

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY



APLIKACE ORTOKERATOLOGICKÝCH ČOČEK

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Magdaléna Mýlková

obor N5345 OPTOMETRIE

studijní rok 2015/2016

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Ph.D

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením
RNDr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 10. 12. 2015

.....

Magdaléna Mýlková

Poděkování:

Děkuji svým spolužačkám Mgr. Elišce Hromádkové, Bc. Martině Šímové a Bc. Jitce Ošťádalové za ochotnou pomoc s měřením dat pro výzkum. Dále děkuji Prof. Dr. Andreasi Holschbachovi a jeho studentům z Hochschule Aalen za poskytnutí a aplikaci ortokeratologických čoček. Bez této pomoci by výzkum nebyl možný. Poděkovat bych také chtěla Mgr. Lucii Křepelové za pomoc s překlady německých zdrojů a podnětné připomínky. V neposlední řadě děkuji také vedoucímu práce RNDr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D za cenné rady a připomínky k práci.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2015_016.

Seznam použitých zkratek

AC	stabilizační křivka (z angl. <i>Alignment Curve</i>)
BOZR	základní křivka (z angl. <i>Back Optic Zone Radius</i>)
CAB	acetobutyrát celulózy (z angl. <i>Cellulose Acetate Butyrate</i>)
CKR	z angl. <i>Controlled KeratoReformation</i>
CNC	počítačem číslicově řízené (z angl. <i>Computer Numeric Controle</i>)
CRT	z angl. <i>Corneal Refractive Therapy</i>
D	dioptrie
Dk	permeabilita (propustnost) kontaktní čočky, rozměr: (cm ² /s) . [ml O ₂ /(ml . mmHg)]
DRL	čočka s dvojitým rezervoárem (z angl. <i>Double Reservoir Lens</i>)
<i>e</i>	excentricita
LASIK	z angl. <i>laser-assisted in situ keratomileusis</i>
<i>n</i>	index lomu
<i>p</i>	tvarový faktor rohovky
PC	periferní křivka (z angl. <i>Peripheral Curve</i>)
PMMA	polymethylmethakrylát
<i>Q</i>	asféricita rohovky
<i>R</i> ₀	poloměr zakřivení centra rohovky (apexu)
RC	reverzní křivka (z angl. <i>Reverse Curve</i>)
RGP	tvrdá plynopropustná čočka (z angl. <i>Rigid Gas Permeable</i>)
<i>R</i> _H	horizontální zakřivení apexu rohovky
RMS	střední směrodatná odchylka (z angl. <i>Root Mean Square</i>)
<i>r</i> _s	sagitální zakřivení periferie rohovky
<i>r</i> _t	tangenciální zakřivení periferie rohovky
<i>R</i> _v	vertikální zakřivení apexu rohovky
Φ	optická mohutnost

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Popis vybraných vlastností rohovky.....	8
2.1	Tvar rohovky.....	8
2.2	Tloušťka rohovky.....	11
2.3	Sagitální hloubka rohovky.....	12
3	Úvod do problematiky pevných kontaktních čoček.....	13
3.1	Materiály pevných kontaktních čoček.....	13
3.2	Materiály ortokeratologických kontaktních čoček.....	15
3.3	Konstrukce pevných kontaktních čoček.....	15
4	Historie ortokeratologie.....	18
5	Princip ortokeratologie.....	22
6	Stavba a parametry ortokeratologických čoček.....	25
6.1	Stavba ortokeratologických čoček.....	25
6.2	Parametry ortokeratologických čoček.....	27
7	Aplikace ortokeratologických čoček.....	31
7.1	Rohovková topografie.....	31
7.2	Profil vhodného kandidáta pro ortokeratologii.....	34
7.3	Kontraindikace aplikace ortokeratologických čoček.....	34
7.4	Způsoby aplikace ortokeratologických kontaktních čoček.....	35
7.5	Postup aplikace ortokeratologických kontaktních čoček.....	37
7.6	Vyhodnocení aplikace ortokeratologických čoček.....	39
8	Vliv ortokeratologických čoček na rohovku a vidění.....	48
8.1	Změny refrakce.....	48
8.2	Změny topografie.....	49
8.3	Změny v tloušťce rohovky.....	49

8.4	Změny vnitřních struktur rohovky	50
8.5	Změny kvality vidění	51
9	Praktická část	52
9.1	Cíle	52
9.2	Metodika.....	52
9.3	Výsledky	55
9.4	Diskuze.....	73
10	Závěr	76
11	Přílohy.....	83
	Příloha 1: EurOK Protokol	83
	Příloha 2: Doporučená podoba informovaného souhlasu	88
	Příloha 4: Rozdílové mapy	89
	Příloha 4: Slovník vybraných pojmů (česko-anglicko-německý)	92

1 Úvod

Ortokeratologie je technika korekce refrakčních vad, která využívá speciálně navržené pevné kontaktní čočky pro dočasnou (reverzibilní) změnu tvaru rohovky. Ortokeratologické čočky se obvykle používají v noci. Během spánku zformují rohovku tak, že ráno po vyjmutí čoček může člověk celý den vidět bez jiné korekce.

Základy metody položil už před více než půl stoletím George Jessen a od té doby se metoda zdokonaluje. Ve světě je ortokeratologie poměrně rozšířená metoda korekce refrakčních vad a v poslední době hojně diskutovaná zvláště v souvislosti s možnostmi zbrzdění nárůstu myopie u dětí a dospívajících.

Když jsem poprvé slyšela o této metodě korekce, přišlo mi to jako velmi zajímavé řešení. Myšlenka zbavit se korekce brýlemi nebo čočkami během dne mě fascinovala a hned jsem měla chuť si čočky vyzkoušet. V České republice se ale v současnosti aplikací ortokeratologických čoček nikdo nezabývá. I v české odborné literatuře je poměrně těžké najít zmínky o ortokeratologii. Nedostatek informací mě dovedl k úvahám o sepsání této práce. Chtěla jsem se dozvědět o této metodě víc a vyzkoušet si tuto korekci na vlastních očích. Díky studijnímu pobytu na německé univerzitě mi to bylo umožněno.

Cílem práce je shrnout poznatky o aplikaci ortokeratologických kontaktních čoček pro korekci myopie, jejich vlivu na oči a vidění a přiblížit tak studentům optometrie a odborníkům v Česku tuto problematiku. Toto je těžištěm teoretické části práce. Dalším cílem je vyhodnotit vliv aplikace ortokeratologické očky na zrakové funkce a tvarové parametry rohovky. Vzhledem k náročnosti a neobvyklosti aplikace bude hodnocena pouze jedna typická aplikace na vybraném subjektu ve formě případové studie. Toto hodnocení však bude podrobné a v rámci možností komplexní.

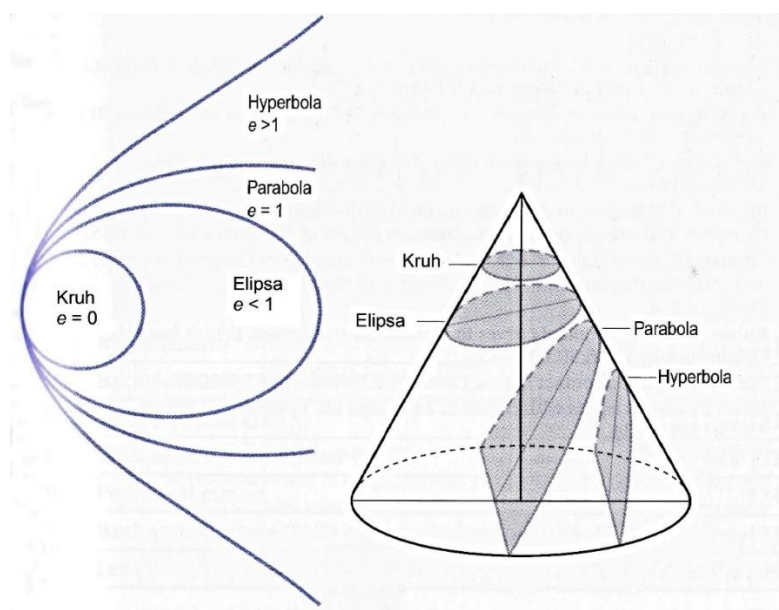
Protože většina termínů popisující ortokeratologické čočky zatím nemá české pojmenování, snažila jsem se je pro lepší srozumitelnost převést do češtiny. Pro snadnější orientaci v těchto termínech a jejich překladech najdete v příloze 4 česko-anglicko-německý slovník vybraných pojmů.

2 Popis vybraných vlastností rohovky

Rohovka tvoří přibližně 70 % veškeré optické mohutnosti oka [1]. I velmi malou změnou ve tvaru rohovky například laserovým zákrokem nebo působením ortokeratologické čočky je proto možné výrazně změnit vidění (refrakci celého oka). V této kapitole budou zopakovány vlastnosti rohovky, které je potřebné znát k aplikaci ortokeratologických čoček. Konkrétně zde bude rozebrán tvar (zakřivení, excentricita, optická mohutnost a astigmatismus), tloušťka a sagitální hloubka rohovky.

2.1 Tvar rohovky

V souvislosti s aplikací kontaktních čoček nás u rohovky zajímá hlavně tvar přední plochy. Přední plocha rohovky není sférická, nebývá ani rotačně symetrická. Rohovka se oplošťuje směrem od centra do periferie. Tvar rohovky v daném řezu lze popsat pomocí kuželoseček, přitom obvykle nejlépe vyhovuje elipsa (viz obr. 1). Mimo tento geometrický popis se v praxi užívá řada specifických parametrů, jako je centrální a periferní zakřivení, excentricita a rohovkový astigmatismus. S tvarem rohovky též souvisí její optické vlastnosti, které obvykle charakterizujeme pomocí optické mohutnosti ϕ .



Obrázek 1: Kuželosečky. Upraveno z [2].

Centrální zakřivení

Centrálním zakřivením se myslí poloměr zakřivení apexu rohovky. Měří se dva na sebe kolmé meridiány, ve kterých má rohovka největší a nejmenší lomivost, většinou se značí dle směru jako horizontální (R_H) a vertikální (R_V). Rohovku můžeme také charakterizovat průměrným centrálním zakřivením

$$R_0 = \frac{R_H + R_V}{2}. \quad (1)$$

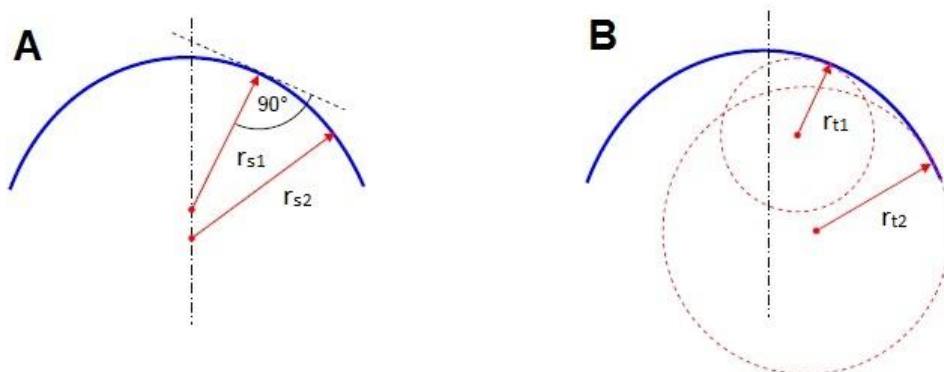
U Evropanů se centrální zakřivení rohovky se obvykle pohybuje v hodnotách 7,7 až 8,0 mm [1]. [3]

Periferní zakřivení

Můžeme jej měřit jako tangenciální nebo sagitální:

- **Sagitální (axiální) zakřivení** – je vždy vztaženo k optické ose rohovky. Odpovídá poloměru kružnice proložené daným bodem, přičemž je požadováno, aby její střed ležel na optické ose (viz obr. 2). Sagitální zakřivení se často značí r_s .
- **Tangenciální zakřivení** – popisuje skutečné zakřivení rohovky v daném bodě. Odpovídá poloměru kružnice, která nejlépe aproximuje tvar rohovky v daném bodě (viz obr. 3). Tangenciální zakřivení se často značí r_t . [1, 4]

Hodnoty tangenciálního a sagitálního zakřivení asférického povrchu rohovky jsou v každém bodě vyjma apexu rohovky rozdílné. [1]



Obrázek 2: Znárodnění A) sagitálního zakřivení (r_{s1}, r_{s2}), B) tangenciálního zakřivení (r_{t1}, r_{t2}). Upraveno z [5].

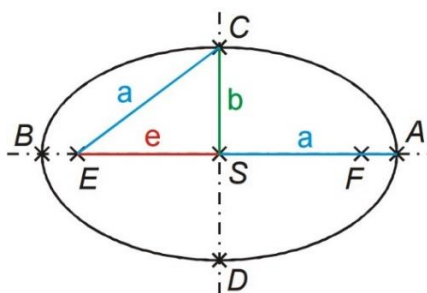
Excentricita

Jedná se o index, který charakterizuje velikost oploštění rohovky směrem k periferii. Průměrná hodnota excentricity rohovky je 0,3 až 0,5, což odpovídá tvaru elipsy (viz obr. 1). [3]

Matematicky je excentricita elipsy definována, jako vzdálenost ohniska od středu elipsy. Excentricita elipsy je definovaná vztahem

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}, \quad (2)$$

kde a je délka hlavní poloosy a b je délka vedlejší poloosy (viz obr. 3) [6].



Obrázek 3: Elipsa: S – střed elipsy, E a F – ohniska elipsy, A a B – hlavní vrcholy elipsy, C a D – vedlejší vrcholy elipsy, a – délka hlavní poloosy, b – délka vedlejší poloosy, e – excentricita elipsy. Upraveno z [7]

Na základě aproximace rohovky elipsou v daném řezu lze průměrnou hodnotu excentricity rohovky \bar{e} spočítat pomocí přibližného číselného vztahu

$$\bar{e} = \sqrt{\bar{r}_s - \bar{R}_0}, \quad (3)$$

kde \bar{r}_s je průměrná hodnota sagitálního zakřivení, měřená v úhlové vzdálenosti 30° od centrální části rohovky udaná v mm, a \bar{R}_0 představuje průměrné centrální zakřivení udané v milimetrech. [3]

Další indexy, které se používají pro popis oploštění rohovky, jsou asféricita Q a tvarový faktor p . Mezi těmito parametry platí vzájemné vztahy [1]

$$e = \sqrt{1 - p}, \quad (4)$$

$$Q = p - 1. \quad (5)$$

Optická mohutnost rohovky

Průměrná optická mohutnost rohovky se pohybuje mezi 40 až 45 D [8]. Vztah mezi optickou mohutností rohovky a jejím zakřivením určuje vzorec

$$\varphi = \frac{n - 1}{R_0}, \quad (6)$$

kde φ je optická mohutnost rohovky v dioptriích, n je index lomu vnitřních prostředí oka ($n = 1,3375$) a R_0 je velikost centrálního zakřivení rohovky v metrech. [9]

Rohovkový astigmatismus

Velikost pravidelného rohovkového astigmatismu je dána tzv. „astigmatickou diferencí“. Astigmatická diference je rozdíl optické mohutnosti vertikálního meridiánu R_V a horizontálního meridiánu R_H . [3]

2.2 Tloušťka rohovky

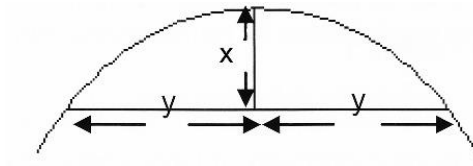
Průměrná tloušťka centrální části rohovky je 520 μm [2]. Rohovka je nejtenčí v centru, směrem do periferie se ztlušťuje. V periferii dosahuje obvykle tloušťky přibližně 1,00 mm [2]. Průměrnou tloušťku jednotlivých vrstev rohovky ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1: Průměrná tloušťka vrstev rohovky [1].

Vrstva rohovky	Tloušťka vrstvy [μm]
Epitel	50–52
Bowmanova membrána	8–14
Stroma	420–540
Descementova membrána	12
Endotel	4–6

2.3 Sagitální hloubka rohovky

Sagitální hloubka je obecně maximální vzdálenost oblouku plochy od její tětivy, ležící kolmo k ose rotace této plochy [10]. U rohovky to je vertikální vzdálenost od linie spojující body zájmu na rohovce (tětiva) s apexem rohovky [11].



Obrázek 4: Znázornění sagitální hloubky rohovky x při velikosti poloměru tětivy y . Upraveno z [1].

Sagitální hloubka rohovky se dá vypočítat pomocí Bakerova vztahu

$$x = \frac{R_0 - \sqrt{R_0^2 - py^2}}{p}, \quad (7)$$

kde x je sagitální hloubka rohovky, y je poloměr tětivy (viz obr. 4), R_0 je zakřivení apexu rohovky a p je tvarový faktor, daný vzorcem (4). [1]

V dnešní době se sagitální hloubka čočky hojně používá při aplikaci RGP kontaktních čoček. Sagitální hloubka rohovky spolu se sagitální hloubkou čočky a tloušťkou slzného filmu určuje vztah mezi kontaktní čočkou a rohovkou. [1]

3 Úvod do problematiky pevných kontaktních čoček

Existují dvě skupiny kontaktních čoček pro korekci refrakčních vad. Měkké kontaktní čočky, které se u nás běžně používají, a pevné kontaktní čočky, které u nás nejsou tolik rozšířené. Pevné kontaktní čočky můžeme dále rozdělit na tři typy: korneální, sklerální a ortokeratologické. Nejvíce používanou skupinou pevných kontaktních čoček jsou korneální. Sklerální čočky se používají pouze u speciálních případů, kdy není možné vadu oka korigovat korneálními kontaktními čočkami. Ortokeratologické čočky se u nás v současnosti nepoužívají.

Níže budou popsány materiály pro výrobu pevných kontaktních čoček a jejich konstrukce. V práci jsou uvedeny pouze základní informace o této problematice. Znalost těchto základů je potřebná pro pochopení specifik ortokeratologických čoček. Ortokeratologické čočky se totiž vyvinuly z pevných korneálních kontaktních čoček. Více informací o pevných kontaktních čočkách lze nalézt v knihách [2, 12] nebo bakalářské práci [13].

3.1 Materiály pevných kontaktních čoček

Materiály pevných kontaktních čoček mohou být nepropustné pro kyslík nebo propustné pro kyslík, tzv. „plynopropustné“. V současnosti se používají pro výrobu pevných kontaktních čoček výhradně plynopropustné materiály. Pevné plynopropustné čočky se označují jako RGP čočky (angl. Rigid Gas Permeable lenses).

Protože nejrozšířenější z pevných kontaktních čoček jsou korneální čočky, vzil se v praxi pro označení pevných korneálních kontaktních čoček název RGP. I v této práci se označením RGP čočky myslí pevné korneální kontaktní čočky.

V této kapitole budou popsány základní vlastnosti jednotlivých materiálů používaných pro výrobu pevných kontaktních čoček.

PMMA

Polymethylmethakrylát se začal používat pro výrobu kontaktních čoček již ve 40. letech 19. století. K jeho přednostem patří inertnost a dobrá stabilita. Materiál je ale nepropustný pro kyslík, proto se už upustilo od výroby čoček z tohoto materiálu. [2]

Acetobutyrate celulózy (CAB)

Tento materiál (Cellulose Acetate Butyrate) vznikl již v roce 1977. Dnes se už čočky z CAB prakticky nepoužívají z důvodu malé propustnosti pro kyslík (hodnoty Dk: 4 až 8×10^{-11}) a nemožnosti vyrábět čočky metodou soustružení. [2]

Silikon akryláty (siloxany)

Jedná se o kopolymery akrylátu (PMMA) a silikonu. Akrylát zajišťuje pevnost čočky a silikon zajišťuje propustnost pro kyslík. Do materiálu se dále přidávají zpevňující nebo zvlhčující přísady, které pomáhají potlačit hydrofobii silikonu. Na trhu je celá řada materiálů s různými fyzikálními vlastnostmi a hodnotami Dk.

Siloxany mají nízké až střední hodnoty Dk (oproti CAB nebo PMMA jsou propustnější pro kyslík). Mezi výhody siloxanů patří dobrá odolnost proti poškrábání, dobrá stabilita a pevnost materiálu čočky. Mezi nevýhody siloxanů patří, že jsou náchylnější k tvoření proteinových usazenin a mohou vyvolávat papilární konjunktivitidu. [2]

Fluorosilikon akryláty

Fluorosilikon akryláty jsou tvořeny fluorovými a siloxyakrylátovými monomery. Fluor umožňuje lepší smáčivost materiálu, stabilitu slzného filmu, lepší odolnost vůči usazeninám a zvýšení propustnosti pro kyslík. Tento materiál umožňuje vyrábět čočky s vyšším Dk nebo se středním Dk a vyšší smáčivostí (snížením obsahu silikonové složky).

K hlavním výhodám fluorosilikon akrylátů patří lepší smáčivost, propustnost (a tím možnost prodlouženého nošení čoček), menší náchylnost k usazování deposit, menší výskyt papilární konjunktivitidy. K nevýhodám materiálu patří, že příliš tenké čočky mají sklon k lámání, proto je nutná opatrnější výroba. V některých případech může docházet k přilnutí čočky k rohovce. [2]

Hydrofilní RGP čočky

Jde o silikon akrylátové čočky s hydrofilní povrchovou úpravou, která zjišťuje lepší smáčivost povrchu čočky, odolnost proti usazeninám a komfort při nošení. Čočky s povrchovou úpravou se nedoporučuje čistit roztoky obsahujícími alkohol nebo abrazivními roztoky. [2]

3.2 Materiály ortokeratologických kontaktních čoček

První ortokeratologické kontaktní čočky (tehdy ještě ploše naaplikované klasické RGP kontaktní čočky) se vyráběly z PMMA. Nepropustnost tohoto materiálu pro kyslík limitovala používání čoček pouze na denní nošení. Se stejným problémem se potýkaly i první ortokeratologické čočky s tzv. „reverzní geometrií“ (viz kapitola 6), vyrobené z materiálů s nízkou a střední propustností pro kyslík. [14]

V současné době se ortokeratologické čočky vyrábí z materiálů s vysokou propustností pro kyslík například: Boston XO (DK 100), Boston XO2 (Dk 141) nebo Menicon Z (Dk 163) [12]. Vysoká propustnost materiálu pro kyslík je nutná k tomu, aby se předešlo hypoxii a edému rohovky při nošení čoček během spánku. Aby bylo spaní s nasazenými čočkami bezpečné, musí mít čočka Dk 85 a vyšší [15]. Průměr a centrální tloušťka ortokeratologických čoček je větší v porovnání s pevnými kontaktními čočkami. Vytváří tak větší bariéru pro kyslík. Také z tohoto důvodu musí být vyráběny z propustnějšího materiálu než pevné kontaktní čočky pro denní nošení.

3.3 Konstrukce pevných kontaktních čoček

Tato kapitola zde byla zařazena, aby mohl čtenář jednoduše porovnat rozdíly mezi klasickou korneální RGP čočkou a ortokeratologickou čočkou.

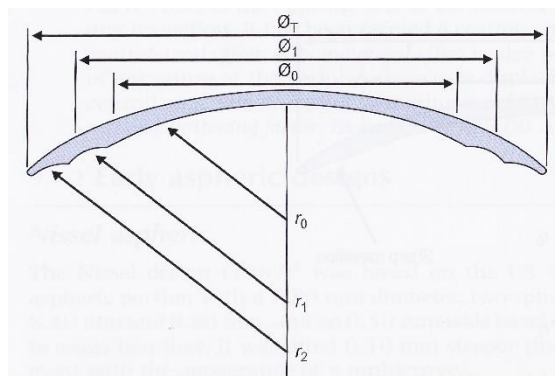
Korneální RGP kontaktní čočky se vyrábí ve dvou základních dizajnech - sférickém dizajnu a asférickém dizajnu. Oba dizajny mají své klady i zápory.

Čočka se sférickým dizajnem

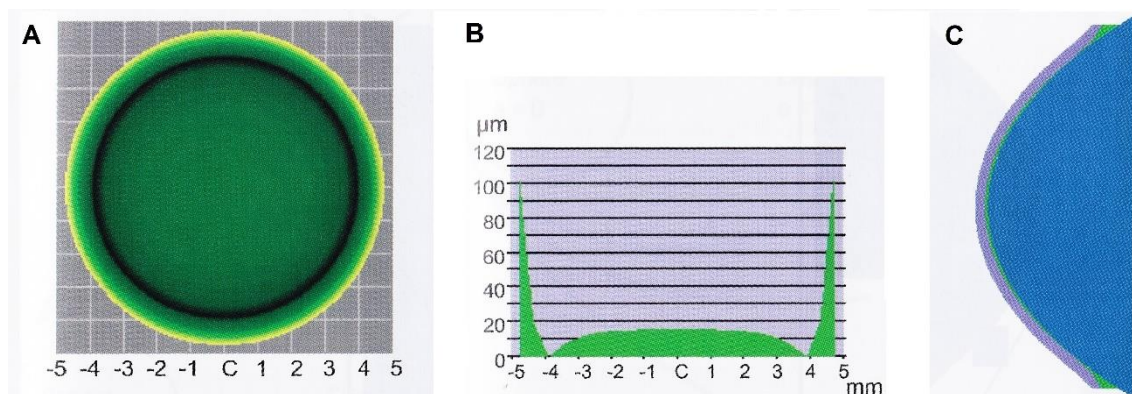
Zadní plocha se skládá z centrální zóny o průměru přibližně o 1 až 1,5 mm menším než celkový průměr čočky. Zakřivení centrální zóny (základní křivka) se vybírá

podle centrálního zakřivení rohovky tak, aby čočka kopírovala tvar rohovky. [2, 12]

Na centrální zónu navazuje periferní zóna o šířce 1 až 2 mm, která se skládá z jedné až čtyř periferních křivek. Ty mají postupně větší poloměr zakřivení (jsou plošší), než je základní křivka. Toto oploštění periferie je nutné pro to, aby čočka odpovídala asférickému tvaru rohovky. Nejčastější dizajn je tříkřivkový dizajn (základní křivka a dvě periferní křivky, viz obr. 5). [2, 12]

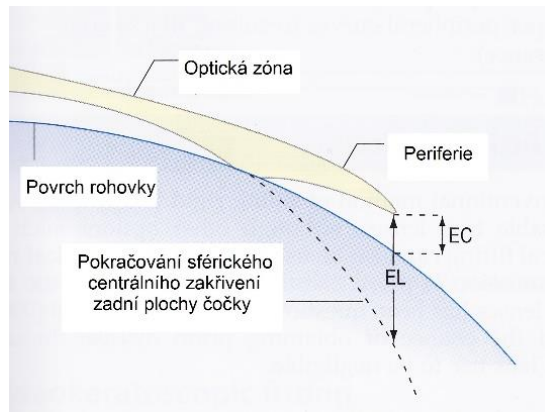


Obrázek 5: Průřez korneální RGP čočkou s tříkřivkovým dizajnem. Upraveno z [2].



Obrázek 6: Korneální RGP čočka s tříkřivkovým dizajnem: A) simulace fluoresceinového obrazu, B), C) profil slzného filmu mezi rohovkou a čočkou. Upraveno z [2].

Okraj čočky je navržen tak, aby se odkláněl od rohovky a vytvářel místo (mezeru nazývanou angl. „edge clearance“) mezi čočkou a rohovkou. Tato mezerka je nutná pro výměnu slz pod čočkou. Umožňuje také vyjmutí čočky pomocí očních víček. Odklon okraje čočky od rohovky se nazývá „zdvih okraje“ (angl. „edge lift“) (viz obr. 6). Okraj čočky je zaoblený, aby nedráždil rohovku. Tvar okraje je velmi důležitým faktorem pro pohodlí během nošení čoček. [2, 12]

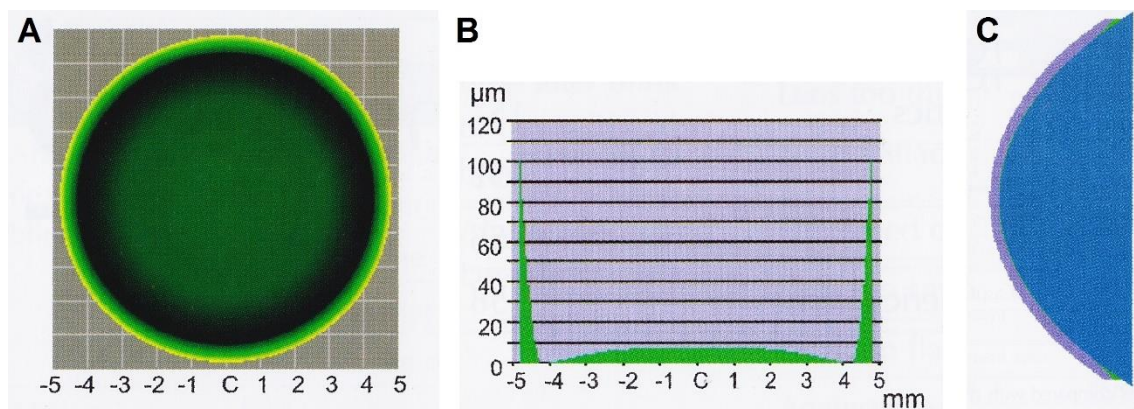


Obrázek 7: Znárodnění zdvihu okraje čočky (EL) a „edge clearance“ (EC). Upraveno z [12].

Přední plocha čočky bývá obvykle dvoukřivková. Skládá se z optické zóny, která má mírně větší průměr než centrální zóna na zadní ploše čočky a přední periferní zóny. Zakřivení optické zóny je závislé na požadované síle čočky. Zakřivení periferie závisí na tloušťce okraje, síle čočky a zakřivení optické zóny. [12]

Čočka s asférickým dizajnem

Asférické čočky mají přední plochu, zadní plochu nebo obě plochy čočky tvořenou asférickou křivkou. Tvar křivky zadní plochy vychází z elipsy a určuje se podle excentricity rohovky. Tvar rohovky je totiž matematicky nejvíc podobný právě elipse (viz kapitola 2.1). Asférická čočka blíže kopíruje tvar rohovky, proto je slzný profil tenčí než u čočky s tříkřivkovým dizajnem (viz obr. 8). [2]



Obrázek 8: Korneální RGP čočka s asférickým dizajnem: A) simulace fluoresceinového obrazu, B), C) profil slzného filmu mezi rohovkou a čočkou. Upraveno z [2].

4 Historie ortokeratologie

Říká se, že už staří Číňané si pokládali na noc na víčka pytlíky naplněné pískem, aby si zlepšili vidění do dálky. Tyto zmínky ale nejsou potvrzené. Historie ortokeratologie jako takové sahá do počátku 60. let 19. století. Za zakladatele moderní ortokeratologie je považován George Jessen, který v roce 1962 představil na mezinárodní konferenci kontaktologů v Chicagu metodu „orthofocus“. Jde o metodu tvarování rohovky pomocí konvenčních pevných kontaktních čoček s plošším zakřivením, než je zakřivení rohovky. Čočky způsobovaly oploštění rohovky, což mělo za následek redukci myopie. Ve své době působila metoda značně kontroverzně. [1, 11, 16]

V 70. a 80. letech se výzkumem této metody se dále zabývali Zif, May, Grant, Fontana, Tabb, Carter a Kerns. Metoda se ale nesesetkala s velkým úspěchem. Proces byl velmi pomalý, drahý a náročný pro pacienta i kontaktologa (zahrnoval sérii aplikací čoček s postupně plošším zakřivením) a účinek byl nepředvídatelný. [11, 14]

Hlavními problémy této metody byly

- špatná kontrola centrace čočky díky její ploché aplikaci (ploše aplikovaná čočka se snadno decentruje, čímž se může na rohovce vytvořit astigmatismus),
- nutnost použít několik čoček s postupně plošším poloměrem zakřivení během léčby,
- délka terapie (pro dosažení maximálního úbytku myopie bylo potřeba nosit čočky denně i po dobu 6 měsíců),
- nemožnost nosit čočky přes noc (tehdejší materiály to nedovolovaly kvůli nízké propustnosti pro kyslík),
- omezené možnosti sledování změn na rohovce (rohovková topografie tehdy ještě neexistovala, pro pozorování změn na rohovce používala pouze keratometrie),
- obtížná předvídatelnost účinku terapie,
- proměnlivá kvalita vidění během terapie. [1, 11, 14]

Další vývoj a rozšíření ortokeratologie byl možný díky

- vývoji CNC soustruhů, které umožňují soustružit i složité dizajny čoček,
- vývoji čoček s tzv. „reverzní geometrií“ (viz kapitola 6),
- používání rohovkové topografie,
- dostupnosti RGP materiálů s vysokou propustností pro kyslík, které umožnily nošení čoček přes noc. [1, 11]

Reverzní geometrie umožňuje lepší centraci čoček na oku díky strmější tzv. „reverzní křivce“, která navazuje na plochou centrální křivku. Myšlenku poprvé publikoval v roce 1989 Woldyga a Bryla. Spoluprací s Nickem Stoyanem vznikla první kontaktní čočka s reverzní geometrií používaná pro ortokeratologii (Contex OK-3), kterou si nechali patentovat. Čočka měla 3 křivky: plochou centrální křivku, o 3,00 D plošší reverzní křivku a asférickou periferní křivku. Protože byl efekt čočky asi dvakrát rychlejší než u tradiční metody, můžeme se setkat s názvem „urychlená ortokeratologie“ (angl. accelerated orthokeratology). Aplikační filozofie byla založena na znalosti centrální a temporální keratometrie. Centrální zakřivení první aplikované čočky bylo o 1,5 D (0,30 mm) plošší než hodnota plochého meridiánu rohovky. Postupně se aplikovaly čočky s plošším centrálním zakřivením až do dosažení maximálního efektu. [11]

Sammi El Hage jako první použil rohovkovou topografii pro aplikaci a vývoj dizajnu ortokeratologických čoček. Jeho metoda se nazývala „controlled keratoreformation“ (CKR). Pro stanovení centrálního zakřivení čočky používal Jessenův faktor (viz kapitola 6.2). Dizajn čočky byl ve své podstatě také tříkřivkový. [11, 14]

Hlavním problémem Contex OK-3 a CKR byla stále nedostatečná centrace. Tom Reim zcela přepracoval dizajn čočky s reverzní geometrií a vznikla tak první čtyřkřivková čočka Dreimlens. Dizajn se vyznačoval úzkou a strmou reverzní křivkou a asi 1,00 mm širokou tzv. „stabilizační křivkou“ (angl. alignment curve), která měla za úkol udržet správnou centraci čočky. Metoda byla pojmenována „advanced orthokeratology“. [11]

Vývojem čočky Dreimlens se zabývali další odborníci a vznikly tak různé varianty této čočky. Například Jim Day (Fargo Lens), Roger Tabb (Nightmove), John Rei-

nhart a Jem Reeves (R&R), George Glady (Emerald and Jade) a Nick Stoyan (řada Contex E). [11]

Přibližně ve stejné době, kdy byla vyvinuta Dreimlens, přepracoval John Mountford dizajn čočky Contex. Pro lepší centraci přidal širokou (1,10 mm) tzv. „tangenciální periferii“. [11]

Jerry Leggerton vyvinul nový dizajn ortokeratologických čoček, kdy změnil reverzní křivku za tzv. „sigmoidní křivku“, která spojovala centrální křivku s tangenciální křivkou. Změnou sigmoidní křivky bylo možné měnit sagitální hloubku čočky a tím byla umožněna lepší kontrola nad aplikací čoček. Dizajn pojmenoval „Corneal Refractive Therapy“ (CRT). [11]

Bylo vyvinuto mnoho dizajnů s různými aplikačními filozofiemi. Nelze ale říci, že by některý dizajn byl výrazně lepší než ostatní. Mechanismus je totiž pořád podobný. [11]

O další velký krok pro ortokeratologii se zasadil Stuart Grant, když představil revoluční koncept „noční ortokeratologie“ (angl. overnight orthokeratology). Umožnil to vývoj materiálů s vysokou propustností pro kyslík, které jsou bezpečné pro spaní s čočkami. Nošení čoček přes noc zajišťuje hlavní výhodu dnešní ortokeratologie a to „osvobození“ od nošení korekčních pomůcek během dne. Také doba adaptace na čočky je velmi krátká v porovnání s návykem na denní pevné kontaktní čočky. V Austrálii se stala „noční ortokeratologie“ běžná již v roce 1994. [11, 14]

Paralelně s vývojem nových dizajnů probíhaly studie, které pozorovaly efekt ortokeratologie na vidění, změny zakřivení rohovky, hodnotily bezpečnost, možnou kontrolu nárůstu myopie etc. Tyto studie byly velmi důležité pro přijetí ortokeratologie jako bezpečné metody pro korekci myopie. [11]

V současnosti se vývojem nových dizajnů zabývají jednotlivci i velké společnosti. Z jednotlivců například Arthur Thung z Thaianu, který vyvinul a nechal si patentovat čočky GOV a ArtMost. Je autorem 8 patentů dizajnu ortokeratologických čoček, z nichž nejznámější jsou dizajn pro tvarování rohovky s vysokou myopií nebo čočky pro korekci hypermetropie a presbyopie s tzv. „dvojitou geometrií“. [17] Ve Španělsku se vývojem zabývá Jaume Paune. Je autorem 2 patentů dizajnů

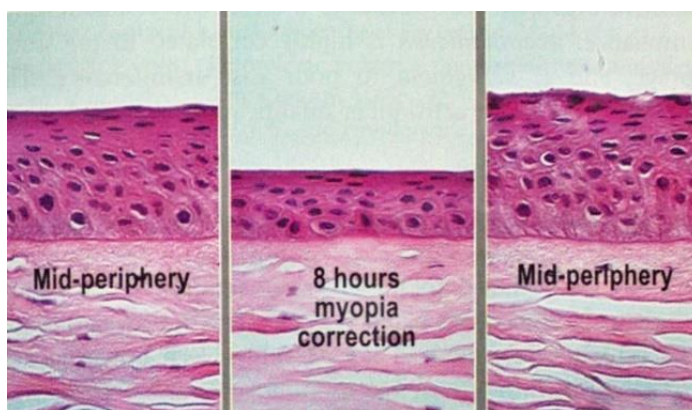
DRL (angl. Double Reservoir Lens), čoček pro ortokeratologii, kontrolu nárůstu myopie a korekci keratokonu. Jeho ortokeratologické čočky jsou schopny korigovat myopii, hypermetropii, astigmatismus i rohovky po LASIK zákroku. [18] V Itálii se vývojem zabývá Antonio Calossi. Je Autorem jednoho patentu dizajnu ortokeratologických čoček. [17]

Možnosti využití ortokeratologických čoček se díky vývoji nových dizajnů stále rozšiřují. V dnešní době existují ortokeratologické čočky pro korekci i vyšší myopie, pro korekci hypermetropie, presbyopie (multifokální a bifokální dizajny) a očí po laserovém refrakčním zákroku.

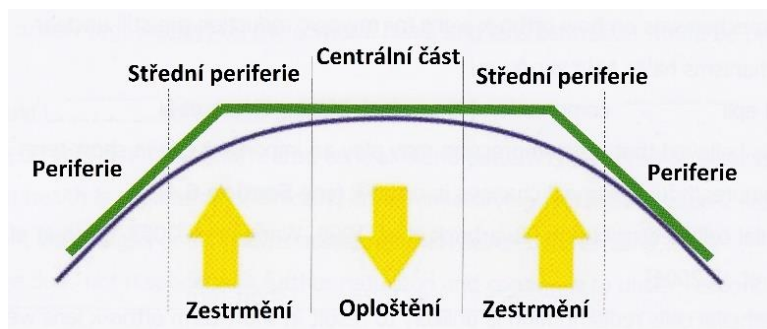
V nedávných studiích byl také prokázán účinek ortokeratologických čoček na zbrzdění nárůstu myopie u dětí [19–21]. Přesný mechanismus tohoto účinku a dlouhodobý efekt jsou ale stále předmětem zkoumání.

5 Princip ortokeratologie

Během nošení čočky s reverzní geometrií působí na rohovku síly. Rohovka působením sil mění svůj tvar (topografii), tloušťku a fyziologii. Díky tomu se mění i lomivost rohovky. K největším změnám dochází ve vrstvě epitelové. Při korekci myopie dochází v centrální části ke ztenčení a ve střední periferii dochází k ztluštění epitelové vrstvy (obr. 9 a 10). [1, 11, 16]



Obrázek 9: Rozdíl v tloušťce epitelu v centrální části (uprostřed) a ve střední periferii rohovky (po stranách) po 8 hodinách nošení ortokeratologické čočky pro korekci myopie na kočičím oku. Upraveno z [22].



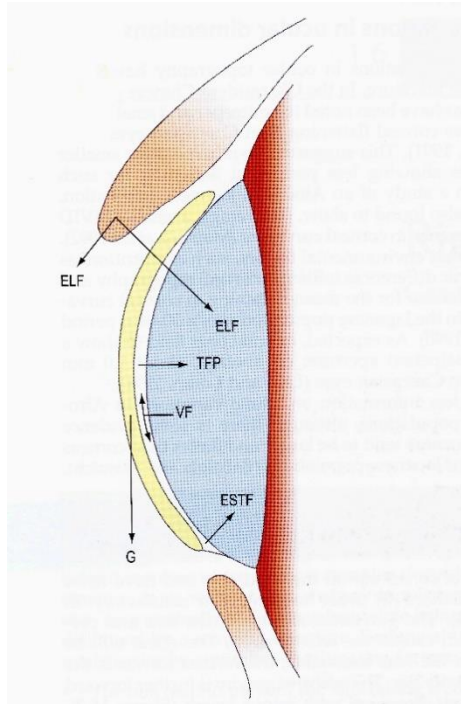
Obrázek 10: Znázornění změn v zakřivení rohovky u korekce myopie ortokeratologií. Upraveno z [1].

Přesný mechanismus ortokeratologie stále není jasný. Nabízí se tři možné mechanismy účinku

- komprese epitelových buněk v centrální části rohovky [23, 24],
- redistribuce (migrace) epitelových buněk [23, 25–27],
- ohyb rohovky [28] – novější studie tuto teorii vyvrací [29].

Síly, které působí při ortokeratologii

Síly, které působí obecně při nošení **RGP korneálních kontaktních čoček** (denním nošení, když jsou oči otevřené a mrkají) jsou: tlak víček, povrchové napětí, gravitační síla a síla slzného filmu (označovaná v jednotlivých publikacích jako: squeeze film force [1], tear fluid pressure [12], viscous forces [12]). Působení sil znázorňuje obr. 11. [1, 12, 30]



Obrázek 11: Znázornění sil působících při denním nošení RGP korneálních čoček. ELF – (eyelid force) tlak víčka, TFP (tear fluid pressure) a VF (viscous forces) – síla slzného filmu, G – (gravity) gravitační síla, ESTF – (edge surface tension force) povrchové napětí [12].

Ortokeratologické čočky se ale nosí pouze ve spánku (zavřené oči, žádné mrkání). Za těchto podmínek významně působí pouze tlak víček a síla slzného filmu. Síla slzného filmu vzniká tlakem, který způsobuje slzný film mezi kontaktní čočkou a rohovkou. [1]

Čočka působí na rohovku zároveň tažnými a tlakovými silami. Tlakové síly působí v centrální části rohovky. Tažné síly, způsobené silou slzného filmu, působí víc periferně (v místě slzného rezervoáru, viz kapitola 6). Působení sil je znázorněno na obr. 12. Tyto síly působí na rohovku a tím dochází ke změnám tvaru rohovky. K tomu, aby došlo ke změnám na rohovce, je potřeba obou tažných i tlakových sil. [1]



Obrázek 12: Model sil působících na rohovku při nočním nošení ortokeratologické čočky. Žluté šipky naznačují tažné síly, červená šipka značí tlakové síly. Upraveno z [1].

Muennerynův vzorec

Tento vzorec se používá pro výpočet tloušťky vrstvy rohovky, kterou je nutné odstranit při laserové refrakční chirurgii. Může být použit i pro odhad refrakční změny rohovky při ortokeratologii (za předpokladu, že epitelová vrstva se vlivem ortokeratologie ztenčuje). Bývá uváděn ve tvaru

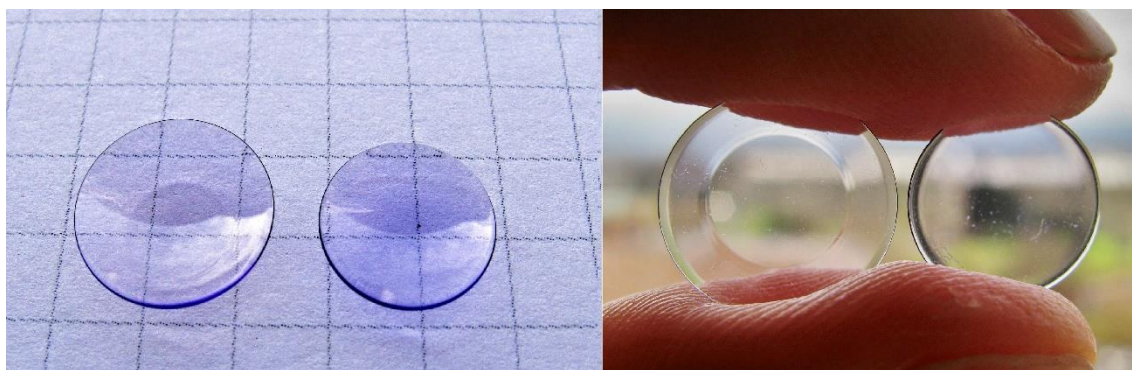
$$A = \frac{RD^2}{3}, \quad (8)$$

kde A je hloubka ablace (případně ztenčení epitelu) [m], R je refrakční vada [D] a D je průměr oploštěné zóny [m].

Pokud dosadíme do vzorce maximální doporučenou velikost ztenčení epitelu 20 μm [31], vyjde nám, že pokud bude průměr oploštěné zóny 6,0 mm, můžeme očekávat korekci myopie o maximální hodnotě -1,75 D (pro průměr oploštěné zóny 4,0 mm jde podle tohoto vzorce vykorigovat maximálně myopii o hodnotě -3,75 D). Z toho plynou limity pro velikost myopie korigovatelné ortokeratologií. [2]

6 Stavba a parametry ortokeratologických čoček

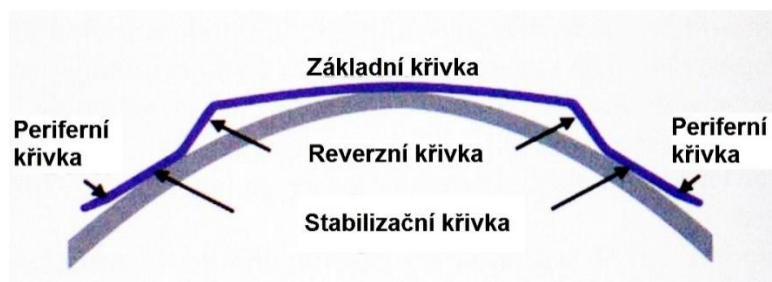
Ortokeratologická čočka se liší od klasické RGP čočky na první pohled svou velikostí. Na obrázku 13 jde dobře vidět, že ortokeratologická čočka má větší průměr. Dále je odlišná tvarem vnitřní plochy, který bude v této kapitole podrobně popsán. Konstrukce přední plochy ortokeratologické a RGP čočky se prakticky neliší. Se složitějším tvarem zadní plochy ortokeratologické čočky souvisí také odlišné parametry, které tady budou rovněž vysvětleny.



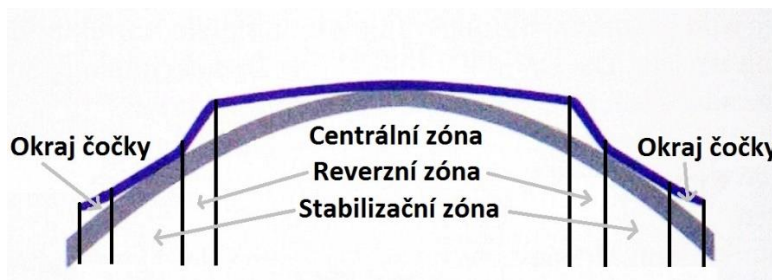
Obrázek 13: Ortokeratologická čočka (vlevo na obou obrázcích) a korneální RGP čočka pro oko téhož klienta.

6.1 Stavba ortokeratologických čoček

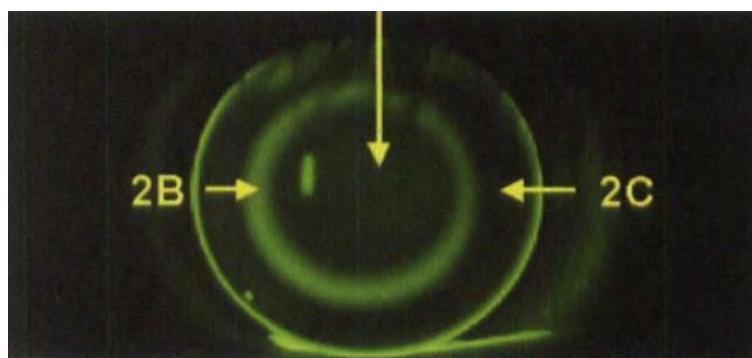
Ortokeratologické čočky mají tzv. „reverzní geometrii“ zadní plochy. Reverzní geometrie se vyznačuje tím, že základní křivka čočky má plošší zakřivení než rohovka a křivka, která navazuje na základní křivku má strmější zakřivení než základní křivka (klasická RGP čočka má tuto křivku s plošším zakřivením než základní křivka). První čočky tohoto typu se začaly vyrábět roku 1992 a zadní plocha čočky měla 3 různé poloměry zakřivení (tzv. tříkřivkový dizajn). Dnešní ortokeratologické čočky mají zadní plochu tvořenou čtyřmi a více křivkami. Následující obrázky (obr. 14 a 15) znázorňují konstrukci ortokeratologické čočky s čtyřkřivkovým dizajnem a fluoresceinový obraz naaplikované čočky (obr. 16). [32]



Obrázek 14: Stavba ortokeratologické čočky s čtyřkřivkovým dizajnem. Upraveno z [32].



Obrázek 15: Popis jednotlivých zón ortokeratologické kontaktní čočky. Upraveno z [32].



Obrázek 16: Fluoresceinový obraz správně naaplikované ortokeratologické čočky s čtyřkřivkovým dizajnem. Šípka 2B ukazuje na tzv. slzný rezervoár. [11]

Základní křivka (Back Optic Zone Radius – BOZR)

Základní křivka je plošší než centrální zakřivení rohovky. Je zodpovědná za oploštění rohovky. Její zakřivení se volí na základě potřebné myopické korekce a zakřivení rohovky. Průměr centrální zóny čočky (Back Optic Zone) bývá 6–8 mm. [1, 32]

Reverzní křivka (Reverse Curve – RC)

Je strmější než základní křivka. Spojuje základní křivku se stabilizační křivkou. Vytváří tzv. „slzný rezervoár“ kolem centrální zóny, ve kterém se hromadí slzy (na fluoresceinovém obrázku je viditelný jako typický světlý prstenec kolem tmavé centrální zóny, obr. 16). Prostor vytvořený reverzní křivkou umožňuje migraci epi-

telových buněk z centra do periferie [32]. Reverzní zóna (Reverse Zone) bývá široká 0,6 až 1,0 mm [1].

Stabilizační křivka (Alignment Curve – AC)

Má plošší zakřivení než reverzní křivka. Kopíruje tvar rohovky. Umožňuje centrální usazení kontaktní čočky na oku a pohyb čočky. Stabilizační křivka může být jedna křivka (u čočky s čtyřkřivkovým dizajnem) nebo dvě křivky s různým poloměrem zakřivení (pěti křivkový dizajn) [32]. Křivka může být sférická, asférická nebo tangenciální. Šířka stabilizační zóny (Alignment Zone) bývá 1,0 až 1,65 mm [1].

Periferní křivka (Peripheral Curve – PC)

Podobně jako u klasických korneálních RGP čoček vytváří zdvih okraje čočky (angl. edge lift), slouží k výměně slz pod čočkou a usnadňuje pohyb čočky [32]. Šířka okraje čočky bývá 0,3 až 0,5 mm [1].

6.2 Parametry ortokeratologických čoček

V dnešní době se parametry první zkušební ortokeratologické čočky vybírají na základě hodnot topografie. Čočky od různých výrobců používají odlišné způsoby aplikace a různé parametry. Zde jsou uvedeny nejčastější používané parametry včetně tzv. Jessnova faktoru a sagitální hloubky čočky.

Poloměr zakřivení základní křivky – vypočítává se na základě plochého meridiánu centrálního zakřivení rohovky, refrakce a Jessnova faktoru (viz níže).

Stabilizační křivka – její zakřivení souvisí s hodnotou excentricity.

Průměr čočky – odvozuje se od průměru rohovky.

Dizajn čočky (sférický/asférický/torický) – vybírá se na základě rozdílů v hodnotách excentricity, keratometrie a sagitální hloubky ve dvou hlavních meridiánech. [1, 33]

Jessenův faktor

Vychází z původní Jessenovy metody „orthofocus“. Jessen svou metodu založil na předpokladu, že existuje lineární vztah mezi redukcí myopie a velikostí zakřivení základní křivky čočky. Například pokud má plošší meridián rohovky zakřivení 42 D a refrakce klienta je -2 D, základní křivka ortokeratologické čočky, která by vadu vykorigovala, by měla být 40 D, tedy právě o 2 D plošší než plochý meridián rohovky.

Většina současně používaných dizajnů čtyř- a pětikřivkových čoček používá pro určení zakřivení základní křivky Jessenovu metodu. Základní křivka se vypočítá z potřebné změny refrakce a Jessenova faktoru, tzv. „kompresního faktoru“. Jessenův faktor zvyšuje oploštění čočky o 0 až 1 D podle velikosti vady. Cílem je lehce překorigovat myopii, aby bylo zaručeno ostré vidění po celý den (velikost vady se totiž během dne díky návratu rohovky do původního tvaru mění). Velikost Jessenova faktoru doporučuje výrobce čoček (obvykle 0,5 D nebo 0,75 D). [1, 11]

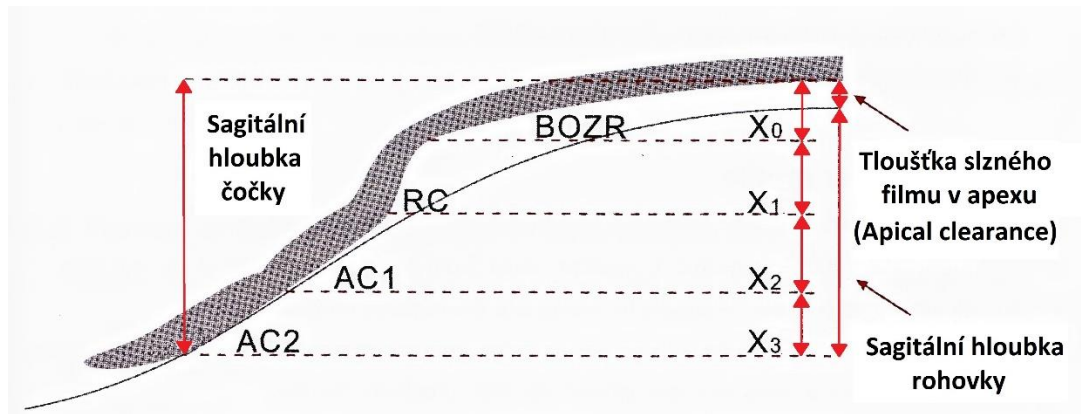
Příklad výpočtu zakřivení základní křivky

- zakřivení plochého meridiánu: 42,00 D, refrakce, kterou chceme vykorigovat: -3,00 D, Jessenův faktor: 0,75 D
- základní křivka bude o $3,00 + 0,75 = 3,75$ D plošší než plochý meridián
- zakřivení základní křivky: $42,00 - 3,75 = \underline{38,25 D}$

Sagitální hloubka čočky

Sagitální hloubka čočky je jednoduše součet sagitálních hloubek každé zóny čočky (viz obr. 17). Pokud je čočka správně naaplikovaná, pak: sagitální hloubka čočky = sagitální hloubka rohovky + tloušťka slzného filmu pod čočkou v apexu (angl. „apical clearance“).

Většina dnešních ortokeratologických čoček je aplikována pomocí sagitální hloubky čočky. Označuje se to jako „sagitální filozofie aplikace“ (angl. sag fitting philosophy). Každá čočka je zkonstruována tak, aby se mezi zadní plochou čočky a rohovkou vytvořil specifický slzný profil. Tím se vytvoří požadované síly slzného filmu, které tvarují rohovku. [1, 11]



Obrázek 17: Znáornění sagitální hloubky čočky jako: a) součet sagitálních hloubek každé zóny čočky ($X_0 + X_1 + X_2 + X_3$), b) součet tloušťky slzného filmu v apexu a sagitální hloubky rohovky. Upraveno z [1].

Možnosti ovlivnění sagitální hloubky čočky

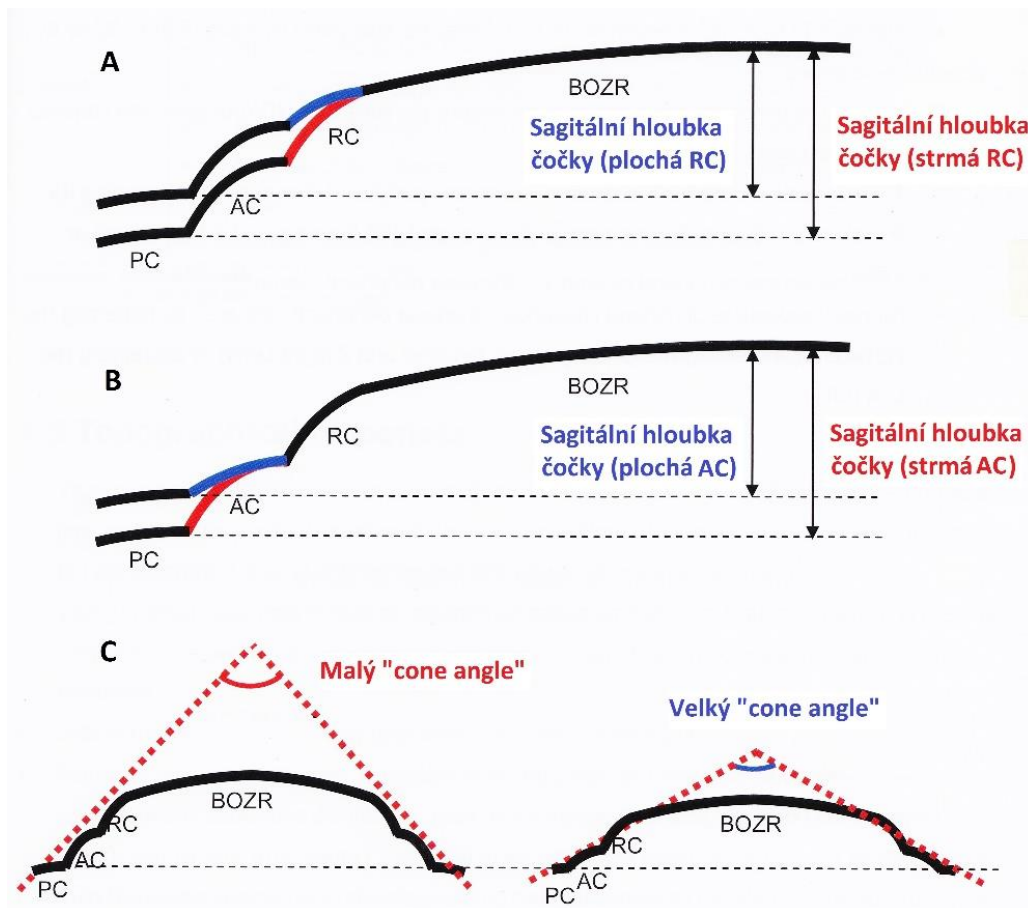
Sagitální hloubka čočky se přizpůsobuje oku změnou určitých parametrů. Jednotlivé dizajny čoček od různých výrobců mají různé parametry, které můžeme při aplikaci měnit.

Sagitální hloubka čočky se dá zvýšit například

- zvýšením zakřivení (zestřmením) reverzní křivky,
- zestřmením stabilizační křivky
- nebo snížením „cone angle“ (obr. 18).

Sagitální hloubka čočky se dá snížit například

- snížením zakřivení (zploštěním) reverzní křivky,
- zploštěním stabilizační křivky
- nebo zvýšením tzv. „cone angle“ (obr. 18). [1]



Obrázek 18: Změna sagitální hloubky čočky pomocí změny: A) reverzní křivky, B) stabilizační křivky, C) „cone angle“. Upraveno z [1].

7 Aplikace ortokeratologických čoček

Aplikace ortokeratologických čoček je komplexní proces, který vyžaduje zvláště na začátku poměrně časté návštěvy a kontroly. Je nutná úzká spolupráce klienta s kontaktologem. Kontaktolog, který aplikuje ortokeratologické čočky musí být v tomto oboru důkladně proškolen, celoživotně se vzdělávat a informovat se o nových trendech ve vývoji oboru. Protože čočky od jednotlivých výrobců mohou mít různé parametry a způsoby aplikace, musí být odborník seznámen s postupem aplikace konkrétního typu čoček dané firmy. K aplikaci je důležité také vybavení vyšetřovny. Nesmí v něm chybět rohovkový topograf, štěrbinová lampa a fluorescein.

Požadavky na bezpečné provedení aplikace shrnuje „EurOK protokol“ (viz příloha 1), vydaný Evropskou Akademií Ortokeratologie (European Academy of Orthokeratology [34]). Klade si za cíl vytvořit mezinárodní standardy v aplikaci ortokeratologických čoček, sjednotit aplikační procedury v jednotlivých evropských zemích a tím zajistit úspěšnost aplikace a bezpečí a spokojenost klientů. Jednotlivé body aplikace popsané v této práci jsou v souladu s EurOK protokolem.

7.1 Rohovková topografie

Rohovková topografie je v současnosti nezbytná při aplikaci ortokeratologických kontaktních čoček. Slouží pro zhodnocení aplikace, sledování změn na rohovce a je nástrojem pro řešení problémů a úpravu aplikace čoček.

Topografy nabízí několik možností zobrazení naměřených dat. Každá mapa je vhodná pro zhodnocení rozdílných parametrů.

Axiální (sagitální) mapa

Popisuje povrch rohovky vztahený k optické ose, tj. pomocí sagitálního poloměru zakřivení. Používá se pro zobrazení celkového přehledu tvaru a zakřivení rohovky. Je velmi závislá na klientově fixaci a asymetrii rohovky. Škálu je možné zobrazit v milimetrech (znázorňuje poloměr zakřivení v daném místě) nebo ekvivalentně v dioptriích, stanovených dle vzorce (6). [1]

Tangenciální (meridionální) mapa

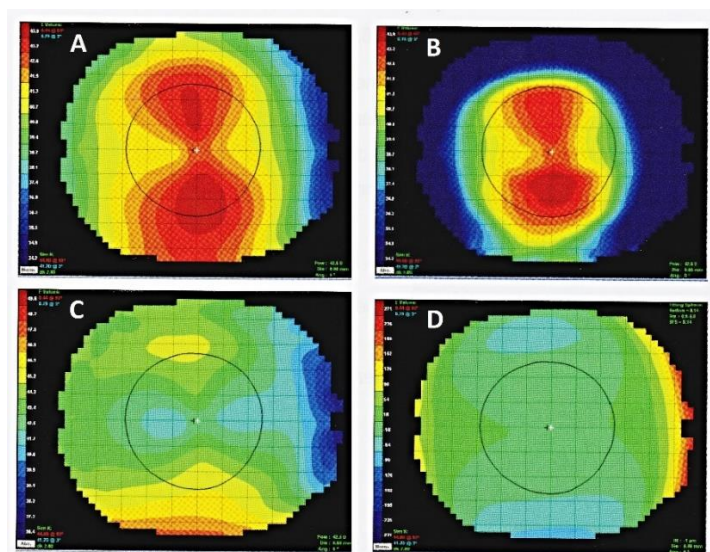
Označuje se také jako „mapa skutečného zakřivení“. Popisuje povrch rohovky nezávisle na optické ose pomocí tangenciálního poloměru zakřivení. Díky tomu na ni lépe vyniknou drobné lokální změny ve tvaru rohovky. Tato mapa je vhodná například pro lokalizaci apexu keratokonu nebo pro zhodnocení centrace po ortokeratologii či refrakčním chirurgickém zákroku. Škálu je možné zobrazit v milimetrech nebo v dioptriích, přepočtených z poloměru zakřivení dle vztahu (6). Dioptrická hodnota tady ale nevystihuje lomivost rohovky [35]. [1]

Refrakční mapa

Refrakční mapa umožňuje zhodnocení optického efektu povrchu rohovky. Pro výpočet používá Snellenova zákona a hodnoty ohniskových vzdáleností (ne hodnoty zakřivení rohovky, jako u sagitální mapy). Dioptrické hodnoty jsou u refrakční mapy vyšší v periferii v porovnání se sagitální mapou. Důvodem jsou rozdílné hodnoty ohniskových vzdáleností v centru a v periferii kvůli otvorové vadě. Tato mapa je užitečná pro zhodnocení efektu laserového refrakčního zákroku, lokalizaci centrálního ostrůvku (viz kapitola 7.6.3) nebo oploštěné zóny po ortokeratologii. [1, 4]

Elevační mapa

Popisuje zakřivení rohovky ve vztahu k referenční ploše. Tato mapa je užitečná například pro aplikaci sklerálních pevných kontaktních čoček (viz obr. 19). [1]

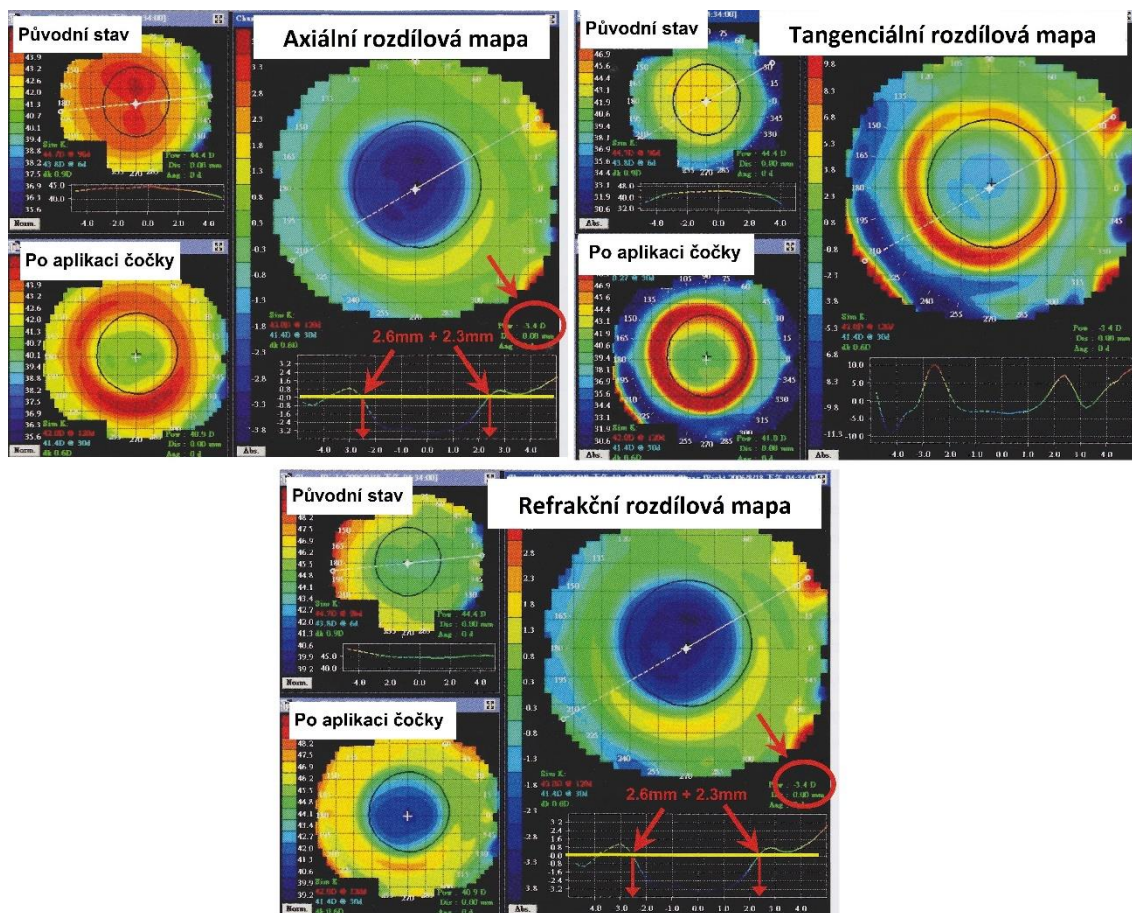


Obrázek 19: Srovnání topografických map astigmatické rohovky: A) axiální, B) tangenciální, C) refraktivní, D) elevační. Všechny čtyři mapy jsou obrazem toho stejného oka. Upraveno z [1].

Rozdílová mapa (Diferenciální mapa)

Vzniká porovnáním dvou různých měření (dvou různých map). Slouží k analýze změn na rohovce v průběhu času. Je hlavním pomocníkem při hodnocení aplikace ortokeratologických čoček. Existují tři typy rozdílových map:

- **Axiální rozdílová mapa** – znázorňuje změny v axiální lomivé síle rohovky (tyto změny korelují se změnami refrakce rohovky). Posunutím kurzoru do středu získáme hodnotu změny refrakce rohovky.
- **Tangenciální rozdílová mapa** – ukazuje centraci ortokeratologické čočky (porovnáním polohy červeného prstence s polohou zornice).
- **Refrakční rozdílová mapa** – ukazuje velikost (průměr) oploštěné zóny u ortokeratologie (viz obr. 20). [1, 11]



Obrázek 20: Porovnání axiální, tangenciální a refrakční rozdílové mapy stejného oka před a po aplikaci ortokeratologické kontaktní čočky. Upraveno z [1].

7.2 Profil vhodného kandidáta pro ortokeratologii

Pro úspěšnou aplikaci ortokeratologických čoček je důležité, aby klient splňoval určité podmínky. Z publikací [2, 14, 22, 32] vychází takovýto profil vhodného kandidáta

- nízká a střední myopie v hodnotě -0,75 D až -4,5 D,
- cylindrická vada do maximální hodnoty 1,5 D (u astigmatismu podle pravidla) a do hodnoty 0,75 D (u astigmatismu proti pravidlu),
- bez rohovkových dystrofií (keratokonus), rohovkových nepravidelností a očních onemocnění,
- zákazník, kterého omezují korekční pomůcky v zaměstnání nebo volnočasových aktivitách (sport, vodní sporty, pobyt v prašném nebo klimatizovaném prostředí atd.),
- nositel kontaktních čoček, který cítí diskomfort při nošení svých kontaktních čoček například na základě podmínek okolí (prach, vítr, kouř, suchý vzduch z klimatizace atd.),
- ametrop, který se zajímá o refrakční chirurgii ale má strach z operace,
- zákazník ochotný docházet na četné aplikační schůzky během prvních dvou až tří měsíců po aplikaci a pak každých 6 měsíců na pravidelné kontroly,
- pečlivý a důsledný v péči o kontaktní čočky,
- seznámený s průběhem terapie,
- motivovaný pro tento typ korekce ale zároveň s realistickým očekáváním,
- ochotný zaplatit za tento typ korekce.

7.3 Kontraindikace aplikace ortokeratologických čoček

Korekce ortokeratologickými čočkami není vhodná pro každého myopa. Aby byla aplikace bezpečná, úspěšná a aby byl klient s korekcí spokojený, je nutné se vyvarovat aplikace v těchto případech

- myopie vyšší než -4,5 D,
- astigmatismus podle pravidla vyšší než 1,5 D a astigmatismus proti pravidlu vyšší než 0,75 D,
- astigmatismus, který pokračuje z centrální části rohovky až do periferie,

- čočkový astigmatismus vyšší než 0,5 D proti pravidlu,
- průměr zornic větší než 6 mm při normálním osvětlení,
- nízká excentricita rohovky a zároveň požadovaná vyšší korekce,
- u klientů, se kterými byla v minulosti špatná spolupráce (compliance),
- u klientů, kteří mají nereálné očekávání od tohoto typu korekce, nebo ti, kteří očekávají úplné „vyléčení“ jejich refrakční vady,
- pokud jsou přítomny záněty nebo infekce očí, oční onemocnění, zranění a abnormality, které zasahují rohovku, spojivku nebo víčka.
- při očních dystrofiích a degeneracích (keratokonus).
- při celkových onemocněních, která oslabují imunitní systém a imunitní reakce nebo ovlivňují hojení ran (HIV, cukrovka). [2, 14, 22, 32]

Díky neustálému vývoji v ortokeratologii dochází k posouvání limitů pro volbu vhodných kandidátů. Někteří specialisté korigují pomocí speciálně navržených dizajnů čoček i vysoké hodnoty myopie (-10 D a víc) [36]. Jiní výrobci nabízí ortokeratologické čočky se speciálním dizajnem pro korekci vyšších hodnot astigmatismu (až -3,5 D) [18].

7.4 Způsoby aplikace ortokeratologických kontaktních čoček

Ortokeratologické čočky je možné aplikovat třemi různými způsoby

- empiricky,
- pomocí zkušební sady čoček,
- pomocí počítačového software.

Empirická aplikace

Probíhá tak, že kontaktolog pošle výrobci hodnoty topografické hodnoty a hodnoty refrakce. Laboratoř navrhne čočku podle svých algoritmů a pošle ji kontaktologovi. Ten pak čočku naaplikuje a zhodnotí aplikaci. Pokud je čočka nevyhovující, pošle výrobce na základě nových dat další čočku s upravenými parametry.

Výhodou této metody jsou velmi nízké náklady pro začínající praxi a jednoduché používání (není potřeba se učit pracovat s počítačovým software). Nevýhodou je, že kontaktolog nemá kontrolu nad parametry čočky. Každá čočka se vyrábí indivi-

duálně pro klienta. To znamená, že je nutné čekat na výrobu každé čočky i týdny. [1, 22, 33]

Aplikace pomocí sady zkušebních čoček

V průběhu aplikace nasadí kontaktolog klientovi zkušební kontaktní čočku a vyhodnotí její centraci a pohyb na oku, pohyb čočky během mrkání a fluoresceinový obraz. Pokud není vše v pořádku, může kontaktolog vyzkoušet čočku s jinými parametry a pak pro zákazníka objednat přímo čočku se správnými parametry.

Výhodou této metody je, že není nutné čekat na výrobu každé čočky. Kontaktolog může vyzkoušet i víc čoček během jedné aplikace. Kontaktolog má kontrolu nad parametry čočky. Nevýhodou je velmi vysoká pořizovací cena zkušební sady čoček.

Tento typ aplikace se osvědčil u pevných kontaktních čoček. U ortokeratologie je vyhodnocení aplikace složitější. Zatímco u konvenčních pevných čoček hodnotíme stav, za kterého budou čočky používány (dynamický stav - otevřené oči, mrkání), ortokeratologické čočky se používají ve statickém stavu (zavřené oči, bez mrkání). Proto ortokeratologické čočky, které v průběhu aplikace vykazují ideální vlastnosti (pohyb, centraci) nemusí se už takto chovat při zavřených očích a mohou se ukázat jako nevhodné. Proto je pro vyhodnocení správnosti aplikace nutné vyhodnotit také změny na topografických mapách. [1, 22, 33]

Aplikace pomocí počítačového software

U tohoto způsobu aplikace poskytne výrobce kontaktologovi počítačový software. Na základě topografických dat vypočítá software parametry čočky. Kontaktolog může parametry čoček pomocí software upravovat, aby čočky lépe padly. Poté objedná čočky u výrobce.

Výhodou je, že kontaktolog má plnou kontrolu nad parametry čoček. Nevýhodou je, že se musí naučit pracovat se software. U této metody je také nutná předešlá větší praxe s aplikací RGP čoček. [1, 22]

7.5 Postup aplikace ortokeratologických kontaktních čoček

Aplikace ortokeratologických čoček je podobná aplikaci běžných RGP čoček. Rozdílem je, že u ortokeratologie vyžaduje aplikace víc návštěv pacienta a také v určitou denní dobu podle harmonogramu. Aplikace zahrnuje vstupní vyšetření, výběr parametrů kontaktních čoček, samotnou aplikaci čoček, kontrolu po prvním přespání a další kontroly podle harmonogramu.

Během aplikace musí být klient seznámen se specifiky této metody korekce (výhodami a nevýhodami), s riziky a limity metody, s průběhem aplikace. Klient musí souhlasit s nutností docházet na pravidelné kontroly podle harmonogramu a s důsledným dodržováním pokynů odborníka (viz Příloha 2: Doporučená podoba informovaného souhlasu).

1) Vstupní vyšetření

Během vstupní kontroly zjišťuje kontaktolog o klientovi informace potřebné pro aplikaci. Na jejich základě se rozhodne, jestli je klient vhodným kandidátem pro ortokeratologii. Vstupní vyšetření se skládá se zjištění anamnézy, vyšetření očí na štěrbinové lampě, měření vízu a refrakce, měření velikosti pupil a rohovkové topografie. [14]

2) Výběr parametrů čoček a jejich objednání.

Parametry čoček se vybírají na základě výsledků rohovkové topografie a velikosti refrakce podle doporučení výrobce čoček a způsobu aplikace (empiricky, pomocí software nebo pomocí zkušební sady čoček).

3) Aplikace

Poté, co kontaktolog naaplikuje čočky, zůstane klient 10 až 30 min s čočkami v očích v klidu. Může mít i zavřené oči, pokud jsou mu čočky velmi nepohodlné. Tato pauza je nutná k tomu, aby si klient alespoň trochu zvykl na čočky a zmírnil se slzivý reflex. Následuje zhodnocení aplikace čoček. Kontroluje se centrace a pohyb čoček na oku. Po obarvení fluoresceinem se zhodnotí, jestli jde o plochou, strmou nebo ideální aplikaci. Pokud byly čočky objednány přímo pro klienta (ne ze zkušební sady čoček), zkontroluje se i vidění s nasazenými čočkami. Po vyjmutí čoček

je dobré udělat topografický snímek a porovnat ho se snímkem ze vstupní kontroly. Změny tvaru rohovky i po krátkém nošení můžou značit úspěšnost terapie. [14]

Pokud čočky sedí na očích správně, může v nich klient přespat a dostavit se následující ráno ke kontrole v nasazených čočkách. Klient musí být poučen o manipulaci s kontaktními čočkami a musí si je umět nasadit.

4) Kontrola po prvním přespání

Klient se dostaví ráno po prvním přespání v čočkách se stále nasazenými čočkami. Znovu se zkontroluje vidění v čočkách, centrace a pohyb čoček. Dobrá centrace je stěžejní pro správný efekt. Decentrována čočka může znamenat neúplnou korekci myopie, navodit astigmatismus nebo jiné optické aberace.

Následně se vyhodnotí aplikace pomocí obarvení fluoresceinem a zároveň se pátrá po známkách možných problémů (přilnutí čočky, přítomnosti vzduchových bublin v reverzní zóně, barvení rohovky nebo debris zachycených pod čočkou).

Po vyjmutí čoček z očí se změří vízus bez korekce, změří se refrakce a provede se topografie. Také se zkontroluje přední segment oka na štěrbinové lampě.

Pokud kontrola neodhalí žádné problémy, následuje zácvik klienta. Je mu vysvětleno, jak si má čočky nasadit a vyjmout, jak pečovat o čočky, jak je čistit a dezinfikovat. Poté je stanoven harmonogram dalších kontrol. [14, 32]

5) Další kontroly

Četnost kontrol po aplikaci bývá doporučována výrobcem čoček. Ke kontrolám klient dochází zpravidla bez nasazených čoček. Čočky by měl mít s sebou v pouzdře, aby mohl kontaktolog v průběhu kontroly zkontrolovat stav čočky a její usazení na oku. Schéma kontrol může vypadat následovně

- ráno po 3 až 5 noci (klient přijde ideálně s nasazenými čočkami),
- večer po 10 až 14 dnech (zhodnotí se i stabilita vidění během dne, změří se regrese korekce),
- po 1 měsíci,
- po 3 měsících,
- po 6 měsících a pak každých 6 měsíců. [32]

7.6 Vyhodnocení aplikace ortokeratologických čoček

Ideálně naaplikovaná ortokeratologická kontaktní čočka se vyznačuje dobrou centrací na rohovce, dobrým pohybem a centrálně umístěnou zónou oploštění na topografickém snímku. Dále účinně koriguje požadovanou hodnotu myopie (target), umožňuje dobrý vÍzus a zároveň nepoškozuje oko.

Aplikace se vyhodnocuje na štěrbinové lampě pomocí fluoresceinového obrazu a porovnáním topografických map.

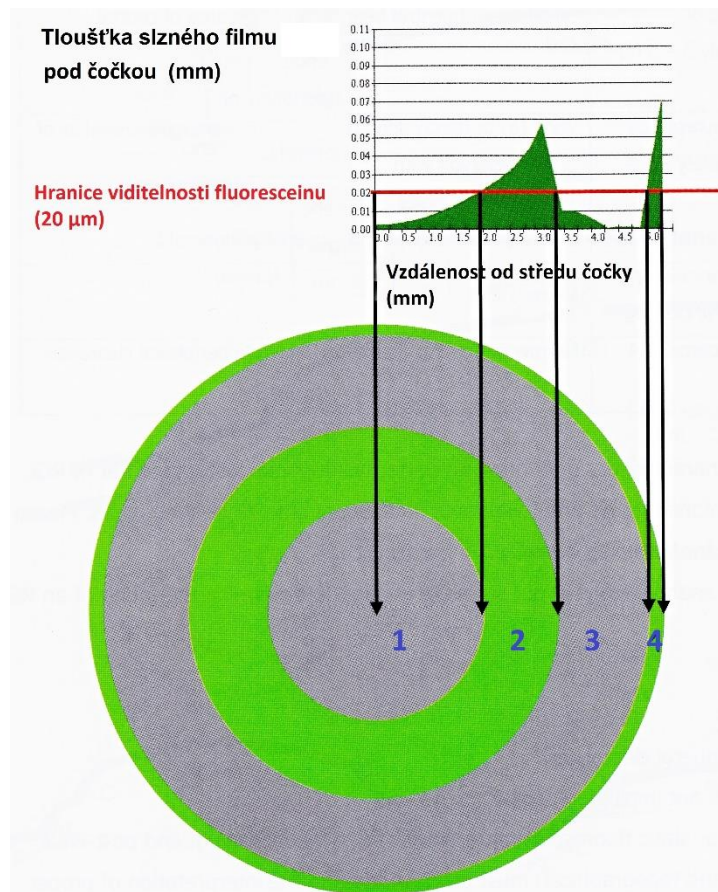
7.6.1 Dynamická kontrola aplikace

Dynamické vyhodnocení aplikace odráží vztah mezi čočkou, očními víčky a rohovkou. Hodnotí se

- **pozice čočky po mrknutí** – naznačuje, jaká asi bude centrace čočky při zavřených očích. Čočka by měla být v centru rohovky nebo lehce klesat dolů. Neměla by se ale nikde překračovat limbus.
- **pohyb čočky** – měl by být plynulý po každém mrknutí. Nadměrný pohyb může být znakem ploché aplikace, nedostatečný nebo žádný pohyb může být znakem strmé aplikace.
- **velikost čočky** – neměla by se nikde dotýkat limbu. Změnou velikosti čočky může dojít ke změně centrace čočky nebo může jinak vzájemně působit s víčky [1].

7.6.2 Statická kontrola aplikace – pomocí fluoresceinu

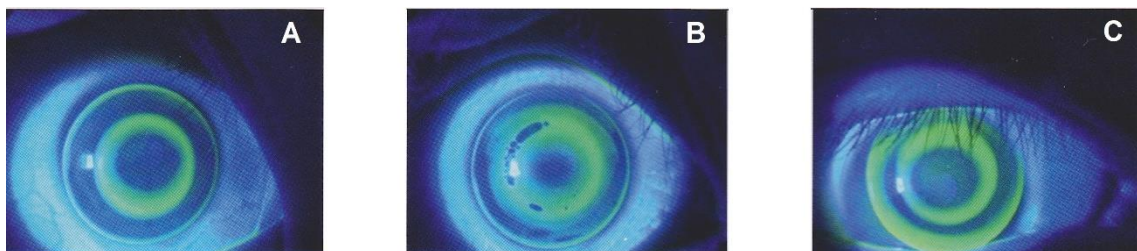
Vyhodnocení aplikace pomocí fluoresceinu odráží vztah mezi rohovkou a zadní plochou čočky. Vyhodnocuje se ihned po aplikaci fluoresceinu. Čočka musí být během kontroly v centru rohovky. Jednotlivé dizajny čoček mohou mít různé fluoresceinové obrazy. Typický fluoresceinový obraz čtyřkřivkové ortokeratologické čočky vidíte na obrázku 21.



Obrázek 21: Slzný profil a fluoresceinový obraz čtyřkřivkové ortokeratologické čočky. Pojmenování oblastí: 1 – centrální zóna, 2 – slzný rezervoár, 3 – stabilizační zóna, 4 – okraj. Upraveno z [1].

Ačkoli se může na první pohled zdát, že se čočka v centru dotýká rohovky, není tomu tak. Mezi rohovkou a zadní plochou čočky by měl být slzný film o minimální tloušťce kolem 5 μm [11]. Fluorescein je ale viditelný až od tloušťky 20 μm [11]. Dotyk v centrální části rohovky se projevuje barvením rohovky fluoresceinem po vyjmutí čočky a značí špatnou aplikaci.

Aplikaci se vyhodnocuje jako optimální, strmá nebo plochá (viz obr. 22).



Obrázek 22: Příklad fluoresceinového obrazu A) optimální aplikace, B) strmé aplikace, C) ploché aplikace. Upraveno z [1].

Optimální aplikace se vyznačuje centrální zónou o průměru 3 až 5 mm, slzným rezervoárem o šířce 0,5 až 1 mm, stabilizační zónou o šířce 1,0 až 1,5 mm a okrajem čočky přibližně 0,4 mm širokým.

Strmá aplikace se vyznačuje nedostatečným pohybem čočky, příliš malou centrální zónou, velmi širokým slzným rezervoárem, často s přítomností bublin, normální až úzkou stabilizační zónou a úzkým okrajem čočky. Při strmé aplikaci je potřeba snížit sagitální hloubku čočky.

Plochá aplikace se vyznačuje přílišným pohybem čočky, možnou decentrací nahoru nebo laterálně, širokou centrální zónou, normální až široký slzným rezervoárem, úzkou stabilizační zónou a širokým okrajem čočky. Při ploché aplikaci je potřeba zvýšit sagitální hloubku čočky. [1]

7.6.3 Kontrola topografií

Topografie jako jediná z kontrolních metod ukazuje pozici čočky na oku během spánku. Pomocí rozdílových map lze zjistit, jaké změny čočka na rohovce způsobuje.

Pomocí topografie se hodnotí

- **centrace čočky** – na tangenciální rozdílové mapě pozorujeme polohu červeného prstence vůči poloze zornice. Centrace čočky je zásadní faktor pro úspěch ortokeratologie.
- **refrakční změny na rohovce** - na sagitální rozdílové mapě přesunutím kurzoru do středu oploštěné zóny.
- **velikost oploštěné zóny** - na refrakční rozdílové mapě. Poloměr oploštěné zóny je vzdálenost od středu k místu, kde je rozdíl roven nule.

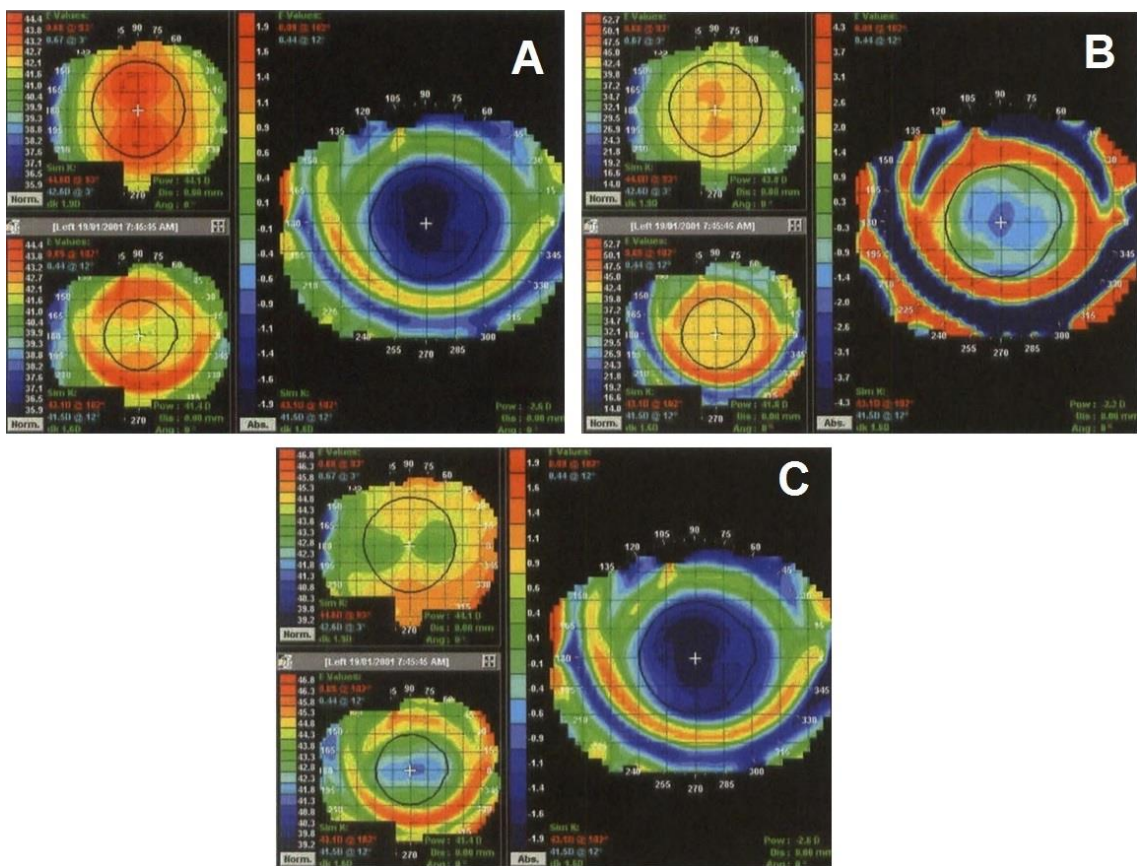
Existuje 7 odlišných podob rozdílových map. Nazývají se

- Bull's eye,
- Smajlík (Smiley face),
- Smajlík s falešným centrálním ostrůvkem (Smiley face with fake central island),
- Centrální ostrůvek (Central island),

- Šklebík (Frowny face),
- Laterální/postranní decentrace (Lateral decentration),
- Central divot. [1, 11]

Bull's eye

Je jako jedině výsledkem správně padnoucí čočky. Sagitální rozdílová mapa ukazuje centrálně položenou modrou zónu (zóna oploštění). Na tangenciální rozdílové mapě si všimáme červeného kruhu, který je centrován vůči pupile. [1, 11]



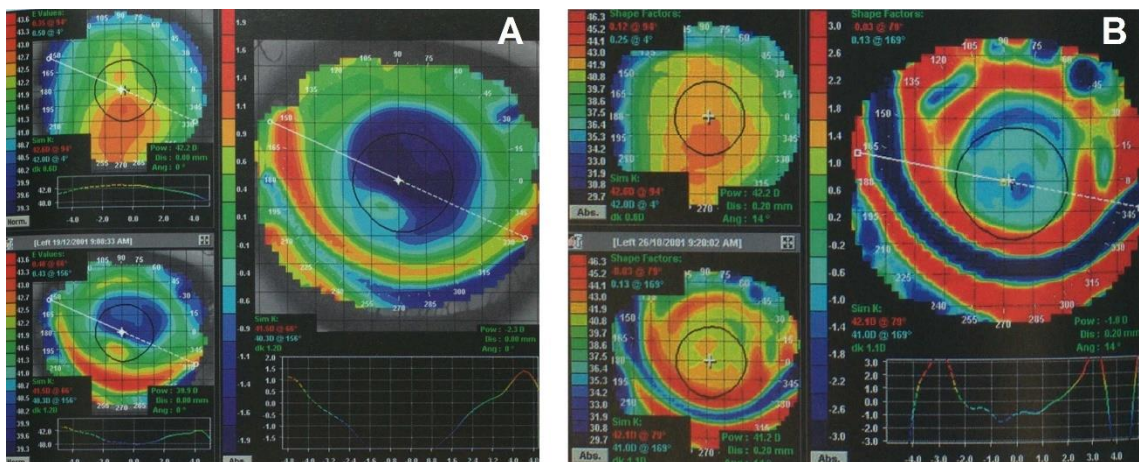
Obrázek 23: Rozdílové mapy Bull's eye: A) sagitální, B) tangenciální, C) refrakční. Upraveno z [11].

Smajlík

Na tangenciální rozdílové mapě se projevuje decentrací červeného prstence směrem nahoru. Během dne je vidění dobré, večer je přítomno oslnění, odlesky a duchové. Může navozovat také astigmatismus podle pravidla.

Smajlík je způsoben čočkou, která se během spánku decentruje směrem nahoru. Oploštěná zóna (zóna ostrého vidění) je pak decentrovaná nahoru vzhledem k zornici. Do zorného pole pak zvláště za šera zasahuje oblast prstence se strmějším zakřivením (tím pádem i jinou lomivostí), která zhoršuje kvalitu vidění (duchové, odlesky, oslnění).

Čočka má tendenci decentrovat se směrem nahoru kvůli příliš nízké sagitální hloubce. Tento stav se obecně řeší zvýšením sagitální hloubky čočky. [1, 11]



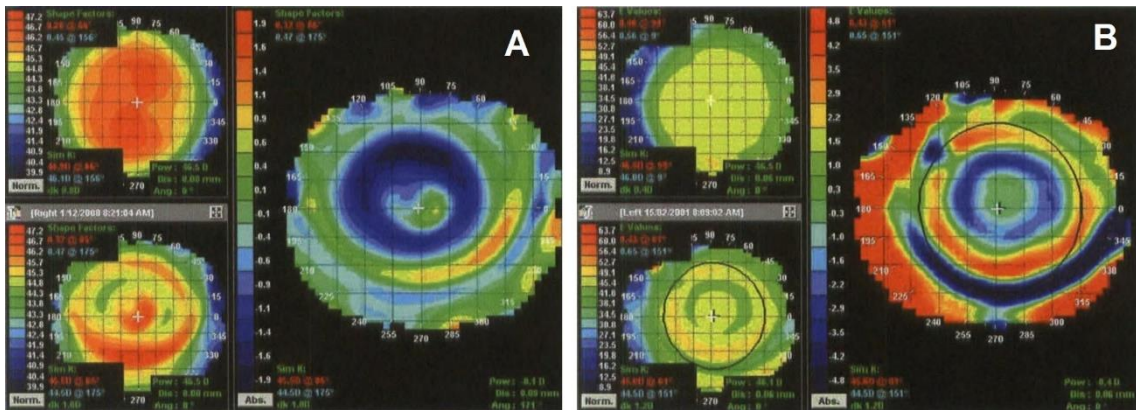
Obrázek 24: Rozdílové mapy Smajlíku: A) sagitální, B) tangenciální. Upraveno z [22].

Smajlík s falešným centrálním ostrůvkem

Na tangenciální mapě se projevuje červeným prstencem decentrovaným lehce nahoru. V centrální části je oblast s vyšším zakřivením. Zakřivení je ale nižší (plošší) než původní zakřivení rohovky. Vidění je zhoršené, objevuje se oslnění, odlesky a duchové. Rohovka se v místě falešného ostrůvku barví fluerescinem.

Vzniká, když je sagitální hloubka čočky ještě menší než u smajlíku. Příliš ploše aplikovaná čočka se centrální části rohovky a způsobuje poškození epitelu.

Řešením je aplikace čočky s vyšší sagitální hloubkou. [1, 11]



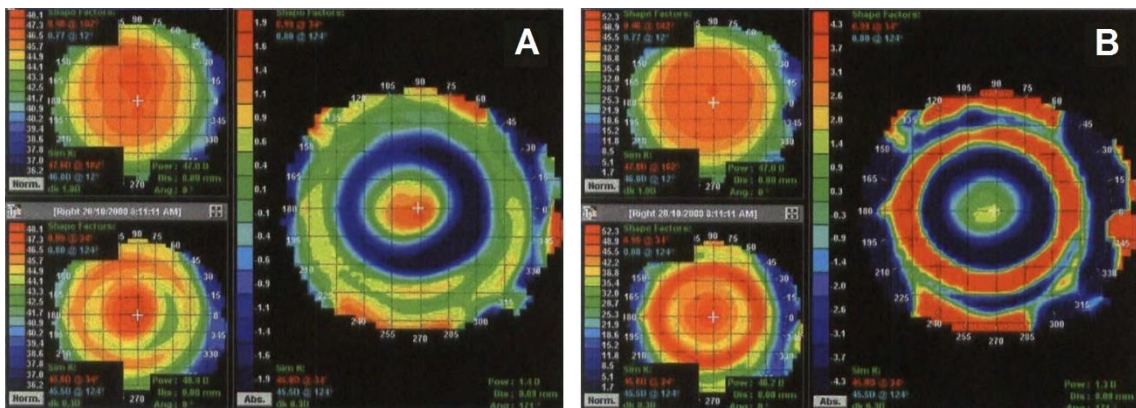
Obrázek 25: Rozdílové mapy smajlíku s falešným centrálním ostrůvkem: A) sagitální, B) tangenciální. Upraveno z [11]

Centrální ostrůvek

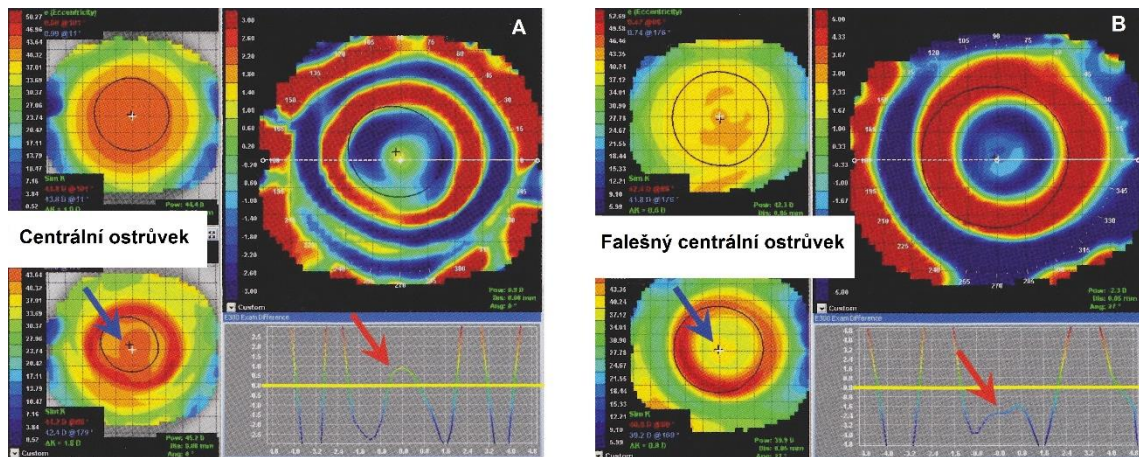
Na tangenciální rozdílové mapě se projevuje správně vycentrovaným červeným prstencem vzhledem k zornici. V centrální části se ale nachází oblast s vyšším zakřivením. Vidění s centrálním ostrůvkem není moc dobré, dokorekce nepomáhá.

Centrální ostrůvek bývá na rozdíl od falešného centrálního ostrůvku způsoben strmě nebo příliš těsně naaplikovanou čočkou.

Pokud je centrální ostrůvek plošší než původní rohovka a velikost ostrůvku je malá (méně než 1 D[1], méně než 0,5 D[11]), ostrůvek by měl spontánně vymizet do 1 týdne. Pokud je ostrůvek strmější než původní zakřivení rohovky, situace se řeší aplikací čočky s nižší sagitální hloubkou. [1, 11]



Obrázek 26: : Rozdílové mapy centrálního ostrůvku: A) sagitální, B) tangenciální. Upraveno z [11]



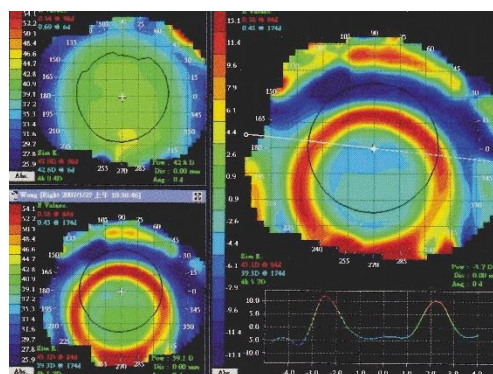
Obrázek 27: Srovnání rozdílové mapy centrálního ostrůvku a falešného centrálního ostrůvku. Z obrázku je patrné, že centrální ostrůvek má vyšší zakřivení než původní zakřivení rohovky. Falešný centrální ostrůvek je sice strmější než okolní oblast, je ale plošší než původní zakřivení rohovky. Upraveno z [1]

Šklebík

Na tangenciální rozdílové mapě je červený prstenec decentrován směrem dolů vzhledem k zornici. Myopická redukce je menší, než se očekávalo, může dojít k nárůstu astigmatismu, vidění je zhoršené oslněním, odlesky a duchy.

Šklebík je způsoben čočkou, která se během spánku decentruje směrem dolů. Bývá to způsobeno příliš velkou sagitální hloubkou čočky. Další příčinou může být příliš malý průměr čočky.

Tento stav se řeší snížením sagitální hloubky čočky nebo zvětšením průměru čočky. [1, 11]



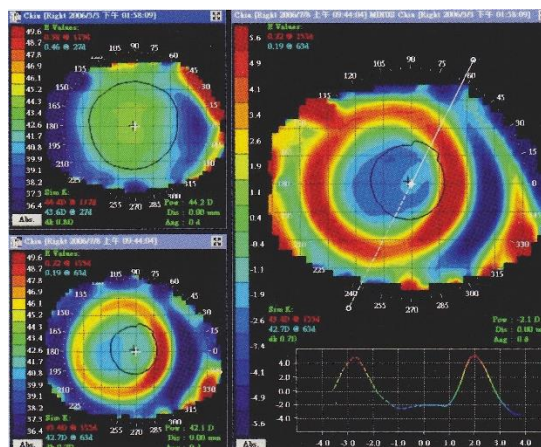
Obrázek 28: Tangenciální rozdílová mapa šklebíku. Upraveno z [1]

Laterální decentrace

Na tangenciální rozdílové mapě je červený prstenec decentrován nasálně nebo temporálně. Velikost zhoršení vidění závisí na velikosti decentrace. Vidění je zhoršené oslněním, odlesky a duchy, objevuje se astigmatismus.

Laterální decentrace čočky má různé příčiny. Může být způsobena špatnou aplikací čočky (čočka je příliš strmá nebo plochá = příliš nízká nebo vysoká sagitální hloubka čočky), příliš malým průměrem čočky nebo nepravidelným tvarem rohovky.

Situace se řeší podle příčiny. [1, 11]



Obrázek 29: Tangenciální rozdílová mapa laterální decentrace. Upraveno z [1]

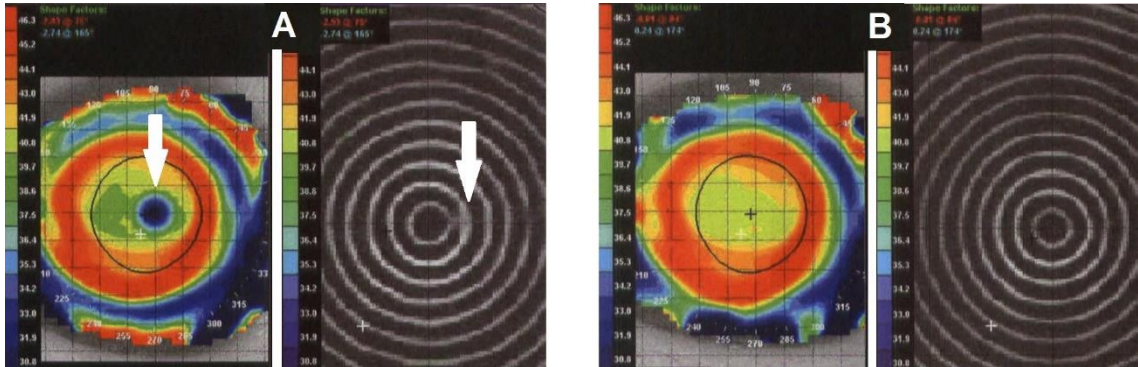
Central divot

Na topografické mapě se projevuje jako poměrně malá izolovaná oblast s vysokou hodnotou oploštění.

Tento stav může mít dvě příčiny

- 1) Může jít o následek centrálního dotyku čočky, který způsobí poškození epitelu. V tomto případě se bude epitel barvit fluoresceinem a může být zhoršený v'izus. Řeší se kontrolou a případnou změnou parametrů čoček.

- 2) Druhou příčinou může být nestabilní slzný film, který ovlivňuje snímek. Roztrhaný slzný film je patrný i na zobrazení Placidova disku. Pomůže kápnutí lubrikačních kapek před pořízením dalšího snímku. [1, 11]



Obrázek 30: Obrázek A ukazuje central divot způsobený roztržením slzného filmu při pořizování snímku (bílá šipka). Obrázek B je fotka stejného oka se stabilním slzným filmem. Upraveno z [11].

8 Vliv ortokeratologických čoček na rohovku a vidění

Účinkem nošení ortokeratologických čoček na oči a vidění se zabývají četné studie. Zkoumají zejména změny refrakce, topografie, změny v tloušťce rohovky, vnitřních struktur rohovky a kvality vidění. Jednotlivé změny lze sledovat z dlouhodobého nebo krátkodobého pohledu. Zkoumá se také reverzibilita změn. Tato kapitola shrnuje poznatky těchto studií.

8.1 Změny refrakce

Ortokeratologické čočky působí silami na rohovku a tím mění její tvar (zakřivení) a v důsledku toho i její refrakci. Aplikací ortokeratologických čoček můžeme u nízké až střední myopie očekávat minimálně 80% redukci vady [16, 24, 37–39], přičemž k největší redukci dochází už během první noci (až 60%) [16, 24, 39, 40]. Poté myopie dále pomalu klesá dalších 7 až 10 dnů. Kolem 10. dne se pokles myopie zastaví (stabilizuje)[41]. Po jednom měsíci nošení je docíleno asi 98% redukce [16, 24, 39, 40]. V průběhu dne dochází k regresi (nárůstu dioptrií) o 0,5 D až 0,75 D u bělochů [42]. U Asiátů je tato regrese minimální [43]. Studie nezjistily žádnou nebo jen minimální korekci astigmatismu [16, 39, 44]. Z literatury [1, 11, 32] také vyplývá, že u některých případů nelze dosáhnout ideální (úplné) korekce z různých důvodů (například kvůli nedostatečné centraci čočky, kterou není možné lépe vycentrovat, slabé reakci rohovky nebo příliš velké refrakční vadě).

Po ukončení nošení čoček se refrakce vrátí do původní hodnoty [16, 45–47]. Rychlost návratu refrakce do původní hodnoty závisí na velikosti korekce. Čím je korekce vyšší, tím je návrat rychlejší [47]. Rychlost návratu refrakce do původních hodnot se v jednotlivých studiích značně liší, pohybuje se v rozmezí od 3 dnů do 8 týdnů. Studie [39] zjistila návrat za 3 dny (po 1 měsíci nošení čoček), studie [47] uvádí také návrat za 3 dny (u subjektů, které čočky nosili 6 až 9 měsíců), studie [46] uvádí návrat refrakce do 1 týdne (u subjektů, kteří čočky nosili 1 rok) a studie [45] zjistila návrat refrakce do 8 týdnů od ukončení nošení čoček (po ročním nošení čoček).

8.2 Změny topografie

Vlivem nošení ortokeratologických čoček dojde k oploštění centrální části rohovky [28, 37, 39, 44, 48], ve střední periférii dochází k jejímu zestrmění [44]. Rohovka se oploští už po 10 až 15 minutách nošení ortokeratologické čočky při otevřených očích [40, 44]. K významnému efektu oploštění dochází po 8 hodinách spánku v čočkách [28, 40]. K největší změně ve tvaru rohovky dochází během první noci v čočkách. Ke stabilizaci dochází po 10 dnech nošení [39].

K redukci myopie dochází hlavně díky oploštění přední plochy rohovky [29, 49]. K největším změnám dochází v epitelu [23]. Krátkodobě je oploštění způsobeno hlavně ztluštěním střední periférie rohovky, dlouhodobě navíc ztenčením epitelu v centrální části [48]. Některé studie navrhují, že na redukci myopie se může podílet také stroma [50] a zakřivení zadní plochy rohovky [28]. Jiné studie ale změny v zakřivení zadní plochy rohovky vyvrátily [29].

Po ukončení nošení čoček se rohovka vrátí do původního tvaru. Doba, za jakou se rohovka vrátí do původního tvaru, záleží na délce období, po které byly čočky nošeny, dizajnu čočky a velikosti korekce myopie a pohybuje se od 1 týdne do 2 měsíců [1].

8.3 Změny v tloušťce rohovky

Jednotlivé studie zkoumající vliv ortokeratologie na tloušťku rohovky se shodují na tom, že dochází k ztenčení rohovky v centrální části a ke ztluštění rohovky ve střední periférii. Neshodují se už ale na tom, které vrstvy rohovky přispívají k těmto změnám. Pokles tloušťky rohovky v centru je dobře patrný už po jednom přespání s čočkami [51].

Změny v tloušťce epitelu rohovky

Studie [41] prezentuje, že dochází ke ztenčení epitelu v centrální části. Ve střední periférii podle této studie nedochází k žádné signifikantní změně epitelu. Jiné studie [26, 50] ukazují taktéž, že dochází ke ztenčení epitelové vrstvy v centrální oblasti rohovky, ve střední periférii naopak dochází ke ztluštění rohovky. Studie [51] zjistila ztenčení epitelu v centrální části v horizontálním i vertikálním meridiánu.

Ve střední periférii dochází podle studie [51] ke ztluštění v nasální a temporální části a ke ztenčení epitelu v horní části.

Změny v tloušťce stromatu rohovky

Studie [41] zjistila ztluštění stromatu ve střední periférii a žádné změny v centrální části rohovky. Studie [50] prezentuje, že dochází naopak ke ztenčení stromatu ve střední periférii a zároveň ke ztluštění stromatu v centrální části (tato studie ale zkoumala pouze jednoho probanda). Studie [52] také zjistila ztluštění stromatu v centrální části rohovky.

Změny v tloušťce Bowmanovy membrány

Studie [51] nezjistila žádné změny v tloušťce Bowmanovy membrány. Studie [52] naopak objevila redukci v centrální tloušťce Bowmanovy membrány.

8.4 Změny vnitřních struktur rohovky

Změnami vnitřních struktur rohovky se zabývají studie [48, 52, 53] a studie [27, 54], které zkoumající tuto problematiku na zvířatech.

Změny epitelu

Studie zaznamenaly snížení hustoty bazálních buněk [48, 52, 53]. Polyedrické buňky vykazovaly zvýšenou viditelnost a povrchové buňky byly zvětšeny do šířky. Tyto změny jsou patrné už po 30 dnech nošení čoček [53] a jsou plně reverzibilní (do jednoho měsíce po ukončení nošení čoček [52]). Studie na provedená na opicích [54] ukázala, že dochází ke stlačení polyedrických a bazálních buněk v centrální části rohovky už po 24 hodinách nošení čoček. Studie provedená na králících [27] po 28 denní terapii, při které byly čočky nošeny 8 hodin denně, neodhalila žádné změny ve funkci epitelu.

Změny stromatu

Změnami v rohovkovém stromatu se zabývaly studie [52, 53] a nezaznamenaly žádné změny v hustotě buněk a struktuře stromatu.

Změny endotelu

U krátkodobých nositelů (30 dnů) nebyly zjištěny žádné změny v endotelu [48, 53]. Ve studii [52] bylo zjištěno zvýšení polymegatismu endotelových buněk u probandů nosících čočky jeden rok. Stav nebyl vrácen do původního stavu do jednoho měsíce od ukončení nošení čoček [52]. Studie [48] naopak nenašla žádné změny v endotelu u probandů nosících čočky 5 let.

8.5 Změny kvality vidění

Změny v kvalitě vidění bývají v jednotlivých studiích posuzovány na základě hodnocení vízu a kontrastní citlivosti. Bylo zjištěno, že vízus je srovnatelný s vízem dosaženým jinou korekcí. Dochází ale ke snížení kontrastní citlivosti ve všech prostorových frekvencích, zvláště za mezopických podmínek [45, 46, 50, 55, 55–57].

Mnohými studiemi bylo také potvrzeno, že dochází k nárůstu aberací vyšších řádů a to především 3. a 4. řádu (zvláště koma a sférická aberace). Nárůst aberací 3. a 4. řádu byl zjištěn jak při měření rohovkových aberací [44, 57–59] tak u měření celkových aberací oka [46, 50, 56, 57, 60, 61]. Nárůst aberací probíhá především v prvních 7 dnech adaptace, stabilizace nastává po 1 týdnu [56] až 1 měsíci [55]. Nárůst aberací vyšších řádů má za následek zhoršení vidění za šera, když jsou rozšířené zornice a za sníženého kontrastu [16]. Také bylo zjištěno, že čím vyšší je korekce myopie, tím větší je nárůst aberací vyšších řádů [58, 60, 61], snížení kontrastní citlivosti [58] a také možný vznik nepravidelného astigmatismu [60, 61].

Všechny změny v kvalitě vidění jsou plně reverzibilní do 1 týdne od přestání nošení čoček [46] (do 8 týdnů [45]).

9 Praktická část

9.1 Cíle

Jedná se o případovou studii, která si klade za cíl pozorovat průběh aplikace ortokeratologických čoček pro korekci myopie a podrobně popsat změny, které se dějí v průběhu korekce. Výzkum pozoroval změny subjektivní refrakce, zakřivení rohovky, vízu a aberací nižších a vyšších řádů. Výsledky pak byly srovnány s výsledky existujících studií.

9.2 Metodika

Charakteristika subjektu

Výzkumu se zúčastnil jeden subjekt. Žena, 24 let, studentka. Během výzkumu byly měřeny obě oči, které jsou zdravé, bez patologií a anomálií, bez operačního zásahu. Základní vstupní parametry očí jsou shrnuty v tabulce 2.

Tabulka 2: Parametry očí před začátkem nošení ortokeratologických čoček.

Parametr	Pravé oko	Levé oko
Refrakce [D]	-3,00 cyl -0,25 ax 90°	-2,75
Vízus s korekcí	1,58	1,58
	Binokulárně: 1,58	
Vízus bez korekce	0,12	0,12
	Binokulárně: 0,16	
Poloměr zakřivení rohovky [mm]	R_H : 7,91	R_H : 7,93
	R_V : 7,80	R_V : 7,81
Excentricita	0,65	0,65
Tloušťka rohovky [μ m]	524	529
Průměr zornice [mm]	5	5

Průběh výzkumu

Subjektu byly naaplikovány ortokeratologické čočky sleep&see firmy Technolens. Jejich parametry jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Parametry použitých ortokeratologických čoček.

Parametr	Pravé oko	Levé oko
r_0 – centrální zakřivení [mm]	8,73	8,65
r_{02} – periferní zakřivení [mm]/ excentricita ve 30°	7,90/0,70	7,95/0,65
F'v – dioptrický účinek ve vzduchu [D]	+0,75	+0,75
Trgt – cílová korekce (nejde o parametr ale o znázornění efektu čočky) [D]	-3,30	-2,70
$\varnothing T$ – celkový průměr čočky [mm]	11,00	11,00
$\varnothing O$ – průměr centrální zóny zadní plochy [mm]	6,00	6,25
δS – odchylka sagitální hloubky ortokeratologické čočky od sagitální hloubky asférické čočky se stejnými parametry	0 μ	0 μ
ec – středová tloušťka [mm]	0,22	0,22
materiál	Boston XO Vert	Boston XO Violet

Čočky byly naaplikovány studenty třetího ročníku optometrie školy Aalen v Německu v prosinci 2014. Na průběh a správnost aplikace dohlížel Prof. Dr. Andreas Holschbach.

Sběr dat pro výzkum probíhal na katedře Optiky Univerzity Palackého v Olomouci. Protože autorka práce byla zároveň sledovaným subjektem, měření bylo prováděno jinými optometry (studenti magisterského studia a vyučující).

První fáze měření začala v březnu 2015. Byly pozorovány změny po ukončení nošení ortokeratologických čoček. Změny byly sledovány až do doby, než se sledované parametry vrátily původního stavu (tj. stavu před začátkem nošení čoček). Nejdříve se změnily parametry oka po 3 měsících nošení ortokeratologických čoček (den 0 výzkumu). Poté subjekt čočky přestal nosit. V prvních dvou dnech (den 1 a 2 výzkumu), kdy mělo podle jednotlivých studií docházet k největším změnám, bylo měření prováděno třikrát denně (ráno, v poledne, večer). Třetí den bylo provedeno měření dvakrát (dopoledne a večer). Dále se měřilo pouze jednou denně a to ve

dnech 4, 7, 8, 9, 10, 14, 17, 24 a 31 po přerušení nošení čoček. Dne 31 byly naměřeny hodnoty odpovídající původnímu stavu oka.

Druhá fáze měření probíhala v dubnu a květnu 2015. Byly pozorovány změny spojené se začátkem nošení ortokeratologických kontaktních čoček. Jako den 0 (výchozí stav bez čoček) byl zvolen den 31 první fáze. Subjekt spal v ortokeratologických čočkách každou noc 7 hodin. Měření bylo prováděno dvakrát denně a to v 8:00 (1 hodina po vyjmutí čoček) a ve 20:00 (13 hodin po vyjmutí čoček) ve dnech 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 36 a 37 od začátku nošení ortokeratologických kontaktních čoček.

Naturální vízus a subjektivní refrakce byly měřeny na optotypu LCD s vyšetřovací vzdáleností 6 m a sadou znaků British letters pomocí sady zkušebních čoček. Současně bylo stručně zaznamenáváno subjektivní hodnocení vidění zejména za zhoršených světelných podmínek. Zakřivení rohovky a rohovková topografie byly měřeny na přístroji Keratograph 3 firmy Oculus. Tloušťka rohovky byla měřena na pachymetru Pachycam firmy Oculus. Rohovkové aberace byly měřeny na přístroji Keratograph 3 firmy Oculus. Celkové oční aberace byly měřeny na přístroji i.Profiler firmy Zeiss. Aberace byly v obou případech měřeny pro velikost pupily 5 mm. Sledovány byly aberace do 4. řádu. Velikost aberací nižšího (2.) řádu byla reprezentována RMS přiřazenou dané aberaci, tj. pro defokus

$$RMS_{2,0} = \text{abs} [Z(2,0)], \quad (9)$$

pro astigmatismus

$$RMS_{2,\pm 2} = \sqrt{Z(2, -2)^2 + Z(2,2)^2}. \quad (10)$$

Aberace 3. a 4. řádu byly reprezentovány vždy pomocí souhrnné RMS,

$$RMS_3 = \sqrt{Z(3, -3)^2 + Z(3, -1)^2 + Z(3,1)^2 + Z(3,3)^2}, \quad (11)$$

$$RMS_4 = \sqrt{Z(4, -4)^2 + Z(4, -2)^2 + Z(4,0)^2 + Z(4,2)^2 + Z(4,4)^2}. \quad (12)$$

Aby bylo možné spolu porovnat rohovkové aberace a celkové oční aberace, byly od jednotlivých naměřených hodnot odečteny referenční hodnoty původních aberací oka a rohovky před začátkem nošení ortokeratologických čoček. Výsledky měření jsou prezentovány ve formě tabulek a grafů.

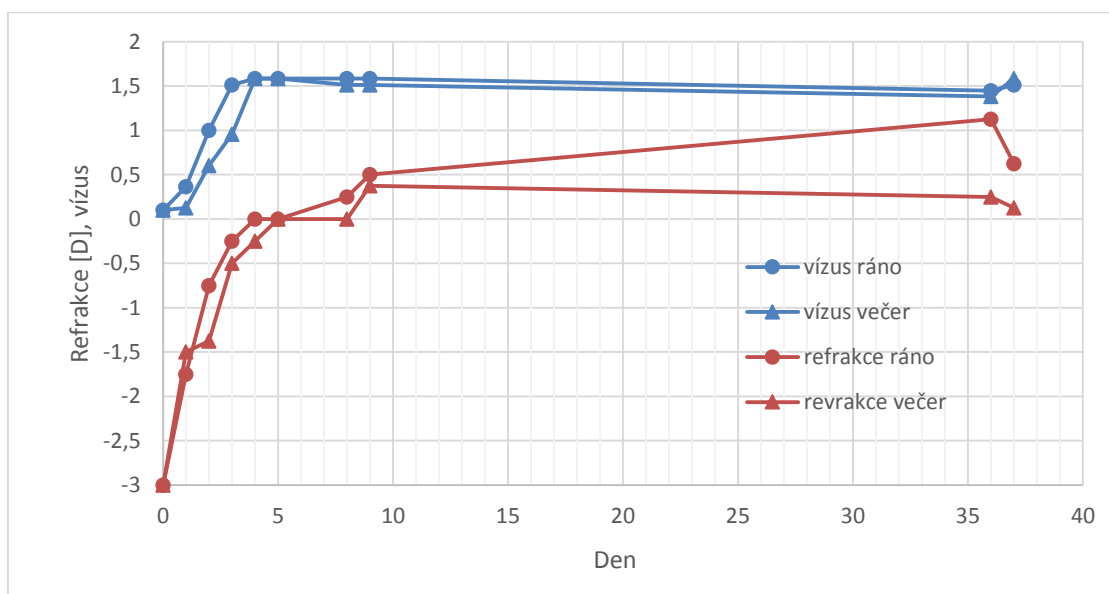
9.3 Výsledky

Pro přehlednost jsou výsledky rozděleny do tří podkapitol. V první podkapitole jsou prezentovány výsledky z druhé fáze výzkumu, kdy byly sledovány změny při začátku nošení kontaktních čoček. V druhé podkapitole jsou prezentovány výsledky z první fáze výzkumu, kdy byl sledován návrat parametrů do původních hodnot. Ve třetí podkapitole jsou v tabulkách srovnány hodnoty jednotlivých sledovaných parametrů na začátku a na konci obou fází experimentu s původními hodnotami. Pro názornou demonstraci efektu ortokeratologické čočky na topografii oka jsou příloze 3 uvedeny rozdílové mapy sagitální, tangenciální a refrakční pravého a levého oka. Porovnávají stav oka bez kontaktních čoček se stavem po třech měsících nošení ortokeratologických kontaktních čoček.

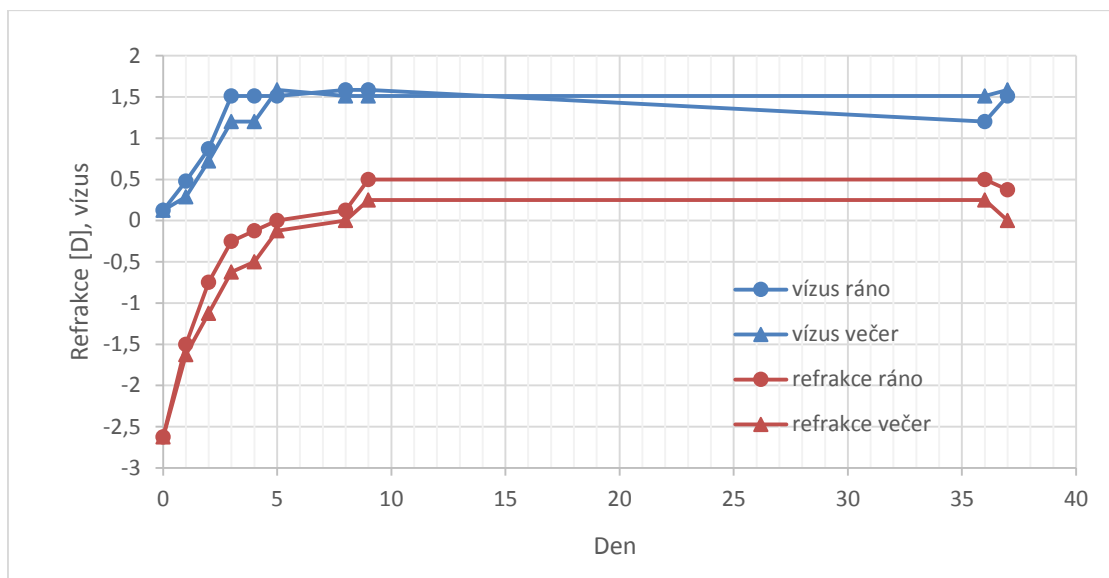
9.3.1 Změny při adaptaci na čočky

Změny refrakce a vízu

Změny v subjektivní refrakci a vízu bez korekce ukazuje obrázek 31 pro pravé oko a 32 pro levé oko. Vzhledem k tomu, že hodnoty cylindru byly od začátku měření nízké, jeho změny malé (v rozmezí 0 až -0,5 D) a vykazovaly náhodný charakter, byl vyhodnocován pouze sférický ekvivalent subjektivní refrakce. V grafu jsou zobrazeny zvláště hodnoty naměřené ráno a hodnoty naměřené večer.



Obrázek 31: Srovnání změn vízu a sférického ekvivalentu subjektivní refrakce pravého oka ráno a večer způsobené nošením ortokeratologické čočky.



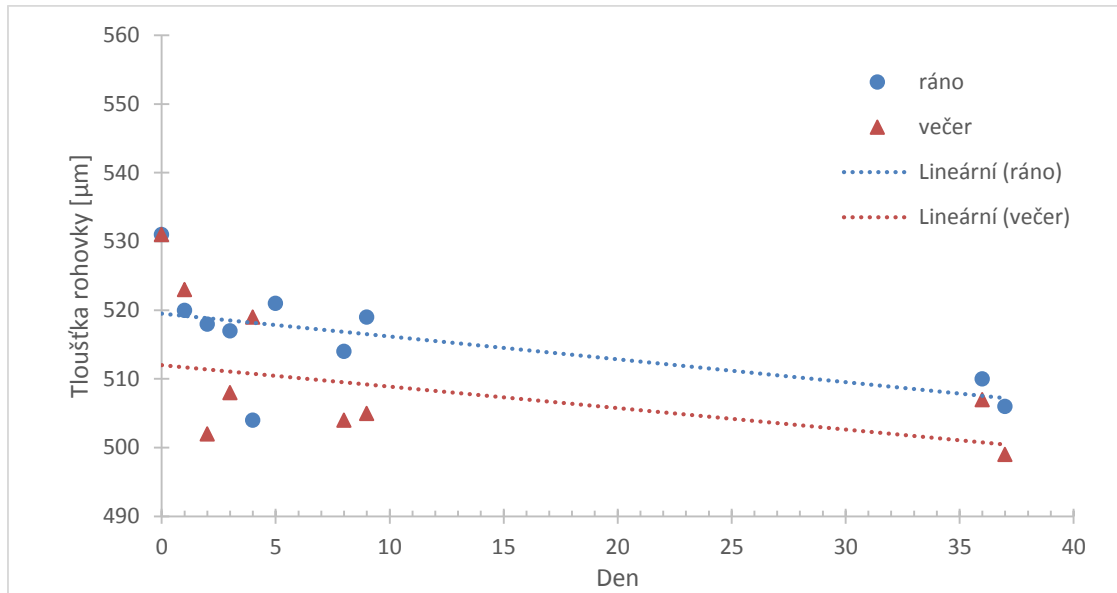
Obrázek 32: Srovnání změn vízu a sférického ekvivalentu subjektivní refrakce levého oka ráno a večer způsobené nošením ortokeratologické čočky.

Z grafů vyplývá, že změny v refrakci korespondují se změnami ve vízu. Už po první noci s čočkami je patrné zlepšení nekorigovaného vízu a pokles refrakční vady. Tento vývoj po dalších nocích pokračuje. Maximálního vízu bylo dosaženo po třech nocích s čočkami. První tři dny (čtyři dny u levého oka) byly večerní hodnoty vízu horší než ranní hodnoty. Od čtvrtého dne (pátého dne u levého oka) už byl vízus stabilní po celý den. K největší změně refrakce došlo během první noci s čočkami (o 1,25 D na pravém oku a o 1,13 D na levém oku). Během prvních čtyř dnů docházelo k nárůstu refrakce o 0,25 až 0,63 D během dne. K úplné korekci refrakční vady došlo ráno po čtvrté noci (po páté noci u levého oka). K menším změnám v refrakci docházelo ještě do 9. dne, pak už byla refrakce stabilní (pouze se změnami během dne o 0,25 až 0,5 D).

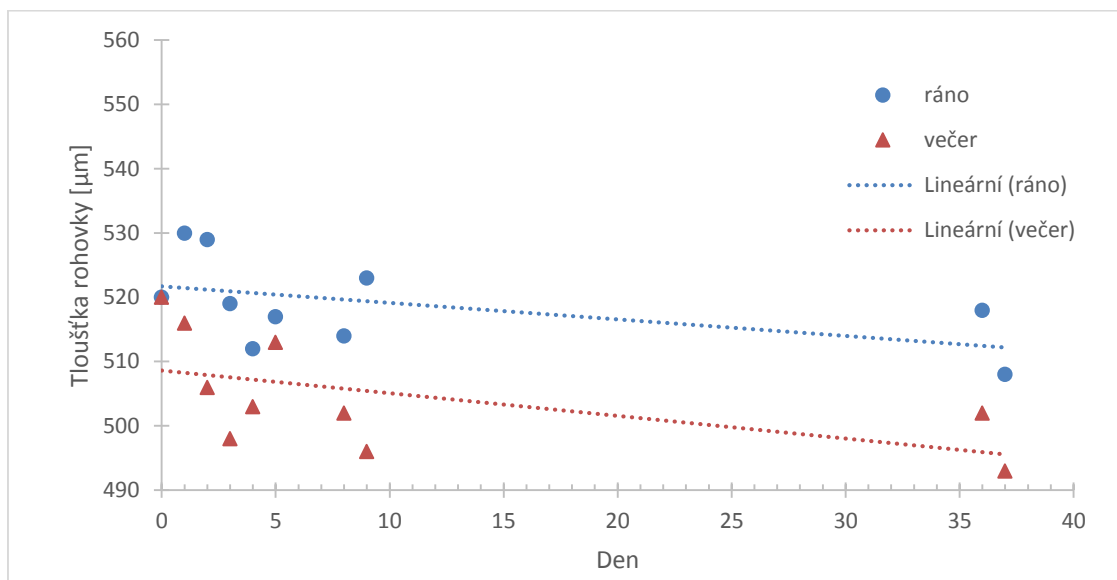
Subjektivní vnímání vidění: ostrého vidění bylo dosaženo třetí den ráno, večer se vidění lehce zhoršilo. Od pátého dne bylo vidění ostré celý den až do nočních hodin. Večer a za šera se rušivě projevovali duchové kolem kontrastních objektů a halo efekt. Na pravém oku byl tento rušivý vjem silnější. Tyto efekty společně s oslněním velmi znesnadňovaly řízení auta večer a v noci. Také čtení večer bylo možné pouze za dobrého osvětlení (v šeru se oči velmi rychle unavily). Vidění ve dne a zvláště venku při sportech bylo perfektní.

Změny tloušťky rohovky

Změny v centrální tloušťce rohovky ukazuje obrázek 33 pro pravé oko a 34 pro levé oko.



Obrázek 33: Změny v centrální tloušťce rohovky pravého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.

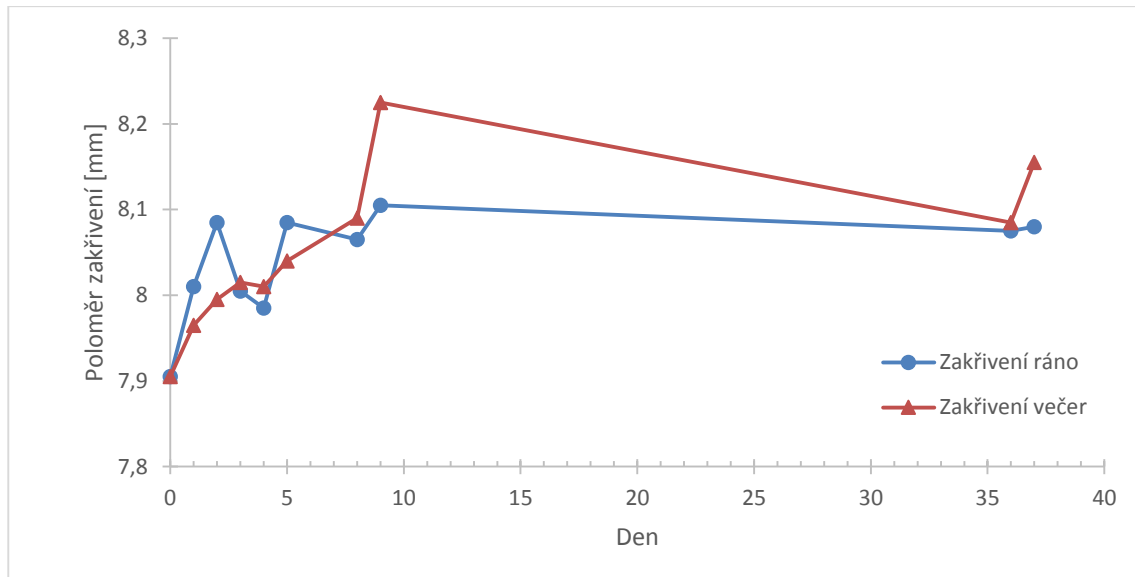


Obrázek 34: Změny v centrální tloušťce rohovky levého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.

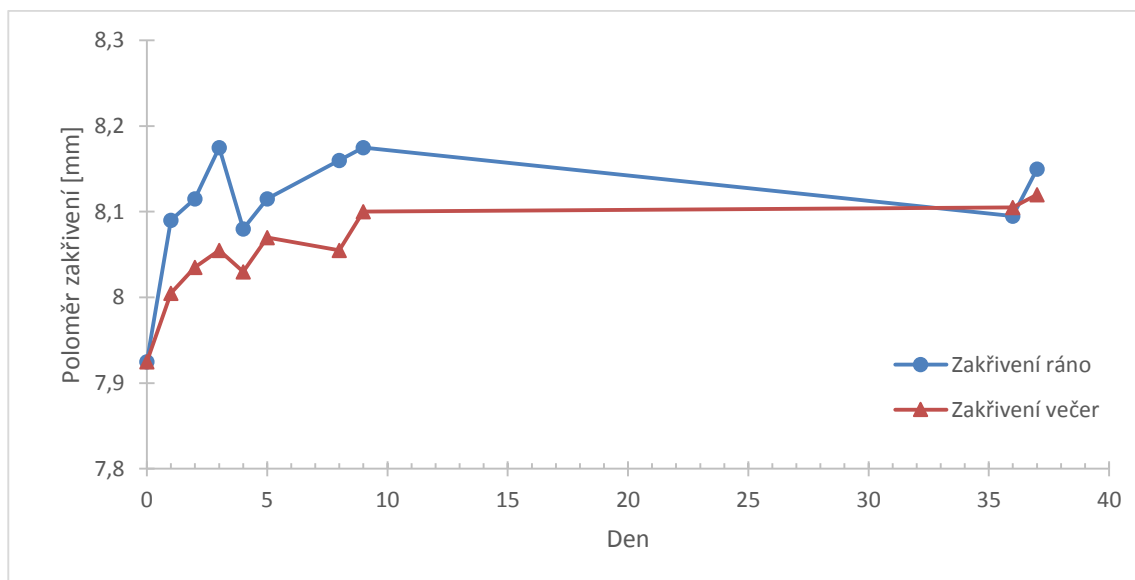
Změny v tloušťce rohovky mají u obou očí klesající tendenci. Večer je rohovka z pravidla tenčí večer než ráno. Během zkoumaného časového úseku klesly hodnoty tloušťky rohovky měřené ráno o 25 μm na pravém oku a o 12 μm na levém oku.

Změny v zakřivení rohovky

Následující grafy (obr. 35 a 36) ukazují změny v zakřivení centrální části rohovky. Protože si změny horizontálního a vertikálního zakřivení odpovídaly, jsou v grafu uvedeny průměrné hodnoty zakřivení.



Obrázek 35: Změny poloměru zakřivení pravého oka ráno a večer způsobené nošením ortokeratologické čočky.



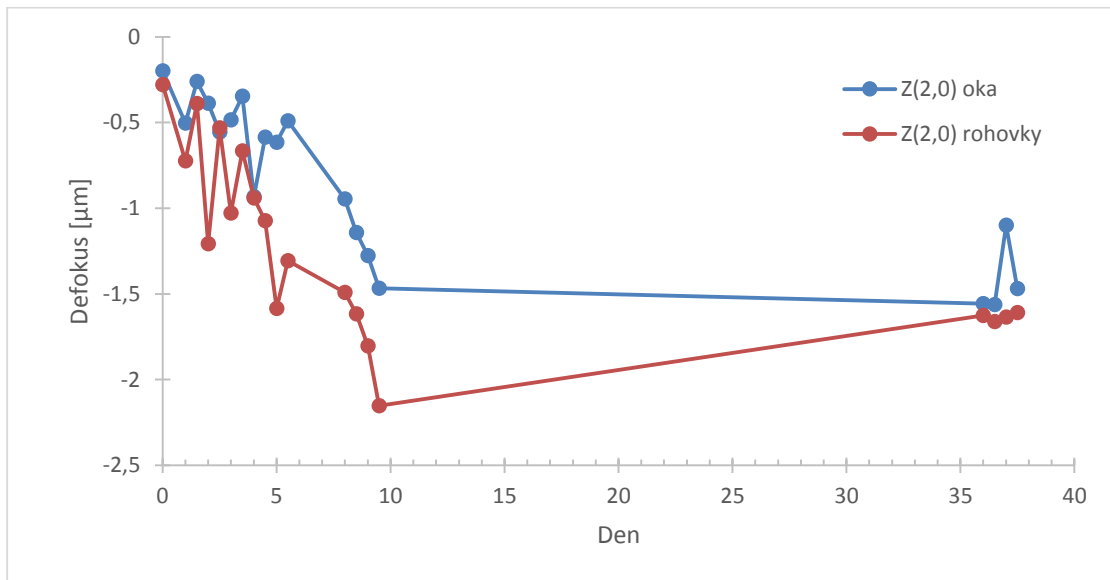
Obrázek 36: Změny poloměru zakřivení levého oka ráno a večer způsobené nošením ortokeratologické čočky.

Po začátku nošení ortokeratologických čoček se poloměr zakřivení rohovky v centrální část postupně zvětšoval (rohovka se postupně v centru oplošťovala) do

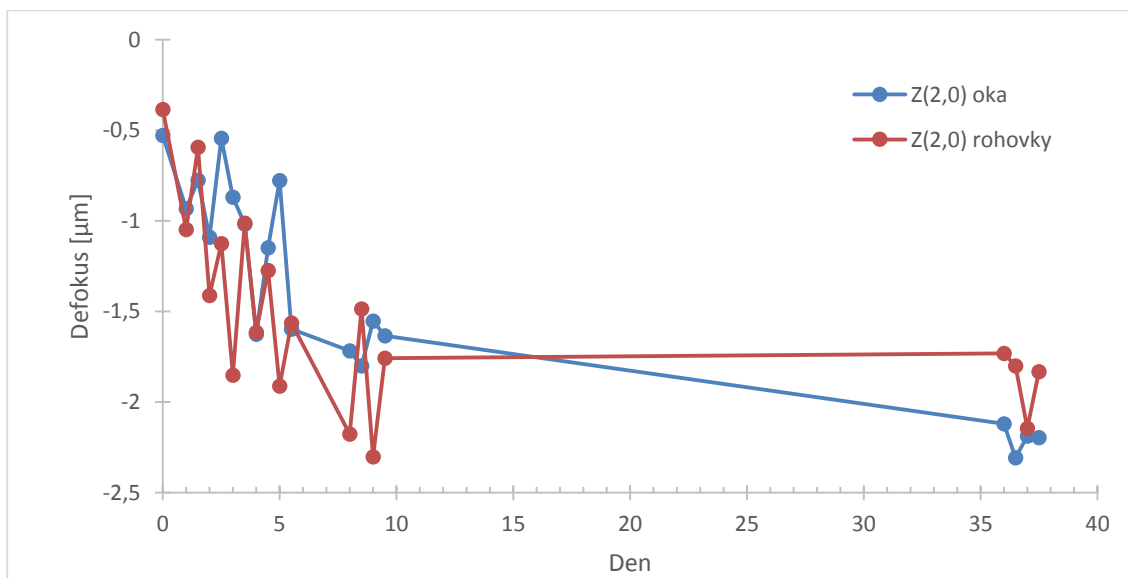
devátého dne, poté se změny stabilizovaly. U levého oka je zřetelné, že rohovka byla ráno plošší než večer.

Změny v aberacích

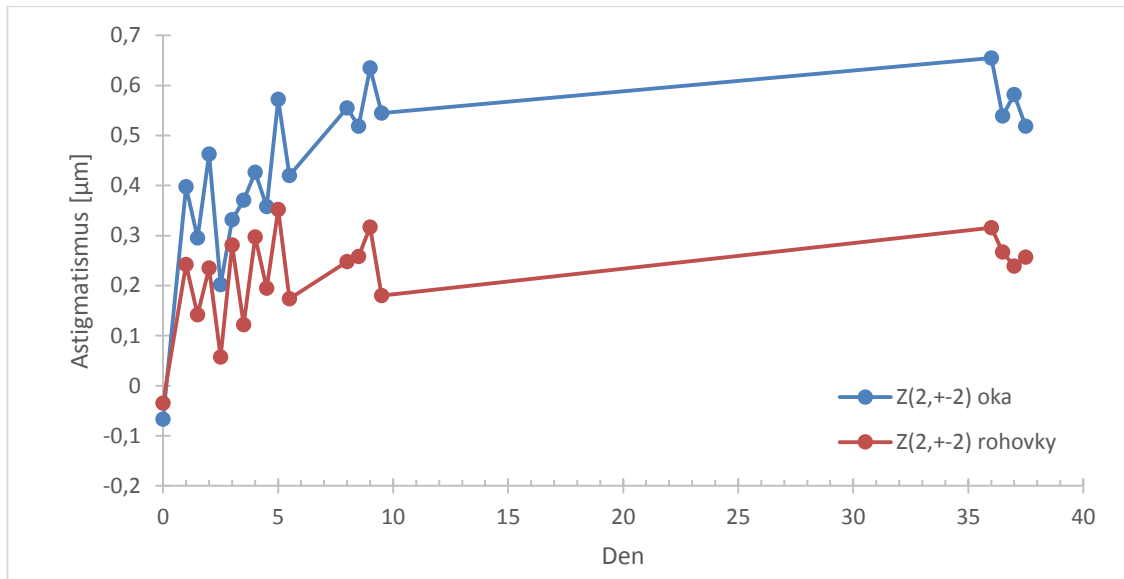
Následující grafy srovnávají změny v rohovkových a celkových očních aberacích nižších řádů (obr. 37 až 40) a vyšších řádu (obr. 41 a 42).



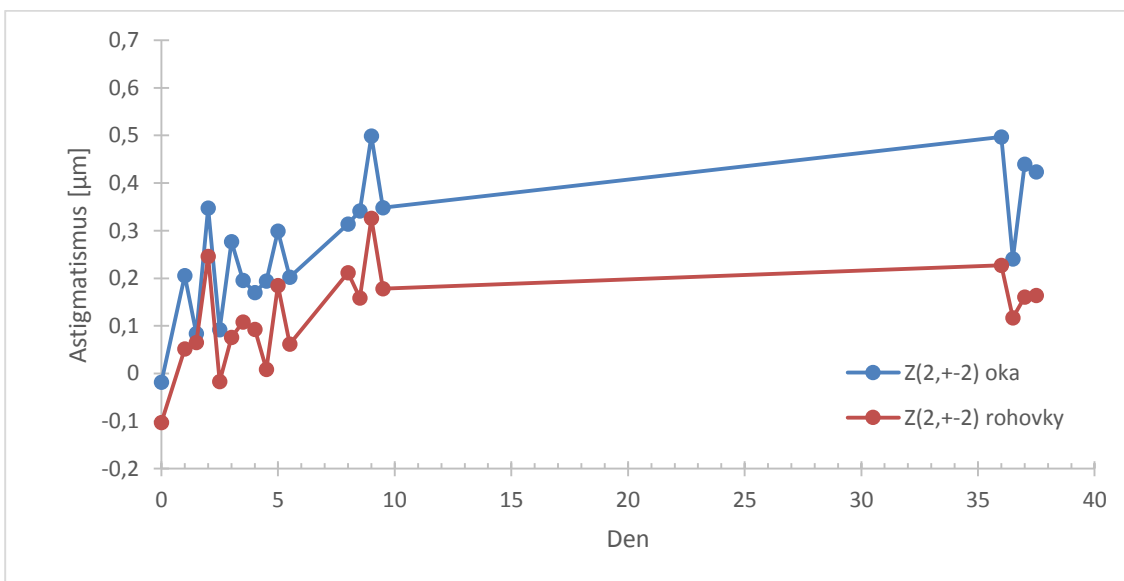
Obrázek 37: Změny v defokusu Z(2,0) rohovky a oka pravého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.



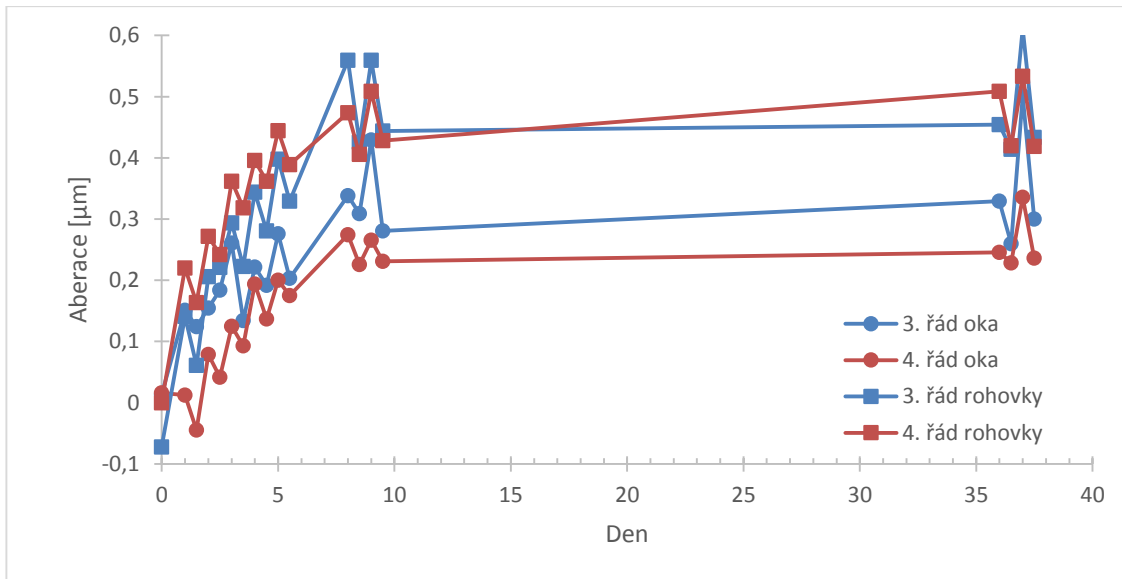
Obrázek 38: Změny v defokusu Z(2,0) rohovky a oka levého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.



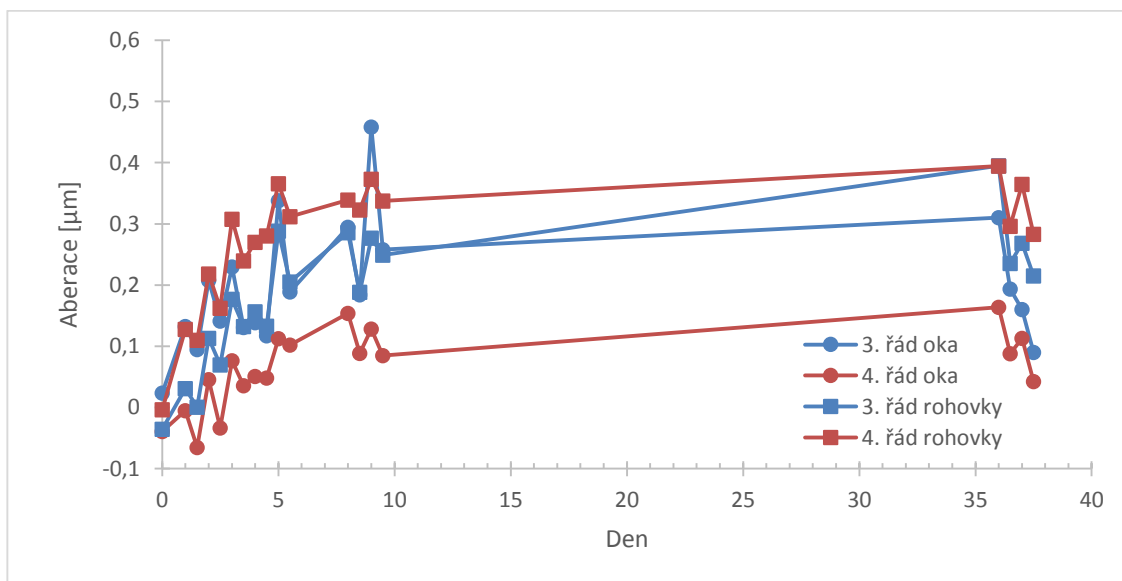
Obrázek 39: Změny v astigmatismu Z(2,±2) rohovky a oka pravého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.



Obrázek 40: Změny v astigmatismu Z(2,±2) rohovky a oka levého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.



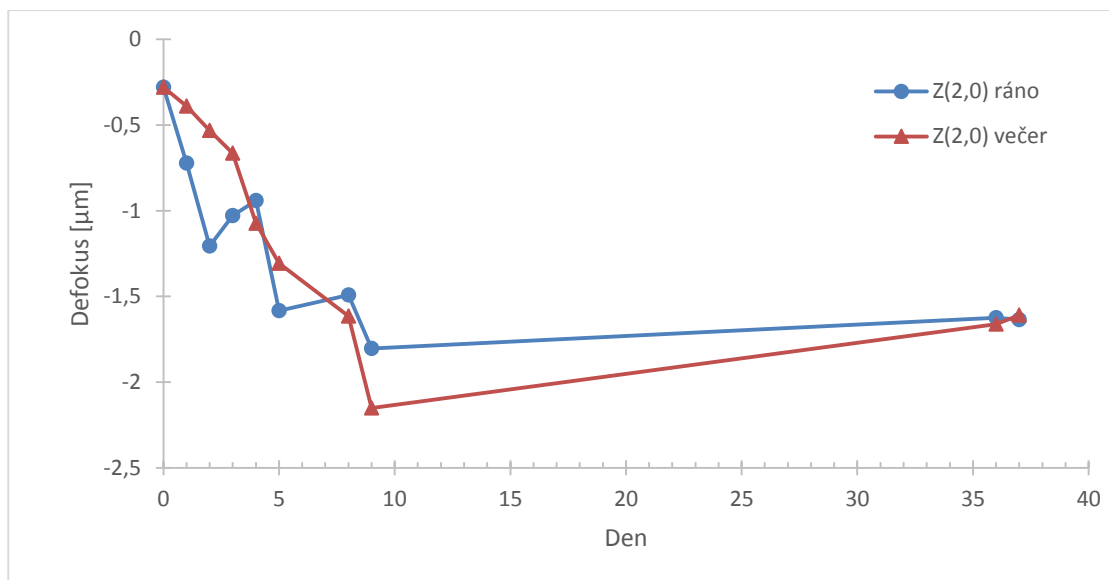
Obrázek 41: Změny v aberacích vyšších řádů oka a rohovky pravého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.



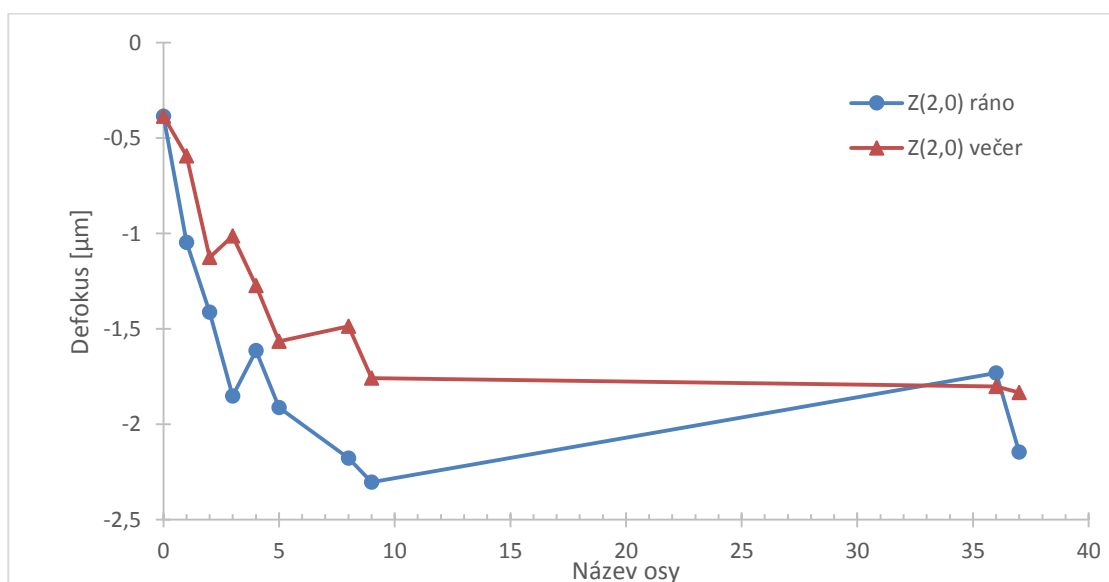
Obrázek 42: Změny v aberacích vyšších řádů oka a rohovky levého oka způsobené nošením ortokeratologické čočky.

Z grafů je patrné, že změny aberací rohovkových a očních mají stejný průběh. Hodnoty defokusu během prvních 9 dnů klesají, hodnoty astigmatismu a aberace vyšších řádů naopak narůstají.

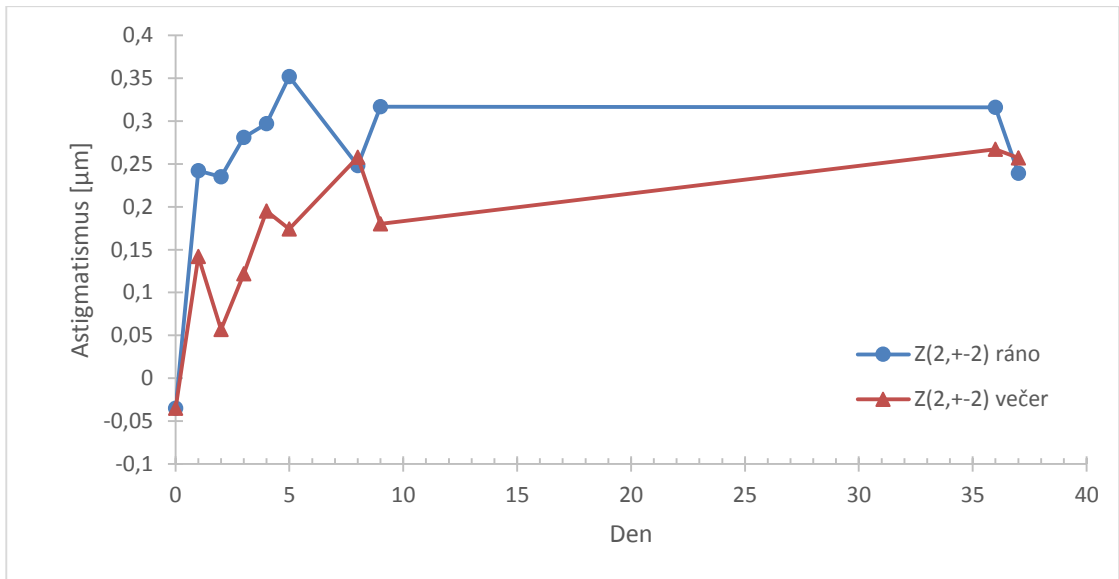
Následující grafy srovnávají hodnoty aberací vyšších (obr. 43 až 46) a nižších (obr. 47 a 48) řádů ráno a večer. Protože s předchozími grafy je patrné, že průběh aberací na rohovce a celkových očích se kopírují, jsou změny ráno a večer ukázány pouze na změnách aberací rohovky.



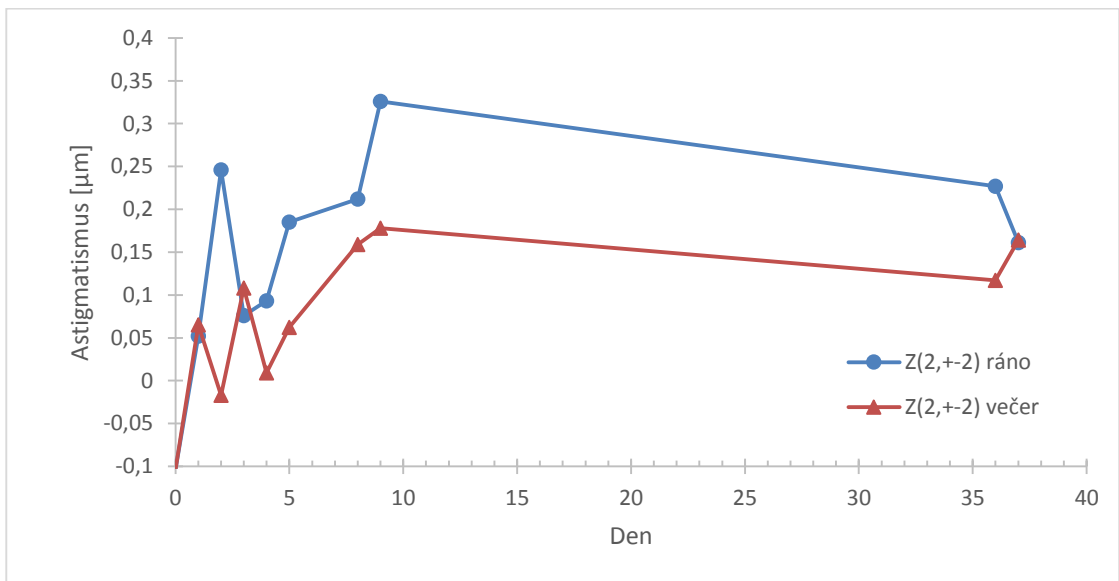
Obrázek 43: Srovnání defokusu rohovky pravého oka ráno a večer.



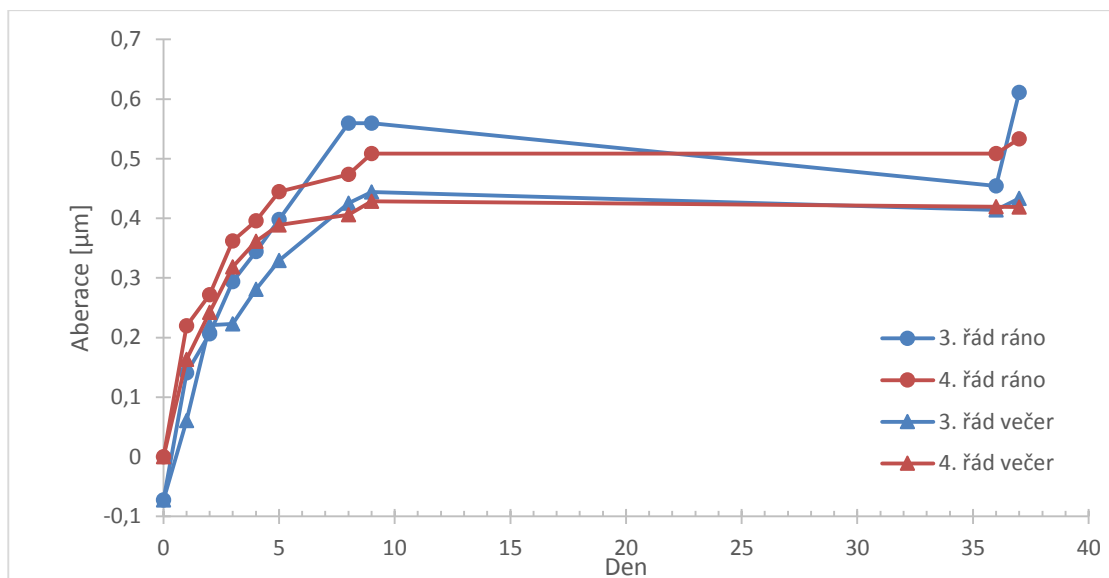
Obrázek 44: Srovnání defokusu rohovky levého oka ráno a večer.



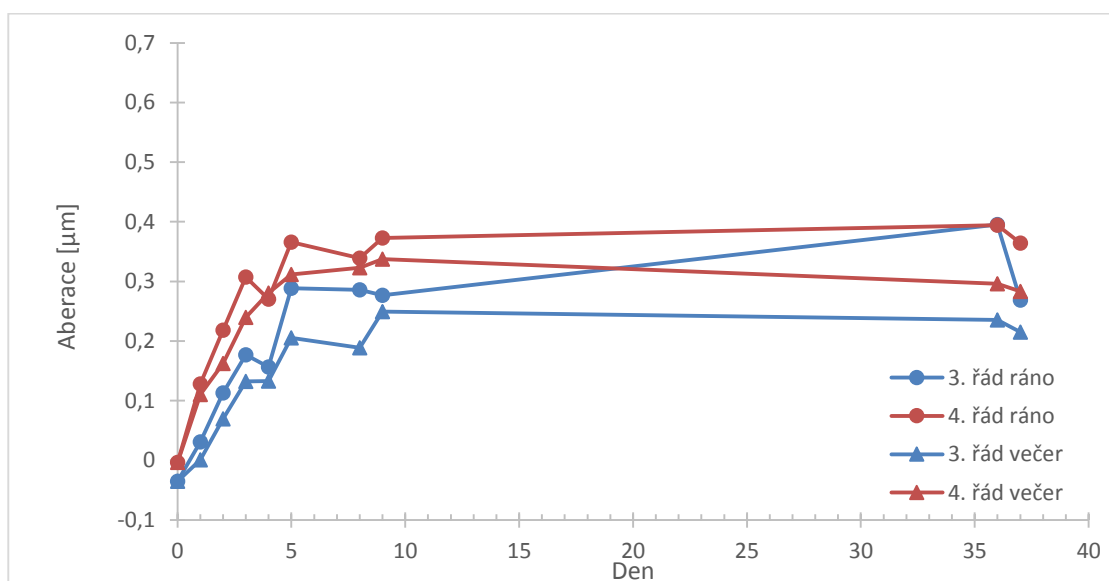
Obrázek 45: Srovnání astigmatismu rohovky pravého oka ráno a večer.



Obrázek 46: Srovnání astigmatismu rohovky levého oka ráno a večer.



Obrázek 47: Srovnání aberací vyšších řádů rohovky pravého oka ráno a večer.



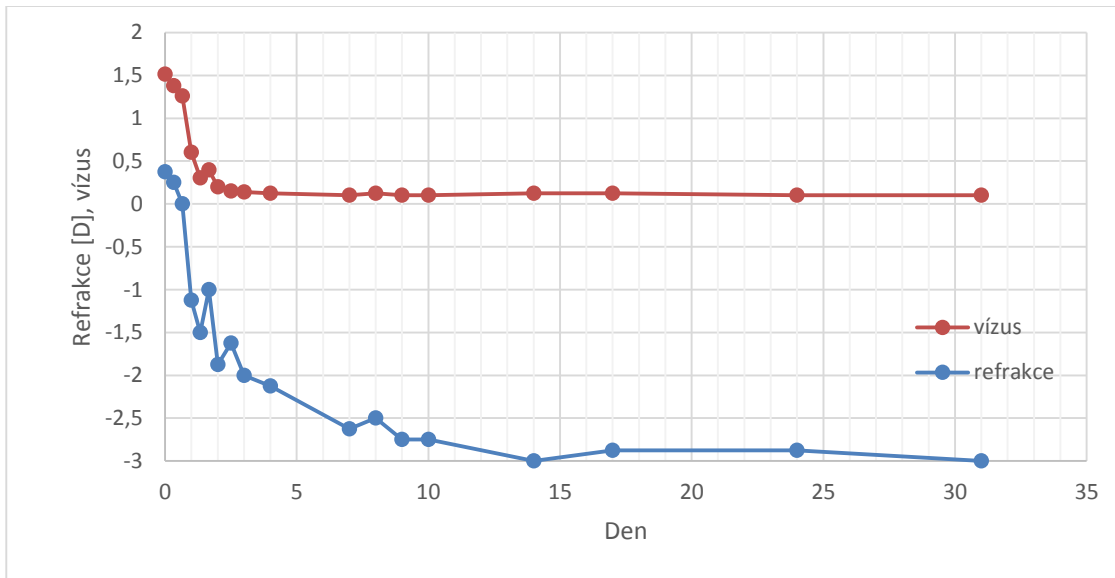
Obrázek 48: Srovnání aberací vyšších řádů rohovky levého oka ráno a večer.

Z grafů vyplývá, že hodnota astigmatismu a aberací vyšších řádů je vyšší ráno než večer. Defokus levého oka je naopak nižší ráno a vyšší večer, pro pravé oko to ale neplatí. Dále jde vidět, že k největším změnám v aberacích docházelo během prvních 9 dnů. Poté se změny stabilizovaly.

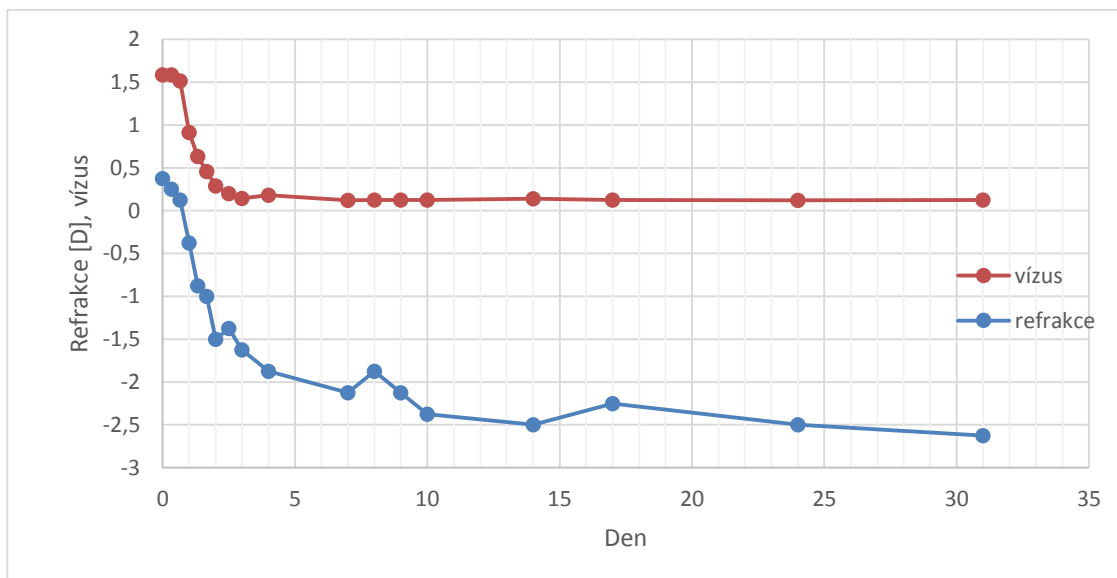
9.3.2 Změny po ukončení nošení čoček

Změny refrakce a vízu

Následující grafy (obr. 49 a 50) popisují změny subjektivní refrakce a vízu bez korekce po ukončení nošení ortokeratologických čoček. Protože změny v hodnotách cylindru byly opět nízké (do 0,5 D) a vykazovaly náhodný charakter, jsou v grafech použity hodnoty sférického ekvivalentu subjektivní refrakce.



Obrázek 49: Srovnání změn vízu a sférického ekvivalentu refrakce pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických čoček.



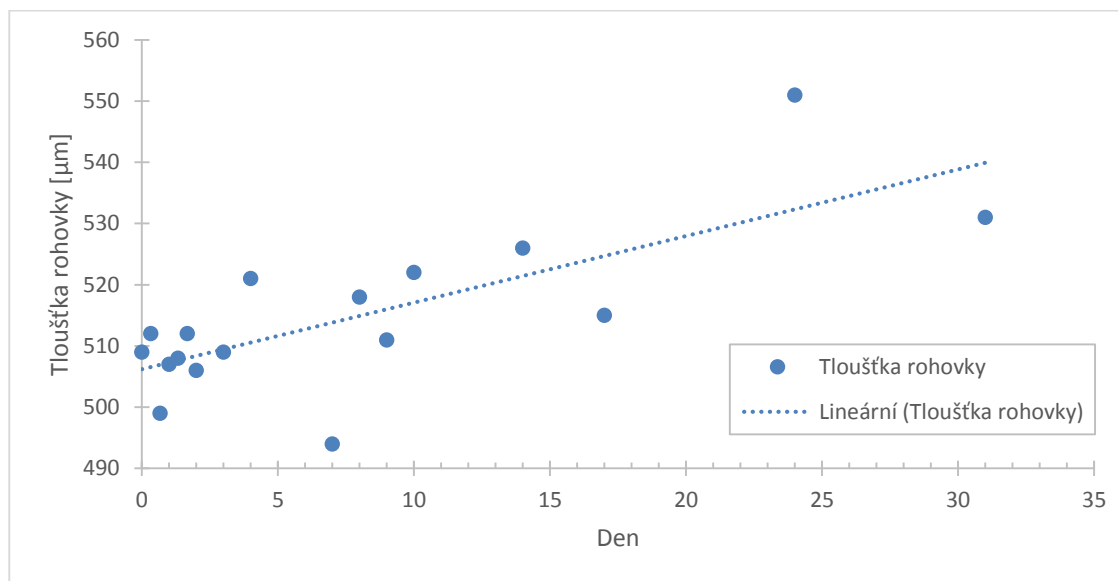
Obrázek 50: Srovnání změn vízu a sférického ekvivalentu refrakce levého oka po ukončení nošení ortokeratologických čoček.

Z grafů lze vyčíst, že změny v refrakci odpovídají změnám ve vízu. Vízus nejvíc klesl během první noci bez čoček. Pak dále klesal až do 3. dne, kdy dosahoval hodnoty 0,14 pro obě oči. K největšímu zpětnému nárůstu refrakční vady docházelo během prvních dvou dnů bez čoček a to o 1,5 D pro pravé oko a 1,12 D pro levé oko. Refrakce se pak dál pomalu vracela do původních hodnot. K úplnému návratu refrakce došlo až po 14 dnech.

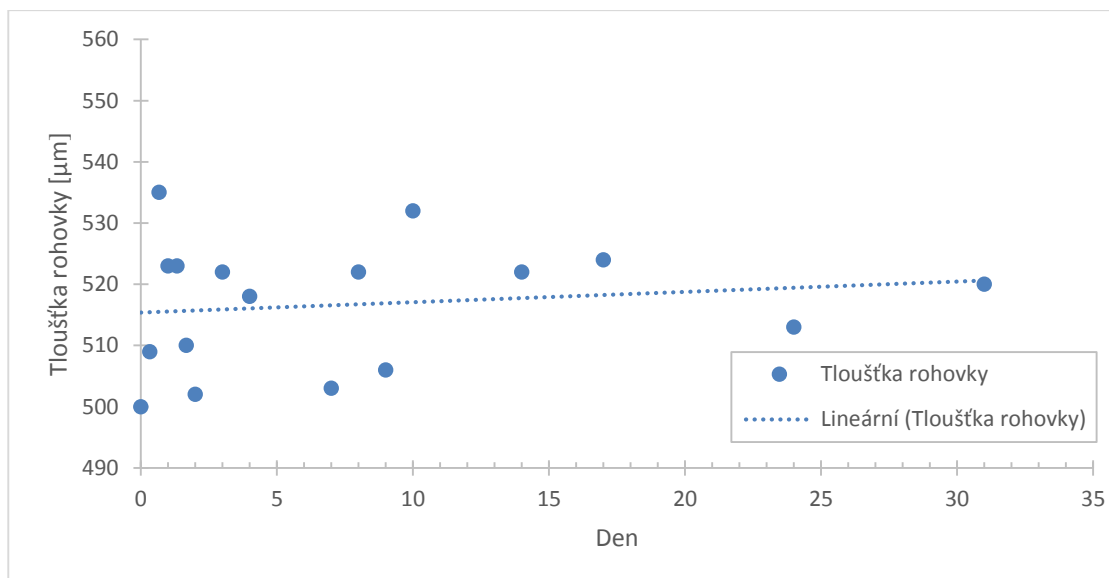
Subjektivní vnímání vidění: do dvou dnů po ukončení nošení kontaktních čoček se zlepšilo vidění za šera. Původní brýlová korekce se stala pohodlná pro celodenní nošení kolem desátého dne. Do té doby byly brýle příliš silné a při dlouhodobějším nošení způsobovaly astenopické potíže.

Změny tloušťky rohovky

Změny ve změnách tloušťky rohovky v centru popisují následující grafy (obr. 51 a 52).



Obrázek 51: Změny v centrální tloušťce rohovky pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.

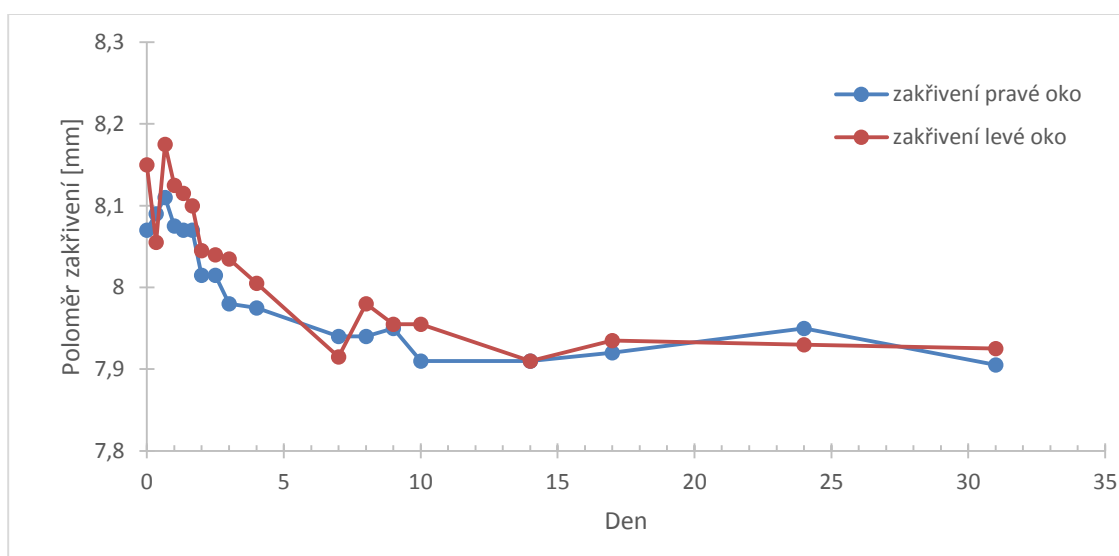


Obrázek 52: Změny v centrální tloušťce rohovky pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.

Změny v tloušťce rohovky mají u obou očí stoupající tendenci. U pravého oka je nárůst v tloušťce výraznější. Během zkoumaného časového úseku se zvýšila tloušťka rohovky měřená ráno o 22 μm na pravém oku a o 20 μm na levém oku.

Změny v zakřivení rohovky

Následující graf (obr. 53) ukazuje změny v centrálním zakřivení rohovky. Opět byly použity průměrné hodnoty zakřivení, protože změny v horizontálním a vertikálním meridiánu obou očí se odpovídaly.

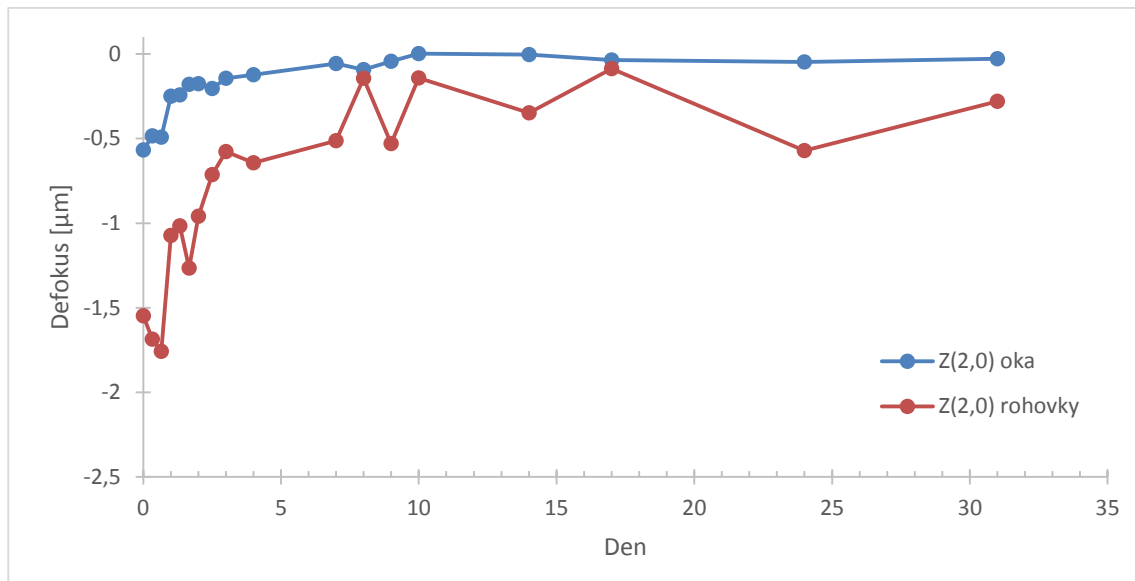


Obrázek 53: Změny v poloměru zakřivení rohovky pravého a levého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.

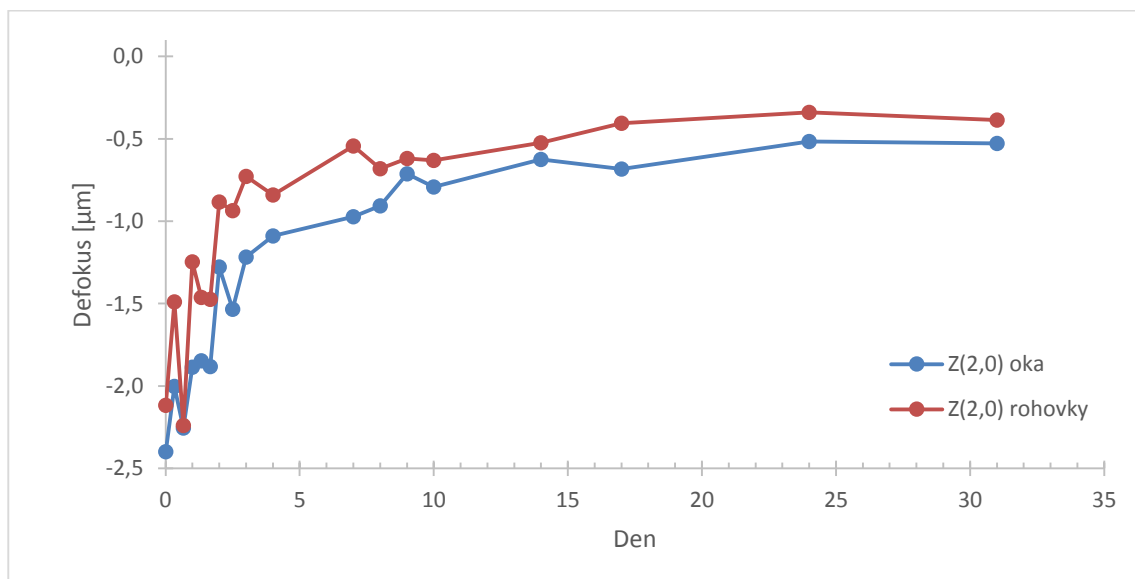
Z grafů vyplývá, že poloměr zakřivení centrální části rohovky se zmenšuje (rohovka se stává strmější). Největší změny probíhají do desátého dne od ukončení nošení čoček. Poté se zakřivení rohovky stabilizuje.

Změny v aberacích

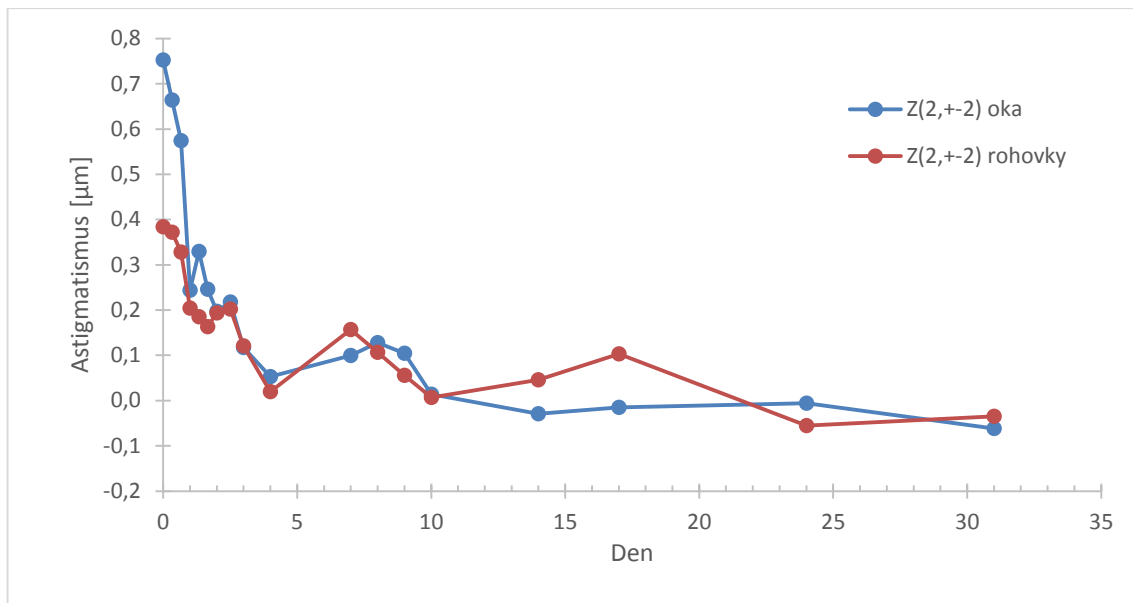
Následující grafy ukazují změny v aberacích oka a rohovky. Jsou zde zobrazeny aberace nižších řádů (obr. 54 až 57) a aberace vyšších řádů (obr. 58 a 59).



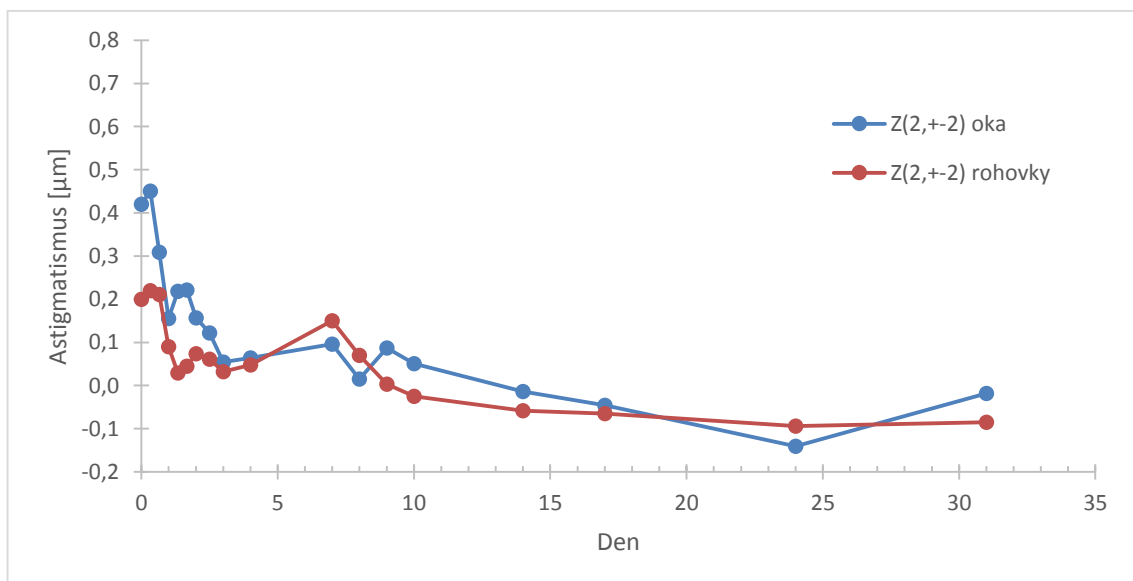
Obrázek 54: Změny v defokusu Z(2,0) rohovky a oka pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.



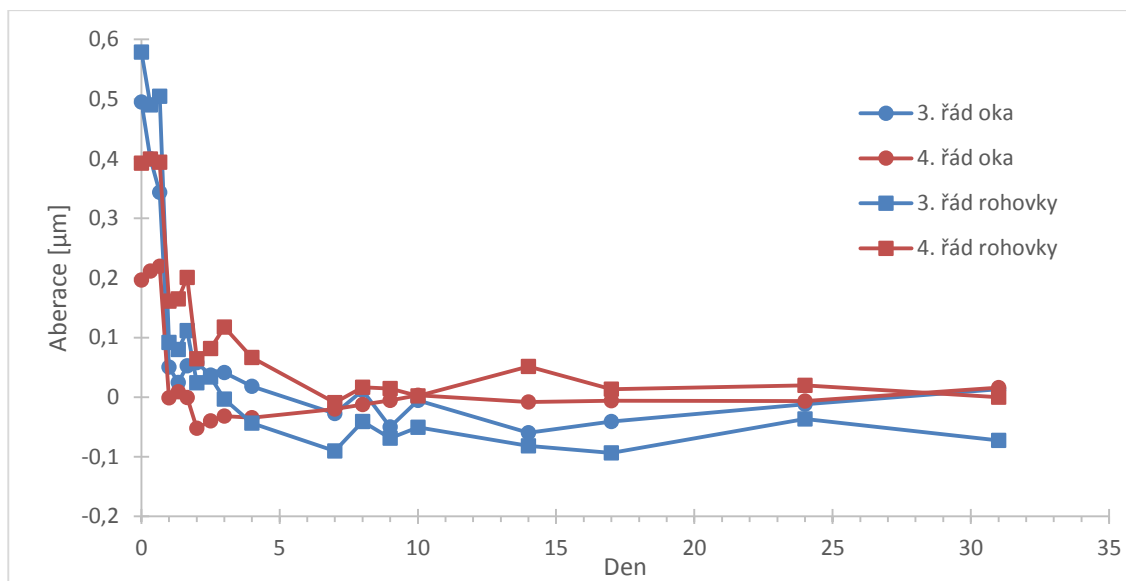
Obrázek 55: Změny v defokusu Z(2,0) rohovky a oka levého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.



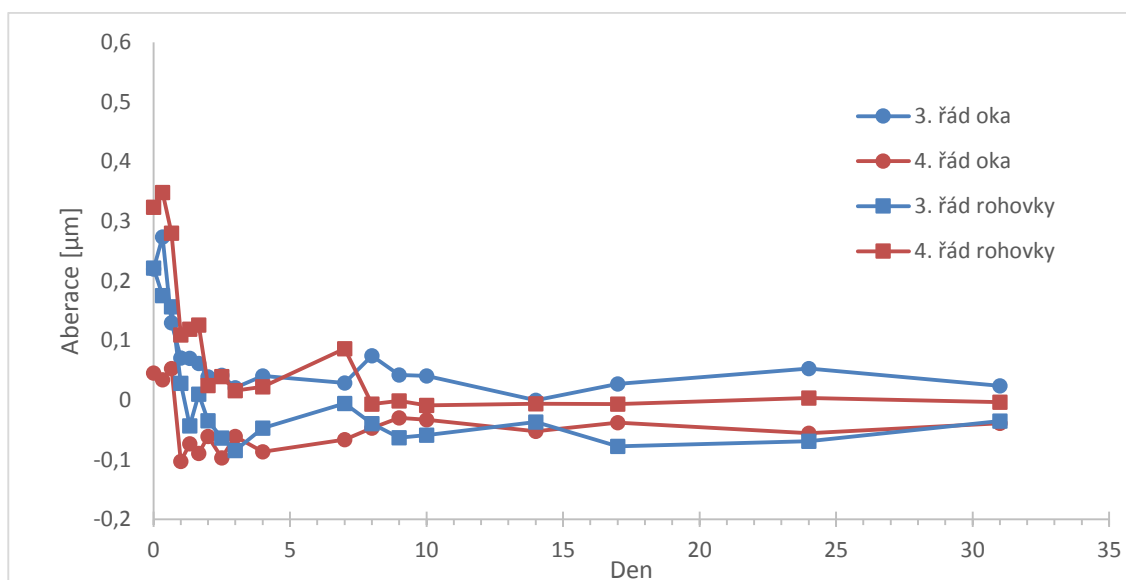
Obrázek 56: Změny v astigmatismu Z(2,±2) rohovky a oka pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.



Obrázek 57: Změny v astigmatismu Z(2,±2) rohovky a oka levého oka po ukončení nošení ortokeratologických kontaktních čoček.



Obrázek 58: Změny v aberacích vyšších řádů rohovky a oka pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických čoček.



Obrázek 59: Změny v aberacích vyšších řádů rohovky a oka pravého oka po ukončení nošení ortokeratologických čoček.

Z grafů můžeme vyčíst, že průběhy křivek rohovkových a očních aberací jednotlivých řádů jsou si podobné. Hodnoty defokusu po ukončení nošení čoček postupně stoupaly, hodnoty ostatních aberací klesaly. K největšímu poklesu aberací vyšších řádů došlo během prvních dvou dnů bez čoček. Hodnoty aberací vyšších řádů se vrátily do původního stavu do sedmi dnů. Astigmatismus se vrátil do původních hodnot do 10 dnů, největší pokles proběhl během prvních dvou dnů. Defocus postupně narůstal do 10. dne u pravého oka a do 14. dne u levého oka.

9.3.3 Srovnání hodnot jednotlivých parametrů

Následující tabulky (tabulka 4 pro pravé oko a tabulka 5 pro levé oko) srovnávají hodnoty jednotlivých zkoumaných parametrů na začátku a na konci obou fází experimentu s původními hodnotami. Všechny hodnoty byly naměřeny v ranních hodinách. V posledním sloupci je vypočítán rozdíl jednotlivých hodnot ve stavu bez čoček a po třech měsících nošení ortokeratologických čoček. Protože data byla měřena po ukončení nošení čoček a po 37 dnech od začátku nošení čoček už stabilní, měl by se shodovat sloupec „Bez čoček“ se sloupcem „Po 1 měs. bez čoček“ a sloupec „Po 37 dnech s čočkami“ se sloupcem „Po 3 měs. s čočkami“.

Tabulka 4: Souhrn změn parametrů pravého oka.

	Bez čoček	Po 1 měs. bez čoček (31. den 1. fáze a 0. den 2. fáze výzkumu)	Po 37 dnech s čočkami (37. den 2. fáze výzkumu)	Po 3 měs. s čočkami (nultý den 1. fáze výzkumu)	Rozdíl bez čoček a po 3 měs. s čočkami
Tloušťka rohovky [μm]	524	531	506	509	-15
Subjektivní refrakce					
sférický ekvivalent [D]	-3,13	-3,00	0,63	0,38	3,51
absolutní hodnota cylindru [D]	0,25	0	0,25	0,25	0
osa cylindru [°]	90	-	0	0	-90
Vízus					
naturální vízus	0,120	0,363	1,514	1,514	1,394
naturální binokulárně	0,160	0,631	1,585	1,514	1,354
vízus s korekcí	1,580	1,580	1,580	1,580	0
s korekcí binokulárně	1,580	1,580	1,580	1,580	0
Keratometrie					
R_H [mm]	7,91	7,96	8,15	8,14	0,23
R_V [mm]	7,80	7,85	8,01	8,00	0,20
R_O [mm]	7,86	7,91	8,08	8,07	0,21
φ [D]	42,97	42,67	41,77	41,82	-1,15
Astigmatismus [D]	0,6	0,6	0,7	0,7	0,1
Osa [°]	4,3	4,9	13,8	22,4	18,1
Excentricita	0,65	0,61	0,36	0,26	-0,39
Aberace rohovky [μm]					
Z(2,0)	46,992	46,713	45,356	45,443	-1,549
Z(2,+2)	0,569	0,534	0,808	0,953	0,384
3. řád	0,163 783	0,091 269	0,774 851	0,742 571	0,578 788
4. řád	0,231 832	0,231 741	0,765 150	0,624 276	0,392 445

Aberace oka [μm]					
Z(2,0)	2,744 836	2,545 617	1,645 468	1,193 548	-1,551 290
Z(2,+2)	0,138 581	0,071 821	0,720 615	0,886 417	0,747 837
3. řád	0,188 325	0,201 468	0,689 646	0,683 609	0,495 284
4. řád	0,101 096	0,116 959	0,436 442	0,297 448	0,196 352

Tabulka 5: Souhrn změn parametrů levého oka.

	Bez čoček	Po 1 měs. bez čoček (31. den 1. fáze a 0. den 2. fáze výzkumu)	Po 37 dnech s čočkami (37. den 2. fáze výzkumu)	Po 3 měs. s čočkami (nultý den 1. fáze výzkumu)	Rozdíl bez čoček a po 3 měs. s čočkami
Tloušťka rohovky [μm]	529	520	508	500	-29
Subjektivní refrakce					
sférický ekvivalent [D]	-2,75	-2,63	0,38	0,38	3,13
absolutní hodnota cylindru [D]	0	0,25	0,25	0,25	0,25
osa cylindru [°]	-	20	175	0	-
Vízus					
naturální vízus	0,120	0,479	1,514	1,585	1,465
binokulárně	0,160	0,631	1,585	1,514	1,354
vízus s korekcí	1,580	1,580	1,580	1,580	0
binokulárně	1,580	1,580	1,580	1,580	0
Keratometrie					
R_H [mm]	7,93	7,97	8,22	8,22	0,29
R_V [mm]	7,81	7,88	8,08	8,08	0,27
R_0 [mm]	7,87	7,93	8,15	8,15	0,28
φ [D]	42,88	42,56	41,41	41,41	-1,47
Astigmatismus [D]	0,6	0,5	0,7	0,7	0,1
Osa [°]	171,9	167,7	166,5	166,3	-5,6
Excentricita	0,65	0,64	0,28	0,28	-0,37
Aberace rohovky [μm]					
Z(2,0)	47,079	46,694	44,934	44,962	-2,117
Z(2,+2)	0,560	0,475	0,721	0,760	0,200
3. řád	0,175 966	0,140 720	0,444 595	0,397 417	0,221 451
4. řád	0,261 601	0,257 969	0,626 129	0,584 860	0,323 259
Aberace oka [μm]					
Z(2,0)	2,813 185	2,285 640	0,625 363	0,413 956	-2,399 230
Z(2,+2)	0,224 104	0,205 990	0,664 236	0,644 277	0,420 172
3. řád	0,104 245	0,127 862	0,264 537	0,324 116	0,219 871
4. řád	0,135 385	0,096 393	0,248 543	0,180 889	0,045 503

V tabulkách vidíme, že hodnoty prvních dvou sloupců si podle očekávání odpovídají. Znamená to, že veškeré změny se vrátily do původního stavu během jednoho měsíce od ukončení nošení ortokeratologických čoček. Liší se pouze hodnoty naturálního vízu. Jeden měsíc po ukončení nošení čoček byl naturální vízus na obou očích znatelně lepší než ve stavu bez čoček. Tento rozdíl byl patrně způsoben tím, že po měsíci poměrně častého testování vízu na stejné sadě písmen se subjekt naučil písmena ze sady lépe rozlišovat. Jednotlivé hodnoty druhých dvou sloupců (po 37 dnech s čočkami a po 3 měsících s čočkami) si také odpovídají. To naznačuje, že změny, které nastaly do jednoho měsíce od začátku nošení ortokeratologických čoček, už zůstávají stabilní a dál se nemění.

9.4 Diskuze

Praktická část pozorovala změny na rohovce a ve vidění, které se dějí při počátku korekce myopie ortokeratologickými čočkami a po ukončení nošení čoček.

Potvrdilo se, že ortokeratologické čočky dokáží plně korigovat myopii. Nástup jejich efektu je poměrně rychlý. K největší redukci vady došlo během první noci, kdy bylo vykorigováno 41 % vady na pravém i levém oku. K úplné korekci došlo po 3 nocích s čočkami, od čtvrtého dne (pátého dne pro levé oko) byl efekt korekce refrakční vady po celý den. Od 9. dne byla refrakce stabilní, ráno dosahovala hodnot +0,25 až +0,50 D, během dne se snižovala o 0,25 až 0,50 D, takže večer se refrakce blížila 0 D. Změny v astigmatismu byly minimální. Vízus byl srovnatelný s vízem dosaženým při korekci brýlemi. Po ukončení nošení čoček se refrakce vrátila do původních hodnot během čtrnácti dnů, přitom k největším změnám došlo první dva dny. Tyto výsledky odpovídají výsledkům studií rozebraných v kapitole 8.1.

Udává se, že efekt ortokeratologické čočky je způsoben oploštěním centrální části rohovky (viz kap. 8.2.). Během výzkumu bylo skutečně pozorováno oplošťování centra rohovky spojené se začátkem nošení čoček (největší změny se děly během prvních devíti dnů) a zestrmování po ukončení nošení čoček. K návratu do původních hodnot došlo přibližně po 10 dnech. Průběh změn zakřivení rohovky kopíroval změny v subjektivní refrakci. Srovná-li se centrální zakřivení rohovky před a po třech měsících nošení ortokeratologických čoček (viz tabulka 4 a 5), vyjde rozdíl v dioptriích pro pravé oko -1,15 D a pro levé oko -1,15 D. Tento rozdíl na první po-

hled neodpovídá změně subjektivní refrakce, která je pro pravé oko 3,5 D a pro levé oko 3,13 D. Je nutné si ale uvědomit, že tato hodnota udává pouze zakřivení apexu rohovky (tzn. v jednom bodě). Z refrakční rozdílové mapy nebo ze sagitální rozdílové mapy (viz obr. 60, 61, 64, 65 v příloze 3), které porovnávají větší oblast rohovky, jde vidět, že změny v zakřivení odpovídají změnám subjektivní refrakce.

Tloušťka centra rohovky se nošením ortokeratologických čoček snížila, po ukončení nošení čoček opět narostla. Změna v tloušťce rohovky po 3 měsících nošení ortokeratologických čoček byla na pravém oku 15 μm a na levém oku 29 μm . Protože byla měřena pouze celková tloušťka rohovky, nelze jednoznačně říct, která vrstva rohovky se působením ortokeratologických čoček nejvíc mění. Jednotlivé studie zabývající se změnami v tloušťce rohovky se shodují na tom, že dochází k ztenčení centrální části rohovky a většina z nich uvádí, že ke ztenčení dochází v epitelové vrstvě (viz kap. 8. 3.).

Korekce ortokeratologickými čočkami je spojena s nárůstem aberací vyšších řádů, což zaznamenaly mnohé studie (viz kap. 8. 5). To potvrdil i můj výzkum. Byl zaznamenán nárůst aberací 3. a 4. řádu a astigmatismu. Hodnoty defokusu naopak klesly. Zvýšení hodnot aberací vyšších řádů se projevilo subjektivně zvláště za šera, kdy měla zornice větší průměr, jako halo efekt a duchové, což znesnadňovalo čtení a řízení za šera. Po ukončení nošení čoček došlo k největšímu poklesu aberací 3. a 4. řádu během prvních dvou dnů bez čoček. Hodnoty se vrátily do původního stavu do sedmi dnů. To odpovídá subjektivnímu vjemu, kdy se do dvou dnů vylepšilo vidění za šera.

Křivky změn aberací rohovkových a celkových očních jsou si tvarem podobné (kopírují se), což může znamenat, že změny celkových očních aberací jsou způsobeny změnami na rohovce. Dále bylo zjištěno, že hodnoty aberací vyšších řádů a astigmatismu dosahují večer nižších hodnot než ráno. To je pravděpodobně způsobeno tendencí rohovky k návratu do původního tvaru během dne.

Předpokládám, že ke změnám aberací vyšších řádů a astigmatismu docházelo převážně ve střední periférii rohovky, nikoli v jejím centru protože se nijak neprojevily na vízu a subjektivní refrakci. Projevily se až při vidění za šera při rozšířené zornici. Keratometrické hodnoty měřené v apexu rohovky neukazují žádnou změ-

nu v astigmatismu. Při analýze aberací očních i rohovkových, která bere v úvahu větší část rohovky, jsou už změny v hodnotách astigmatismu patrné.

Na pravém oku dosahovaly aberace vyšších řádů a astigmatismus vyšších hodnot. To korespondovalo s horším subjektivním vnímáním vidění za šera. Vyšší aberace mohly být způsobeny vyšší korekcí myopie na tomto oku. To by odpovídalo studiím [58, 60, 61], které zjistily, že čím je korekce myopie vyšší, tím je vyšší nárůst aberací vyšších řádů. Za nárůst aberací může být také zodpovědná lehká decentrace čočky během spánku směrem nahoru a nasálně, která je patrná na tangenciální rozdílové mapě (viz obr. 62 v příloze 3).

10 Závěr

Práce se opírá o aktuální poznatky z oblasti ortokeratologie a dává čtenáři komplexní pohled na problematiku aplikace ortokeratologických kontaktních čoček. Současně byl experimentálně sledován vliv těchto čoček na vybrané parametry rohovky a zrakové funkce při typické aplikaci na jednom subjektu.

V teoretické části byly zopakovány některé vlastnosti rohovky, které souvisejí s aplikací ortokeratologických čoček a shrnuty základní poznatky o pevných kontaktních čočkách, ze kterých byly ortokeratologické čočky vyvinuty. Dále byla popsána historie a vývoj ortokeratologie, princip ortokeratologie a konstrukce ortokeratologických čoček a jejich parametry. Podstatná část práce se věnuje samotné aplikaci ortokeratologických čoček. Jsou zde vysvětleny možnosti rohovkové topografie, která je nezbytná pro aplikaci těchto čoček, indikace a kontraindikace aplikace a jednotlivé způsoby aplikace. Poté je popsán postup aplikace a možnosti vyhodnocení správnosti aplikace. V poslední kapitole teoretické části byl na základě výsledků četných studií shrnut efekt ortokeratologie na rohovku a vidění.

Praktická část se věnovala pozorování změn refrakce, vízu, tloušťky rohovky, zakřivení rohovky a aberací oka a rohovky, které nastávají na začátku nošení ortokeratologických čoček pro korekci myopie a po ukončení jejich nošení. Bylo ověřeno, že ortokeratologické čočky jsou účinným prostředkem pro korekci střední myopie. Dokáží myopii plně vykorigovat a umožňují vidění srovnatelné s viděním pomocí jiné korekce. Jednou z hlavních výhod je, že všechny změny jsou plně reverzibilní. Pokud dojde ke změně refrakce nebo je klient nespokojen, není problém upravit parametry čoček nebo přestat používat tyto čočky a pro korekci myopie použít jiného prostředku (brýle, jiný typ kontaktních čoček). Bylo potvrzeno, že korekce ortokeratologickými čočkami způsobuje nárůst aberací vyšších řádů. To má za následek zhoršené vidění za šera, halo efekty a duchy, což může vadit například u řízení auta a čtení za zhoršených světelných podmínek. Intenzita těchto efektů je závislá na velikosti zornice (čím je zornice větší, tím jsou efekty výraznější). Klient by na to měl být před aplikací určitě upozorněn. Čočky by neměly být doporučovány lidem s širokými zornicemi a požadavkem na perfektní vidění za šera a v noci.

Seznam použité literatury

- [1] CHO, Pauline, Michael COLLINS a Tadashi SAWANO. *Orthokeratology Practice, A Basic Guide for Practitioners*. B.m.: European Academy of Orthokeratology, 2012.
- [2] GASSON, Andrew a Judith A. MORRIS. *The Contact Lens Manual*. 4. vyd. B.m.: Elsevier Health Sciences, 2010. ISBN 978-0-7506-7590-1.
- [3] MÜLLER-TREIBER, Andrea. *Kontaktlinsen-Know-how*. Heidelberg: DOZ, 2010. ISBN 978-3-922269-92-2.
- [4] OCULUS. *Keratograph 3 Instruction Manual*. B.m.: OCULUS, nedatováno.
- [5] PLUHÁČEK, František. Měření a analýza parametrů rohovky. In: . Katedra Optiky PŘF UP v Olomouci. Olomouc. 2014.
- [6] KOČANDRLE, Michal a Leo BOČEK. *Matematika pro gymnázia: Analytická geometrie*. B.m.: Prometheus, 1995. 2. vydání. ISBN 80-7196-163-9.
- [7] KRYNICKÝ, Martin. Elipsa. *Učebnice matiky SŠ* [online]. [vid. 19. říjen 2015]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/01%20Matematika%20S%C5%A0/07%20Analytick%C3%A1%20geometrie/05%20Ku%C5%BEelose%C4%8Dky/07%20Elipsa.pdf>
- [8] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 978-80-7013-402-3.
- [9] RUTRLE, Miloš. *Brýlová optika*. Brno: IDVPZ, 1993. ISBN 80-7013-145-4.
- [10] NAJMAN, Ladislav. Výkladový slovník očního optika a optometristy. 6. část - Kontaktní čočky. *Česká oční optika*. 2004, č. 2.
- [11] MOUNTFORD, John, David RUSTON a Trusit DAVE. *Orthokeratology: Principles and Practice*. B.m.: Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 978-0-7506-4007-7.
- [12] EFRON, Nathan. *Contact Lens Practice*. 2. vyd. B.m.: Elsevier Health Sciences, 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7.
- [13] ZEMANOVÁ ROMANA. *Pevné kontaktní čočky a jejich použití: bakalářská práce*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2011.
- [14] POLYMER TECHNOLOGY, A BAUSCH AND LOMB COMPANY. *A Guide to Overnight Orthokeratology*. B.m.: Polymer Technology, a Bausch and Lomb company, 2004.
- [15] HOLDEN, B. A. a G. W. MERTZ. Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 1984, roč. 25, č. 10, s. 1161–1167. ISSN 0146-0404.

- [16] SWARBRICK, Helen A. Orthokeratology review and update. *Clinical & Experimental Optometry* [online]. 2006, roč. 89, č. 3, s. 124–143. ISSN 0816-4622. Dostupné z: doi:10.1111/j.1444-0938.2006.00044.x
- [17] Sborník konference. In: *BudapestOK, 3rd meeting of European Academy of Orthokeratology: BudapestOK*. Budapešť: European Academy of Orthokeratology, 2015.
- [18] PAUNEVISION. *Ortho-K lenses* [online]. [vid. 3. září 2015]. Dostupné z: <http://www.paunevision.com/en/home.php>
- [19] SI, Jun-Kang, Kai TANG, Hong-Sheng BI, Da-Dong GUO, Jun-Guo GUO a Xing-Rong WANG. Orthokeratology for Myopia Control: A Meta-analysis. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry* [online]. 2015, roč. 92, č. 3, s. 252–257. ISSN 1538-9235. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0000000000000505
- [20] LI, Shi-Ming, Meng-Tian KANG, Shan-Shan WU, Luo-Ru LIU, He LI, Zhuo CHEN a Ningli WANG. Efficacy, Safety and Acceptability of Orthokeratology on Slowing Axial Elongation in Myopic Children by Meta-Analysis. *Current Eye Research*. 2015, s. 1–9. ISSN 1460-2202.
- [21] SUN, Yuan, Fan XU, Ting ZHANG, Manli LIU, Danyang WANG, Yile CHEN a Quan LIU. Orthokeratology to control myopia progression: a meta-analysis. *PloS One* [online]. 2015, roč. 10, č. 4. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0124535
- [22] PHILLIPS, Anthony John. *Contact Lenses*. B.m.: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8818-5.
- [23] CHOO, Jennifer, Patrick CAROLINE a Dustin HARLIN. How does the cornea change under corneal reshaping contact lenses? *Eye & Contact Lens*. 2004, roč. 30, č. 4, s. 211–213; discussion 218. ISSN 1542-2321.
- [24] CHAN, Ben, Pauline CHO a Sin Wan CHEUNG. Orthokeratology practice in children in a university clinic in Hong Kong. *Clinical & Experimental Optometry* [online]. 2008, roč. 91, č. 5, s. 453–460. ISSN 0816-4622. Dostupné z: doi:10.1111/j.1444-0938.2008.00259.x
- [25] SWARBRICK, HA, G WONG a DJ O'LEARY. Corneal Response to Orthokeratology. *Optometry & Vision Science*. 1998, roč. 75, s. 791–799.
- [26] WANG, Jianhua, Desmond FONN, Trefford L. SIMPSON, Luigina SORBARA, Richard KORT a Lyndon JONES. Topographical thickness of the epithelium and total cornea after overnight wear of reverse-geometry rigid contact lenses for myopia reduction. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2003, roč. 44, č. 11, s. 4742–4746. ISSN 0146-0404.
- [27] MATSUBARA, Masao, Yuko KAMEI, Sakurako TAKEDA, Koichiro MUKAI, Yasuo ISHII a Seiji ITO. Histologic and histochemical changes in rabbit cornea

- produced by an orthokeratology lens. *Eye & Contact Lens*. 2004, roč. 30, č. 4, s. 198–204; discussion 205–206. ISSN 1542-2321.
- [28] OWENS, H, LF GARNER, JP CRAIG a G GAMBLE. Posterior Corneal Changes with Orthokeratology. *Optometry & Vision Science*. nedatováno, roč. 2004, č. 81, s. 421–426.
- [29] YOON, Jeong Ho a Helen A. SWARBRICK. Posterior corneal shape changes in myopic overnight orthokeratology. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry* [online]. 2013, roč. 90, č. 3, s. 196–204. ISSN 1538-9235. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e31828121eb
- [30] HAYASHI, T. T. a I. FATT. Forces retaining a contact lens on the eye between blinks. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*. 1980, roč. 57, č. 8, s. 485–507. ISSN 0093-7002.
- [31] WORP, Eaf van der a David RUSTON. Orthokeratology: An Update. *Optometry in Practice*. 2006, č. 7, s. 47–60.
- [32] HOPPE, Oliver, Dorothea KUHN a Stefan SCHWARZ. *Galifa Handbuch der Kontaktlinsenanpassung*. B.m.: Biermann, 2010.
- [33] BLOOM, Basil, Antonio CALOSSO a Bruce WILLIAMS. EuroK Wet Lab 2015. In: *BudapestOK 3rd meeting of European Academy of Orthokeratology*. Budapešť. 7 2015.
- [34] EUROPEAN ACADEMY OF ORTHOKERATOLOGY. *EurOK Protocol* [online]. 10 2015 [vid. 20. říjen 2015]. Dostupné z: <http://www.eurok.eu/content/eurok-protocol>
- [35] CHLUMSKÁ, Regina. Analýza rohovky. In: *výukové materiály k předmětu „Analýza rohovky“*. Praha. březen 2014.
- [36] BAROT, Nitesh. How much Myopia can we correct? In: *BudapestOK 3rd meeting of European Academy of Orthokeratology*. Budapešť. 07 2015.
- [37] NICHOLS, J J, M M MARSICH, M NGUYEN, J T BARR a M A BULLIMORE. Overnight orthokeratology. *Optometry And Vision Science: Official Publication Of The American Academy Of Optometry*. 2000, roč. 77, č. 5, s. 252–259. ISSN 1040-5488.
- [38] POTAPOVA, Natalia, George WANG, Shamin HAJI a Penny ASBELL. Corneal topography in corneal refractive therapy (CRT): a 1-month follow-up. *Eye & Contact Lens*. 2004, roč. 30, č. 3, s. 166–168. ISSN 1542-2321.
- [39] SORBARA, Luigina, Desmond FONN, Trefford SIMPSON, Fenghe LU a Richard KORT. Reduction of myopia from corneal refractive therapy. *Optometry And Vision Science: Official Publication Of The American Academy Of Optometry*. 2005, roč. 82, č. 6, s. 512–518. ISSN 1040-5488.

- [40] SRIDHARAN, Ramkumar a Helen SWARBRICK. Corneal response to short-term orthokeratology lens wear. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*. 2003, roč. 80, č. 3, s. 200–206. ISSN 1040-5488.
- [41] ALHARBI, Ahmed a Helen A. SWARBRICK. The effects of overnight orthokeratology lens wear on corneal thickness. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2003, roč. 44, č. 6, s. 2518–2523. ISSN 0146-0404.
- [42] MOUNTFORD, John. Retention and regression of orthokeratology with time. *International Contact Lens Clinic* [online]. 1998, roč. 25, č. 2, s. 59–64. ISSN 0892-8967. Dostupné z: doi:10.1016/S0892-8967(98)00020-0
- [43] CHAN, Ben, Pauline CHO a John MOUNTFORD. The validity of the Jessen formula in overnight orthokeratology: a retrospective study. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)* [online]. 2008, roč. 28, č. 3, s. 265–268. ISSN 0275-5408. Dostupné z: doi:10.1111/j.1475-1313.2008.00545.x
- [44] LU, Fenghe, Trefford SIMPSON, Luigina SORBARA a Desmond FONN. Malleability of the ocular surface in response to mechanical stress induced by orthokeratology contact lenses. *Cornea* [online]. 2008, roč. 27, č. 2, s. 133–141. ISSN 0277-3740. Dostupné z: doi:10.1097/ICO.0b013e318158b4b5
- [45] KOBAYASHI, Yasuko, Ryoji YANAI, Nobuhiko CHIKAMOTO, Tai-Ichiro CHIKAMA, Kiichi UEDA a Teruo NISHIDA. Reversibility of effects of orthokeratology on visual acuity, refractive error, corneal topography, and contrast sensitivity. *Eye & Contact Lens* [online]. 2008, roč. 34, č. 4, s. 224–228. ISSN 1542-233X. Dostupné z: doi:10.1097/ICL.0b013e318165d501
- [46] HIRAOKA, T., C. OKAMOTO, Y. ISHII, F. OKAMOTO a T. OSHIKA. Recovery of corneal irregular astigmatism, ocular higher-order aberrations, and contrast sensitivity after discontinuation of overnight orthokeratology. *The British Journal of Ophthalmology* [online]. 2009, roč. 93, č. 2, s. 203–208. ISSN 1468-2079. Dostupné z: doi:10.1136/bjo.2007.136655
- [47] BARR, Joseph T., Marjorie J. RAH, William MEYERS a Jerome LEGERTON. Recovery of refractive error after corneal refractive therapy. *Eye & Contact Lens*. 2004, roč. 30, č. 4, s. 247–251; discussion 263–264. ISSN 1542-2321.
- [48] ZHONG, Xingwu, Xiaolian CHEN, Ruo Zhong XIE, Jun YANG, Saiqun LI, Xiao YANG a Xiangming GONG. Differences between overnight and long-term wear of orthokeratology contact lenses in corneal contour, thickness, and cell density. *Cornea* [online]. 2009, roč. 28, č. 3, s. 271–279. ISSN 1536-4798. Dostupné z: doi:10.1097/ICO.0b013e318186e620
- [49] CHEN, Davie, Andrew K. C. LAM a Pauline CHO. Posterior corneal curvature change and recovery after 6 months of overnight orthokeratology treatment. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)* [online]. 2010, roč. 30, č. 3, s. 274–280. ISSN 1475-1313. Dostupné z: doi:10.1111/j.1475-1313.2010.00710.x

- [50] REINSTEIN, Dan Z., Marine GOBBE, Timothy J. ARCHER, Darren COUCH a Basil BLOOM. Epithelial, stromal, and corneal pachymetry changes during orthokeratology. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry* [online]. 2009, roč. 86, č. 8, s. E1006–1014. ISSN 1538-9235. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e3181b18219
- [51] LIAN, Yan, Meixiao SHEN, Jun JIANG, Xinjie MAO, Ping LU, Dexi ZHU, Qi CHEN, Jianhua WANG a Fan LU. Vertical and horizontal thickness profiles of the corneal epithelium and Bowman's layer after orthokeratology. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. 2013, roč. 54, č. 1, s. 691–696. ISSN 1552-5783. Dostupné z: doi:10.1167/iovs.12-10263
- [52] NIETO-BONA, Amelia, Ana GONZÁLEZ-MESA, M. Paz NIETO-BONA, César VILLA-COLLAR a Amalia LORENTE-VELÁZQUEZ. Long-term changes in corneal morphology induced by overnight orthokeratology. *Current Eye Research* [online]. 2011, roč. 36, č. 10, s. 895–904. ISSN 1460-2202. Dostupné z: doi:10.3109/02713683.2011.593723
- [53] NIETO-BONA, Amelia, Ana GONZÁLEZ-MESA, Ma Paz NIETO-BONA, César VILLA-COLLAR a Amalia LORENTE-VELÁZQUEZ. Short-term effects of overnight orthokeratology on corneal cell morphology and corneal thickness. *Cornea* [online]. 2011, roč. 30, č. 6, s. 646–654. ISSN 1536-4798. Dostupné z: doi:10.1097/ICO.0b013e31820009bc
- [54] CHEAH, Pike-See, Mohidin NORHANI, Mohd-Ali BARIAH, Maung MYINT, Munn Sann LYE a Abdul Latiff AZIAN. Histomorphometric profile of the corneal response to short-term reverse-geometry orthokeratology lens wear in primate corneas: a pilot study. *Cornea* [online]. 2008, roč. 27, č. 4, s. 461–470. ISSN 0277-3740. Dostupné z: doi:10.1097/ICO.0b013e318165642c
- [55] HIRAOKA, Takahiro, Chikako OKAMOTO, Yuko ISHII, Tetsuhiko KAKITA, Fumiki OKAMOTO a Tetsuro OSHIKA. Time course of changes in ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after overnight orthokeratology. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. 2008, roč. 49, č. 10, s. 4314–4320. ISSN 1552-5783. Dostupné z: doi:10.1167/iovs.07-1586
- [56] SANTOLARIA SANZ, Elena, Alejandro CERVIÑO, Antonio QUEIROS, Cesar VILLA-COLLAR, Daniela LOPES-FERREIRA a Jose Manuel GONZÁLEZ-MÉIJOME. Short-term changes in light distortion in orthokeratology subjects. *BioMed Research International* [online]. 2015, roč. 2015, s. 278425. ISSN 2314-6141. Dostupné z: doi:10.1155/2015/278425
- [57] GIFFORD, Paul, Melanie LI, Helen LU, Jonathan MIU, Monica PANJAYA a Helen A. SWARBRICK. Corneal versus ocular aberrations after overnight orthokeratology. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry* [online]. 2013, roč. 90, č. 5, s. 439–447. ISSN 1538-9235. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e31828ec594
- [58] HIRAOKA, Takahiro, Chikako OKAMOTO, Yuko ISHII, Tomonori TAKAHIRA, Tetsuhiko KAKITA a Tetsuro OSHIKA. Mesopic contrast sensitivity and ocu-

- lar higher-order aberrations after overnight orthokeratology. *American Journal of Ophthalmology* [online]. 2008, roč. 145, č. 4, s. 645–655. ISSN 0002-9394. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajo.2007.11.021
- [59] STILLITANO, Iane Gonçalves, Maria Regina CHALITA, Paulo SCHOR, Eduardo MAIDANA, Marcelo Mastromonico LUI, Cesar LIPENER a Ana Luisa HOF-LING-LIMA. Corneal changes and wavefront analysis after orthokeratology fitting test. *American Journal of Ophthalmology* [online]. 2007, roč. 144, č. 3, s. 378–386. ISSN 0002-9394. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajo.2007.05.030
- [60] HIRAOKA, Takahiro, Yujiro MATSUMOTO, Fumiki OKAMOTO, Tatsuo YAMAGUCHI, Yoko HIROHARA, Toshifumi MIHASHI a Tetsuro OSHIKA. Corneal higher-order aberrations induced by overnight orthokeratology. *American Journal of Ophthalmology* [online]. 2005, roč. 139, č. 3, s. 429–436. ISSN 0002-9394. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajo.2004.10.006
- [61] HIRAOKA, Takahiro, Fumiki OKAMOTO, Yuichi KAJI a Tetsuro OSHIKA. Optical quality of the cornea after overnight orthokeratology. *Cornea* [online]. 2006, roč. 25, č. 10 Suppl 1, s. S59–63. ISSN 0277-3740. Dostupné z: doi:10.1097/01.icc.0000247215.08886.46

11 Přílohy

Příloha 1: EurOK Protokol

EUROK PROTOCOL

ESSENTIAL REQUIREMENTS

EDUCATION & CONTINUING EDUCATION

EurOK believes that a comprehensive knowledge of the underlying science of the ortho-k process is an essential element in the professional practice.

Attendance of a Ortho-k course is firmly recommended. This course would be given by a Professional Organisation that has orthokeratology in its mission (i.e. International Academy of Orthokeratology and/or one of its Continental Section).

Clinical Update and Continuing Education in orthokeratology is firmly recommended as obsolete or outdated knowledge is not acceptable.

MINIMUM CLINICAL INSTRUMENTATION

The minimal instrumentation for the practice of orthokeratology comprehends:

- Computerized topography
- Biomicroscopy
- Fluoroscopy

ORTHOKERATOLOGY LENS

Orthokeratology lens material must guarantee maximum Oxygen transmissibility.

For Overnight Orthokeratology a material with a permeability minimum of 87 DK must be used.

Low and medium DK may be used for daily orthokeratology but not for overnight use.

PROTOCOL & RECOMMENDATIONS

Members are recommended to practice in accordance with EurOK's protocol and are strongly recommended to have a professional insurance

PROCEDURES

CASE HISTORY

- Evolution and current refractive and visual function
- Eye-vision symptoms
- Ocular history
- Medical history with eventual medications

PRE-FITTING EXAMINATION

- Unaided and corrected Visual Acuity
- Refraction
- Corneal Topograp

CASE MANAGEMENT

- Discontinue any type of contact lenses before pre-fitting examination
- Provide information to the patient of potential risks, benefits and alternatives to the orthokeratologic treatment
- Patient should be given all information on the procedure so they are able to make informed decisions
- Document Informed consent process. Patient should be given the opportunity to have all questions answered before the treatment
- Inform about fee structure: transparent short and long term fees and cost.

ORTHO-K LENSES

- ICE marking
- Custom-made devices (Annex VIII - Directive 93/42/EEC)

DELIVERY CARE

Patient has to be given:

- Verbal and practical insertion and removal techniques
- Verbal, written and practical instruction on cleaning and disinfection procedures
- Hygiene instructions: antibacterial detergent before handling the lenses, no use of tap water in rinsing lenses or container, replacement of container
- Discuss post-fitting and follow-up protocol
- Discuss risks and normal versus abnormal symptoms

POST-FITTING CARE

- Early in the morning follow up
- 1 Week
- 2 Weeks
- 4 Weeks
- 3 Months
- 6 Months
- 12 Months, than every 6 Months

PATIENT EDUCATION

Discuss the pros and the cons of the procedures with the patient.

Discussion includes the following:

- Treatment time is dependent on an individual basis
- Initial treatment may need spectacle wear during the day
- Overnight wear increases risks compared to daily wear lenses
- Perception of halos or flare around light at night may be experienced
- Complete correction of the refractive error is not guaranteed
- The procedure slows down and in some cases stops myopia, however myopia control results vary between individuals so cannot be predicted or assured.
- Treatment includes a number of scheduled and unscheduled visits. Scheduled follow-up should be respected to avoid delay of treatment or complications. Unscheduled visits are necessary if unexpected complications arise
- Instructions provided by the practitioner must be followed
- Poor compliance may be risky and lead to complications
- After the treatment has been completed, a follow-up every 6 months is required to ensure eye health.
- Severe complications may need to stop the treatment

FITTING PROTOCOL

LENS DELIVERY

- Verify check list of duties
- Refraction and Visual Acuity with lens in situ
- Fluoroscopy
- Lens care instructions
- Insertion and removal training

AFTER FIRST NIGHT

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography

ONE WEEK

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography

ONE MONTH

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography
- Check lens care with patient

THREE MONTHS

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography
- Check lens and container
- Check lens care with patient

SIX MONTHS

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography
- Check lens and container
- Check lens care with patient

ONE YEAR

- Unaided Visual Acuity
- Refraction
- Biomicroscopy with fluoroscopy
- Corneal Topography
- Refraction and V.A. with lens
- Check lens and container
- Check lens care with patient

- Contact lenses replacement is dependent on material and/or design as recommended by the practitioner

- Follow-up every 6 months after first year

LENS CARE FOR ORTHOKERATOLOGY LENSES

In order to reduce potential risks and ensure eye health, it is necessary to carefully perform the following rules.

WARNING: Lens Care must be don every day!

In the evening

- Remove makeup completely, wash face and hands, drying carefully
- Rinse lens with saline solution
- Fill the lens with unidose saline solution and insert le lens without loosing the fluid.
- Check the entering of lens on cornea and its movement
- Avoid rubbing eyes
- It is recommended to not stay awake with the lens in order to promote the desired effect

Awakening

- Observe your eyes in the mirror, note any change (i.e. redness) and eventually communicate with eye specialist
- Wash hands and dry them carefully
- Before removing the lens, make sure the lens is not binding. If it happens, instill saline solution. Lens removal can be performed when lens will start to move.
- Clean the lens using the system recommended by the practitioner
- Store the lens in the container with the recommended preservative solution
- After a few minutes it is possible to put a drop of artificial tear
- Enzyme treatment as indicated by the practitioner is indicated

Container management

- In the evening, after lens insertion, it is necessary to rinse the container with saline solution and dry
- Once a week, it is important to clean le container with lens cleaner and rinse it with saline solution

- It is important to report every doubt or complication to the eye specialist

Příloha 2: Doporučená podoba informovaného souhlasu

INFORMED CONSENT FOR ORTHOKERATOLOGY

Full Name Date of Birth
Address

I have received clear and comprehensive information about orthokeratology treatment by

In addition to verbal informations I received the following documents:

- INFORMATION ABOUT ORTHOKERATOLOGY: document that contains information about the product, how to use it and description of the risks.
- ORTHOKERATOLOGY LENSES MANAGEMENT: which contains a summary of the correct use of lens care
- FITTING PROTOCOL: which describes the frequency of the required follow-up examinations

I have read and understood:

- The document concerning all information about orthokeratology (benefits and risks) YES NO
- The document concerning lens care YES NO
- The guide to the correct use of contact lenses YES NO

I have been informed of

- Alternative treatments including spectacles, conventional contact lenses and refractive surgery YES NO

I have read and understood:

- How to use these lenses in order to minimize risks and infections YES NO
- The risk of infection while wearing OrthoK lenses is very rare. However, there is a slight risk of an infection caused by amoeba (found in tap water). Under no circumstance I will rinse lenses with tap water or modify regimen of lens care without consulting the eye specialist YES NO
- That vision may be fluctuating for about two weeks and that I may still need spectacles YES NO
- That according to the change in corneal profile some optical aberrations may disturb night vision inducing halos and/or flare YES NO
- That orthokeratology is reversible. It will not give permanent corrected vision. Refraction will revert to its original status if treatment is terminated for any reason YES NO
- That complete correction of the refractive error is not guaranteed YES NO
- That the procedure slows down and in some cases stops myopia, however myopia control results vary between individuals so cannot be predicted or assured. YES NO
- That Instructions provided by the practitioner must be followed as poor compliance may be risky and lead to complications YES NO
- That I have the responsibility to return to the office for every scheduled follow up visit. YES NO
- That, if complications arise (pain, redness, light sensitivity) I will consult my eye specialist immediately YES NO
- That my negligence to follow instructions which have been given to me, or non respect of the protocol in followup care may end the treatment. YES NO

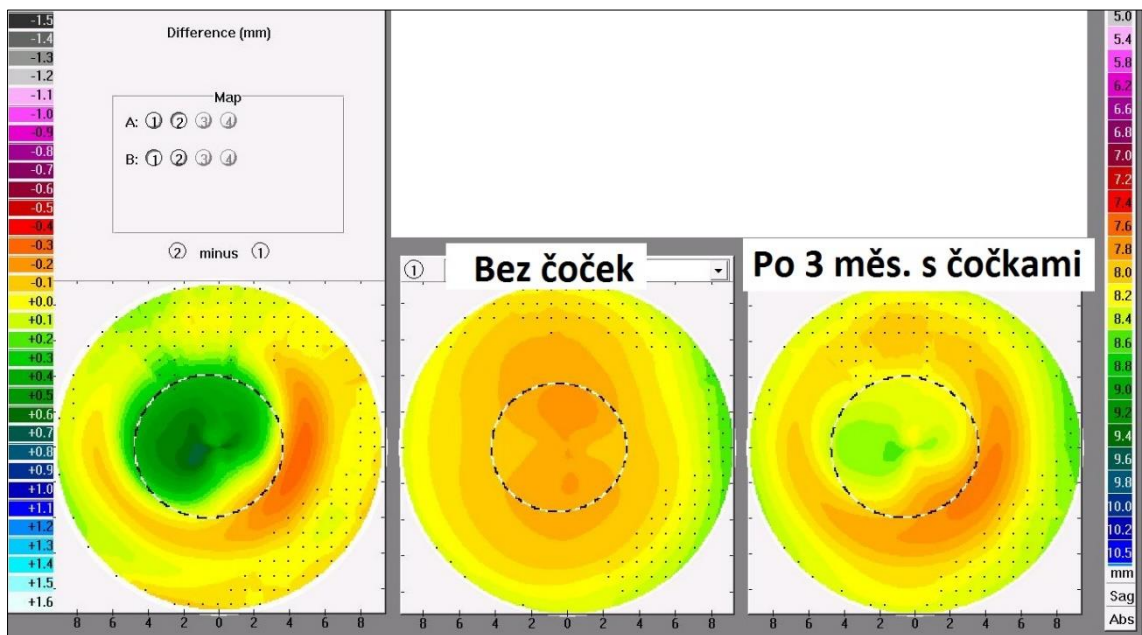
I had the opportunity to clarify all my questions or doubts YES NO

I certify to accept the treatment of orthokeratology

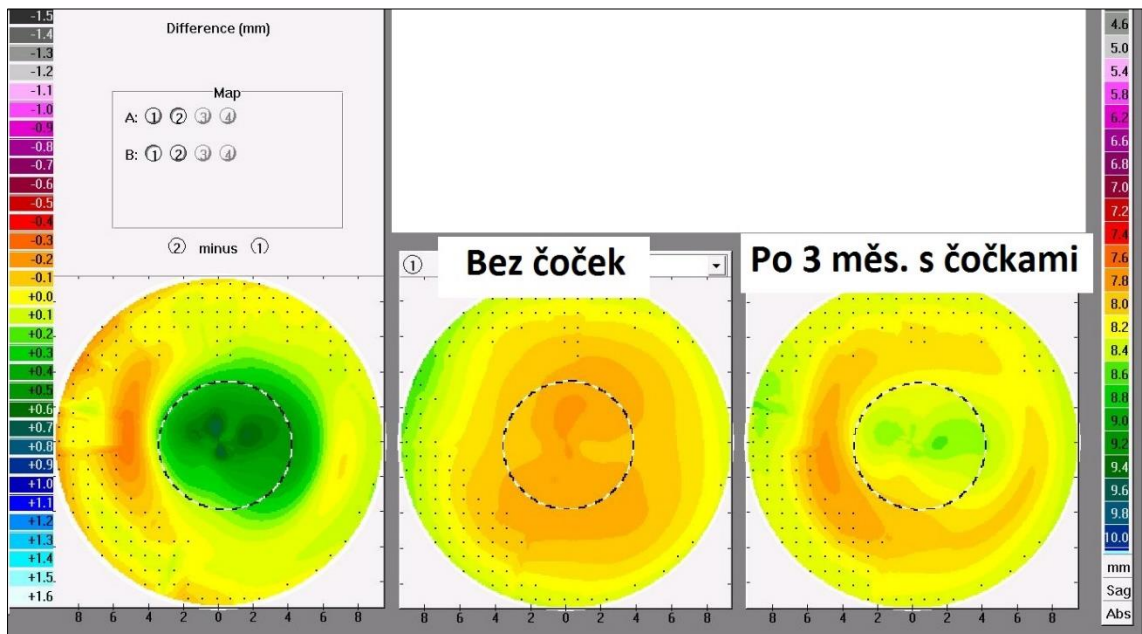
Date..... Patient

Dr.

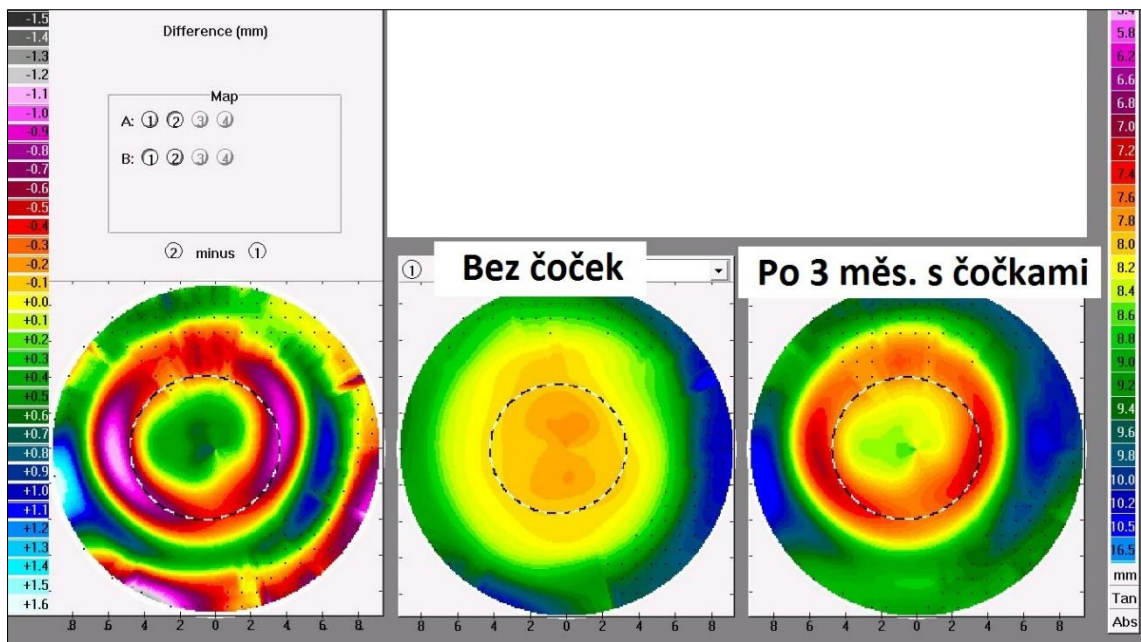
Příloha 4: Rozdílové mapy



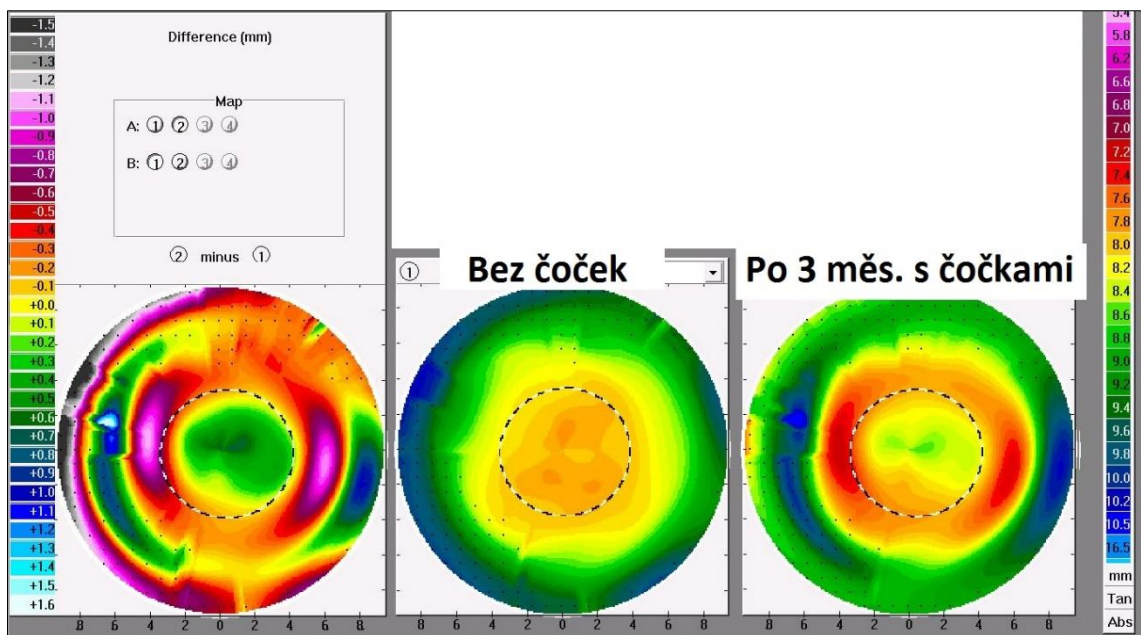
Obrázek 60: Sagitální rozdílová mapa pravého oka po třech měsících nošení ortokeratologických čoček.



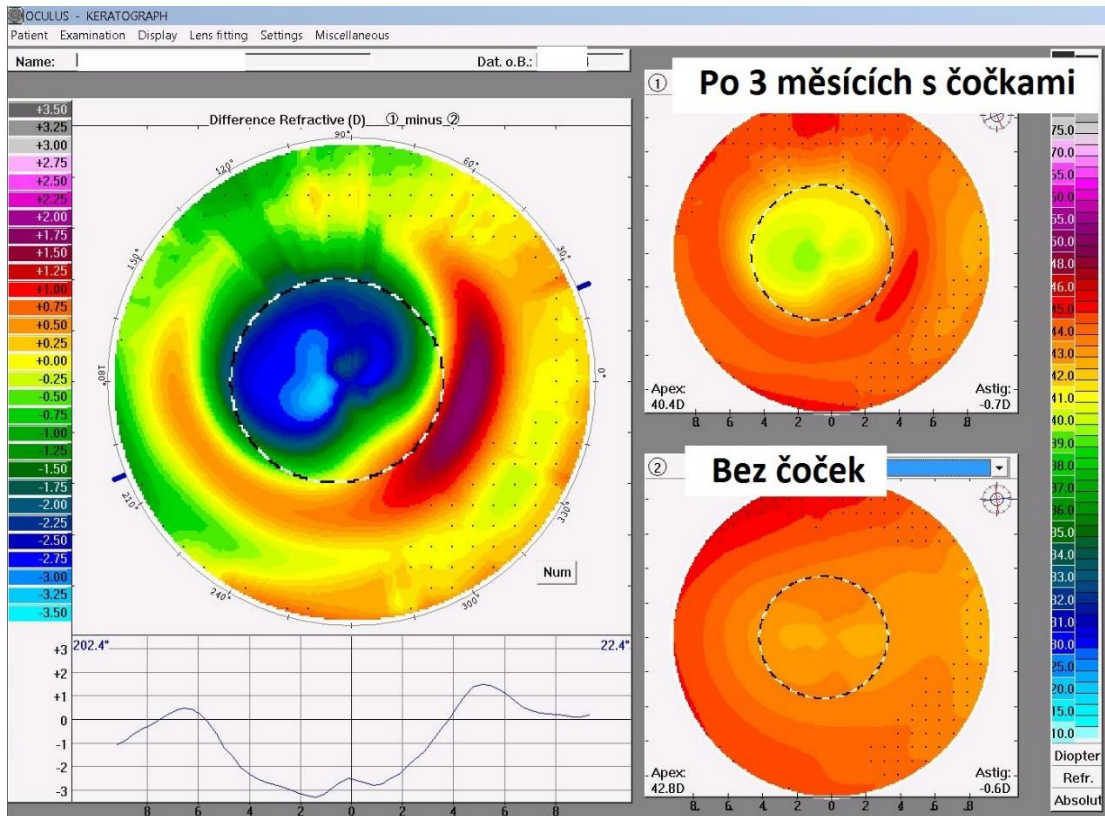
Obrázek 61: Sagitální rozdílová mapa levého oka po třech měsících nošení ortokeratologických čoček.



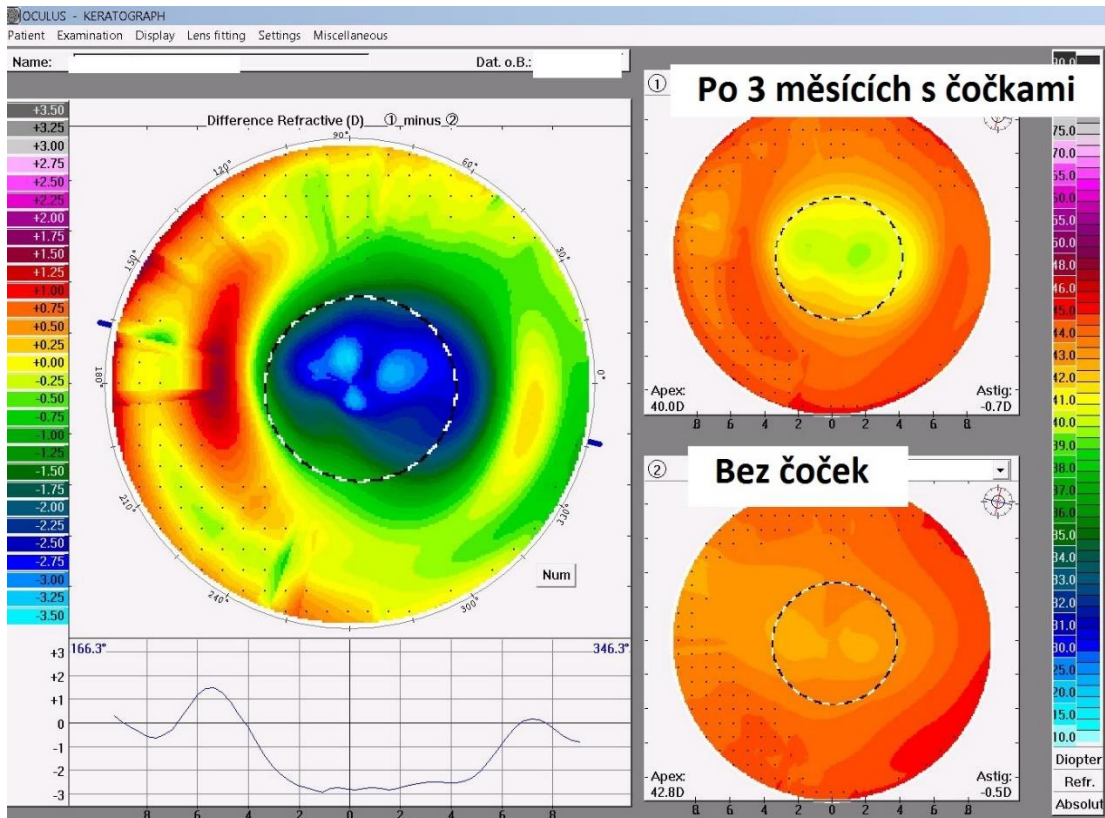
Obrázek 62: Tangenciální rozdílová mapa pravého oka po třech měsících nošení ortokeratologických čoček.



Obrázek 63: Tangenciální rozdílová mapa levého oka po 3 měsících nošení ortokeratologických čoček.



Obrázek 64: Refrakční rozdílová mapa pravého oka po 3 měsících nošení ortokeratologických čoček.



Obrázek 65: Refrakční rozdílová mapa levého oka po třech měsících nošení ortokeratologických čoček.

Příloha 4: Slovník vybraných pojmů (česko-anglicko-německý)

Česky	Anglicky	Německy
Základní křivka	Back optic zone radius (BOZR), Base curve, Back central optic radius	Basiskurve
Centrální zóna	Back optic zone diameter (BOZD), Back optic zone (BOZ, OZ)	Zentrale Rückflächenzone
Reverzní křivka	First back peripheral radius (BPR1), Tear reservoir curve (TR curve), Reverse curve (RC), Return curve, Sigmoid curve	Reverse Kurve, 1. reverse Kurve
Reverzní zóna	First back peripheral diameter (BPD1), Reverse curve width (RC width)	Reverse Zone
Slzný rezervoár	Tear reservoir width (TR width)	Reservoirezzone, Täreservoir
Stabilizační křivka	Second and third back peripheral radii (BPR2, BPR3), Alignment curves (AC), Tangent	2. reverse Kurve
Stabilizační zóna	Alignment zone, Anchor zone, Landing zone	Auflagezone
Periferní křivka	Fourth back peripheral radius (BPR4), Peripheral curve	Periphere Kurve
Zdvih okraje čočky, okraj čočky	Edge lift	Bevel
Zbrzdění nárůstu myopie, kontrola myopie	Myopia controle	Myopiekontrolle
Sagitální hloubka rohovky	Sagittal height of the cornea, Corneal sag	Scheiteltiefe des Auges
Sagitální hloubka kontaktní čočky	Lens sag	Scheiteltiefe der Kontaktlinse
Oploštěná zóna, zóna oploštění	Treatment zone	Zentrale Abflachungszone
Smajlík	Smiley face	Smiley face
Smajlík s falešným centrálním ostrůvkem	Smiley face with fake central island	Smiley face with fake central island
Centrální ostrůvek	Central island	Central island
Šklebík	Frowny face	Frowny face