30	-2,10	-2,30	-2,50

V tabulkách 6-9 jsou uvedeny chyby ve výpočtech IOL pomocí uvedených vzorců. Přesnost těchto vzorců byla porovnána s optimální hodnotou IOL, určenou subjektivní refrakcí.

V tabulce 10 jsou vidět průměrné chyby, směrodatné odchylky, minimální a maximální chyby u použitých typů vzorců pro výpočet nitrooční čočky.

Tabulka 10: chyby výpočtů IOL [vlastní zdroj]

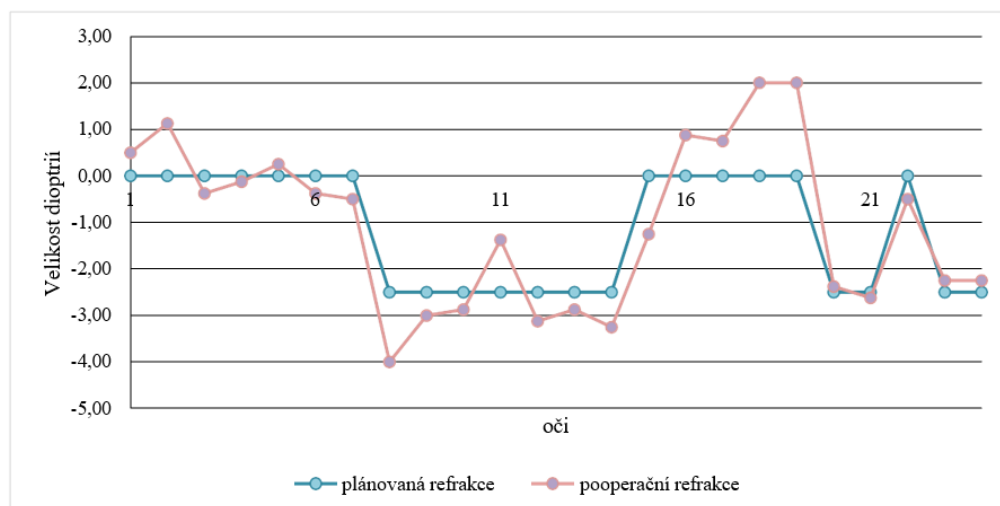
	IOL implantovaná	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
Průměrná chyba	1,08	2,58	1,02	1,13	2,64
Směrodatná odchylka	1,21	3,77	1,20	1,33	3,76
Minimální chyba	-3,25	-2,18	-3,70	-4,00	-2,60
Maximální chyba	1,00	14,85	2,72	1,80	14,85

V tabulce 11 jsou znázorněny absolutní a relativní chyby u použitých typů vzorců z online kalkulátoru, Barrett True K, Haigis, Shammas a Masket, pro výpočet nitrooční čočky.

Tabulka 11: absolutní a relativní četnosti chyb u použitých vzorců [vlastní zdroj]

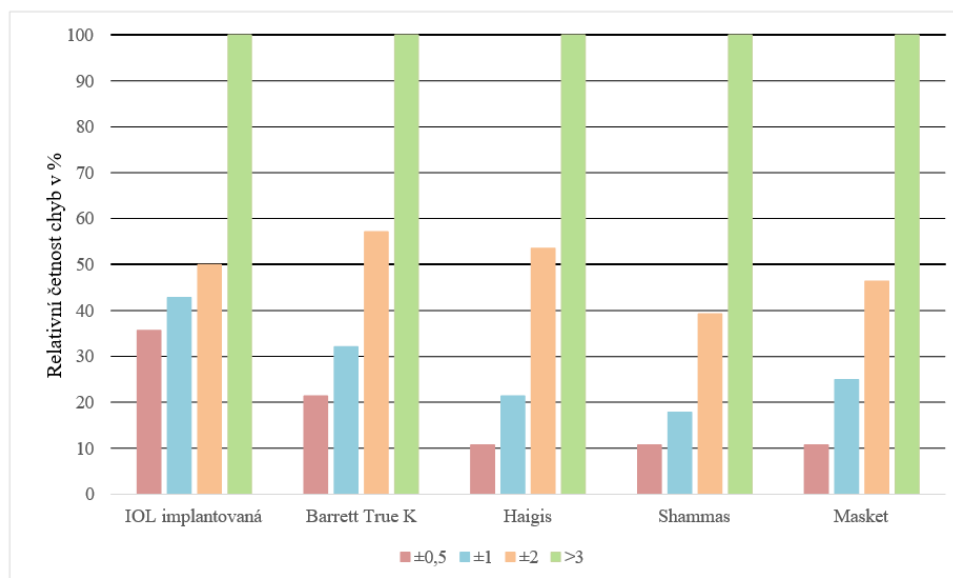
Absolutní četnost chyb					
	IOL implantovaná	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
Do $\pm 0,5$	10	6	3	3	3
Do ± 1	12	9	6	5	7
Do ± 2	14	16	15	11	13
Nad 3	28	28	28	28	28
Relativní četnost chyb [%]					
	IOL implantovaná	Barrett True K	Haigis	Shammas	Masket
Do $\pm 0,5$	36	21	11	11	11
Do ± 1	43	32	21	18	25
Do ± 2	50	57	54	39	46
Nad 3	100	100	100	100	100

V grafu 1 jsou označeny výsledné pooperační a plánované refrakce u jednotlivých očí.



Graf 1: komparace výsledné pooperační refrakce a plánované refrakce [vlastní zdroj]

V grafu 2 jsou zaneseny relativní četnosti chyb vzorců Barrett True K, Haigis, Shammas, Masket a implantované intraokulární čočky. Výsledek je v procentech



Graf 2: relativní četnosti chyb pro výpočet IOL u použitých vzorců [vlastní zdroj]

4. Diskuse

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo porovnat různé vzorce používané pro výpočet optické mohutnosti umělé nitrooční čočky po předchozím refrakčním zákroku. Porovnání bylo prováděno prostřednictvím hodnocení chyb ve vzorcích. Tyto chyby byly určeny výpočtem rozdílu mezi předoperačně vypočtenou hodnotou intraokulární čočky a optimální hodnotou IOL určenou po operaci. Optimální hodnota IOL byla vyhodnocena na základě subjektivní refrakce pacienta po operaci. Přesnost výpočtu byla zkoumána u pěti různých vzorců, které byly dostupné z online kalkulátoru „*IOL power calculation in eyes that have undergone LASIK/PRK/RK*“ společnosti ASCRS, zahrnoval vzorce Barrett True K, Haigis, Shammas a Masket.

Z výsledků vyplývá, že vzorce Barrett True K a Haigis mají průměrnou chybu blízkou nule, což naznačuje lepší přesnost výpočtu. Naopak, vzorce Shammas a Masket vykazují větší průměrnou chybu, což naznačuje jejich nižší přesnost.

Směrodatná odchylka udává míru variability mezi jednotlivými měřeními. Vyšší hodnoty směrodatné odchylky u vzorců Barrett True K, Haigis, Shammas a Masket naznačují větší rozptyl mezi jednotlivými měřeními, a tedy větší nejistotu výpočtu.

Minimální a maximální chyby zobrazují rozsah odchylek mezi implantovanou hodnotou IOL a optimální hodnotou IOL. Výsledky ukazují, že nejmenší minimální a maximální chyby jsou pozorovány u vzorců Barrett True K a Haigis, zatímco vzorce Shammas a Masket vykazují vyšší rozsah odchylek.

Při porovnání chyb ve výpočtech vyšly výsledky poměrně vyrovnaně, nejlépe na tom byl ale vzorec Barrett True K, který dosáhl relativní četnosti chyby do $\pm 0,5$ D u 21 % očí. Následovaly vzorce Haigis, Shammas a Masket, které dosáhly stejného výsledku, tedy 11% přesnost u chyb do $\pm 0,5$ D. Vzorce Barrett True K a Haigis vykazují nižší četnost chyb ve srovnání s vzorcem Shammas a Masket a hypoteticky by měly výrazně větší vliv na optimální výsledek operace.

5. Závěr

Základním rysem refrakční operace je změna zakřivení rohovky pomocí laseru na povrchu nebo v hloubce. Mezi nejčastější, nejbezpečnější a nejpřesnější operace patří LASIK. Spočívá v seříznutí rohovkové lamely, hojení a stabilizace výkonu je velice rychlá. Před jakýmkoli zákrokem je potřebné předoperační vyšetření, pro získání různých dat, především tloušťky rohovky, následuje samostatná operace a pooperační fáze.

Významnou a velmi důležitou roli při řešení výběru vhodné nitrooční čočky při operaci oka po refrakčních operacích hraje výpočet její dioptrické síly.

Správnou sílu nitrooční čočky získáme po přepočtu kalkulačními vzorci, ty jsou důležité pro přesnost pooperační refrakce. Musíme znát přesné parametry poloměru zakřivení, indexu lomu, hloubku přední komory a pozice optické osy, abychom je mohli správně dosadit do vybraného vzorce. Vzorců je v dnešní době několik typů. Je důležité použít takový, který nejlépe zohledňuje důležité parametry operovaného oka po refrakční operaci.

V rámci tohoto výzkumu byly jednotlivé vzorce porovnány na základě jejich chyby. Chyba vzorce byla určena jako rozdíl mezi předoperačně vypočtenou hodnotou intraokulární čočky a optimální hodnotou IOL, která byla získána subjektivní refrakcí. Získané výsledky byly zaznamenány do tabulek a grafů a podrobeny statistickému vyhodnocení.

V porovnání chyb ve výpočtech byly výsledky relativně vyrovnané, přičemž vzorec Barrett True K dosáhl nejlepšího výsledku s relativní četností chyby do $\pm 0,5$ D u 21 % očí. Následující vzorce Haigis, Shammas a Masket dosáhly stejného výsledku, tj. 11% přesnost u chyb do $\pm 0,5$ D. Vzorce Barrett True K a Haigis vykazují nižší četnost chyb ve srovnání s vzorci Shammas a Masket a hypoteticky by měly výrazně větší vliv na optimální výsledek operace.

Seznam použité literatury

- [1] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. Praha: Maxdorf, 2018. ISBN 978-80-7345-580-4.
- [2] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Druhé, přepracované vydání. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- [3] GROSVENOR, Theodore, Anna Maria AMBROZIAK, Karolina KALISZ, Iwona MACHALICA-ROZMUS, Marek OŻÓG, Ryszard ŚCIBIOR, Tomasz TOKARZEWSKI a Anna WÓJCIK-GRYCIUK. *Optometria*. Wydanie 1., dodruk. Wrocław: Edra Urban & Partner, 2017. ISBN 978-83-65835-43-7.
- [4] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl.přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [5] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [6] SHAJARI, Mehdi, Siegfried PRIGLINGER, Thomas KOHNEN, Thomas KREUTZER a Wolfgang J. MAYER, ed. *Katarakt- und Linsen Chirurgie* [online]. Berlin [Heidelberg]: Springer, 2023. ISBN 978-3-662-62457-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-62458-6
- [7] KRAUS, Hanuš, Eva RŮŽIČKOVÁ a Ivan KAREL. *Oční zákaly*. 1. vyd. Praha: Grada, 2001. ISBN 978-80-7169-967-5.
- [8] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [9] MARCHESANI, O. a H. KOCH. Katarakt bei Mittelohrerkrankungen. *Albrecht von Graefes Archiv for Ophthalmologie Vereinigt mit Archiv for Augenheilkunde* [online]. 1950, 150(3–4), 329–339. ISSN 0721-832X, 1435-702X. Dostupné z: doi:10.1007/BF00681430
- [10] CAVE, D., P. LEGNANI, R. DE FRANCHIS a B. S. LEWIS. ICCE Consensus for Capsule Retention. *Endoscopy* [online]. 2005, 37(10), 1065–1067. ISSN 0013-726X, 1438-8812. Dostupné z: doi:10.1055/s-2005-870264
- [11] HAMILTON, D. Rex a David R. HARDTEN. Cataract surgery in patients with prior refractive surgery. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2003, 14(1), 44. ISSN 1040-8738.
- [12] CHEE, Soon-Phaik, Seng-Ei TI, Meenakshi SIVAKUMAR a Donald T.H. TAN. Postoperative inflammation: extracapsular cataract extraction versus phacoemulsification. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 1999, 25(9), 1280–1285. ISSN 0886-3350. Dostupné z: doi:10.1016/S0886-3350(99)00161-3

- [13] LINEBARGER, Eric J, David R HARDTEN, Gaurav K SHAH a Richard L LINDSTROM. Phacoemulsification and Modern Cataract Surgery. *Survey of Ophthalmology* [online]. 1999, 44(2), 123–147. ISSN 00396257. Dostupné z: doi:10.1016/S0039-6257(99)00085-5
- [14] LACALLE, Victoria Díaz, Francisco Javier Orbegozo GÁRATE, Nerea Martinez ALDAY, Jose Antonio López GARRIDO a Jaime Aramberri AGESTA. Phacoemulsification cataract surgery in vitrectomized eyes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 1998, 24(6), 806–809. ISSN 0886-3350. Dostupné z: doi:10.1016/S0886-3350(98)80135-1
- [15] POPOVIC, Marko, Xavier CAMPOS-MÖLLER, Matthew B. SCHLENKER a Iqbal Ike K. AHMED. Efficacy and Safety of Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery Compared with Manual Cataract Surgery. *Ophthalmology* [online]. 2016, 123(10), 2113–2126. ISSN 01616420. Dostupné z: doi:10.1016/j.ophtha.2016.07.005
- [16] RIAZ, Yasmin, Aeesha Nj MALIK a Jennifer R EVANS. Phacoemulsification with posterior chamber intraocular lens versus manual small incision cataract surgery (MSICS) with posterior chamber intraocular lens for age-related cataract. In: THE COCHRANE COLLABORATION, ed. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010 [vid. 2023-08-02], s. CD008813. Dostupné z: doi:10.1002/14651858.CD008813
- [17] TATARU, Calin Petru. The current state of refractive surgery. *Romanian Journal of Ophthalmology*. 2017, 61(4), 237–238. ISSN 2457-4325.
- [18] ALBARRÁN-DIEGO, César, Gonzalo MUÑOZ a Teresa FERRER-BLASCO. Subjective Refraction Before LASIK Enhancement in Bioptics Procedures With Refractive Multifocal Intraocular Lenses. *Journal of Refractive Surgery* [online]. 2011, 27(8), 556–557. ISSN 1081-597X. Dostupné z: doi:10.3928/1081597X-20110510-01
- [19] MELKI, Samir A a Dimitri T AZAR. LASIK Complications. *Survey of Ophthalmology* [online]. 2001, 46(2), 95–116. ISSN 00396257. Dostupné z: doi:10.1016/S0039-6257(01)00254-5
- [20] AMBRÓSIO, Renato a Steven E. WILSON. LASIK vs LASEK vs PRK: Advantages and indications. *Seminars in Ophthalmology* [online]. 2003, 18(1), 2–10. ISSN 0882-0538, 1744-5205. Dostupné z: doi:10.1076/soph.18.1.2.14074
- [21] PETR NOVÁK. Laserová operace očí. In: *Lékaři online* [online]. Dostupné z: <https://www.lekari-online.cz/ocni-lekarstvi/zakroky/laserove-korekce-ocnich-vad#a-metody-povrchove>
- [22] TSUNEOKA, Hiroshi, Takuya SHIBA a Yoko TAKAHASHI. Feasibility of ultrasound cataract surgery with a 1.4 mm incision. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 2001, 27(6), 934–940. ISSN 0886-3350. Dostupné z: doi:10.1016/S0886-3350(01)00822-7

- [23] BRINKMANN, Ralf, Gerd GEERLING, Juergen KAMPMEIER, Norbert KOOP, Benno RADT a Reginald BIRNGRUBER. Laser thermokeratoplasty: analysis of in-vitro results and refractive changes achieved in a first clinical study. In: Gregory B. ALTSHULER, Reginald BIRNGRUBER, Marco DAL FANTE, Raimund HIBST, Herbert HOENIGSMANN, Neville KRASNER a Frederic LAFFITTE, ed. *BiOS Europe '97* [online]. 1997, s. 180–186 [vid. 2023-08-04]. Dostupné z: doi:10.1117/12.297840
- [24] AUFFARTH, Gerd U. Enhanced Monofocals: Matching New Presbyopia Patients to New Lenses. nedatováno.
- [25] MOHAN, Prashob a Arup CHAKRABARTI. Intraocular lens power calculation in 2019: The cutting edge. *Kerala Journal of Ophthalmology* [online]. 2019, 31(3), 191. ISSN 0976-6677. Dostupné z: doi:10.4103/kjo.kjo_71_19
- [26] ROH, Young Rae, Sang Mok LEE, Young Keun HAN, Mee Kum KIM, Won Ryang WEE a Jin Hak LEE. Intraocular Lens Power Calculation Using IOLMaster and Various Formulas in Short Eyes. *Korean Journal of Ophthalmology* [online]. 2011, 25(3), 151. ISSN 1011-8942. Dostupné z: doi:10.3341/kjo.2011.25.3.151
- [27] IOL Power Calculation After Refractive Surgery. *CRSToday* [online]. [vid. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://crstoday.com/articles/2015-oct/iol-power-calculation-after-refractive-surgery>
- [28] SAHIN, Afsun a Pedram HAMRAH. Clinically relevant biometry. *Current Opinion in Ophthalmology* [online]. 2012, 23(1), 47–53. ISSN 1040-8738. Dostupné z: doi:10.1097/ICU.0b013e32834cd63e
- [29] *Intraocular Lens Power Calculation after Corneal Refractive Surgery - EyeWiki* [online]. [vid. 2023-01-06]. Dostupné z: https://eyewiki.aao.org/Intraocular_Lens_Power_Calculation_after_Corneal_Refractive_Surgery
- [30] FALHAR, Martin. Vzorce pro výpočet optické mohutnosti intraokulárních čoček. *Jemná mechanika a optika*. nedatováno, 2008, 35–40. ISSN 0447-6441.
- [31] HOFFER, K. J. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 1993, 19(6), 700–712. ISSN 0886-3350. Dostupné z: doi:10.1016/s0886-3350(13)80338-0
- [32] HAIGIS, Wolfgang. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [online]. 2008, 34(10), 1658–1663. ISSN 0886-3350. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcrs.2008.06.029
- [33] MĂLĂESCU, Monica, Horia T. STANCA, Bogdana TĂBĂCARU, Adriana STĂNILĂ, Simona STANCA a Ciprian DANIELESCU. Accuracy of five intraocular lens formulas in eyes with trifocal lens implant. *Experimental and Therapeutic Medicine* [online]. 2020, 20(3), 2536–2543. ISSN 1792-0981. Dostupné z: doi:10.3892/etm.2020.8891
- [34] *Asia-Pacific Association of Cataract and Refractive Surgeons (APACRS)* [online]. [vid. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>

- [35] SKRZYPECKI, Janusz, Menka SANGHVI PATEL a Leejee H. SUH. Performance of the Barrett Toric Calculator with and without measurements of posterior corneal curvature. *Eye* [online]. 2019, 33(11), 1762–1767. ISSN 1476-5454. Dostupné z: doi:10.1038/s41433-019-0489-9
- [36] *Barrett True K Formula V2.5* [online]. [vid. 2023-01-10]. Dostupné z: http://calc.apacrs.org/Barrett_True_K_Universal_2105/
- [37] XIA, Tina, Christine E. MARTINEZ a Linda M. TSAI. Update on Intraocular Lens Formulas and Calculations. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology* [online]. 2020, 9(3), 186–193. ISSN 2162-0989. Dostupné z: doi:10.1097/APO.0000000000000293
- [38] SAVINI, Giacomo a Kenneth J. HOFFER. Intraocular lens power calculation in eyes with previous corneal refractive surgery. *Eye and Vision* [online]. 2018, 5(1), 18. ISSN 2326-0254. Dostupné z: doi:10.1186/s40662-018-0110-5
- [39] RABSILBER, T. M., A. J. REULAND, M. P. HOLZER a G. U. AUFFARTH. Intraocular lens power calculation using ray tracing following excimer laser surgery. *Eye* [online]. 2007, 21(6), 697–701. ISSN 1476-5454. Dostupné z: doi:10.1038/sj.eye.6702300
- [40] *PhacoOptics® | Aarhus N Denmark: IOL Innovations ApS* [online]. [vid. 2023-01-05]. Dostupné z: <https://www.phacooptics.net/>
- [41] CHENG, Bing, Yizhi LIU, Xing LIU, Jian GE, Yunlan LING a Xiaoping ZHENG. [Macular image changes of optical coherence tomography after phacoemulsification]. [*Zhonghua Yan Ke Za Zhi*] *Chinese Journal of Ophthalmology*. 2002, 38(5), 265–267. ISSN 0412-4081.
- [42] CHEN, Hui, Xinyi CHEN, Hanle WANG, Zhi FANG a Ke YAO. Intraocular Lens power calculation after laser refractive surgery: A Meta-Analysis. *Scientific Reports* [online]. 2020, 10(1), 2645. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-020-59487-1
- [43] Feiz-Mannis Method. *East Valley Ophthalmology* [online]. [vid. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://doctor-hill.com/iol-power-calculations/post-keratorefractive-surgery/myopic-lasik-lasek-prk/feiz-mannis-method/>

Seznam symbolů a zkratk

DPT	Dioptrie
pH	Chemický parametr označující stupeň kyselosti nebo zásaditosti
IKE	Intrakapsulární extrakce
ICCE	Intra capsular extraction
ECCE	Extracapsular extraction
FE	Fakoemulzifikace
FLACS	Femtosekundový laser
MSICS	Manual small incision cataract surgery
OCT	Optická koherenční tomografie
LASIK	Laser in situ keratomileusis
μm	Mikrometry
PRK	Fotorefrakční keratomie
LTK	Laserová termokeratoplastika
AK	Astigmatická keratomie
PRELEX	Extrakce čiré čočky
PMMA	Polymethylmethakrylát
mm	Milimetr
IOL	Intraokulární čočka
ACD	Hloubka přední komory
WTW	Průměr viditelné duhovky
P	Optická mohutnost čočky
B	Optická mohutnost brýlové čočky
AL	Axiální délka oka
ELP	Efektivní pozice čočky
DPostRX	Požadovaná pooperační refrakce
K	Optická mohutnost
V	Vertikální vzdálenost korekční brýlové čočky od rohovky
PK	Hloubka přední komory
Akonst	Konstanta IOL
C	Faktor upravující Akonstantu v závislosti na axiální délce oka
RF	Refrakční faktor
SF	Individualizační parametr (surgeon factor)
IOLAD	Hodnota přídatku k vypočtené IOL
SIRC	Změna refrakce indukovaná refrakčním zákrokem
IOLpost	Optická mohutnost IOL po refrakční operaci
IOLpre	Optická mohutnost IOL před refrakční operací
ΔD	Korekce pacienta
K1	Zakřivení přední plochy rohovky
K2	Zakřivení zadní plochy rohovky
p	Pravděpodobnost
α	Hladina významnosti

Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1: operace katarakty technikou ECCE [1].....	14
Obrázek 2: operace katarakty technikou FE [1]	14
Obrázek 3: refrakční operace metodou LASIK [1]	18
Obrázek 4: refrakční operace metodou PRK [1]	19
Obrázek 5: Barrett True K [35]	27
Obrázek 6: Ukázka kalkulátoru [43]	32
Obrázek 7: Výsledky z online kalkulátoru [27].....	32
Graf 1: komparace výsledné pooperační refrakce a plánované refrakce [vlastní zdroj]	39
Graf 2: relativní četnosti chyb pro výpočet IOL u použitých vzorců [vlastní zdroj]	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: odpovídající typ vzorců pro výpočet IOL dle axiální délky oka [26, 29]	30
Tabulka 2: výsledky různých typů vzorců u skupiny 1A [vlastní zdroj].....	33
Tabulka 3: výsledky různých typů vzorců u skupiny 1B [vlastní zdroj].....	34
Tabulka 4: výsledky různých typů vzorců u skupiny 2A [vlastní zdroj].....	34
Tabulka 5: výsledky různých typů vzorců u skupiny 2B [vlastní zdroj].....	35
Tabulka 6: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu operovaných očí 1A [vlastní zdroj]	36
Tabulka 7: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 1B operovaných očí [vlastní zdroj]	37
Tabulka 8: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 2A operovaných očí [vlastní zdroj]	37
Tabulka 9: chyby výpočtů použitých vzorců pro skupinu 2B operovaných očí [vlastní zdroj]	38
Tabulka 10: chyby výpočtů IOL [vlastní zdroj]	38
Tabulka 11: absolutní a relativní četnosti chyb u použitých vzorců [vlastní zdroj].....	39