

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

**MOŽNOSTI ROHOVKOVEJ REFRAKČNEJ CHIRURGIE
PRE KOREKCIU PRESBYOPIE**

Bakalárska práca

VYPRACOVALA:

Natália Nebošková

obor 5345R008 OPTOMETRIE

študijný rok 2020/2021

VEDÚCI BAKALÁRSKEJ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prehlásenie:

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použitia literatúry uvedenej v závere práce.

V Olomouci dňa 8. 5. 2021

.....
Natália Nebošková

Pod'akovanie:

Chcela by som sa pod'akovať vedúcemu mojej bakalárskej práce RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D., za odborné vedenie a usmernenie pri písaní mojej práce, za cenné rady a v neposlednom rade čas, ktorý mi venoval.

Táto práca bola vytvorená za podpory projektov IGA PrF UP v Olomouci s názvom "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2020_008 a IGA_PrF_2021_012.

OBSAH

ÚVOD	5
1 OPTICKÝ SYSTÉM OKA	6
1.1 Rohovka	6
1.2 Očná šošovka	7
1.3 Sklovec a komorová voda	8
2 AKOMODAČNÝ SYSTÉM A PRESBYOPIA	9
2.1 Mechanizmus akomodácie	9
2.2 Amplitúda akomodácie	10
2.3 Hĺbka ostrosti	11
2.4 Presbyopia.....	12
2.5 Korekcia presbyopie	13
3 PRESBYOPICKÉ CHIRURGICKÉ ZÁKROKY NA ROHOVKE	15
3.1 Druhy laserovej terapie v presbyopii	16
3.2 Predoperačné vyšetrenia.....	18
3.3 Klasické laserové zákroky.....	19
3.4 Termokoagulačné techniky a INTRACOR.....	23
3.5 Rohovkové implantáty	25
4 POROVNANIE VÝSLEDKOV	30
4.1 Vizuálne výsledky	30
4.2 Subjektívna spokojnosť pacientov	34
4.3 Súhrn výhod a nevýhod.....	36
ZÁVER	39
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	40

ÚVOD

Po štyridsiatom roku očná šošovka začína strácať svoju pružnosť, a tým aj schopnosť zaostriť na blízke predmety. Tento proces sa nazýva presbyopia. Práve presbyopia sa v súčasnosti stáva predmetom záujmu refrakčnej chirurgie. V posledných rokoch našli na klinikách refrakčnej chirurgie uplatnenie vnútroočné umelé šošovky, ale aj o niečo menej invazívne rohovkové zákroky, ktorými sa dá strata akomodácie kompenzovať. Prvé pokusy o korekciu presbyopie siahajú do úplných začiatkov využívania excimerových a femtosekundových laserových systémov. Cieľom refrakčnej chirurgie je efektívne skombinovať korekciu refrakčnej vady a presbyopie v jednom zákroku. Rohovkové zákroky zahŕňajú laserové zákroky, rohovkové implantáty, instrastromálne laserové zákroky a konduktívnu keratoplastiku. Je nutné poznamenať, že ani jeden zo zákrokov nedokáže aktívne nahradiť akomodáciu. Videnie do blízka zlepšujú prostredníctvom techník navodzujúcich pseudokomodáciu. Najjednoduchší spôsob, akým oko prirodzene navodí pseudoakomodáciu, je zmenšenie priemeru pupily, prípadne žmúrenie očí. Refrakčné zákroky sú invazívnym zásahom do rohovky, predstavujú pre pacienta vždy určité riziko. Úspešnosť zákrokov závisí na výbere správneho pacienta, ktorý spĺňa prísne indikačné kritériá. Dôležité je aj poučenie pacienta o vedľajších efektoch zákroku.

Cieľom práce je vytvoriť prehľad rohovkových refrakčných zákrokov pre korekciu presbyopie. V úvodnej kapitole je stručne popísaný optický systém oka. V práci sú spomenuté pojmy ako amplitúda akomodácie, akomodácia, pseudoakomodácia a hĺbka ostrosti, ktoré sú kľúčové pre pochopenie princípov, akými jednotlivé zákroky zlepšujú zrakovú ostrosť do blízka. Ťažiskom práce sú možnosti rohovkovej refrakčnej chirurgie pre pacientov v presbyopickom veku zosumarizované na základe rešerše. Práca zahŕňa komplexný prehľad predoperačných vyšetrení, porovnanie výsledkov zákrokov ako aj ich výhody a nevýhody.

1 OPTICKÝ SYSTÉM OKA

Ľudské oko je prepracovaný spojný systém. Svetelné lúče vstupujúce do oka, prechádzajú cez svetlolomné časti, rohovku, komorovú vodu, šošovku a sklovec, až k svetlocitlivým bunkám sietnice. Na sietnici vzniká zmenšený, prevrátený, skutočný obraz predmetu. Oko ako aktívna optická sústava dokáže zaostriť na rôznu vzdialenosť (akomodácia), dokáže sa tiež adaptovať na zmenu svetelných podmienok (dúhovka funguje ako clona). [1]

1.1 Rohovka

Rohovka je transparentná, bohato inervovaná, bezcievna štruktúra, ktorá spolu so sklérou tvorí povrchovú vrstvu oka. Zaujíma asi 1/6 povrchu očnej gule. Obsahuje najviac nervových zakončení na mm^2 v tele, preto aj najjemnejší dotyk vyvolá ochranné žmurkanie a slzenie oka. Rohovka je bez cievneho zásobenia, jej výživa je zabezpečovaná pomocou metabolitov, difúzne z kapilár limbu, prednej komory a slzného filmu. Rohovka má pomalý metabolizmus, s tým je spojené aj pomalé hojenie po chirurgických zákrokoch alebo úrazoch. [1]

Hrúbka rohovky sa pohybuje okolo 550 μm v centrálnej časti, v periférii je hrubá asi 650 až 1000 μm . Vertikálny priemer rohovky je 11,5 mm, horizontálny je 12,6 mm. Priemerné zakrivenie prednej plochy rohovky je 7,8 mm, smerom k periférii sa sploštuje. Priemerné zakrivenie zadnej plochy je 6,7 mm. S optickou mohutnosťou 43 D je rohovka najdôležitejší prvok optickej sústavy oka. Rohovka je pokrytá slzným filmom, ktorý ju chráni, zabraňuje jej vysychaniu a udržuje povrch rohovky hydrofóbny. Rohovka sa skladá z piatich vrstiev. Vonkajšia epitelová vrstva je krytá slzným filmom. Hrúbka rohovkového epitelu sa pohybuje medzi 30 až 50 μm . Zabezpečuje zásobenie rohovky kyslíkom zo slzného filmu. Vďaka prítomnosti limbálnych buniek má vysokú schopnosť regenerácie, priemerne sa obnovuje každých 7 dní. V prípade poškodenia sa hojí rýchlo a bez jaziev. Pod epitelom je Bowmanova membrána, vytvorená z bazálnych buniek epitelu. Skladá sa z nepravidelne usporiadaných kolagénových fibril, ktoré tvoria vrstvu hrubú 8 až 12 μm . Na rozdiel od epitelu nemá regeneračnú schopnosť, v prípade porušenia tejto vrstvy sa vytvárajú zjazvenia. Asi 90 % hrúbky rohovky je tvorených stromou, ktorá jej udáva tvar. Je schopná čiastočnej regenerácie. Voda tvorí asi 70 % hmotnosti stromy. Ďalšia vrstva,

Descemetova membrána, je prevažne homogénna a pevná, tvorená kolagénovými fibrilami. Zabraňuje prieniku ciev a leukocytov do stromy, je však schopná prepúšťať molekuly vody a iné malé molekuly. S pribúdajúcim vekom hrubne. V dospelosti je jej hrúbka približne 8 - 12 μm . Dokáže sa bez problémov zregenerovať. Endotel je vnútorná vrstva rohovky, tvorená jednou vrstvou hexagonálnych buniek. Bunky endotelu nemajú schopnosť regenerácie, vekom sa prirodzene znižuje ich počet. Následkom vnútroočných operácií, transplantácií rohovky, alebo po prekonaní systémových či celkových ochorení, nie sú bunky endotelu schopné obnovy. Ostatné bunky sa zväčšia, aby zaplnili priestor po zaniknutých bunkách. Normálna hustota buniek zdravého endotelu je 2600 - 3000 buniek na mm^2 . Endotel je dôležitý pre udržanie konštantnej optickej mohutnosti rohovky. [1, 2]

1.2 Očná šošovka

Šošovka je transparentná, bezcievna štruktúra bikonvexného tvaru. Obsahuje 66 % vody a 33 % bielkovín. Je lokalizovaná medzi dúhovkou a prednou membránou sklovca. Upínajú sa na ňu závesné vlákna, ktoré sú pripojené k riasnatému teliesku. Šošovka je bez cievného zásobenia, jej metabolizmus je závislý na látkach prijatých z komorovej vody. Správna výmena látok udržuje šošovku priehľadnú, zabezpečuje jej rast a ovplyvňuje refrakčný index. Index lomu šošovky 1,4 je odlišný od indexu lomu komorovej vody a sklovca, inak by nedochádzalo k lomu svetla na rozhraní dvoch prostredí. Optická mohutnosť šošovky sa pohybuje v rozmedzí 15 - 20 D. Šošovka rastie v priebehu celého života, mení svoj tvar a s ním aj optické vlastnosti. Pre porovnanie šošovka novorodenca váži 90 mg a v dospelosti 255 mg. V dospelosti je jej ekvatoriálny rozmer 9 mm a predozadný priemer je 5 mm.

Šošovka je štruktúrne zložená z puzdra, epitelu, jadra a kortexu. Predná časť puzdra je tvorená silnou, pružnou, transparentnou bazálnou membránou šošovkového epitelu. Zadnú časť puzdra tvoria najmladšie šošovkové vlákna. V priebehu života predná časť puzdra hrubne a zadná sa naopak stenčuje. Puzdro šošovky obsahuje bielkoviny typické pre každú bazálnu membránu, svojou štruktúrou je veľmi homogénne. Je voľne priepustné pre vodu, minerály a malé proteíny. Šošovkový epitel tvorí jedna vrstva buniek rôzneho tvaru. Nachádza sa len v ekvatoriálnej oblasti pod predným šošovkovým puzdrom. Zadnú oblasť puzdra epitel nepokrýva, pretože tu boli v priebehu embryogenézy epitelové vlákna zmenené na primárne šošovkové vlákna.

Epitel je rozdelený do štyroch zón podľa výskytu rozličných buniek. Jadro šošovky obsahuje primárne šošovkové vlákna vzniknuté v embryonálnom vývoji. Počas obdobia dospievania sú staršie vrstvy jadra obalované sekundárnymi vláknami. Kortex šošovky je histologicky nerozoznatelný od jadra. Je tvorený sekundárnymi šošovkovými vláknami vzniknutými v dospelosti. [1, 2]

1.3 Sklovec a komorová voda

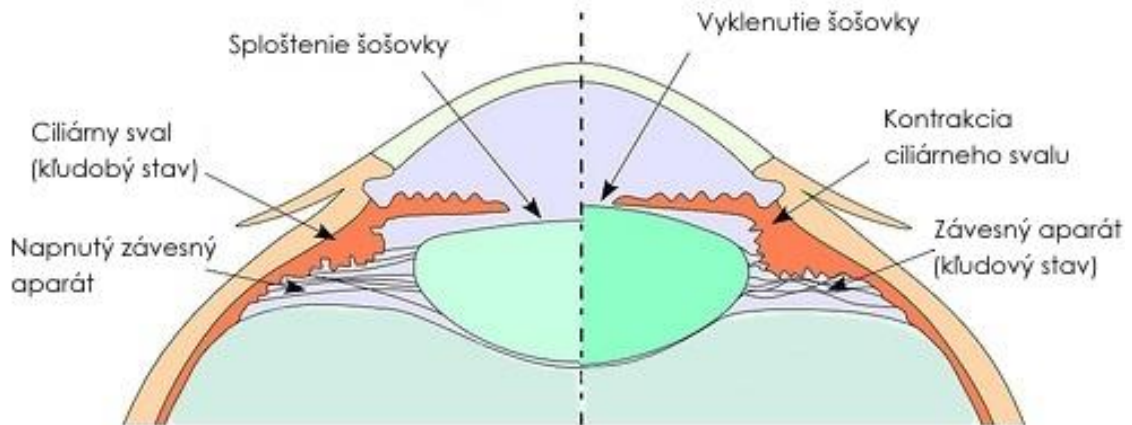
Sklovec je transparentné tkanivo hydrogélového charakteru. Sklovec je tvorený 99 % vody, so svojim objemom 4 ml vyplňa 4/5 vnútroočného priestoru. Index lomu 1,336 má podobný vode. Má jemnú štruktúru, aby pri prechode svetelných lúčov dochádzalo k čo najmenšiemu rozptylu svetla. Sklovec nie je voľne uložený v oku, ale je pripevnený k bazálnej lamine. V miestach, kde je lamina tenšia (papila, fovea, cievy v periférii), je sklovec pevne priľnutý. V hrubších častiach je sklovec len voľne priložený k sietnici. Komorová tekutina vyplňa priestor prednej a zadnej očnej komory. Je tvorená 99 % vody. Jej funkciou je výživa rohovky a šošovky. Produkuje ju uvea. [1, 2]

2 AKOMODAČNÝ SYSTÉM A PRESBYOPIA

Akomodácia je zmena refrakčnej sily oka. Nastáva, keď sa oko snaží zaostriť obraz blízkeho objektu na sietnicu. Tento proces je sprevádzaný zmenou dioptrickej mohutnosti očnej šošovky, zúžením zrenice a konvergentným pohybom očí. V priebehu života dôsledkom fyziologických zmien šošovky a očných tkanív sa amplitúda akomodácie znižuje. Vo veku, kedy oči už nedokážu stratu akomodácie nijako kompenzovať, je potrebné im pomôcť prídavkom dioptrií do blízka ku stávajúcej korekcii. Konvenčným riešením je predpis okuliarov prípadne nosenie multifokálnych kontaktných šošoviek. V posledných rokoch prichádzajú kliniky refrakčnej chirurgie s inovatívnymi riešeniami presbyopie. Väčšina operačných metód pasívne nahrádza stratu akomodácie. Využívajú rozličné princípy, ktoré zabezpečujú kvalitu zrakovej ostrosti na blízko a diaľku na prijateľnej úrovni. Tak ako multifokálne kontaktné šošovky, viaceré refrakčné zákroky využívajú zóny videnia na blízko a diaľku, ktoré závisia na zmene priemeru zrenice. O niečo náročnejšia je snaha o obnovu aspoň časti aktívnej akomodácie. Mechanizmus aktívnej akomodácie používajú čiastočne akomodačné vnútročné šošovky. [1, 3, 4]

2.1 Mechanizmus akomodácie

Proces akomodácie stále nie je úplne objasnený. Najznámejšie teórie, ktoré ho popisujú, sú Helmholtzova teória a teória podľa Schachara a Tscheringa. Princíp akomodácie vychádza hlavne z Helmholtzovej myšlienky, že šošovkové puzdro je dostatočne elastické na to, aby sa jeho vyklenutím šošovka stala silnejším spojným systémom potrebným na ostré videnie do blízka. Na šošovku sa upínajú zonulárne vlákna, ktoré vychádzajú z ciliárneho svalu. Pri akomodácii nastáva kontrakcia ciliárneho svalu tým, že sa stiahne, súčasne povolia zonulárne vlákna závesného aparátu šošovky. Šošovka sa vyklenie prednou plochou, zväčší sa jej predozadná hrúbka, a tým aj jej optická mohutnosť (viď obr. 1). Pri uvoľnení akomodácie je proces opačný. Ciliárny sval relaxuje, zonulárne vlákna sa napnú. Vlákna napojené na šošovku ju vrátia do pôvodného tvaru, šošovka sa sploští (viď obr. 1). Helmholtz nepočítal so skutočnosťou, že šošovkové puzdro má rozličnú hrúbku. V mieste, kde sa napája závesný aparát, je najhrubšie, najpevnejšie a najmenej elastické. Naopak v ekvatoriálnej prednej časti je puzdro najtenšie, tu sa šošovka vyklenie najviac. [1, 3]



Obr. 1 Mechanizmus akomodácie podľa Helmholtza, (vľavo) neakomodovaný stav, (vpravo) akomodovaný stav, prevzaté z [41]

2.2 Amplitúda akomodácie

Amplitúda akomodácie AA je rozdiel dioptrickej sily neakomodovaného oka a dioptrickej sily oka pri maximálnej možnej akomodácii. Vyjadrená je rozdielom vergencie (prevrátenej hodnoty vzdialenosti) ďalekého a blízkeho bodu oka,

$$AA = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P},$$

kde a_R je vzdialenosť ďalekého a a_P blízkeho bodu oka. Pričom ďaleký bod je bod, ktorý sa zobrazí ostro na sietnici neakomodovaného oka. V prípade emetropického oka leží v nekonečne, pri hypermetropii leží v konečnej vzdialenosti za okom a v prípade myopie leží v konečnej vzdialenosti pred okom. Blízky bod je bod, ktorý sa ostro zobrazí na sietnici oka pri plnej akomodácii a nachádza sa v konečnej vzdialenosti pred okom. S pribúdajúcim vekom dochádza k jeho posunu ďalej od oka. Je to jeden z prvých príznakov toho, že sa oko stáva presbyopickým.

V detskom veku je priemerná amplitúda akomodácie 14 D, vo veku 40 rokov klesá na asi 6 D a vo veku 60 rokov sa rovná len 1 D. Amplitúda akomodácie sa znižuje s pribúdajúcim vekom po celý život. [1, 2, 3, 5]

2.3 Hĺbka ostrosti

Aj bez schopnosti akomodovať dokáže oko vidieť ostro predmety v určitom rozsahu (hĺbke) poľa. Tento jav môže prispieť k riešeniu problémov s akomodáciou vrátane presbyopie. Vo všeobecnosti oko vníma predmety ostro aj v iných rovinách, než na ktoré je zaostrená optická sústava. Rozsah týchto vzdialeností sa nazýva hĺbka ostrosti. Hĺbku ostrosti ovplyvňujú optické faktory, ktorými sú veľkosť pupily, difrakcia na otvore, monochromatické a chromatické aberácie oka. Obraz bodu je vnímaný ostro, ak veľkosť jeho rozptylového krúžku na sietnici nepresiahne priemer fotoreceptorov. Vo vzťahu na výpočet hĺbky ostrosti udáva y hraničný priemer rozptylového krúžku a d priemer pupily. L_1 a L_2 sú dioptrické vzdialenosti najbližšieho a najvzdialenejšieho bodu, ktorého obraz bude ešte ostro zobrazený na sietnici,

$$L_1 = L - \frac{y}{d}\Phi, \quad L_2 = L + \frac{y}{d}\Phi,$$

kde L je dioptrická vzdialenosť, na ktorú je oko zaostrené a Φ je dioptrická mohutnosť oka. Hĺbka ostrosti je potom vyjadrená ako rozdiel vzdialeností L_2 a L_1 , po úprave

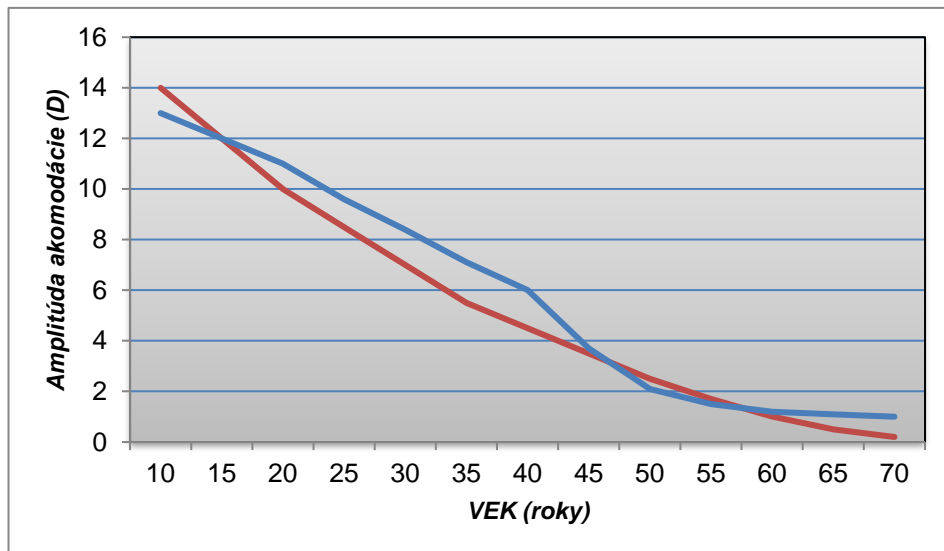
$$L_2 - L_1 = 2\frac{y}{d}\Phi.$$

[5, 6, 40]

Z vyššie uvedených vzťahov je zrejmé, že hĺbku ostrosti je možné meniť zmenou priemeru pupily d . Napr. stenopeická clona v podobe implantátu navodzuje stav umelo zmenšenej pupily, redukuje veľkosť rozptylového krúžku na sietnici, a tým zväčšuje hĺbku ostrosti a môže prispieť k zlepšeniu videnia u presbyopov. Hĺbku ostrosti môžeme tiež zámerne meniť korekciou alebo navodením aberácií vyšších rádo. Pri korekcii presbyopie je výhodnejšie zväčšiť vplyv aberácií, a tým cielene zväčšiť hĺbku ostrosti. Jedným zo spôsobov navodenia aberácií vyšších rádo refrakčným zákrokom je vytvorenie asférickej plochy rohovky. Takto sú v oku navodené predovšetkým sférické aberácie. Nárast aberácií vyšších rádo síce negatívne ovplyvní zrakovú ostrosť a kontrastnú citlivosť, no poskytne uspokojujúce videnie na blízko, strednú vzdialenosť a diaľku. Výsledný efekt závisí na interakcii navodených aberácií s prirodzenými aberáciami oka a na zmene veľkosti pupily. Aberácie (a tým aj ich efekt na hĺbku ostrosti) oka úmerne rastú so zväčšujúcim sa priemerom zreníc, efekt je zrejмый do priemeru asi 6 mm. [5, 6, 40]

2.4 Presbyopia

Presbyopia je vekom podmienená postupná strata akomodačnej schopnosti (zníženie AA). Úplná strata akomodácie sa predpokladá vo veku 70 rokov. Zmeny AA s vekom ukazuje graf na obrázku 2. Znalosť približnej amplitúdy akomodácie v presbyopickom veku môže pomôcť pri stanovení hodnoty korekcie na blízko.



Obr. 2 Amplitúda akomodácie, hodnoty podľa Dondersa (červená), podľa Duana (modrá), vytvorené podľa [6]

Presbyopia je vysvetľovaná fyziologickou zmenou prvkov akomodačného systému oka. Hlavnou príčinou je postupné tuhnutie šošovky a strata elasticity šošovkového puzdra (Helmholtzova teória). Pri neschopnosti šošovky meniť tvar by akomodačná schopnosť bola značne obmedzená, aj keby ostatné aspekty akomodačného systému ostali zachované. Iná teória (Schacharova) naopak tvrdí, že príčinou je nielen tvrdnutie, ale aj neustály rast šošovky, hlavne vo vertikálnom priemere. To má za následok zmenu v postavení a uchytaní zonulárnych vlákien na šošovku a zníženie ich účinnosti na zmenu tvaru šošovkového puzdra. Súčasné teórie sa viac prikláňajú k Helmholtzovej teórii. Medzi ostatné skúmané faktory vplyvajúce na vznik presbyopie patria ochabnutie ciliárneho svalu, zmeny sklovca a zmeny elasticity cievkovky. [1, 3, 6]

Presbyopia sa prejavuje po 40. roku u emetropov. Obecne sa skôr prejaví u hypermetropov, ktorí využívajú väčšiu časť akomodácie do blízka kvôli refrakčnej vade. Pri myopii sa prejavuje až v pokročilejšom veku (myopovia majú väčšiu akomodačnú rezervu). Jedným z prvých prejavov presbyopie je vzd'ľujúci sa blízky

bod od oka. Hlavne pri čítaní si človek pomáha oddialením textu alebo zaklonením hlavy. Po čase, keď sú oči už unavené z neustálej námahy, sa môžu dostaviť astenopické problémy a pocit zrakovej nepohody pri pohľade do blízka (hlavne v zlých svetelných podmienkach). Pre pohodlné videnie do blízka je potrebné zachovať 1/3 akomodačnej rezervy. Korekcia pomôže riešiť príznaky a poskytne úľavu od námahy očí pri práci do blízka a zároveň poskytne ostré videnie do blízka. [1, 3]

2.5 Korekcia presbyopie

Presbyopia sa rieši prídavkom (adíciou) ku stávajúcej korekcii na diaľku. Veľkosť prídavku do blízka sa odhaduje od veku vyšetrovaného. Po 45. roku sa zvyšuje rovnomerne o 0,25 - 0,5 D ročne. Pri určovaní adície je nutné zohľadniť aj individuálnu pracovnú vzdialenosť pre pacienta, na ktorú potrebuje vidieť ostro. Dôležitá je tiež presne stanovená, binokulárne vyvážená korekcia na diaľku, s ktorou potom meriame amplitúdu akomodácie pacienta. Pre numerický odhad adície slúži vzorec

$$Add = \left| \frac{1}{l} \right| - k \times AA_{cc},$$

kde l je pracovná vzdialenosť, k ($\approx 2/3$) časť amplitúdy akomodácie, ktorú sme schopní trvalo využívať a AA_{cc} je amplitúda akomodácie s korekciou do diaľky, ktorú môžeme zmerať napr. metódami push-up alebo push-down. [6]

Najbežnejšou korekčnou pomôckou v presbyopii sú okuliare. Najjednoduchším typom sú jednoohniskové okuliarové šošovky, ktoré predstavujú plnú korekciu na blízko. Nosia sa len na prácu do blízka. Technologicky vyspelejšie sú šošovky s dvoma alebo viacerými ohniskovými vzdialenosťami, ktoré zahŕňajú segmenty na blízko a diaľku, popr. na strednú vzdialenosť. Tento typ dnes nahrádzajú technologicky vyspelejšie progresívne okuliarové šošovky, ktoré zahŕňajú plynulý prechod medzi všetkými troma pohľadovými vzdialenosťami bez viditeľných rozhraní. Existujú tiež bifokálne kontaktné šošovky pre korekciu presbyopie s koncentrickými zónami alebo progresívne kontaktné šošovky, pri ktorých hodnota adície postupne narastá smerom od centra do periférie. [6]

Populárnou metódou korekcie presbyopie, ktorá sa používa najmä pri kontaktných šošovkách, ale aj pri refrakčných zákrokoch, je monovision. Pri tejto technike sa vedúce oko plne vykoriguje na diaľku a druhé oko na blízko. Monovision využíva schopnosť mozgu spracovať ostrý sietnicový obraz jedného oka, zatiaľ čo vnem rozmazaného obrazu z druhého oka je potlačený. Pri supresii jedného oka dochádza

k strate priestorového videnia. V prípade neúplnej supresie je nositeľ monovision schopný využiť neostrý obraz, ktorý vníma simultánne s ostrým, k doplneniu priestorového videnia. Väčšine nositeľov zníženie stereopsie neprekáža pri bežných činnostiach. Ideálne nositeľ monovision vidí ostro na väčšinu vzdialeností a má plynulý rozsah binokulárnej hĺbky ostrosti. Možné je tiež aplikovať modifikáciu monovision, kedy dominantné oko ostáva upravené na diaľku, a do nedominantného sa aplikuje bifokálna alebo progresívna kontaktná šošovka. V prípade rohovkových refrakčných zákrokov sa na ňom vytvorí multifokálny profil. Ďalšou možnosťou je vloženie rohovkového implantátu (viď kap. 3.3 a kap. 3.5). [1, 6]

Ďalšou možnosťou je využitie pseudoakomodácie. Pseudoakomodácia je statický proces pri ktorom sa mení dioptrická sila oka. Nenahrádza skutočnú akomodáciu, ale uľahčuje pohľad na blízko použitím rozdielnych mechanizmov. Pri chirurgickom riešení presbyopie sa využívajú 3 princípy navodzujúce pseudoakomodáciu. Za prvé sa jedná o zmeny axiálnej pozície umelej vnútroočnej šošovky, ktoré vyvolávajú celkovú zmenu refrakčnej sily oka (čiastočne akomodačné šošovky, sú voperované do vlastného šošovkového puzdra). Ďalej sa dá pseudoakomodácia navodiť pomocou multifokálnej vnútroočnej šošovky alebo vytvorením multifokálneho profilu na rohovke (PresbyLASIK, tejto téme sa bude bližšie venovať kapitola 3.3). Posledný princíp je založený na zväčšení hĺbky ostrosti zmenou veľkosti pupily alebo navýšením aberácií vyšších rádov, ako popisuje kap. 2.3. Metódu stenopeickej clony využívajú rohovkové implantáty (KAMRA), viď kap. 3.5. [1, 2, 3, 7]

3 PRESBYOPICKÉ CHIRURGICKÉ ZÁKROKY NA ROHOVKE

Rohovka predstavuje najsilnejší optický prvok v oku. Aj malý zásah do jej štruktúry má významný vplyv na videnie a cieľená zmena jej optických vlastností tak môže efektívne korigovať refrakčné vady oka. Refrakčná chirurgia ponúka riešenia pre všetky refrakčné vady a presbyopiu. Rohovkové zákroky poskytujú riešenia založené na dvoch základných princípoch. Prvým je anizometropia, umelo navodená refrakčným zákrokom, tj. rozdielna refrakcia oboch očí. Využitie má pri technike monovision. Druhý princíp je založený na simultánnom videní na diaľku a blízko, vytvorením progresívnych zón na rohovke. V praxi sa často využívajú kombinácie týchto princípov, takzvaná modifikovaná technika monovision. V rade zákrokov sa využíva odlišný typ korekcie na dominantnom a nedominantnom oku. Dominantné oko je pri väčšine zákrokov upravené tak, aby malo ostré videnie na diaľku, zatiaľ čo na nedominantnom oku sa využíva simultánne videnie dvoch obrazov, kedy súčasne dopadá na sietnicu obraz z diaľky aj z blízka.

Rohovkové zákroky sú vhodné najmä pre mladých presbyopov (od 40 do 50 rokov) a pacientov bez známkov začínajúcej katarakty. Prehľad rohovkových operačných zákrokov pre korekciu presbyopie je v tabuľke 1. Množstvo z uvedených metód využíva rôzne typy interakcií laserového žiarenia s tkanivom rohovky, preto budú v nasledujúcom texte najprv popísané jednotlivé typy interakcií a to v 3.1. Následne budú zhrnuté predoperačné vyšetrenia. Ťažiskom kapitoly bude popis jednotlivých korekčných metód. [6, 9, 10, 11]

Tab. 1 Prehľad chirurgických výkonov na rohovke

Klasické laserové zákroky	Jednoohniskové	Monovision
	Multifokálne	PresbyLASIK
Termálne zákroky a INTRACOR	Konduktívna keratoplastika	
	INTRACOR	
Rohovkové implantáty	KAMRA	
	FlexiVue Microlens	
	Raindrop	

3.1 Druhy laserovej terapie v presbyopii

Cieľom rohovkovej refrakčnej chirurgie je zmeniť zakrivenie rohovky tak, aby bol docielený požadovaný refrakčný výsledok. Zmena tvaru rohovky môže byť docielená zmenou vlastností jej kolagénovej štruktúry, pomocou zahrievania. Ďalším spôsobom je čiastočné narušenie a odparenie tkaniva fotochemickou reakciou na úrovni stromálnej vrstvy rohovky pomocou laserových impulzov. Pre tento typ laserovej terapie sa využíva excimerový laser už od konca osemdesiatych rokov 20. storočia. Ďalším typom laserov sú femtosekundové kryštálové lasery, ktoré využívajú mikroplazmatické výbuchy k deštrukcii rohovkového tkaniva. Využívajú sa pri vytváraní lamiel alebo rezov vo vnútri rohovky a tiež puzdier pre rohovkové implantáty. [1]

Fototermická terapia

Princípom je izolovaná koagulácia rohovkového kolagénu teplotou v rozmedzí 58 - 76 °C s minimálnym prienikom tepla do okolitého tkaniva. Pri vyšších teplotách sa medzimolekulové väzby kolagénových fibríl začnú rozpadáť. To by malo za následok nezvratné poškodenie, nekrózu a zjazvenie rohovkového tkaniva. V mieste aplikácie laseru, najčastejšie sa používa Holmium YAG laser (2100 nm), dochádza k zmršteniu tkaniva, ktoré vyvolá zmenu zakrivenia povrchu rohovky. Táto technika sa používa pri termokoagulačných technikách (viď kap. 3.4). [1]

Fotoablačná terapia

Pri fotoablácii sa pomocou excimerového laseru mení zakrivenie rohovky rozrušením a odparením tkaniva. Výkon je limitovaný hrúbkou stromy, z ktorej by malo ostať najmenej 250 µm nepoškodených. Najpoužívanejší je argón-fluoridový excimerový laser (ArF) s vlnovou dĺžkou emitovaného žiarenia 193,15 nm, ktorý využíva pri fotoablácii tkaniva energiu fotónov vyžiarených z diméru ArF. Jedná sa o fotochemickú reakciu, pri ktorej dochádza k priamemu narušeniu chemických väzieb fotónom v rohovkovej strome bez termálneho medzistupňa. Nadbytočná energia je odvedená vo forme kinetickej energie odštiepených častí molekúl. Tkanivo je týmto spôsobom obvykle odstraňované v pulznom režime. Množstvo odobratého tkaniva potom závisí od výkonu lasera a počtu pulzov aplikovaných do daného miesta. Primárne sa ním korigujú aberácie nižšieho rádu (refrakčné vady a astigmatizmus),

no prispôsobením ablačného algoritmu je možné korigovať aberácie vyšších rádo, prípadne vytvoriť multifokálny profil pri korekcii presbyopie.

Pri technike monovision sa v minulosti využívala povrchová ablácia zákrokom PRK (z anglického názvu photorefractive keratectomy). Pri tomto zákroku sa rohovkový epitel mechanicky odstráni, nie je vytvorená ochranná lamela. Po jeho odstránení nasleduje ablácia povrchu rohovky. Po zákroku sú aplikované ochranné kontaktné šošovky, dokým epitel nedorastie. Nevýhodou PRK pri presbyopických zákrokoch je nekontrolované dorastanie epitelovej vrstvy, ktorá môže zmeniť konečný profil rohovky. Ďalšou nevýhodou je dlhodobá stabilizácia zrakovej ostrosti, pričom finálna zraková ostrosť môže byť dosiahnutá až po niekoľkých týždňoch.

V súčasnosti PRK nahrádza zákrok LASIK (Laser in Situ Keratomileusis), veľmi obľúbený relatívne bezpečný zákrok s vysokou efektivitou. Po zákroku sa zrak rýchlo zrehabilituje. Na rozdiel od PRK nie je zaťažovaný hojením epitelovej vrstvy, pretože tá ostáva nenarušená. Pri LASIKu je vytvorená povrchová lamela, široká 80 až 180 μm , pomocou mikrokeratomu. Mikrokeratom je zariadenie zložené zo sukčného prstenca a rezacej hlavy. Prstenec sa prisaje na bulbus, tým vytvorí stabilnú plochu pre ostrý nôž, ktorý mechanicky nareže rohovku a vytvorí lamelu. Lamela môže byť vytvorená aj pomocou femtosekundového laseru (femtoLASIK). Po vytvorení a odklopení lamely excimerový laser opracuje stromálnu vrstvu rohovky, tak aby bol dosiahnutý požadovaný refrakčný výsledok. Po dolaserovaní sa lamela priklopí na opracovaný povrch rohovky, čím sa uľahčí hojenie. Metóda LASIK sa v súčasnosti dostáva do popredia s množstvom výhod. Jednou z výhod je možnosť opakovaného zákroku. [1, 2, 4, 8]

Fotodisrupčná terapia

Pri fotodisrupcii dochádza k deštrukcii tkanív pomocou plazmatických mikrovýbuchov v ohnisku fotodisrupčného laseru. V súčasnosti sa najviac využíva pulzný femtosekundový laser, ktorý pracuje v infračervenom spektre (1053 nm). Vytvára krátke pulzy s vysokou energiou, ktoré sú schopné oddeliť tkanivo vo vnútorných vrstvách rohovky. Laserový systém, pevne spojený s povrchom bulbu, je schopný sumáciou plazmatických výbuchov vytvoriť na rohovke lamelu (femtoLASIK). Ďalšie využitie má pri vytváraní kapsúl pre rohovkové implantáty (KAMRA). Vďaka vysokej presnosti rezu sa využíva pri metóde INTRACOR. Femtosekundový laser pri zákroku ReLEx SMILE (small incision lenticule extraction)

oddelí tkanivo lentikulárneho tvaru vo vnútri rohovky. Po oddelení tupým predmetom od ostatného tkaniva je lentikula extrahovaná cez 2 až 4 mm vonkajší otvor. Pre dosiahnutie požadovaného refrakčného výsledku sa prispôsobuje hrúbka lentikuly. Tento zákrok môže byť využitý pri metóde monovision (viď kap. 3.3). [1, 4, 8]

3.2 Predoperačné vyšetrenia

Pred plánovaným refrakčným zákrokom je dôležité komplexné predoperačné vyšetrenie pacienta. V anamnéze by nemali chýbať informácie o celkových ochoreniach (diabetes, ochorenie štítnej žľazy), o alergiách, prekonaných očných úrazoch a ochoreniach. Základom je vyšetrenie centrálnej zrakovej ostrosti, nekorigovanej a najlepšej korigovanej zrakovej ostrosti (monokulárnej aj binokulárnej). Vyšetrenie refrakcie prebieha bez, aj s podaním cykloplegík, ktoré vylúčia akomodačné úsilie oka. Hodnotu nameranej korekcie systém automaticky prepočíta na úroveň rohovky.

Dôležitou súčasťou predoperačných vyšetrení sú rohovková topografia, pachymetria a keratometria. Rohovkovým topografom sa analyzuje povrch rohovky. Výstupom z vyšetrenia je farebná topografická mapa, ktorá nesie údaje o zakrivení a dioptrickej hodnote jednotlivých segmentov prednej plochy rohovky. Detailnejšie snímky povrchu rohovky zachytáva prístroj Pentacam. Poskytuje trojrozmerné snímky predného segmentu oka, pachymetriu rohovky, parametre zadnej plochy rohovky aj šošovky. Optická biometria pomocou infračerveného svetla meria axiálnu dĺžku oka, zakrivenie a hĺbku prednej komory, hrúbku rohovky, šošovky aj sietnice. Pre správnosť merania musia byť všetky optické médiá číre, zakalenie by znemožnilo prechod infračerveného svetla. Na štrbinovej lampe sa hodnotí celkový stav predného segmentu oka. Po podaní mydriatik sa vyšetrí očné pozadie (sietnica, terč zrkovového nervu) s pomocou vyšetrovacej šošovky. Vyšetrenie endotelu má odhaliť prípadné dystrofie, vyskytujúce sa hlavne pri opakovaných operáciách. Hodnotí sa tiež hustota buniek endotelu.

Test očnej dominancie je dôležitý pri zákrokoch, kde je dominantné oko cielene korigované na diaľku. Jednoduchý spôsob na zistenie dominantného oka je Milesov test. Vytvoríme malý otvor pomocou dlaní, cez ktorý pozeráme oboma očami. Pri striedavom zatváraní pravého a ľavého oka zistíme, ktoré oko vidí obraz rovnaký, aký vidia obe oči. Toto oko môžeme považovať za dominantné. [1, 12]

3.3 Klasické laserové zákroky

Medzi klasickými laserovými zákrokmi pre korekciu presbyopie je najpoužívanejší excimerový laser. Excimerový zákrok LASIK alebo jeho variácia femtoLASIK sú s obľubou využívané pri technike monovision. Táto technika tiež využíva zákroky PRK alebo ReLEx SMILE (viď kap. 3.1). Multifokálne ablácie rohovky dnes poznáme pod súhrnným názvom PresbyLASIK. Fungujú na princípe klasického LASIK zákroku, ktorým sa vytvorí multifokálny profil na rohovke. V súčasnosti majú na klinikách rôzne pomenovania v závislosti na type použitého excimerového laseru, napríklad Supracor, Presbymax alebo CustomVue. [6, 10]

Monovision

Monovision je špeciálny typ korekcie presbyopie pomocou femtosekundového laseru. Spočíva v korekcii dominantného oka na diaľku a nedominantného oka na blízko. Pred samotným zákrokom je dôležité, aby každý pacient prešiel skúšobnou dobou nosenia monovision kontaktných šošoviek. Pacient tak sám zhodnotí simuláciu videnia po zákroku. Počas skúšobnej doby je možné upraviť hodnotu adície, prípadne zjemniť rozdiel refrakcie tak, aby ju pacient zniesol. Dominantné oko je korigované na diaľku a nedominantné oko je korigované na blízko pomocou mäkkých kontaktných šošoviek. Ak pacient počas skúšobnej doby viac preferuje nedominantné oko korigované na diaľku, nie je problém mu vyhovieť pri zákroku. Skúšobná doba monovision kontaktných šošoviek je rôzna, no je nutné ju absolvovať hlavne pri činnostiach vyžadujúcich najlepšie videnie (športové aktivity, šoférovanie, v zamestnaní). Ak má pacient podstatné problémy s videním, na ktoré si nezvykne ani po predĺžení skúšobnej doby s kontaktnými šošovkami, nemal by podstupovať laserový zákrok monovision.

Po skončení skúšobnej doby a konzultácii sa prechádza k samotnému LASIK zákroku. Pred zákrokom je nutné zhodnotiť individuálne požiadavky pacienta na videnie. Podľa nich potom vybrať hodnotu (stupeň) korekcie. Veľkosť sa určuje z veku pacienta (40+) -1,75 D, (45+) -2,00 D, (50+) od -2,25 D do -2,50 D. Toto sú hodnoty plnej korekcie pre perfektné videnie na blízko, ktoré sa zachová aj s pribúdajúcim vekom. S plnou hodnotou korekcie je anizometropia medzi emetropickým okom a myopickým okom najvyššia, takže aj riziko vzniku vedľajších efektov je vyššie. Ak má pacient problémy s anizometriou už pri monovision

kontaktných šošovkách, je možné znížiť hodnotu myopie na nedominantnom oku, a tým zredukovať nežiaduce efekty. Nevýhodou je potreba dokorekcie na blízko okuliarmi. Zárok prebieha ako bežný LASIK, ale pozornosť sa musí dávať na to, aby bolo dominantné oko korigované na videnie do diaľky a nedominantné na blízko. Na oku do diaľky by po zákroku nemala ostať žiadna zostatková vada.

Väčšina pacientov, ktorí splnili indikácie zákroku a nemali problém s monovision kontaktnými šošovkami, sa adaptuje na videnie po zákroku bez väčších problémov. Nájdu sa aj takí, u ktorých problémy pretrvávajú. Môžu to byť komplikácie spojené priamo so zákrokom LASIK (syndróm suchého oka, záhyby lamely, keratitis), alebo neschopnosť adaptovať sa na monovision, najčastejšie kvôli anizometrii. Vyššie hodnoty anizotropie väčšou mierou zasahujú do binokulárneho videnia, ovplyvňujú hlavne hodnoty stereopsie (priestorové videnie). S anizometriou súvisí aj výraznejšie zníženie kontrastnej citlivosti, ktoré nastáva pri priestorových frekvenciách 18 cyklov/° a vyššie. Pri slabom osvetlení dochádza k zníženiu už pre frekvencie väčšie než 4 cyklov/°. Binokulárna kontrastná citlivosť sa pri vyšších hodnotách anizotropie rovná hodnotám monokulárnej, značí to supresiu jedného oka. Monovision nemá negatívny vplyv na rozsah zorného poľa ani na periférne videnie. Ďalším problémom, ktorý sa prejaví až po zákroku, môže byť dekompenzácia binokulárnej anomálie, ktorá bola kompenzovaná pred zákrokom. Jednoduché riešenie týchto problémov je nosenie doplňujúcej korekcie anizotropie v situáciách, keď nie je potrebné videnie do blízka, napr. pri šoférovaní v noci. V inom prípade sa pacient dobre adaptuje na monovision, ale potrebuje použiť okuliare pri určitých činnostiach kde pociťuje problémy. Ak bolo motiváciou pacienta zbaviť sa okuliarov, je možné výrazné problémy riešiť opakovaním zákroku, úpravou podkorigovaného oka, prípadne zjemnením anizotropie. Jednou z možností je úplná reverzia zákroku, kedy sa oko pôvodne korigované na blízko opakovaným LASIKom upraví na diaľku. [6, 8, 10, 14, 15]

PresbyLASIK

PresbyLASIK zahŕňa techniky využívajúce princípy LASIK operácie na vytvorenie bifokálnej plochy na rohovke prípadne multifokálnej plochy (Supracor), ktorá dokáže korigovať refrakčné vady do diaľky a zároveň zlepši videnie do blízka u presbyopov. Na dosiahnutie požadovaných dioptrických hodnôt v jednotlivých zónach rohovky musia byť v praxi zohľadnené viaceré faktory. Je potrebné zachovať

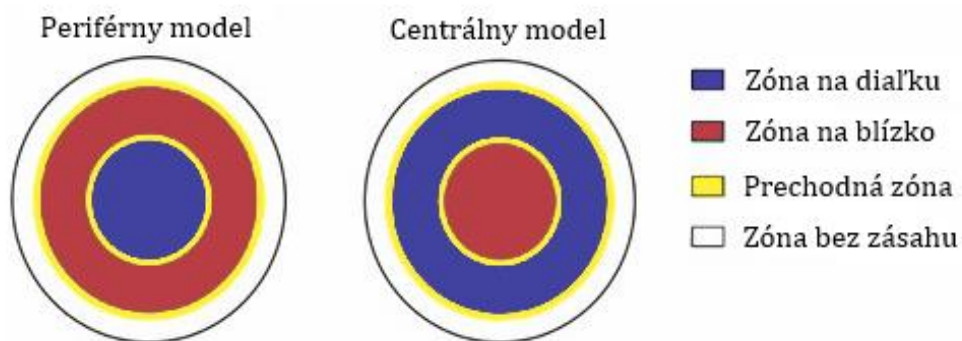
dostatočnú stromálnu hrúbku. Problém s vytváraním multifokálneho profilu môže nastať pri korekcii vyšších hodnôt refrakčných vád, pri ktorých je potrebná ablácia väčšieho množstva tkaniva. Finálny tvar rohovky po ablácii je dodatočne ovplyvnený lamelou, ktorá po priložení môže neúplne reprodukovat' tvar opracovanej stromy. Taktiež hojenie a biomechanické zmeny po zákroku môžu ovplyvniť výsledný tvar rohovky. Vo všeobecnosti tieto faktory naznačujú, že vytváranie progresívnych zón na rohovke je vhodnejším prístupom na dosiahnutie kvalitného videnia, než ostro ohraničené zóny videnia na blízko a diaľku. [3, 4, 11, 13]

Centrálny PresbyLASIK

Na rohovke je v centrálnej časti vytvorená zóna blízkeho videnia a periférii zóna videnia do diaľky (obr. 3). Vďaka minimálnemu odstráneniu rohovkového tkaniva v centrálnej časti je zákrok vhodný pre myopov, hypermetropov aj emetropov v presbyopickom veku. Správna centrácia je zásadná pre stabilný výsledok. [11, 16]

Periférny PresbyLASIK

Pri tejto technike je princíp vytvorenia zón opačný. Centrálne zóna je prispôbena na diaľku, zatiaľ čo periféria je na blízke videnie (obr. 2). Kvalita videnia úzko súvisí s priemerom pupily. Pri dilatácii pupil, napríklad pri mezopických podmienkach, periférna zóna na blízko kompromituje videnie na diaľku. Nevýhodou zákroku je nevhodnosť pre pacientov s myopiou, pretože pri vytvorení multifokálneho profilu je nutná ablácia veľkého množstva tkaniva z rohovky. [11, 16]



Obr. 3 Rozdielne modely ablácie PresbyLASIK, upravené z [11]

Supracor

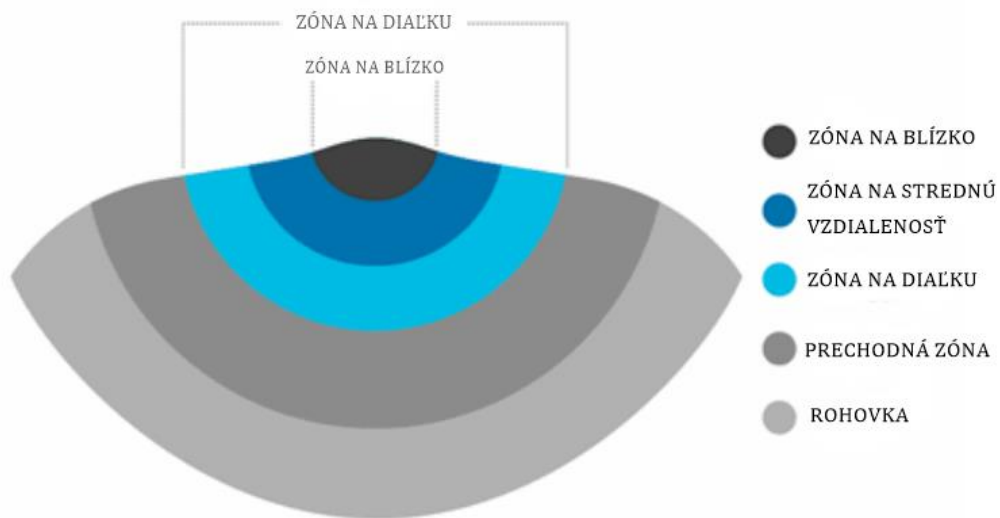
Supracor predstavuje multifokálny centrálny presbyopický LASIK zákrok. Pri fotoablácii sa vytvárajú postupné (progresívne) prechody medzi zónou videnia na blízko a diaľku. Tým sa minimalizuje vznik nechcených aberácií, ktoré by mohli zhoršovať kvalitu videnia. Výhodou je, že jedným zákrokom je možné korigovať refrakčnú vadu a presbyopiu zároveň. Kontrola očnej dominancie je dôležitým krokom pred zákrokom, pretože Supracor sa robí primárne na nedominantnom oku. V prípade, že vízus bez korekcie na dominantnom oku je 0,6 a viac, nechá sa oko bez zásahu a supracor sa použije len na nedominantné oko. Ak je vízus dominantného oka horší než 0,6, je možná jeho korekcia štandardným LASIK zákrokom, prípadne je na obe oči použitá metóda Supracor. Zákrok je individuálne prispôsobený potrebám a očakávaniam pacienta. Supracor nie je určený pre pacientov s vysokými nárokmi na videnie, napríklad profesionálnych šoférov, vodičov, ktorí často jazdia v noci a pod. [13, 16]

Všetci pacienti musia spĺňať prísne indikačné kritéria. Patria tu:

- presbyopia a hypermetropia +0,75 D až +4,0 D
- adícia nad 1,75 D
- astigmatizmus do 2,0 D cyl
- korigovaná zrková ostrosť na diaľku nad 0,8
- maximálny rozdiel medzi sférickým ekvivalentom a cykloplegickou refrakciou 0,75 D
- keratometria 41 až 45 D
- šírka zrenice 3 mm až 6 mm
- vek nad 46 rokov
- oko bez predošlých operácií
- dostatočná hrúbka rohovky (nad 500 μm)
- tolerancia voči adícii +0,5 D (simulácia videnia po zákroku, predradenie +0,5 D k plnej korekcii pred nedominantné oko) [11, 13, 16]

Pri zákroku sa vytvorí lamela hrubá 110 μm o priemere 9,2 mm femtosekundovým laserom (viď kap. 3.1). Algoritmus excimerového laseru vytvorí vyvýšenie (eleváciu) asi 12 μm v priemere 3 mm v centrálnej časti rohovky. Toto vyvýšenie predstavuje adíciu približne do +2 D. V okolí centrálného vyvýšenia je vytvorená prechodná zóna videnia na strednú vzdialenosť, minimalizujúca vznik

aberrácií (viď obr. 4). Postupom do periférie sa profil rohovky splošťuje, v priemere od 3 mm do 6 mm je vytvorená zóna videnia na diaľku. Supracor využíva princípy založené na prirodzenom zúžení zrenice pri pohľade do blízka, práve vtedy sa oko pozerá cez trojmilimetrovú zónu s prídavkom do blízka. Pri pohľade na diaľku je zrenica dilatovaná, čo umožní pohľad cez periférnu zónu umožňujúcu dobré videnie na diaľku. Po zákroku sa refrakcia do diaľky rovná 0 na dominantnom oku a -0,25 D na nedominantnom oku. [3, 10, 11, 13,16]



Obr. 4 Supracor rozdelenie zón, preložené z [43]

3.4 Termokoagulačné techniky a INTRACOR

Prvé pokusy o zmenu zakrivenia rohovky pomocou lokálneho zahrievania kolagénu siahajú do začiatkov 20. storočia. Využitie bolo pôvodne pre korekciu hypermetropie. Neskôr bola snaha o aplikovanie podobných metód pri korekcii presbyopie. Metódy zahŕňajú konduktívnu keratoplastiku (CK), laserovú termokeratoplastiku (LTK) a instrastromálne femtosekundové zákroky (INTRACOR). [1, 4]

Konduktívna keratoplastika CK

Pri konduktívnej keratoplastike sa do hĺbky 450 μm zavedie jemná kovová sonda, ktorá vytvorí osem bodov rozmiestnených do kruhu v periférii rohovky. Sondou prúdi vysokofrekvenčný prúd. Elektricky vodivý charakter rohovkového tkaniva umožní viesť elektrickú energiu stromou. Elektrický odpor tkanív vytvára lokálne

zahrievanie, zatiaľ čo kovová sonda, ktorá vedie prúd, ostáva chladná. Kontrolovaná kontrakcia kolagénu je vyvolaná, keď lokálne zahriatie dosiahne teplotu 65 °C až 75 °C. Výsledkom je strmá asférická centrálna plocha a sploštená periféria rohovky. Zákrok využíva metódu monovision. Nedominantné oko je ľahko až stredne myopizované (-1 D až -2 D), prispôsobené na blízke videnie. Vhodnými kandidátmi pre tento typ zákroku sú pacienti bez refrakčnej vady, starší ako 45 rokov, s význačnými prejavmi presbyopie, ktorí dobre znášajú monovision. V niektorých prípadoch je možné spolu s presbyopiou korigovať nízke hodnoty hypermetropie a astigmatizmu. Rizikom pri CK je indukovaný astigmatizmus vyvolaný buď nesymetrickým umiestnením bodov, alebo nerovnakou hĺbkou zavedenia sondy. [1, 4]

Podobný spôsob je použitý pri laserovej termokeratoplastike (LTK). Zdroj tepla pri LTK je Ho YAG laser, využívajúci infračervené žiarenie 2100 nm. Táto metóda je na rozdiel od CK bezkontaktná. Obidve metódy prinášajú len krátkodobé výsledky. Z dlhodobého hľadiska sa zraková ostrosť do blízka postupne degraduje. Z toho dôvodu sa metódy CK a LTK v súčasnosti pre korekciu presbyopie takmer nepoužívajú. [1, 4, 6]

INTRACOR

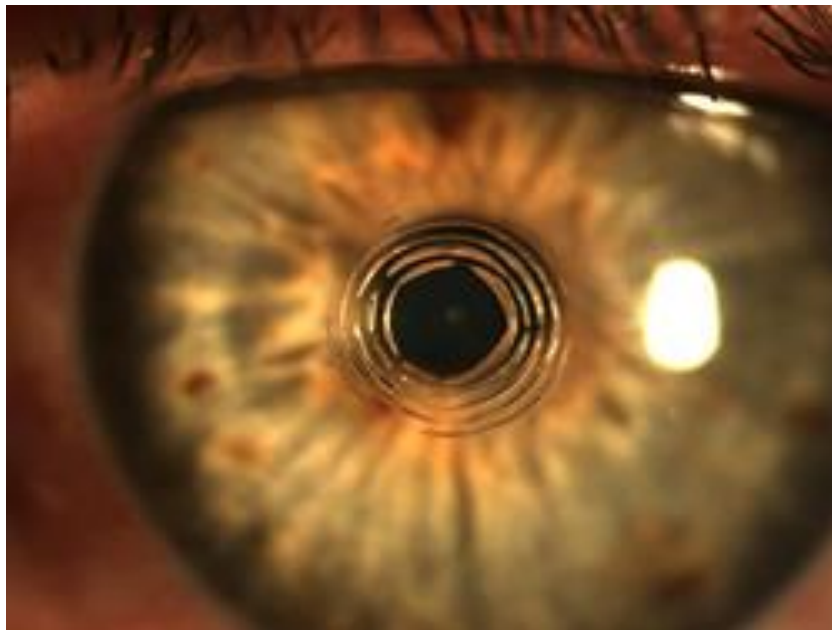
INTRACOR je femtosekundový laserový zákrok, aplikovaný čisto intrastromálne, bez vzniku povrchovej rany. Je to relatívne nová metóda korekcie presbyopie. Prvý krát ho vykonal Ruiz v roku 2007. Presnosť zákroku závisí na správnej centrácii na stred zrenice a fixácii laserového prístroja na oko. Vzor rezov je individualizovaný v závislosti na refrakčnej sile oka, ako aj biomechanických a geometrických vlastnostiach rohovky. Pri výpočte vzoru rezov systém laseru vychádza zo zadaných parametrov rohovky získaných v predoperačných vyšetreniach (viď kap. 3.2). Medzi indikačné kritéria patria:

- subjektívna sférická refrakcia +0,5 až +1,25 D, astigmatizmus max. 0,5 D cyl
- hrúbka rohovky $\geq 500 \mu\text{m}$
- adícia $\geq +1,5\text{D}$
- rohovkový astigmatizmus max. 2 D cyl
- keratometria od 39 D do 48 D

Pri laserovom výkone sa fotodisrupciou (viď kap. 3.1) vytvorí séria 3 až 5 koncentrických kruhových rezov v stromálnej vrstve rohovky. Uvoľnená plazma

vytvára mikroskopické bubliny, ktoré sú v okolí rezov viditeľné krátko po zákroku, neskôr sa vstrebajú (viď obr. 5). Epitelová vrstva nad miestami výkonu lasera ostáva nepoškodená. Koncentrické kruhové rezy remodelujú okolité tkanivo. Nová mechanická rovnováha, vytvorená vplyvom vnútroočného tlaku a síl vo vnútri rohovky, spôsobí zväčšenie zakrivenia centrálnej plochy rohovky. Postupom do periférie sa rohovka sploštuje, videnie na diaľku je ovplyvnené len minimálne. Predpokladá sa, že koncentrické kruhy zmenou štruktúry rohovky navodzujú v oku negatívne sférické aberácie, a tým ovplyvňujú hĺbku ostrosti. Oblasť s kruhovými rezmi, oddeľujúca perifériu rohovky od centrálnej oblasti na blízko, vytvára prechodnú oblasť videnia na strednú vzdialenosť.

Zákrok môže byť podobne ako iné techniky aplikovaný monokulárne na nedominantné oko alebo binokulárne, v závislosti od individuálnych nárokov pacienta. Zákrok je vhodný pre korekciu presbyopie u emetropických pacientov. [4, 6, 9]



Obr. 5 Mikroskopické bubliny v okolí rezov po zákroku, prevzaté z [42]

3.5 Rohovkové implantáty

Rohovkové implantáty sú kruhové útvary z biokompatibilného materiálu implantované do rohovkovej stromy pod lamelu, alebo do vaku vytvoreného pomocou femtosekundového lasera. Prítomnosť implantátu by nemala ovplyvňovať prirodzenú

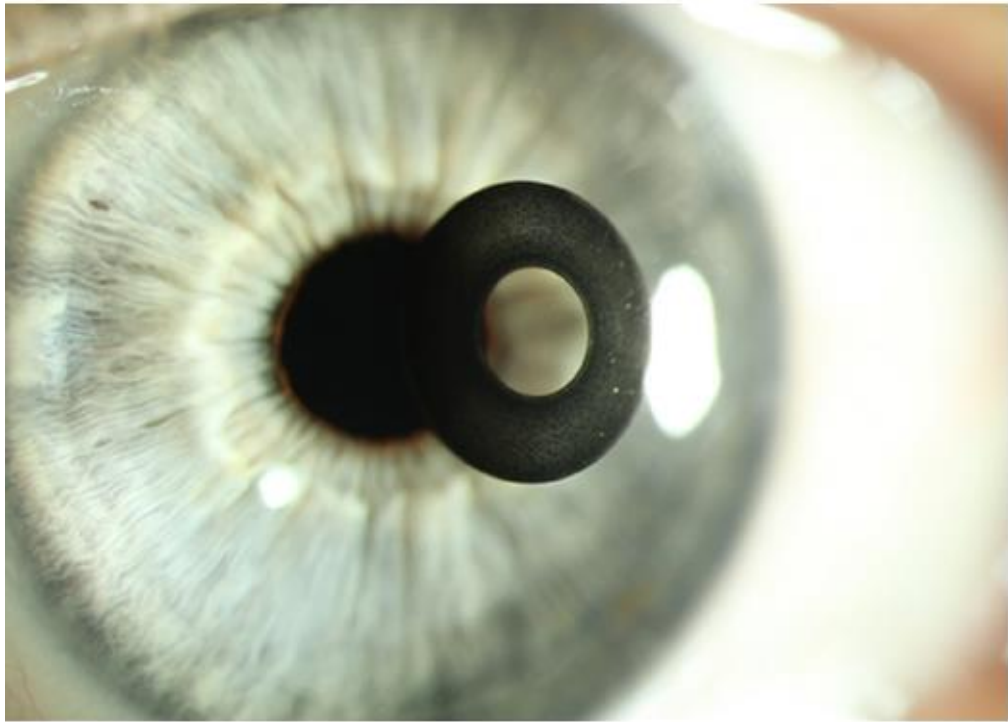
výmenu látok naprieč rohovkou. Výhodou je jednoduchá reverzibilita zákroku. V kombinácii s refrakčnou operáciou sú rohovkové implantáty bezpečné, účinné riešenie presbyopie pre pacientov s myopiou aj hypermetropiou.

V súčasnosti sú dostupné tri typy rohovkových implantátov pre korekciu presbyopie. KAMRA implantát funguje na princípe stenopeickej clony. FlexiVue Microlens sú implantáty s odlišným indexom lomu od indexu lomu rohovky. Správajú sa ako multifokálne šošovky. Raindrop implantáty menia zakrivenie centrálnej časti rohovky, čím zväčšujú jej refrakčnú silu. [1, 4]

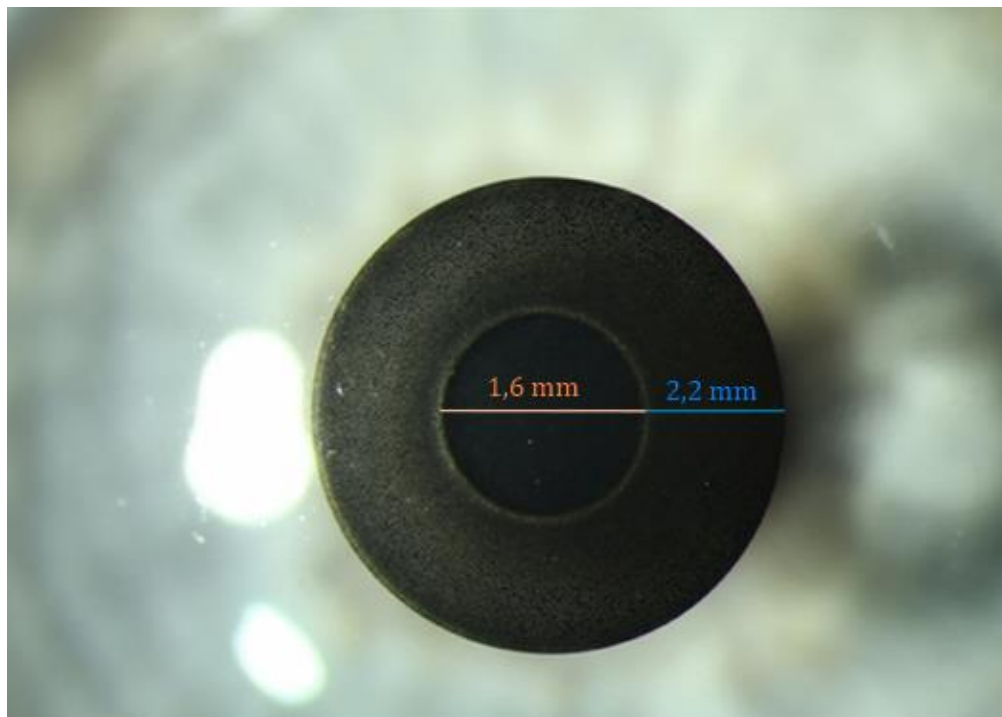
Implantát KAMRA

Je jedna z najnovších metód korekcie presbyopie. Prstencový implantát má vonkajší priemer 3,8 mm. Otvor v strede o priemere 1,6 mm funguje ako stenopeická clona. Nezasahuje do dioptrického stavu oka, videnie do blízka zlepšuje zväčšením hĺbky ostrosti. Implantát s hrúbkou len 5 μm po implantovaní do rohovky neovplyvňuje jej tvar. Je vytvorený z biokompatibilného polyméru. Je zafarbený, no nie je úplne nepriehľadný. Tvorí ho množstvo mikroperforácií, vytvorených laserom, ktoré zabezpečujú prísun živín do okolitého tkaniva. Sú viditeľné na obrázku 7 ako rozptýlené čierne bodky na implantáte. Perforácie nezasahujú do optickej funkcie implantátu. Implantuje sa monokulárne do nedominantného oka, dominantné oko je ponechané na dobré videnie do diaľky. KAMRA sa vkladá do puzdra pod lamelu, hrubú 200 μm , vytvorenú femtosekundovým laserom. Zásadná je správna centrácia implantátu na osu videnia. Pri pohľade do blízka je navodené stenopeické videnie. Svetlo dopadajúce na sietnicu je obmedzené stredovým otvorom implantátu. Pri zväčšení zrenice svetlo dopadá na sietnicu aj cez vonkajšie okraje implantátu, dochádza tu k zvýšeniu aberácií vyšších rádov, a tým k zníženiu kontrastnej citlivosti. [4, 17, 18]

Je klinicky dokázané, že stenopeická clona je účinným prostriedkom na zväčšenie hĺbky ostrosti, napriek tomu sa javí ako problém potenciálna redukcia svetla dopadajúceho na sietnicu cez malý apertúrny otvor. Táto redukcia môže viesť k zníženej kontrastnej citlivosti a zhoršenému videniu v mezopických alebo skotopických podmienkach. Avšak pacienti, ktorí majú implantát KAMRA v nedominantnom oku, subjektívne pociťovali malý alebo žiadny rozdiel jasu vnímaný každým okom zvlášť. Ak by jas svietiaceho bodu bol vnímaný jedným okom viac, výsledný vnem by bol vnímaný ako blikanie tohto bodu. [4, 17, 18]



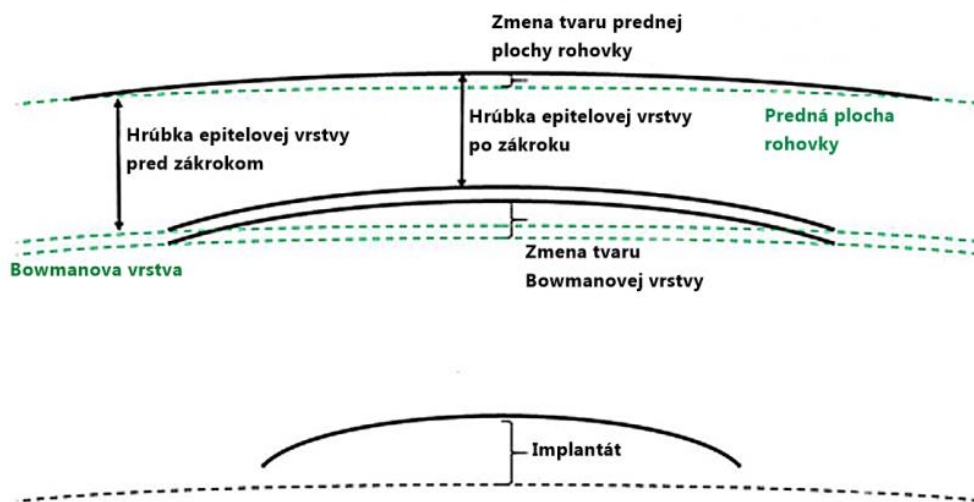
Obr. 6 Implantát KAMRA v oku pacienta, prevzaté z [18]



Obr. 7 Vnútorý priemer a šírka prstenca implantátu, prevzaté z [18]

Implantát Raindrop

Implantát je z priehľadného hydrogélového materiálu o priemere 2 mm. Materiál je priepustný, nebráni normálnej výmene látok v rohovke. Pri implantácii nie je potrebné odstránenie rohovkového tkaniva. Index lomu má rovnaký ako okolité rohovkové tkanivo ($n=1,376$). Raindrop vytvára strmý povrch rohovky, a tým mení jej refrakčnú silu. Špecifický tvar implantátu zlepšuje centrálné videnie do blízka s postupným prechodom do nezmenenej periférie rohovky. V centrálnej časti má implantát hrúbku okolo $30\ \mu\text{m}$, smerom ku okrajom sa stenčuje. Predný povrch rohovky sa vyvýši v priemere o $9,8\ \mu\text{m}$. Táto zmena hrúbky rohovky prináša zlepšenie videnia na blízko aj strednú vzdialenosť. Na obrázku 8 je zobrazené uloženie implantátu. Po čase sa epitelová vrstva nad implantátom začne stenčovať, čím čiastočne zjemní eleváciu nad implantátom. [4, 19]



Obr. 8 Schéma zmeny tvaru rohovky pri zákroku, vytvorené podľa [20]

Raindrop je implantovaný pod lamelu o priemere 8 mm a hrúbke $150\ \mu\text{m}$ do nedominantného oka. Implantát je uložený na stromálne lôžko do stredu dilatovanej zrenice. Pred priložením lamely sa nechá minútu schnúť, aby sa nedošlo k jeho decentrovaniu. [4, 19]

Implantáty Raindrop sú bezpečným riešením pre emetropických pacientov, ako aj pre pacientov s hypermetropiou a myopiou. Hodnoty refrakčných vád v rozmedzí $-0,5\ \text{D}$ až $+1,50\ \text{D}$ pred implantáciou sú ideálne pre dosiahnutie kvalitných výsledkov. [19]

Implantát FlexiVue Microlens

Je refrakčný implantát z hydrofilného priehľadného materiálu o priemere 3 mm. Hrúbka implantátu sa pohybuje v rozmedzí od 15 μm do 20 μm . Hrúbka je závislá od dioptrickej sily implantátu. Implantát má tvar disku, centrálna zóna o priemere 1,8 mm je bez dioptrickej sily. Periférna prstencová zóna je refrakčná, s prídavkom do blízka. Dostupné sú implantáty s adíciou od +1,25 D do +3,00 D. Výmenu látok a živín v okolí implantátu uľahčuje malý 0,15 mm centrálny otvor. [4, 6]

Implantát FlexiVue Microlens predstavuje bifokálny optický systém. Je implantovaný monokulárne, využíva upravenú techniku monovision. Pri pohľade do diaľky lúče vstupujúce do oka cez centrálnu (plano) časť a cez perifériu rohovky, kde už implantát nezasahuje, vytvoria na sietnici ostrý obraz. Pri pohľade do blízka lúče prechádzajúce cez refrakčnú zónu implantátu (s adíciou) vytvoria na sietnici ostrý obraz. Optický efekt implantátu je do veľkej miery závislý od priemeru zrenice. Zraková ostrosť do blízka je najlepšia pri veľkosti zrenice 3 mm. Pri väčšom priemere zrenice, ktorý odpovedá pohľadu do diaľky, sa efekt znižuje. Pri optimálnom osvetlení je kvalita videnia najlepšia, pri veľmi jasnom svetle alebo v šere sa zhoršuje.

FlexiVue implantát sa vkladá intrastromálne do hĺbky 280 μm - 300 μm . Lamela, pod ktorú sa vkladá implantát, sa vytvára pomocou femtosekundového laseru. Vytvorená kapsula v rohovke sa jemne oddelí špeciálnym nástrojom a následne je vložený implantát centrován na osu videnia. [6]

4 POROVNANIE VÝSLEDKOV

K dispozícii je množstvo štúdií hodnotiacich výsledky po rohovkových zákrokoch, s dobou sledovania od 6 mesiacov po 5 rokov. V nasledujúcej kapitole je porovnanie vizuálnych výsledkov po zákrokoch, hodnoty nekorigovanej zrakovéj ostrosti do diaľky (NZOD) a do blízka (NZOB). Vo výsledkoch je zahrnutá subjektívna spokojnosť pacientov a tiež percentá tých, ktorí dosiahli nezávislosť na okuliarovej korekcii po zákroku. Pri klasických laserových zákrokoch a rohovkových implantátoch je vo výsledkoch zahrnuté percento pacientov, ktorí podstúpili úplnú reverziu, prípadne úpravu refrakcie dolaserovaním. [10, 21]

4.1 Vizuálne výsledky

Monovision

Pri metóde monovision je zraková ostrosť najviac ovplyvňovaná navodenou anizometriou spojenou so zmenami kontrastnej citlivosti a znížením stereopsie. Napriek týmto zmenám sa miera úspešnosti klasických laserových zákrokov monovision sa pohybuje od 72 % do 98 %. Výhodou excimerového zákroku je možnosť dolaserovania alebo úprava na štandardnú dioptrickú korekciu do diaľky. Zo štúdií [22, 25] vyplýva, že častejšie sa opakovane upravuje oko na diaľku než na blízko (viď tab. 2). Potvrdzujú to výsledky v štúdií Relly a kol. [25], kde až 17 pacientov podstúpilo dolaserovanie dominantného oka na diaľku, a len 6 pacientov vyžadovalo úpravu oka na blízko. V tejto štúdií bolo 30 pacientov, ktorí vyskúšali monovision kontaktné šošovky, spokojných s výsledkom. Z ostatných 52 pacientov, ktorí neprešli skúšobnou dobou s kontaktnými šošovkami, boli 2 nespokojní natoľko, že podstúpili úpravu na štandardnú dioptrickú korekciu do diaľky. [21, 25]

Tab. 2 Výsledky Lasik monovision, NZOB nekorigovaná zrková ostrosť na blízko, NZOD nekorigovaná zrková ostrosť na diaľku

Autor	Počet pacientov	Doba sledovania (mesiace)	NZOB	NZOD	Nezávislosť na okuliaroch po zákroku	Spokojnosť pacientov	Opakovaný výkon % (počet pacientov)
Falcon a kol. [22]	173	1-28	98,8 % ≥ J3	91,9 % ≥ 20/20	97,11 %	93,64 %	13,87 % (24)
Alarcon a kol. [23]	25	3	90 % ≥ J1	90 % ≥ 20/20	–	92 %	–
Levinger a kol. [24]	40	12	94,7 % ≥ J1	92,1 % ≥ 20/32	90,87 %	85 %	10 % (4)
Reilly a kol. [25]	82	6	98,9 % ≥ J2	100 % ≥ 20/25	–	97,60 %	7 % (6) oko na blízko 21 % (17) oko na diaľku

PresbyLASIK

Pri klasickom zákroku PresbyLASIK je na rohovke vytváraná multifokálna plocha. Existujú dva typy týchto zákrokov, periférny a centrálny (viď kap. 3.3). Pre pacientov s myopiou nie je vhodný periférny PresbyLASIK, avšak výsledky štúdie Epstein a kol. [28] podporujú využívanie periférneho PresbyLASIKu pri hypermetrii aj pri nízkej myopii. V tejto štúdii bola multifokálna plocha vytvorená na nedominantnom oku. Na dominantnom oku bola refrakčná vada upravená klasickým LASIK zákrokom. Zárok postúpilo 75 myopov a 28 hypermetropov v presbyopickom veku (viď tab. 3). Druhý typ PresbyLASIKu je vďaka minimálnej ablácii tkaniva vhodný pre obe skupiny pacientov, čo potvrdzujú aj výsledky zo štúdie Luger a kol. [27]. Vo výsledkoch štúdie bilaterálneho centrálného PresbyLASIKu [26], sa zhoršil vízus o 2 riadky oproti najlepšej korigovanej zrakovej ostrosti u 20 % pacientov. Táto štúdia hovorí aj o výraznejšom poklese kontrastnej citlivosti pri priestorových frekvenciách 3, 6, 9, 12 cyklov/° po 6 mesiacoch sledovania. Na pokles kontrastnej citlivosti poukazujú aj výsledky ročného sledovania laserovej metódy Supracor [13], kde pred zákrokom u všetkých 8 pacientov (16 očí) boli hodnoty kontrastnej citlivosti v norme. Po zákroku ostalo v norme len 11 očí a u 5 očí bola znížená pri vyšších priestorových frekvenciách 12 a 18 cyklov/°. Vybrané štúdie potvrdzujú zlepšenie zrakovej ostrosti do blízka po zákroku. Miera celkovej úspešnosti zákrokov PresbyLASIK sa pohybuje od 76 % do 100 %. [13, 21, 26, 28]

Tab. 3 Výsledky zákroku PresbyLASIK, *H* – hypermetrop, *M* - myop

Autor	Typ	Počet pacientov	Doba sledovania (mesiace)	NZOB	NZOD	Nezávislosť na okuliaroch po zákroku	Spokojnosť pacientov	Opakovaný výkon % (počet pacientov)
Alio a kol. [26]	Centrálny	25	6	72 % ≥ J3	64 % ≥ 20/20	72 %	76 %	12 % (3)
Luger a kol. [27]	Centrálny	31	12	84 % ≥ J1	70 % ≥ 20/25	72 %	76 %	–
Epstein a kol. [28]	Periférny	103	12	71,4 % ≥ J1 (H) 65,3 % ≥ J1 (M)	67,9 % ≥ 20/20 (H) 70,7 % ≥ 20/20 (M)	91,3 %	–	28,6 % (8 H) 26,6 % (20 M)
Machačová a kol. [13]	Centrálny	8	12	87,5 % ≥ J3	100 % ≥ 20/20	87,5 %	87,5 %	–

Rohovkové implantáty

Súčasnú štúdiu považujú rohovkové tvarujúce a refrakčné implantáty za relatívne bezpečné a efektívne riešenie presbyopie so sľubnými dlhodobými výsledkami. V tabuľke 4 sú pre porovnanie vybrané výsledky po implantácii 3 typov presbyopických implantátov. Štúdiá zhotovená Dexl a kol. [34] dlhodobým sledovaním monokulárneho implantátu KAMRA pri emetropických pacientoch preukázala zlepšenie binokulárnej NZOB z J6 predoperačne na J2. Do diaľky bol nameraný nepatrný pokles vízu monokulárne na oku s implantátom, avšak 93,5 % pacientov malo pooperačne binokulárnu hodnotu vízu 20/20 a lepšie (viď tab. 4). Z 32 implantátov bol jeden odstránený kvôli nespokojnosti pacienta. V podobnej štúdii [33], kde súbor pacientov tvorili emetropovia alebo pacienti po predošlom refrakčnom LASIK zákroku, boli z 39 implantátov 4 odstránené. V dvoch prípadoch boli odstránené kvôli nesprávnemu vytvoreniu lamely pri zákroku (buttonhole flap, tenká lamela) a v ďalších kvôli navodeniu refrakčnej vady s pridruženými oslneniami (glare) a halo efektmi. Vo všeobecnosti má KAMRA spojená s klasickým laserovým zákrokom vysokú úspešnosť. Pooperačne môže byť videnie ovplyvnené halo a glare efektmi ako aj syndrómom suchého oka. Implantát Raindrop po implantácii mení tvar rohovky, a tým aj jej refrakčnú silu (viď. kap 3.5). V štúdii Garza a kol. [30] všetkých 20 emetropických pacientov, ktorým bol implantovaný do nedominantného oka, prečítalo na blízko J3 a na diaľku mala väčšina NZOD lepšiu než 20/25. Kvôli nespokojnosti s výsledkom jeden pacient podstúpil vybratie implantátu. Ďalšie dve

štúdie [31, 32] hodnotia výsledky u skupiny hypermetropických a myopických pacientov po predošlom LASIK zákroku. Úspešnosť u oboch bola porovnateľná. Pri hypermetropickej skupine s implantátom Raindrop sa nameraná hodnota zrakovej ostrosti do diaľky dokonca zlepšila z 20/53 predoperačne na 20/19. U jedného z pacientov pre opakujúci sa zákal v okolí implantátu musel byť odstránený. Vo výsledkoch 12 mesačného sledovania Limnopoulou a kol. [29] bol po implantácii refrakčného implantátu FlexiVue u 75 % pacientov zaznamenaný nárast zrakovej ostrosti operovaného oka do blízka na 20/32 a zhoršenie zrakovej ostrosti na diaľku z 20/20 na 20/50. Binokulárna zraková ostrosť sa priemerne zhoršila o 1 riadok. [21, 29, 32, 33, 34]

Tab. 4 Výsledky po implantácii rohovkových implantátov

Autor	Typ	Počet pacientov	Doba sledovania (mesiace)	NZOB	NZOD	Nezávislosť na okuliaroch po zákroku	Spokojnosť pacientov	Odstránenie implantátu % (počet pacientov)
Limnopoulou a kol. [29]	FlexiVue	47	12	100 % ≥ J3	100 % ≥ 20/50	93,75 %	81,25 %	–
Garza a kol. [30]	Raindrop	20	12	100 % ≥ J2	85 % ≥ 20/40	84 %	95 %	5 % (1)
Chayet a kol. [31]	Raindrop+ LASIK	16	12	100 % ≥ J2	100 % ≥ 20/19	–	100 %	6,25 % (1)
Garza a kol. [32]	Raindrop+ LASIK	30	12	100 % ≥ J2	93 % ≥ 20/25	98 %	90 %	0
Yilmaz [33]	Kamra	39	52,2	96 % ≥ J3	97 % ≥ 20/32	–	≈100 %	10,25 % (4)
Dexl a kol. [34]	Kamra	32	60	74,2 % ≥ J3	93,5 % ≥ 20/32	–	83,9 %	3,13 % (1)

Konduktívna keratoplastika

Konduktívnou keratoplastikou sa v minulosti riešila hypermetropia, neskôr sa začalo uvažovať o použití pri korekcii presbyopie. Mnohé štúdie potvrdili regresiu efektu už pri korekcii hypermetropie. Štúdia Mcdonalda a kol. [36] potvrdila degradáciu efektu u presbyopických pacientov. Na operovanom oku sa sférický ekvivalent menil o 0,04 D za mesiac, prvé tri mesiace sledovania, potom o 0,06 D za mesiac. V ďalšej štúdií Stahl a kol. [35] v trojročnom sledovaní namerali zmenu sférického ekvivalentu o 0,25 D za rok. Súbor tejto štúdie tvorilo 10 pacientov, ktorí podstúpili CK na nedominantnom oku. Vo výsledku 78 % pacientov malo NZOD 20/20 a lepšie, do blízka po troch rokoch zvládli prečítať J3. Táto štúdia preukázala relatívnu bezpečnosť a krátkodobú stabilitu zákroku v presbyopii. [10, 35, 36]

Tab. 5 Výsledky zákroku CK

Autor	Počet pacientov	Doba sledovania (mesiace)	NZOB	NZOD	Nezávislosť na okuliaroch po zákroku	Spokojnosť pacientov
Stahl a kol. [35]	10	36	78 % \geq J3	78 % \geq 20/20	77 %	–
McDonald a kol. [36]	143	6	85 % \geq J3	85 % \geq 20/25	–	76 %

INTRACOR

Súbor doterajších štúdií hodnotí INTRACOR ako metódu so stabilnými výsledkami s vysokou spokojnosťou pacientov. Štúdie ukazujú výrazné zlepšenie zrakovej ostrosti do blízka s minimálnym ovplyvnením videnia do diaľky. V štúdiu Holzer a kol. [38] u pacientov došlo k zlepšeniu NZOB z 20/100 predoperačne na 20/32 (J3). V priebehu 12 mesačného sledovania bol u 7,1 % pacientov nameraný 0,5 D myopický posun, čo malo za následok zhoršenie o 2 riadky. Niektorí subjektívne pocítovali mierne oslnenia a halo efekty. Vo výsledkoch ročného sledovania Žiak a kol. [9] sa nevyskytli žiadne pooperačné komplikácie ani regresie efektu zákroku. V súbore 10 pacientov bol u jedného pacienta zaznamenaný výrazný myopický posun -1,25 D, ktorým bol ovplyvnený monokulárny vízus operovaného oka. Po zákroku 4 pacienti používali pri určitých činnostiach okuliare na blízko. Výsledky z ďalších štúdií refrakčného zákroku INTRACOR sú v tabuľke 6. [9, 38]

Tab. 6 Výsledky INTRACOR

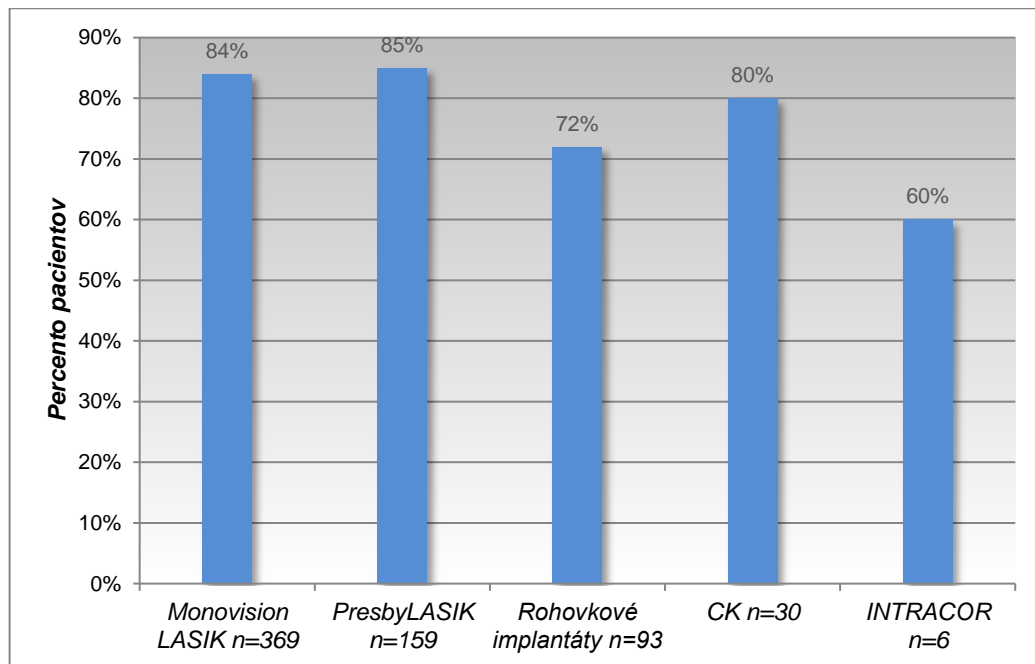
Autor	Počet pacientov	Doba sledovania (mesiace)	NZOB	NZOD	Nezávislosť na okuliaroch po zákroku	Spokojnosť pacientov
Thomas a kol. [37]	20	12	\approx J1	\approx 20/20	–	83 %
Holzer a kol. [38]	63	12	70,7 % \geq J3	95 % \geq 20/40	–	71,4 %
Bohac a kol. [39]	72	3	88,23 % \geq J3	\approx 20/20	–	98 %
Žiak a kol. [9]	10	12	60 % \geq J1	70 % \geq 20/16	60 %	80 %

4.2 Subjektívna spokojnosť pacientov

Naplniť očakávania pacienta podstupujúceho refrakčný zákrok v presbyopii a zaručiť mu dostatočné videnie na diaľku aj blízko, aby už nebol závislý na okuliarovej alebo inej korekcií, je niekedy naozaj náročné. Hlavne pri pacientoch, ktorí väčšinu

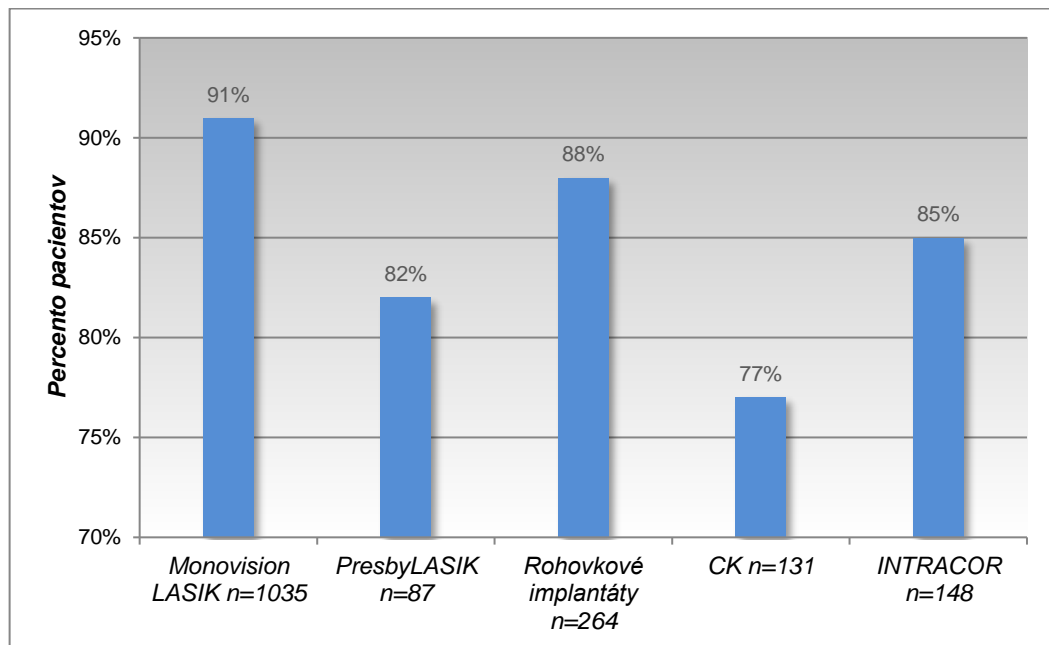
života mali perfektnú zrakovú ostrosť na diaľku a ich hlavným problémom je nastávajúca presbyopia. Po väčšine rohovkových zákrokov sa môže stať, že v binokulárnej zrakovej ostrosti na diaľku stratia jeden až dva riadky oproti najlepšej korigovanej zrakovj ostrosti. Prípadne zažívajú oslnenia, alebo halo efekty okolo svetiel, ktoré im prekážajú pri činnostiach ako šoférovanie, pri slabom svetle a pod.

Na obrázku 9 sú zobrazené percentá pacientov nezávislých na používaní okuliarov po zákroku. V grafe je uvedená priemerná percentuálna nezávislosť pacientov z viacerých dostupných štúdií. V štyroch štúdiách MonovisionLASIK bolo priemerne 84 % pacientov nezávislých na okuliaroch. Nezávislosť sa v jednotlivých štúdiách pohybovala od 68 % do 97 % . V súbore pacientov zo štyroch štúdií po PresbyLASIKu nepotrebovalo okuliare 85 % pacientov (rozmedzie 72 - 91 %). Pri rohovkových implantátoch bola priemerná nezávislosť na okuliaroch pri všetkých troch typoch implantátov 72 %. V súbore pacientov s KAMRA implantátom bolo úplne nezávislých na okuliaroch len 12,5 % pacientov, čo spôsobilo celkovo nižšiu priemernú hodnotu. Pri ostatných typoch implantátov okuliare po implantácii nepotrebovalo 84 - 98 % pacientov. Pri konduktívnej keratoplastike z dvoch štúdií 80 % pacientov nepoužívalo okuliare. Pri INTRACORE bolo percento pacientov nižšie v porovnaní s ostatnými zákrokmi pre nedostatok štúdií. Len jedna štúdia uvidela nezávislosť na okuliaroch u 60 % pacientov, čo predstavovalo 6 z 10 pacientov v súbore. [10, 21]



Obr. 9 Percento pacientov nezávislých na nosení okuliarov po zákroku, *n* - počet pacientov, vytvorené podľa [9, 21]

Na obrázku 10 graf znázorňuje percento pacientov spokojných s celkovým výsledkom zákroku. Monovision LASIK sa ukazuje ako najúspešnejšia metóda korekcie. Jedná sa o najdlhšie využívanú techniku, preto sú údaje dostupné z veľkého množstva štúdií. V deviatich štúdiách sa percento spokojných pacientov pohybovalo od 80 – 94 %. Úspešnosť zákrokov PresbyLASIK sa pohybuje od 76 - 100 %. V ôsmich štúdiách bolo s rohovkovými implantátmi spokojných 88 % pacientov (rozmedzie 75 - 100 %). S výsledkom CK, v súčasnosti už nevyužívanou metódou, bolo v dvoch štúdiách spokojných 77 % pacientov. S INTRACORom bolo spokojných 85 % pacientov. Úspešnosť zákroku je porovnateľná s implantátmi alebo PresbyLASIKom. Grafy sú vytvorené podľa rozsiahlejšieho súhrnu výsledkov prác Moussa a kol. [21] a Mosquera a Alio [10].



Obr. 10 Percento pacientov spokojných s výsledkom podstúpeného zákroku, *n* - počet pacientov, vytvorené podľa [21]

4.3 Súhrn výhod a nevýhod

Všetky rohovkové refrakčné zákroky v presbyopii sú statickými metódami nahradenia straty akomodácie. Vizualne výsledky a princípy zákrokov sú najviac podobné presbyopickým kontaktným šošovkám. Na rozdiel od nich sú však priamym zásahom do oka, ktoré môže podnietiť radu patologických zmien na rohovke a problémy spojené so suchým okom. Avšak v porovnaní s vnútroočnými operáciami, ktoré majú invazívnejší charakter, sú riziká menšie. Negatívom sú prísne indikačné

kritériá, často aj limitujúca veková hranica. Tieto kritériá však predchádzajú vzniku väčších komplikácií a zaručujú dosiahnutie čo najlepších výsledkov. Všeobecnou výhodou a motiváciou pre podstúpenie refrakčného zákroku je zbavenie sa okuliarov alebo kontaktných šošoviek. Človek sa môže rozhodnúť pre operáciu aj z estetických dôvodov. Okuliare mu nesvedčia, neznesie kontaktné šošovky, alebo jednoducho nechce dať na sebe poznať, že už sa dostal do veku kedy potrebuje okuliare na čítanie. V tabuľke 7 je zhrnutie hlavných negatív a pozitív jednotlivých rohovkových zákrokov.

Hlavným problémom pri monovision je umelo navodená anizometropia, ktorá môže negatívne ovplyvniť stereopsiu a vnímanie kontrastu. Táto metóda je inak spoľahlivá so stabilnými výsledkami, medzi výhody patrí možnosť opakovaného zákroku laserom. PresbyLASIK je alternatívne riešenie presbyopie bez rizík, ktorým možno nahradiť multifokálne vnútroočné šošovky. Medzi výhody patrí možnosť matematicky vypočítať a optimalizovať výsledky na základe individuálnych parametrov pacienta. Videnie je do veľkej miery ovplyvňované veľkosťou pupil, čo môže byť nevýhodou v tmavých alebo naopak jasných svetelných podmienkach. Hlavnou výhodou rohovkových implantátov je minimálny invazívny charakter zákroku a reverzibilita. Nevýhodou pri implantátoch KAMRA je redukcia svetla dopadajúceho na sietnicu, ktorá môže predstavovať problém v zlých svetelných podmienkach. Nevýhodou refrakčných implantátov, tak ako pri iných bifokálnych a multifokálnych technikách, je redukovaný kontrast obrazu. Nevýhodou pri konduktívnej keratoplastike je dočasný efekt korekcie a indukovaný astigmatizmus, preto sa v súčasnosti už nepoužíva. Výhodou pri INTRACORE je zachovanie vonkajšej vrstvy rohovky, ktoré prispieva k väčšiemu komfortu pacienta po zákroku a rýchlej rehabilitácii. Nevýhodou oproti ostatným zákrokom je v súčasnosti nedostatok štúdií s dlhšou dobou sledovania výsledkov. [4, 6, 9]

Tab. 7 Výhody a nevýhody presbyopických rohovkových zákrokov, vytvorené podľa
[4, 6, 9, 10,19]

TYP ZÁKROKU	VÝHODY	NEVÝHODY
Monovision LASIK	<ul style="list-style-type: none"> - stabilný výsledok - reverzibilný - skúšobná doba s kontaktnými šošovkami - rýchla rehabilitácia 	<ul style="list-style-type: none"> - navodenie anizometropie - redukovaná kontrastná citlivosť a priestorové videnie - rozmazané videnie na strednú vzdialenosť
PresbyLASIK	<ul style="list-style-type: none"> - multifokálny efekt - možnosť dolaserovania - optimalizovaný výkon laseru - rýchla rehabilitácia 	<ul style="list-style-type: none"> - videnie závislé na veľkosti pupil - znížená kontrastná citlivosť - glare a halo efekty - potrebná ablácia väčšieho množstva tkaniva
Rohovkové implantáty	<ul style="list-style-type: none"> - reverzibilný - minimálne invazívne - kombinovateľné s klasickými refrakčnými zákrokmi - rýchla rehabilitácia 	<ul style="list-style-type: none"> - možná decentrácia - zakalenie implantátu - halo efekty - vyžaduje sa dobré znášanie monovision
Konduktívna keratoplastika	<ul style="list-style-type: none"> - minimálny zásah do rohovky 	<ul style="list-style-type: none"> - indukovaný astigmatizmus - dočasný efekt - využíva sa len pri emetropii
INTRACOR	<ul style="list-style-type: none"> - minimálny zásah do rohovky - multifokálny efekt - rýchly výkon - bez regresie efektu 	<ul style="list-style-type: none"> - glare a halo efekty - malé množstvo štúdií (neznalosť dlhodobých nepriaznivých efektov)

ZÁVER

Cieľom práce bolo vytvoriť prehľad možností rohovkových refrakčných zákrokov, ktorými sa koriguje presbyopia. Pri rohovkových zákrokoch je potrebné poznať základnú stavbu optického systému oka, hlavne parametre rohovky, ktoré boli popísané v prvej kapitole. Keďže proces presbyopie úzko súvisí s akomodáciou, v druhej kapitole bol vysvetlený mechanizmus akomodácie ako aj jej postupný úbytok s pribúdajúcim vekom. Ďalej je popísaná hĺbka ostrosti ako jeden z mechanizmov, ktoré môžu byť využité pri korekcii presbyopie. V tejto kapitole bola tiež popísaná presbyopia. Hlavnou časťou druhej kapitoly je prehľad metód korekcie presbyopie vrátane statických metód, ktoré nahrádzajú akomodáciu.

Ťažiskom celej práce je popis jednotlivých metód korekcie presbyopie pomocou rohovkovej chirurgie v kapitole 3. Najprv sú popísané prístupy laserovej techniky, ktoré sa využívajú na úpravu tvaru rohovky a predoperačné vyšetrenia, ktoré môžu odhaliť prípadné kontraindikácie zákrokov. Nasleduje prehľadný popis jednotlivých metód, rozdelený podľa typu zásahu do rohovky na klasické laserové zákroky, termálne zákroky a INTRACOR a na rohovkové implantáty. Rohovka sa ako optické médium nepodieľa na aktívnej akomodácii, a preto je možné rohovkovými zákrokmi len pasívne nahradiť stratu akomodácie. Základným konceptom zákrokov je korekcia jedného oka na diaľku a druhého na blízko. Najdlhšie používanou je technika monovision pri klasických laserových zákrokoch. V súčasnosti sa dostávajú do popredia rôzne modifikácie techniky monovision v spojení s multifokálnymi zákrokmi alebo s rohovkovými implantátmi.

Porovnanie jednotlivých zákrokov prináša posledná, štvrtá kapitola, vo forme rešerší niekoľkých dostupných štúdií, zameraná na zrakovú ostrosť a subjektívnu spokojnosť pacientov. Na záver boli prehľadne zhrnuté výhody a nevýhody jednotlivých zákrokov. Ukazuje sa, že klasické laserové zákroky sú najpoužívanejším typom zákrokov s najväčšou mierou spokojnosti pacientov. Kvalita výsledkov je porovnateľná s rohovkovými implantátmi, ktoré však nie sú na klinikách tak rozšírené. Inovatívny laserový intrastromálny zákrok INTRACOR, s množstvom výhod, má najväčší potenciál do budúcnosti. S vývojom refrakčnej chirurgie postupne napredujú aj metódy riešenia presbyopie, avšak súčasné techniky majú stále priestor na zlepšenie a ďalší rozvoj.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KUCHYNKA, P. a kol. Oční lékařství. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] ROZSÍVAL, P. *Oční lékařství*. vyd. 1. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1213-5
- [3] GLASSER, A. *Restoration of accommodation: surgical options for correction of presbyopia*. Clinical and experimental optometry, vol. 91, 2008, no. 3, 279 - 295
- [4] CHARMAN, W.N. *Developments in the correction of presbyopia II: surgical approaches*. Ophthalmic Physiological Optics, vol. 34, 2014, no. 4, 397 - 426
- [5] PLUHÁČEK, F., *Akomodace, presbyopie, afakie, amblyopie – zápisky predmetu Fyziologická optika, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017*
- [6] PALLIKARIS, I.G., PLAINIS, S., CHARMAN, W.N. *Presbyopia: origins, effects, and treatment*. Thorofare: SLACK Incorporated, 2012, ISBN 978-1-61711-026-9
- [7] ALIÓ, J. L. , ALIÓ DEL BARRIO, J.L., VEGA ESTRADA, A. *Accommodative intraocular lenses: where are we and where we are going*. Eye and Vision, vol. 4, 2017, no. 16., ISSN 2326-0254
- [8] KUCHYNKA, P., NOVÁK, P., STODULKA, P., STUDENÝ, P., *Klinický konsensus pro refrakční chirurgii, Vypracovala Česká společnost refrakční a kataraktové chirurgie. Česká a slovenská oftalmologie, roč. 73, 2017, č. 2, 80 - 83, ISSN:1211-9059*
- [9] ŽIAK, P., LUCKÁ, K., MOJŽIŠ, P., KATUŠČÁKOVÁ, I., HALIČKA, J. *Prvé skúsenosti s korekciou presbyopie femtosekundovým laserom metódou intracor*. Česká a slovenská oftalmologie, roč. 72, 2016, č. 3, s. 53 - 57, ISSN:1211-905
- [10] ARBA MOSQUERA, S., ALIÓ, J. L. *Presbyopic correction on the cornea*. Eye and Vision, vol. 1, 2014, no. 5, ISSN 2326-0254
- [11] VARGAS FRAGOSO, V., ALIÓ, J. L. *Corneal compensation of presbyopia: PresbyLASIK: an updated review*. Eye and Vision, vol. 4, 2017, no. 11
- [12] VESELÝ, P., BENEŠ, P., *Vyšetřovací metody v optometrii : a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0
- [13] MACHAČOVÁ, H., VLKOVÁ, E., MICHALCOVÁ, L., TRNKOVÁ, V., RYBÁROVÁ, N., *Supracor, Laserová metoda korekce presbyopie výsledky ročního sledování. Česká a slovenská oftalmologie, roč. 70, 2014, č. 4, s. 146 - 150, ISSN:1211-9059*

- [14] PENG, M.,Y., HANNAN, S., TEENAN, D., SCHALLHORN, S., J., SCHALLHORN, J.,M., *Monovision LASIK in emmetropic presbyopic patients*. Clinical Ophthalmology, vol. 12, 2018, 1665 - 1671 ISSN: 1177-5483
- [15] PIERAMICI, S. American Academy of Ophthalmology *EyeWiki Monovision LASIK* [online]. ©2020 [cit.2021-01-20]. Dostupné z: http://eyewiki.aaopt.org/Monovision_LASIK
- [16] SCHLOTE, T., HEUBERGER, A., *Multifocal corneal ablation (Supracor) in hyperopic presbyopia: 1- year result in a cross- sectional study*, European journal of ophthalmology, vol. 27, 2016, no. 4, 438 - 442 , ISSN 1120-6721
- [17] MANZANERA, S., WEBB, K., ARTAL, P., *Adaptation to Brightness Perception in Patients Implanted With a Small Aperture*. American journal of ophthalmology, vol. 197, 2019, 36 - 44, ISSN 00029394
- [18] LANGENBUCHER, A., GOEBELS, S., SZENTMÁRY, N., SEITZ, B., EPPIG, T., *Vignetting and Field of View with the KAMRA Corneal Inlay*. BioMed Research International, vol. 2013, 2013, 1 - 6, ISSN 2314-6133
- [19] VERDOORN, C., *Comparison of a hydrogel corneal inlay and monovision laser in situ keratomileusis in presbyopic patients: focus on visual performance and optical quality*. Clinical Ophthalmology, vol. 11, 2017, 1727 - 1734
- [20] LANG, A. J., HOLLIDAY, K., CHAYET, A., BARRAGÁN GARZA, E., KATHURIA, N., *Structural Changes Induced by a Corneal Shape-Changing Inlay, Deduced From Optical Coherence Tomography and Wavefront Measurements*. Investigative Ophthalmology Visual Science, vol. 57, 2016, no. 9, 154 - 161
- [21] MOUSSA, K., JEHangIR, N., MANNIS, T., WONG, W. L., MOSHIRFAR. M., *Corneal Refractive Procedures for the Treatment of Presbyopia*. The Open Ophthalmology Journal, vol. 11, 2017, no. 1, 59 - 75, ISSN 1874-3641
- [22] FALCON, C., NORERO MARTÍNEZ, M.,SANCHO MIRALLES, Y. *Laser Blended Vision for presbyopia: Results after 3 years*. J Fr Ophtalmol, vol. 38, 2015, no. 5, 431 - 9
- [23] ALARCÓN, A., ANERA, R. G., VILLA, C., DEL BARCO L. J., GUTIERREZ, R., *Visual quality after monovision correction by laser in situ keratomileusis in presbyopic patients*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, vol. 37, 2011, no. 9, 1629 - 1635, ISSN 0886-3350
- [24] LEVINGER, E., TRIVIZKI, O., POKROY, R., LEVARTOVSKY, S., SHOLOHOV G., LEVINGER, S. *Monovision Surgery in Myopic Presbyopes*. Optometry and Vision Science, vol. 90, 2013, no. 10, 1092 - 1097, ISSN 1040-5488
- [25] REILLY, CH. D., LEE, W. B., ALVARENGA, L., CASPAR, J., GARCIA-FERRER, F., MANNIS. M. J. *Surgical Monovision and Monovision Reversal in LASIK*. Cornea, vol. 25, 2006, no. 2, 136 - 138, ISSN 0277-3740

- [26] ALIÓ, J.L., CHAUBARD, J.J., CALIZ, A., SALA, E., PATEL, S. *Correction of presbyopia by technovision central multifocal LASIK (presbyLASIK)*. Journal of Refractive Surgery, vol. 22, 2006, no. 5, 453 - 460
- [27] LUGER, M. H. A., EWERING, T., ARBA-MOSQUERA, S. *One-Year Experience in Presbyopia Correction With Bifocal Multifocal Central Presbyopia Laser In Situ Keratomileusis*. Cornea, vol. 32, 2013, no. 5, 644 - 652, ISSN 0277-3740
- [28] EPSTEIN, R. L., GURGOS, M.A. *Presbyopia Treatment by Monocular Peripheral PresbyLASIK*. Journal of Refractive Surgery, vol. 25, 2009, no. 6, 516 - 523, ISSN 1081597X
- [29] LIMNOPOULOU, A.N., BOUZOUKIS, D. I., KYMIONIS, G.D., a kol. *Visual Outcomes and Safety of a Refractive Corneal Inlay for Presbyopia Using Femtosecond Laser*. Journal of Refractive Surgery, vol. 29, 2013, no. 1, 12 - 19, ISSN 1081-597X
- [30] GARZA, E. B., GOMEZ, S., CHAYET, A., DISHLER, J. *One-Year Safety and Efficacy Results of a Hydrogel Inlay to Improve Near Vision in Patients With Emmetropic Presbyopia*. Journal of Refractive Surgery, vol. 29, 2013, no. 3, 166 - 172, ISSN 1081-597X
- [31] CHAYET, A., GARZA, E. B. *Combined hydrogel inlay and laser in situ keratomileusis to compensate for presbyopia in hyperopic patients: One-year safety and efficacy*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, vol. 39, 2013, no. 11, 1713 - 1721, ISSN 0886-3350
- [32] GARZA, E. B., CHAYET, A. *Safety and efficacy of a hydrogel inlay with laser in situ keratomileusis to improve vision in myopic presbyopic patients: One-year results*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, vol. 41, 2015, no. 2, 306 - 312, ISSN 0886-3350
- [33] YILMAZ, Ö. F., ALAGÖZ, N, PEKEL, G., a kol. *Intracorneal inlay to correct presbyopia: Long-term results*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, vol. 37, 2011, no. 7, 1275 - 1281, ISSN 0886-3350
- [34] DEXL, A. K., JELL, G., STROHMAIER, C., SEYEDDAIN, O., a kol. *Long-term outcomes after monocular corneal inlay implantation for the surgical compensation of presbyopia*. Journal of Cataract and Refractive Surgery, vol. 41, 2015, no. 3, 566 - 575, ISSN 0886-3350
- [35] STAHL, J. E. *Conductive keratoplasty for presbyopia: 3-year results*. Journal of Refractive Surgery, vol. 23, 2007, no. 9, 905 - 910
- [36] MCDONALD, M. B., DURRIE, D., ASBELL, P., MALONEY, R., NICHAMIN, L. *Treatment of presbyopia with conductive keratoplasty: six-month results of the 1-year United States FDA clinical trial*. Cornea, vol. 23, 2004, no. 7, 661 - 668, ISSN 0277-3740

- [37] THOMAS, B. C., FITTING, A., AUFFARTH, G. U., HOLZER, M. P., *Femtosecond laser correction of presbyopia (INTRACOR) in emmetropes using a modified pattern*. Journal of Refractive Surgery, vol. 28, 2012, no. 12, 872 - 878
- [38] HOLZER, M.P., KNORZ, M.C., TOMALLA, M., NEUMANN, T.M., AUFFARTH, G.U. *Intrastromal femtosecond laser presbyopia correction: 1-year results of a multicenter study*. Journal of Refractive Surgery, vol. 28, 2012, no. 3, 182 - 188
- [39] BOHAC, M., GABRIĆ, N., ANTICIĆ, M., DRACA, N., DEKARIS, I., *First results of Intracor procedure in Croatia*. Collegium Antropologicum, vol. 35, 2011, no. 2, 161 - 166
- [40] TUNNACLIFFE H. A., *Introduction to Visual Optics*. Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0-900099-28-1
- [41] ŠOŠOVKY KONTAKTNÉ. *Akomodácia* [online]. ©2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.sosovsky-kontaktne.sk/slovník/akomodacia.html>
- [42] FEMME. *Presbyopia* [online]. ©2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://www.femme.sk/index.php/zdravie/zdravie/item/5510-presbyopia>
- [43] FERNANDES, D. H. *PresbyLasik*. *EyeWiki: American academy of ophthalmology* [online]. ©2018 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://eyewiki.aao.org/PresbyLASIK>