

MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lékařská fakulta



Keratokonus - diagnostika, možnosti korekce a léčby

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

MUDr. Tomáš Mňuk

Autor:

Lukáš Fojtík

Optika a optometrie

Brno, duben 2014

Anotace:

Práce je zaměřena na keratokonus. Zabývá se diagnostikou tohoto onemocnění a možnostmi korekce či případné léčby. Na začátku práce je popsána rohovka a její parametry. V další části jsou popsány rohovkové degenerace s následným zaměřením na keratokonus a jeho dělení. Hlavní část práce je zaměřena na korekci onemocnění podle jeho stupně a možnosti operativy. V možnostech operativy jsou zahrnuty operační techniky, které jsou v souvislosti s onemocněním využívány.

Klíčová slova:

Keratokonus, rohovka, rohovkové degenerace, diagnostika keratokonu, korekce keratokonu, keratoplastika, ICRS, CXL

Annotation:

The work is focused on keratoconus. It deals with the diagnosis of the disease and the possibility of correction or possible treatment. At the beginning of the thesis the cornea and its parameters will be described. In the next part are described corneal degeneration with subsequent focusing on keratoconus and its division. The main part of the work is focused on the correction of the disease according to the degree of the disease and the possibility of surgery. The options for surgery include surgical techniques that are used in connection with treatment of the disease.

Key words:

Keratokonus, cornea, corneal degeneration, diagnosis of keratoconus, correction of keratoconus, keratoplasty, ICRS, CXL

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval MUDr. Tomáši Mňukovi za odborné vedení bakalářské práce a také za cenné odborné rady a připomínky.

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval sám pod vedením vedoucího bakalářské práce. Použil jsem zdroje z oblasti odborné literatury a dalších informačních zdrojů. Všechny zdroje jsou v práci citovány a jsou uvedeny v seznamu zdrojů na konci práce. Souhlasím s využitím své bakalářské práce na další studijní účely.

Brno, duben 2014

.....

Podpis

Obsah

Úvod.....	7
1. Anatomie rohovky	8
1.1 Vrstvy rohovky.....	8
1.1.1 Epitel.....	8
1.1.2 Bowmanova membrána	9
1.1.3 Rohovkové stroma.....	9
1.1.4 Descemetová membrána	9
1.1.5 Endotel rohovky	10
1.2 Výživa rohovky	10
1.2.1 Komorová voda	10
1.2.2 Slzný film	11
1.3 Nervové zásobení rohovky.....	12
1.4 Embryologie rohovky.....	12
2. Parametry rohovky.....	12
2.1 Tvar rohovky	13
2.2 Zakřivení rohovky	13
2.3 Tloušťka rohovky.....	13
2.4 Optická mohutnost rohovky	13
3. Rohovkové degenerace	14
3.1 Ektatické degenerace rohovky	14
3.1.1 Keratoglobus.....	14
3.1.2 Keratokonus.....	15
3.1.3 Marginální pelucidní degenerace	15
3.2 Věkem podmíněné degenerace rohovky	15
3.2.1 Vogtův limbální pás	15
3.2.2 Degenerace krokodýlí kůže	16
3.2.3 Cornea guttata.....	16
3.2.4 Arcus senilis corneae	16
3.2.5 Salzmannova nodulární degenerace	17
3.2.6 Lipidová keratopatie	18
3.2.7 Zonulární keratopatie.....	18
4. Keratokonus	19

4.1 Klasifikace keratokonu.....	20
4.1.1 Dělení keratokonu dle Amslera	20
4.1.2 Dělení keratokonu dle Krumeicha.....	21
4.2 Klinické rysy keratokonu	21
4.2.1 Rysy chronického keratokonu	21
4.2.2 Rysy akutního keratokonu.....	23
5. Diagnostika keratokonu	23
5.1 Anamnéza.....	24
5.2 Naturální vízus	24
5.3 Objektivní refrakce.....	24
5.4 Subjektivní refrakce	25
5.5 Vyšetření předního segmentu.....	25
5.5.1 Vyšetření víček.....	25
5.5.2 Vyšetření spojivky.....	25
5.5.3 Vyšetření slzného filmu a test slzivosti	26
5.5.4 Vyšetření pomocí štěrbinové lampy	27
6. Zobrazovací metody předního segmentu oka	28
6.1. Rohovková topografie	28
6.2 Fotografie předního segmentu oka.....	29
6.3 Aberometrie.....	29
6.4 Rohovková endotelová mikroskopie.....	30
6.5 Konfokální mikroskopie.....	30
6.6 Ultrazvuková biomikroskopie	30
6.7 Moderní vyšetřovací přístroje	30
6.7.1 Duální systém Galilei	31
6.7.2 Pentacam.....	31
6.7.3 Orbscan.....	32
7. Korekce keratokonu	33
7.1 Korekce brýlemi.....	33
7.2 Korekce kontaktními čočkami	34
7.2.1 Korekce hydrogelovými kontaktními čočkami	34
7.2.2 Korekce silikonhydrogelovými kontaktními čočkami	34
7.2.3 Korekce hybridními čočkami	34
7.2.4 Korekce Piggybag	35

7.2.5 Korekce tvrdými kontaktními čočkami	35
8. Léčba keratokonu.....	38
8.1 Keratoplastika	38
8.1.1 Perforující keratoplastika.....	39
8.1.2 Přední lamelární keratoplastika	43
8.1.3 Zadní lamelární keratoplastika	47
8.2 Corneal Cross Linking – CXL	48
8.2.1 Indikace CXL	49
8.2.2 Kontraindikace CXL	49
8.2.3 Průběh operace CXL	49
8.2.4 Komplikace CXL.....	50
8.3 Intrastromální rohovkové prstence (ICRS)	50
8.3.1 Indikace ICRS	51
8.3.2 Kontraindikace ICRS.....	51
8.3.3 Postup implantace ICRS.....	52
8.3.4 Zhodnocení metody ICRS	52
Závěr	53
Seznam zkratk	54
Zdroje.....	54
Internetové zdroje	55
Seznam obrázků.....	55

Úvod

Práce je zaměřena na degenerativní onemocnění rohovky, zvané keratokonus. Mohlo by Vás tedy zajímat, jak vznikl název onemocnění?

Název keratokonus vznikl spojením řeckých slov *kerato* (rohovka) a *konos* (kužel). Nemoc objevil v roce 1748 lékař B. Mauchart. Ve své práci ji nazval jako *staphyloma dyaphanum*. V roce 1859 použil britský lékař W. Bowman oftalmoskop k diagnostice keratokonu. Popsal také, jak správně nastavit zrcátko oftalmoskopu, aby byl co nejlépe viditelný kónický tvar rohovky. Název keratokonus byl použit poprvé v roce 1869 oftalmologem J. Hornerem v jeho práci „On the treatment of keratoconus“. Než byl keratokonus s konečnou platností oddělen od ostatních rohovkových dystrofií, uplynulo více než 100 let. Dalším významným letopočtem je rok 1888, kdy francouzský lékař E. Kalt vyrobil pro svého pacienta skleněné sklerální čočky. Čočky pomohly zlepšit zrakovou ostrost, protože svým tlakem na rohovku ji formovaly do pravidelnějšího tvaru.

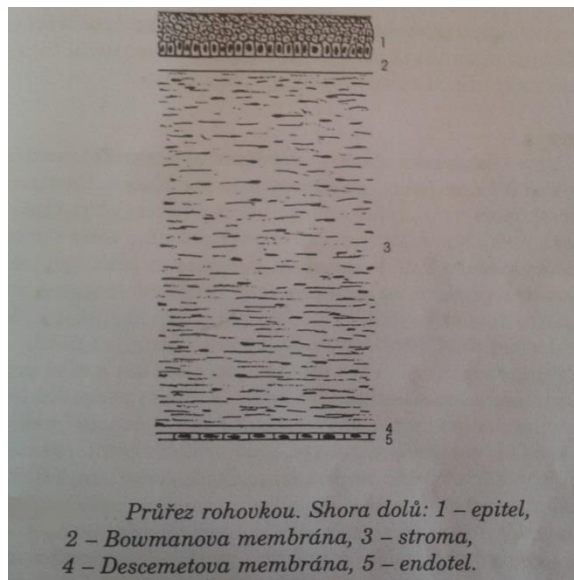
Od počátku 20. století nastal velký pokrok v diagnostice a zejména v možnostech korekce onemocnění. První úspěšná transplantace rohovky byla provedena v roce 1936. Provedl ji lékař R. Castroviejo. [26]

1. Anatomie rohovky

Rohovka (*cornea*) tvoří společně s bělimou (*sclera*) pevný obal oka (*tunica externa oculi*). Jde o transparentní optickou tkáň. Rohovka je první mechanickou a chemickou bariérou mezi vnitřními strukturami oka a vnějším prostředím. Rohovka je avaskulární tkáň, která zaujímá přibližně 20 % povrchu oka. Přestože je rohovka složena ze stejných vláken jako bělima, je na rozdíl od ní průhledná. Její průhlednost je dána jiným uspořádáním vláken a také jiným obsahem vody. Rohovka je z optického hlediska nejdůležitějším refrakčním prostředím oka. [4]

1.1 Vrstvy rohovky

Rohovka se skládá z pěti základních vrstev: epitelu, Bowmanovy membrány, stromatu, Descemetovy membrány a endotelu. Za šestou vrstvu může být považována bazální membrána, která je však ve většině případů řazena jako součást epitelu. [4]



Obrázek č. 1: Průřez vrstvami rohovky

1.1.1 Epitel

Epitel (*epithelium anterius corneae*) je vnější vrstvou rohovky. Skládá se ze 4 – 6 vrstev a představuje asi 10 % celkové tloušťky rohovky. Epitel je složen z nekeratinizujícího epitelu ve 2 – 3 vrstvách, na který nasedají 2 – 3 vrstvy kubického epitelu. Následuje vrstva

cyklindrických, proliferujících buněk, které se postupně vyvinou v buňky kubické a prostupují směrem k povrchu rohovky. Tímto způsobem dochází k reepitelizaci epitelu. V průměru je epitel fyziologicky obnoven každých 7 dní. Při erozi proběhne reepitelizace do 72 hodin. Na povrchu epitelu najdeme klky, které umožňují přilnutí mucinu a vnitřní vrstvy slzného filmu. Nepoškozený epitel je hlavním předpokladem zabránění vstupu infekce do rohovky.

K epitelu je řazena také basální membrána (*lamina basalis*) je histologicky tvořena lamininem, fibronektinem a kolagenem typu IV. V případě eroze epitelu rohovky přejímá funkci ochrany proti infekcím. [2, 4]

1.1.2 Bowmanova membrána

Bowmanova membrána (*lamina limitans externa*) nabývá tloušťky 8 – 12 μm a je tvořena hlavně kolagenem. Tato vrstva je nebuněčným předělem mezi epitelem a stromatem rohovky. Její další funkcí je organizace bazální vrstvy epitelových buněk. V případě poranění nedochází k její regeneraci a výsledkem je rohovková jizva. [2, 4]

1.1.3 Rohovkové stroma

Rohovkové stroma (*substantia propria corneae*) je tvořeno fibrilami kolagenu, které jsou uspořádány do asi 300 – 500 lamel, které jsou rovnoběžné. Vlákna jsou obklopena extracelulární matrix. Mezi kolagenními vlákny najdeme také keratocyty. Schopnost stromatu regenerovat je velmi malá. Stroma tvoří asi 90 % tloušťky rohovky. [2, 4]

1.1.4 Descemetová membrána

Descemetová membrána (*lamina limitans interna*) je svojí stavbou podobná membráně Bowmanově. Je však o něco tenčí a relativně pevná. V periférii přechází Descemetova membrána do trabekula komorového úhlu a podílí se na tvorbě Schwalbeho prstence.

Descemetova membrána je odolná proti infekcím a také poranění. Je produktem endotelových buněk. S věkem se membrána postupně ztlušťuje.

Při narození má membrána asi 3 μm a v dospělosti nabývá tloušťky 8 – 12 μm . Vyskytnou – li se v ní trhliny, dojde k migraci buněk endotelu, které pomohou při formování nové membrány. Přeměnou extracelulární matrix vznikne také zvláštní forma kolagenu, která nahradí chybějící části. Membrána se skládá hlavně z kolagenu typu IV. [3, 4]

1.1.5 Endotel rohovky

Endotel (*endothelium camerae anterioris*) je složen z jedné vrstvy polygonálních buněk, jejíž tloušťka je 4 – 6 μm . Hlavním úkolem edotelu je udržování konstantní hydratace a tím i transparence. Buňky endotelu se prakticky nemohou regenerovat. S věkem tedy buněk endotelu ubývá, jde asi o 0,6 % celkového počtu buněk za rok. Při narození je počet asi 5000 buněk/ mm^2 . Po překonání šestého decénia se jejich počet sníží na 2000 buněk/ mm^2 . Úbytek buněk je spojen také s lokálními či systémovými onemocněními, nitroočními operacemi a transplantacemi rohovky. Buňky se nemohou rozmnožovat, proto jsou místa po mrtvých či poškozených buňkách nahrazena zvětšením stávajících buněk. [2, 4]

1.2 Výživa rohovky

Rohovka je avaskulární tkáň. Její výživa probíhá třemi různými cestami: difuzí cestou z limbálních cévních kliček, z komorové vody a také ze slzného filmu. [3, 4]

1.2.1 Komorová voda

Komorová voda je produktem výběžků řasnatého tělesa. Mezi hlavní funkce patří zásobování rohovky glukózou a odvod zplodin metabolismu. Hlavní odpadní látkou je kyselina mléčná. Tento proces je uskutečněn pomocí cesty aktivního a pasivního transportu. Komorová voda cirkuluje samovolně díky rozdílu teplot mezi studenou rohovkou a teplou duhovkou. Komorová voda obsahuje méně kyslíku než slzný film. Většina tohoto kyslíku je spotřebována buňkami endotelu a částečně keratocyty ve stromatu rohovky. Parciální tlak kyslíku v komorové vodě je roven 40 mmHg. [3, 4]

1.2.2 Slzný film

Slzný film pokrývá povrch rohovky. Jeho funkcí je ochrana povrchové epitelu, jak z hlediska imunologického, tak mechanického. Slzný film nabývá tloušťky 5 – 1,2 μm a je složen ze tří vrstev. Jednotlivé vrstvy v sebe plynule přecházejí. Slzný film se výrazně podílí na zásobení epitelu rohovky kyslíkem. Parciální tlak kyslíku v slzném filmu je roven 155 mmHg. Slzný film je obnoven jednou za 10 – 30 sekund. [2, 4]

1.2.2.1 Olejová vrstva

Olejová vrstva je označována také jako přední lipidová vrstva. Její síla nabývá 0,5 μm . Za její tvorbu jsou odpovědné meibomské žlázy, které sekretují lipidy. Hlavní funkcí olejové vrstvy je zabránění odpaření vodné složky slzného filmu. [2, 4]

1.2.2.2 Vodní vrstva

Tloušťka vodné vrstvy slzného filmu je kolem 6 μm . Vodná složka je tvořena akcesorními slznými žlázami, které odpovídají za bazální sekreci a jsou uloženy ve spojivce. Jde o buňky Krauseho a buňky Wolfrigovy. Palpebrální a orbitální část slzné žlázy se podílí na reflexním slzení. Ve vodní složce najdeme zejména imunoglobuliny IgA, IgE, IgG, IgM, prealbumin, laktoferin, lysozym a růstové faktory. [2, 4]

1.2.2.3 Mucinová vrstva

Mucinová vrstva je produktem pohárkových buněk, které jsou uloženy ve spojivce. Jde o Henleovy krypty a Manzovy žlázy. Hlavní funkcí je snížení povrchového napětí. Také má význam na přilnutí vodné složky slzného filmu k hydrofobnímu povrchu rohovkového epitelu. [2, 4]

1.3 Nervové zásobení rohovky

Rohovka je nejcitlivější tkání lidského těla, protože obsahuje největší počet senzitivních nervových zakončení na mm². Senzitivní inervace rohovky vede cestou z *nervus trigeminus*, dále jeho první větví *nervus ophthalmicus* → *nervus nasociliaris* → *nn.ciliares breves*. Tyto v počtu 12 – 16 vstupují do oblasti korneosklerálního limbu. Do rohovky vstupuje současně se senzitivní inervací i inervace sympatická. Tato probíhá cestou *ganglion cervicale superior*.

Nervová vlákna během průchodu oblastí limbu ztrácejí myelinové pochvy. [2, 4]

1.4 Embryologie rohovky

Rohovka jako součást pevného obalu oka pochází z mezenchymového obalu očních váček. V období mezi 6. a 7. týdnem se mezenchymový obal dělí na vnitřní a vnější vrstvu. Toto se děje na základě souvislosti s vývojem plen mozkových.

Vnější vrstva pokračuje podélně kolem stopek očních pohárků a diferencuje se na tunica fibrosa, která je mechanicky odolná. Na konci 6. týdne pronikne mezenchym i mezi přední plochu čočky a povrchový ektoderm. Začnou v něm vznikat vakuoly, které postupně splynou a vytvoří přední oční komoru (*camera anterior bulbi*). Na základě tohoto procesu se mezenchym rozštěpí na dvě vrstvy. Povrchová vrstva mezenchymu přední komory se stává předchůdcem rohovkového stromatu a endotelu. Epitel rohovky má původ v ektodermu. [2, 4]

2. Parametry rohovky

Znalost celkových parametrů rohovky je velmi důležitá, protože při keratokonu dochází ke změnám základních parametrů rohovky. Rohovka zasažená keratokonem se postupem času ztenčuje a jizví. Dochází zde k apoptóze buněk, tedy jejich programované smrti. Tyto změny mohou být připsány reaktivnímu kyslíku uvnitř takto postižené rohovky. Následně dochází k ukládání toxických produktů, které rohovku poškozují. Gullstrandovo schématické oko je nejpropracovanějším a dodnes používaným modelem průměrného oka. [1, 27]

2.1 Tvar rohovky

Tvar rohovky odpovídá horizontálně uložené elipse. Horizontálně má rohovka 11,5 – 12 mm a vertikálně 11 mm. Tento fakt je způsoben tím, že sklerální vlákna zasahují do rohovky hlouběji právě nahoře a dole. Nabývá – li rohovka horizontálního průměru menšího než 10 mm, pak hovoříme o *microcornei*. V případě, kdy horizontální průměr přesahuje 13 mm, jde o *megalocorneu*. Konečné velikosti nabývá rohovka již v 6. měsíci života. [4]

2.2 Zakřivení rohovky

Poloměr zakřivení přední plochy rohovky je cca 7,7 mm a poloměr zakřivení zadní plochy je 6,8 mm. Směrem k limbu se rohovka oplošťuje a zmenšuje se její poloměr zakřivení. Centrální meridián rohovky je zakřiven asi o 0,5 D více. Tato hodnota odpovídá fyziologickému rohovkovému astigmatismu. Vznik tohoto astigmatismu je vysvětlen tlakem horního víčka na oční bulbus. Tato hodnota astigmatismu je vyrovnávána opačným astigmatismem oční čočky. [4, 27]

2.3 Tloušťka rohovky

Tloušťka rohovky je dalším parametrem, který je velmi důležitý při diagnostice keratokonu. Obzvláště v pokročilých stádiích keratokonu, je rohovka již tak protenčena, že může dojít až ke snížení její transparentnosti. Fyziologická hodnota tloušťky je v centru asi 550 μm . Směrem do periferie se ztlušťuje a nabývá hodnoty k 1,0 mm. [4]

2.4 Optická mohutnost rohovky

Optická mohutnost rohovky je velmi důležitá pro refrakční stav celého oka. Rohovka je nejdůležitější složkou optického systému oka, celkově tvoří 2/3 jeho lomivé síly. Rozhodující je tedy lomivá síla rohovky, která je dána rozdílem mezi indexem lomu vzduchu a rohovky. Dle modelu Gullstrandova oka je celková optická mohutnost rohovkového systému v akomodačním klidu i maximu +43,05 D. Index lomu rohovky je roven 1,376.

Refrakční hodnota rohovky může kolísat v rozmezí +40 D až +45 D. Její průměrná hodnota je však vyjádřena jako $+42,84 \text{ D} \pm 0,044 \text{ D}$. [1, 27]

3. Rohovkové degenerace

Rohovkové degenerace lze obecně specifikovat jako onemocnění, která jsou spojena se ztenčením rohovky. Ztenčení je doprovázeno ztrátou fyziologické funkce rohovky a také její transparentnosti. Tato onemocnění spadají do skupiny nezánettivých onemocnění. [3]

3.1 Ektatické degenerace rohovky

Do skupiny ektatických rohovkových onemocnění řadíme keratoglobus, keratokonus a marginální pelucidní degeneraci. Onemocnění postihují rohovkové stroma. Hlavním znakem onemocnění této skupiny je ztenčení rohovky s jejím následným vyklenutím. Vlivem vyklenutí dochází k poruše celistvosti rohovky, což může vyústit až v její perforaci. [3]

3.1.1 Keratoglobus

Keratoglobus je kongenitální onemocnění projevující se vyklenutím rohovky ve tvaru polokoule. Nejvíce protenčená rohovka je obvykle na periferii. Rohovka si zachovává transparentnost. S progresí onemocnění je spojena také perforace rohovky, která nastává v extrémních případech. Vada se koriguje brýlemi nebo tvrdými kontaktními čočkami. Nález je ve většině případů stabilní, takže keratoplastika nebývá častým řešením léčby. [3]



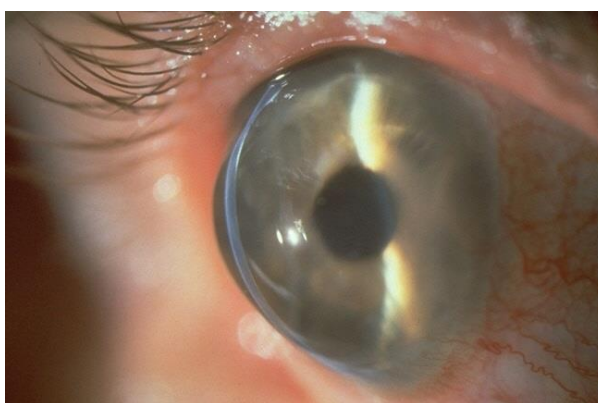
Obrázek č. 2: Keratoglobus

3.1.2 Keratokonus

Keratokonu je věnována celá kapitola (viz níže).

3.1.3 Marginální pelucidní degenerace

Marginální pelucidní degenerace je spojena s vyklenutím rohovky v její periferii, častěji v dolních kvadrantech. Onemocnění je nebezpečné z hlediska asymetrického, těžce korigovatelného astigmatismu, spojeného s progresí onemocnění. K ruptuře Descemetovy membrány dochází zřídka. Korekce onemocnění kontaktními čočkami je často nemožná. Řešením je tedy klínovitá keratektomie a lamelární keratoplastika. [3]



Obrázek č. 3: Marginální pelucidní degenerace s neovaskularizací rohovky

3.2 Věkem podmíněné degenerace rohovky

3.2.1 Vogtův limbální pás

Jde o nález, který je podmíněn věkem. Tento stav se v populaci vyskytuje běžně a neklademe mu závažný význam. Můžeme pozorovat bílé tečky tvořící srpečkovité linie v oblasti temporálního a nasálního limbu. Linie rozdělujeme do dvou kategorií. V prvním případě jsou linie od limbu odděleny jasnou linií, v případě druhém oddělení od limbu nenalezneme. [13]

3.2.2 Degenerace krokodýlí kůže

Degenerace se projevuje ve stromatu rohovky jako šedobělavé, asymptomatické, polygonální usazeniny. Usazeniny nejčastěji nalezneme ve předních 2/3 tloušťky stromatu. Můžeme ji rozdělit na přední a zadní degeneraci krokodýlí kůže, protože usazeniny se mohou nacházet i v zadní části stromatu. [13]

3.2.3 Cornea guttata

Onemocnění je charakterizováno zvýšenou kumulací kolagenu na zadní části Descemetovy membrány. Léze jsou produkovány abnormálními endoteliálními buňkami. Vyšetřením na štěrbinové lampě s použitím zrcadlového reflexu jsou viditelné tmavé skvrny, které jsou způsobeny trhlinami v endoteliální mozaice. Pokročilá stádia jsou doprovázena depozity melaninu. Onemocnění nejčastěji postihuje centrální oblast rohovky. V některých případech je indikátorem Fuchsovy endoteliální dystrofie. [13]

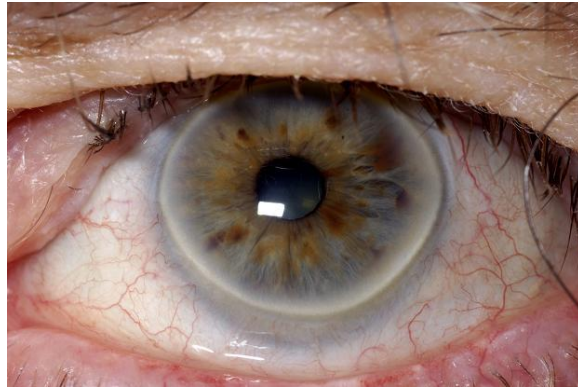


Obrázek č. 4: Cornea guttata

3.2.4 Arcus senilis corneae

Onemocnění se projevuje nejčastěji u starších lidí, kteří mají předpoklady k familiárně podmíněným, systémovým onemocněním. Do této skupiny řadíme oční hypotenzi, onemocnění postihující karotidy nebo dys – hyperlipoproteinémii. Projevem onemocnění jsou lipidová depozita objevující se na dolní a horní části perilimbální rohovky. Následuje jejich postup po celém obvodu rohovky, což je příčinou tvorbu cca 1 mm širokého lemu. Lem je

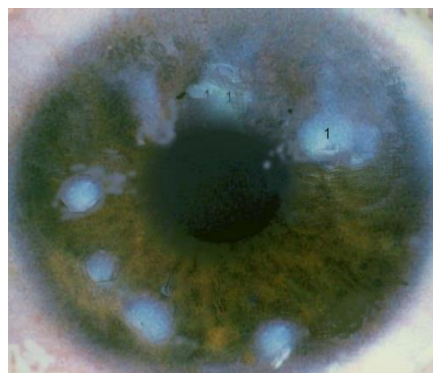
obvykle silnější vertikálně než horizontálně. Vnější hranice je oddělena ostře od oblasti limbu. Centrální hranice není ostrá. [13]



Obrázek č. 5: Arcus senilis corneae

3.2.5 Salzmannova nodulární degenerace

Onemocnění se často projevuje pouze jednostranně a jeví se jako šedé až bílé léze nad niveau. Často se objevuje u pacientů s chronickou keratopatií, trachomem a vernální keratitidou. Průběh onemocnění je asymptomatický a v případě zasažení centrální oblasti je doprovázeno sníženou zrakovou ostroší. Dochází také k uložení železitého pigmentu, který se projevuje granulkami žluto hnědé barvy. Má-li onemocnění vliv na vidění je prováděna povrchová keratektomie nebo pomocí excimerového laseru fototerapeutická keratektomie. [13]



Obrázek č. 6: Salzmannova nodulární degenerace

3.2.6 Lipidová keratopatie

Lipidovou keratopatii dělíme na primární a sekundární. Primární se objevuje náhle bez zjevných příčin. Projevuje se jako žlutá depozita cholesterolu, fosfolipidů a tuků, která se ukládají v rohovkovém stromatu. Sekundární forma je spojena s očními chorobami a úrazy, které jsou doprovázeny neovaskularizacemi. Mezi nejčastější příčiny řadíme herpes zoster a simplex. Primárně se léčí základní zánětlivé onemocnění. Dalšími možnostmi jsou perforující keratoplastika, fluoresceinová angiografie a také fotokoagulace s využitím argonového laseru. [13]



Obrázek č. 7: Lipidová keratopatie s neovaskularizacemi

3.2.7 Zonulární keratopatie

Příčinou onemocnění je ukládání vápenatých solí do Bowmanovy membrány. Počátek onemocnění je v periferii a postupně se táhne jako pás přes centrální oblast rohovky. Je tedy příčinou značného snížení zrakové ostrosti. Nalézáme ji u pacientů trpících nadbytkem vápníku a záněty uvey. Léčba je zaměřena na rozpuštění vápenatých solí pomocí chelace či fototerapeutické keratektomie využívající excimerový laser. [3, 13]



Obrázek č. 8: Zonulární keratopatie

4. Keratokonus

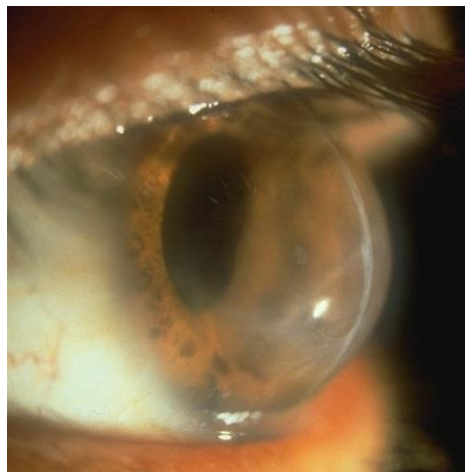
Keratokonus je degenerativním onemocněním rohovky a postihuje ji většinou oboustranně a jeho manifestace je asymetrická. Jde o vyklenutí rohovky a její současné ztenčení v centrální či paracentrální oblasti. Vyklenutí je situováno lehce nasálně dole nebo temporálně. Keratokonus je řazen mezi dystrofie rohovky.

Keratokonus je považován za chorobu vrozenou s familiárním výskytem, s recesivní, ale někdy i nepravidelně dominantní dědičností. Často bývá výskyt keratokonu v kombinaci s jinými onemocněními, jako jsou např. alergie různého druhu, senná rýma, astma, ekzémy, bývá dáván do souvislosti s Downovým syndromem. [5]

Je-li keratokonus podmíněn geneticky, často je spojen s vlivem civilizačních faktorů. Jde zejména o stres, špatnou životosprávu či nesprávné nošení kontaktních čoček. [28]

Onemocnění se projevuje v 2. dekádě života a ve 3. dekádě se vyvíjí. U pacientů se projevuje sníženou zrakovou ostrostí a dvojitým nebo zkresleným viděním. S rozvojem onemocnění dochází k myopizaci oka a vzniku iregulárního astigmatismu.

Subjektivní příznaky keratokonu mohou zahrnovat snížení zrakové ostrosti vlivem nepravidelného astigmatismu či případného jizvení rohovky. V závislosti na kvalitě osvětlení může pacient vnímat obraz rozmazaně či zkresleně. V nižších stádiích pacient nesleduje změny. Následuje pouze postupný nárůst myopických dioptrií a až společně s přítomným astigmatismem nabýváme podezření na keratokonus. Ve vyšších stádiích může být přítomna také světloplachost či akutní hydroks rohovky zapříčiňující bolesti. [5]



Obrázek č. 9: Keratokonus s jizvením rohovky

4.1 Klasifikace keratokonu

Základní klasifikace keratokonu se dělí podle Amslera a Krumeicha. Základním rozdílem mezi klasifikacemi je, že Amsler rozděluje poloměr zakřivení rohovky v milimetrech. U Krumeicha se setkáme se stupnicí udávající lomivost v dioptriích. V následujících tabulkách je popsáno rozdělení podle obou autorů.

4.1.1 Dělení keratokonu dle Amslera

Amsler I – Prvním příznakem je irregulární astigmatismu. Rohovka je protenčena velmi málo. Apex může být lehce zašedlý. Vízus je poměrně velmi dobrý i s brýlemi lze dosahovat hodnot 1,0.

Amsler II – Zřetelné patologické příznaky zahrnující striae, ruptury Descemetovy membrány či Fleischerův prstenec. Vízu až 1,0 dosahujeme s pomocí brýlí nebo kontaktních čoček.

Amsler III – Nastává snížená transparentnost rohovky a většina patologických příznaků je velmi dobře viditelná. Zlepšení vízu za pomoci tvrdých kontaktních čoček.

Amsler IV – Vízus s brýlemi je velmi špatný, při aplikaci KČ se dostáváme na hodnotu kolem 0,4. Rohovka zakalena za přítomnosti patologických příznaků. [20]

	Poloměr zakřivení (mm)	Tloušťka rohovky (mm)	Vízus s KČ	Vízus s brýlemi	Excentricita
Amsler I	> 7,5	0,5	>1,0	1,0-0,8	<0,8
Amsler II	6,5-7,5	0,3-0,5	0,8-1,0	0,2-0,8	0,8-1,2
Amsler III	5,8-6,5	0,2-0,3	0,4-0,8	0,1-0,2	1,2-1,5
Amsler IV	<5,8	<0,2	0,2-0,4	<0,1	>1,5

Tabulka č. 1: Rozdělení keratokonu dle Amslera [24]

4.1.2 Dělení keratokonu dle Krumeicha

V tabulce rozdělení keratokonu dle Krumeicha je viditelný vztah mezi tloušťkou rohovky a její lomivostí udávané v dioptriích.

	Lomivost rohovky (D)	Myopie / Astigmatismus (D)	Tloušťka rohovky (μm)
Krumeich I	≤ 48	≤ 5	Norma
Krumeich II	≤ 53	$>5 \leq 8$	≥ 400
Krumeich III	> 53	$>8 \leq 10$	200-400
Krumeich IV	> 55	Neměřitelná refrakce	≤ 200

Tabulka č. 2: Dělení keratokonu dle Krumeicha [25]

4.2 Klinické rysy keratokonu

Keratokonus má ve většině případů chronický průběh. Můžeme jej definovat třemi stádii. Jde o formu počínající, již projevenou a pokročilou. Jednotlivé nálezy jsou viditelné s pomocí šterbinové lampy. Kromě níže zmíněných znaků nesmíme opomenout ani deformace kruhů na rohovce, které jsou vyvolány Placidovým kotoučem či přístroji pracujícími na jeho principu. Druhým průběhem keratokonu je akutní stádium. [5]

4.2.1 Rysy chronického keratokonu

4.2.1.1 Bowmanův stín

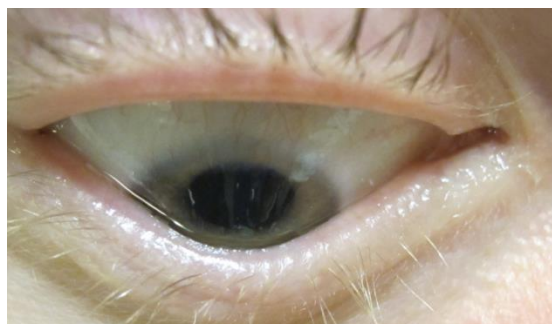
Bowmanův stín je důsledkem trhlin v Bowmanově membráně, kdy vznikají povrchní jizvy rohovky. Rohovka se postupně vyklenuje a z profilu se jeví jako tmavá. Tento fenomén je viditelný mezi bází vyklenutí a vrcholem rohovky. [5, 12]

4.2.1.2 Fleischerův prstenec

Během vyšetření štěrbinovou lampou je viditelné protenčení rohovky v oblasti vrcholu. Báze tohoto protenčení je obkroužena Fleischerovým prstencem. Prstenec můžeme pozorovat jako šedé, žlutavé či hnědé zbarvení. Zbarvení je způsobeno množstvím hemosiderinových pigmentových deposit. Prstenec je zřetelný od spodní části, směřuje a také se uzavírá v horní části. [5, 12]

4.2.1.3 Munsonův příznak

Munsonův příznak je zcela zřetelným znakem přítomnosti keratokonu. V literatuře se můžeme setkat také s označením Munsonovo znamení. Příznak je zřetelný u pokročilých stádií keratokonu a můžeme jej odhalit i bez využití štěrbinové lampy. Při pohledu dolů je vrcholem keratokonu odtláčováno dolní víčko a nabývá tvaru písmene „V“. [5, 12]



Obrázek č. 10: Munsonův příznak

4.2.1.4 Axenfeldův příznak

Tento příznak je typický pro pokročilá stádia keratokonu. Jde o fakt, kdy dochází ke ztrátě či snížení citlivosti rohovky na dotek, u vyklenutých částí rohovky. [5]

4.2.1.5 Vogtovy strie

Strie jsou pozorovatelné v oblasti protenčeného vrcholu. Jsou to trhliny v Descemetové membráně, které probíhají vertikálně, někdy jsou uspořádány šikmě. Oblast jejich vzniku je spojena s oblastí meridiánu s největším zakřivením. Zapůsobíme-li na oko mírným tlakem,

dojde k dočasnému zmizení proužků, které se po uvolnění tlaku objeví znovu a jsou lépe viditelné. [5, 12]

4.2.2 Rysy akutního keratokonu

4.2.2.1 Jizvení keratokonu

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 vízu. Mnoho lékařů v tomto stádiu doporučuje spíše řešení pomocí keratoplastiky. [5, 12]

4.2.2.2 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 rozmezí 2 a 3 měsíců. Aplikuje se léčba kapkami nebo hypertonicou mastí, jejímž úkolem je vysávat nadbytečnou vodu z rohovky. Požití takové masti je doprovázeno zvýšenou bolestivostí. Můžeme aplikovat také lokální léčbu steroidy za účelem snížení neovaskularizací rohovky. [5, 12]

5. Diagnostika keratokonu

Pro určení správné diagnostiky keratokonu je nutné provést několik vyšetření včetně základních, která se provádí při každé kontrole. Na počátku je důležité zaměřit se na anamnézu, z které přejdeme na objektivní a subjektivní refrakci. Následně provedeme

vyšetření zaměřující se na rohovku a její parametry. Sledujeme typické znaky, které se u keratokonu nacházejí.

5.1 Anamnéza

Anamnéza zahrnuje rozhovor s pacientem, při němž se nejdříve zeptáme na jeho osobní data, která zaneseme do osobní karty pacienta. Kromě zjištění jména, bydliště, data narození, rodného čísla a zdravotní pojišťovny, se také ptáme na poslední návštěvu oftalmologa či optometristy.

Zaměříme se na rodinnou anamnézu a ptáme se na celková systémová onemocnění, jako hypertenze či diabetes mellitus. Z oční anamnézy se ptáme na glaukom. Z hlediska dědičnosti keratokonu se ptáme také na výskyt onemocnění v rodině.

Osobní anamnéza opět začíná u celkových chorob, dále se ptáme na alergie, úrazy a užívání farmak. V oční anamnéze se zaměříme na úrazy, záněty a operace. Zjistíme také zkušenosti s nošením brýlí nebo kontaktních čoček. [5]

5.2 Naturální vízus

Jako první vyšetření po zjištění anamnézy provedeme zjištění naturálního vízu a poté vízu s vlastní korekcí. Vyšetření provedeme na optotypech ve vyšetřovací vzdálenosti 4, 5 nebo 6 metrů. Díky tomu zjistíme, jaké jsou požadavky pacienta na kvalitu vidění. [5]

5.3 Objektivní refrakce

Objektivní refrakci provádíme v dnešní době nejčastěji pomocí autorefraktometru. Po zjištění výsledných hodnot, nelze keratokonus ihned diagnostikovat. V případě podezření je ideální ověřit parametry rohovky na rohovkovém topografu. [5]

5.4 Subjektivní refrakce

Během subjektivní refrakce začneme se spojnou čočkou. V případě přítomnosti keratokonu je reakce taková, že se vidění zhorší. Proto přejdeme na předkládání rozptýlných čoček. Předkládáme do doby, kdy se zraková ostrost nezlepší, tuto poslední rozptylku do obruby již nekládáme. V případě keratokonu budou pravděpodobně písmena na optotypech rozmazaná z důvodu nepravidelného astigmatismu, proto dále při refrakci tuto skutečnost řešíme s pomocí Jacksonových cylindrů. [5]

5.5 Vyšetření předního segmentu

Následně přejdeme k vyšetření předního segmentu, které obsahuje vyšetření víček, slzného filmu, spojivky a zejména rohovky. Sledujeme také frekvenci mrkání a provedeme vyšetření celého předního segmentu štěrbinovou lampou. [5]

5.5.1 Vyšetření víček

Jako první se zaměříme na tvar a velikost oční štěrbin. Délka oční štěrbin horizontálně je přibližně 3 centimetry a její výška se pohybuje mezi 1 a 1,5 centimetrem. Horní víčko (*palpebra superior*) překrývá za normálních podmínek okraj rohovky o 1-2 milimetry. Dolní víčko (*palpebra inferior*) probíhá v těsné blízkosti pod limbem. Sledujeme postavení víček. Štěrbin může být rozšířena z důvodů exoftalmu, hydroftalmu nebo z důvodu parézy svalu oční štěrbin (*musculus orbicularis oculi*). Dochází také k zúžení štěrbin z důvodu ptózy či záhybu horního víčka, který překrývá vnitřní koutek (*epikantus*). Jejich vyvrácení ven nazýváme (*ektropium*) a vyvrácení dovnitř (*entropium*). Pozorujeme také postavení řas na víčkách. V případě jejich vpáčení (*trichiasis*), může dojít k mechanickému dráždění rohovky, což je zejména u keratokonu nežádoucí. [5]

5.5.2 Vyšetření spojivky

Vyšetření spojivky (*conjunctiva*) v celém jejím rozsahu vyžaduje everzi víček. Spojivku spodního víčka prohlédneme pouhým odtažením dolního víčka. Během tohoto uvědomíme pacienta, aby se díval nahoru. K everzi horního víčka přistupujeme, když se

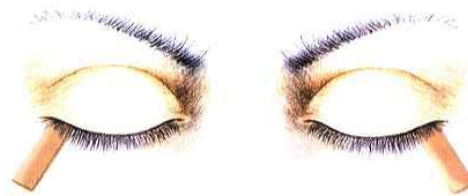
pacient dívá dolů. Nejprve uchopíme víčko prsty jedné ruky za řasy a lehce jej stáhneme přes dolní víčko. Přes tyčinku nebo prst druhé ruky, které přiložíme do místa okraje tarsální ploténky, za protisměrného pohybu víčko převrátíme. Po převrácení víčko fixujeme palcem k hornímu okraji oční. K vrácení víčka do původní polohy požádáme pacienta o pohled nahoru a víčko se samovolně vrátí do původní polohy. Díky tomu vyšetření můžeme diagnostikovat konjunktivitidy. [5]

5.5.3 Vyšetření slzného filmu a test slzivosti

Vyšetření testu slzivosti a kvality slzného filmu je důležité z hlediska korekce keratokonu kontaktní čočkou. Kontaktní čočka překrývá celou rohovku nebo její část. Z toho důvodu je slzivost důležitá pro pohodlné nošení kontaktních čoček. Fyziologicky se tvoří 0,5 – 0,8 gramu slz za hodinu. Jedno mrknutí trvá 0,2 – 0,3 sekundy a během minuty proběhne 5 – 15 mrknutí. V případě nedostatečné slzivosti dojde k narušení adheze pevných kontaktních čoček. Naopak nadměrná slzivost vede k nestabilitě aplikace kontaktní čočky. Kontraindikací aplikace kontaktní čočky je syndrom suchého oka, který je způsoben poruchou složení prekorneálního slzného filmu. Pro kontrolu kvantity slz využíváme Schirmerův test a pro kontrolu kvality Break Up Time test. [5]

5.5.3.1 Schirmerův test

Schirmerův test je používán k hodnocení tvorby slz. Během testu se používá proužek filtračního papíru o rozměrech 5 x 35 milimetrů, který je přehnut 5 milimetrů od konce. Takto přehnutý proužek se vloží do spojivkového vaku očí. Test trvá 5 minut, poté jej vyhodnotíme. Jako normální produkci slz hodnotíme nasáknutí papírku nad 10 mm. Schirmerův test může být proveden za použití lokální anestezie nebo bez ní. Test prováděný bez anestezie testuje bazální i reflexní sekreci vodné složky slzného filmu. Test s anestezií testuje bazální sekreci. [5, 15]



Obrázek č. 11: Shirmerův test

5.5.3.2 BUT test (Break Up Time)

Pro vyhodnocení stability slzného filmu je využíván Break Up Time test. Jde hlavně o sledování lipidové vrstvy slzného filmu. Během vyšetření sledujeme slzný film, obarvený fluoresceinem, pomocí štěrbinové lampy. Cílem testu je stanovení časového úseku od posledního mrknutí do porušení stavby slzného filmu. Tento jev se projeví vznikem tmavých skvrn v slzném filmu. U zdravého oka bychom měli dosáhnout hodnoty BUT alespoň 10 sekund. [5]

5.5.4 Vyšetření pomocí štěrbinové lampy

Štěrbínová lampa je v současnosti součástí všech očních pracovišť. Jde o přístroj, který je tvořen třemi částmi. Jde o zvětšovací soustavu, osvětlovací systém a mechanická zařízení pro nastavení nejvhodnější pozice pacienta během vyšetření.

Z hlediska potřeby vysokého stupně osvětlení až na hodnotu 600 000 luxů se využívají halogenové a xenonové zdroje. Tyto zároveň vyzařují méně tepla. Součástí zvětšovací soustavy jsou také filtry. Jde o modrý kobaltový, zelený a difúzní filtr nebo polarizátor.

Samotná zvětšovací soustava je tvořena binokulárním mikroskopem. Dle typu přístroje se zvětšení soustavy pohybuje v rozmezí 5 – 40x. Výhodou je také pracovní vzdálenost zhruba 110 milimetrů. Díky tomu je umožněn dotek nebo potřebná manipulace, např. s víčky z důvodu jejich everze.

Mechanický systém je určen k přesnému nastavení a stranově i výškově vhodném usazení pacienta. Nejhrubším posunem je vybaveno křeslo nebo stolek, jemnější posun

najdeme na opěrce brady a nejjemnějším nastavením posunu je vybaven joystick nebo rameno lampy.

Díky štěrbinové lampě pozorujeme mnoho příznaků keratokonu. Jejich pozorování je spjato se správným nastavením zvětšení, osvětlení, úhlů a přídatných prvků. U keratokonu nacházíme přítomnost Vogtových strií. Můžeme nalézt také Fleischerův prstenec, který je vhodné hledat za použití modrého filtru. Díky štěrbinové lampě pozorujeme také praskliny Bowmanovy membrány. Praskliny vznikají jako šedavé tečky v oblasti konusu rohovky. Tyto jsou později vyplněny pojivovou tkání za vzniku jizvy. [5]

6. Zobrazovací metody předního segmentu oka

Zobrazovacích metod předního segmentu je celá řada. Mezi hlavní patří rohovková topografie, fotografie předního segmentu, aberometrie, rohovková endotelová mikroskopie, konfokální mikroskopie a ultrazvuková biomikroskopie.

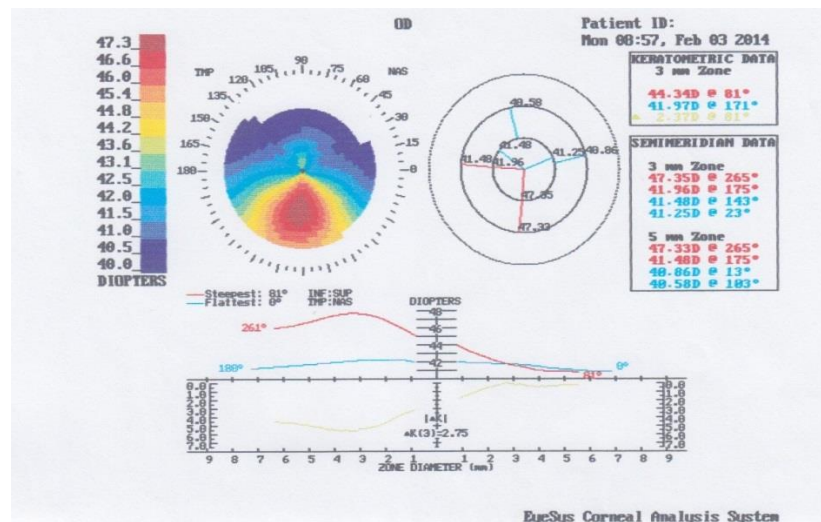
6.1. Rohovková topografie

Metoda rohovkové topografie je neinvazivní metodou, umožňující neinvazivní vyšetření předního segmentu oka. Topografie umožňuje provést kvalitativní i kvantitativní analýzu přední plochy rohovky. Z těchto důvodů je jednou z nezastupitelných metod při diagnostice keratokonu.

Princip rohovkové topografie je postaven na promítnutí Placidova kotouče na rohovku. Přestože má Placidův kotouč původ v 19. století, je dodnes součástí nejmodernějších přístrojů. Kotouč má podobu soustředných kružnic, které mají uprostřed otvor pro pozorování. Měření na rohovce probíhá v rozsahu 7 – 9 milimetrů. Na rohovku je zobrazeno 12 – 24 placido kroužků. Tyto zaměřují 2 600 i více než 22 000 měřících bodů. Nejvyšší přesnosti měření dosahujeme, když je Placidův kotouč umístěn v polokouli. Přístroje pracující na principu Placidova kotouče mají v centru rohovky sníženou přesnost měření a také sníženou přesnost mapování nepravidelných povrchů.

Měření se vyhodnocuje podle deformace a polohy jednotlivých prstenců na rohovce. Optickou mohutnost rohovky je možné vypočítat z jejího poloměru křivosti. Řídké zobrazení

prstenců signalizuje malou optickou mohutnost rohovky, zatímco nahuštěné prstence se nacházejí v oblasti vyšší optické mohutnosti. Jelikož je přístroj spojen s počítačem, můžeme si po užití algoritmického přepočítání zobrazit také grafickou a číselnou podobu rohovkové mapy. Pro dobrou orientaci jsou číselné hodnoty rozlišeny také barevně. Pro sledování progresu keratokonu se využívá také možnosti uložení a porovnání snímků získaných za dlouhé časové období. [5]



Obrázek č. 12: Měření na rohovkovém topografu

6.2 Fotografie předního segmentu oka

Díky fotografii předního segmentu můžeme sledovat případný vývoj a pozorování chorob z důvodu případné indikace chirurgického zákroku. Sledujeme zejména pigmentace a jiné patologické jevy na duhovce, rohovce, v oblasti limbu a spojivce.

6.3 Aberometrie

Metoda aberometrie je založena na měření aberací optického systému oka. Jde o vady v optickém zobrazení, které dělíme na monochromatické a chromatické. Monochromatická aberace je způsobena nedokonalostí stavby optického systému. Chromatická aberace má základ ve vlastnostech světla. Zejména ve faktu, kdy je lomivost světla o kratší vlnové délce vyšší, než lomivost světla o delší vlnové délce. Jelikož je rohovka nejvíce lomivou částí optického systému oka, podílí se také největší měrou na vadě zobrazení z důvodu aberací.

Celková aberace však nezávisí pouze na přední ploše rohovky, ale na stavu celého optického systému. Malé aberační odchylky jsou kompenzovány v mozkových centrech. Údaje získané aberometrií jsou nejčastěji využívány při laserových operacích rohovky. [2]

6.4 Rohovková endotelová mikroskopie

Endotelovou vrstvu rohovky lze vyšetřit pomocí nepřímého osvětlení za využití štěrbinové lampy. Vyšetření umožňuje pozorování morfologie a kvantifikaci endotelových buněk. Díky tomu určujeme stav endotelu během různých onemocnění rohovky, zejména v případě zadní rohovkové dystrofie a také po transplantacích rohovky. [2]

6.5 Konfokální mikroskopie

Během konfokální mikroskopie je využito polarizované světlo. Metoda umožňuje dokonalé zobrazení jednotlivých vrstev rohovky včetně keratocytů, nervových zakončení, patologických neovaskularizací či patogenů. [2]

6.6 Ultrazvuková biomikroskopie

Ultrazvuková biomikroskopie je metodou využívající vysokofrekvenční ultrazvuk. Sondy využívající se u této metody mohou pracovat na frekvenci 35 – 50 kHz. Díky ní je možné zobrazit přední segment včetně řasnatého tělíska (*corpus ciliare*). Metoda je využívána k ověření poměrů v přední komoře oční a zobrazení postavení nitroočních čoček. Umožňuje také měření rozměrů přední komory. [2]

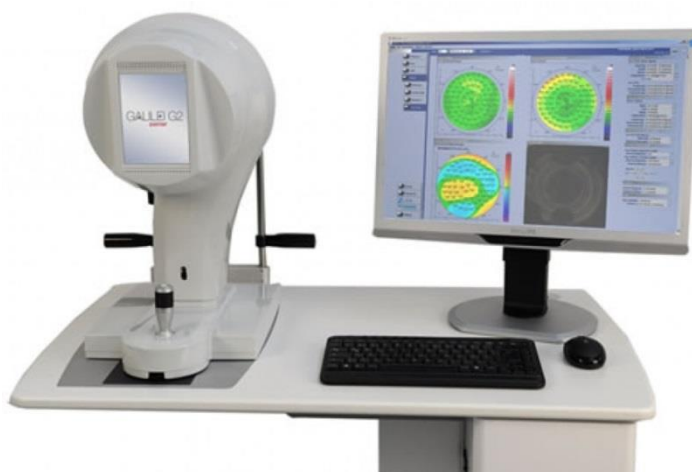
6.7 Moderní vyšetřovací přístroje

Díky moderním vyšetřovacím přístrojům můžeme vyšetřit rohovku a kompletní přední segment oka. Mezi tyto přístroje řadíme: duální systém Galilei, Pentacam a Orbscan.

6.7.1 Duální systém Galilei

Duální systém Galilei je velmi přesný moderní optický systém, pomocí něhož provádíme trojrozměrnou analýzu předního segmentu oka, včetně topografie rohovky. Systém kombinuje dvě technologie. Pomocí Placidova disku poskytuje přené informace o zakřivení rohovky a díky dvoukanálové Scheimpflugově kameře získáváme optické řezy předního segmentu, které jsou v rozmezí od přední plochy rohovky po zadní plochu čočky. Díky této technologii jsme schopni získat velmi přesné údaje o zadní ploše rohovky, velikosti přední komory oční a také o topografii čočky.

Systém Galilei umožňuje přesné nastavení dalekého a blízkého bodu. Pomocí tohoto nastavení vyšetřujeme přední komoru, čočku a také nitrooční čočky v mnoha režimech nastavení. Hlavními výhodami přístroje jsou pokrytí a vyobrazení větší plochy způsobené kombinací dvou technologií, možnost přímého měření zadní plochy rohovky včetně dalších struktur předního segmentu oka. Přístroj je také schopen měřit pachymetrii nezávisle na decentraci. [17]



Obrázek č. 13: Duální systém Galilei

6.7.2 Pentacam

Pentacam je přístroj vhodný pro přesná předoperační i pooperační vyšetření, která jsou potřebná k výkonu laserových refrakčních zákroků.

Při vyšetření dochází k analýze rohovky v celé její ploše, přední komory oční a čočky. Ve výsledcích najdeme rohovkovou asféricitu, určení centrálního poloměru křivosti, barevné mapy zobrazující rohovkové zakřivení, oblast komorového úhlu a přední komory.

Přístroj je založen na rotující Scheimpflugově kameře. Snímání předního segmentu oka trvá v řádech sekund. Během této doby změří a přepočítá asi 26 000 hodnot, které jsou převedeny do tvorby trojrozměrného modelu předního segmentu oka. V nastavení nejvyššího rozlišení, je přístroj schopen zachytit i 138 000 bodů.

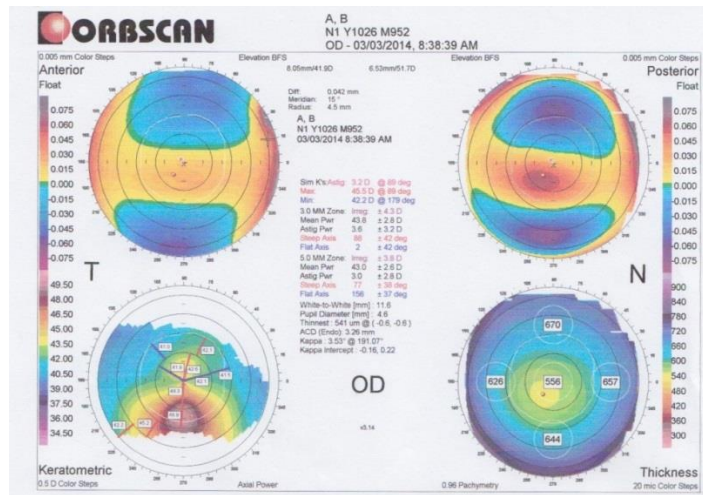
Ve výsledcích jsou přepočítány hodnoty zakřivení přední i zadní plochy rohovky, zobrazené v celém jejím rozsahu. Dále výsledky obsahují pachymetrii, objem přední komory, její velikost i úhel. Trojrozměrný pohyblivý model přesně zachycuje obě plochy rohovky, duhovku i čočku. Přístroj také kvantifikuje denzitometrii čočky, která je užitečná při analýze katarakty.

Analýza měření je prováděna pomocí Zernickeho analýzy, keratometrické deviace a vyhodnocení stupně keratokonu. Měření je bezkontaktní a velmi rychlé. Výsledky jsou vhodné k diagnostice rohovkového astigmatismu, keratokonu a ektatických onemocnění rohovky. [16]

6.7.3 Orbscan

Orbscan pracuje na základě skenování světelnou štěrbinou. Je určen pro vyšetření předního segmentu oka a rohovky. Provádí přesnou 3D analýzu přední i zadní plochy rohovky. Samozřejmostí je také měření parametrů přední komory oční. Díky prostorové simulaci předního segmentu je přístroj ideální pro vyhodnocení předoperačních a pooperačních výsledků. Vyšetření je pro pacienta nebolešné a bezkontaktní. Trvá v řádu několika minut. Orbscan je díky své výkonnosti a přesnosti měření vhodný pro stanovení diagnózy rohovkových dystrofií.

Během měření Orbscan zachycuje přes 9 000 bodů, díky čemuž vznikne podrobná mapa rohovky v celé její ploše. Přístroj je tedy ideálním nástrojem pro diagnostiku a léčbu keratokonu, která je díky tomuto přístroji na vysoké úrovni. Umožňuje odhalit další diagnózy pro řadu očních operací. Mapy zpracované Orbscanem mohou být individuálně upraveny pro zobrazení všech potřebných detailů v jednom zobrazení. [19]



Obrázek č. 14: Měření na přístroji Orbiscan

7. Korekce keratokonu

Keratokonuz je možné korigovat pomocí brýlí a kontaktních čoček. Brýle se využívají v případech nízkého stupně keratokonu. U vyšších stupňů se využívají zejména RGP čočky, které poskytují pacientům dostatečnou zrakovou ostrost.

7.1 Korekce brýlemi

Brýlemi korigujeme keratokonus nízkého stupně, který je provázen nárůstem myopie. Je možné jej korigovat pomocí sférických brýlových skel. Při progresi keratokonu dochází ke vzniku astigmatismu pravidelného, proto je možné korigovat jej brýlovou čočkou sféro-cylindrickou. Ke korekci brýlemi se uchylujeme v případě, kdy je možné dosažení plnohodnotného vizu. Pokud je keratokonus diagnostikován u mladých pacientů, je předpokládána stabilizace onemocnění kolem 30 let. Ve většině takových případů je brýlová korekce nedostatečná a s progredujícím keratokonem je nutné hledat jiné možnosti korekce. Vznikne-li keratokonus v pokročilejším věku, zejména u žen v klimakteriu, je obvykle korekce brýlemi dostačující, protože rohovka nebývá extrémně vyklenutá. Korekce brýlemi však musí být individuální, zaměřená na pocity a zrakové pohodlí pacienta. [5]

7.2 Korekce kontaktními čočkami

V okamžiku, kdy není brýlová korekce keratokonu pro pacienty dostačující, je nutné nalézt jiná řešení korekce. Nabízí se zejména korekce tvrdými kontaktními čočkami. V praxi je možné korigovat onemocnění také pomocí měkkých kontaktních čoček či kombinací s kontaktními čočkami měkkými. [5]

7.2.1 Korekce hydrogelovými kontaktními čočkami

Měkké kontaktní čočky lze použít jako jistý druh přechodu mezi brýlovou korekcí a tvrdými kontaktními čočkami. V praxi však nejsou tyto čočky obvykle indikovány. Může docházet k limitaci výsledného vízu a také existuje pravděpodobnost dráždění rohovkového apexu. Takto se děje z důvodu mrkání, protože měkká kontaktní čočka nepřiléhá dokonale na deformovaný povrch oka a tím může způsobit další komplikace. [5]

7.2.2 Korekce silikonhydrogelovými kontaktními čočkami

Tento typ čoček je vyráběn z hybridních materiálů. Jsou kombinací výšeobtnavých hydrogelů s materiály plynopropustnými. Čočky vykazují vyšší pevnost a také dostatečně vysokou propustnost pro kyslík. Popsané vlastnosti jsou způsobeny prostupem částic mezi jednotlivými materiály. Takto vyrobené čočky jsou však vysoce hydrofobní. Jejich užívání je tedy podmíněno aplikací zvlhčujících kapek. [5]

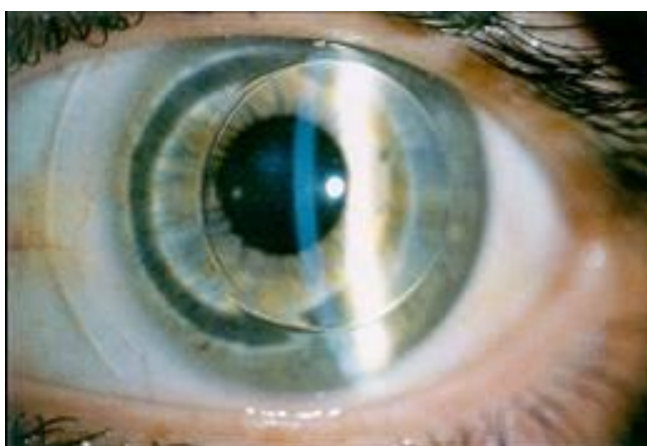
7.2.3 Korekce hybridními čočkami

Korekce pomocí hybridních čoček nabízí pacientovi spojení komfortu měkkých čoček s optickými vlastnosti čoček tvrdých. Jejich optická zóna je vyrobena z plynopropustných materiálů a okraje jsou z materiálu HEMA pro měkké kontaktní čočky. Hybridní čočky nacházejí uplatnění u vyšších stádií keratokonu. Jejich slabým místem je však oblast spojení obou materiálů, kde hrozí poškození čočky. [9]

7.2.4 Korekce Piggybag

Počátky korekce systémem Piggybag sahají do raných 70. let 20. století. V počátcích tato korekce způsobovala rohovkový edém a vznik neovaskularizací z důvodu hypoxie. Moderní čočky však dosahují lepší prostupnosti materiálu pro kyslík, takže systém Piggybag nabízí další možnost korekce keratokonu.

Jde o korekci složenou z měkké a tvrdé kontaktní čočky. Měkká kontaktní čočka slouží jako podložka pro tvrdou kontaktní čočku. Takto sestavený systém je možné aplikovat pacientům s pokročilým stádiem keratokonu, kdy je pravděpodobný také výskyt erozí rohovky a zvýšená citlivost i bolestivost. [21]



Obrázek č. 15: Korekce Piggybag

7.2.5 Korekce tvrdými kontaktními čočkami

Tvrdé kontaktní čočky jsou v současné době hlavní cestou jak korigovat keratokonus. Velkou výhodou materiálů tvrdých čoček je vysoká propustnost pro kyslík. Čočka se na oku pohybuje lépe než měkké kontaktní čočky. Výhodou je tedy lepší obměna slzného filmu i přístup kyslíku k rohovce. Čočky rozdělujeme podle jejich velikosti na korneální s průměrem do 12 mm, sklero-korneální či semisklerální s průměry 12-15 mm a sklerální, které se pohybují v průměru 15-24 mm. Tvrdé kontaktní čočky nejsou náchylné k vyschnutí a změně optických parametrů, protože neobsahují vodu. Také jsou odolné proti tvorbě usazenin, které mohou vést k iritaci rohovky. Čočky jsou vyráběny v mnoha tvarech a designech, aby bylo dosaženo individuálně co nejlepšího tvaru. Mezi tvrdou čočkou a vlastní rohovkou vzniká

slzná čočka, která dorovnáva nerovnosti rohovky způsobené keratokonem. Díky tomu se ve velmi výrazné míře podílí na korekci astigmatismu.

U keratokonických pacientů musíme volit také správnou aplikační techniku. Technika se projevuje v komfortu nošení čoček a také výsledné zrakové ostrosti. Špatně zvolená a aplikovaná tvrdá kontaktní čočka může vést k nedostatečnému okysličování rohovky a také k poškození epitelu.

K samotné aplikaci přistupujeme po provedení potřebných vyšetření za určení správné diagnózy (viz výše). Na základě topografických hodnot je zvolen optimální typ kontaktní čočky. Výběr čočky probíhá na základě centrálního poloměru zakřivení, excentricitě a také podobě topografické mapy keratokonu. Průměr vnitřní plochy optické zóny a průměr kontaktní čočky jsou tím vyšší, čím je větší decentrace apexu rohovky. Výsledný průměr čočky má vliv i na její usazení na rohovce.

Čočky s označením kónu „nipple“, se nejčastěji používají s průměrem 8,1 mm s velikostí optické zóny 5,5 mm. Čočka s oválním tvarem kónu dosahuje průměru cca 8,6 mm a optická zóna dosahuje velikosti 6,0 mm. Kulovitý kónus dosahuje průměru 9,1 mm a optická zóna 6,5 mm.

Po vhodném výběru čočky a její aplikaci provedeme fluoresceinový test pro ověření správné aplikace čočky. Polohu čočky pozorujeme pomocí štěrbinové lampy. U fluoresceinového testu musíme posoudit centrální část, která má být fluoresceinem prosvícena velmi lehce. Na periferii se zaměřujeme na zvednutí okrajů čočky. V případě nesprávné aplikace je nutné přistoupit k výběru zkušební čočky s jinými parametry. U čoček s malým průměrem můžeme využít čočku většího průměru, menšího základního zakřivení či větších zdvihů okrajů čočky. U čoček s většími průměry se využívá přesně opačných postupů. V případě, kdy je aplikace horizontálně těsnější a vertikálně volnější se doporučuje zmenšení celkového průměru čočky. Dalším problémem může být zvětšení koncentrace fluoresceinu v poloze 6. a 9. hodiny. Řešením je zmenšení celkového průměru o cca 0,3 mm.

Fluoresceinový test je prováděn při každé změně zkušební kontaktní čočky. Při nové aplikaci je totiž možné, že nastanou jiné komplikace s aplikací. Je-li výsledek fluoresceinového testu dobrý, přejdeme k testu tolerance, který se u tvrdých čoček pohybuje kolem 1 hodiny. Po uplynutí stanovené doby provádíme kontrolu zrakové ostrosti, provedeme potřebné korekce, sledujeme usazení čočky a její povrch a kontrolujeme pohyb štěrbinovou lampou. Dojde-li vlivem dokorekce ke změně optické mohutnosti, je nutné opakovat postup

s novou zkušební čočkou včetně fluoresceinového a tolerančního testu. Splňuje-li aplikace všechny podmínky, je pacient poučen jak čočky aplikovat a jak se o ně starat. V případě případů, kdy si sám dotyčný není schopen čočku nasadit a vyjmout, je nutné zaškolit blízkou osobu. Kontrola se pohybuje v rozmezí 4-8 týdnů, nastanou-li komplikace, pak ihned.

[5, 9, 10]

7.2.5.1 Strmá aplikace

Strmou aplikací dosáhneme minimální traumatizace rohovkového apexu. Dochází k jemnému dotyku čočky v oblasti periferie rohovky. Zásadní nevýhodou techniky je snížení obměny slzného filmu a také možný otlak po vyjmutí čočky. U pacientů je možné setkat se s pocitem cizího tělesa. Popsaný způsob aplikace je doporučen u keratokonu vyššího stupně.

[5, 9]

7.2.5.2 Plochá aplikace

Plochá aplikace čočky je považována za snazší a také pacientovi poskytuje lepší zrakovou ostrost. Při této aplikaci se čočka dotýká apexu a její okraje jsou lehce zvednuty. Aplikace tímto způsobem zvyšuje riziko iritace epitelu rohovky a případný vznik rohovkových jizev. Popsaný způsob aplikace je doporučován u keratokonu nižšího stupně.

[5, 9]

7.2.5.3 Tříbodová aplikace (Three point touch)

Metoda Three point touch je založena na rozložení tlaku způsobeného čočkou mezi apex rohovky a její periferií. Obecně je tento typ aplikace tvrdých čoček uznáván ve světě jako nejlepší. Dotek s apexem rohovky je velmi mírný, tím pádem je sníženo i jeho zatížení. Slzný film se může kvalitně obměňovat a je snížen pocit cizího tělesa v oku. S tímto typem aplikace je dosaženo také velmi dobré zrakové ostrosti. [5, 9]

8. Léčba keratokonu

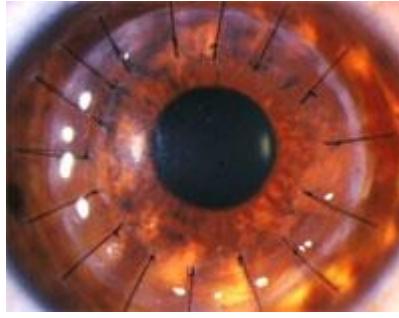
8.1 Keratoplastika

Keratoplastika je transplantací rohovky. Jde o kompletní nebo částečnou výměnu rohovky částí dárcovskou. Tato transplantace je nejčastěji prováděnou allogenní transplantací v lidské medicíně. K výměně rohovky přistupujeme v případě změny průhlednosti rohovky, změny zakřivení, které nejsme schopni korigovat pomocí brýlových nebo kontaktních čoček. Indikace transplantace nastává také v případě neúspěšné konzervativní léčby infekčního zánětu. Dále také v případě rohovkové perforace vzniklé patologickým procesem nebo po traumatu.

Indikace operace:

1. Optická indikace – v případech, kdy je přítomen keratokonus, pórazové rohovkové jizvy, jizvy po zánětech a rohovkové dystrofie, které způsobují neprůhlednost rohovky
2. Terapeutická indikace – v přítomnosti rohovkových zánětů, kdy se nedostaví reakce na lokální a systémové léčby
3. Tektonická indikace – důvodem je perforace rohovky po rozpadlém rohovkovém vředu, které může být původu imunologického, infekčního či po ztrátovém traumatu rohovky
4. Kosmetická indikace – v minulosti prováděna na slepých bulbech za přítomnosti nevzhledné rohovky, v současnosti nahrazeny použitím slupkové protézy či kosmetickými kontaktními čočkami

Příprava pacienta je zaměřena na celkovou anestezii, protože většina keratoplastik je prováděna v celkové anestezii. Lokálně jsou podávána antibiotika nejméně tři dny před operací. V případě samostatné transplantace rohovky, aplikujeme před operací miotika. Aplikace je prováděna z důvodu zúžení zornice a ochrany čočky při manipulaci v přední komoře. Jde-li o kombinovaný výkon, např. s operací katarakty spojenou s aplikací nitrooční čočky, neaplikujeme miotika ani mydriatika. Mydriáza je během operace katarakty v případě potřeby provedena chirurgem, který aplikuje adrenalin do přední komory. [14]



Obrázek č. 16: Keratoplastika

8.1.1 Perforující keratoplastika

První fází při transplantaci rohovky je příprava dárcovské rohovky. Jde tedy o spolupráci s tkáňovou bankou, protože rohovka je kadaverózní, tedy pocházející ze zemřelého člověka. Banka zajistí odběr tkáně od zemřelého a její testování. Během testu se vylučuje přenos infekčních chorob z dárcovské tkáně na pacienta. Vyšetřuje se také rohovka z hlediska určení kvality transplantátu. Rohovka musí obsahovat dostatečné množství endoteliálních buněk s hustotou vyšší než 2 500 buněk/mm². Rohovka musí být v celém rozsahu transparentní s vyloučením dystrofických změn a při absenci jizev. Pouze taková rohovka i se sklerálním prstencem je poskytnuta chirurgovi k transplantaci. Chirurg pomocí průrazníkového trepanu provede z endoteliální strany vyříznutí terčiku, který je obvykle velikosti 6,5 – 10 milimetrů v průměru. Nejčastěji se však používá velikost 7,5 – 8,0 milimetrů. Na terči se následně provede úvodní steh a i s jehlou je dárcovský terč umístěn do transportního média. Velikost trepanované rohovky je vždy menší než velikost dárcovského terče.

Transplantace začíná klasickou přípravou operačního pole, která je typická pro všechny nitrooční operace. Provádí se zarouškování a přilepení řas pod lepící fólii. Následně je nasazen rozvěrač víček. Následuje označení centrální části rohovky a meridiánů. Nyní je provedena perforace v místě trepanace. Dochází k aplikaci elektrického trepanu nebo viskoelastického materiálu. Trepanace se provádí do dvou třetin vlastní tloušťky rohovky za pravidelného oplachování. V případě oschnutí rohovky dojde totiž k loupání epitelové vrstvy a trepan by mohl sklouznout. Po dokončení trepanace je paracentézovým nožem provedena perforace v místě trepanace. Do přední komory je naplněn viskoelastický materiál (*hyaluronát sodný*). Jakmile je přední komora naplněna, odstříhne chirurg mateřskou rohovku za pomoci rohovkových nůžek. Na trepanační otvor je následně nasazen transplantát, který je k mateřské

rohovce fixován dvěma stehy. Dalším krokem je sutura nasazeného transplantátu. Ta je prováděna jednotlivými stehy, stehem jednoduchým nebo dvojitým pokračujícím, či pomocí kombinované sutury jednotlivými stehy společně s jednoduchou pokračující suturou. Každý uzlík je nutno pečlivě zanořit, aby nepůsobily v pooperační době komplikace. S blížícím se koncem operace je proveden výplach viskoelastického materiálu a je doplněna přední komora. Na závěr se pečlivě kontroluje těsnost operační rány po jejím obvodu. K sutuře je využit atraumatický steh (*Nylon 10.0*), který se neresorbuje. Stehy musejí být provedeny do 90 % hloubky rohovky, abychom zamezili jejich vyloučení. Je-li rohovka propíchnuta v celé tloušťce, dojde k protékání tekutiny z oka ven a jde o nežádoucí pištělový efekt.

V poslední době je využíván femtosekundový laser. Jde o pevnolátkový laser, jehož pulsy jsou extrémně krátké. Délka jednotlivých pulsů je v řadech femtosekund. Vlnová délka tohoto laseru se pohybuje v rozmezí 1 000 – 1 600 nanometrů. Jde tedy o typ infračerveného záření. Při působení tohoto laseru dochází k mikroevaporaci, tedy vypaření tkáně v místě ohniska laserového paprsku. Díky tomu dojde k velmi jednoduchému oddělení tkáně. Tento laser je hojně používán k vytvoření rohovkové lamely při laserové operační metodě LASIK. Díky tomuto laseru je možné provádět trepanaci jakéhokoli tvaru okraje transplantátu. Díky takto upravenému transplantátu můžeme provést velmi přesné nasazení rohovky do lůžka. Sutura je provedena pomocí jednotlivých stehů nebo za pomoci pokračujícího či kombinovaného stehu. [22]

8.1.1.1 Přístroje používané během operace

Keratoplastika je prováděna pomocí operačního mikroskopu, který napomáhá detailnějšímu zobrazení. K výplachu oka je používána jednocestná výplachová kanyla. Výplach je možné provádět i pomocí irigačně – aspirační jednotky, která je standardně používána během operací katarakty. Dalším nástrojem může být femtosekundový laser (viz výše). [14]

8.1.1.2 Instrumentárium

Při operaci keratoplastiky je využíváno jednorázové nebo resterilizovatelné instrumentárium. Výhodou jednorázových nožů či trepanů je jejich dokonalá ostrost, nevýhodou naopak vysoké náklady.

Na samotnou operaci je potřeba sada rohovkových a punch trepanů o rozměrech od 4 do 12 milimetrů v průměru. Punch trepan je použit vždy větší než rohovkový o 0,25 – 0,5 milimetru. Souprava punch trepanu obsahuje dále stojánek a podložky pro trepanaci. Využíváme také osmi nebo šestnácti ramenný marker a diamantový či jednorázový nůž. Nesmějí chybět ani rohovkové nůžky levé a pravé. Operatér se neobejde ani bez mikrojehelce sloužícího k založení stehů a mikrochirurgické pinzety, která je určena k uchopení transplantátu. Další používané pinzety jsou uzlíci. Tyto jsou v podobě lomené, zahnuté nebo rovné. K uzlení je využit Nylon 10.0. [14]

8.1.1.3 Operační komplikace

Velmi častou peroperační komplikací je krvácení z rohovkových vaskularizací. Další komplikací je vyklenutí diafragmatu duhovky vpřed a tím změlčení přední komory, což je způsobeno pozitivním tlakem sklivce. Z tohoto důvodu je velmi obtížné správné našíť transplantátu. Velmi vzácnou komplikací je expulzivní chorioideální haemoragie, která může vést při provedení perforující keratoplastiky ke ztrátě vidění. Komplikací je také ruptura stehu během pokračující sutyry, kdy je nutné navázat nebo resuturovat terč. [14]

8.1.1.4 Pooperační komplikace

Pooperační komplikace jsou rozděleny na časné a pozdní, také na mechanické, imunologické či neimunologické.

Časné pooperační komplikace:

1. Mechanické komplikace – Do této kategorie řadíme rupturu stehu nebo jeho uvolnění. Dojde-li k uvolnění pokračující sutyry časně po operaci, je nutné provést resuturu

nebo dotažení volného stehu. Především tím filtraci komorové tekutiny v oblasti styčných ploch.

2. Imunologické komplikace – Jde o akutní odhojovací reakci transplantátu v prvních dnech po operaci. Výsledkem této vzácné komplikace je zkalení transplantátu.
3. Neimunologické komplikace – Do této skupiny je řazen vznik sekundárního glaukomu, který je obvykle akutní s uzavřeným úhlem. Dále může nastat pooperační mydriáza zornice nebo akutní infekce na transplantátu.

Pozdní pooperační komplikace:

1. Mechanické komplikace – Uvolnění nebo ruptura stehu vede k jeho extrakci. Pokračující sutura je extrahována nejdříve po uplynutí 6-8 měsíců. Dojde-li k prasknutí dřívě, je nutné provést resuturu.
2. Imunologické komplikace – Jsou jedněmi z nejčastějších pooperačních komplikací pozdního typu. V případě neléčení vede odhojovací reakce k totálnímu zkalení transplantátu.
3. Neimunologické komplikace – Sekundární glaukom otevřeného úhlu je druhou nejčastější pozdní komplikací. Jeho vznik je podmíněn dlouhodobým užíváním lokálních kortikosteroidů. Léčba je podobná v případě primárního glaukomu otevřeného úhlu.
4. Refrakční komplikace – Při operaci keratoplastiky dochází k výměně dvou třetin refrakčního systému oka. Je možné, že po vytažení sutury, která je plánována po dvanácti měsících, vznikne chyba v refrakci. Tato je způsobena myopií, hypermetropií a nejčastěji pravidelným astigmatismem. Taková vada se koriguje brýlovými nebo kontaktními čočkami. K užití refrakční chirurgie přistupujeme obvykle rok po extrakci sutury. [14]

8.1.1.5 Pooperační péče

Po provedení keratoplastiky není všechna práce hotova. Je důležité pečlivé sledování stavu z důvodu odhalení pooperačních komplikací (viz výše). Pacienti užívají v pooperační době imunosupresivní léčbu. Jsou jim podávány kortikosteroidy po dobu 6-8 týdnů. Tato léčba je podpořena lokální aplikací kortikoidů a antibiotik po dobu 3-6 měsíců. Jde-li o

rizikovou keratoplastiku je léčba doplněna o systémovou imunosupresi. Je podáván cyclosporin A s mykofenolát fetylem. Tato léčba trvá 1-2 roky z důvodu nastolení jisté imunologické tolerance. Za rizikovou je považována opakovaná transplantace rohovky nebo transplantace provádění na vaskularizované rohovce. [14]

8.1.2 Přední lamelární keratoplastika

Při provedení přední lamelární keratoplastiky dojde k chirurgickému nahrazení různého množství rohovkové tkáně, při zachování Descemetovy membrány a endotelu pacienta. Její zkratka je ALK (*anterior lamellar keratoplasty*). Tento typ keratoplastiky je indikován v případě předních a stromálních dystrofií rohovky. Právě dle množství nahrazeného stromatu můžeme přední lamelární keratoplastiku dělit do 4 skupin (viz tab). Dobrého výsledku operace je dosaženo při dodržení vysoké kvality rohovky dárce, odpovídající síle štěpu, maximálně pravidelné a hladké řezné plochy lamely dárce i příjemce. Neméně důležité je také dodržení čistoty rozhraní mezi lamelami.

Hlubokou přední lamelární keratoplastiku můžeme kombinovat také s fakoemulzifikací a následnou implantací nitrooční čočky. Výkon se rozděluje do dvou kroků. Prvně je provedena lamelární keratoplastika. Druhým krokem je fakoemulzifikace a implantace čočky. Výhoda tohoto postupu spočívá ve výhodě optimálního výpočtu dioptrické hodnoty nitrooční čočky. U starších pacientů je však výhodné provádět oba dva kroky během jedné operace. Po odstranění lamely k Descemetově membráně je provedena fakoemulzifikace skrze rohovkový tunel. Je použito nízké vakuum a je implementována nitrooční čočka. Posledním krokem je naštíť dárcovského terče. [14]

Název		Zkratka	Nahrazená stromatální tkáň	Tloušťka nahrazené tkáně
Povrchová	Superficial	SALK	30%	160 μm
Střední	Mid	MALK	30 – 70%	160 – 400 μm
Hluboká	Deep	DALK	90 – 95%	470 – 495 μm
Úplná	Total	TALK	100%	500 – 520 μm

Tabulka č. 3: Rozdělení přední lamelární keratoplastiky [14]

8.1.2.1 Operační techniky

V současnosti existuje mnoho technik umožňujících odstranění všech vrstev stromatu, které zároveň ponechávají neporušenou Descemetovu membránu. Na chirurgových zkušenostech záleží, kterou z těchto metod si vybere. Metoda je podmíněna také technickou vybaveností pracoviště. V následujícím přehledu metod přední lamelární keratoplastiky jsou uvedeny nejčastější metody. Nejedná se o kompletní seznam použitelných metod. [14]

8.1.2.1.1 Manuální disekce za přímé vizualizace Descemetovy membrány

Tato metoda byla popsána v roce 1999 a jejím autorem je Gerrit Melles. Metoda nese hlavní přínos ve vizualizaci Descemetovy membrány. Zpočátku operace se přední komora vyplní vzduchem. Díky tomu dojde k vytvoření optického rozhraní endotel – vzduch. Díky nově vzniklému rozhraní může operátor dobře volit požadovanou hloubku preparace. Je sníženo také riziko perforace. [14]

8.1.2.1.2 Metoda aplikace vzduchu intrastromálně

Metoda je založena na principu přechodného bělavého zkalení a ztlustění stromatu. Tento jev je způsoben vzduchem pronikajícím mezi lamelami. Díky tomu je usnadněna preparace lamely po jednotlivých vrstvách. Metoda byla Anwarem modifikována tak, aby kromě zblednutí a ztlustění stromatu došlo k odchlípení Descemetovy membrány díky vzduchové bublině. Vzniklý prostor můžeme otevřít a vyjmout Descemetovu membránu bez porušení. [14]

8.1.2.1.3 Metoda hydratace stromatu

Metoda je založena na injekčním vpravení solného roztoku do stromatu. Jakmile tekutina pronikne mezi vlákna stromatu, dojde ke zblednutí a zvětšení tloušťky rohovky. Následně dojde k preparaci lamel podle potřeby. Metodou lze obnažit i Descemetovu membránu. Po odstranění poslední lamely stromatu se jeví Descemetova membrána jako lesklá a hladká, mírně se vyklenující vrstva. Z hlediska možné perforace membrány, je důležitá opatrnost. [14]

8.1.2.1.4 Keratoplastika provedená keratomem

Během této metody je lamela oproti předešlým technikám vytvořena mikrokeratomem. Můžeme jej použít automatický nebo manuální. Lamela se stejným způsobem odděluje jak u příjemce, tak na rohovce dárce z tkáňové banky. Mikrokeratom je přiložen na rohovku. Tloušťka lamely je zvoleny podle pachymetrie rohovky pacienta. Nejčastěji jde o tloušťku 200 – 250 μm . Technika je výhodná díky přesnosti řezných ploch. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a také fakt, že v době odběru lamely je mezi rohovkami příjemce a dárce rozdíl v hydrataci, což může vyústit jistými disproporcemi. [14]

8.1.2.1.5 Lamelární keratoplastika femtosekundovým laserem

Metoda, při níž se používá femtosekundový laser je popsána v části hluboké lamelární keratoplastiky (viz výše).

8.1.2.1.6 Lamelární keratoplastika za využití tkáňového lepidla

Hlavní výhodou této metody je poměrně rychlé provedení. Je zde absence sutury, díky tomu se snižuje vliv na astigmatismus a také je dosaženo vyššího komfortu pro pacienta. Tkáňové lepidlo je látka, která díky polymerizaci způsobí spojení tkání. Jsou zde kladeny nároky na pevnost a transparentnost lepidla z důvodu zachování dobrého vizu. Lepidlo nesmí způsobit zánět a nesmí omezovat hojení. Také je třeba, aby bylo permeabilní pro tekutiny a metabolity, vznikající při výživě rohovky.

Albuminová lepidla nejsou vhodná pro chirurgii rohovky, protože jsou neprůhledná. Výhodná jsou fibrinová adheziva, jejichž základními látkami jsou fibrinogen a trombin. Tyto látky se přemění fyziologicky na fibrinovou síťku. Mají tedy výhodu přirozeného původu a nulové toxicity. Nevýhodami jsou vysoká cena a také nižší lepivost.

Operace probíhá tak, že na lůžko aplikováno tkáňové lepidlo. Následně je rychle a dostatečně pevně přitlačen terč z dárcovské rohovky. Povrch rohovky se následně překryje fibrinovým adhezivem. V časovém rozmezí 2 – 3 minuty dojde k zaschnutí. Nadbytek lepidla je odstraněn a dojde k aplikaci terapeutické kontaktní čočky, která funguje jako bandáž. [14]

8.1.2.2 Pooperační péče

Během pooperační péče se aplikují antibiotika, steroidy a arteficiální slzy. Antibiotika jsou podávána v rozpětí 2 týdny až 3 měsíce. V případě aplikace steroidů je možné zkrátit dobu aplikace vzhledem k perforující keratoplastice. Je to z důvodu sníženého rizika vzniku endoteliální rejekce. Extrakce stehů je udávána v rozmezí 12 - 24 měsíců. Některé zdroje uvádějí extrakci možnou již po době 3 – 6 měsíců. [14]

8.1.2.3 Pooperační komplikace terče po provedení metody ALK

Drobné ruptury Descemetovy membrány jsou uváděny jako nejčastější pooperační komplikace. Rupturu je obvykle možné tamponovat vzduchem a operace lze dokončit. Takto drobné ruptury většinou nemají vliv na kvalitu zrakové ostrosti nebo množství buněk endotelu. Mohou však vézt ke vzniku dvojité přední komory. Jedná-li se o větší rupturu, je na místě možnost provedení perforující keratoplastiky.

Jako následek trhlin vzniká již zmíněná dvojitá přední komora. Jde o prostor, který vzniká mezi hlubokou lamelou a přiloženým transplantátem. Tento typ komplikace se řeší aplikováním vzduchu do přední komory, čímž dojde k přitlačení hluboké lamely zpět k transplantátu. Ve výjimečných případech je nutná konverze na perforující keratoplastiku.

Komplikace mohou být způsobeny i malými částčkami vláken a prachu, které jsou zaneseny během rouškování a sušení. Důsledkem je vznik zánětu nebo snížení transparence rohovky se současným sníženým zrakové ostrosti.

Další komplikací je vznik epitelizace mezi lamelami. Obvykle tato komplikace vznikne u terčů, které jsou větší než lůžka. Vzniká zde progredující edém stromatu s defektem epitelu na povrchu štěpu. Výsledkem je odchlípení terče. Nutným řešením je provedení reoperace s lamelou o 0,5 milimetru menší než původně a hlavně za současného odstranění epiteliální membrány, která vystýlá lůžko.

Epiteliální okluzní cysty vznikají náhodně důsledkem nadměrné chirurgické manipulace. Dojde k inkluzi epiteliálních buněk mezi lamely. Buňky mohou být zaneseny také pinzetou během sutury nebo jehlou. Léčba probíhá výhradně chirurgicky za odstranění cysty i s pouzdrem.

Vzácnou komplikací je stromální rejekce terče. Projevuje se jako hluboká stromální keratitida. Zachytíme-li tuto komplikaci brzy, může být zvládnuta pomocí kortikoterapie či za pomoci topických imunosupresiv. Rohovka se však projasňuje pomalu a ne zřídka se setkáváme s bělavými zákaly, které přetrvávají dlouho.

Někdy se setkáváme s intrastromálním hematomem, který vzniká při technice intrastromální injekce vzduchu.

Můžeme se také setkat se syndromem Urrets-Zavaliovým. Při tomto syndromu dojde k dilataci zornice vlivem předpokládané ischemie duhovky, která vzniká po aplikaci vzduchu do přední komory.

Zbytkové refrakční vady jsou samozřejmě spojeny s kvalitou provedení sutury, kvalitou terče, volbě chirurgické techniky a také na operačních zkušenostech chirurga. Je možné ji vyřešit například pomocí excimerového laseru u pacientů, kteří nechtějí nosit brýle nebo kontaktní čočky. [14]

8.1.3 Zadní lamelární keratoplastika

Tato keratoplastika je prováděna odstraněním Descemetovy membrány a endotelu při současném zachování kompletního rohovkového stromatu, Bowmanovy membrány a epitelu na mateřské rohovce. Poškozený endotel se nahrazuje lamelárním transplantátem. Takový transplantát dostaneme z dárcovské rohovky po sloupnutí Descemetovy membrány. Membrána je poté přiložena na připravené lůžko příjemcovi rohovky, z níž byla odstraněna nemocná Descemetova membrána. Tento typ keratoplastiky indikujeme v případě Fuchsovy endoteliální dystrofie, endotelové nedostatečnosti po rohovkové transplantaci a při bulosní keratopatii. Výhodou operace je fakt, že je vyměněna pouze postižená část endotelu. Povrchní části, které nejsou postiženy, zůstávají neporušeny. Oproti perforující keratoplastice nemá zadní lamelární keratoplastika vliv na astigmatismus. Techniky operativy se neustále vyvíjejí z důvodu snížení obtížnosti operačního postupu. Při transplantaci rohovky z důvodu keratokonu se nepoužívá metoda hluboké lamelární keratoplastiky.

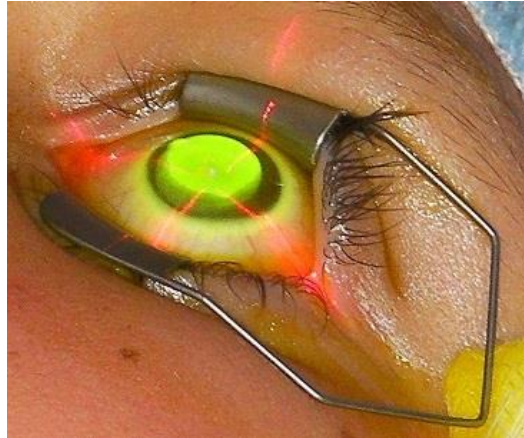
Název		Zkratka
Deep lamellar endothelial keratoplasty	Hluboká lamelární keratoplastika	DLEK
Flap-associated DLEK	Lamelární keratoplastika pod lalokem	FDLEK
Descemetorhexis with endokeratoplasty	Descemetorexe s endokeratoplastikou	DXEK

Tabulka č. 4: Rozdělení zadní lamelární keratoplastiky [14]

8.2 Corneal Cross Linking – CXL

Corneal Cross Linking je jedna z nejnovějších metod léčby keratokonu. Pomocí CXL můžeme dosáhnout zpomalení nebo zastavení progresu keratokonu. Metoda byla vynalezena lékařem Theo Seilerem a profesorem Spoerlem před rokem 2000. Metoda byla nejdříve testována na zvířatech. Po úspěšných testech na králíčích a prasečích rohovkách došlo i na testy na lidské tkáni. Jednalo se o rohovky získané z enukleovaných očních bulbů žijících pacientů. Testy byly prováděny na vypreparovaných proužcích rohovky šířky 4 milimetry, délky 14 milimetrů a s okrajem skléry 1 milimetr. Tloušťka těchto testových proužků byla 550 μm . Následně se aplikoval riboflavin a došlo k osvětlení UV zářením o vlnové délce 370 nm, výkonu 3 mW/cm^2 , v délce třiceti minut.

Cílem CXL je navýšení počtu chemických vazeb uvnitř stromatu rohovky za současné minimální expozice UV záření na okolní struktury. Účinek metody je patrný pouze v případě absorpce UV záření. Maximum záření musí být absorbováno v rohovkovém stromatu. Splnění této podmínky je dosaženo využitím UV záření o délce 370 nm. Tato vlnová délka odpovídá absorpčnímu maximu riboflavinu. Nepoužívají se vlnové délky 300 a 450 nm, které by mohly způsobit poškození DNA nebo sítnice v oblasti modrého spektra. Riboflavin funguje jako fotomediátor, díky němuž dojde k tvorbě volných kyslíkových radikálů, které jsou příčinou vzniku nových chemických vazeb mezi kolagenovými vlákny, a také absorbuje UV záření a tím chrání nitrooční struktury. [8, 20]



Obrázek č. 17: CXL

8.2.1 Indikace CXL

Jako indikace k provedení CXL můžeme označit nárůst keratometrických hodnot, změny na topografickém obraze rohovky, její ztenčení či snížení zrakové ostrosti a celková změna refrakce. Dalšími prvky, které hrají roli, jsou také rodinná a osobní anamnéza a požadavky pacienta na pracovní a osobní život. [8]

8.2.2 Kontraindikace CXL

Pacient chystající se na CXL by měl být mezi 15. a 50. rokem života. Předpokladem je vyloučení systémových i očních onemocnění. Jsou jimi například herpes simplex či zoster, diabetes mellitus a další. Významnou kontraindikací u žen je těhotenství. Tloušťka rohovky při předoperačním vyšetření nesmí být nižší než 400 μm . Poloměr křivosti rohovky nesmí strmostí přesahovat 5,5 mm. [8]

8.2.3 Průběh operace CXL

Před aplikací riboflavinu dojde k odstranění epitelu pod lokální anestezií. Epitel je odstraněn v průměru 9 mm. Na periferii je epitel ponechán z důvodu ochrany kmenových epiteliálních buněk rohovky před aplikací UV záření. Před použitím UV záření dojde k aplikaci 0,1% riboflavinu po dobu 30 minut. UV záření je aplikováno také v délce 30 minut. V tomto intervalu každé tři minuty aplikujeme znovu riboflavin. Cílem je konstantní

nasáknutí rohovky riboflavinem. K zákroku je využito UV záření o délce 370 ± 5 nm, jeho výkon je 3mW/cm^2 . Za celou dobu zákroku se dávka přijatého záření pohybuje mezi 3,4 – 5,4 J/cm^2 . Zdrojem jsou 2 diody vzdálené 5 cm od rohovky.

Po dokončení zákroku aplikujeme ATB mast nebo terapeutickou kontaktní čočku do doby kompletní epitelizace rohovky. Po epitelizaci můžeme aplikovat lokálně steroidy. Od roku 2006 je používán jako zdroj UV záření přístroj UV-X Crosslinking System. [8]

8.2.4 Komplikace CXL

Výskyt komplikací u pacientů, kteří podstoupí tuto metodu, je velmi nízký. Díky tomu je metoda velmi přístupnou a jedinečnou možností, jak zlepšit biomechanické vlastnosti rohovky a vyhnout se transplantaci rohovky. Zárok není pro pacienta nijak zatěžující a je možno jej provádět ambulantně. [8]

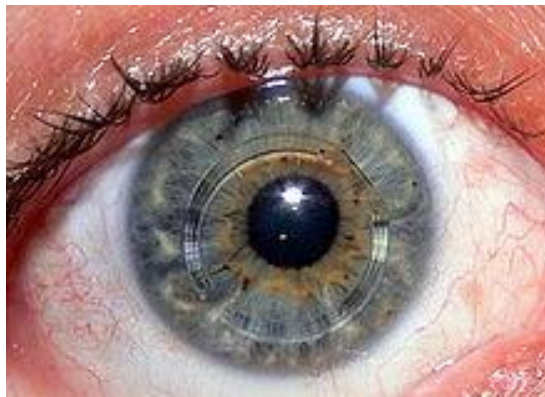
8.3 Intrastromální rohovkové prstence (ICRS)

Intrastromální rohovkové prstence jsou další metodou léčby keratokonu. Jejich implementace je založena na Barraquerově pravidle. Pravidlo říká, že dodáme-li tkáň do periferie rohovky, nastane její oploštění v centrální oblasti a opačně. Prstence se skládají ze dvou segmentů polokruhovitého tvaru. Jejich průměr je cca 5 mm a tloušťka nabývá různých hodnot. Na konci 90. let 20. století našla metoda uplatnění také u pacientů s keratokonem.

Nejčastěji používaným materiálem je Perspex CQ akrylát, který je již více než půl století používán i pro výrobu nitroočních čoček. Materiál je organismem výborně snášen a nehrozí rizika rejekce. Na trhu nalezneme dva druhy implantátů. Jejich rozdíl je ve tvaru a také místě implantace. Ringy označované jako Intact jsou v průřezu šestiúhelníkové a implantovali se dříve 3,5 mm od středu rohovky. Výsledky dosažené touto metodou nebyly příliš uspokojivé. Došlo ke zmenšení centrální zóny na 3 mm od středu rohovky.

Druhým typem implantátu je Keraring, který je na průřezu trojúhelníkovitý s polokruhovitým tvarem. Implantáty jsou vyráběny v úhlových délkách 90, 120, 160, 210 a nové i 355 stupňů. Pásmo jejich implantace je rozděleno do dvou skupin. Skupina označovaná SI-5 se implantuje v pásmu 5 mm a skupina SI-6 je implantována v pásmech 5,0; 5,5 a 6,0

mm. Materiálem pro výrobu je PMMA CQ. Trojúhelníková implantáty jsou vkládány střechou trojúhelníku shora, což vede k dobrému refrakčnímu výsledku. Samotná tloušťka implantátů se pohybuje mezi 150-300 μm a je volena podle nomogramu. Nomogram se využívá k posouzení tří hlavních kritérií. Jde o lokalizaci astigmatismu nebo keratokonu podle rohovkové mapy, dále je posouzena pachymetrie rohovky a subjektivní refrakce pacienta před operací. Metoda je výhodná z hlediska možné výměny implantátu či jeho repozice. Výhodou je také reverzibilita prováděného zákroku v případech nespokojenosti nebo rohovkové dekompenzace. [19, 22]



Obrázek č. 18: ICRS

8.3.1 Indikace ICRS

ICRS jsou využívány k léčbě střední a vysoké myopie, k léčbě jednoduchého a složeného astigmatismu a k léčbě nepravidelného astigmatismu vzniklého po transplantaci rohovky. Využívají se také k léčbě primárních ektázií rohovky, kterými jsou keratokonus a marginální pelucidní degenerace. Prstence jsou implantovány bez rozdílu věku pacienta. Využití najdou jedinci nesnášející korekci pomocí tvrdých kontaktních čoček a pacienti s těžce nepravidelnou rohovkou. Metoda je doporučována také u pacientů s progresujícím keratokonem. [11, 23]

8.3.2 Kontraindikace ICRS

Kontraindikací aplikace ICRS je akutní keratokonus, kdy již došlo k porušení primární rohovkové funkce. Kontraindikací je také keratokonus, jehož vyklenutí rohovky přesahuje hodnotu 70 D. Po zákroku by mohlo dojít k vyloučení implantovaných prstenců. U pacientů

jejichž počet endoteliálních buněk poklesne pod hranici 1000 buněk/mm², existuje riziko dekompenzace rohovky. Předpokládá se také snížená efektivita prstenců u rohovek postižených Vogtovými striemi, protože dojde ke snížení elasticity. [11]

8.3.3 Postup implantace ICRS

Implantace prstenců je prováděna v lokální anestezii a jde o ambulantní a rychle proveditelný zákrok. Prvním krokem je nalezení a označení optického středu rohovky. Střed nemusí odpovídat středu zornice. S pomocí kruhového markeru jsou označeny optické zóny ve vzdálenosti 5 a 7 mm od středu. Na místě, kde se protíná kružnice s nejvíce strmým meridiánem je pomocí optické a ultrazvukové pachymetrie změřena tloušťka rohovky. Incizi provedeme diamantovým nožem, který je nastaven na 70% změřené tloušťky rohovky, v místě protnutí nejstrmějšího meridiánu s kružnicemi optických zón. Pomocí háčku se na obou stranách mezikruží vytvoří incize intrastromální kapsy, které jsou následně prodlouženy půlkulatým nožem. Následuje preparace kanálu pro prstence. Důležité je zachovávat rohovku v napnutém stavu. Segmenty jsou zavedeny pod úhlem 30° tak, aby jejich stříška směřovala nahoru a plochá strana byla dole. Správné polohy segmentů je dosaženo pomocí rotačních háčků. Segment by měl být usazen symetricky a v dostatečné hloubce. Jeho konce by neměly dosahovat okolí incize, případně nadzdvihovat její okraj. V průběhu zákroku je rohovka zvlhčována z důvodu prevence uzavření incize. Po kompletním provedení zákroku se aplikují ATB a terapeutická kontaktní čočka, která napomáhá hojení poškozeného epitelu. Kanál pro prstence je možné vytvořit i pomocí FEMTO laseru. Tato metoda je dnes často praktikována. [11, 22]

8.3.4 Zhodnocení metody ICRS

Prozatímní zkušenosti naznačují, že metoda vykazuje vysokou efektivitu a bezpečnost v oblasti řešení refrakčních vad. Zvláště v oblasti léčby nepravidelného astigmatismu spojeného s keratokonem. Výhodná je také kombinace s metodou CXL z důvodu zpevnění rohovkové struktury a zastavení progresu onemocnění. Tyto metody jsou v moderní medicíně často kombinovány a představují ideální nástroj v boji s rohovkovými ektáziemi. [11]

Závěr

Cíl mé práce byl stanoven na srozumitelné popsání problematiky keratokonu, jeho diagnostiky, korekce a léčby.

Začátek práce popisuje anatomickou stavbu rohovky a její parametry, které jsou klíčem k rozlišení a porovnání s rohovkami postiženými keratokonem.

Další část je zaměřena na další typy rohovkových degenerací, které jsou také krátce popsány a specifikovány.

Dále jsem se zabýval samotným keratokonem, jeho rozdělením a základními rysy, které jsou specifické pro toto onemocnění. Jedná se o rysy, kterých by si optometrista během vyšetření měl všimnout a nabýt případné podezření na toto onemocnění.

Následuje část zabývající se diagnostikou keratokonu. Jsou zde popsány všechny důležité úkony spojené s diagnostikou a případným dalším postupem korekce onemocnění a jeho léčby. Tato část přechází v moderní zobrazovací techniky předního segmentu oka, které hrají důležitou roli v časném rozpoznání onemocnění. Poskytují nám přehled o stavu rohovky a jejích parametrech.

Po diagnostické části přichází část pojednávající o možnostech korekce onemocnění. Popisuje všechny způsoby, které mohou být v korekci uplatněny na základě stupně onemocnění. Pro každý ze stupňů je vhodný jiný způsob korekce, která hraje důležitou roli ve zlepšení zrakové ostrosti pacienta.

Poslední částí práce je část popisující léčbu keratokonu, která může probíhat několika způsoby. Jsou zde popsány operační techniky a také moderní zákroky, které se využívají ke zpomalení nebo zastavení progresu onemocnění. Metody léčby jsou každým rokem na vyšší úrovni a v budoucnu tomu jistě nebude jinak. Jelikož je tímto onemocněním postižen zhruba 1 člověk z 1000 – 2000 a onemocnění mu může způsobit nemalé komplikace, považuji za důležité, aby byl každý optometrista schopen odhalit toto onemocnění a poskytnout rady v další korekci a léčbě.

Seznam zkratek

HEMA – Hydroxyethylmethakrylát

PMMA – Polymethylmethakrylát

ATB – Antibiotika

LASIK – Laser in situ keratomileusis

UV – Ultrafialové záření

Zdroje

1 Nauka o zraku – Rudolf Autrata, Jana Černá, ISBN 80-7013-362-7

2 Oční lékařství, Grada – Pavel Kuchynka a kol., ISBN 978-80-247-1163-8

3 Oční lékařství – Pavel Rozsival et al., ISBN 80-7262-404-0

4 Anatomie a embryologie oka – Květa Kvapilíková, ISBN 80-7013-313-9

5 Základy aplikace kontaktních čoček – S. Petrová, Z. Mašková, T. Jurečka, ISBN 978-80-7013-470-2

6 Přístrojová optika – Miloš Rutrle, ISBN 80-7013-301-5

7 Perioperační péče o pacienta v oční chirurgii – Igor Vícha a kolektiv autorů, ISBN 978-80-7013-541-9

8 Trendy soudobé oftalmologie svazek 5, Crosslinking pomocou riboflavínu a UVA-žiarenia pri ektatických degeneraciach rohovky, Frederik Raiskub, ISBN 978-80-7262-534-5

9 Contact Lens Practice, Nathan Efron, 2010, ISBN 0702047635

10 Česká oční optika 1/2008, Brůnová B.: Sklerální kontaktní čočky a možnosti použití u keratokonu

11 Trendy soudobé oftalmologie svazek 5, Léčba keratokonu implantací intrastromálních rohovkových prstenců, Němcová I., Pašta J., Madunický J., ISBN 978-80-7262-534-5

12 Kompendium očního lékařství, Hanuš K. a kol., ISBN 8071690791

13 Clinical Ophthalmology, Kanski J. J., ISBN 0-7506-5542-9

14 Trendy soudobé oftalmologie svazek 4, Lamelární keratoplastika, Pavel Studený, ISBN 9788072624706

Internetové zdroje

15 <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003501.htm>

16 <http://pentacam.com/sites/basic.php>

17 <http://www.ziemergroup.com/products/galilei.html>

18 http://www.technolaspy.com/products/diagnostics/diagnostics_100176_0.html

19 <http://www.lensdesign.ca/orbscan.htm>

20 <http://ocnivady.cz/lecba-keratokonu-corneal-cross-linking-cxl>

21 <http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleid=13106>

22 http://www.mediphacos.com/en/produtos_linha_refrativa.asp

23 http://www.uvn.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=595&Itemid=1096

24 http://www.wvao.org/imagearchive/info_keratokonus.pdf

25 <http://www.keratokonus-center.de/>

26 <http://en.wikipedia.org/wiki/Keratoconus>

27 https://is.muni.cz/auth/el/1411/podzim2010/BOBO0322p/um/17991243/BO_08_Akomodace.pdf?studium=471634

28 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3085147/>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Anatomie a embryologie oka – Květa Kvapilíková, ISBN 80-7013-313-9

Obrázek č. 2: <http://www.bausch.co.uk/ecp//m/BL/Global/Images/Clinical%20Photos/Miscellaneous/Keratoglobus.jpg>

- Obrázek č. 3:** <http://www.bausch.co.uk/en-gb/ecp/for-your-practice/resource-materials/clinical-photos/stroma/>
- Obrázek č. 4:** <http://www.bausch.co.uk/ecp//m/BL/Global/Images/Clinical%20Photos/Endothelium/Corneal-guttata.jpg>
- Obrázek č. 5:** http://www.thetimes.co.uk/tto/multimedia/archive/00172/89204013eye_172494c.jpg
- Obrázek č. 6:** http://www.images.missionforvisionusa.org/anatomy/uploaded_images/wclinhoto-790435.jpg
- Obrázek č. 7:** <http://www.bausch.co.uk/en-gb/ecp/for-your-practice/resource-materials/clinical-photos/stroma/>
- Obrázek č. 8:** https://fbcdn-sphotos-f-a.akamaihd.net/hphotos-ak-ash4/283464_221651027877308_7550317_n.jpg
- Obrázek č. 9:** <http://www.bausch.co.uk/en-gb/ecp/for-your-practice/resource-materials/clinical-photos/stroma/>
- Obrázek 4. 10:** http://www.zirm.net/uploads/media/Keratokonius_unten_Kopie.jpg
- Obrázek č. 11:** http://www.augen.de/uploads/RTEmagicC_109ec8665d.jpg.jpg
- Obrázek č. 12:** Soukromý archiv autora, pořízeno ve FNB
- Obrázek č. 13:** http://www.sadalla.com.br/pt/upload/equipamentos/1_galilei2.jpg
- Obrázek č. 14:** Soukromý archiv autora, pořízeno ve FNB
- Obrázek č. 15:** <http://faculty.ksu.edu.sa/11966/Pictures%20Library/Piggy%20Back%20Contact%20Lens%20System.jpg>
- Obrázek č. 16 :** <http://www.kst.cz/web/wp-content/organy/oko-rohovka3.jpg>
- Obrázek č. 17:** <http://www.avedro.com/WP/wp-content/uploads/2012/08/KXL-procedure.jpg>
- Obrázek č. 18:** <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2a/IntacsAfterInsertion.jpg/220px-IntacsAfterInsertion.jpg>