

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

EKTÁZIE ROHOVKY VZNIKLÉ NÁSLEDKEM OPERACE LASIK

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Iva Zbořilová

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2013/2014

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, PhD.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, PhD. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 22. dubna 2014

Iva Zbořilová

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat panu RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, PhD za udělené rady a vedení mé bakalářské práce, dále pak paní MUDr. Pavlíně Hrabčíkové za odbornou konzultaci a panu Bc. Danielu Mrvovi za poskytnutí obrazového materiálu.

Tento text vznikl za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2014015.

Obsah

Úvod	6
1. Rohovka	7
1.1 Vrstvy rohovky se zaměřením na histologii	7
1.1.1 Epitel	7
1.1.2 Bowmanova membrána	8
1.1.3 Stroma	8
1.1.4 Descemetická membrána	8
1.1.5 Endotel	8
1.2 Fyziologie rohovky	9
1.2.1 Inervace rohovky	9
1.2.2 Výživa rohovky	9
1.2.3 Slzný film	9
1.2.4 Hojení rohovky	10
2. Metrické parametry rohovky	11
2.1 Poloměr zakřivení	11
2.2 Modely tvaru rohovky	12
2.3 Velikost rohovky	12
2.4 Tloušťka rohovky	13
2.5 Excentricita rohovky	14
2.6 Optická mohutnost	14
2.7 Rohovkový astigmatismus	15
3. Topografie rohovky	16
3.1 Topografické zobrazení	17
3.2 Barevné mapy	18
3.3 Matematická analýza povrchu rohovky	19
4. Laserová refrakční chirurgie LASIK	21
4.1 Indikace a kontraindikace k operaci metodou LASIK	21
4.2 Vyšetření a příprava pacienta před operací	22
4.3 Princip metody LASIK	23
4.4 Postup při operaci	24
4.5 Interakce laserového paprsku a rohovky	25
4.6 Rohovková stabilita a biomechanismus po operaci metodou LASIK	26

4.7 Pooperační komplikace	27
5. Ektázie rohovky	28
5.1 Keratokonus	28
5.1.1 Patogeneze	28
5.1.2 Etiologie	29
5.1.3 Symptomy a klinické příznaky	30
5.1.4 Klasifikace	31
5.1.5 Topografie	32
5.2 Pelucidní marginální degenerace	33
5.2.1 Etiologie	33
5.2.2 Symptomy a klinické příznaky	34
5.2.3 Topografie	34
5.3 Keratoglobus	35
5.3.1 Etiologie	35
5.3.2 Symptomy a klinické příznaky	35
5.4 Diferenciální diagnostika	35
6. Iatrogenní ektázie	37
6.1 Rizikové faktory vzniku iatrogenní ektázie	38
6.2 Studie vlivu operace metodou LASIK na vznik ektázie	38
6.3 Publikované kazuistiky	40
6.3.1 Iatrogenní ektázie indukovaná 45 dnů po operaci	40
6.3.2 Iatrogenní ektázie indukovaná 11 měsíců po operaci	41
6.3.3 Iatrogenní ektázie indukovaná 32 měsíců po operaci	41
6.4 Případy iatrogenních ektázií získaných z optometristického pracoviště	42
6.4.1 Iatrogenní ektázie indukovaná 12 měsíců po operaci	42
6.4.2 Iatrogenní ektázie indukovaná 10 let po operaci	43
6.5 Terapie	43
Závěr	45
Seznam literatury	46

Úvod

Stále oblíbenějším řešením korekce refrakční vady je podstoupení laserového refrakčního zákroku metodou LASIK, PRK nebo LASEK. Nároky lidí na kvalitní vidění se neustále zvyšují a laserová refrakční operace metodou LASIK je považována za bezpečnou a efektivní metodu sloužící ke korekci široké škály refrakčních vad od myopie, hypermetropie, astigmatismu až po presbyopii. Obvykle je tato operace provedena úspěšně a naplní očekávání operovaného pacienta. Existují však případy, ve kterých se nejprve výsledek operace jeví uspokojivě, avšak po uplynutí různě dlouhého časového období dochází k indukci obávané pooperační komplikace ve formě ektázie. Ektázie, která nevzniká přirozeně, ale z důvodu chirurgického zásahu do struktury rohovky, se odborně nazývá iatrogenní a obvykle má povahu keratokonu. Vzhledem ke stále zdokonalujícím se přístrojům využívaným k operaci, je tato komplikace záležitostí spíše minulosti, avšak i v dnešní době se sporadicky nějaký případ objeví.

Motivem pro výběr tematiky iatrogenních ektázií mi byl pacient trpící touto formou ektázie, se kterým jsem se setkala osobně v rámci školní optometristické praxe v optice ve FN Olomouc.

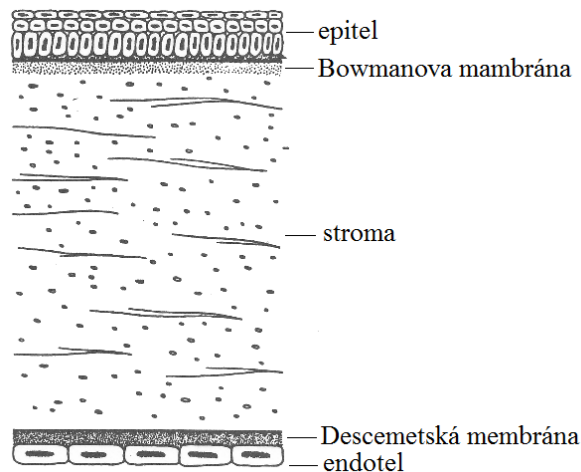
Cílem práce je shrnutí problematiky ektázií a prezentace vybraných konkrétních případů, které byly publikovány nebo získané z optometristického pracoviště. Pro snadné pochopení problematiky práce zahrnuje všeobecné informace o rohovce a seznámí s její topografií. Další část práce je věnována operační metodě LASIK a jednotlivým typům ektázií. Na závěr je uvedena stěžejní kapitola pojednávající o iatrogenních ektáziích včetně výčtu rizikových faktorů a názorných kazuistik.

1. Rohovka

Rohovka je společně s bělimou (sclerou) součástí jedné ze tří vrstev tvořících oční kouli (bulbus oculi), a to tunica fibrosa bulbi. Rohovka svým tvarem odpovídá kulovému vrchlíku, který zaujímá přibližně 1/6 povrchu oční koule. Vývoj rohovky začíná ve druhém měsíci embryonálního vývoje, konkrétně v 5. týdnu a skládá se z pěti významných vrstev. Mezi specifické vlastnosti rohovky, na základě kterých se odlišuje od ostatních tkání v lidském těle, patří její bezcévnost, bohatá inervace, pravidelná architektura a stavba zahrnující dvě bazální membrány. [1-3]

1.1 Vrstvy rohovky se zaměřením na histologii

Rohovka je tvořena pěti vrstvami, a to epitelem, Bowmanovou membránou, stromatem, Descemetovou membránou a endotelem. Nákres řezu rohovkou, na kterém jsou zobrazeny jednotlivé vrstvy, je uveden na obrázku 1.



Obr. 1: Řez rohovkou [4]

1.1.1 Epitel

Povrchový epitel rohovky je z histologického hlediska epitel vrstevnatý (skládá se z pěti až sedmi vrstev buněk), dlaždicový a nerohovějící. Jeho tloušťka je 30-50 μm a tvoří přibližně 10 % z celkové tloušťky rohovky. Díky přítomnosti kmenových buněk, které do epitelu migrují z limbální oblasti, zde dochází k četným mitózám, na jejichž podkladě má epitel výbornou schopnost regenerace. Buňky epitelu se obměňují každých 7 dní a v případě jeho poškození se hojí rychle a bez jizvy. Na povrchu epitelu se nachází ploché buňky s mikroklyky, jež zajišťují přilnavost vnitřní vrstvy slzného filmu

zvaného mucin. Epitel rohovky má v případě jeho neporušenosti funkci ochrany proti vniknutí patogenů a v malé míře reguluje množství tekutin ve stromatu. Obsahuje bohatou zásobu senzoričkových nervových vláken, které vycházejí z limbu a zajišťují vysokou senzitivitu rohovky. [3, 5]

1.1.2 Bowmanova membrána

Bowmanova membrána je bezbuněčná vrstva tvořená pletivem jemných kolagenních vláken, jejichž průměr je 20-30 nm. Tvoří přechod mezi stromatem a epitelem rohovky a je součástí bazální vrstvy epitelu zvané lamina fibroreticularis. Tloušťka Bowmanovy membrány je přibližně 8-12 μm . Na rozdíl od povrchového epitelu rohovky nemá schopnost regenerace a v případě poškození se hojí jizvou. [3, 5]

1.1.3 Stroma

Stroma rohovky je složeno z kolagenních fibril, proteoglykanů a vody. Kolagenní fibrily jsou tvořeny fibroblasty a jsou seskupeny do 200-250 pravidelných, rovnoběžných lamel, jejichž tloušťka je přibližně 2 μm . V prostoru mezi fibrilami se nacházejí proteoglykany, jejichž úkolem je vázat vodu. Fibroblasty neboli keratocyty tvoří a odstraňují extracelulární matrix, které obklopuje kolagenní fibrily. Rohovkové stroma zahrnuje přibližně 90 % tloušťky rohovky a 70-80 % jeho hmotnosti je tvořeno vodou. Stroma se vyznačuje nízkou schopností regenerace. [3, 5]

1.1.4 Descemetová membrána

Mezi další vrstvu rohovky patří Descemetová membrána. Tato membrána je homogenní povahy a je tvořena jemnými kolagenními fibrilami uspořádanými do trojrozměrné mřížky, což zajišťuje její pevnost. Descemetová membrána má schopnost regenerace, zamezuje průniku cév a bílých krvinek do stromatu a její tloušťka v dospělém věku je přibližně 8-12 μm . [3]

1.1.5 Endotel

Poslední vrstvou rohovky je vrstva endotelová. Jedná se o jednovrstevný plochý epitel, tvořený přibližně 400 000 hexagonálních buněk, jehož tloušťka se pohybuje mezi 4 až 6 μm . Hustota buněk u zdravého endotelu je 2600-3000 buněk na mm^2 , avšak tato hustota se snižuje s věkem, po nitroočních operacích, systémových a celkových onemocněních nebo transplantaci rohovky, jelikož endotelové buňky nejsou schopny obnovy. Úbytek buněk je tedy nahrazen změnou velikosti a tvaru buněk stávajících.

Funkcí endotelu je udržování transparentnosti rohovky a stabilní hydratace stromatu tedy neměnné optické mohutnosti rohovky. [3, 5]

1.2 Fyziologie rohovky

V následujících odstavcích jsou popsány základní mechanismy související se správnou funkcí zdravé rohovky, zaměřené na inervaci a výživu rohovky, slzný film a hojení tkáně rohovky.

1.2.1 Inervace rohovky

Inervace rohovky vychází z první větve pátého hlavového nervu (nervus trigeminus), který se v rohovce dělí na pletěň stromální a subepiteliální. Rohovka je nejcitlivější tkáň lidského těla, jelikož obsahuje nejvíce nervových zakončení na mm². Její citlivost je umocněna při přímém podráždění, nebo v důsledku poškození epitelu, při kterém dochází k obnažení nervových zakončení, jehož následkem je intenzivní bolest a slzení. [2, 3]

1.2.2 Výživa rohovky

Hlavními výživovými nutrimenty rohovky jsou aminokyseliny, glukóza a kyslík. Jelikož se jedná o bezcévnou (avaskulární) tkáň, její výživa je zajišťována difúzí. Glukózu a aminokyseliny rohovka získává difúzí z komorové tekutiny. Kyslík je přiváděn především ze vzduchu difúzí přes slzný film a poslední možnou cestou živin k rohovce je difúze ze spojivkových cév v oblasti limbu. V přímé souvislosti s avaskularizací rohovky je její pomalý metabolismus, v jehož důsledku se rohovka při poranění hojí velmi pomalu. Stabilní metabolická aktivita zajišťuje rohovce stálou teplotu, transparentnost a buněčnou reprodukci. [2, 3]

1.2.3 Slzný film

Svrchní vrstva rohovky je pokryta slzným filmem, jehož funkcí je zajistit dokonale hladký optický povrch rohovky, odvádět z něj nečistoty, udržovat dostatečnou hydrataci a chránit epitel před poškozením. Díky přítomnosti lysozomů (bakteriolytický účinek), laktoferinů (bakteriostatický účinek) a imunoglobulinů především IgA a v menší míře IgG a IgM ve vodnaté vrstvě slzného filmu, je zajištěna obranyschopnost rohovky. Slzný film je 7 μm silný a skládá se ze tří složek, a to mucinové, vodnaté a lipidové. První vrstva zajišťující adhezi složky vodnaté k epitelu rohovky a snižování povrchového napětí je vrstva mucinová, která je produkována pohárkovými buňkami

ve spojivce. Druhá vodnatá vrstva, jejíž tloušťka je přibližně 6 μm , je tvořena převážně vodou s příměsí různých látek, viz výše a je secernována ze slzné žlázy a přídatných slzných žlázek (Krauseho a Wolfringovy). Na vodnatou složku navazuje vrstva lipidová, která je tvořena lipidy produkoványými Meibomskými žlázkami. Hlavním úkolem lipidové vrstvy je zamezení odpařování slz z povrchu oka. [3, 6]

1.2.4 Hojení rohovky

Jako každá živá tkáň i rohovka má svůj reparační mechanismus, který je spuštěn vždy, když dojde k poranění rohovky následkem úrazu nebo operačního zákroku. Hojení tkáně rohovky lze rozčlenit do několika fází. První fáze, nazývaná epitelová neboli iniciální, trvá 12 až 24 hodin bezprostředně po poranění. Výsledkem první fáze je vytvoření epitelové zátky pomocí replikace a migrace buněk epitelu, které postupně vyplňují rohovkový defekt. Po fázi epitelové následuje fáze stromální neboli keratocytární trvající přibližně dva až šest týdnů. Výsledkem této fáze je syntéza nového kolagenu a vytěsnění epitelové zátky pomocí do rány migrujících aktivovaných keratocytů. Následuje fáze remodelační a stabilizační, která trvá od druhého do přibližně šestého měsíce a vede ke stažení a zpevnění rány. Principem poslední fáze je syntéza a rozpad stávajícího kolagenu za účelem vytvoření nové kolagenní sítě. [3, 6]

2. Metrické parametry rohovky

Metrické parametry, popisující číselně povrch rohovky, jsou významnými ukazateli v diagnostice povrchových abnormalit rohovky včetně ektázií. Jednotlivé pojmy se budou v textu často vyskytovat, a proto je vhodné, aby byly dostatečně objasněny. Mezi ukazatele metrických parametrů rohovky patří poloměr zakřivení a matematické modely tvaru rohovky, její velikost a tloušťka, dále pak excentricita, optická mohutnost a rohovkový astigmatismus.

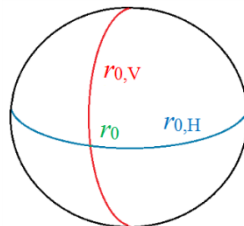
2.1 Poloměr zakřivení

Poloměr zakřivení (dále jen zakřivení) udává poloměr kulové plochy, kterou v daném místě můžeme nahradit plochu rohovky. Hodnoty centrálního zakřivení přední a zadní plochy rohovky dle [7] udává tabulka 1.

Zakřivení rohovky	Průměrná hodnota	Rozmezí
Přední plocha	7,8 mm	7,0-8,6 mm
Zadní plocha	6,7 mm	neuveдено

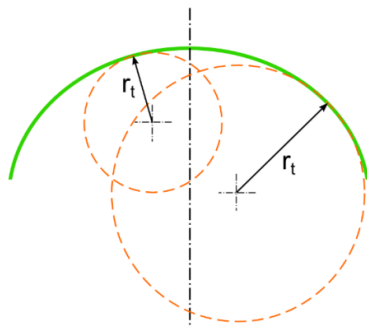
Tab. 1: Průměrné hodnoty centrálního zakřivení rohovky [7]

V souvislosti s rohovkou uvažujeme zakřivení centrální a necentrální. Centrálním zakřivením popisujeme středovou část rohovky o průměru 3 až 4 mm. V případě, že zakřivení rohovky r_0 je ve všech řezech shodné, mluvíme o sférickém tvaru rohovky. Ve většině případů však tato plocha sférická není. V takovém případě existují dva navzájem kolmé hlavní řezy (hlavní meridiány), ve kterých má rohovka maximální a minimální zakřivení a taková rohovka se nazývá astigmatická, viz kapitola 2.7. Poloměr zakřivení pro hlavní řez ležící více horizontálně označujeme jako $r_{0,H}$ a pro řez ležící více vertikálně $r_{0,V}$. Orientační náčrt zakřivení centrálního a v hlavních řezech je uveden na obrázku 2. [7-9]

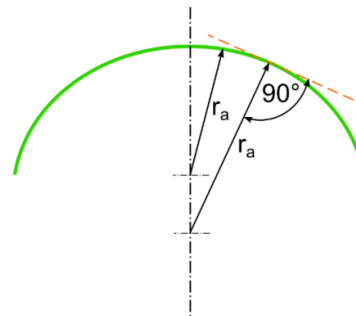


Obr. 2: Centrální, horizontální a vertikální zakřivení

Směrem od centrální oblasti k periferii rohovky dochází ke změně zakřivení, které může být různé pro jednotlivé řezy. Zakřivení měřené v periferii rohovky označujeme jako necentrální a můžeme jej stanovit jako zakřivení tangenciální nebo sagitální. Tangenciální neboli lokální zakřivení, viz obrázek 3, charakterizuje skutečné geometrické zakřivení v každém bodě rohovky, které odpovídá poloměru nejlépe se přímýkající kružnici vztažené k měřenému bodu. Sagitální neboli celkové zakřivení, viz obrázek 4, charakterizuje zakřivení vztažené k optické ose a příslušný střed křivosti leží na průsečíku optické osy rohovky a kolmici k tečně řezu rohovkou v daném bodě. [7-9]



Obr. 3: Tangenciální zakřivení



Obr. 4: Sagitální zakřivení

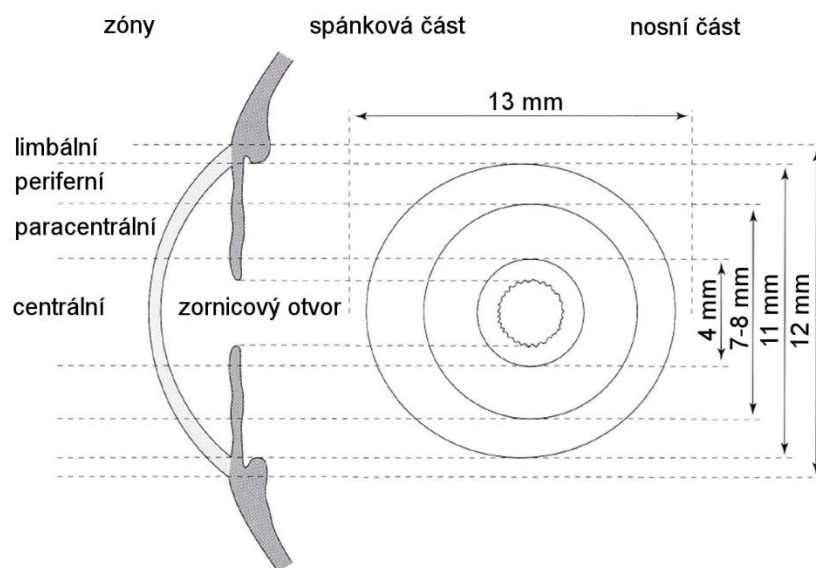
2.2 Modely tvaru rohovky

Přední plochu rohovky, jak vyplývá z předchozího textu, si lze v nejjednodušším přiblížení představit jako plochu kulovou. V takovém případě uvažujeme pouze jedno zakřivení, které je pro všechny řezy (meridiány) ve všech bodech rohovky shodné a jednotlivé řezy nabývají tvaru kružnice. V dalším přiblížení se rohovka představuje jako plocha rotační, která má jediné centrální zakřivení, které je odlišné od zakřivení necentrálního. V případě, že na přední ploše rohovky nelze naměřit shodné centrální zakřivení ve všech řezech, lze si příslušnou rohovku představit jako obecnou plochu druhého stupně. Řezem je v tomto případě obecná křivka druhého stupně tedy elipsa, parabola nebo hyperbola. Odlišnost uvedených křivek od kružnice lze charakterizovat pomocí tzv. excentricity, viz kapitola 2.5. [8, 9]

2.3 Velikost rohovky

Rohovka zaujímá plochu o velikosti přibližně $1,1 \text{ cm}^2$ a její průměr se pohybuje v rozmezí 10,6-11,5 mm v řezu vertikálním a 11,8-12,6 mm v řezu horizontálním. Povrch rohovky lze rozdělit do čtyř zón, které na sebe plynule navazují. Jedná se o zónu centrální, paracentrální, periferní a limbální. Centrální zóna, která zaujímá v průměru

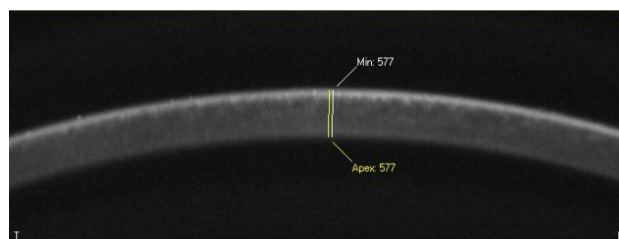
3 až 4 mm, je téměř sférická a její zakřivení se nemění o více než 0,05 mm. Paracentrální zóna tvoří prsteneček okolo zóny centrální o průměru od 4 do 8 mm a její zakřivení je větší než zakřivení v centrální části. Periferní zóna je oblastí největšího oploštění rohovky a zóna limbální tvoří přibližně 0,5-1 mm široký lem, ve kterém rohovka přechází ve skléru. Na obrázku 5 je schematicky znázorněna rohovka pravého oka ve svislém řezu a pohledu zepředu s vyznačením jednotlivých optických zón. [3, 7, 10]



Obr. 5: Svislý řez a optické zóny povrchu rohovky, upraveno z [7]

2.4 Tloušťka rohovky

Tloušťka rohovky není po celé její délce konstantní. V centrální části, v místě nejvyššího bodu rohovky (apex corneae), je široká okolo 560 μm a směrem do periferie se tloušťka zvětšuje a nabývá hodnot v rozmezí od 650 do 1000 μm . Snímek profilu rohovky z pachymetru je uveden na obrázku 6. [3]



Obr. 6: Snímek rohovky z pachymetru

2.5 Excentricita rohovky

Excentricita ε je veličina, která charakterizuje změnu zakřivení ve směru od středu k periférii rohovky. Hodnota průměrné excentricity se v populaci nejčastěji pohybuje v rozmezí od 0,35 do 0,55 [9]. Na základě excentricity lze stanovit typ křivky, viz tabulka 2, která charakterizuje tvar rohovky v jednotlivých řezech, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.

Excentricita	Tvar řezu
$\varepsilon = 0$	kružnice
$0 < \varepsilon < 1$	elipsa
$\varepsilon = 1$	parabola
$\varepsilon > 1$	hyperbola

Tab. 2: Závislost tvaru řezů na excentricitě ε [9]

Pro číselný výpočet průměrné excentricity $\bar{\varepsilon}$, kde \bar{r}_s značí průměrné sagitální a \bar{r}_0 průměrné centrální zakřivení rohovky, uvedené v mm, dle [11] platí

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{|\bar{r}_s - \bar{r}_0|}.$$

Obvykle se rohovka směrem do periferie oplošťuje, je-li tomu naopak (například u myopického oka, které prodělalo laserovou refrakční operaci), je pro topografické potřeby excentricita definována jako hodnota záporná. V tomto případě se rohovka směrem do periferie neoplošťuje, ale stává se strmější. [8, 9]

2.6 Optická mohutnost

Optická mohutnost rohovky představuje optickou mohutnost příslušné kulové plochy, kterou ji lze v daném bodě nahradit. Tato hodnota přímo souvisí s příslušným poloměrem zakřivení r rohovky a k jejímu určení dle [7] platí

$$\varphi = \frac{(n_2 - n_1)}{r},$$

kde n_1 značí index lomu prostředí před okem (vzduch), jehož hodnota se rovná jedné a n_2 index lomu rohovky dle Standardního Keratometrického Indexu SKI = 1,3375. Průměrná hodnota optické mohutnosti rohovky je 43,5 D. [7]

2.7 Rohovkový astigmatismus

Rohovkový astigmatismus Ast_R vzniká v důsledku rozdílného zakřivení v hlavních řezech rohovky a jeho hodnotu (astigmatickou diferenci) získáme jako rozdíl optické mohutnosti naměřené ve více horizontálním řezu $\varphi_{0,H}$ a optické mohutnosti v řezu více vertikálním $\varphi_{0,V}$ tedy $Ast_R = \varphi_{0,H} - \varphi_{0,V}$. Hodnota astigmatické difference určuje, zda se jedná o astigmatismus podle pravidla (výsledek se záporným znaménkem) nebo o astigmatismus proti pravidlu (výsledek s kladným znaménkem). Na základě znalosti velikosti rohovkového astigmatismu lze odhadnout hodnotu celkového astigmatismu Ast_C dle Javalovy podmínky [12]

$$Ast_C = 1,25 Ast_R + 0,5.$$

Hodnota + 0,5 D udává hodnotu čočkového astigmatismu (proti pravidlu), který při výpočtu celkového astigmatismu nelze opomenout. [8, 12]

3. Topografie rohovky

Rohovková topografie je neinvazivní metoda, pomocí které lze komplexně zhodnotit charakter povrchu rohovky na základě naměřených metrických parametrů přední plochy dané rohovky, viz kapitola 2. Hlavním přínosem rohovkové topografie je přesné změření zakřivení podél všech meridiánů rohovky. Výsledkem měření jsou číselné údaje, které jsou pro jednodušší vyhodnocení převedeny do barevných map a 3D modelů. Této diagnostické metody se využívá zejména při zhodnocení astigmatismu a stavu rohovky před a po výkonu laserové refrakční operace, aplikaci pevných kontaktních čoček a v neposlední řadě při diagnostice a sledování progresu u ektatických onemocnění rohovky, podrobněji viz kapitola 5.

Metoda rohovkové topografie vychází z principu keratoskopie, jejíž hlavní diagnostickou součástí je Placidův disk, který je zobrazen na obrázku 7. Placidův disk byl vynalezen Antoniem Placidem v roce 1880 [13] a lze si jej představit jako kruh vyplněný střídajícími se soustřednými a stejně širokými černými a bílými prstenci, v jehož středu je otvor pro pozorování vyšetřovaného.



Obr. 7: Placidův disk



Obr. 8: Keratograf Oculus

Pro potřeby rohovkové topografie je Placidův disk poupraven umístěním na polokouli, čímž je zajištěna vyšší přesnost při měření periferie a podsvícením jednotlivých kružnic. Osvětlené kružnice z Placidova disku jsou promítány na přední plochu rohovky a poté odraženy zpět do snímacího zařízení. U keratografu Oculus, viz obrázek 8, z něhož pochází všechny níže uvedené snímky, je tento virtuální obraz snímán pomocí CCD kamery. Příchozí data jsou pomocí softwaru v počítači zpracována a následně převedena do dvojrozměrného a trojrozměrného obrazu. Rozsah plochy měřené

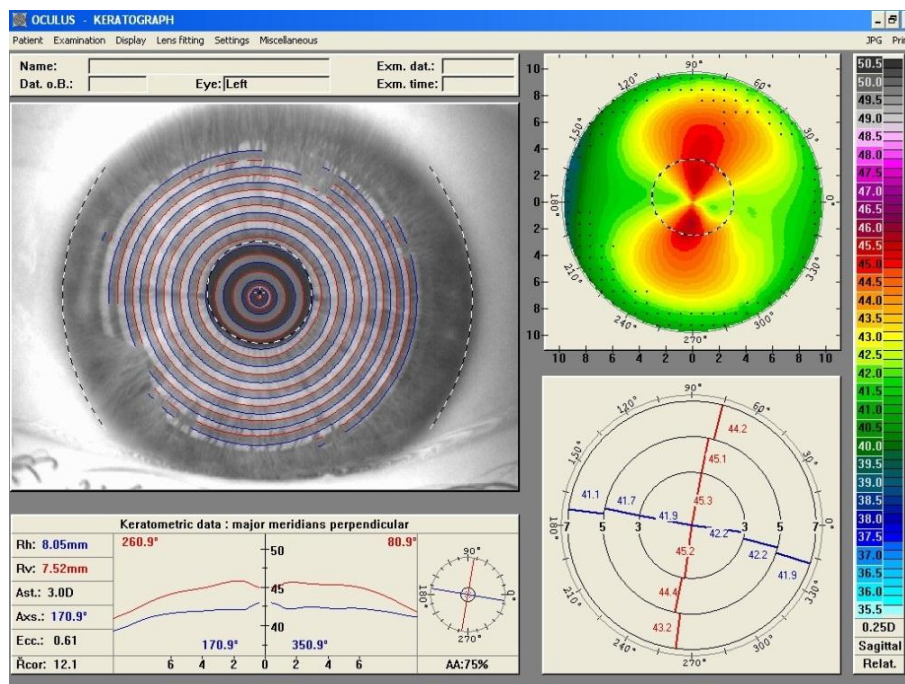
na rohovce pomocí keratografu je dle [9] 7 až 9 mm, přičemž je nasnímáno 2 600 až 22 000 a více bodů a zobrazeno 12 až 24 kružnic z Placidova disku.

Vyhodnocení tvaru rohovky je provedeno na základě zhodnocení odraženého obrazu Placidova disku od vrstvy slzného filmu. Odrazem od strmé rohovky (malé zakřivení, vyšší optická mohutnost) jsou úzké kružnice ležící blízko sebe, naopak odrazem od ploché rohovky (velké zakřivení, nižší hodnota optické mohutnosti) jsou široké kružnice, ležící daleko od sebe. Při nepravidelnosti povrchu rohovky se kružnice odráží značně deformovaně. Příčinou těchto nepravidelností je obvykle přítomnost astigmatismu či jiných abnormalit. [6, 9, 13]

3.1 Topografické zobrazení

Výsledky topografického měření rohovky mohou být interpretovány několika způsoby. Jedná se o možnost zobrazení pomocí specifických map rohovky, viz kapitola 3.2 a o matematickou analýzu povrchu rohovky, viz kapitola 3.3.

Základní přehled údajů zajišťující snadný přehled o topografii měřené rohovky je uveden na obrázku 9. Přehled zahrnuje kamerový snímek přední plochy rohovky, na kterém lze pozorovat odražené kružnice od Placidova disku s vyznačeným středem pupily (křížek) a obvodem duhovky (přerušovaná kružnice). V levém dolním rohu je umístěna tabulka uvádějící hodnoty z keratometrického měření třímilimetrového středového kruhu rohovky. Mezi tato naměřená keratometrická data patří: poloměr středového zakřivení hlavního meridiánu ležícího více horizontálně R_h a meridiánu ležícího více vertikálně R_v , hodnota středového astigmatismu Ast , poloha osy horizontálního meridiánu Axs a hodnota excentricity rohovky Ecc . Označení AA udává procento úspěšnosti při snímání a ϕ_{HH} průměr měřené rohovky. Uvedené značení odpovídá značení v softwaru keratografu Oculus a je užito na většině dále prezentovaných snímků. Součástí tabulky je i graf znázorňující polohu hlavních řezů a k nim příslušný průběh zakřivení směrem od středu k periférii rohovky. V pravém horním rohu je umístěna refrakční mapa rohovky konkrétněji, viz kapitola 3.2. V pravém dolním rohu se nachází schéma s číselnými hodnotami zakřivení rohovky, rozčleněné na tři kružnice o průměrech 3 mm, 5 mm a 7 mm, včetně zobrazení maximálního (červeně) a minimálního (modře) zakřivení. [8, 14, 15]



Obr. 9: Základní přehled z vyšetření na rohovkovém keratografu u astigmatické rohovky

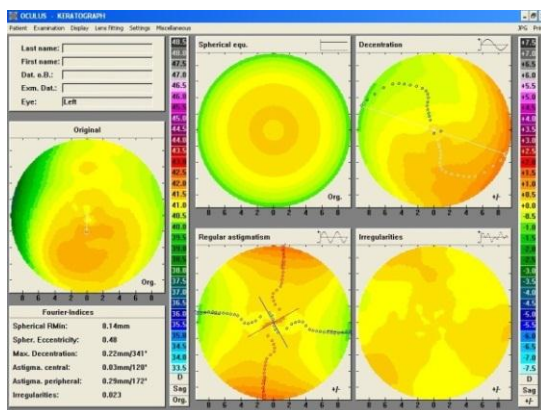
3.2 Barevné mapy

Zobrazení výsledků z topografického měření pomocí barevných map (refrakční a výšková) slouží k názornému přiblížení tvaru rohovky, přičemž každá barva je v korelaci s určitou hodnotou zakřivení, případně optické mohutnosti uvedené na stupnici vpravo. Nízkým hodnotám zakřivení, charakterizujícím strmá místa, jsou přiřazeny teplé barvy (červená), naopak vysokým hodnotám zakřivení, symbolizujícím plochá místa, jsou přiřazeny studené barvy (modrá). Zelená a žlutá barva je přiřazena středním hodnotám číselného rozpětí. Zda se jedná o hodnoty zakřivení (mm) nebo optické mohutnosti (D) sděluje jednotka uvedená pod stupnicí. Pod stupnicí je dále uvedena zkratka zobrazení, které je u daného měření využito. Může se jednat o stupnici absolutních nebo relativních hodnot, přičemž relativní stupnice je obvykle využita při měření velmi strmých, nebo naopak plochých povrchů. Absolutní stupnice je častěji využívána při měření povrchů s drobnými abnormalitami. Dále se může jednat o stupnici sagitální nebo tangenciální. Sagitální zobrazení je určeno na základě vypočtených sagitálních poloměrů zakřivení a výsledky tohoto zobrazení jsou klinicky přesné jen u rotačně symetrického povrchu. Tangenciální zobrazení je obdobně jako předchozí zobrazení určeno na základě výpočtu tangenciálních poloměrů zakřivení. Mapy založené na tangenciálním zobrazení jsou přesnější při zobrazení periferie a lépe vystihují místní změny na povrchu rohovky. [6]

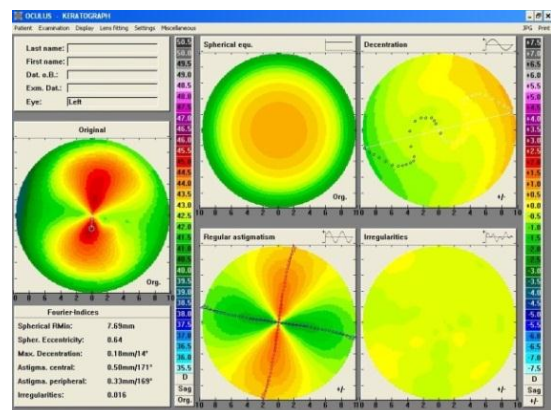
3.3 Matematická analýza povrchu rohovky

Topografii rohovky lze podrobněji popsat pomocí tří metod založených na matematické analýze. Jedná se o Fourierovu, Zernikeho a tzv. „indexovou analýzu“.

Pomocí Fourierovy analýzy, založené na principu rozkladu periodické funkce do tzv. Fourierovy řady s funkcemi sinus a kosinus, lze refrakční mapu rohovky rozložit do čtyř map charakterizujících konkrétní vlastnosti rohovky. První mapa reprezentuje nulový člen rozkladu a informuje o sféricitě jednotlivých kružnic a excentricitě rohovky. Druhá mapa zobrazující první člen poukazuje na decentraci. Třetí mapa (2. člen) informuje o přítomnosti pravidelného astigmatismu, přičemž červené a modré kruhy označují polohu hlavních os. Nelze opomenout ani čtvrtou mapu (3. člen) zobrazující součet ostatních členů představujících nepravidelnosti ve stavbě rohovky a spolu s decentrací odpovídá nepravidelnému astigmatismu. Fourierova analýza rohovky s nízkým a vysokým astigmatismem je znázorněna na obrázku 10 a 11. [6, 8, 15]

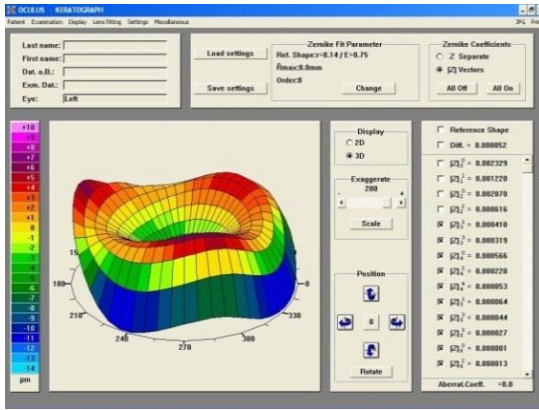


Obr. 10: Nízký astigmatismus dle Fourierovy analýzy

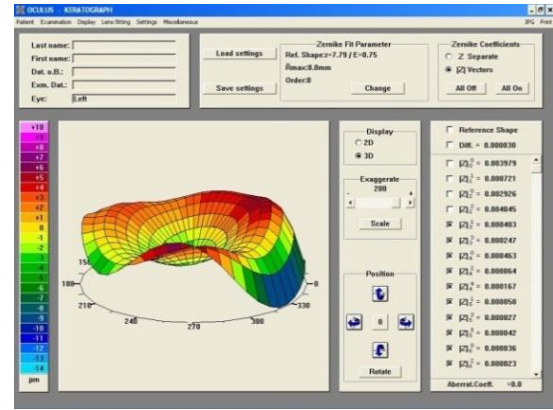


Obr. 11: Vysoký astigmatismus dle Fourierovy analýzy

Na základě Zernikeho analýzy lze pomocí naměřených dat o výšce, viz stupnice vlevo, odhalit přítomnost aberací rohovky, mezi které patří sférická aberace, astigmatismus, kóma a zkreslení. Zernikeho analýza pracuje na principu rozkladu 3D plochy na jednotlivé Zernikeho polynomy, přičemž každý polynom je specifický pro konkrétní aberaci. V softwaru jsou uloženy hodnoty koeficientů odpovídající normálním hodnotám, které jsou automaticky porovnány s vypočtenými koeficienty pro měřenou rohovku. Hodnoty neodpovídající normě jsou zobrazeny žlutě nebo červeně. Snímky Zernikeho analýzy u rohovky s nízkým a vysokým astigmatismem jsou zobrazeny na obrázku 12 a 13. [6, 8, 15]

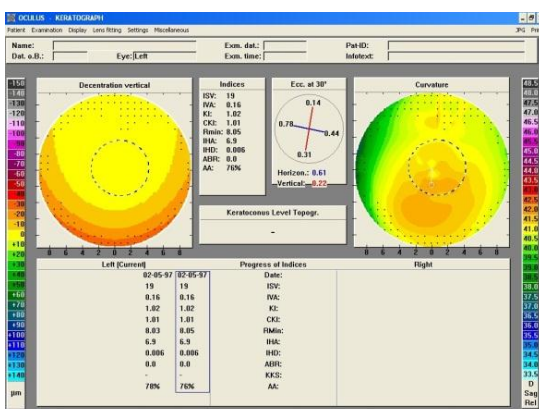


Obr. 12: Nízký astigmatismus dle Zernikeho analýzy

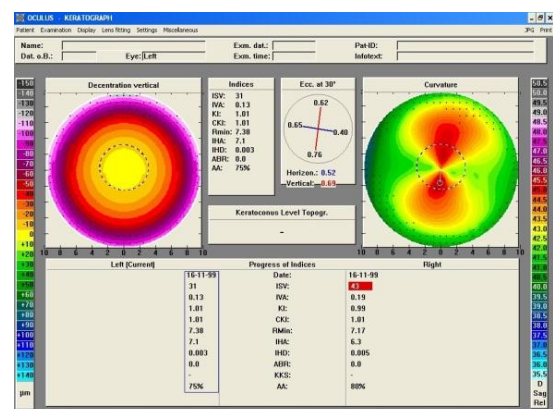


Obr. 13: Vysoký astigmatismus dle Zernikeho analýzy

Stanovení indexů, pro jejichž výpočet je zapotřebí znalost dat o zakřivení a výšce rohovky z Fourierovy a Zernikeho analýzy, usnadňuje porovnání výsledků z několika měření na dané rohovce, a tedy diagnostiku odchylek povrchu rohovky od normy již v časných stádiích. Principem je převod velkého objemu naměřených dat do několika parametrů, na jejichž podkladě lze usuzovat tvar rohovky. Hodnoty indexů dané rohovky jsou porovnány se středními hodnotami a standardními odchylkami přítomnými v běžné populaci. V případě, že se jedná dle [15] o abnormální stav, tedy hodnoty indexů překročí 2,5 násobek standardní odchylky, jsou tyto hodnoty zobrazeny žlutě. V případě patologického stavu, kdy hodnoty překročí 3 násobek standardní odchylky, jsou hodnoty zobrazeny červeně. Přítomnost odchylky je následně klasifikována, například KC3 symbolizuje přítomnost keratokonu 3. stupně. Zobrazení s indexy u rohovky s nízkým a vysokým astigmatismem je uvedeno na obrázku 14 a 15. [6, 8, 15]



Obr. 14: Zobrazení nízkého astigmatismu s Indexy



Obr. 15: Zobrazení vysokého astigmatismu s Indexy

4. Laserová refrakční chirurgie LASIK

Metoda Laser in situ keratomileusis, zkráceně LASIK je společně s metodou PRK a LASEK řazena mezi laserové refrakční metody, které jsou založeny na principu změny zakřivení rohovky pomocí excimerového laseru. Historie metody LASIK [16] sahá do čtyřicátých let dvacátého století, kdy pan José Ignacio Barraquer přišel s návrhem přidání nebo odstranění rohovkové tkáně za účelem změny refrakční hodnoty rohovky. První operace na lidském oku však byla provedena až v roce 1989. Metoda LASIK si stále udržuje mezi operatéry stabilní postavení, jelikož ji lze využít ke korekci široké škály různě velkých refrakčních vad u myopie, hypermetropie, astigmatismu a presbyopie.

4.1 Indikace a kontraindikace k operaci metodou LASIK

Operace metodou LASIK může být indikována u všech kandidátů starších 18 let, u kterých za posledních dvanáct až osmnáct měsíců nedošlo k progresi refrakční vady převyšující 0,5 D u myopie a 0,75 D u hypermetropie. Metoda LASIK je vhodná ke korekci nízké (- 6 až - 0,25 D), střední (- 10 až - 6,25 D) a vysoké myopie (nad - 10,25 D). Touto metodou lze tedy bezpečně korigovat vady v rozmezí od - 14 do - 0,25 D u myopie, od - 6 do - 0,5 D u pravidelného astigmatismu a od + 1 do + 6 D u hypermetropie, přičemž u hypermetropického pacienta je důležité, aby rozdíl mezi manifestní a cykloplegickou refrakcí, viz kapitola 4.2, nebyl větší než 0,75 D.

Kontraindikace k provedení metody LASIK se primárně dělí do dvou hlavních skupin, a to na kontraindikace oftalmologické a systémové. Tyto dvě hlavní kategorie se dále dělí na kontraindikace relativní a absolutní. Základní rozdělení kontraindikací je uvedeno v tabulce 3. Nicméně některé zdravotní stavy nelze zcela jednoznačně zařadit, například stabilizovaný a klinicky němý keratokonus lze považovat za relativní kontraindikaci, avšak keratokonus s aktuální progresí patří do kategorie kontraindikací absolutních. Dalším příkladem je pacient trpící systémovými chorobami jako je diabetes mellitus prvního a druhého stupně a atopickým ekzémem. V těchto případech je nutné zohlednit dopad onemocnění na celkové zdraví pacienta. Všeobecně platí, že důvodem k neprovedení zákroku je jakékoli systémové onemocnění projevující se obtížným hojením ran. [3, 14, 16]

Oční		Celkové
Relativní	Absolutní	Absolutní
Nestabilní refrakční vada	Herpes zoster virus	Imunodeficience
Syndrom suchého oka	Uveitida	Imunosuprese
Herpes simplex virus	Dystrofie Bowmanovy membrány	Gravidita
Blefaritida	Dystrofie endotelu	Laktace
Defekty epitelu	Neovaskularizace rohovky	Choroby kolagenu a pojiva (revmatoidní artritida, lupus erythematosus)
Glaukom	Příliš tenká rohovka	Užívání isotretinoinu (léčba akné) a amiodaronu (léčba srdeční arytmie)
Stavy poúrazové	Lagoftalmus	
Stavy po předchozích operacích		
Časná katarakta		
Monokulus		

Tab. 3: Kontraindikace pro provedení operace metodou LASIK [3, 14, 16]

4.2 Vyšetření a příprava pacienta před operací

Před samotným provedením refrakčního zákroku je třeba provést důkladné zhodnocení předoperačního stavu rohovky, na základě kterého je stanoveno, zda je daná rohovka vhodná pro bezpečné a úspěšné provedení této refrakční metody.

Mezi základní předoperační vyšetření patří provedení důkladné anamnézy, zhodnocení aktuální naturální a korigované zrakové ostrosti (vívus), porovnání manifestní (se zapojením akomodace) a cykloplegické refrakce (bez zapojení akomodace), posouzení binokulární spolupráce očí, zejména před korekcí monovision, zhodnocení rohovky na základě vyšetření pomocí rohovkové topografie a pachymetrie. Nelze opomenout vyšetření předního a zadního segmentu pomocí šterbinové lampy a funduskopického zařízení se zaměřením na přítomné patologie, transparenční a neovaskularizaci rohovky. Mezi další vyšetření patří zhodnocení kvality a kvantity slzného filmu pomocí Schirmerova testu, dále pupilometrie, udávající informaci o velikosti zornice, posouzení kvality endotelu a změření okamžité hodnoty nitroočního tlaku, jelikož se tato hodnota zejména v první části operace, viz níže, výrazně mění.

V souvislosti s rizikem vzniku pooperační ektázie je důležité zaměřit pozornost především na výsledky z pachymetrického a topografického měření. Pachymetrie je název pro vyšetření tloušťky rohovky, které je naprosto nezbytné pro stanovení bezpečné hloubky fotoablace (odstranění tkáně) a zbytkové tloušťky rohovky, přičemž se dle [3] vychází z následující úvahy. Uvažujeme tloušťku rohovky 550 μm , když je od této hodnoty odečteno 410 μm , tedy součet tloušťky seříznuté lamely (160 μm) a

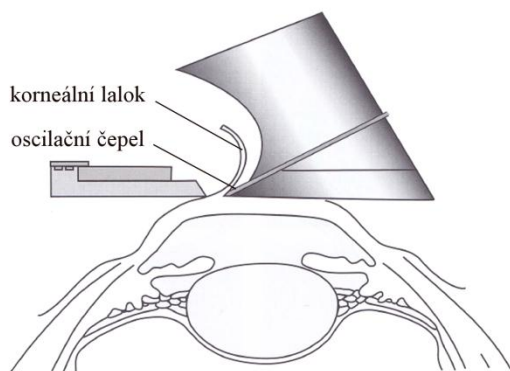
požadované operací nedotčené rohovky (minimálně 250 μm), získáme hodnotu 140 μm , která právě odpovídá hodnotě tloušťky stroma rohovky, kterou lze bezpečně odstranit. Pachymetrie může být ve formě kontaktní ultrazvukové metody nebo metody bezkontaktní pracující na principu Scheimpflugovy kamery. Snímek řezu rohovkou pořízený z pachymetru je uveden na obrázku 6. Úlohou rohovkové topografie, viz kapitola 3, je v rámci předoperačního vyšetření odhalit frustní nebo jinou formu keratokonu či ektázie a dalších rohovkových abnormalit.

Operace metodou LASIK je prováděna v lokální anestezii, jelikož je zapotřebí, aby v průběhu operace pacient setrval v bdělém stavu a dbal pokynům operátora. Z anestetik je nejčastěji aplikován xylokain nebo oxybuprokain. Pro zklidnění pacienta může být v malém množství podáno sedativum například diazepam. [3, 14, 16]

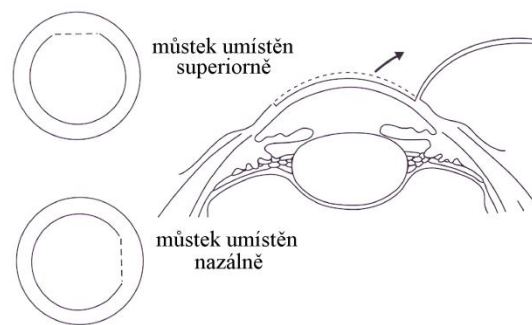
4.3 Princip metody LASIK

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, jedná se o laserovou refrakční operaci, která je založena na principu změny zakřivení rohovky, a s tím související změnu optické mohutnosti.

Pro výkon operace metodou LASIK jsou nezbytná zařízení, mezi která patří mikrokeratom, zaměřovač eyetracker a excimerový laser. Mikrokeratom je zařízení, jehož hlavním úkolem je vytvoření lamely. Mezi hlavní součásti tohoto zařízení patří přísavný kroužek a hlava mikrokeratomu. Přísavný kroužek zajišťuje oko ve stabilní poloze a jeho tlakem na rohovku udržuje stabilně zvýšenou hodnotu nitroočního tlaku na přibližně 65 mm Hg. Tyto hlavní funkce mikrokeratomu jsou nezbytné pro vytvoření lamely o pravidelné velikosti, tvaru a tloušťce. Hlava mikrokeratomu obsahuje nůž vytvářející vlastní řez a jeho schematický princip je uveden na obrázku 16. Další nezbytnou součástí hlavy je zarážka, jejíž pozice určuje šířku přechodového můstku. Přechodový můstek je místo, ve kterém je lamela překlopena a na konci výkonu vrácena zpět do původní pozice a může být umístěn superiorně nebo nazálně, viz obrázek 17.



Obr. 16. Princip mikrokeratomu [3]



Obr. 17. Umístění přechodového můstku [3]

Systém eyetracker umožňuje sledování aktuálních pohybů operovaného oka, což napomáhá správné centraci laserového svazku do požadovaného místa. Podílí se tedy na spolupráci pacienta a stabilní fixaci operovaného oka.

Excimer je zařízení, které pracuje na principu emise vysokoenergetických fotonů. V oční a zejména rohovkové chirurgii se používá argon-fluoridový laser (dále ArF laser) emitující krátkovlnné ultrafialové záření o vlnové délce 193 nm. Hlavním úkolem excimeru je tzv. fotoablace, tedy odstranění nepotřebné tkáně stromatu v požadované tloušťce. Děje se tak na základě rozvolnění molekulárních a mezimolekulárních vazeb uvnitř stromatu v důsledku osvětlení daného místa laserovým paprskem. Tloušťka odstraněné tkáně jedním pulzem je přibližně 0,25 μm . [2, 3]

4.4 Postup při operaci

Samotný výkon operace je zahájen vyznačením orientačních značek na rohovce, které slouží k orientaci při umístění lamely do původní polohy po provedení ablace. Poté následuje důkladné opláchnutí a osušení rohovky. Dalším krokem je umístění přísavného kroužku a změření aktuálního nitroočního tlaku. V případě, že hodnota tlaku vlivem umístění přísavného kroužku, viz výše, vzroste na hranici 65 mm Hg, následuje vytvoření rohovkové lamely, která je následně v místě vytvořeného můstku opatrně odklopena. Snahou je zajistit co nejsušší povrch stromatu, proto se stromální lůžko v této fázi nezvlhčuje. Následně se přistupuje k vlastní fotoablacii, přičemž nejprve je nutné aktivovat eyetracker a laser řádně zaměřit. Doba fotoablace je v přímé závislosti s celkovým počtem pulzů a počet pulzů je v přímé korelaci s počtem odstraňovaných dioptrií. Odstranění tkáně je provedeno za použití systému tzv. tančícího paprsku, který při frekvenci 25 Hz vytváří povrch, který je dokonale hladký a opracovaný. Po provedené fotoablacii je lamela přiložena zpět na zvlhčený povrch stromatu a pomocí

speciálně upravených kanyl je proveden výplach prostoru pod lamelou. Krátce po provedení zákroku a poté v odstupu 15 až 20 minut následují dvě kontroly na šterbinové lampě, které jsou zaměřeny na zhodnocení pozice a přiložení lamely. V případě, že je vše v pořádku, pacient odchází domů.

Při korekci myopie (paprsky dopadají před sítnicí a celková refrakční hodnota oka je vyšší než u oka bez sférické vady) je fotoablací odstraněna tkáň v centrální oblasti rohovky. Takto je dosaženo oploštění rohovky a tedy snížení hodnoty její optické mohutnosti. Při korekci hypermetropie (paprsky dopadají za sítnicí a celková refrakční hodnota oka je nižší než u oka bez sférické vady) je fotoablací odstraněna tkáň v periferii rohovky ve tvaru prstence, čímž je dosaženo zestrmění rohovky, a tedy zvýšení hodnoty její optické mohutnosti. Profil rohovky po fotoablacii u myopie a hypermetropie je znázorněn na obrázcích 18 a 19. Metodou LASIK lze také korigovat pravidelný astigmatismus (vertikální meridián má menší zakřivení, tedy je strmější než meridián horizontální), a to odstraněním tkáně z oblasti strmějšího meridiánu. U pacientů v presbyopickém věku, kdy oko s věkem ztrácí schopnost akomodace, je možné provést korekci metodou monovision, tedy jedno oko je vykorigováno pro vidění do blízka a druhé do dálky. [3, 14]



Obr. 18. Profil rohovky po fotoablacii myopie [3] Obr. 19. Profil rohovky po fotoablacii hypermetropie [3]

4.5 Interakce laserového paprsku a rohovky

Při dopadu laserového paprsku na tkáň dochází k několika základním interakcím. Jedná se především o odraz, rozptyl, pohlcování, propustnost a průnik. První z uvedených, tj. odraz světla, nemá význam pro mikrochirurgické využití laseru. Rozptyl světla nastává v přímé závislosti s velikostí plochy, která je vystavena záření a laserový paprsek prostupuje rohovkou v rozsahu od 400 do 1 400 nm. Nejdůležitější z těchto interakcí je pohlcení (absorpce) a průnik (penetrace) laserového paprsku. Pro využití v rohovkové mikrochirurgii je ideální takový laser, jehož záření nezpůsobí poškození hlouběji uložených struktur oka, především endotelu (riziko edému rohovky) a čočky (riziko vzniku katarakty). Ideální laser by měl vykazovat minimální penetraci a

naopak vysokou absorpci, přičemž hloubka penetrace je v přímé korelaci s vlnovou délkou daného laseru. Uvedené zásady platí při využití ArF laseru, přičemž fotoablace pomocí tohoto laseru je považována za bezpečnou a přesnou techniku s minimálním rizikem poškození okolní tkáně, protože penetrace tohoto záření je max. do hloubky 3 μm . Jelikož molekuly rohovky mají největší absorpční schopnost pro vlnové délky do 300 nm, záření nad tuto mez již nelze považovat za bezpečné. Při odstranění tkáně rohovky pomocí ArF laseru nastává jev zvaný vaporizace. Jedná se o proces, při kterém dochází následkem rozrušení vazeb mezi molekulami k jejich rozptýlení do prostoru, přičemž molekuly se pohybují rychlostí přibližně 2 000 m/s. Kombinace vaporizace a penetrační energie záření ArF laseru vede k fotoablacii. [3]

4.6 Rohovková stabilita a biomechanismus po operaci metodou LASIK

Mechanickou tuhost oka charakterizuje objemový koeficient pružnosti E , který odráží odpověď jednotlivých vrstev oka jako je rohovka, uvea a bělima a lze ji dle [16] vypočítat pomocí vztahu

$$E = \frac{T \cdot Y_i}{\pi \cdot R^4 \cdot P_0}$$

Přičemž T značí stálou tloušťku, Y_i okamžitý Youngův modul pružnosti (Youngův modul pružnosti se mění s časem během působení na rohovku až po dosažení ustáleného stavu), R poloměr zakřivení rohovky a P_0 hodnotu nitroočního tlaku. Změna každého z těchto parametrů ovlivňuje tuhost oka. Například pevnost v tahu normální rohovky je v důsledku poklesu okamžitého Youngova modulu dvakrát větší než u rohovky s keratokonem. [16]

Při refrakční operaci metodou LASIK je redukována tloušťka T rohovky, což vede k značnému oslabení její mechanické pevnosti, která závisí na velikosti odstraňované refrakční vady. Přitom hloubka ablace závisí na průměru ablatované (optické) zóny a odstraňovaných dioptrií, přičemž platí Munnerlynův vztah [14]

$$\text{Hloubka ablace} = \frac{\text{cílový počet odstraněných dioptrií} \times (\text{průměr optické zóny})^2}{3}$$

Hloubka ablace se udává v μm a průměr optické zóny v mm. Například při korekci myopie - 1,0 D a velikosti optické zóny 6,5 mm, je výsledná hloubka ablace 14 μm . [16]

4.7 Pooperační komplikace

Komplikace, které mohou vzniknout následkem operace metodou LASIK, lze podle doby výskytu členit na komplikace časně, které se mohou vyskytnout v řádu hodin a dnů a komplikace pozdní, které se obvykle objevují s delším časovým odstupem v řádech týdnů a měsíců. Podrobněji jsou tyto komplikace popsány např. v [3, 16].

Do kategorie časných pooperačních komplikací jsou zahrnuty stavy, mezi které patří pooperační bolest, dislokace, uvolnění nebo nařasení lamely, defekty epitelu rohovky, difuzní lamelární nebo infekční keratitida a epitelové vrůsty. Do skupiny pozdních pooperačních komplikací patří stavy spojené s neuspokojivým refrakčním výsledkem, indukovaným pravidelným a nepravidelným astigmatismem, aberacemi oka jako je oslnění a halo efekty a v neposlední řadě tolik obávané iatrogenní ektázie rohovky, kterým je věnována kapitola 6. [16]

5. Ektázie rohovky

Jedná se o skupinu nezánettlivých degenerativních onemocnění postihujících rohovku v různém rozsahu, mezi které patří keratokonus, pelucidní marginální degenerace a keratoglobus. Nejčastěji se vyskytuje keratokonus, méně pak pelucidní marginální degenerace a výskyt keratoglobu je velice sporadický. V důsledku provedení refrakční operace metodou LASIK se v rámci pozdních pooperačních komplikací může indukovat tzv. iatrogenní ektázie, viz kapitola 6, která je obvykle povahy keratokonu.

5.1 Keratokonus

Keratokonus je progresivní onemocnění charakteristické ztenčením rohovky v oblasti apexu (nejvyšší bod rohovky s nejmenším zakřivením, a tedy největší optickou mohutností). Následkem změn ve struktuře rohovky dochází ke konickému vyklenutí její centrální nebo paracentrální části a současnému vzniku nepravidelného astigmatismu. Přirozeně se tato forma degenerativního onemocnění objevuje v období puberty téměř shodně u obou pohlaví a ke stabilizaci dochází v období 10 až 20 let po výskytu prvních příznaků. Dle [17] je prevalence výskytu odhadována na 1:2 000 osob, přičemž v téměř 85 % případů je výskyt bilaterální. [3, 17, 18]

5.1.1 Patogeneze

Mezi předpokládané příčiny vzniku keratokonu patří přítomnost genetické predispozice nebo biochemické pochody související s poruchou regulace zániku buněk a změnou struktury rohovky v důsledku působení vnějších faktorů.

V rámci posouzení vlivu genetické predispozice na vznik keratokonu proběhlo několik studií zaměřených na sledování jeho výskytu v rámci celé rodiny a u jednovaječných dvojčat. Na základě těchto studií [17] bylo zjištěno, že téměř 10 % z pacientů s keratokonem má pozitivní rodinnou anamnézu zvyšující prevalenci výskytu keratokonu u členů rodiny až 67krát, přičemž se nejčastěji jedná o projev autosomálně dominantního typu dědičnosti. Proti teorii vzniku keratokonu pouze na genetické podstatě a bez vlivu jiných faktorů, hovoří výskyt dvou sourozeneckých párů - jednovaječných dvojčat [17], u kterých se keratokonus projevil vždy pouze na jednom jedinci z daného páru. Aktuálně stále probíhají studie, jejichž cílem je odhalení genu zodpovědného za vznik keratokonu. Předpokládá se, že by se mohlo jednat o gen související s vývojem kolagenu jako je VSX1 nebo SOD1, tyto domněnky

však doposud nebyly prokázány, jelikož gen indukující vznik keratokonu musí prokazatelně vést ke změnám ve struktuře a funkci rohovky.

Zajímavý biochemický ukazatel, pozorovaný v rohovkách s keratokonem, je zvýšený podíl apoptotických keratocytů v rohovkovém stromatu. Apoptóza je odborný termín pro programovou smrt, která je součástí přirozeného procesu poškozené buňky v důsledku působení nitrobuněčných a zevních faktorů. Tento proces je řízen prostřednictvím cytokinů, jejichž uvolňování je stimulováno například při mnutí očí, nošení kontaktních čoček nebo při alergických reakcích. Apoptóza probíhající ve zdravé rohovce nezanechává téměř žádné následky, avšak u keratokonické rohovky lze pozorovat drobné trhlinky v Bowmanově membráně a ztenčení rohovkového stromatu. Mezi další faktory, které působí na odbourání rohovkové tkáně, patří zvýšená aktivita kolagenních a lysozomálních enzymů. Kolagenní enzymy tzv. kolagenázy vykazují kolagenolytické účinky, které vedou ke snížení obsahu kolagenu a tedy oslabení stability rohovky. Lysozomální enzymy (katepsiny a matrix-metaloproteinázy) mohou při nekontrolované aktivitě způsobit redukci epitelu na čtvrtinu a stromatu na šestinu běžné tloušťky. [17, 19]

5.1.2 Etiologie

Etiologii keratokonu lze rozdělit do dvou kategorií na základě výskytu v souvislosti se systémovými chorobami nebo následkem působení vnějších faktorů.

Do skupiny primárních onemocnění souvisejících s výskytem keratokonu patří především atopie a Downův syndrom, dále pak Leberova kongenitální amauroza, Noonanův syndrom a onemocnění pojivové tkáně (Ehlers-Danlosov syndrom, Marfanův syndrom, Osteogenesis imperfecta).

Na základě několika vědeckých výzkumů [14] se předpokládá 35 až 53 % souvislost vzniku keratokonu s výskytem některého z projevů atopie, jako je atopický ekzém, astma, kopřivka či senná nebo potravinová alergie. Atopie se vyznačuje nepříjemnou suchostí sliznic, která obvykle vede k častému dráždění postiženého místa (tedy i oka), jehož následkem může docházet k poškození epitelu, vedoucím ke vzniku keratokonu.

Downův syndrom je znám svými projevy na oku, mezi které patří epikantus, šikmé uložení víčkové štěrby, vyšší incidence myopie, katarakty a keratokonu. Mezi jedinci s tímto syndromem se keratokon vyskytuje téměř u 15 % případů a předpokládaná incidence je až 300krát vyšší než u běžné populace.

Leberova kongenitální amauroza je vzácné postižení sítnice, při které dochází k dystrofii vrstvy fotoreceptorů. S tímto syndromem se pojí vysoká prevalence výskytu keratokonu uváděná mezi 30 až 41 %.

Noonanův syndrom je onemocnění, které se podobně jako Downův syndrom často projevuje na oku, a to nadměrnou vzdáleností očí, ptózou, epikantem, šikmými víčkovými štěrbinami, strabismem a v neposlední řadě keratokonem.

Z histologického hlediska se rohovka řadí mezi pojivové tkáně, které obsahují keratocyty fixující extracelulární hmotu, kolagen, fibrin a glykosaminoglykan. U všech geneticky podmíněných chorob spadajících do kategorie onemocnění pojivové tkáně lze předpokládat vyšší prevalenci výskytu keratokonu.

Příčinou Ehlers-Danlosova syndromu je mutace kolagenních genů (COL3A, COL5A) vedoucí k poruše v tvorbě kolagenu, u Marfanova syndromu mutace genů pro fibrin a u Osteogenesis imperfecta porucha metabolismu kolagenu 1. typu, který je zároveň nejdůležitějším kolagenem rohovky. Následkem těchto mutací a poruch dochází k oslabení a narušení mechanické stability pojivové tkáně zvyšující riziko vzniku keratokonu. [14, 17, 18, 20]

Mezi vnější faktory, které na základě mnohých vědeckých výzkumů zvyšují pravděpodobnost výskytu keratokonu, patří mnutí očí, nošení kontaktních čoček a především prodělání refrakční operace metodou LASIK.

Mnutí očí je přirozená reakce na podráždění nebo zvýšenou citlivost oka, která se obvykle vyskytuje v souvislosti s Downovým syndromem či atopií, viz výše. V této souvislosti je předpokládána vyšší pravděpodobnost poranění epitelu s následným uvolněním cytokinů stimulujících apoptózní procesy, týkající se keratocytů ve stromatu. V rámci studie [19] bylo zkoumáno 398 očí s keratokonem (199 pacientů). U 106 očí (53 pacientů) byla prokázána přímá souvislost mezi dlouhodobým nošením kontaktních čoček a vznikem keratokonu. Průměrná doba nošení, po které se keratokonus objevil, činila cca 13 let a takto vzniklý keratokonus je obvykle méně decentrovaný. [19]

5.1.3 Symptomy a klinické příznaky

Příznaky, typické pro přítomnost keratokonu, jsou zpočátku velmi nenápadné. Diagnostika keratokonu v jeho počáteční fázi je nejlépe proveditelná na základě keratometrického měření a následného topografického zhodnocení, viz kapitola 3. Prvním příznakem, který zpozoruje sám pacient, je zhoršení zrakové ostrosti v průběhu

několika měsíců, které nelze korigovat pomocí brýlové korekce z důvodu progresu myopie a nepravidelného astigmatismu. Dále jsou pacienti popisovány subjektivní příznaky, mezi které patří astenopické potíže, fotofobie, oslnění, halo efekty a monokulární diplopie. Při objektivním hodnocení nálezu pomocí biomikroskopie jsou patrné charakteristické znaky, mezi které patří Fleischerův prstenec, který je tvořen usazenými depozity pigmentu a solí železa ze slzného filmu, vytvářející charakteristický prstenec obkružující vyklenutý apex rohovky. Vogtovy striae jsou bělavé linie vytvářené nařazením lamel ve stromatu rohovky v důsledku trhliny v Descemetové membráně, které jsou obvykle orientovány vertikálně. U rozvinutého keratokonu je patrné ztenčení, které progreduje od báze směrem k apexu. Následkem poškození Descemetové membrány dochází ke vzniku edému stromatu a intrastromálních trhlínek, které obvykle vedou k jizvení. Rizzutův světelný fenomén je jasný světelný odraz nasální části limbu při posvícení části temporální a Munsonův znak je typickým příznakem rozvinutého keratokonu, kde je při pohledu dolů vlivem tlaku konického vyklenutí rohovky na dolní víčka patrná jejich deformace do tvaru písmene „V“. Na základě studie [14] prováděné na 42 očích s keratokonem bylo zjištěno, že u 98 % případů byl přítomen Fleischerův prstenec, u 60 % Vogtovy striae a v 52 % případů jizvení stromatu rohovky. [13, 14, 20]

5.1.4 Klasifikace

Keratokonus může být klasifikován ze dvou hledisek, a to buď dle optické mohutnosti, viz tabulka 4 nebo poloměru zakřivení rohovky.

Stupeň progresu	Optická mohutnost
počínající	< 45 D
mírný	45 – 52 D
pokročilý	52 – 62 D
těžký	> 62 D

Tab. 4: Klasifikace keratokonu dle velikosti optické mohutnosti [14]

Pro určení stádia keratokonu vzhledem k zakřivení a tloušťce rohovky v místě apexu, je využívána klasifikace dle Amslerovy stupnice, která je uvedena v tabulce 5. S určitým stupněm projevu se pojí určité charakteristické příznaky. U Amsler I je patrný výskyt nepravidelného astigmatismu, zašednutí apexu a minimálního protenčení rohovky, u Amsler II se již projevují typické příznaky pro keratokonous jako je

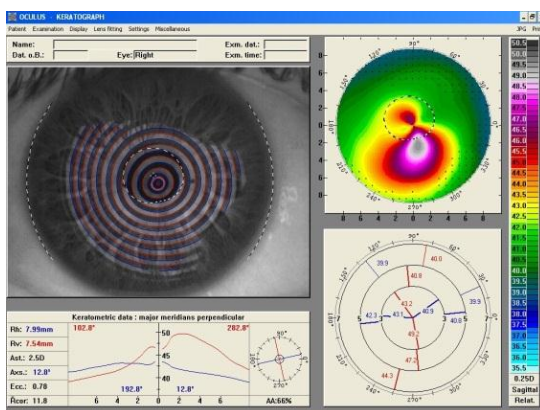
Fleischerův prsteneček, ruptury Descemetovy membrány, decentrované zákaly a striae ve stromatu. Typickým příznakem u Amsler III je snížená a u Amsler IV výrazně snížená transparence rohovky a s tím související špatně korigovatelný vizení. [9]

	Zakřivení	Tloušťka rohovky
Amsler I	< 7,5 mm	0,5 mm
Amsler II	7,2 – 6,5 mm	0,4 mm
Amsler III	6,5 – 5,8 mm	0,25 mm
Amsler IV	< 5,8 mm	≤ 0,2 mm

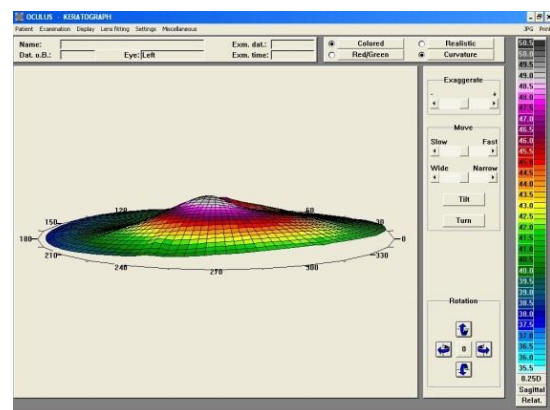
Tab. 5: Klasifikace keratokonu dle Amslerovy stupnice, hodnoty převzaty z [9]

5.1.5 Topografie

Topografický snímek rohovky s keratokonem, jehož základní přehled je uveden na obrázku 20 a 3D model na obrázku 21, je charakteristický pro nápadný apex rohovky, který je nejčastěji umístěn inferotemporálně, méně často inferocentrálně nebo superiorně. Rozsah a velikost vyklenutí mohou být různorodé. Například oválný tvar keratokonu se obvykle rozprostírá do dvou kvadrantů a glóbusovitý tvar svou rozlehlostí může zasahovat až do tří kvadrantů. Z hodnot metrických parametrů lze usuzovat přítomnost převážně nepravidelného astigmatismu. Zakřivení v hlavních řezech nevykazují nápadně odlišné hodnoty a výraznému oploštění od apexu směrem do periferie, typickému pro keratokonus, odpovídá hodnota excentricity větší než 0,7. [7, 14]



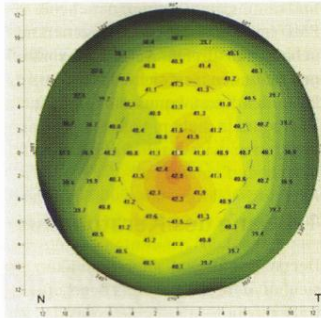
Obr. 20: Základní přehled rohovky s keratokonem



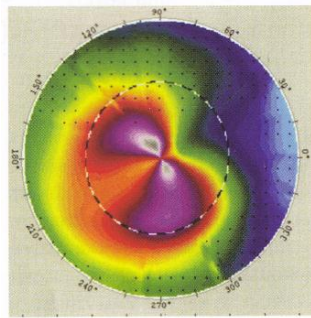
Obr. 21: 3D model rohovky s keratokonem

Mezi základní topografické zobrazení keratokonu patří frustní, Bow-tie a progresivní forma. Snímky refrakčních map jednotlivých forem jsou uvedeny na obrázcích 22, 23 a 24. Frustní forma je označení pro počáteční stav keratokonu, který může být snadno

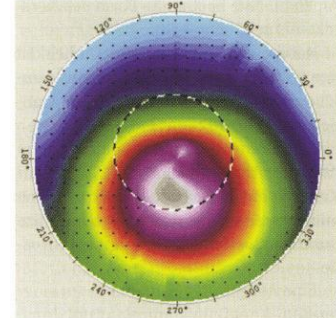
přehlednutelný, jelikož nevykazuje téměř žádné příznaky typické pro keratokonus a v budoucnu nemusí progredovat. Tuto formu je třeba před operací metodou LASIK řádně diagnostikovat, z důvodu možného „probuzení“ po provedení operace a následné progresi do aktivní fáze. Progresivní a stejně tak Bow-tie forma je projev již zcela rozvinutého keratokonu se všemi jeho klinickými i subjektivními příznaky. Tyto dvě formy se od sebe liší vyklenutím rohovky a tvarem a posazením apexu. [14, 18]



Obr. 22: Frustrní forma [17]



Obr. 23: Bow-tie forma [17]



Obr. 24: Progresivní forma [17]

5.2 Pelucidní marginální degenerace

Pelucidní marginální degenerace dále jen PMD je vzácné, idiopatické a progresivní onemocnění postihující periferní část rohovky, která se nekalí a nevaskularizuje. Tato degenerace se obvykle vyskytuje mezi druhou a pátou dekádu života. Ve většině případů se projevuje bilaterálně, jsou však známy i případy unilaterálního výskytu. Přesná incidence není dosud známa, avšak na základě tří studií [21] byla zjištěna vyšší četnost výskytu u mužského pohlaví. Toto tvrzení však nelze považovat za zcela definitivní. [18, 21]

5.2.1 Etiologie

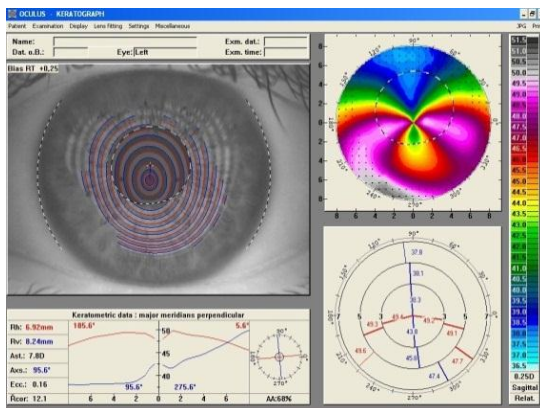
Původ onemocnění rohovky PMD se doposud nepodařilo odhalit. Existuje ovšem podezření, že by se mohlo jednat o formu keratokonu, jelikož bylo objeveno několik případů současného výskytu keratokonu a PMD u jednoho pacienta. Vliv dědičnosti nelze zcela potvrdit ani vyvrátit z důvodu výskytu případu, kdy u členů rodiny pacienta s PMD byly známy asymptomatické příznaky ektatického onemocnění. Paralelně se u pacientů s PMD často vyskytují choroby jako je glaukom otevřeného úhlu, retinitis pigmentosa, scleroderma, keratokonjunktivitida a ekzém, jejichž výskyt však není geneticky podmíněn výskytu PMD. [21]

5.2.2 Symptomy a klinické příznaky

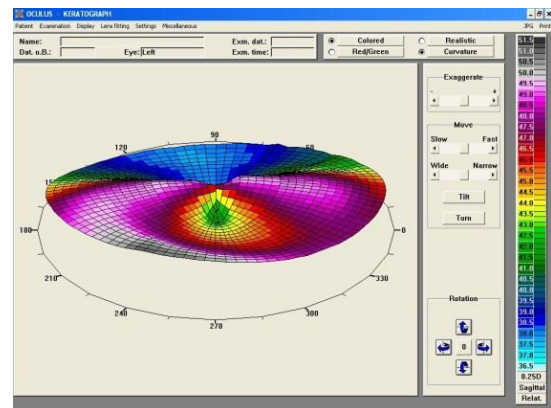
Subjektivním příznakem je pozvolná redukce zrakové ostroty v důsledku přítomnosti nepravidelného astigmatismu. Méně často PMD provází akutní bolest, sklerální injekce, fotofobie a edém. Následkem edému může vzniknout jizvení, vaskularizace a ruptura nebo nařasení Descemetovy membrány, které vede ke ztenčení rohovky. Klinicky se PMD projevuje vyklenutím periferní části rohovky nejčastěji v dolním kvadrantu. Typickým znakem je 1 až 2 mm široký, protenčený pruh půlměsíčitého tvaru rozprostírající se obvykle v dolních kvadrantech. Stroma je v tomto místě ztenčeno až o 80 % tloušťky ve srovnání s normální rohovkou a nemá tendence ke vzniku prasklin. Mezi ztenčeným pruhem a limbem se nachází přibližně 1-2 mm široký pruh rohovky, který má stejně jako centrální část zcela běžnou tloušťku. Kónické vyklenutí bulbu se standardně nachází nad oblastí ztenčení. Z histopatologického hlediska se může v místě ztenčení vyskytnout ruptura nebo absence Bowmanovy membrány. Epitel, Descemetova membrána a endotel bývají nepoškozeny. Ve stromatu byl u PMD zjištěn zvýšený obsah mukopolysacharidů a snížený obsah glykosaminoglykanů. [18, 21]

5.2.3 Topografie

Mezi topografické změny charakteristické při výskytu PMD patří superiorní a centrální oploštění rohovky vedoucí podél vertikální osy. Naopak v periferii se rohovka stává strmější a její křivostní profil vytváří typický půlměsíčitý obrazec vybíhající z centrální části na obě strany a sbíhající se v inferiorní části rohovky. Z metrických parametrů je typická přítomnost vysokého astigmatismu a minimální hodnota excentricity. Ilustrační topografické snímky rohovky s PMD jsou uvedeny na obrázcích 25 a 26. [7]



Obr. 25: Základní přehled rohovky s PMD



Obr. 26: 3D model rohovky s PMD

5.3 Keratoglobus

Keratoglobus je velice vzácné, vývojové, obvykle bilaterální a neprogresivní onemocnění postihující celou plochu rohovky. S tímto onemocněním se lze setkat ihned po narození nebo sporadicky v průběhu života. [3]

5.3.1 Etiologie

Výskyt keratoglobu je často vázán na některou ze systémových chorob jako je Ehlers-Danlosův syndrom, Leberova kongenitální amauroza či nemoci pojivových tkání. Příčinou ovšem mohou být i biochemické děje, v jejichž důsledku dochází k rozpadu Bowmanovy membrány, protažení stromatu a Descemetovy membrány. Předpokladem vzniku je i genetická souvislost mezi keratoglobem a keratokonem, jelikož je znám případ jedné rodiny [18], v rámci které došlo k výskytu keratoglobu u otce a následně keratokonu u syna. Na rozdíl od keratokonu se ovšem keratoglobus nevyskytuje v souvislosti s atopií či Downovým syndromem. [3, 18]

5.3.2 Symptomy a klinické příznaky

Keratoglobus se subjektivně projevuje zhoršenou zrakovou ostrostí z důvodu obvykle přítomné indexové myopie nebo hypermetropie. V důsledku nekorigované vady často dochází ke vzniku středně těžké amblyopie.

Pro keratoglobus je typické kulovité zakřivení a globulární vyklenutí v důsledku ztenčení rohovky po celé její ploše, které je nejvíce patrné ve střední periférii, směřující směrem k limbu. Tloušťka rohovky u keratoglobu je vzhledem k normální tloušťce minimálně o 1/3 nižší. Rohovka je obvykle transparentní a optická mohutnost oka se pohybuje v rozmezí od 60 do 70 D. Přední komora je nápadně hluboká a její hloubka obvykle dosahuje hodnot nad 5 mm. V souvislosti s keratoglobem se často vyskytuje fokální edém stromatu v důsledku drobných trhlin v Descemetově membráně, který se hojí spontánně. [3, 18]

5.4 Diferenciální diagnostika

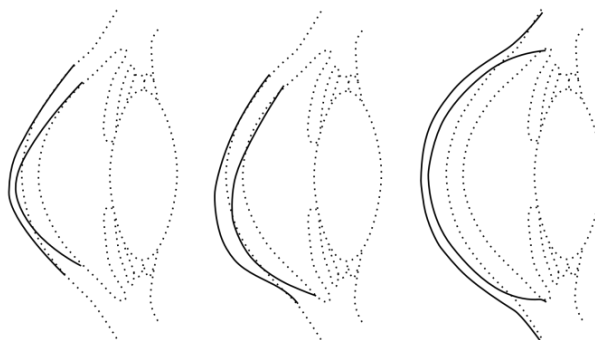
Diferenciální diagnostika znamená postup, na základě kterého se vyšetřující rozhodne, o jakou diagnózu se v daném případě jedná. Zohledňují se především příznaky a epidemiologie daných chorob.

Diferenciální diagnostika ektázií vychází z popisu jednotlivých ektázií, viz výše. Součástí je názorný a stručný přehled, viz tabulka 6, základních diagnostických

parametrů a informací o konkrétním typu ektázie, na základě kterých lze od sebe snadno jednotlivé typy odlišit. Na obrázku 27 je názorný nákres profilů ektatických rohovek včetně místa protenčení, vždy ve srovnání s tvarem běžné rohovky (přerušovaná linie).

Ektázie	Keratokonus	PMD	Keratoglobus
Četnost výskytu	Nejčastější	Méně často	Vzácně
Lateralita	Bilaterální	Bilaterální	Bilaterální
Propuknutí	V období puberty	Ve věku 20 až 40 roků	Obvykle při narození
Tenčení	Paracentrálně	Inferiorně	Periferně
Protruze	V oblasti apexu	Superiorně od místa ztenčení	Generalizovaná
Jizvení	Obvykle	Pouze následkem edému	Mírně

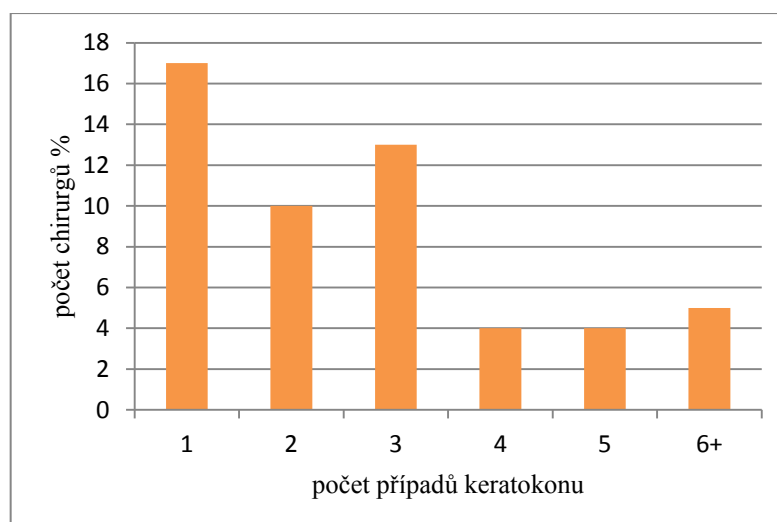
Tab. 6: Porovnání ektázií [18]



Obr. 27: Profil rohovky u jednotlivých forem ektázií zleva: keratokonus, PMD a keratoglobus [18]

6. Iatrogenní ektázie

Iatrogenní ektázie patří do kategorie obávaných pozdních pooperačních komplikací laserové refrakční operace metodou LASIK. V důsledku fotoablace stromatu ArF laserem, viz kapitola 4.4, dochází k narušení integrity a značnému oslabení pevnosti a tloušťky rohovkové tkáně. V některých bodech může dojít k redukci tažné síly rohovky až na hodnotu predisponující vznik ektázie, jejíž klinický a topografický obraz se většinou podobá keratokonu. Následkem je tedy progresivní zestržení obvykle v centrální oblasti rohovky. Prvním subjektivním příznakem je redukce zrakové ostrosti v důsledku indukované myopie, často v kombinaci s nárůstem pravidelného a nepravidelného astigmatismu. Tato komplikace byla obávanou především v počátcích této operace. Dnes se téměř nevyskytuje, jelikož software, který je součástí excimerového laseru, je natolik sofistikovaný, že v případě rizika následného vzniku ektázie nedovolí daný úkon provést. Přesná incidence iatrogenní ektázie není doposud známa, odhaduje se však celkově na 0,2 % [22] a následkem operace u pacientů s myopií na 0,04 až 0,6 % [13]. Součástí kapitoly je studie zaměřená na vliv metody LASIK na vznik ektázie, několik konkrétních kazuistik publikovaných v odborných časopisech a získaných z optometristického pracoviště. Na obrázku 28 je uveden histogram zobrazující četnost výskytu keratokonu, která byla zjišťována u 112 refrakčních chirurgů. [3, 13, 22]



Obr. 28: Četnost výskytu keratokonu zjišťovaná ve skupině 112 refrakčních chirurgů [19]

6.1 Rizikové faktory vzniku iatrogenní ektázie

Mezi faktory zvyšující riziko vzniku iatrogenní ektázie je zahrnuto několik parametrů, které by měly být v rámci předoperační anamnézy a vyšetření řádně zhodnoceny. V první řadě je potřeba vyloučit přítomnost abnormálního topografického nálezu jako je PMD či frustní nebo jiná forma keratokonu. Zvýšená pozornost by měla být zaměřena na hodnotu celkové předoperační a předpokládané pooperační tloušťky rohovky, jejíž hodnota musí být taková, aby rohovka po operaci byla schopna odolávat trvalému působení nitroočního tlaku a nedošlo tak k jejímu vyklenutí. Za bezpečný lze považovat zákrok, který je proveden na rohovce, jejíž předoperační celková tloušťka je větší než 450 μm a pooperační tloušťka je nejméně 400 μm . Mezi další rizikové faktory patří nízký věk operovaného, velikost odstraňované refrakční vady a tloušťka lamely. Tloušťka lamely by neměla být větší než 180 μm a zbytková tloušťka stromálního lůžka by neměla nabývat hodnot menších než 240 μm [3, 23]. Rizikové faktory rozčleněné do pěti kategorií podle míry rizika dle Randlemana a Stultinga [23], jsou uvedeny v tabulce 7.

Stupeň rizika	0	1	2	3	4
Topografie (μm)	Normální	Asymetrický bowtie	neuvedeno	Inferiorní zestržení	Frustní forma keratokonu
Zbytková tloušťka rohovky (μm)	> 300	280 - 299	260 - 279	240 - 259	< 240
Věk	> 30	26 - 29	22 - 25	18 - 21	< 18
Celková tloušťka rohovky (μm)	> 510	neuvedeno	481 - 510	450 - 480	< 450
Refrakce (D)	< - 8,0	- 8,0 až - 10,0	- 10,0 až - 12,0	- 12,0 až - 14,0	> - 14,0

Tab. 7: Kategorie rizikových faktorů pro vznik iatrogenních ektázií [23]

6.2 Studie vlivu operace metodou LASIK na vznik ektázie

V souvislosti s indukcí iatrogenní ektázie bylo provedeno několik studií zaměřených na porovnání tohoto stavu u jednotlivých osob s cílem odhalit možné souvislosti a příčiny vzniku této degenerace. Následující studie [24] byla prováděna od května 1995 do listopadu 1999 na University of Crete ve spolupráci s centrem pro refrakční chirurgii Vardinoyannion Eye Institute of Crete.

Do studie bylo zahrnuto 19 očí (14 pacientů) z celkového počtu 2 873 očí, na kterých za výše uvedené časové období byla provedena operace metodou LASIK. Na již zmíněných 19 očích se následně indukovala iatrogenní ektázie a k nim příslušné keratometrické údaje jsou dle [24] shrnuty v tabulce 8. Při předoperačním vyšetření na těchto očích nebyla patrna ani jedna z kontraindikací uvedených v kapitole 4.1, které by mohly mít na indukci ektázie vliv. U všech těchto pacientů byla vytvořena lamela s nasálním můstkem, viz obrázek 17.

Ektázie byla zjištěna na devíti pravých a deseti levých očích, přičemž u pěti pacientů byl výskyt bilaterální. Ektázií bylo postiženo 7 mužů a 7 žen ve věku od 21 do 62 let. U devíti případů byla přítomna asymetrická, u šesti případů symetrická bow-tie forma a u zbylých čtyř případů kruhový a oválný tvar apexu. Ektázie se průměrně indukovala $16,32 \pm 8,26$ měsíců (od 6 do 42) po operaci. Na základě této studie nebyl patrný statisticky významný rozdíl při vzniku ektázie v souvislosti s věkem, pohlavím, stranou poškozeného oka, dosaženou korekcí, rohovkovou pachymetrií, tloušťkou lamely, zbytkovou tloušťkou rohovky a hodnotou nitroočního tlaku. Následně byli pacienti rozděleni do dvou skupin podle hodnoty zbytkové tloušťky rohovky. V jedné skupině byli pacienti s hodnotami pod a ve druhé nad $250 \mu\text{m}$ zbytkové tloušťky rohovky. Při tomto rozdělení se projeví zásadní rozdíly, které zřejmě souvisí se vznikem ektázie. Jedná se o souvislost zbytkové tloušťky rohovky a věku pacienta. Průměrný věk při výskytu ektázií u pacientů se zbytkovou tloušťkou rohovky větší než $250 \mu\text{m}$ byl $47,67 \pm 9,16$ let, kdežto u pacientů se zbytkovou tloušťkou rohovky menší než $250 \mu\text{m}$ byl průměrný věk výskytu $32,62 \pm 9,95$ let. Zajímavým zjištěním při hodnocení této studie byl fakt, že se tato komplikace nevyskytla u pacientů s předoperační refrakční vadou menší než $-8,0 \text{ D}$. [24]

	Průměrná hodnota	Rozmezí hodnot
Odstraňované dioptrie	$-15,42 \pm 4,41 \text{ D}$	$-8,25$ až $-24,0 \text{ D}$
Keratometrie	$42,86 \pm 2,05 \text{ D}$	$39,38$ až $46,57 \text{ D}$
Celková tloušťka rohovky	$512,95 \pm 18,59 \mu\text{m}$	495 až $578 \mu\text{m}$
Zbytková tloušťka rohovky	$243,95 \pm 46,32 \mu\text{m}$	175 až $325 \mu\text{m}$
Tloušťka lamely	$121,11 \pm 16,26 \mu\text{m}$	90 až $136 \mu\text{m}$
Nitrooční tlak	$12,30 \pm 2,1 \text{ mm Hg}$	neuveдено

Tab. 8: Keratometrické hodnoty 19 očí s iatrogenní ektázií uvedených ve studii [24]

6.3 Publikované kazuistiky

Pro názornost je zde uvedeno několik případů, ve kterých došlo v různém časovém odstupu k indukci iatrogenní ektázie po operaci metodou LASIK. Ke každému případu je uvedena tabulka se všemi dostupnými informacemi o datu operace, nejlepší korekci a vízu s touto korekcí, počtu odstraňovaných dioptrií, keratometrických hodnotách a údajích o tloušťce ablace, lamely a celkové a zbytkové tloušťce rohovky.

6.3.1 Iatrogenní ektázie indukovaná 45 dnů po operaci

První uvedený případ se týká 23 leté ženy, které byla metodou LASIK korigována vysoká myopie. Všechny dostupné informace k případu jsou dle [25] uvedeny v tabulce 9. Pacientka byla v minulosti po dobu pěti let nositelkou pevných kontaktních čoček a v rodinné anamnéze nebyl zaznamenán výskyt ektázie. Na základě topografického hodnocení byla předoperačně na pravém oku zjištěna přítomnost bow-tie formy keratokonu, ale i přes tuto skutečnost byla operace provedena. Čtyřicet pět dní po zákroku byla zjištěna manifestní refrakce - 1,50 D/- 1,00 D ax 160° a keratometrie (optická mohutnost rohovky v hlavních řezech) 37,25/38,25 D. Za čtrnáct dnů se naměřené hodnoty změnily na - 2,25 D a tloušťka rohovky činila 374 μm, přičemž záznam na topografu zobrazoval zestrmění rohovky v dolním kvadrantu. Na základě pooperačního vývoje pravého oka se rozhodlo neuskutečnit zákrok na levém oku. Příčině neúspěchu je přisuzována nízká hodnota zbytkové tloušťky rohovky a v tomto případě také přítomnost frustní formy keratokonu. [25]

	Pravé oko	Levé oko
Datum	Leden 1997	neuvedeno
Nejlepší korekce	- 9,75 D/- 0,75 D ax 180°	- 8,50 D/- 1,0 ax 176°
Vízu s nejlepší korekcí	20/20	20/20
Odstraňované dioptrie	- 9,25 D/ - 1,25 ax 170°	neuvedeno
Keratometrie	42,75/44,00 D	42,50/44,50 D
Celková tloušťka rohovky	525 μm	530 μm
Tloušťka ablace	118 μm	neuvedeno
Tloušťka lamely	150 μm	neuvedeno
Zbytková tloušťka rohovky	257 μm	neuvedeno

Tab. 9: Metrické parametry k prvnímu případu [25]

6.3.2 Iatrogenní ektázie indukovaná 11 měsíců po operaci

Další případ se týká 30 leté ženy s vysokou myopií. V minulosti byla po dobu deseti let nositelkou měkkých kontaktních čoček a v její rodině nebyl zaznamenán výskyt ektázie. Všechny naměřené údaje k dané pacientce jsou dle [25] uvedeny v tabulce 10. V dubnu 1997 byl proveden zákrok metodou LASIK na pravém oku. Čtyřicet pět dnů po zákroku na tomto oku došlo k manifestaci vady na hodnotu + 0,5 D/- 0,75 D ax 137° s keratometrií 34,50/33,50 D a tloušťkou rohovky 365 μm. Pacientka byla s tímto výsledkem spokojená a vada dále neprogredovala. V červenci následovala operace levého oka, sedm dnů po operaci se vada manifestovala na - 0,25 D/- 2,0 D ax 56° s naměřenou keratometrií 34,50/34,75 D a tloušťka rohovky činila 374 μm. Přibližně 11 měsíců po operaci si pacientka začala stěžovat na zhoršení zrakové ostrosti a následně ji byla vyměřena refrakce - 2,0 D/- 2,25 ax 35°. Keratometrické měření udávalo hodnoty 40,50/38,50 D a tloušťka rohovky činila 400 μm. Záznam na topografu zobrazil zestrmění ve spodním kvadrantu rohovky charakteristické pro keratokonus. Příčinou neúspěchu tohoto zákroku byla nízká hodnota zbytkové tloušťky rohovky. [25]

	Pravé oko	Levé oko
Datum operace	Duben 1997	Červenec 1997
Nejlepší korekce	- 8,25 D/- 2,0 D ax 34°	- 8,75 D/- 1,5 D ax 143°
Vízus s nejlepší korekcí	20/20	20/20
Odstraňované dioptrie	- 8,25 D/- 2,0 D ax 34°	- 8,50 D/- 1,5 D ax 143°
Keratometrie	42,50/43,00 D	43,50/44,00 D
Tloušťka rohovky	489 μm	498 μm
Tloušťka ablace	107 μm	110 μm
Tloušťka lamely	150 μm	150 μm
Zbytková tloušťka rohovky	232 μm	238 μm

Tab. 10: Metrické parametry k druhému případu [25]

6.3.3 Iatrogenní ektázie indukovaná 32 měsíců po operaci

V následujícím případě došlo ke vzniku ektázie u muže, u kterého byl v dětství diagnostikován strabismus a následně amblyopie na levém oku. Všechny dostupné informace k případu jsou dle [26] uvedeny v tabulce 11. V dětství nosil měkké a později pevné kontaktní čočky, na které si ovšem stěží zvykal. Z toho důvodu u něj byla provedena refrakční operace. Nejprve byl proveden zákrok na levém oku, následně pak na pravém. Třicet dva měsíců po zákroku se však objevily první známky vznikající

iatrogenní ektázie na levém oku projevující se zhoršením zrakové ostrosti a aktuální korekce činila - 0,75 D/- 20,00 D ax 90°. Následně docházelo k postupné progresi ektázie a zhoršení vidění. Tloušťka rohovky činila 408 μm a keratometrie udávala hodnotu 47,00 D. Na základě uvedených hodnot byla diagnostikována přítomnost keratokonu. [26]

	Pravé oko	Levé oko
Datum	Duben 1998	Duben 1998
Nejlepší korekce	- 1,75 D/- 0,75 D ax 75°	- 4,50 D/- 2,00 D ax 155°
Vízus s nejlepší korekcí	20/20	20/30
Odstraňované dioptrie	- 1,25 D/- 0,75 D ax 75 °	- 4,25 D/- 2,00 D ax 155°
Keratometrie	41,90 D	42,94 D
Celková tloušťka rohovky	534 μm	540 μm
Tloušťka ablace	32 μm	90 μm
Tloušťka lamely	neuveдено	160 μm

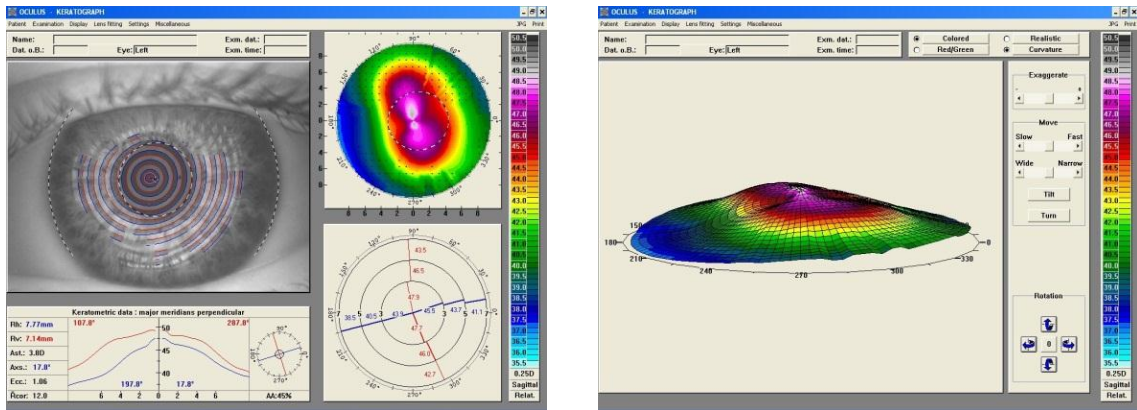
Tab. 11: Metrické parametry ke třetímu případu [26]

6.4 Případy iatrogenní ektázie získané z optometristického pracoviště

Následující případy vzniku iatrogenní ektázie po operaci metodou LASIK, případně LASEK (Laser-assisted subepithelial keratectomy), jsou skutečné případy, jejichž topografické snímky a základní informace byly pořízeny z optometristického pracoviště BM optika. Všechny níže uvedené zkratky jsou objasněny v kapitole 3.1.

6.4.1 Iatrogenní ektázie indukovaná 12 měsíců po operaci

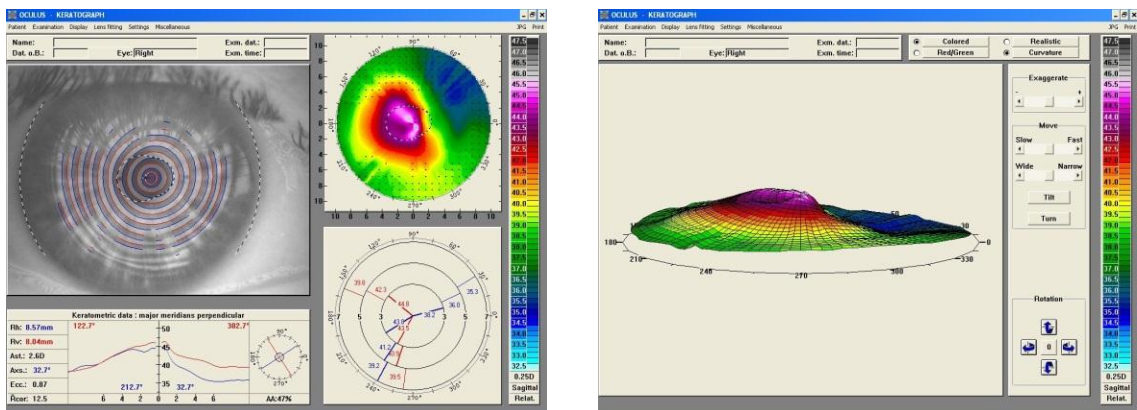
První z uvedených případů se týká pacientky, která v březnu 2010 podstoupila na obou očích operaci metodou LASEK, a to z důvodu vysoké hypermetropie a astigmatismu. První změny poukazující na vznik ektázie se objevily již po půl roce a uvedený obrázek 29 zachycuje stav rohovky levého oka po dvanácti měsících od zákroku. Metrické parametry levého oka udávaly tyto hodnoty: R_h : 7,77 mm (43,4 D) v ose 17,8°, R_v : 7,14 mm (47,3 D) v ose 107,8°, Ecc : 1,06 a Ast : 3,8 D v ose 178° tedy podle pravidla. Hodnoty zakřivení a optické mohutnosti v místě apexu činily 7,02 mm respektive 48,1 D. Na základě těchto hodnot software počítače vyhodnotil, že se jedná o iatrogenní ektázii Bow-tie formy keratokonu 2. stupně. Současně se stejná forma ektázie projevila také na pravém oku.



Obr. 29: Iatrogenní ektázie Bow-tie formy keratokonu 2. stupně vlevo přehledové zobrazení, vpravo 3D model

6.4.2 Iatrogenní ektázie indukovaná 10 let po operaci

Druhý případ se týká pacienta, který v roce 1998 podstoupil operaci metodou LASIK, a to z důvodu vysoké myopie na obou očích. V tomto případě se iatrogenní ektázie v podobě keratokonu 2. stupně vyvíjela pozvolně na obou očích a uvedený obrázek 30 zobrazuje stav pravého oka deset let po operaci. Na základě keratometrického měření byly stanoveny tyto hodnoty: R_h : 8,57 mm (39,4 D) v ose $32,7^\circ$, R_v : 8,04 mm (42,0 D) v ose $122,7^\circ$, Ecc : 0,87 a Ast : 2,6 D v ose $32,7^\circ$ tedy podle pravidla a hodnoty zakřivení a optické mohutnosti v místě apexu činily 7,53 mm respektive 44,8 D.



Obr. 30: Iatrogenní ektázie 2. stupně keratokonu vlevo přehledové zobrazení, vpravo 3D model

6.5 Terapie

Terapie iatrogenních ektázií závisí na závažnosti konkrétního stavu. Primární nechirurgická terapie spočívá v korekci refrakční vady pomocí brýlové korekce, měkkých a následně pevných RGP kontaktních čoček. Při větší progresi, související s nárůstem nepravidelností, se přistupuje k chirurgickému řešení. Specifickou terapií

ektázií je implantace jednoho nebo dvou intrarohovkových polokruhových segmentů (dále jen ICRS) do stromatu rohovky. Cílem této metody je úprava tvaru (oploštění) ektázie, zlepšení zrakové ostrosti a zvýšení tolerance při nošení kontaktních čoček. Metoda ICRS je využívána k řešení mírné a střední ektázie, přičemž tloušťka rohovky by neměla být tenčí než 450 μm . Druhou, v dnešní době nejvyužívanější metodou, která může být využita samostatně nebo v kombinaci s ICRS, je metoda corneal cross-linking (CXL). Jedná se o fotodynamickou metodu, která spočívá v aplikaci riboflavinu (vitamin B) na obnažené stroma rohovky, které je následně ozářeno UVA zářením o vlnové délce 370 nm. Ozářením místa s riboflavinem dochází k jeho aktivaci za vzniku spojovacích můstků vytvářejících kovalentní vazby mezi kolagenními vlákny ve stromatu rohovky. V důsledku této reakce je zajištěno zpevnění, zvýšení stability, zlepšení mechanických vlastností rohovky a zamezení progresu onemocnění. Z důvodu produkce toxických látek v průběhu této terapie, které snižují počet endotelových buněk, není vhodné tuto terapii využít u rohovek, jejichž tloušťka je menší než 400 μm . Mezi další chirurgické metody, využívané při terapii vysoce pokročilého stádia iatrogenní ektázie, patří penetrující nebo hluboká lamelární keratoplastika. [20]

Závěr

Práce shrnuje problematiku iatrogenních ektázií, které vznikají v souvislosti s provedením refrakční operace metodou LASIK. Pro správné pochopení problematiky je v práci nejprve popsána rohovka z biologického hlediska včetně popisu její struktury se zaměřením na histologii a fyziologii. Popis rohovky z metrického hlediska, který objasňuje pojmy jako je excentricita či zakřivení rohovky, je uveden ve druhé kapitole. V návaznosti na předchozí kapitolu následuje stručné pojednání sloužící k přiblížení topografie rohovky. Tato kapitola je do práce zahrnuta z důvodu zaměření zobrazení a popisu ektázií převážně z topografického hlediska. Pro ucelení všeobecných poznatků souvisejících s hlavní náplní práce je zde také zahrnuto stručné seznámení s operační metodou LASIK.

Stěžejní náplní práce je obecný a topografický popis jednotlivých ektázií, zejména pak keratokonu, jehož výskyt je nejčastější, dále pak pelucidní marginální degenerace a keratoglobu. Iatrogenním ektáziím je věnována závěrečná kapitola, ve které jsou zhodnoceny rizikové faktory vzniku ektázií a možnosti jejich následné terapie. Součástí práce je i studie související s touto problematikou a vybrané kazuistiky.

Hlavním přínosem práce je shrnutí problematiky iatrogenních ektázií provedené v kontextu souvisejících témat. Současně jsou názorně prezentovány konkrétní vybrané případy, ve kterých se převážně jedná o komplikaci po operaci myopie. Četnost výskytu iatrogenních ektázií následkem korekce myopie, ve srovnání s korekcí hypermetropie, se zdá být častější. Tento fakt je zkrácen méně častým provedením operace u hypermetropie, kde je tento zákrok všeobecně považován za méně bezpečný. Výrazně vyšší riziko vzniku iatrogenní ektázie po výkonu laserové refrakční metody LASIK je spojeno s operacemi na rohovce, jejíž celková předoperační tloušťka je menší než 450 μm a zbytková tloušťka stromálního lůžka je menší než 240 μm . Pokud nejsou tyto hodnoty překročeny, nemělo by ke komplikacím docházet.

Seznam použité literatury

- [1] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 978-80- 247-1132-4
- [2] ROZSÍVAL, P. et al. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0
- [3] KUCHYNKA, P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [4] KRAUS, H. a kol. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada Publishing, 1997. ISBN 80-7169-079-1
- [5] LÜLLMANN-RAUCH, R. *Histologie*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3729-4
- [6] GASSON, A. *The contact lens manual*. London: Elsevier, 2010. ISBN 978-0-7506-7590-1
- [7] CORBETT, M., ROSEN, E, O'BRART, D. *Corneal Topography: Principles and applications*. London: BMJ Publishing Group, 1999. ISBN 0-7279-1068-X
- [8] PLUHÁČEK, F. *Měření a analýza parametrů rohovky – výukové materiály k předmětu Oftalmologické a optometr. přístroje II, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2013*
- [9] PETROVÁ, S., MAŠKOVÁ, Z., JUREČKA, T. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Brno: NCO NZO, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2
- [10] EFRON, N. *Contact lens practice*. Oxford: Elsevier, 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7
- [11] MÜLLER-TREIBER, A. *Kontaktlinsen Know-how*. Heildeberg: DOZ-Verlag, 2009. IBSN 978-3-922269-92-2
- [12] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-301-5
- [13] WANG, M. *Irregular Astigmatism Diagnosis and Treatment*. USA: Slack, 2008. ISBN 978-1-55642-839-5
- [14] BENJAMIN, W. J. *Borish's clinical refraction*. St. Louis: Elsevier, 2006. ISBN 978-0-7506-7524-6
- [15] Návod k použití – KERATOGRAM, Okulus s.r.o
- [16] AZAR, D. T., KOCH, D. D. *Lasik: Fundamentals, Surgical Techniques, and Complications*. New York: Marcel Dekker, 2003. ISBN 0-8247-0797-4

- [17] BRŮNOVÁ, B. *Příčiny keratokonu 1. část*. Česká oční optika. roč. 53, 2012, č. 3, str. 18-21, ISSN 1211-233X
- [18] KRACHMER, J. H. *Cornea – Cornea and External Disease: Clinical Diagnosis and Management*. St. Louis: Mosby-Year Book, 1997. ISBN 0-8151-5249-3
- [19] BRŮNOVÁ, B. *Příčiny keratokonu 2. část*. Česká oční optika, roč. 53, 2012, č. 4, str. 14-17, ISSN 1211-233X
- [20] JIMÉNEZ, M. R. et al. *Keratoconus: A review*. Contact Lens & Anterior Eye, Vol. 33, 2010, pp. 157-166
- [21] JINABHAI, A et al. *Pellucid corneal marginal degeneration: A review*. Contact Lens & Anterior Eye, Vol. 34, 2011, pp. 56-63
- [22] ASHRAF, S. et al. *Late onset corneal ectasia after LASIK surgery*. Saudi Journal of Ophthalmology, Vol. 25, 2011, pp. 225-230
- [23] TRATTLER, W. B. et al. *Predicting Ectasia After Lasik*. Cataract & Refractive Surgery Today, 2008, pp. 54-57
- [24] PALLIKARIS, I. G. et al. *Corneal ectasia induced by laser in situ keratomileusis*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, Vol. 27, 2001, pp. 1796-1802
- [25] JOO, CH et al. *Corneal ectasia detected after laser in situ keratomileusis for correction of less than -10 diopters of myopia*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, Vol. 26, 2000, pp 292-295
- [26] PICCOLI, P. M. *Corneal ectasia detected 32 months after LASIK for correction of myopia and asymmetric astigmatism*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, Vol 29, 2003, pp 1222-1225