

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

**PATRICIA
BERGLOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

**Vliv CXL na astigmatismus zadní plochy rohovky
u pacientů s keratokonem**

**The effect of CXL on astigmatism of the corneal back surface
in patients with keratoconus**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Patricia Berglová

Vedoucí bakalářské práce: doc. MUDr. Pavel Studeny, PhD.

Kladno 2018

Zadání práce

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2017/2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Patricia Berglová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Vliv CXL na astigmatismus zadní plochy rohovky u pacientů s keratokonem**
Téma anglicky: The effect of CXL on astigmatism of the corneal back surface in patients with keratoconus

Zásady pro vypracování:

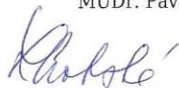
Projekt je věnován problematice vlivu metody corneal cross linking (CXL) u pacientů s progresí keratokonu - onemocnění, charakterizovaným nepravidelným ztenčováním a vyklenováním rohovky. Metoda CXL je v současné době jedinou známou metodou, schopnou onemocnění stabilizovat, u části pacientů je možné pozorovat zlepšování topografického nálezu. Studentka prostuduje příslušnou literaturu a zpracuje rešerši k dosud publikovaným výsledkům. Retrospektivně zhodnotí změny topografických nálezů (Scheimpflugova kamera - Pentacam) a vyhodnotí efekt metody CXL u pacientů oční kliniky FNKV se zaměřením na zakřivení přední a zadní plochy rohovky. Vyhodnotí případnou korelaci se subjektivním nálezem - zlepšením zrakové ostrosti.

Seznam odborné literatury:

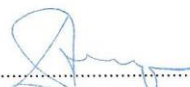
- [1] KOLLER, T., ISELLI, H.P., HAFEZI, F., VINCIGUERRA, P., SEILER, T., Scheimpflug imaging of corneas after collagen cross-linking, *Cornea*, ročník 28, číslo 5, 2009, pp. 510-5
- [2] STEINBERG, J., AHMADIVAR, M., ROST, A., FRINGS, A., FILEV, F., KATZ, T., LINKE, S.J., Anterior and posterior corneal changes after cross-linking for keratoconus, *Optometry and Vision Science*, ročník 91, číslo 2, 2014, pp. 178-86
- [3] LABIRIS, G., GIARMOUKAKIS, A., SIDEROUDI, H., BOUGATSOU, P., LAZARIDIS, I., KOZOBOLIS, V.P., Variability in Scheimpflug image-derived posterior elevation measurements in keratoconus and collagen-crosslinked corneas, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, ročník 38, číslo 9, 2012, pp. 1616-25
- [4] KRÁNITZ, K., KOVÁCS, I., MIHÁLTZ, K., SÁNDOR, G.L., KNORZ, M.C., NÉMETH, J., NAGY, Z.Z., Corneal changes in progressive keratoconus after cross-linking assessed by Scheimpflug camera, *Journal of Refractive Surgery*, ročník 28, číslo 9, 2012, pp. 645-9

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: MUDr. Pavel Studený, Ph.D.



vedoucí katedry / pracoviště



děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Název bakalářské práce: Vliv CXL na astigmatismus zadní plochy rohovky u pacientů s keratokonem

Abstrakt:

Tato práce se zabývá metodou CXL, jejím vlivem na astigmatismus zadní plochy rohovky u pacientů, kteří trpí onemocněním keratokonus. Teoretická část práce je rozdělena na kapitoly, které se podrobně věnují rohovce, keratokonu, metodám diagnostiky tohoto onemocnění a na konec samotné metod CXL. Praktická část práce se zabývá vlivem CXL s abrazí epitelu a CXL bez abraze epitelu na zadní plochu rohovky a vlivem na nekorigovanou a korigovanou zrakovou ostrost

Klíčová slova:

Rohovka, keratokonus, corneal cross – linking, CXL

Bachelor's Thesis title: The effect of CXL on astigmatism of the corneal back surface in patients with keratoconus

Abstract:

This thesis deals with the CXL method, the effect on astigmatism of the corneal back surface in patients suffering from keratoconus disease. The theoretical part of work is divided into chapters dealing in detail with the cornea, keratoconus, methods of diagnosis of this disease and end of the CXL itself. The practical part deals with the influence of CXL with epithelial abrasion and CXL without epithelial abrasion on the back surface of the cornea and influence on uncorrected and corrected visual acuity.

Key words:

cornea, keratoconus, corneal cross-linking, CX

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala za vedení práce, za odborné konzultace, rady a podněty k mé bakalářské práci, které mi poskytl pan doc. MUDr. Pavel Studený, PhD.

Také bych chtěla poděkovat za odborné konzultace v oblasti zpracování dat panu Bc.Patriku Pluhovskému.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Vliv CXL na astigmatismus zadní plochu rohovky u pacientů s keratokonem*“ vypracovala samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod	1
2	Rohovka	2
2.1	Rohovkový optický systém,	2
2.2	Anatomie a fyziologie	3
3	Keratokonus	8
3.1	Klasifikace keratokonu	11
3.2	Obecná klasifikace pro korekci a léčbu	12
3.3	Klinické rysy keratokonu	12
3.4	Diagnostika keratokonu	16
3.5	Korekce.....	17
3.6	Léčba keratokonu	17
4	Speciální vyšetřovací metody	20
4.1	Rohovková pachymetrie	20
4.2	Topografie rohovky	20
4.3	Keratometrie	21
4.4	Slit-scanning topografie.....	21
5	Collagen Corneal Cross- linking	24
6	Praktická část	28
6.1	Metodologie výzkumu	28
6.2	Zpracování výsledků	30
7	Diskuze	40
8	Závěr	42
	Seznam použité literatury.....	43
	Seznam použitých symbolů a zkratk	47
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek	49

1 Úvod

Keratokonus je degenerativní onemocnění rohovky, jejímž typickým znakem je kuželovité vyklenutí rohovky. Jedná se dědičné onemocnění a vzniká již v mládí.

Samotný výraz „*keratokonus*“ pochází z řečtiny a vznikl spojením dvou slov. *Kerato* (rohovka) a *konos* (kužel). Poprvé byl termín „keratokonus“ použit v roce 1869 v disertační práci s názvem „On the treatment of keratoconus“ švýcarským oftalmologem Johannem Hornerem. [1]

V dnešní době je k léčbě keratokonu používána jako jediná bezpečná, minimálně invazivní léčebná metoda tzv. Corneal Cross linking. Jedná se o poměrně novou léčebnou terapii. Používá se od roku 1998 a stále se vyvíjí a zdokonaluje se. Je důležité zdůraznit, že Corneal cross linking onemocnění keratokonus zcela nevyлéčí, ale slouží ke zpevnění nestabilní rohovky a zabrání tak progresi jejího ztenčování a tím k progresi onemocnění

V teoretické části práce se zaměřuji na onemocnění keratokonus jeho léčbu pomocí metody Corneal cross-linking a také na samotnou tuto léčebnou metodu.

V praktické části se zabývám samotným vlivem této léčebné metody na vliv astigmatismu zadní plochy rohovky. Porovnávám mezi sebou vliv metod Corneal cross linking bez abraze epitelu a Corneal cross linking s abrazí epitelu. Zjišťuji vliv těchto dvou typů operací na zadní plochu rohovky a vliv na zrakovou ostrost u pacientů.

2 Rohovka

Pro člověka je nejdůležitějším smyslem zrak. Nejvíce informací o vnějším světě (až 80%) přijímá zdravý člověk prostřednictvím zraku jako elektromagnetické záření, které se v oku transformuje na nervové signál. Vstupní branou pro světelné paprsky se stává rohovka. Spolu se bělimou tvoří vnější část obal oka a podílí se na ochraně vnitřních částí před mechanickým poškozením či vstupem infekce. [2,3]

2.1 Rohovkový optický systém,

Pro představu o chodu světelných paprsků okem je třeba znát základní optické parametry. Každý člověk je svým způsobem unikátní, tak i oči se svými vlastnostmi vzájemně liší a není proto možné požadované parametry vyjádřit přesně. K vyjádření těchto parametrů se využívá model oka, který reprezentuje průměrný stav. Jedná se o tzv. Gullstrandovo schématické oko sestavené A. Gullstrandem.¹

Tzv. Gullstrandovo schématické oko představuje nejpodrobnější, nejpropracovanější a dosud užívaný optický model průměrného oka. Tento model slouží jako výchozí studijní materiál pro formulování očekávaných refrakčních vad oka, zobrazovacích poměrů a v něm i samotnou korekci zraku. Model vychází z předpokládá, že plochy ohraničující jednotlivé prvky optické soustavy oka jsou kulové

Rozeřmy rohovky horizontálně jsou 11,5 - 12 mm a vertikálně 11 mm. Pokud má rohovka průměr větší než 13 mm hovoříme o onemocnění megalocornea nebo menší než 10 mm hovoříme o onemocnění microcornea.

Optická mohutnost rohovkového systému je 43 D a představuje tak 2/3 celkové optické mohutnosti oka. Dioptrická hodnota přední plochy rohovky činí 48,83 D a zadní plochy -5,88D.

Poloměr zakřivení přední plochy rohovky je 7,7 mm a zadní plochy je 6,8mm. Centrální tloušťka rohovky je 550 μm , směrem do periferie se ztlušťuje na hodnoty kolem 750 až 900 μm . [4,5]

¹ Allvar Gullstrand (1862-1930) byl švédský oftalmolog. Nositel Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu za rok 1911. Pracoval na konstrukci oftalmologických a optických přístrojů v laboratořích Carl Zeiss, odkud pochází jeho štěrbinový oftalmoskop. Vypracoval také do současné doby nejpropracovanější klasický model průměrného lidského oka – tzv. Gullstrandův model oka

Astigmatismus

Je refrakční vada, způsobující nepřesné zaostření světla na sítnici. Vyskytuje se také často společně s krátkozrakostí nebo dalekozrakostí. V tomto případě nemá rohovka pravidelný kulový tvar, ale je v jedné ose nebo v obou dvou více či méně zakřivená. Tudíž místo toho, aby se mohly paprsky světla ze všech směrů spojit do jednoho ohniska na sítnici (v ideálním případě bodu), vzájemně se mívají a na sítnici se potom projeví jako různě velké a zakřivené plošky.

Rohovkový astigmatismus

Nejčastější příčinou astigmatismu je asférický tvar rohovky. Hodnota rohovkového astigmatismu má zásadní vliv na velikost celkové hodnoty astigmatismu. [6,7]

2.2 Anatomie a fyziologie

Rohovka (cornea) je transparentní, průhledná, avaskulární tkáň, hraničící zevně se vzduchem a směrem dovnitř s komorovou vodou. Tvoří přední část (1/6) zevní vazivové vrstvy (tunica fibrosa oculi). Z optického hlediska je nejdůležitějším refrakčním prostředkem.

Rohovka se vyvíjí ve druhém měsíci embryonálního vývoje a sestává z pěti vrstev. Je částečně ektodermálního původu, konkrétně rohovkový epitel a částečně původu mezodermálního, což se týká všech ostatních vrstev. [8]

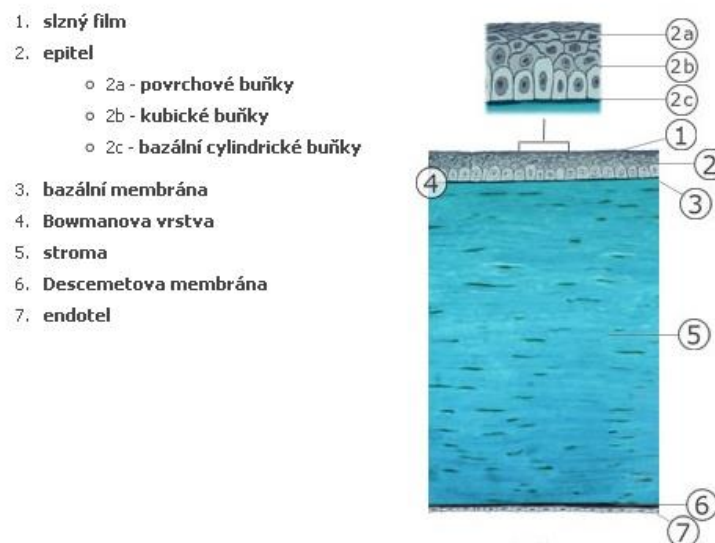
Rohovka překlenuje a uzavírá kruhový otvor o průměru asi 12 mm v předním okraji skléry. Má tvar segmentu koule, který se vyklenuje konvexitou dopředu. To je způsobeno sklerálními vlákny, které zasahují nahoře a dole hlouběji do rohovky. Její klínovitě přihrocený okraj (limbus corneae) se připojuje k bělimě. Přední (konvexní) strana (facies anterior) vybíhá ve vrchol rohovky (vertex corneae). Zadní (konkávní) plocha rohovky (facies posterior) se obrací do přední komory oční. [8]

Rohovka překlenuje a uzavírá kruhový otvor o průměru asi 12 mm v předním okraji skléry. Má tvar segmentu koule, který se vyklenuje konvexitou dopředu. To je způsobeno sklerálními vlákny, které zasahují nahoře a dole hlouběji do rohovky. Její klínovitě přihrocený okraj (limbus corneae) se připojuje k bělimě. Přední (konvexní) strana (facies anterior) vybíhá ve vrchol rohovky (vertex corneae). Zadní (konkávní) plocha rohovky (facies posterior) se obrací do přední komory oční. [8]

Slzný film

Slzný film pokrývá povrch rohovky. Jeho hlavní funkcí je mechanická a imunologická ochrana povrchového epitelu rohovky. Tloušťka slzného filmu se je 7 μ m a je složen ze tří vrstev, které na sebe plynule navazují:

1. Mucinová vrstva je vnitřní vrstva. Je produkována pohárkovými buňkami uloženými ve spojivce. Její tloušťka je přibližně 0,2 μ m, Význam mucinové vrstvy spočívá ve vyhlazení nerovností na rohovce a díky jejímu snižování napětí umožňuje přilnutí vodné složky slzného filmu na hydrofobní povrch epitelu rohovky.
2. Vodní vrstva je silná 6 μ m a je tvořena sekrecí akcesorních slzných žláz uložených ve spojivce. Ve vodní frakci slzného filmu jsou obsaženy imunologicky aktivní látky, Především imunoglobuliny IgA, IgG, IgM, IgE, lysozym, prealbumin ,ceruloplazmin, laktoferin, produkty degranulace žírných buněk a růstové faktory.
3. Olejová vrstva nebo také přední lipidová vrstva ze všech tří vrstev nejtenčí a je silná 0,5 μ m. Je produkována sekrecí lipidů Meibomovými žlázkami a jejím úkolem je zabraňovat rychlému odpařování vodné složky slzného filmu. [8]



Obr. 2.1: Stavba rohovky

Vrstvy rohovky

Epitel rohovky (*Epithelium anterius corneae*) kryje její zevní plochu. Jedná se o typ vrstevnatého dlaždicového epitelu. Je uspořádán do čtyř až šesti vrstev. Představuje zhruba 10% tloušťky rohovky. Má schopnost migrace a velmi rychlou schopnost regenerace. Právě díky rychlé schopnosti regenerace je zaručené velmi dobré hojení drobných poranění. Rohovkový epitel se obnovuje v pravidelných cyklech. V průměru každých 7-10 dní. Za tuto schopnost jsou odpovědné limbální buňky. Povrch epitelu tvoří mikrokly, které umožňují přilnutí mucinu.

Hlavní funkcí epitelu je ochrana vnějšího povrchu oka před mechanickým poškozením a vstupem infekce do vnitřní části oka. Společně se slzným filmem udržuje hladkost povrchu oka. [8,9]

Bazální membrána epitelu má dvě funkce. První funkcí je, že odděluje epitel od stromatu. Druhou funkcí je, že se podílí na organizaci bazální vrstvy epitelových buněk.

Bowmanova vrstva je nebuněčná struktura nacházející se na pomezí bazální epitelové membrány a buněčného stromatu. Její tloušťka se pohybuje v rozmezí 8-12 μm . Bowmanova vrstva nemá schopnost regenerace. V případě jejího porušení způsobí rohovkovou jizvu [8,9]

Rohovkové stroma představuje 90 % tloušťky rohovky je tvořeno kolagenními fibrilami, které jsou pravidelně uspořádány do 300-500 rovnoběžných lamel. Více pravidelně uspořádané je zadní stroma. Kolagenní vlákna jsou obklopena extracelulární matrix. Obojí je tvořeno keratocyty, které jsou uloženy mezi kolagenními vlákny. Regenerační schopnost stromatu je velmi malá. [8,9]

Descemetova membrána je tvořena kolagenních fibril a je relativně pevná. Při narození je její tloušťka 3 μm a postupně věkem zesiluje až na 10-15 μm . Složením se podobá Bowmanově membráně. Má také schopnost regenerace a to pomocí funkčních endotelových buněk. [8,9]

Endotel je nejvnitřnější vrstva rohovky skládající se z jedné souvislé vrstvy 400 000 hexagonálních buněk o tloušťce 4- 6 μm na vnitřní ploše rohovky. Endotel je zodpovědný za transparentci a za konstantní hydrataci rohovky. Tím udržuje její konstantní optickou mohutnost. Zdravý endotel má buněčnou hustotu 2600- 3000 buněk / mm^2 . Buňky vykazují jen malou mitotickou a prakticky nemají žádnou schopnost regenerace. S věkem počet endotelových buněk klesá. Po narození na mm^2 nachází 3500-5500 endotelových buněk a jejich počet se snižuje průměrně o 0,5% za rok. Pokud poklesne jejich počet pod 700 buněk/ mm^2 , nastčí zbývající buňky odstraňovat vodu ze stromatu a vyvíjí se edém rohovky a. epitelu [8,9]

Inervace rohovky

Rohovka je senzitivně inervována z první větve trojklaného nervu (nervus trigeminus) cestou nervus ophthalmicus, nervus nasociliaris a nn. ciliares breves. Cirkulárně v počtu 12-16 vstupují do oblasti korneosklerárního limbu. Společně s touto senzitivní inervací vstupuje do rohovky i inervace sympatická cestou ganglion cervicale superior. Senzitivních zakončení je podstatně více než autonomních. V rohovce je konečná větev rozdělena na subepitelový a stromální plexus. Při průchodu oblastí limbu nervy ztrácejí myelinovou pochvu. U některých rohovek můžeme zaznamenat radiální uspořádání bělavých nervových vláken, která ještě tuto pochvu neztratila. Rohovka má ze všech tkání v těle největší počet senzitivních nervových zakončení na mm^2 . Přímé podráždění vyvolá mrkací reflex. Narušení rohovkového epitelu např.erozí, cizím tělískem, UV zářením nebo zánětem obnaží senzitivní zakončení trojklaného nervu a způsobí intenzivní bolest, která je následována reflexním slzením a neovladatelným sevřením víček (blefarospasmus). [8,10]

Transparence rohovky

Transparence rohovky je určena rovnováhou mezi dvěma základními mechanismy zajišťujícími objem vody v rohovce. Pasivní transport vody a rozpuštěných látek do stromatu je dán velikostí a pravidelným uspořádáním kolagenních vláken a zejména přítomností negativně nabitých glykosaminoglykanů, které vážou vodu. Proudění vody do rohovky je vyrovnáváno jejím odtokem , kontrolovaným endotelovými buňkami, které

odčerpávají vodu zpět do komorové tekutiny . za fyziologického stavu stroma obsahuje 78% vody. při zvýšené hydrataci vzniká edém stromatu a rohovka ztrácí svoji průhlednost . ztráta transparence je dána vazbou vyššího množství vody na glykosaminoglykany , následným oddálením kolagenních vláken ztluštěním stromatu , které může vést až k porušení uspořádání kolagenních vláken a lamel a k nevratným změnám rohovky[7]

3 Keratokonus

Keratokonus je degenerativní onemocnění rohovky, pro které je typické její kuželovité vyklenutí především v centrální části. Charakteristické pro toto onemocnění je ztenčení stromatu v centrální části bez zánětlivé reakce. Vyklenování rohovky způsobuje rostoucí myopii a nepravidelný astigmatismus. [8,11]



Obr. 3.1: Změna rohovky v případě keratokonu a ovlivnění promítání světelných paprsků na sítnici

Etiologie

Keratokonus je dědičné onemocnění. Často se vyskytuje v kombinaci s jinými onemocněními jako jsou např. alergie různého druhu, senná rýma, astma, ekzémy, Downovým syndromem

Při genetické dispozici může být keratokonus vyvolán různými civilizačními faktory např, stresem nebo špatnou životosprávou. S prvními příznaky keratokonu se setkáváme převážně v pubertálním věku, ale může se objevit i dříve. Onemocnění se vyvíjí na

Symptomy

Počáteční fáze:

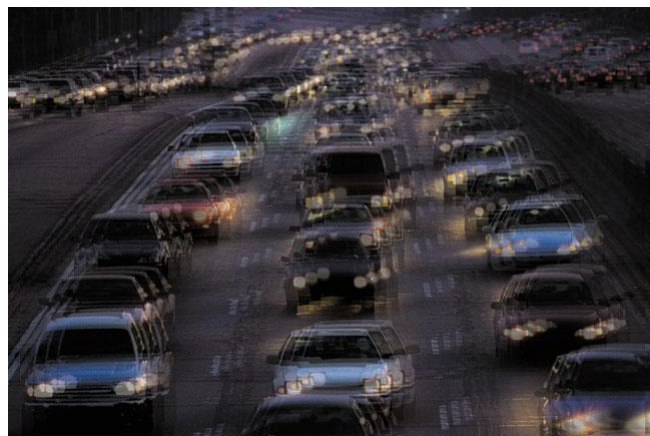
- Narušené vidění, mírně rozmazané vidění, snížená zraková ostrost
- mírně zkreslené vidění, kde rovné čáry vpadají ohnuté nebo zvlněné
- vznik světelných fenoménů
- postupné zhoršení nočního vidění
- Zvýšená citlivost na světlo a oslnění
-

Pozdější fáze:

- Více rozmazané vidění a zkreslené vidění
 - Zvýšená krátkozrakost nebo nepravidelný astigmatismu
- Neschopnost nošení kontaktních čoček z důvodů špatného přizpůsobení a nepohodlnosti



Obr. 3.2: Normální vidění



Obr. 3.3: Světelné fenomény



Obr. 3.4: Oslnění

Keratokonus posterior

Kromě předního keratokonu se může vyskytovat také keratokonus zadní (keratokonus posterior). Je to vzácné vývojové onemocnění. Zadní keratokonus je zpravidla jednostranné, neprogresivní, nezánetlivé onemocnění. Může ale způsobit myopický astigmatismus. Rozlišujeme dvě formy zadního keratokonu. Generalizovaný keratokonus vzniká, když je vnitřní rohovkové zakřivení vyšší než přední a zároveň přední rohovkové zakřivení má fyziologické hodnoty. Centrální rohovka je protenčená, ale transparentní. Daleko častější je výskyt ohraničeného keratokonu. Charakterizuje ho jeden nebo více lokalizovaných kráterů v centrální či paracentrální zóně rohovky. Vytváří rohovkový defekt na její zadní ploše ohraničený pigmentovou linií, histopatologicky můžeme pozorovat v oblasti defektů narušenou descemetickou membránu a endotel. Onemocnění může být provázeno očními i systémovými anomáliemi např. Petersonovou anomálií nebo jinou postihující předního segmentu oka. [8]

Zadní keratokonus obvykle nevyžaduje léčbu. Chirurgická intervence v podobě perforující keratoplastiky je indikována v případech kdy rohovka není transparentní a ovlivňuje zrakovou ostrost. [8]

3.1 Klasifikace keratokonu

Pro zjednodušení zápisu nálezu do zdravotní dokumentace pacienta se používá rozlišení pokročilosti onemocnění dle Amslera a Krumeicha. Stěžejní rozdíl mezi oběma klasifikacemi je, že Amslerova stupnice používá poloměr zakřivení rohovky v milimetrech, zatímco Krumeichova stupnice udává její lomivost v dioptriích. Pro praktické účely korekce a léčby keratokonu lze použít obecnou klasifikaci. [11]

Klasifikace podle Amslera

Pro klasifikaci keratokonu se nejčastěji používá tzv. Amslerova stupnice, jež ukazuje na jednotlivé parametry v určitých stádiích onemocnění. Z tabulky klasifikace dle Amslera lze například určit, jakého vizu je možné dosáhnout s brýlemi a RGP kontaktní čočkou.

Amsler I: prvním příznakem je nepravidelný astigmatismu. Rohovka je minimálně protenčená, její tloušťka se pohybuje kolem 0,5 mm. Poloměr její křivosti je strmější než 7,5mm. Apex může být lehce zašedlý. Vizus s brýlemi je poměrně velmi dobrý, lze dosahovat hodnoty 1,0. Test keratometru je deformován.

Amsler II: projevují se zřetelné patologické příznaky zahrnující strie, ruptury Descemetovy membrány Fleischerův prstenec, nubekulovitý apex, čárovité, decentrované zákaly. Poloměr křivosti přední plochy rohovky se pohybuje v rozmezí 7,2-6.5 mm. Tloušťka rohovky je 0,4 mm. Vizus s brýlemi se pohybuje v rozmezí 0,8-0,2. S RGP čočkou hodnota vizu dosahuje hodnoty 1,0.

Amsler III: nastává snížená transparentnost rohovky a většina patologických příznaků je velmi dobře viditelná. Tloušťka rohovky je přibližně 0,25 mm a poloměr zakřivení strmější než 6,5 mm. Vizus s brýlemi je 0,2 - 0,1 , s RGP kontaktní čočkou je 0,8 – 0,5

Amsler IV: poloměr křivosti v centrální části rohovky je 5,8 mm. Hodnota její nabývá hodnot pod 0,2 mm. Transparence rohovky je velmi snížena. Vizus s brýlemi je pod 0,1 , s kontaktní čočkou kolem 0,4. důležitou roli v tomto stadiu hraje doba, kdy oko nebylo vůbec nebo správně korigované a po jakou dobu se nepodílelo na procesu vidění. [11]

Klasifikace podle Krumeicha

Tab. 3.1: Klasifikace keratokonu podle Krumeicha [13]

Sstupeň	Keratometrie	Pachymetrie	Sférický ekvivalent	Rohovkové zjizvení
1	< 48 D	>500 μ m	<-5 D	bez zjizvení
2	48 D -53 D	400 μ m - 500 μ m	(-5 D)- (-8 D)	bez zjizvení
3	54 D -55 D	200 μ m- 400 μ m	>-8 D	bez zjizvení
4	> 55D	<200 μ m	neměřitelný	centrální zjizvení

3.2 Obecná klasifikace pro korekci a léčbu

Průběh keratokonu můžeme rozdělit na počínající, mírný a pokročilý. Tab. 2:2 ukazuje, jak se vypořádat s jednotlivými stádii tohoto onemocnění. Zpočátku na jednom oku roste myopie s pravidelným astigmatismem, ten se pak zpravidla mění na astigmatismus nepravidelný. [11]

Tab. 3.2: Průběh keratokonu

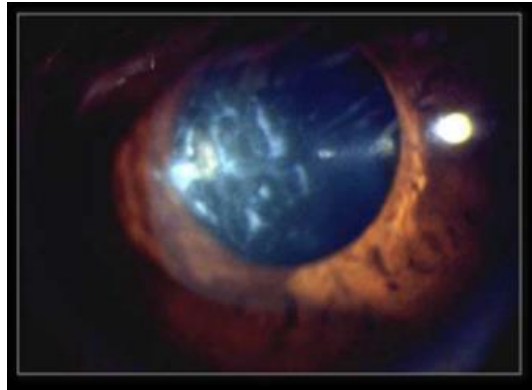
Progrese keratokonu	Korekce	Léčba
Počínající	Brýle, měkké torické KČ	CXL, ICR
Mírný	RGP KČ, Piggy back a hybridní KČ	CXL, ICR
Pokročilý	Semislerální a sklerální KČ	PK, DALK

3.3 Klinické rysy keratokonu

Keratokonus má ve většině případech chronický průběh. Můžeme definovat tři jeho stadia. Stadium počínající, již projevené a pokročilé (viz tab 2.2). U chronické formy většinou na postiženém oku narůstá nejprve krátkozrakost. K té se zpočátku přidává pravidelný a následně nepravidelný astigmatismus, který je neměřitelný a už vůbec ne korigovatelný brýlemi. Jednotlivé nálezy jsou viditelné při objektivním vyšetření na šterbinové lampě. Dále deformace kruhů na rohovce, které jsou vyvolány Placidovým kotoučem či přístroji pracujícím na jeho principu. Druhé stadium průběhu keratokonu je akutní stadium. [11]

Risy chronického průběhu

1. **Bowmanův stín:** je důsledkem trhlin v Bowmanově membráně, kdy vznikají povrchní jizvy rohovky. Rohovka se postupně vyklenuje a z profilu se jeví jako tmavá mezi vrcholem a bází vyklenutí



Obr. 3.5: Bowmanův stín

2. **Fleischerův prstenec:** při objektivním vyšetření pomocí štěrbinové lampy zjistíme na rohovce protažení vrcholu rohovky, v oblasti báze vyklenuté centrální zóny žlutavé, hnědé či šedé nebo do olivově zelené zbrvení. Tzv. Fleischerův prstenec. Je to způsobeno množstvím pigmentových depozit (hemosiderinu) nacházejících se hluboko v epitelu [11,14,15]



Obr. 3.6: Fleischerův prstenec

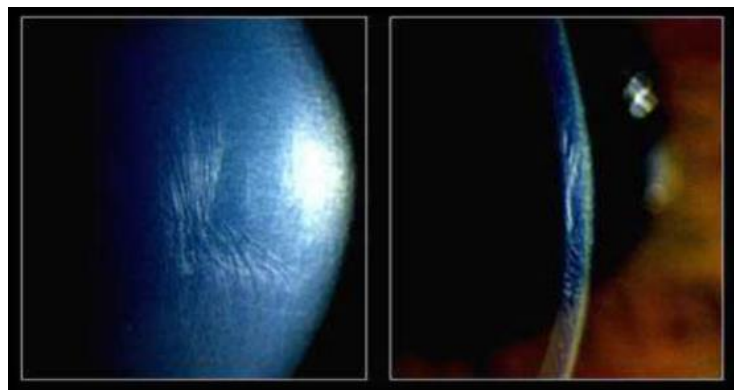
3. **Munsonův příznak** : objevuje se u pokročilého keratokonu a jeho typickým znakem je natolik vypouklý vrchol keratokonu, že deformuje spodní víčko. Je snadno pozorovatelný i bez štěrbinové lampy. [11,15]

4.



Obr. 3.7: Munsonův příznak

5. **Vogtovy proužky**: jedná se o proužky způsobené nařasením lamel v hlubokých vrstvách stromatu rohovky s vertikálním někdy i šikmým uspořádáním. Zpočátku se projevují rupturami Descemetovy membrány s následným prosáknutím a zašednutím rohovkového stromatu. Vogtovy proužky mizí po jemném tlaku na oko přes víčko, ale po odeznění tlaku se proužky znovu objevují. [11,14,15]



Obr. 3.8: Vogtovy proužky

6. **Axenfeldův příznak**: se projevuje snížením až ztrátou citlivosti vrcholových částí vyklenutí, která je charakteristická pro pokročilá stádia onemocnění. [11]

Rysy akutního průběhu

1. **Jizvení rohovky:** k jizvení rohovky dojde v okamžiku, kdy je odstraněno prosáknutí rohovky. Jizvení probíhá v oblasti vyklenutí vrcholu rohovky. S postupem času se může jizvení projasňovat a v kombinaci s aplikovanou kontaktní čočkou můžeme dosáhnout kvalitního vizu. V tomto stadiu je doporučována keratoplastika.
2. **Hydrops :** Hydrops je akutní edém rohovky, který je způsoben spontánní rupturou Descemetovy membrány. Tento stav je spojen s náhlým poklesem zrakové ostrosti. Proto je keratokonus označován jako akutní.

Rohovka se v tomto stádiu jeví prosáklá s častými puchýřky rohovkového epitelu. Puchýřky zasahují vrchní vrstvy epitelu a stav je doprovázen velkou bolestivostí, jelikož je rohovka bohatě protkána nervovými zakončeními. Hydrops je obvykle zhojen v během 2 až 3 měsíců. Aplikuje se léčba kapkami nebo hypertonicou mastí, jejímž úkolem je vysávat nadbytečnou vodu z rohovky. Požití takové masti je doprovázeno zvýšenou bolestivostí. Je možná aplikace lokální léčby v podobě steroidů za účelem snížení neovaskularizace rohovky. [9]

3.4 Diagnostika keratokonu

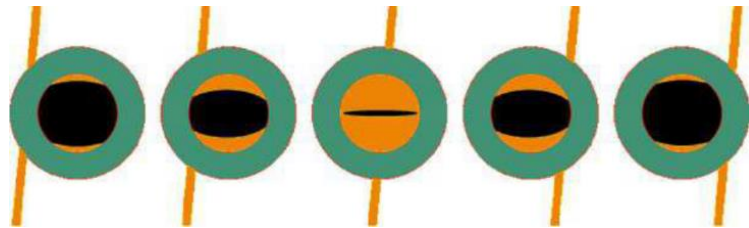
Anamnéza

Jedná se o rozhovor s pacientem, při kterém se ptáme nejdříve na osobní údaje, poslední návštěvu u oftalmologa nebo optometristy, oční anamnézu, celkovou anamnézu, používané léky a rodinnou anamnézu.

Jelikož je keratokonus dědičné onemocnění, zaměřujeme se na výskyt tohoto v rodině. Postižený keratokonem si při anamnéze může stěžovat na rozmazané vidění.

Objektivní refrakce

Objektivní refrakce se provádí za pomoci skiaskopu nebo autorefraktometru. Při skiaskopii si optometrista může všimnout tzv. nůžkovitého červeného reflexu. (viz obr.2.9).



Obr. 3.9: Nůžkovitý červený reflex

Při měření autorefraktometrem je často naměřen vyšší astigmatismus a myopie než při nedávné kontrole a také se může změnit osa astigmatismu.

Subjektivní refrakce

Při subjektivní refrakci postupujeme stejně jako u kteréhokoli jiného pacienta. Musíme počítat s tím, že se vidění od poslední návštěvy zhoršilo. Pacient bude mít pravděpodobně vysoké hodnoty astigmatismu. V případě jednostranného keratokonu se může objevit výrazná anizometropie.

Vyšetření štěrbinovou lampou

Štěrbinovou lampu vyšetřujeme především přední segment oka. U pacientů s keratokonem si všímáme chronických a akutních rysů průběhu onemocnění. Podle kritérií je vyhodnotíme a zapíšeme do zdravotní karty pacienta

3.5 Korekce

Brýlová korekce

Keratokonius je možné v počátečních stádiích korigovat pomocí brýlové korekce. S postupující progresí onemocnění brýlové čočky přestávají být účinné. Nedokážou plně korigovat zrakovou ostrost pacienta. Dochází tak k poklesu zrakové ostrosti, především za snížených světelných podmínek. Dále se mění refrakce oka, může dojít k anizometrii a vlivem rostoucího astigmatismu může být brýlová korekce těžko snášena. [26,27,28,329,30,31]

Korekce kontaktními čočkami

Další možností korekce keratokoniu je aplikace kontaktních čoček. Ze začátku se mohou použít měkké kontaktní čočky, později při progresi onemocnění pak RGP čočky nebo Paggyback čočky. V případě, že dojde k intoleranci kontaktních čoček nebo nelepšení zrakové ostrosti se přistupuje k chirurgickému řešení léčby onemocnění. [20,21,33]

3.6 Léčba keratokoniu

CXL (Collagen Cross Linking)

Collagen Cross Linking je moderní metoda léčby keratokoniu. Při této metodě dochází ke stabilizaci rohovky a zastavení tak progresu onemocnění. Rohovka je pevnější, nevyklenuje se a nedochází k jejímu dalšímu ztenčování.

CXL spočívá v aplikaci riboflavinu a současného působením ultrafialového světla na rohovku. Vytvářejí se posilující vazebné můstky mezi jednotlivými molekulami rohovkové tkáně, která se tak stává pevnější a odolnější. . [26,27,28,329,30,31]

Termokeratoplastika

Termokeratoplastika je jedna z metod léčby keratokoniu. Je využívána minimálně. Byla vyvinuta především pro korekci nízké hypermetropie do +1,5 dioptrie. Jedná se o

laserovou chirurgickou metodu, při níž se oplošťuje kónus rohovky kontrolovaným zahříváním. Tím dochází ke změnám v uspořádání stromálního kolagenu. Diodový laser vysílá infračervené záření, které působí na kolagenní vlákna ve stromatu rohovky. V místě záření se vlákna zahřívají a tím dochází k jejich shlukování. V koagulovaném místě se mění objem tkáně, čímž dochází k aplanaci daného místa. Mezi jednotlivými koagulovanými body se naopak rohovka vyklenuje. Tímto způsobem se mění tvar rohovky. Cílem terapie je zvýšit zakřivení v meridiánech plochých a snížit zakřivení ve strmých meridiánech. [26,27,28,329,30,31]

Keratoplastika

Keratoplastika je chirurgický zákrok, při kterém je nahrazena poškozená rohovka za rohovku novou. Rohovky jsou k transplantaci získávány od zemřelých dárců. Provádí se lokální nebo celkové anestézií a zákrok trvá u nerizikových případů asi hodinu. Existují dva základní typy postupy transplantace rohovky – perforující a lamelární keratoplastika.

Principem perforující keratoplastiky je odstranění rohovky v celé tloušťce a její náhrada dárcovskou rohovkou. Přední lamelární keratoplastika se provádí při zachování integrity bulbu. Je indikována u předních stromálních rohovkových dystrofií. V určitých případech bývá aplikována i u keratokonu.

Zadní lamelární keratoplastika se provádí odstraněním Descemetovy membrány a endotelu při zachování předního stromatu, Bowmannovy membrány a epitelu mateřské rohovky. Je indikována u zadních stromálních dystrofií. [26,27,28,329,30,31]

ICRS (intrastromal corneal ring segments)

Intrastromal corneal ring segments neboli intrastromální prstencové segmenty jsou chirurgickou alternativou ke keratoplastice při léčbě keratokonu. Zákrok spočívá v implantaci prstencového segmentu do stromatu rohovky.

ICRS jsou malé půlkruhové plastové segmenty, které jsou vsunuté do kanálků ve stromatu rohovky (asi do dvou třetin tloušťky rohovky) mimo centrální oblast a optickou osu oka a způsobují centrální oploštění rohovky.

V dnešní době se využívá k redukci rohovkového astigmatismu. Cílem implantace ICRS je zlepšení zrakové ostrosti bez odstraňování rohovkové tkáně nebo dotyku z centrální částí rohovky. Výhodou oproti keratoplastice je jednodušší a rychlejší operační zákrok, rychlejší hojení, díky volbě různých ICRS možnost ovlivnit výslednou refrakci oka) a do určité míry možnost odstranění ICRS. . [26,27,28,329,30,31]

Asymetrická radiální keratotomie

Jedná se o operaci, při níž se dělají radiální řezy v rohovce až do 70-80% její hloubky. Při procesu hojení pak rohovka změní svůj tvar a v ideálním případě směřuje paprsky na sítnici a pacient tak vidí ostře. V současné době se však tato metoda téměř vůbec nevyužívá. Někteří chirurgové tímto způsobem operují keratokonus v mírném a středně pokročilém stadiu. [26,27,28,329,30,31]

4 Speciální vyšetřovací metody

4.1 Rohovková pachymetrie

Vyšetření, při kterém přesně změříme tloušťku rohovky. Pachymetrie je důležitá pro správnou interpretaci měření nitroočního tlaku, a také pro možnost provádění rohovkové refraktivní chirurgie. Existují dvě metody měření:

- Optická pachymetrie: využívá koherentní polarizované světlo.
- Ultrazvuková pachymetrie: využívá mechanické vlnění vysokofrekvenčního ultrazvuku. [11]

4.2 Topografie rohovky

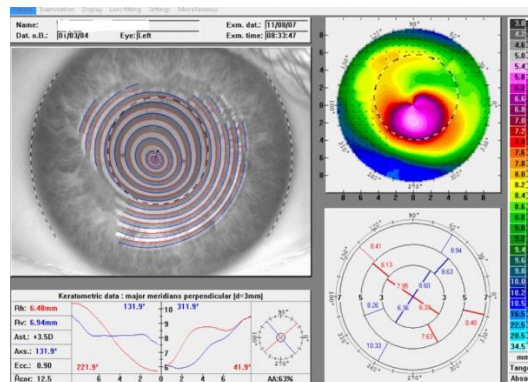
Topografie rohovky je vyšetřovací metoda, která podrobně popisuje povrch rohovky. Využívá ji přístroj Rohovkový topograf s Placido kotoučem. Přístroj se zaměřuje na měření periferní části rohovky. Rohovkový topograf se skládá z korneoskopu, který na rohovku promítá tmavé a světlé kružnice. Využívá Placidův keratoskop. Principem je projekce kružnic na povrch rohovky klienta a jejich neskutečný obraz je poté nahrán CCD kamerou, která je uprostřed konické hlavy přístroje. Po změření je obraz digitalizován a vyhodnocen příslušným algoritmem počítačového programu. Většina topografů využívá 20-30 bílým světlem podsvětlených koncentrických černobílých kruhů. Kruhy je třeba promítnout na rohovku do co nejširších úhlů, strmé rohovky mají tak kratší pracovní vzdálenost a plošší rohovky mají pracovní vzdálenost delší. Měřicí zařízení tak musí být schopné pojmout jednotlivé body od vrcholu rohovky až co nejvíce do její periferie. Maximální velikost změřené přední plochy rohovky může být až do 12mm, běžné přístroje však měří v zónách 3 mm, 5 mm, 7 mm. Nejnovější přístroje, dokáží měřit i zadní plochu rohovky. [11]

4.3 Keratometrie

Keratometrie je metoda měření nejstrmějšího a nejploššího meridiánu rohovky pomocí keratometru, ten může být buď mechanický nebo automatický.

Keratometr (synonymem je ofalometr) je přístroj, kterým se nejčastěji měří poloměry křivosti přední plochy rohovky v její centrální části. [11]

Keratometrie je metoda měření nejstrmějšího a nejploššího meridiánu rohovky. Užívá se k ní přístroj zvaný keratometr, který je buď mechanický nebo automatický [11]



Obr. 4.1: Počínající keratokonus

4.4 Slit-scanning projekční přístroje

Slit-scanning projekční přístroje využívají snímací štrbinu a jsou tak následujícím rozšířením principů biomikroskopie. Pomocí těchto metod je struktura vyšetřované tkáně snímána úzkým svazkem paprsků v určitých sekvencích obraz je pak zachycen kamerou a vyhodnocen.

Největší stupeň rozptylu světla vykazují rohovka, čočka a duhovka v porovnání se slzným filmem nebo sklivcem. Při projekci, která se řadí mezi neinvazivní techniku vyšetření, se kvantitativně hodnotí prostorový obraz (3D optická tomografie) předního segmentu oka. Lze tedy měřit topografická data (elevace) přední a zadní plochy rohovky, přední plochu duhovky a celou čočku. Dále pak vypočítat tloušťku rohovky, hloubku přední komory a duhovko-rohovkový úhel. Klinický význam má tak precizní geometrická analýza. Principy jsou založeny na technických možnostech laserových a interferenčních zákonitostí. Provedení těchto optických tomografií je možné rozdělit podle typu skenovacího systému (laterální nebo azimutální skeny) a zobrazovací techniky využívající rozptylu světla (Scheimpflugův princip) .

Orbscan

Orbscan (Bausch a Lomb, New York) je diagnostický přístroj, který využívá systém optického mapování a mapování rohovkového topografického systému. Tento přístroj patří mezi optické tomografy využívající laterální projekci. Jeho součástí je Placidův kotouč, z jehož bočních částí jsou promítány na povrch rohovky úzké světelné paprsky. Vyšetření trvá 1,5 sekundy. Dvě lampy promítají sérii 40 šikmých štěrbinových paprsků pod úhlem 45 stupňů napravo a nalevo od obrazové osy. 20 paprsků je promítáno zleva a 20 zprava. Paprsky jsou pak snímány na povrchu v opačných směrech a nahrány kamerou umístěnou v centrálním otvoru Placidova kotouče. Reflexy na rohovce by měly být zarovnané a setkávat se na apexu rohovky, kde vytváří pomyslné písmeno S. Vlastní software minimalizuje vliv mimovolných očních pohybů během získávání dat. K určení skutečné geometrie očních struktur za rohovkou se využívá ray-tricngu, který stimuluje ohyb světelného paprsku procházejícího refrakčními médii.

Výsledné zobrazení zahrnuje vlastní keratometrii, topografii rohovky, pachymetrii (až v 5000 bodech), pupilometrii a měření úhlu kappa. Typický displej se tak skládá ze čtyř obrazů, přední a zadní mapa elevace, mapa zakřivení a mapa tloušťky rohovky.

Výhodou je nezávislé měření hloubky přední komory a komorového úhlu, denzitometrie pro následný výpočet nitroočních čoček. Vše je opět zobrazeno formou barevných map. [17, 34]

Pentacam

Přístroj firmy Oculus nazvaný Pentacam slouží k přesnému popisu stavu předního segmentu oka, konkrétně částí oka od rohovky po sklivec. Přístroj funguje na principu Scheimplugovy kamery. Detailně zobrazí tloušťku rohovky, vytvoří mapu přední i zadní plochy rohovky, komorový úhel, čočku a ciliární svalstvo.

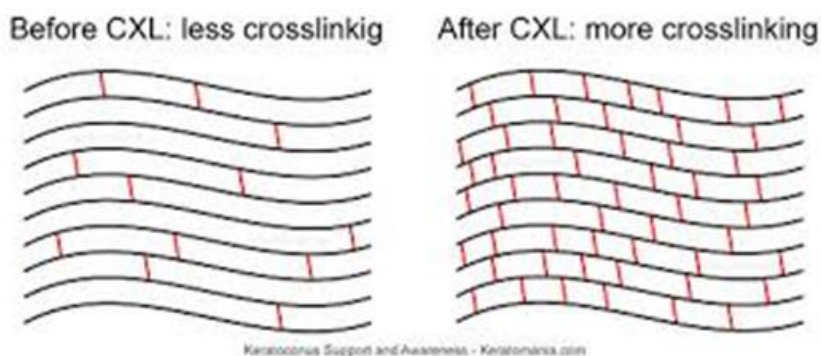
Přístroj provádí měření až v 25 000 bodech za dobu necelé 2 sekundy. Jako zdroj světelného svazku paprsků je využíváno modré LED osvětlení o vlnové délce 475 nm, obraz je zachycen CCD (Charge -coupled device) kamerou. Během sekvence může být pořízeno až 100 snímků (Pentacam HR). Mimovolní pohyby jsou detekovány druhou kamerou a poté srovnány a axiální pozicí pořízených snímků, k daným referenčním

bodům. Měření probíhá opět v oblasti celého předního segmentu oka a poskytuje trojrozměrný obraz. Umožňuje srovnávat snímky, získávat virtuální model předního segmentu, analyzovat pokročilost katarakty a určit přesněji vhodné parametry intraokulární čočky. Výhodou je screening glaukomu, také detekce a hodnocení progresu keratokonu. Ve spojení s wavefront analýzou je přístroj vhodný k předoperačním a pooperačním vyšetřením v refrakční chirurgii. Holladay zpráva Pentacamu umožňuje výpočet nitrooční čočky pro pacienty po refrakčním zákroku, po kterém dochází ke změnám v poloměru křivosti přední plochy rohovky. Ekvivalentní údaje odečtené z keratometru (K- údaje) zohledňují tyto účinky, Pentacam měří i zadní plochu rohovky. Holladay zpráva obsahuje celkem šest map, ty zobrazují potřebné údaje o rohovce, jako jsou sagitální mapa přední plochy rohovky, pachymetrická mapa, elevační mapa přední plochy rohovky, tangenciální mapu přední plochy rohovky, relativní pachymetrie a elevační mapa zadní plochy rohovky. Nalezneme zde také ekvivalentní K údaje, které se použijí pro výpočet nitrooční čočky a vypočítané K-údaje, před refrakčním zákrokem v zóně 4,5 mm okolo střední pupily. [22,23,24,35]

5 Collagen Corneal Cross- linking

Corneal Cross Linking (CXL)² je moderní metoda, která se využívá k terapii keratokonu, případně jiných ektáziích rohovky. Metoda CXL byla vyvíjena a zkoumána v letech 1993-1997 německým profesorem oftalmologie T. Seilerem a prof. Eberhardem Spoerlem na univerzitě v Dresdenu. Nejprve byla prováděna na pokusech in vitro, následně na zvířecích modelech a až v roce 1998 byl podstoupen zákrok na lidské rohovce.

CXL spočívá v ozařování rohovky UVA zářením za účasti fotosenzitivní látky riboflavin. Reakcí UVA zářením a vitamínu B12 dochází k uvolnění kyslíkových radikálů, které vyvolají vznik nových síťovaných spojů, označovaných v anglickém jazyce jako crosslinking bonds mezi kolagenovými vlákny stromatu rohovky. Následkem těchto spojů se zvýší pevnost rohovky, podle některých studií až o 300% [18,19,33]



Obr. 5.1: znázornění struktury kolagenních vláken před a po použití CXL

Riboflavin žluté až oranžové ve vodě slabě rozpustné přírodní barvivo. Fluoreskuje, je odolný vůči vysokým teplotám, ale působením světla se rozkládá. Pro svou vysokou koncentraci v mléce byl dříve označován jako Laktoflavin. Tato hojně v přírodě se vyskytující látka je syntetizována rostlinami a mikroorganismy, do těla živočichů se musí

² CXL, C3-R, dříve označováno CCL (CCL se přestalo používat, neboť se tato zkratka byla často zaměňována

za Corneal Contact Lens – korneální kontaktní čočky).

dodávat. Strukturu riboflavinu tvoří heterocyklické isoalloxazinové jádro a cukerný alkohol ribitol.

Riboflavin je důležitý je např. pro dobrý stav kůže, očí, funkce srdce a dalších orgánů. Má významný vliv na metabolismus cukrů, tuků a aminokyselin, jako součást enzymů v dýchacím řetězci je nezbytný pro základní buněčný metabolismus. [20,21,22]

Při zákroku CXL je riboflavin aplikován ve formě očních kapek, v nichž je obsažen pouze v 0,1% koncentraci. Při zákroku působí na kolagenová vlákna a díky absorpci UV záření působí v oku také jako „clona“, která chrání endotel rohovky a hlubší struktury oka před jejich poškozením. V očních kapkách je složkou také Dextran T 500, a to v 20% koncentraci. Jeho funkcí je zejména udržovat osmolaritu, umožňuje „zobtnání a nasáknutí“ rohovky během léčby (osmolarita rohovky: 380-420mosmol/l, osmolarita roztoku riboflavinu s dextranem: 400mosmol/l). [20,21,33]

Tento roztok se vyrábí pod různými názvy a liší se dle doporučeného intervalu aplikace v průběhu ozařování (např. interval 5 min, 2 min). Kromě isotonického roztoku riboflavinu existuje také roztok hypotonický, který způsobí „zobtnání“ rohovky a tak umožní provést zákrok u příliš tenkých rohovek. [20,21,22,33]

K provedení CXL je doporučována tloušťka rohovky vyšší než 400 μ m, což je tloušťka, kdy by nemělo dojít k poškození endotelových buněk a zakalení rohovky. Provádí se také u rohovek tenčích za použití hypotonického roztoku riboflavinu, jehož vlivem dojde ke „zobtnání“ rohovky a zvýšení tak její tloušťky na 400 μ m. Před zákrokem by neměla být v anamnéze infekce virem herpes simplex či herpes zoster, jizvení v centrální části rohovky a maximální optická mohutnost rohovky by neměla přesahovat +60dpt (poloměr křivosti = 5,54mm), podle některých autorů +70dpt (poloměr křivosti = 4,74mm). Obecně je doporučováno léčit metodou CXL časná stádia keratokonu (Amsler I, II), kde terapie prokazuje nejlepší výsledky.

Omezením k provedení CXL, kromě výše zmíněné tloušťky rohovky a dalších stavů, se uvádí také věk méně než 15 a více jak 50 let, diabetes mellitus a těhotenství. [23,33]

Postup zákroku

CXL je ambulantní výkon provádějící se v lokální anestezii rohovky a spočívá v abrazi epitelu rohovky, aplikaci riboflavinových očních kapek a ozařování rohovky UVA zářením.

Abraze rohovky se provádí z důvodu neschopnosti riboflavinu proniknout přes epitel do stromatu rohovky. Po ní se pět minut (dle některých autorů až 30 minut) před zahájením terapie na takto upravenou rohovku aplikují riboflavinové oční kapky, které se dále kapou každých pět v průběhu zákroku. Ten zahrnuje expozici povrchu rohovky UVA záření (uvádí se rozmezí vlnových délek 365nm-370nm) po dobu 30minut

Po operaci je nasazena terapeutická kontaktní čočka plnící funkci bandáže (po dobu hojení epitelu rohovky) a jsou předepsány antibiotické, nesteroidní, protizánětlivé a zvlhčující oční kapky. Z počátku je pacient denně sledován, zejména než dojde ke zhojení epitelu rohovky, poté následují kontroly jednou týdně, jednou měsíčně, za 3, 6 a 12 měsíců po zákroku , nebo podle zvyklostí pracoviště. Kontrola je zaměřena na zjištění refrakce oka, vyšetření zrakové ostrosti na optotypu, prohlédnutí předního segmentu oka šterbinovou lampou, keratometrii, topografii rohovky

CXL není léčba v pravém slova smyslu. Léčba sama o sobě keratokonus neléčí. Jen zpomaluje nebo zastavuje jeho progresi, takže pacienti mohou pokračovat v korekci své zrakové vady brýlemi či kontaktními čočkami. Z tohoto důvodu je důležité diagnostikovat a následně léčit keratokonus co nejdříve. V případě, že “konzervativní korekce” (tzn. korekce brýlemi či čočkami) po CXL není příliš uspokojivá, je možné zákrok kombinovat s terapií intrastromálními korneálními kroužky, implantací fakické nitrooční čočky nebo refrakčním laserovým zákrokem. Hlavním úkolem metody CXL je tedy zastavit progresi onemocnění a tak předejít dalšímu zhoršení vízu a transplantaci rohovky. [22,23,24,33]



Obr. 5.1: Znáznornění struktury kolagenních vláken před a po použití CXL



Obr. 4.3: Působení UV záření v průběhu zákroku CXL

6 Praktická část

6.1 Metodologie výzkumu

Současná situace

Keratokonus je ektatické onemocnění rohovky charakterizované konickým vyklenováním obvykle v centru rohovky nebo paracentrálně a ztrátou její pevnosti. Dochází ke zhoršenému vidění a v nejhorších případech může dojít až ke ztrátě zraku. Onemocnění je pozvolna progredující a klinicky se objevuje v období puberty nebo i později.

Terapie v počátcích onemocnění představuje korigování brýlovou korekci nebo aplikaci kontaktních čoček. Pokud brýlová korekce ani korekce kontaktními čočkami nepomáhá, přistupuje se k chirurgické léčbě.

Corneal Cross linking (CXL) je relativně nová léčba keratokonu. Jedná se o minimálně invazivní metodu, která využívá síťování kolagenu rohovky. Cílem léčby je hlavně zastavit a především stabilizovat onemocnění a tak předejít jeho progresi. Terapie je založena na fotochemické reakci riboflavinu (B_2) a UV záření o vlnové délce 365 nm. Ve stromatu rohovky se vytvoří příčné vazby a tím se zvýší její tvrdost a zároveň pevnost rohovky.

Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zjištění vlivu metody Corneal cross linkink (CXL) na zadní plochu rohovky u pacientů s onemocněním keratokonu.

Konkrétněji se tato práce zaměřuje na účinek léčby CXL bez abraze epitelu a léčby CXL s abrazí epitelu na zadní plochu rohovky. Tyto dvě metody porovnává mezi sebou a zjišťuje, která je více či méně účinnější.

Dále se se tato práce zaměřuje na vliv CXL na nekorigovanou a korigovanou zrakovou ostrost u obou zákroků. Je sledován zraková ostrost před operací a 12 měsíců po zákroku.

Metodika

Praktická část této bakalářské práce je zaměřena na sledování pacientů, u kterých bylo diagnostikováno onemocnění keratokonus. Tito pacienti podstoupili léčbu Corneal cross linking. U jedné skupiny pacientů byla aplikována léčba CXI bez abraze epitelu + EDTA a u druhé skupiny byla aplikována léčba CXL s abrazí epitelu. Pacienti tvořili muži i ženy ve věkovém rozmezí 15- 48 let.

Zkoumaný vzorek celkem tvoří 73 očí 47-ti pacientů. Z celkového vzorku představuje 60 očí 38-ti pacientů, kteří podstoupili zákrok CXL bez abraze epitelu, 13 očí 9-ti pacientů, kteří podstoupily zákrok CXL s abrazí epitelu s aplikací Myringu a 3 očí u 3 pacientů, kteří podstoupili zákrok pouze CXL s abrazí epitelu.

Data, která jsou použita v této práci, byla získána z dokumentace Fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze na oční klinice. Hodnotila se data z Pentacamu a údaje o zrakové ostrosti. V období od roku 2012 do března roku 2018. Data z Pentacamu byla hodnocena před a po operaci. Zraková ostrost nekorigovaná a zraková ostrost korigovaná byla hodnocena před operací a 1 rok po operaci.

Sledované parametry:

- Hodnota keratometrie rohovky v nejplošším (K1) a nejstrmějším (K2) meridiánu a hodnota zakřivení rohovky na apexu keratokonu (Kmax) u Cornea Front, Cornea Back a True Net Power.
- visus naturalis (nekorigovaná zraková ostrost, NZO) a nejlepší korigovaná zraková ostrost (KZO)

Před zákrokem pacienti prošli vstupním vyšetřením, které zahrnovalo podrobnou anamnézu. Zjištění stupně onemocnění, doprovodující příznak, alergie a jiná doprovodná onemocnění. Byla změřena zraková ostrost bez korekce a následně s korekcí, pokud ji pacient používal. Byl změřen nitrooční tlak a pacient byl vyšetřen na Pentacamu.

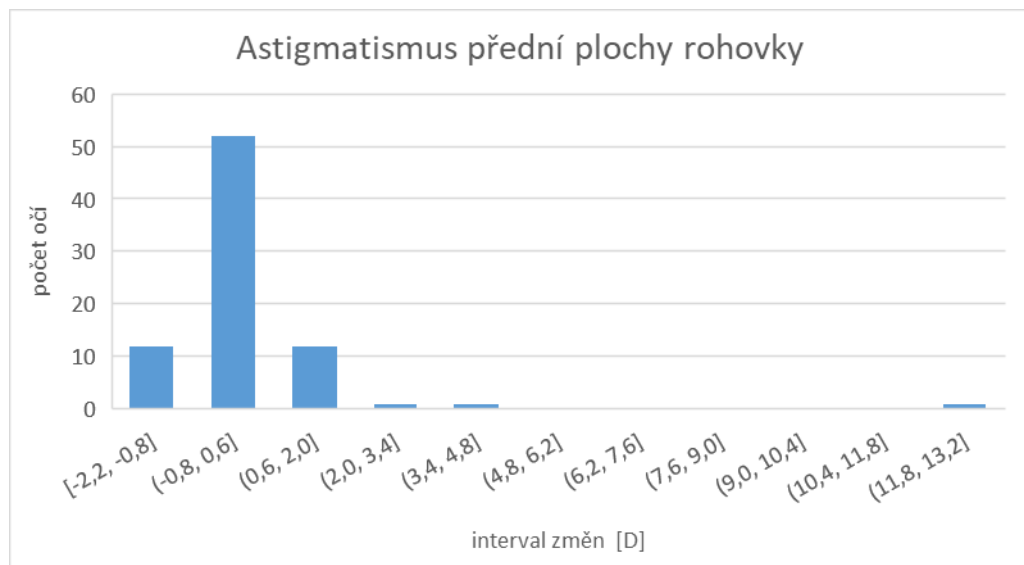
6.2 Zpracování výsledků

Celkový sledovaný vzorek tvořil soubor 47-ti pacientů, kteří byli operováni metodou Corneal cross linking. Zákrok CXL bez abraze epitelu podstoupilo celkem 38 pacientů. Zákrok CXL s abrazí epitelu podstoupilo 9 pacientů. Z 9 pacientů, kteří podstoupili zákrok CXL s abrazí epitelu, 2 podstoupili zákrok kdy byl aplikován Myoring.

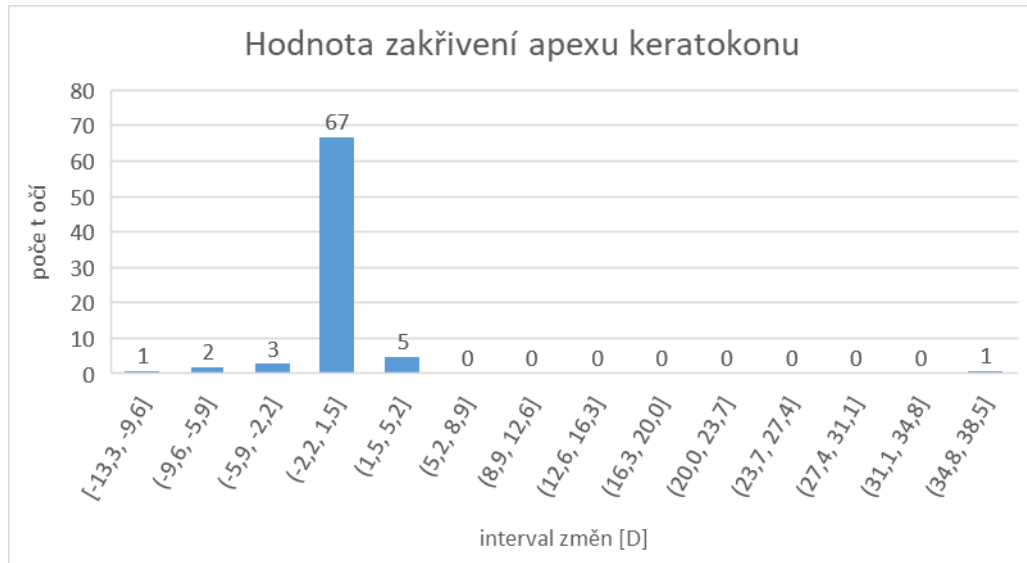
I. Část: Hodnocení dat získaných z Pentacamu

1) Pacienti po operaci CXL bez abraze epitelu

Obrázek č. 5.1 a obrázek č. 5.2 ukazují rozdíl změny hodnot astigmatismu a hodnot K_{max} na přední straně rohovky u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu.

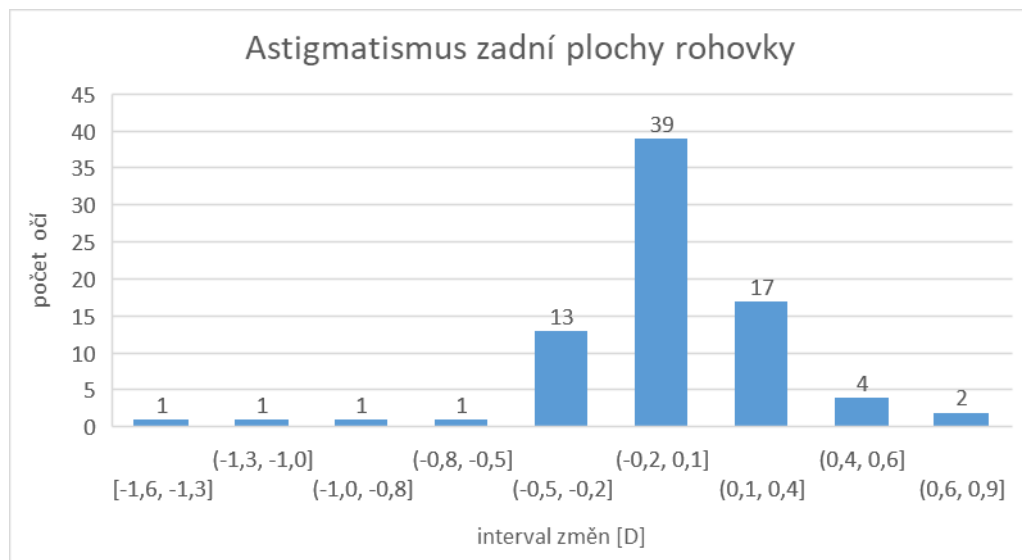


Obr. 5.1: Histogram rozložení změn astigmatismu přední části rohovky

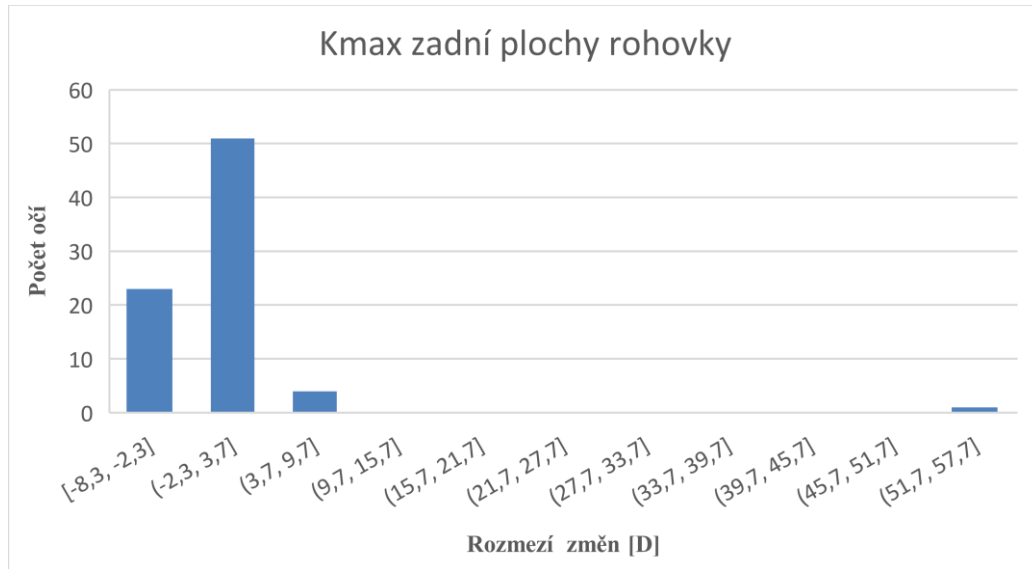


Obr. 5.2: Histogram rozložení zakřivení apexu keratokonu

Obrázek č.5. a obrázek č.5.4 ukazují rozdíl změny hodnot astigmatismu a hodnot K_{max} na zadní straně rohovky u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu



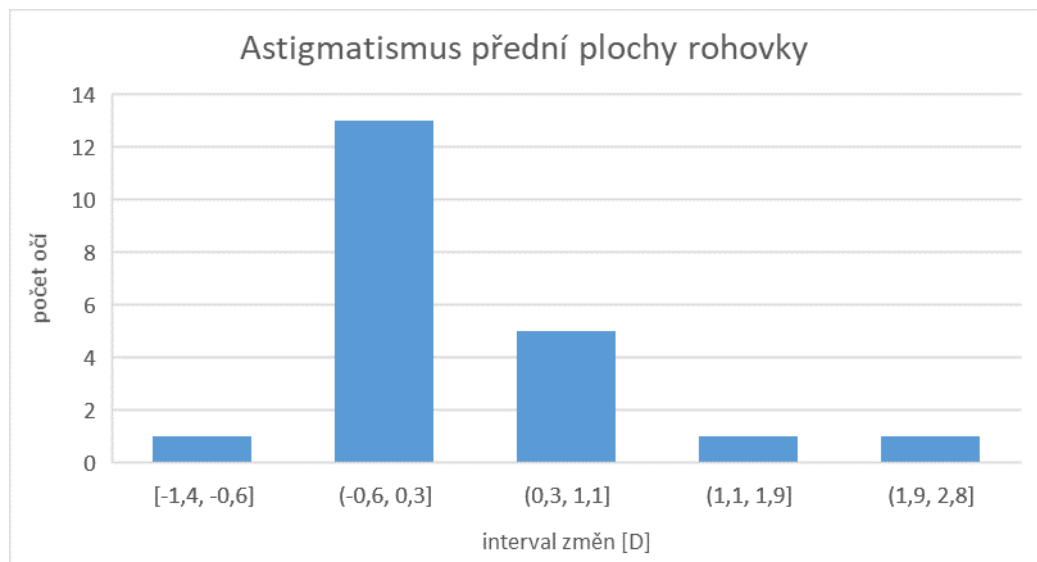
Obrázek 5.3: Histogram rozložení hodnoty astigmatismu zadní plochy rohovky



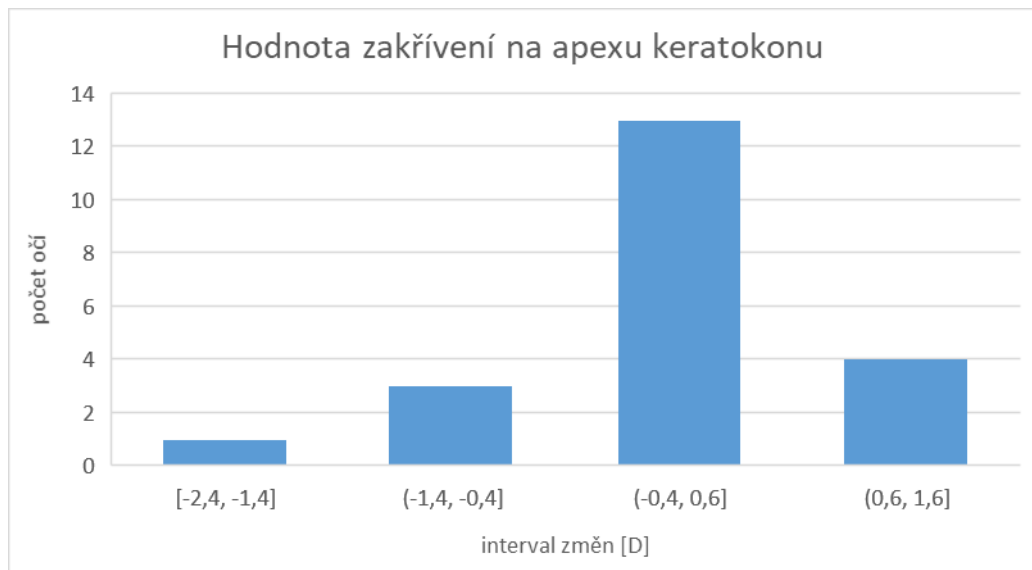
Obr. 5.4: Histogram rozložení Kmax zadní plochy rohovky

2) Operace CXL s abrazí epitelu

Obrázek č. 5.5 a obrázek č.5.6 ukazují rozdíl změny astigmatismu a hodnot Kmax na přední plochy rohovky u pacientů po operaci CXL s abrazí epitelu.

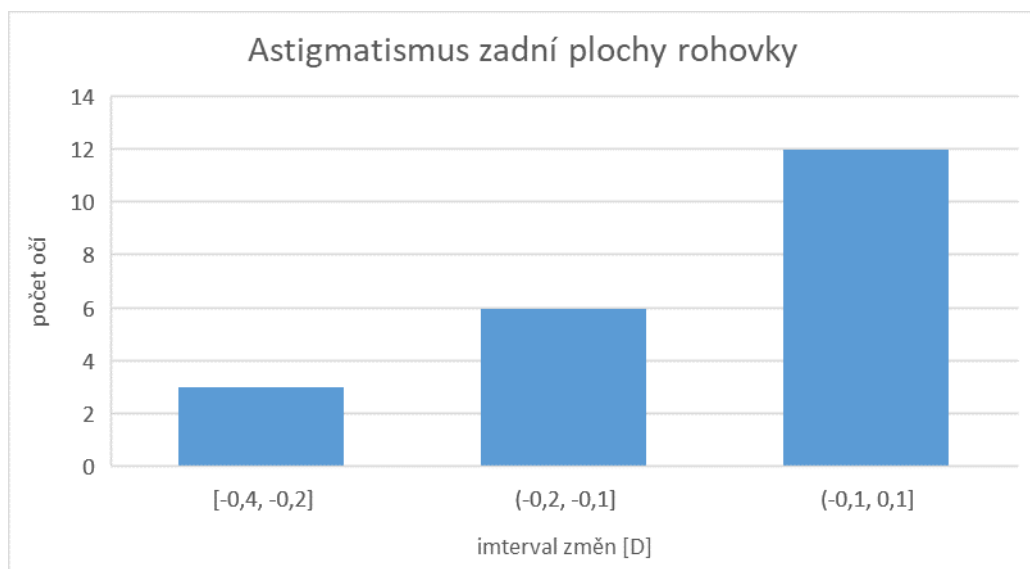


Obrázek 5.5 : Histogram rozložení astigmatismu přední plochy rohovky

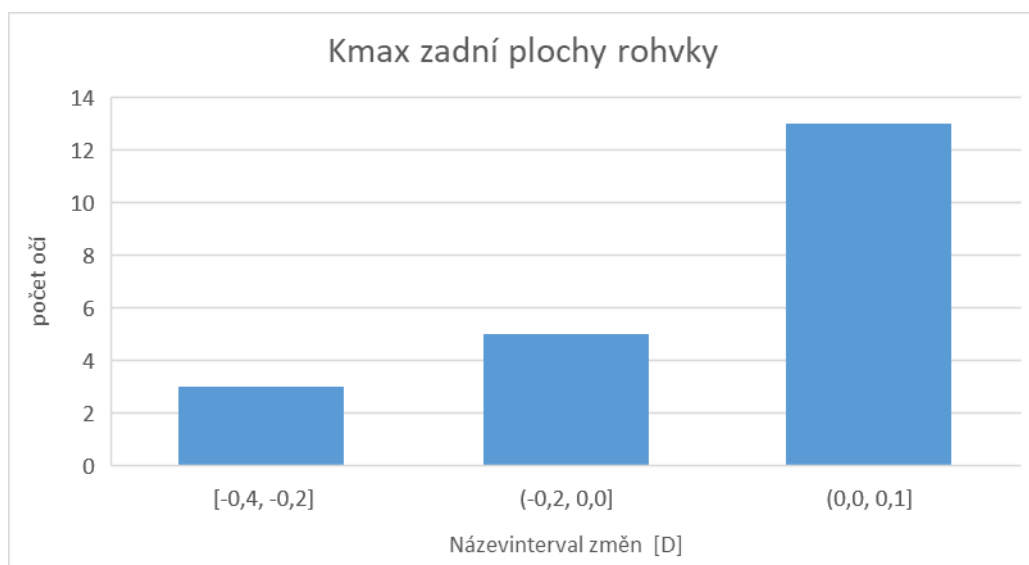


Obr. 5.6 : Histogram rozložení zakřivení apexu keratokonu

Obrázek č.5.7 a obrázek č. 5.8 ukazují rozdíl změny astigmatismu a hodnot Kmax na zadní ploše rohovky u pacientů po operaci CXL s abrazí epitelu.



Obr. 5.7: Histogram rozložení astigmatismu zadní plochy rohovky



Obr. 5.8 : Histogram rozložení Kmax zadní plochy rohovky

II. Část: Hodnocení zrakové ostrosti u:

1) pacientů po operaci CXL s abrazí epitelu

Tab. 3.1 vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL s abrazí epitelu

PACIENT	TYP OPERACE	OPEROVANÉ OKO	PŘED OPERACÍ		PO OPERACI	
			visus naturalis	visus korigovaný	visus naturali	visus origovaný
1	CXL s abrazí	levé	0,7			
2	CXL s abrazí	levé		0,5		
3	CXL s abrazí	levé	0,05	0,2		
4	cxl s abrazí	levé	0,2	0,9	0,1	0,4
5	CXL + MYORING	pravé	0,05	0,3		
	CXL s abrazí	levé	0,7	0,9		
6	CXL + Myoring	levé	0,05	0,2	0,2	0,4
	CXL s abrazí	pravé	1			
7	CXL s abrazí	levé		0,6	1	
8	CXL s abrazí	levé			0,7	0,7
	CXL s abrazí	levé		0,5	0,6	0,6
9	CXL s abrazí	levé	0,15	0,5	0,15	0,4
	CXL s abrazí	pravé	1			

nekorigovaná zraková ostrost	korigovaná zraková ostrost
průměr	průměr
0,0115	0,0040

Tab. 3.2 Průměrná hodnota NZO a KZO

Tabulka 3.1. Vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL s abrazí epitelu ukazuje:

- celkem 13 operovaných očí u 9 - ti pacientů
- U 8 pacientů byl proveden zákrok pouze CXL s abrazí epitelu a
- U pacienta s číslem 8 jsou operované obě oči metodou CXL s abrazí epitelu
- U 2 pacientů je uplatněna metoda CXL s abrazí epitelu a přidáním Myoringu
- U pacienta číslo 6 jsou operované obě oči. Levé oko je operované CXL s abrazí epitelu a přidáním Myoringu a pravé oko je operované metodou CXL s abrazí epitelu

- Zraková ostrost se po zákroku v období do roku zlepšila a to v naturálním visu

Tabulka č. 3.2 Průměrná hodnota NZO a KZO ukazuje:

- Průměrná hodnota u nekorigované zrakové ostrosti je 0,0115
- Průměrná hodnota u korigované zrakové ostrosti je 0,0040

2) Pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu

Tab. 3.3 Vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu

PACIENT	oko	PŘED OPERACÍ		PO 12 MĚSÍCÍCH	
		visus naturalis	korigovaný visus	visus naturalis	korigovaný visus
1	pravé oko	0,7	0,7		0,7
	levé oko	0,4	0,5	0,4	0,6
2	levé oko	0,3		0,2	0,4
3	pravé oko	0,5		0,3	0,4
	pravé oko	0,15	0,4		0,8
4	levé oko	0,8	1	0,8	1
	pravé oko	0,1	0,2	0,7	
5	pravé oko		0,8		
	levé oko		0,4		
6	pravé oko		0,6		
	levé oko		0,4		
7	pravé oko		0,8		
	levé oko	0,3			
8	pravé oko	0,5	0,7		
9	levé oko	0,7			
10	levé oko		0,5		
11	pravé oko	0,3	0,4		
	levé oko	0,3	0,5		
	bino	0,4	0,7		
12	levé oko		0,5	0,2	0,5
13	pravé oko	0,2	0,3		
	levé oko	0,1	0,7		

Tab. 3.4. Vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu

Pacient	operované oko	oko	PŘED OPERACÍ		PO 12 MĚSÍCÍCH	
			visus naturalis	korigovaný visus	visus naturalis	korigovaný visus
14	OPL	pravé oko		0,6	0,03	1
		levé oko		0,1	0,05	0,2
15	OP	pravé oko	0,2	0,7		0,9
16	OPL	pravé oko		0,6		
		levé oko	1			
17	OPL	pravé oko	0,4	0,5		
		levé oko		1		
18	OPL	pravé oko		0,3		
		levé oko		0,5		
19	OP	pravé oko		0,4		
20	OP	pravé oko	0,5			0,4
22	OL	levé oko	0,7	1	0,2	0,9
23	OPL	pravé oko	0,2	0,7		
		levé oko	0,4	0,8		
24	OL	levé oko	0,1	0,3		
25	OL	levé oko			1	
		LEVÉ OKO	0,7	0,9		

Tab. 3.5. Vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu

Pacient	oko	PŘED OPERACÍ		PO 12 MĚSÍCÍCH	
		visus naturalis	korigovaný visus	visus naturalis	korigovaný visus
26	pravé oko	0,3	0,5	0,4	0,5
	pravé oko		0,5		
27	pravé oko	0,4	0,6		
	levé oko	1			
28	pravé oko		0,25		0,5
	levé oko		0,6		1
	bino				1
29	levé oko	0,4	0,4		
	pravé oko	0,7	1	0,4	1
30	levé oko	0,3	0,9		
	pravé oko	0,4	0,7		
31	pravé oko		0,3		
	levé oko		1		
32	pravé oko		0,6		
	levé oko		0,3		
33	pravé oko	0,7			
34	pravé oko	0,06			
	levé oko		0,7		
35	pravé oko		0,3		
36	pravé oko	0,16	0,16	0,3	0,5
	levé oko	0,16		0,4	
37	pravé oko		1	1	
	levé oko		0,5	0,2	0,7
38	pravé oko		0,5		

Tab. 3.7 Průměrná hodnota Zrakové ostrosti

nekorigovaná zrková ostrost	korigovaná zrková ostroat
průměr	průměr
-0,0708	-0,0160

Tabulka č.3.4, tabulka č.3.5 a tabulka č.3.6 Vývoj zrakové ostrosti u pacientů po operaci CXL bez abraze epitelu ukazuje:

- Celkem je 60 očí u 38 pacientů
- Většinou bylo doporučena oboustranná operace

7 Diskuze

V praktické části této práce bylo pozorováno celkem 47 pacientů, kteří podstoupili operaci řešící onemocnění keratokonus. Všichni, pacienti kteří zákrok podstoupili byli vhodní pro tento zákrok a neměli žádné zdravotní komplikace znemožňující neprovedení zákroku. Keratometrická data byla hodnocena vždy před operací a po operaci. Zraková ostrost byla hodnocena vždy před operací a 1 rok po operaci v časovém období 2012-2018.

Z výsledků z výsledků z jednotlivých grafů ukazující keratometrické hodnoty rohovky vyplývá že onemocnění se spíše zastavilo. Bylo to dáno tím, že se onemocnění včas zachytilo.

Visus se u pacientů, kteří prošli zákrokem CXL bez abraze stabilizoval. Operované oko se nijak nezhoršovalo. Průměrná hodnoty u NZO vyšla -0,0708. To může znamenat, že se visus naturalis nijak nezlepšil. Naopak zhoršil. Průměrná hodnota u KZO vyšla -0,060. Tato hodnota může opět značit, že se korigovaný visus nezlepšil. Ovšem podle tabulky měření zrakové ostrosti můžeme vidět, že se korigovaný visus zlepšil např. u pacienta s číslem 28. U tohoto pacienta byl korigovaný visus před operací u pravého oka byl 0,25 a po roce se visus zlepšil na 0,5. U levého oka byl visus před operací 0,6 a rok po operaci se visus zlepšil na 1,0.

Visus u pacientů s CXL c abrazí epitelu se znatelně zlepšil po 1 roce. Bylo to dáno díky tomu, že tato operace se provádí jako reoperace CXL bez abraze epitelu a zlepšení zrakové ostrosti je znatelnější. Také u dvou pacientů byl proveden zákrok CXL s abrazí epitelu s aplikací Myoringu.

Podobným tématem se zabývala studie Léčba keratokonu metodou akcelerovaného cross-linkingu.

Studie: Léčba keratokonu metodou akcelerovaného cross-linkingu

Autoři: Veliká V., Rozsival P., Jirásková N., Raiskup F.

Rok : 2017, Hradec Králové

Sledovala 24 očí u 21 pacientů. Z nichž bylo 13 mužů a 8 žen ve věkovém rozmezí 18-47 let. Sledovací období bylo 2012-2013. Hodnotila se data NZO s KZO. Kdy průměrná Průměrná NZO byla před operací $0,37 \pm 0,31$. Na konci sledovacího období se hodnota NZO zlepšila ve srovnání s předoperační hodnotou na $0,38 \pm 0,3$. Tato změna hodnot

nebyla statisticky signifikantní. Průměrná KZO (brýlová korekce) byla předoperačně $0,51 \pm 0,27$; 3 roky po operaci se průměrná hodnota KZO zlepšila na $0,57 \pm 0,26$.

8 Závěr

V této práci byli sledováni pacienti s onemocněním keratokonus a kteří podstoupili léčbu Corneal cross linking. Celkový vzorek zahrnoval 73 očí u 37 pacientů. Z tohoto vzorky 38 pacientů podstoupilo léčbu Corneal cross linking bez abraze epitelu a 9 pacientů, kteří podstoupili léčbu Corneal cross linking s abrazí epitelu. Časové období ve kterém byli pacienti sledováni bylo od roku 2012 do roku 2018.

Podle průměrných hodnot nedošlo k prokázání zlepšení nekorigované ani korigované zrakové ostrosti.

Z naměřených výsledků lze vyčíst, že zraková ostrost se zlepšila hlavně u pacientů, kteří podstoupili zákrok Corneal cross linking s abrazí epitel. U těchto pacientů došlo především ke zlepšení nekorigované zrakové ostrosti.

Seznam použité literatury

- [1] <http://www.helpkeratoconus.com/when-was-keratoconus-discovered.htm>
- [2] JIRSOVÁ, Kateřina. *Příprava rohovky pro transplantaci: historie, současnost, budoucnost*. Praha: Karolinum, 2013. ISBN 9788024623641.
- [3] ZRAK. *Lidské smysly* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.lidske-smysly.wbs.cz/Zrak.html>
- [4] Délka oka (oční koule – bulbus oculi). *Masarykova univerzita V brně Lékařská fakulta* [online]. ©2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.azkurs.org/masarykova-univerzita-v-brn-lkask-fakulta.html?page=6>
- [5] Gullstrandův model oka ve stavu bez akomodace. *Masarykova univerzita V brně Lékařská fakulta* [online]. ©2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.azkurs.org/masarykova-univerzita-v-brn-lkask-fakulta.html?page=6>
- [6] GROSVENOR, Theodore P. *Primary care optometry*. 5th ed. St. Louis, Mo.: Butterworth-Heinemann/Elsevier, c2007. ISBN 978-0750675758.
- [7] MARK J. MANNIS ... [ET AL.]. *Contact lenses in ophthalmic practice*. New York: Springer, 2003. ISBN 9780387217581.
- [8] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. 73,134-135,208-211,214,224,240 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [9] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. 14-18 s. ISBN 80-247-0786-1.
- [10] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-4788-0.
- [11] PETROVÁ, Sylvie, Zdeňka MAŠKOVÁ a Tomáš JUREČKA. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2008. 60-61, 124-127s. ISBN 978-80-7013-470-2.

- [12] Chatbox: Forum. *Kcfreedom.org* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://kcglobal.org/content/view/14/26/>
- [13] Lasik Augenlinik Dr. Krumeich. *Augenlinik & Gemeinschaftspraxis Dr. Krumeich Laser Vision Center* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.praxis.krumeich.eu/>
- [14] <http://www.helpkeratoconus.com/when-was-keratoconus-discovered.htm> - stejný odkaz jako první
- [15] <http://www.theeyeglassfactory.com/Keratoconus.html>
- [16] HYDROPS. *KERATOCONUS INFO* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://keratoconusinfo.wordpress.com/corneal-hydrops/>
- [17] Orbscan. *Lens Design: We can help you see better* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.lensdesign.ca/orbscan>
- [18] Keratoconus. *Davidobart.co.uk* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://davidobart.co.uk/Keratoconus.html>
- [19] Collagen cross-linking A new treatment for keratoconus. *OPTICIAN career long support for optical professionals* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.opticianonline.net/Articles/2007/05/25/18544/Collagen+cross-linking+A+new+treatment+for+keratoconus.html>
- [20] Riboflavin. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Riboflavin>
- [21] STAGNI, Edoardo. RIBOFLAVIN OPHTHALMIC MEDICAL DEVICE. *Assocheratocono.org* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.assocheratocono.org/public2/documenti/Riboflavin.pdf>
- [22] Corneal cross-linking. *ScienceDirect* [online]. 2015 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039625715000697>
- [23] Foresight – Newsletter of Grewal Eye Institute; Volume No.7: Corneal Collagen Crosslinking with Riboflavin; January 2007

- [24] Collagen Crosslinking Using Riboflavin (C3R) and UV Light Exposure for Keratoconus -- First IRB Approved Study in India Started at Apollo Hospitals, Hyderabad. *Cornea Clinic* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.pr.com/press-release/27461>
- [25] *What is CXL? Collagen cross linking? A guide* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://keratoconusgb.com/2012/11/20/what-is-cxl-collagen-cross-linking-a-guide/>
- [26] *Keratoconus Causes, Symptoms And 10 Treatment Options: All about vision* [online]. February 2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.allaboutvision.com/conditions/keratoconus.htm>
- [27] *Transplantace rohovky- kertatoplastika* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.lekari-online.cz/ocni-lekarstvi/zakroky/transplantace-rohovky-keratoplastika>
- [28] *Keratoplastika: transplantace rohovky* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/keratoplastika-transplantace-rohovky-305674>
- [29] *Možnosti léčby keratokonu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.videni.cz/nemoci-oci/44-lecba-keratokonu>
- [30] *CCL, CXL - Collagen Cross Linking* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.duovize.cz/lecba-onemocneni-keratokonus/ccl-cxl-collagen-cross-linking/>
- [31] *Keratokonius, závažné onemocnění rohovky, většinou útočí na mladistvé* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://lexum.cz/o-ocni-klinice-lexum/news/keratokonus-zavazne-onemocneni-rohovky-vetsinou-utoci-na-mladistve?page=>
- [32] *KERATOKONU METODOU AKCELEROVANÉHO CROSS-LINKINGU* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/ceska-slovenska-ofthalmologie-clanek/lecba-keratokonu-metodou-akcelerovaneho-cross-linkingu-62881>

- [33] *Korekce a léčba keratokonu* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z:
https://theses.cz/id/6eyftk/Korekce_a_lba_keratokonu_-_bakalsk_prce.pdf
- [34] *Orbscan Corneal Topographer* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z:
<https://www.urmc.rochester.edu/eye-institute/lasik/technology/orbscan-corneal-topographer.aspx>
- [35] *Pentacam* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z:
<https://www.neovize.cz/spickova-technika-pro-vase-oci/pentacam/>

Seznam použitých symbolů a zkratk

CXL Corneal cross-linking

D Dioptrie

DALK Deep Anterior Lamellar Keratoplasty

ICRS Intrastromal Corneal Ring Segments

KČ Kontaktní čočka

PK Penetrating keratoplasty

mm milimetr

μm mikrometr

RGP Rigid Gass Permeable

UVA Ultraviolet A

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Stavba rohovky	4
Obr. 2.1: Změna rohovky v případě keratokonu a ovlivnění promítání světelných paprsků na sítnici	8
Obr. 2.2: Normální vidění	9
Obr. 2.3: Světelné fenomény.....	9
Obr. 2.4: Oslnění	10
Obr. 2.5: Bowmanův stín	13
Obr. 2.6: Fleischerův prstenec	13
Obr. 2.7: Munsonův příznak	14
Obr. 2.8: Vogtovy proužky	14
Obr. 2.9: Nůžkovitý červený reflex	16
Obr. 3.1: Počínající keratokonus	21
Obr. 4.2: Znázornění struktury kolagenních vláken před a po použití CXL.....	27

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Klasifikace keratokonu podle Krumeicha [13].....	12
Tab. 2.2: Průběh keratokonu.....	12
Tab. 2.1: Klasifikace keratokonu podle Krumeicha [13].....	12
Tab. 2.1: Klasifikace keratokonu podle Krumeicha [13].....	12