

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**KATEŘINA
DITRICHOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Krátkodobý vliv měkkých kontaktních čoček na refrakci oka

Short-term effect of soft contact lenses on the refraction of the eye

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Kateřina Ditrichová

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Iva Klimešová, MSc.

Kladno 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ditrichová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **500007**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Krátkodobý vliv měkkých kontaktních čoček na refrakci oka

Název bakalářské práce anglicky:

Short-term effect of soft contact lenses on the refraction of the eye

Pokyny pro vypracování:

Popište vlastnosti rohovky a změny jejího tvaru během dne, dále popište oko jako optický systém, metody stanovení refrakce a co ji ovlivňuje. Dohleďte informace k současným materiálům kontaktních čoček a studie o jejich vlivu na přední segment a refrakci oka. V praktické části změřte u minimálně 20 subjektů změny na rohovce a v subjektivní refrakci ihned po vyndání měkkých kontaktních čoček v porovnání se stavem po 24 hodinové pauze v nošení. Dále stanovte jaký je postupný návrat případných změn v první hodině po vyndání.

Seznam doporučené literatury:

- [1] EFRON, N., Contact Lens Practice, ed. 3rd, Elsevier, 2018, ISBN 978-0-7020-6660-3
- [2] READ S.A., COLLINS M.J., Diurnal variation of corneal shape and thickness, Optom Vis Sci, ročník 86, číslo 3, 2009, Březen, pp. 170-180 s.
- [3] ELLIOTT, D., Clinical Procedures in Primary Eye Care, ed. 5, Elsevier, 2020, ISBN 978-070-20-7789-0

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Bc. Iva Klimešová, MSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název bakalářské práce: Krátkodobý vliv měkkých kontaktních čoček na refrakci oka

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je zjistit, zda měkké kontaktní čočky působí na parametry rohovky, případně jakým způsobem mění subjektivní refrakci, jsou-li z oka vyndány bezprostředně před zahájením jejího měření. V teoretické části práce je popsána anatomie, fyziologie rohovky a její denní změny. Dále se práce věnuje refrakci oka, rozdělení na subjektivní a objektivní a popisu jejich fyziologických a patologických změn. Závěr teoretické části je věnován měkkým kontaktním čočkám, jejich základním vlastnostem a jejich vlivu na oko.

Pro praktickou část bylo změřeno 20 nositelů měkkých kontaktních čoček ve věkovém rozmezí 21 až 28 let. Měření proběhlo ve dvou termínech. První proběhl po minimálně 24 hodinách bez kontaktních čoček. Nejprve byla stanovena subjektivní refrakce a poté pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo) změřena hodnota centrální tloušťky rohovky, astigmatismu přední plochy rohovky, průměrné zakřivení přední a zadní plochy rohovky a hloubka přední komory. Druhý termín se konal po 7 dnech pravidelného nošení čoček. Stejně měření jako při prvním termínu bylo provedeno ihned po vyndání čoček a následně v čase po 15, 30, 45 a 60 minutách. Ihned po vyndání byla oproti výchozí korekci změřena změna v rozmezí $-0,5$ až $+0,25$ dpt ve sféře a $-0,5$ až $+0,25$ dpt v cylindru. U žádného z měřených parametrů nebyla nalezena statisticky významná změna. Z výsledků vyplývá, že vyndání kontaktních čoček bezprostředně před měřením by zásadně nemělo ovlivnit výsledek subjektivní refrakce ani měřené parametry předního segmentu oka.

Klíčová slova:

rohovka, refrakce oka, měkké kontaktní čočky, změny tvaru rohovky, vliv kontaktních čoček na oko

Bachelor's Thesis title: Short-term effect of soft contact lenses on the refraction of the eye

Abstract:

The aim of the bachelor thesis is to determine whether soft contact lenses affect the corneal parameters or how they change the subjective refraction when they are removed from the eye immediately before the refraction measurement. In the theoretical part of the thesis, the anatomy and physiology of the cornea and its daily changes are described. The thesis also discusses the refraction of the eye, the division into subjective and objective and a description of their physiological and pathological changes. The theoretical part concludes with soft contact lenses, their basic properties and their effect on the eye.

For the practical part, 20 soft contact lens wearers in the age range of 21 to 28 years were measured. The measurements were carried out on two dates. The first took place after a minimum of 24 hours without contact lenses. First, subjective refraction was determined, and then central corneal thickness, anterior corneal astigmatism, average curvature of the anterior and posterior corneal surfaces, and anterior chamber depth were measured using a Pentacam instrument (Oculus, Germany). The second appointment took place after 7 days of regular lens wear. The same measurements as the first appointment were taken immediately after lens removal and then at 15, 30, 45 and 60 minutes. Immediately after removal, the change from the baseline correction was measured as $-0,5$ to $+0,25$ dpt in the sphere and $-0,5$ to $+0,25$ dpt in the cylinder. No statistically significant change was found in any of the measured parameters. The results suggest that removal of contact lenses immediately before measurement should not fundamentally affect the subjective refraction result or the measured anterior segment parameters of the eye.

Key words:

cornea, refraction of the eye, soft contact lenses, changes in the shape of the cornea, the effect of contact lenses on the eye

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych v první řadě ráda poděkovala mé vedoucí práce Bc. Ivě Klimešové, MSc. za její čas, který věnovala k poskytnutí cenných rad a pomoci při zpracování této bakalářské práce. Velké díky patří také panu Ing. Václavu Petrákovi, PhD za jeho cenné rady, které se týkaly zpracování statistické části práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Jiřímu Michálkovi, CSc a Bc. Ing. Kateřině Morávkové za poskytnutí dat ohledně aplikace kontaktních čoček. Dále bych ráda poděkovala Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně za poskytnutí vybavení a místa pro realizaci praktické části této práce a v neposlední řadě patří velké díky všem vyučujícím, kteří mě za dobu studia doprovázeli.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Krátkodobý vliv měkkých kontaktních čoček na refrakci oka*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod	7
2	Anatomie a vlastnosti rohovky	8
2.1	Anatomie a fyziologie rohovky	8
2.2	Změny tvaru rohovky během dne	10
3	Refrakce oka	14
3.1	Oko jako optický systém.....	14
3.1.1	Schématické modely oka	15
3.1.2	Vliv akomodace	17
3.1.3	Ostatní vlivy spjaté s optickou soustavou oka.....	19
3.2	Stanovení refrakce	20
3.2.1	Objektivní refrakce	21
3.2.2	Subjektivní refrakce.....	22
3.3	Změny refrakce oka	24
3.3.1	Fyziologické a patologické příčiny	24
3.3.2	Ostatní vlivy způsobující denní změny refrakce	25
4	Kontaktní čočky a jejich vliv na oko	27
4.1	Základní vlastnosti kontaktních čoček se zaměřením na měkké kontaktní čočky.....	27
4.1.1	Hydrogely	30
4.1.2	Silikon–hydrogely	30
4.2	Vliv kontaktních čoček na oko	33
5	Metodika.....	43
5.1	Soubor měřených osob.....	43
5.2	Postup měření	44
5.3	Statistická analýza.....	46
6	Výsledky.....	48
6.1	Měřené hodnoty sférické korekce	50
6.2	Měřené hodnoty cylindrické korekce.....	51
6.3	Měřené hodnoty osy cylindru	52
6.4	Měřené hodnoty centrální tloušťky rohovky	53
6.5	Měřené hodnoty astigmatismu přední plochy rohovky	54
6.6	Měřené hodnoty průměrného zakřivení přední plochy rohovky.....	55
6.7	Měřené hodnoty průměrného zakřivení zadní plochy rohovky	56

6.8	Měřené hodnoty hloubky přední komory	57
7	Diskuze	58
8	Závěr	63
9	Bibliografie	65
	Seznam symbolů a zkratk	71
	Seznam obrázků	72
	Seznam tabulek	73
	Příloha A – Přehled nošených kontaktních čoček	74
	Příloha B – Měřené hodnoty v rámci 1. termínu	75
	Příloha C – Měřené hodnoty v rámci 2. termínu	76
	Příloha D – Změny hodnot mezi termíny	81

1 Úvod

V optometrické praxi není výjimkou, že klient přichází na měření pro nové brýle v nasazených kontaktních čočkách. Je známo, že by se po vyjmutí čoček z oka mělo před zahájením samotného měření vyčkat. Doba, po kterou by klient měl mít kontaktní čočky z oka vyjmuté, se ale udává různá a není přesně stanovena. Tento fakt mě dovedl k otázce, jestli kontaktní čočky ovlivní následnou refrakci (popřípadě jakým způsobem), jsou-li z oka vyndány bezprostředně před zahájením jejího měření.

Vzhledem k tomu, že se v posledních letech materiály kontaktních čoček posunuly kupředu a jsou výrazně propustnější pro kyslík, měly by představovat nižší zátěž pro oko. Dalo by se tedy uvažovat, zda i měření, které by proběhlo ihned po vyjmutí čoček, není přesnější.

Práce se zaměřuje pouze na měkké kontaktní čočky, které v České republice mezi uživateli kontaktních čoček převládají.

Tato práce se skládá z teoretické a praktické části. Teoretická část se bude věnovat anatomii a fyziologii rohovky, dále refrakci oka a jejím denním změnám, ke kterým přirozeně dochází. Závěrem bude teoretická část pojednávat o problematice měkkých kontaktních čoček, jejich základních vlastností a následně o jejich vlivu, který mají na parametry oka (převážně pak na rohovku).

Cílem praktické části je na 20 subjektech změřit nejprve výchozí hodnoty subjektivní refrakce, dále pomocí Pentacam (Oculus, Německo) změřit základní parametry rohovky (centrální tloušťka rohovky, astigmatismus přední plochy rohovky, zakřivení přední a zadní plochy rohovky, hloubka přední komory), a to alespoň po 24 hodinách bez nasazených kontaktních čoček. V další termín měření je cílem změřit stejné parametry bezprostředně po sundání kontaktních čoček a dále v časech 15, 30, 45 a 60 minut od sundání čoček.

Cílem je zanalyzovat naměřené změny, v závěru tyto změny porovnat, a v případě výskytu signifikantních změn stanovit čas, po kterém by se parametry rohovky a refrakční stav oka vrátily do výchozích hodnot. Tento čas by případně sloužil jako tzv. čekací doba, před zahájením měření refrakce oka.

2 Anatomie a vlastnosti rohovky

Rohovka (*cornea*) je transparentní optická tkáň, která se vyznačuje třemi základními vlastnostmi vypovídajícími o aktuálním stavu. Je hladká, lesklá a průhledná. Spolu s bělímou (*sclera*) udává pevný vazivový obal oka (*tunica fibrosa oculi*). Samotná rohovka tvoří přední část (1/6) *tunica fibrosa oculi*. Společně se spojivkou, sklérou a slzným filmem, vytváří rohovka mechanickou bariéru mezi zevním prostředím a nitrem oka. Z optického hlediska je považována za nejdůležitější refrakční prostředí. [1; 2; 3; 4]

K vývoji rohovky dochází ve druhém měsíci embryonálního vývoje. V tomto období dochází ke vzniku a uskupení pěti vrstev, ze kterých se skládá. Je částečně ektodermálního původu (rohovkový epitel), částečně původu mezodermálního (ostatní vrstvy). [1; 3]

Rohovka je jedinečnou strukturou, která se od ostatních tkání lidského těla odlišuje celou řadou specifických parametrů. Je bezcévná, velmi bohatě inervovaná, má pravidelnou architekturu, obsahuje dvě bazální membrány. [3]

2.1 Anatomie a fyziologie rohovky

Parametry určující rohovku jsou průměr, který vertikálně činí 11,5 mm a horizontálně 12,6 mm, dále centrální tloušťka rohovky (560 μm), periferní tloušťka rohovky (650–1000 μm) a optická mohutnost (43 dpt). [1]

Mezi vrstvy rohovky patří – epitel, Bowmanova membrána, stroma, Descemetova membrána a endotel. [4]

Epitel je uspořádán do čtyř až šesti vrstev a představuje 10 % tloušťky rohovky. Má rychlou schopnost regenerace a migrace. Rohovkový epitel se v průměru obnovuje každých 7 dní. Za tuto schopnost jsou odpovědné limbální buňky. Na povrchu epitelu se vytváří mikroklky, které umožňují přilnutí mucinu, vnitřní vrstvy slzného filmu. Pro zamezení průniku infekce do rohovky je neporušený povrch epitelu velmi důležitý. [3]

Bowmanova membrána vytváří tenkou vrstvu pod bazální membránou epitelu. Má tloušťku 8–12 μm . Je-li porušena, nemá schopnost regenerace a dochází ke vzniku rohovkové jizvy. [1; 3]

Stroma je tvořeno velkým množstvím rovnoběžných kolagenních lamel, které jsou produkovány fibroblasty (keratocyty). Jedná se o nejobjemnější vrstvu rohovky, která představuje 90 % její tloušťky a vyznačuje se pomalou regenerací. [3]

Nově se v literatuře setkáváme také s pojmem Duova vrstva. Ta označuje nebuněčnou zesílenou vrstvu stromatu. [2]

Descemetova membrána je tvořena mřížkou kolagenních fibril, je relativně pevná. Má schopnost regenerace pomocí funkčních endotelových buněk. [3]

Endotel určuje zadní plochu rohovky, je jednovrstevný a při narození je tvořen přibližně 400 000 buněk hexagonálního tvaru o tloušťce 4–6 μm . Zdravý endotel má buněčnou hustotu 2600–3000 buněk/ mm^2 . S věkem, nebo také vlivem systémových onemocnění či po prodělaných nitroočních operacích, tento počet ubývá. Buňky endotelu nemají regenerační schopnost, proto jsou defekty uzavírány přesunem a zvětšením velikosti stávajících buněk. Endotel zajišťuje transparentnost a stálou hydrataci rohovky (76–80 %). Tím také udržuje konstantní optickou mohutnost. Dojde-li k poklesu buněk endotelu na hodnotu 500 buněk/ mm^2 , dochází k selhání funkce endotelu a vzniká tzv. edém rohovky. [1; 5]

Inervace rohovky je zajištěna pomocí sensorických nervů vycházejících z první větve V. hlavového nervu (*Nervus trigeminus*). Ze všech tkání lidského těla má nejvíce nervových zakončení na mm^2 . Jeho přímé podráždění způsobí mrkací reflex. Při porušení epitelu, se obnaží zakončení tohoto nervu, dochází k intenzivní bolesti, která následně spustí reflexní slzení a neovladatelné sevření víček (blefarospasmus). [3; 6; 7]

Rohovka patří spolu s dalšími strukturami oka (skléra, čočka a sklivec) mezi bradytrofické tkáně. **Metabolismus** zde probíhá pomaleji, a to hlavně z důvodu, že je rohovka avaskulární tkání. Mezi výživné metabolity, které získává třemi cestami, se řadí aminokyseliny a glukóza. K získání dochází difúzí z kapilár limbu, difúzí a aktivním transportem z komorové tekutiny, difúzí ze slzného filmu. [3]

2.2 Změny tvaru rohovky během dne

Pro posouzení celkového stavu rohovky a vyhodnocení naměřených hodnot je velmi důležitá znalost přirozených denních změn, ke kterým dochází v parametrech rohovky. Hodnoty měření zakřivení, topografie a aberací předního povrchu rohovky podléhají významným denním změnám. Méně je však známo o přirozených denních změnách, které se vyskytují u jiných parametrů rohovky, jako je zakřivení zadní plochy rohovky. Kvůli zásadnímu vlivu tvaru předního povrchu rohovky, je obtížné změřit zakřivení zadní plochy rohovky, jejíž hodnoty se v tomto případě zanedbávají. Měření zadní plochy rohovky se věnoval ve své studii z roku 1993 Patel a kol. [8]. Pomocí naměřených hodnot tvaru přední plochy rohovky a periferních hodnot tloušťky rohovky na 20 měřených subjektech, zjistili, že průměrný poloměr vrcholu zadní plochy rohovky činí 5,8 mm (se směrodatnou odchylkou $SD = \pm 0,42$) a asféricita 0,64 ($SD = 0,37$) pro vertikální meridián, pro horizontální meridián hodnoty činily 5,82 mm ($SD = \pm 0,40$) a 0,52 ($SD = 0,30$). [9; 10]

Na téma změn tvaru rohovky během dne existuje celá řada zahraničních studií. Všechny dohledané studie zjistily podobné hodnoty změn. Scott A Read a Michael J Collins ve své práci „*Diurnal variation of corneal shape and thickness*“ z roku 2009 [9] zkoumali souvislosti mezi denními změnami v řadě parametrů rohovky. Patnácti subjektům byly každých 3 až 7 hodin po dobu 24 hodin, měřeny parametry rohovky pomocí Scheimpflugovy kamery (Pentacam). Signifikantně se změny vyskytovaly jak v zakřivení přední plochy, tak v zakřivení zadní plochy rohovky a tloušťce rohovky. Zploštění přední plochy bylo pozorováno při časném ranním měření po probuzení ($p < 0,0001$). Zadní plocha rohovky prošla také významným oploštěním ($p < 0,0001$) a změnou astigmatismu 90/180 stupňů. Po probuzení byl také významný otok rohovky ($p < 0,0001$). V průměru byla zjištěna změna v centrální oblasti 3,46 %, v periférii poté 3,74 %. [9]

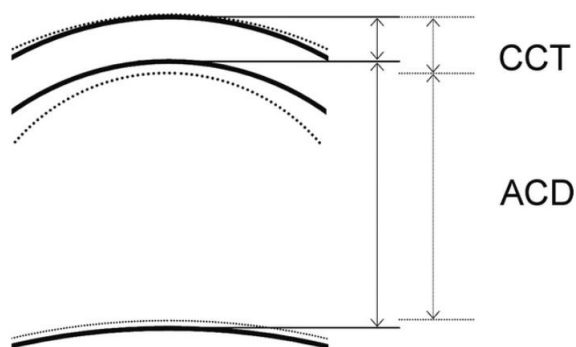
Za předpokladu indexu lomu rohovky 1,376 a indexu lomu komorové tekutiny 1,336, byl v této studii z axiálních silových map (mapy zakřivení byly převedeny na axiální sílu) vypočten nejvhodnější sférický válec pro průměr 3,5 mm a 7 mm pro přední i zadní plochu rohovky. Průměrná $\pm SD$ (směrodatná odchylka) tloušťka rohovky pro centrální oblast 3,5 mm a periferní oblast prstence 3,5 až 7,0 mm byla zjištěna hodnota $0,540 \pm 0,029$ a $0,598 \pm 0,034$ mm, v daném pořadí. Průměrná amplituda změny během 24hodinového období měření byla $0,019 \pm 0,008$ mm a $0,022 \pm 0,008$ mm pro centrální a periferní oblasti, v daném pořadí. Denní změny v nejlepší sféře přední plochy rohovky měly průměrnou amplitudu změny $0,36 \pm 0,11$

a $0,27 \pm 0,09$ dpt pro průměry 3,5 a 7,0 mm. Průměrná amplituda změny v nejlepší sféře pro zadní plochu rohovky byla $0,05 \pm 0,03$ a $0,04 \pm 0,02$ dpt, opět pro průměry 3,5 a 7,0 mm. [9]

Dále studie poznamenává, že strmost přední plochy rohovky povede ke zvýšení kladné dioptrické mohutnosti, zatímco zploštění zadní plochy rohovky naopak k jejímu snížení. Je tomu tak v důsledku rozdílných hodnot indexu lomu rohovky a komorové tekutiny. [9]

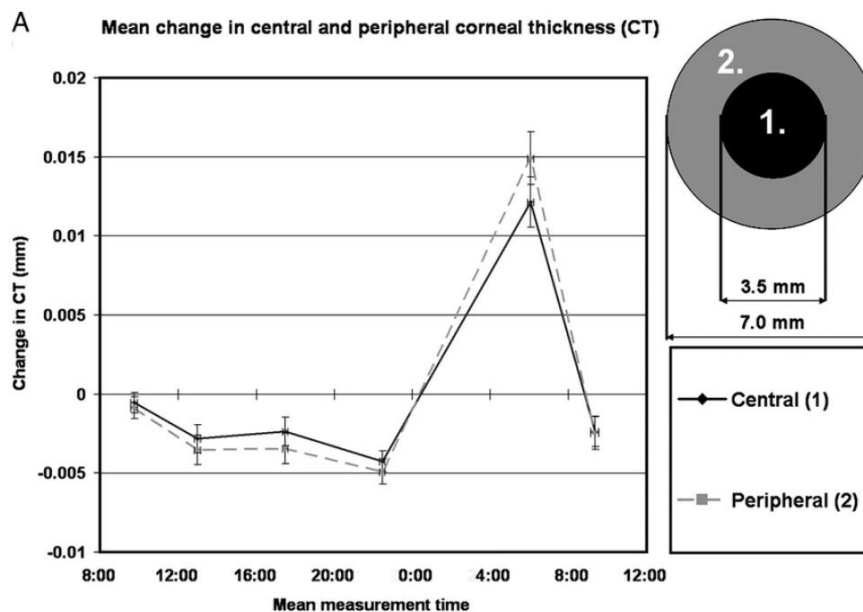
Bylo zjištěno, že největší změny jsou na rohovce patrné bezprostředně po probuzení. Dále práce poukázala na to, že by rovnoměrná změna tloušťky rohovky nezměnila axiální zakřivení povrchů rohovky. Proto právě periferní ztlustění (respektive rozdíl mezi centrální a periferní oblastí), které bylo pozorováno, vysvětluje a má za následek zploštění přední plochy rohovky. Po probuzení bylo tedy zaznamenáno zploštění přední plochy rohovky, zestrmění zadní plochy rohovky, ztlustění rohovky (v oblasti periferie vyšší) a současné snížení hloubky přední komory (ACD). Vzor změn rohovky a přední komory, pozorovaný bezprostředně po probuzení, proto svědčí o otoku rohovky se zpětným pohybem zadní plochy a zároveň s mírným pohybem přední plochy rohovky směrem dopředu (v periferii dochází k tomuto jevu více). [9]

Na schématickém diagramu (Obr. 2–1), shrnujícím průměrné změny, které byly pozorovány v rohovce a přední komoře, je znázorněn zpětný pohyb zadní plochy rohovky do přední komory. Centrální tloušťka rohovky je označena zkratkou CCT (z angl. *central cornea thickness*). [9]

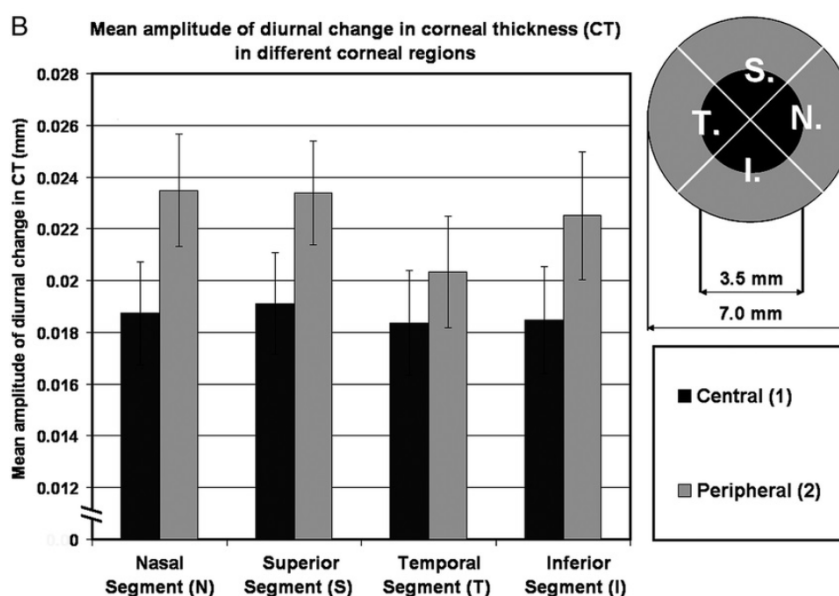


Obrázek 2-1: Schématické znázornění změn nalezených na rohovce a přední komoře po probuzení [9]

Na Obrázku 2–2 je znázorněna průměrná změna tloušťky rohovky během 24hodinového období měření, vyjádřená jako průměrný rozdíl od průměrné tloušťky rohovky. Je zohledněna centrální a periferní část. Na Obrázku 2–3 je poté znázorněna střední amplituda změny opět během 24hodinového období měření pro různé měřené oblasti. [9]



Obrázek 2-2: Průměrná změna tloušťky rohovky v centru a v periferii [9]



Obrázek 2-3: Střední amplituda změny tloušťky rohovky pro různé oblasti [9]

V další dohledané práci „*Diurnal variation of cornea and corneal epithelial thickness measured using optical coherence*“, které se věnoval Y Feng, J Varikooty a TL Simpson [11], bylo vybráno 10 zdravých dobrovolníků, u kterých bylo prováděno vyšetření pomocí OCT. Měření bylo provedeno ve 22:00 (výchozí hodnota), v 8:30 a poté každé 2 hodiny až do 16:30. Jedno ze dvou očí bylo přelepeno náplastí až do doby 8:30 následujícího dne. Na závěr byly porovnávány hodnoty tloušťky rohovky a epitelu. Bezprostředně po odstranění náplastí byla tloušťka rohovky a epitelu očí s náplastí vyšší než výchozí hodnota (vše $p < 0,05$). U zalepených

očí rohovka a epitel přes noc nabobtnaly o 5,5 % a 8,1 % ($p > 0,05$). O dvě hodiny později se tloušťka epitelu experimentálních očí vrátila na výchozí úroveň ($p > 0,05$), ale tloušťka rohovky dosáhla výchozí úrovně až 4 hodiny po odstranění náplasti. [11]

Otok rohovky po probuzení se věnovali Brien A. Holden, George W. Mertz a John J. McNally v roce 1983 [12]. Změny tloušťky rohovky zde byly monitorovány na deseti subjektech. První hodnoty měření byly stanoveny za 36hodinový interval bez nasazených kontaktních čoček. Následné měření proběhlo během 7 dní pravidelného nošení tří typů hydrogelových kontaktních čoček. Bylo zjištěno, že otok rohovky bezprostředně po probuzení, bez nošení kontaktních čoček činil $3,0 \% \pm 1,2 \%$. S kontaktními čočkami, které byly použity v této studii, se výsledný otok rohovky pohyboval v rozmezí od 9,7 % do 15,1 %. (*Vliv kontaktních čoček na oko je více rozebrán v kapitole 4.2 – Vliv kontaktních čoček na oko*). Studie byla určena ke zjištění toho, jak kontaktní čočka působí na rohovku oka a zároveň k eliminaci většího edému rohovky, který by byl způsoben kontaktní čočkou v porovnání s normálním edémem rohovky vznikajícím během spánku. [12]

C. L. Harper a kolektiv v práci „*Diurnal variations in human corneal thickness*“ [13] během časového úseku 48 hodin, analyzovali pomocí ultrazvukového pachymetru rohovky osmi subjektům měření. Měření bylo provedeno před spánkem, bezprostředně po probuzení a následně po 15, 30, 45 minutách. Průměrná tloušťka rohovky pro skupinu (SD) byla 546 (14) μm s průměrným nárůstem přes noc o 5,5 % (2,9 %). [13]

Z předchozích studií vyplývá, že byla největší velikost změny ve všech měřených proměnných zjištěna bezprostředně po probuzení. Tlak kyslíku na povrchu rohovky je 155 mmHg. Oční víčko vytváří přirozenou bariéru pro kyslík, tudíž se během spánku snižuje jeho přísun k rohovce a tlak kyslíku se sníží přibližně na třetinu. Přirozeně, se sníženým přísunem kyslíku, vzniká edém rohovky, který v tomto případě označujeme jako otok/edém rohovky po probuzení. Normální edém rohovky po probuzení činí 3–4 % a je přirozeně snižován na 0 % během 2-3 hodin po probuzení [12; 9]. Rohovka je tudíž obvykle nejtlustší po probuzení, a poté dochází k jejímu návratu do základního tvaru. Jedna ze zahraničních studií [9] se také zaměřila na dioptrické změny působení rohovky. Denní změny v nejlepší sféře přední plochy rohovky činily přibližně 0,25 dpt (s průměrnou amplitudou změny $0,36 \pm 0,11$ a $0,27 \pm 0,09$ dpt pro průměry 3,5 a 7,0 mm). Optické účinky změn v zadní ploše rohovky byly však malé (střední amplituda změny axiální mohutnosti 0,05 dpt) a podstatně neovlivní lomivost rohovky. [9; 11; 12; 13; 14]

3 Refrakce oka

Tato kapitola se zaměřuje na refrakční stav oka. K tomuto určení je popsáno oko z pohledu optického systému. Následně jsou v této kapitole popsány schématické modely oka, u kterých je důraz kladen na Gullstrandův schématický model. V rámci popisu tohoto schématického modelu oka, je popsán vliv akomodace na optický systém oka.

V části popisující stanovení refrakce, jsou popsány rozdíly mezi objektivní a subjektivní refrakcí. Pro závěrečné pochopení toho, jestli kontaktní čočka ovlivňuje refrakci oka, jsou popsány fyziologické a patologické změny refrakce, ke kterým během života dochází.

3.1 Oko jako optický systém

Lidským okem, které je vnímáno jako optický systém, se zabývá zejména fyziologická optika. Optický systém oka je tvořen jednotlivými částmi oka, mezi které řadíme rohovku, komorovou tekutinu, oční čočku a sklivec. Uplatňují se zde optická rozhraní zahrnující vzduch, přední a zadní plochu rohovky, komorovou tekutinu, přední a zadní plochu čočky a sklivec. [1; 3]

Na rozhraní dvou prostředí, která jsou opticky průhledná, dochází k částečnému odrazu paprsků, část projde do dalšího prostředí a dojde k lomu. Lom paprsku závisí na poměru tzv. optických hustot daných dvou prostředí. Pokud přechází paprsek do opticky hustšího prostředí, dochází k lomu ke kolmici, v opačném případě dojde k lomu od kolmice. Hodnota optické lomivosti prostředí je dána indexem lomu. Index lomu je poměrem rychlosti šíření světla ve vakuu c_0 a rychlosti šíření světla v daném prostředí c . [6; 7]

K formování výsledného obrazu dochází na sítnici. Tento obraz je skutečný, převrácený a zmenšený. Dále je přenášen pomocí nervových vláken do zrakového centra v mozku. [1; 15]

Na kvalitě výsledného obrazu se podílí detekce fotocitlivých buněk sítnice (tyčinek a čípků) a následné neurální zpracování zrakového podnětu, způsobeném dopadem světla na sítnici. [1]

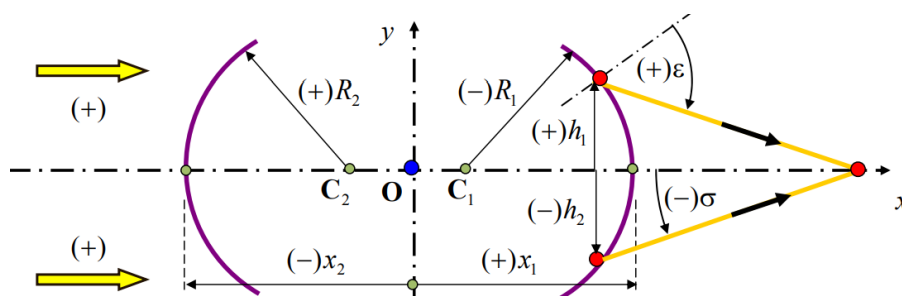
Duhovka plní funkci aperturní clony, která redukuje množství světla pronikajícího do oka. Ovlivňuje tedy velikost zornice. Čím menší je průměr zornice, tím méně světla do oka proniká a k tvorbě sítnicového obrazu přispívá jen velmi malé množství periferních paprsků. Při malém průměru zornice dochází ke snížení sférické a chromatické aberace. [1; 3]

3.1.1 Schématické modely oka

Nejdůležitějšími částmi (z refrakčního pohledu), tvořícími optickou soustavu oka, jsou rohovka a oční čočka. Zásadním způsobem ovlivňují kvalitu zobrazení. Rohovka má největší optickou mohutnost, která činí přibližně 40–45 dpt. Oční čočka poté tvoří zbytek optické mohutnosti oka (20 dpt). Tuto optickou soustavu lze charakterizovat pomocí tzv. schématických modelů optické soustavy oka. Ty slouží převážně k popisu a výpočtům základních parametrů optického modelu oka. Mezi prvními byly vytvořeny paraxiální schématické modely umožňující velmi dobré určení základních parametrů oka, mezi které patří optická mohutnost, pozice vstupní a výstupní aperturní clony, zvětšení a osvětlení obrazu. Následně umožnily také zkoumání vlivu refrakčních vad na zobrazení. [1; 15]

K výpočtům pomocí schématických modelů oka, je důležité držet se tzv. znaménkové konvence. Jednou z nich je Jenská (kartézská) znaménková konvence (Obrázek 3–1), která byla založena jenskou školou optiků. Mezi pravidla této znaménkové konvence patří např.: to, že se světlo šíří zleva doprava. Jednotlivé vzdálenosti se poté měří od optického prvku, kterým může být např.: čočka, zrcadlo. Vzdálenost, která směřuje od optického prvku vlevo, má zápornou hodnotu a naopak. Výšky měřené nad optickou osou, jsou kladné, pod optickou osou záporné. Poloměry křivosti ploch R , které označují jednotlivá prostředí, bereme za kladné, nachází-li se jejich střed křivosti C vpravo od plochy. V opačném případě se střed křivosti nachází vlevo od plochy, tento poloměr křivosti považujeme za záporný. Dochází-li k měření úhlů, odečítáme je vždy od normály plochy k paprsku a považujeme je za kladné, je-li tento směr totožný se směrem hodinových ručiček a naopak. [16; 17; 18]

Na Obrázku 3-1 je zobrazena ilustrace znaménkové konvence v geometrické optice. [18]

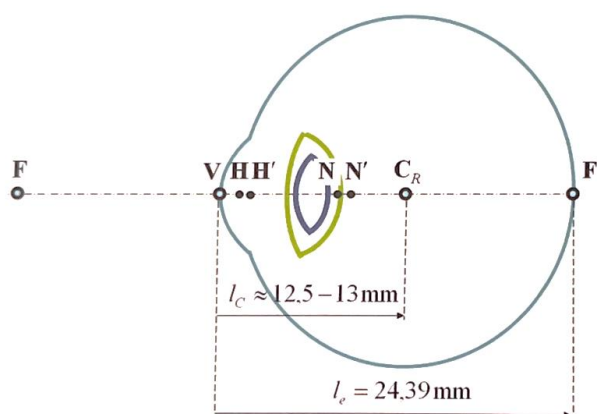


Obrázek 3-1: Ilustrace znaménkové konvence v geometrické optice [18]

Již v 10. století arabský vědec Alhazen ve svém díle popsal správnou zobrazovací funkci oka. Jeho poznatky významně přispěly do principů optiky. [15; 19] Johannes Kepler ve své publikaci *Astronomiae Pars Optica* z roku 1604 objasňuje některé z principů optiky. Popsal

zde například odraz světla na rovinných a kulových zrcadlech nebo také princip *camery obscury*. Mimo jiné se kniha věnuje popisu funkce lidského oka. Johannes Kepler v této knize jako první dokázal, že výsledný obraz vznikající na sítnici, musí být převrácený. První jasný popis optického systému oka napsal roku 1637 Descartes v jeho *La Dioptrique* [10]. První přesný model oka vznikl roku 1851 pod rukami německého matematika a fyzika Johanna Benedicta Listinga. Tento model byl dále upřesňován. Roku 1898 se o úpravu zasloužili Hermann von Helmholtz a Marius Tscherning. [15] Za velmi dobré schématické modely, ze kterých se vychází dodnes, získal roku 1911 Alvar Gullstrand Nobelovu cenu. Stanovil modely pro neakomodovaný a akomodovaný stav oka, navrhl moderní oftalmologické přístroje. Jeho schématické modely prošly řadou modifikací, jednou z nich je např.: Gullstrand-Emsley schématický model. O další modifikaci tohoto modelu se zasloužili Bennett a Rabbetts [20]. [1; 10; 15]

Schématický Gullstrandův model oka předpokládá 6 centrovaných sférických ploch, které oddělují jednotlivá oční prostředí s různými indexy lomu. V základním modelu sem patří rohovka, komorová tekutina, obal a jádro oční čočky, sklivec. Byl stanoven zjednodušený model, který počítá pouze s jednou hodnotou ekvivalentního indexu lomu pro celou oční čočku. Optický model oka se 6 optickými plochami je znázorněn na Obrázku 3-2. [1; 21; 22; 23]



Obrázek 3-2: Optický model oka se šesti optickými plochami [1]

Bod F znázorňuje předmětové ohnisko, F' obrazové ohnisko, bod V je vrcholem rohovky, H je předmětovým hlavním bodem, H' obrazovým hlavním bodem. Bod N značí předmětový uzlový bod, N' obrazový uzlový bod. Střed rotace oka je označen jako C_R . [1]

Tabulka 3-1 zaznamenává parametry schématického Gullstrandova modelu oka, který je zobrazen na Obrázku 3-2. Hodnoty pro akomodované oko, u kterého byla vzdálenost $a = -92$ mm, odpovídají akomodační amplitudě $A_a = 10,878$ dpt. [1]

Tabulka 3-1: Parametry schématického Gullstrandova modelu oka [1]

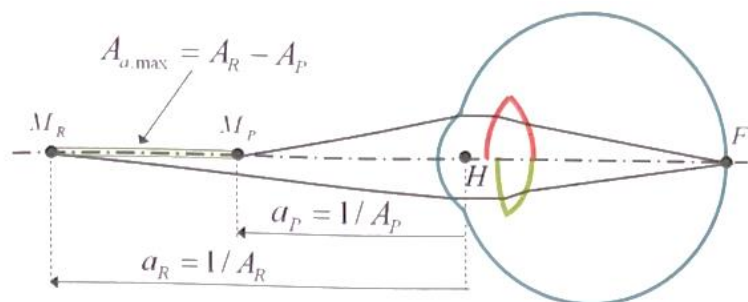
Parametr	($A_a = 0$ dpt)	($A_a = 10,878$ dpt)
optická mohutnost rohovky (dpt)	43,053	43,053
optická mohutnost čočky (dpt)	19,111	33,057
optická mohutnost oka (dpt)	58,636	70,576
osová délka oka (mm)	24,385	24,385
ohnisková vzdálenost $f' = H'F' = NF$ (mm)	22,785	18,930
ohnisková vzdálenost $f = HF = N'F'$ (mm)	-17,054	-14,169
vzdálenost VH (mm)	1,348	1,772
vzdálenost VH' (mm)	1,601	2,086
vzdálenost VN (mm)	7,078	6,533
vzdálenost VN' (mm)	7,331	6,847

3.1.2 Vliv akomodace

Oko přirozeně mění své parametry vzhledem k aktuálním podmínkám, které jsou dané například vzdáleností pozorovaného předmětu nebo jeho jasem. Akomodací dochází ke změnám optických vlastností oka. Děje se tak v důsledku změn v oblasti oční čočky (změny tvaru, pozice a rozložení indexu lomu). Akomodace v praxi oku umožňuje zaostřit na předměty, které se nacházejí v různé vzdálenosti od oka. [1]

Neakomodující oko vidí ostře tzv. vzdálený bod, který se značí M_R (z latinského *punctum remotum*). Tento bod se u emetropického oka (oka bez refrakčních vad) nachází v nekonečnu. U oka myopického leží tento bod v konečné vzdálenosti před okem, naopak u oka hypermetropického v konečné vzdálenosti za okem. U ametropického oka (oka s refrakční vadou) se vzdálenost tohoto bodu měří od hlavního předmětového bodu oka. Vyjadřuje se pomocí převrácené hodnoty této vzdálenosti v dioptriích. Bod M_P , který značí tzv. blízký bod oka (z latinského *punctum proximum*), je neblížeším bodem, na který je oko schopné zaostřit a je zde využita plná akomodace. [1; 20]

Akomodační amplituda označená $A_{a,max}$ vyjadřuje maximální hodnotu akomodace, ke které dochází. Tato amplituda je dána rozdílem převrácené hodnoty neboli vergencí vzdáleného bodu (A_R) a převrácené hodnoty blízkého bodu oka (A_P). Postupně s věkem dochází ke snížení hodnot této amplitudy. Dojde-li k posunu blízkého bodu do vzdálenosti větší, než je tzv. konvenční zraková vzdálenost (dána hodnotou 250 mm), oko se dostává do stavu, který označujeme jako presbyopický. K tomuto jevu dochází kolem 45. roku života. Určení akomodační amplitudy je znázorněno na Obrázku 3–3. [1]



Obrázek 3-3: Akomodační amplituda pro myopické oko [1]

Tabulka 3–2 uvádí hodnoty základních parametrů pro Gullstrandův schématický model oka. Jsou zde uvedeny jednotlivé poloměry zakřivení, indexy lomu a tloušťky daných struktur oka. [1]

Tabulka 3-2: Gullstrandův schématický model oka [1]

Část oka	Neakomodované oko ($A_a = 0$ dpt)			Akomodované oko ($A_a = 10,878$ dpt)		
	poloměr (mm)	index lomu	tloušťka (mm)	poloměr (mm)	index lomu	tloušťka
vzduch		1,0			1,0	
rohovka	7,700	1,376	0,500	7,700	1,376	0,500
komorová voda	6,800	1,336	3,100	6,800	1,336	2,700
obal čočky	10,000	1,386	0,546	5,333	1,386	0,6725
jádro čočky	7,911	1,406	2,419	2,655	1,406	2,6550
obal čočky	-5,760	1,386	0,635	-2,655	1,386	0,6725
sklivec	-6,000	1,336	17,1854	-5,333	1,336	17,1854

3.1.3 Ostatní vlivy spjaté s optickou soustavou oka

Mluvíme-li o optické soustavě oka, nesmíme opomenout slzný film. Ten umožňuje dobré zobrazovací vlastnosti a jeho tloušťka činí kolem 4–7 μm . Z hlediska prakticky totožného optického účinku ale není ve schématických modelech oka uvažován. Totožný optický účinek je dán velmi malou tloušťkou slzného filmu a dále stejným zakřivením jako je zakřivení přední plochy rohovky. Zadní vrcholová lámavost čočky slzného filmu, která má přibližnou hodnotu 48,8 dpt, odpovídá lámavosti přední plochy rohovky bez slzného filmu (48,8 dpt). Optické modely oka tudíž uvažují rohovku za opticky hladkou. [1]

Aby bylo možné provádět také neparaxiální výpočty, byly stanoveny modely oka na základě tzv. referenčních os. Ty berou v úvahu, že oko není obecně centrovanou optickou soustavou. Jednotlivé plochy nejsou rotačně symetrické a střed křivosti čelní plochy rohovky je oproti ose oční čočky decentrován (posunut) přibližně o 0,1 mm temporálním směrem. To má za následek nepřesnost v optické ose 1–2°. [1]

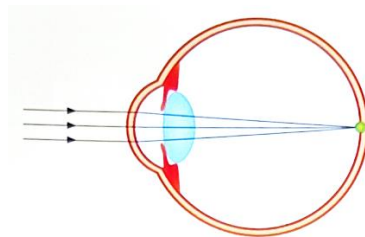
3.2 Stanovení refrakce

Úplným základem a prvním krokem ke stanovení refrakce, na který by se nemělo zapomínat, je stanovení podrobné anamnézy u pacienta. Jedná se o zaznamenání prvních důležitých informací o pacientovi, které nám často napovídají, co se u jednotlivce v rámci refrakčního stavu může vyskytovat. Poté by měla následovat celková kontrola obou očí. Ta z části probíhá již při pohledu na pacienta, později může pokračovat pomocí štěrbinové lampy. [4; 24; 7]

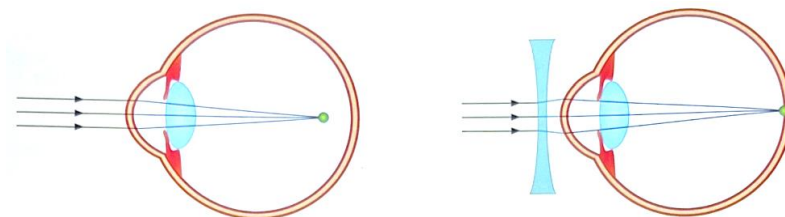
Samotná refrakce oka vyjadřuje poměr mezi délkou oka v optické ose a optickou mohutností lomivých prostředí. Dojde-li k tomu, že se paralelní paprsky okem lámou tak, že se sbíhají na sítnici, nazývá se tento stav emetropií. Optická mohutnost zde odpovídá délce oka a zmíněný stav je chápán jako fyziologický. V opačném případě, kdy se paprsky sbíhají mimo sítnici, se jedná o ametropii. Ametropie je způsobená refrakční vadou. Sbíhají-li se paprsky za sítnicí, tento stav nazýváme hypermetropií. V tomto případě se jedná o relativně krátké oko a v brýlové korekci se využívá spojných čoček. V druhém případě, kdy dochází ke sbíhání paprsků před sítnicí, mluvíme o myopii. Zde je oko relativně dlouhé a v brýlové korekci se využívá rozptylných čoček. Třetím hlavním druhem refrakční vady je astigmatismus. Zde neexistuje jediné ohnisko a optický systém nemá ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost. [2; 22; 25; 26]

Stupeň refrakce je vyjádřen pomocí dioptrií. Dioptrie je jednotkou optické mohutnosti čočky, která má ve vzduchu obrazovou ohniskovou vzdálenost 1 m. Početně je hodnota axiální refrakce dána vergencí vzdálenosti dalekého bodu A_R od oka v metrech. U emetropa, kde se daleký bod oka nachází v nekonečnu, je výsledná hodnota refrakce nulová. [5; 1]

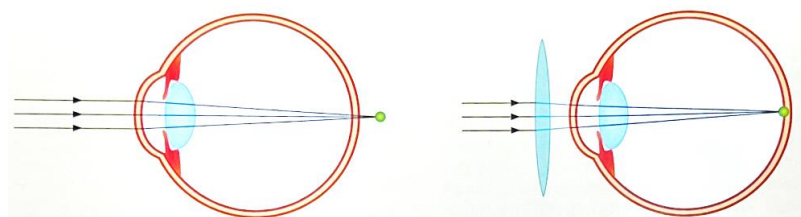
Na Obrázku 3–4 je znázorněno emetropické oko, na Obrázku 3–5 oko myopické (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo), na Obrázku 3–6 je poté oko hypermetropické (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo). Pomocí zelených teček je znázorněn bod, ve kterém se sbíhají paprsky. [2]



Obrázek 3-4: Emetropické oko [2]



Obrázek 3-5: Myopické oko (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo) [2]



Obrázek 3-6: Hypermetropické oko (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo) [2]

Správná korekce refrakčních vad přispívá nejen ke zvýšení pracovní výkonnosti, ale také k pohodlnému vidění v každodenním životě. Předpokladem komfortního vidění je předepsání takové korekce, která je pacientovi pohodlná a zároveň dosáhne maximální možné zrakové ostrosti. Té se dosáhne pomocí vyšetřovacích metod refrakce oka, které se obecně rozdělují na objektivní a subjektivní. [22; 27]

3.2.1 Objektivní refrakce

Objektivní metody měření refrakce bývají prvním krokem pro zjištění celkového refrakčního stavu oka. V tomto případě měření není potřeba přímá spolupráce pacienta, ale jsme odkázáni na údaje, které vycházejí z přístrojů. Patří sem ruční přístroje (např.: skiaskop resp. retinoskop) a automatické přístroje, mezi které se řadí např.: autorefraktometr nebo aberometr, který měří aberace vyšších řádů. Pomocí těchto přístrojů se získá objektivní přehled o výsledné korekci. Aby byla výsledná korekce stanovena správně, je v každém případě nutné provést subjektivní refrakci. [27; 28; 29]

Skiaskopie funguje na principu pozorování pohybu stínů duhovky v červeném reflexu. Za cíl má najít daleký bod (neutrální bod) pomocí předsazování zkušebních čoček před oko. Vyhodnocuje pohyb červeného reflexu na sítnici. Do oka se svítí světelným svazkem, který se může také otáčet. Dojde-li k tomu, že se červený reflex pohybuje v souhlasném směru jako pohyb retinoskopu, jedná se o hypermetropii, emetropii nebo nízkou myopii. Pohybuje-li se červený reflex proti směru pohybu retinoskopu, jedná se o myopii. Cílem je dosáhnout stavu, kdy se reflex nebude dále pohybovat. Výsledná refrakce pacienta se získá po přičtení reciproké

hodnoty vyšetřovací vzdálenosti se záporným znaménkem. Při správném provedení se jedná o velmi přesnou metodu. [27; 29]

Autorefraktometr měří refrakční stav oka pomocí světlo citlivých detektorů a počítače, dokud se na sítnici neobjeví zaostřený obraz. Tyto systémy pracují s infračerveným zářením (rozsah vlnových délek 800 nm až 950 nm). Výhodou je, že všechny lomivé a průhledné části oka mají v infračervené oblasti nejvyšší transmitanci a tím vyšší intenzitu světla, která je pro měření výhodnější. Díky vyšším vlnovým délkám nejsou aktivovány reflexy, které by ztížily měření (např.: pupilární respektive akomodační reflex). Pacient je po opření brady a čela vyzván, aby fixoval testovou značku, která navozuje nekonečno. Tím dojde k vyloučení případného vlivu akomodace. Vyvolaný reflex fundu je zobrazen pomocí oftalmoskopické čočky na detekční systém. Následně získaná data analyzuje a vyhodnotí je ve sférických i cylindrických dioptriích. Autorefrakto(kerato)metr vyhodnocuje také zakřivení rohovky v poloměru 3 mm od centra. [27; 29; 5]

3.2.2 Subjektivní refrakce

U měření subjektivní refrakce je vyšetřovatel odkázán na údaje získané od vyšetřovaného pacienta a na rozdíl od objektivní refrakce, je nutná jeho aktivní spolupráce. Pacientovi jsou během čtení na optotypu předkládány před oko zkušební brýlové čočky. Jeho úkolem je porovnat dva obrazy a rozhodnout se mezi nimi. Ke korekci se ve vyšetřovně používá zkušební brýlová skříň nebo foropter. [29; 27]

Zraková ostrost neboli vízus určuje kvalitu vidění, to, co člověk vidí na určitou vzdálenost. Je vyhodnocena pomocí rozlišovací schopnosti oka, která umožňuje oku rozlišit dva body v prostoru a zároveň tyto body jako dva vyhodnotit ve zrakové kůře. K této situaci dochází v případě, kdy jsou ideálně stimulovány dva čípky, mezi kterými je jeden čípek inaktivní. Paprsky vzhledem k rozlišovaným bodům, v uzlovém bodě oka, svírají úhel rovný 1 minutě. Tento úhel se nazývá *minimum separabile*. [5; 30; 27]

Na rozlišovací schopnosti se dále mimo *minimum separabile* podílí i schopnost poznat (*minimum cognibile*) a také schopnost číst (*minimum legibile*). Zraková ostrost závisí na dalších faktorech, mezi které patří barva světla nebo stálost obrazů (jejich nepohyblivost). [31; 32]

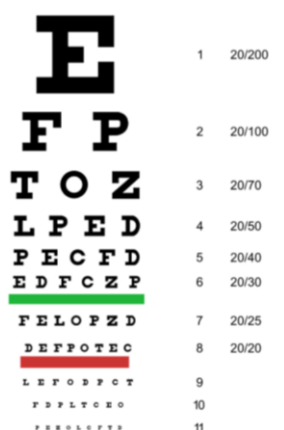
K vyšetření nejlépe korigované zrakové ostrosti na dálku se používají různé optotypy. Mezi nejčastěji používané se řadí Snellenovy optotypy, které byly vytvořeny v roce 1862. Vyšetřovací vzdálenost při zjištění zrakové ostrosti do dálky by měla být 6 (5) metrů nebo 3 metry za použití zrcadel. Nejvyšší možná zraková ostrost, které lze dosáhnout, má

v desetinném zápisu hodnotu 2,0. Testuje-li se na optotypech ETDRS, nejvyšší možná zrková ostrost má v logaritmickém zápisu logMAR zápornou hodnotu $-0,30$. Výsledná zrková ostrost se může také zapsat pomocí zlomku. Příkladem může být zápis 5/50. To v praxi znamená, že vyšetřovaný přečetl ze vzdálenosti 5 m písmeno (řádek), které zdravé oko přečte ze vzdálenosti 50 metrů. [4; 5; 3]

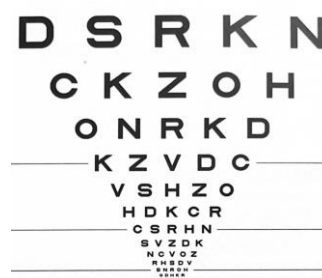
Tabulka 3–3 zobrazuje převody hodnot vízu do dálky, na Obrázku 3–7 je Snellenův optotyp a na Obrázku 3–8 ETDRS optotyp. [2; 33]

Tabulka 3-3: Převody hodnot vízu do dálky [2]

Logaritmus, testován na ETDRS optotypech (logMAR)	Testování ze 6 m	USA – testování z 20 stop	Desetinná soustava
3,00	pohyb ruky z 50 cm	20/20 000	0,001
2,00	počítání prstů z 50 cm	20/2000	0,01
1,00	6/60	20/200	0,1
0,90	6/48	20/160	0,12
0,80	6/38	20/125	0,16
0,70	6/30	20/100	0,2
0,60	6/24	20/80	0,25
0,50	6/19	20/63	0,32
0,40	6/15	20/50	0,4
0,30	6/12	20/40	0,5
0,20	6/9,5	20/32	0,63
0,10	6/7,5	20/25	0,8
0,00	6/6	20/20	1,0
-0,10	6/4,8	20/16	1,25
-0,20	6/3,8	20/12,5	1,6
-0,30	6/3	20/10	2,0



Obrázek 3-7: Snellenův optotyp [33]



Obrázek 3-8: ETDRS optotyp [2]

Nejprve dochází k vyšetření naturální zrkové ostrosti do dálky. V první řadě pro každé oko zvlášť, následně binokulárně pro obě oči. Následuje monokulární korekce obou očí, poté odkrytí clony na vykorigovaném oku a binokulární kontrola výsledné subjektivní refrakce (akomodační vyvážení). Po kontrole korekce do dálky, se provádí kontrola vízu do blízka

a případná dokorekce. Pro posouzení zrakové ostrosti do blízka se používají Jägerovy tabulky. [29; 2]

3.3 Změny refrakce oka

Refrakce oka je řazena mezi relativně stabilní veličinu. Stabilita refrakce je v základu narušena fyziologickými změnami, ke kterým dochází během života. [22]

3.3.1 Fyziologické a patologické příčiny

Mezi fyziologické změny se řadí tendence přechodu od hypermetropie při narození k emetropii, která nastává v rané dospělosti. Dále dochází k absolutnímu nárůstu hypermetropie, který nastává po 40. roce věku života. Převážně se na tomto jevu podílí změny tvaru a indexu lomivosti oční čočky. [22]

V závislosti na poklesu schopnosti akomodovat, zdánlivě narůstá hypermetropie. Za fyziologickou změnu se označuje i změna refrakce v důsledku vývoje fyziologické myopie. Fyziologický astigmatismus během života často mění svou dioptrickou hodnotu, dokonce i polohu osy. Ve vyšším věku poté může dojít ke změně astigmatismu v astigmatismus proti pravidlu. [22]

Změnu refrakce oka mohou způsobit také oční nebo celkové choroby, úrazy nebo poruchy metabolismu. K těmto změnám dochází ve smyslu hypermetropie, myopie (nejčastější) nebo astigmatismu. Od fyziologických změn, ke kterým v rámci refrakce dochází, se tyto patologické změny dají odlišit tím, že mají rychlou progresi a náhlý nástup. Nejčastější příčinou změny refrakce je v tomto případě změna lomivosti oční čočky. K nepřímé změně lomivosti čočky dochází narušením funkce řasnatého tělesa (paralýza, spasmus). Přímé změny jsou způsobeny změnami, které se týkají samotné oční čočky (např.: index lomu, propustnost). Změny refrakce mohou také způsobit patologické změny zakřivení a proměnlivá tloušťka rohovky. [34]

Mezi nejčastější oční a celkové stavy, které způsobují **hypermetropii**, se řadí afakie. Po vyjmutí oční čočky z oka, oko ztrácí ze svojí celkové lomivosti 20 dioptrií a lomivý aparát zůstává složen jen z jednoho refrakčního rozhraní (vzduch/rohovka). Dalším příkladem hypermetropizace je snížená lámavost oční čočky při zakalení kortexu v rámci počínající senilní katarakty. [34]

Vztáhne-li se změna tloušťky rohovky na změnu refrakce, změna délky oka o 0,37 mm odpovídá změně o 1 dpt. Dojde-li ke změně předozadní délky oka o 1 mm, výsledný refrakční stav se změní o 3 dpt. [35; 34]

Dále se sem řadí chronický prostý glaukom, traumatické změny polohy oční čočky směrem dozadu nebo z celkových onemocnění diabetes mellitus. Jeho hlavním očním projevem je myopizace (hyperglykémie), avšak dojde-li k náhlému a výraznému poklesu hladiny cukru v krvi – hypoglykémii (např.: podáním velké dávky inzulínu), může dojít k hypermetropizaci až 5 dpt. [34]

Myopizaci v rámci patologických stavů nejčastěji zapříčiňuje počínající katarakta. V oblasti oční čočky dochází převážně k chemickým změnám čočkových proteinů doprovázeným tvorbou pigmentace. Snižuje se koncentrace draslíku, zvyšuje se koncentrace sodíku a vápníku a dochází ke zvýšené hydrataci čočky. Dojde k nárůstu hmotnosti čočky a jejímu předozadnímu rozměru, což je příčinou již zmíněné myopizace. [34]

Změnu refrakce ve smyslu myopie způsobují také patologické změny v zakřivení rohovky (např.: keratokonus). V pozdější fázi vede keratokonus také k rozvoji nepravidelného astigmatismu. [34]

3.3.2 Ostatní vlivy způsobující denní změny refrakce

Mimo fyziologické a patologické příčiny změny refrakce, existují také jisté denní výkyvy v refrakci oka, ke kterým docházet může, ale také nemusí. Je uváděno, že během dne hodnoty refrakčního stavu oka kolísají o hodnotu 0,25 dpt (v rámci studie [9] byla potvrzena denní změna v refrakci přibližně o 0,25 dpt). Jejich přítomnost je ovlivněna určitými vlivy. Mezi takové vlivy patří ve velké míře suché oči (kvalita slzného filmu), únava, léky nebo také metabolické změny. [34; 36; 37]

Denní kolísání refrakčních hodnot je v drtivé většině případů způsobeno nepravidelným nebo porušeným povrchem oka. Nejčastější příčinou jsou suché oči, se kterými úzce souvisí kvalita slzného filmu. Ten je tvořen třemi vrstvami – mucinová, vodná, lipidová. Dojde-li k narušení produkce jedné z vrstev, na přední části oka se začnou objevovat suché skvrny samotné rohovky. Dochází k podráždění, zarudnutí a narušení hladkého povrchu oka vzniká také rozmazaný obraz. V počátcích tohoto problému, pacientům pomáhá častější mrkání, při kterém dojde ke znovu rozprostření slzného filmu. [36]

Dalším vlivem na kolísání refrakce je celkové namáhání očí v rámci používání digitálních zařízení. Dochází k tomu zejména únavou okohybných svalů oka. V cizojazyčné literatuře se objevuje pravidlo 20–20–20, které by mělo k obnovení refrakčního stavu během námahy očí pomoci. Toto pravidlo říká, že za každých 20 minut používání digitálních zařízení, by se mělo

po dobu alespoň 20 sekund, dívat na předmět vzdálený 20 stop (přibližně 6 metrů). Na kolísání kvality vidění se také podílí spánkové návyky. [37]

Vlivem některých léků nebo hormonálních změn může ke změně refrakce docházet také. Tyto změny se uskutečňují také např.: během menstruace. V tomto období dochází k produkci hormonů, které zapříčiní zvýšenou hydrataci těla a tím dochází ke vzniku edému rohovky, což vede ke zvýšení její lomivosti. [34; 37]

4 Kontaktní čočky a jejich vliv na oko

Kontaktní čočka je malý optický systém, který je v přímém kontaktu s rohovkou. Od brýlí se kontaktní čočky liší tím, že korigují refrakční vadu blíže místu jejího vzniku. Z tohoto důvodu je kvalita optického obrazu, který je pozorován skrz kontaktní čočky, vyšší než u obrazu pozorovaného přes brýle. Kontaktní čočky mají navíc podstatně menší vliv na velikost sítnicového obrazu než u korekce pomocí brýlí. Počátek kontaktních čoček je datován do 1. poloviny 16. století. [29; 38]

Kontaktní čočka je udávána několika základními parametry, mezi které patří: průměr, zakřivení zadní plochy, tvar zadní plochy čočky, dioptrická hodnota, materiál, propustnost pro kyslík (hodnota Dk). [29]

V této kapitole budou nejprve stručně představeny materiály kontaktních čoček s důrazem na vlastnosti měkkých čoček a rozdíly mezi hydrogelovým a silikon-hydrogelovým materiálem, které jsou relevantní pro praktická měření. Dále budou představeny studie zabývající se vlivem měkkých kontaktních čoček na oko, převážně pak na parametry rohovky.

4.1 Základní vlastnosti kontaktních čoček se zaměřením na měkké kontaktní čočky

Prvotní dělení kontaktních čoček podle materiálu sestávalo ze dvou základních skupin – tvrdé a měkké (ty se dále dělily na hydrofobní a hydrofilní). Nedlouho na to bylo sestaveno nové rozšířené dělení, které je spolu se současným dělením uvedeno v Tabulce 4-1. [39]

Tabulka 4-1: Rozšířené a současné dělení kontaktních čoček [39]

Novější dělení	tvrdé	nepropustné	sklo, PMMA	
		plynopropustné	Rigid Gas Permeable – RGP	
	měkké	hydrofobní	silikonové elastomery	
		hydrofilní	hydrogely standardní	PHEMA
hydrogely výšeboťnavé				
hydrogely hybridní	silikonhydrogely			
Současné dělení		RGP		
		hydrogely		
		silikonhydrogely		

Měkké kontaktní čočky na dnešním trhu dominují a představují asi 90 % všech aplikovaných kontaktních čoček. Nejvíce nositelů je ve věkovém rozmezí 21 až 30 let, jak vyplývá z výzkumů za roky 2016–2019 [40; 41; 42]. [43; 44]

Počátkem vzniku měkkých kontaktních čoček je článek s názvem „*Hydrophilic gels for biological use*“, který roku 1960 publikovali v časopise *Nature* O. Wichterle a D. Lím. Roku 1972 poté americká firma *Bausch & Lomb* uvádí měkké hydrogelové kontaktní čočky na světový trh. [38]

Měkké kontaktní čočky mají na oku menší pohyb než tvrdé kontaktní čočky. Často je čočka během mrknutí posunuta jen o několik desetin milimetru. Důsledkem je snížená cirkulace slzného filmu pod kontaktní čočkou. To následně ovlivňuje dobu, po kterou mohou být kontaktní čočky na oku nasazeny. Tyto čočky ale působí jako semipermeabilní membrány a do určité míry procházejí metabolity materiálem čočky. [29; 45]

Popisu hydrofobních materiálů, které obsahovaly dlouhé siloxanové řetězce, není v této práci věnována pozornost, a to z důvodu, že pro výrobu současných kontaktních čoček již nejsou využívány. Je tomu tak vzhledem k výslednému mechanickému poškození rohovky, ke kterému docházelo v průběhu snímání kontaktních čoček z oka. [39]

Materiály kontaktních čoček jsou udány **hlavními specifickými vlastnostmi**, ke kterým se řadí index lomu, propustnost pro světlo, propustnost pro kyslík, obsah vody, napětí materiálu, hydrolytická stabilita, poréznost materiálu a v neposlední řadě jeho smáčivost. [46]

Index lomu by měl být u čoček podobný jako index lomu slz (indexu lomu rohovky), a to z důvodu vyloučení velkého počtu lomů. Index lomu materiálů čoček se pohybuje v rozsahu 1,3–1,6. Index lomu hydrogelových čoček HEMA s obsahem vody 38 % v suchém stavu 1,510 a ve zbotnalém má hodnotu 1,444. [46; 38]

Propustnost pro světlo by měla být zajištěna u všech hodnot středové tloušťky alespoň 85%. Hydrogely propouštějí přes 90 % světla ve viditelné části spektra. [46; 38]

Propustnost pro kyslík u hydrogelových čoček odpovídá obsahu vody (38–80 %). Uvádí se, že vyšší obsah vody v materiálu zajišťuje lepší snášenlivost. Pojem **permeabilita Dk** vyjadřuje schopnost materiálu propouštět plyny. Difúzní koeficient Dk je definován prvním a druhým Fickovým zákonem. Pojem **transmisibilita Dk/t** je vztažen ke konkrétní kontaktní čočce a vyjadřuje propustnost materiálu pro plyny vztaženou k tloušťce dané čočky. Tyto hodnoty jsou uváděny nejčastěji plošně pro dioptrické hodnoty čočky –3,00 dpt. Měření probíhá při teplotě 35°C, která odpovídá teplotě povrchu rohovky. Jednotkou propustnosti pro kyslík jsou barrery. Snaha o zvýšení propustnosti pro kyslík u hydrogelů vedla k vývoji kopolymerů, mezi které patří např.: N-vinylpyrrolidon. [46; 38]

Obsah vody materiálu je brán v potaz převážně u hydrogelových kontaktních čoček. Polymerní síť jakožto gel přijímá rozpouštědlo. Je-li tímto rozpouštědlem voda, jedná se právě o hydrogelové čočky. Během nošení může kontaktní čočka vodu ztrácet a tím měnit své parametry. Je-li čočka vyndána z pouzdra, jedná se o rovnovážně zbotnalý stav čočky. [47; 48]

Zvýšením **rovnovážného obsahu vody** v gelu vzrůstá jeho permeabilita (tedy hodnoty Dk), zlepšuje se jeho biokompatibilita, zatímco hodnoty mechanických vlastností a indexu lomu klesají. [47; 48]

Výpočet obsahu vody (EWC) je znázorněn v rámci vzorce (1), kde hodnoty m_b značí hmotnost kontaktní čočky v hydratovaném stavu a m_s v suchém stavu. [47; 48]

$$\% H_2O = \frac{m_b - m_s}{m_b} \cdot 100 \quad (1)$$

Napětí materiálu je důležité pro manipulaci s danou čočkou. Tato vlastnost je dána Modulem elasticity. Čím je hodnota tohoto modulu nižší, tím je materiál lépe přizpůsobitelný. Čím vyšší jsou tyto hodnoty, tím je materiál čočky pevnější. [46]

Hydrolytická stabilita pojednává o stabilitě obsahu vody v čočce. Pokud je tento obsah nestabilní, může docházet k poškození rohovky. [46]

Poréznost materiálu souvisí s průchodem nízkomolekulárních látek materiálem čočky. U HEMA čoček s obsahem vody 38–40 % je velikost pórů na povrchu 2–3 nm. Pokud je ale obsah vody vyšší, zvyšuje se i velikost pórů, kterými mohou procházet i jiné látky. K zamezení jejich průniku k rohovce, dochází ke zvětšení středové tloušťky. [46]

Smáčivost materiálu je důležitá k bezproblémovému pohybu čočky po rohovce. Je nutné, aby byla zajištěna stejnoměrná smáčivost po celém povrchu čočky. Je měřena pomocí kontaktního úhlu. [46]

Základní vlastnosti všech typů kontaktních čoček jsou zaneseny v Tabulce 4-2. [49]

Tabulka 4-2: Základní vlastnosti kontaktních čoček [49]

	Obsah vody %H ₂ O	Mechanické vlastnosti	Modul (orientačně)	Propustnost pro plyny Dk	Propustnost pro vodorozp. látky
Tvrdé nepropustné	NE 0	tvrdé	1000 MPa	NE 0	NE
RGP	NE 0	tvrdé	1000 MPa	ANO 6 - 120	NE
Silikonové elastomery	NE 0	měkké	0,4 - 1MPa	ANO 100 - 200	NE
Hydrogely standardní	ANO 38 (40)	měkké	0,5 – 0,6 MPa	ANO 8 - 12	ANO odpovídá %H ₂ O
Výšebotnavé hydrogely	ANO >38	měkké	0,25 - 0,5 MPa	ANO 12 - 36	ANO odpovídá %H ₂ O
Silikonhydrogely I. generace	ANO <38 (24 - 35)	měkké	1,1 - 1,2 MPa	ANO 99 - 140	ANO odpovídá %H ₂ O
Silikonhydrogely II. generace	ANO 33 - 47	měkké	0,43 – 1,0 MPa	ANO 60 - 110	ANO odpovídá %H ₂ O
Silikonhydrogely III. generace	ANO >38 (38 -49)(58)	měkké	0,5 – 0,91 MPa	ANO (60) 100 - 129	ANO odpovídá %H ₂ O

4.1.1 Hydrogely

Hydrofilní materiály se obecně označují jako hydrogely. [39] Hlavním materiálem pro jejich výrobu je hydroxyethylenmethakrylát, který je zkráceně označován jako HEMA. [46]

Výhodou hydrogelových kontaktních čoček je, že je tento materiál měkký a poddajný. Pacientům bývají tyto čočky výrazně pohodlnější. Propustnost materiálu pro kyslík závisí na jeho obsahu vody, který se pohybuje od 36 do 85 %. Čím vyšší je obsah vody, tím lepší je zajištěna propustnost pro kyslík, ale tím méně pohodlné jsou. [29; 45]

Obsah vody v materiálu ovlivňuje také tloušťku dané kontaktní čočky. Hydrogely s obsahem vody 50–59 % jsou vyráběny se středovou tloušťkou 0,06–0,10 mm. Čočky s obsahem vody 60 % a více, mají středovou tloušťku v rozpětí 0,10–0,18 mm. [38]

4.1.2 Silikon–hydrogely

Období hydrogelových kontaktních čoček bylo symbolicky uzavřeno úmrtím profesora Wichterleho roku 1998. V tomto roce byly na trh uvedeny první silikon-hydrogely. Silikon-hydrogely svou částí vycházejí z hydrogelových čoček. V praxi se jedná o tzv. hybridní materiály, které jsou složeny z výšebotnavých hydrogelů a plynopropustných materiálů. [39; 46]

Silikon–hydrogely se v obsahu vody značně liší a středová tloušťka čoček z tohoto materiálu se pohybuje v rozmezí 0,07–0,09 mm. [38] Tyto materiály jsou v základě postaveny na tzv. TRIS struktuře a jejich dalších modifikacích. [50]

V současné době jsou známy 3 generace silikon–hydrogelů. Materiály **první generace** jsou spolu se svými vlastnostmi zaneseny do Tabulky 4-3. U této generace čoček bylo nutné provádět povrchové úpravy, které vedly ke stejnoměrné smáčivosti a tím usnadnily návyk na tyto kontaktní čočky. Do **druhé generace** se řadí materiály Lotrafilcon B a Galyfilcon A. Vlastnosti těchto dvou materiálů jsou uvedeny v Tabulce 4-4. Poslední a zároveň současná **třetí generace**, která je na trhu dostupná od roku 2006, zajišťuje vysoké hodnoty propustnosti pro kyslík. Patří sem např.: materiály Comfilcon A a Senofilcon A. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v Tabulce 4-5. [50; 49]

Tabulka 4-3: Srovnání materiálů použitých pro první generaci silikon-hydrogelů [50]

Název kontaktní čočky	Purevision	Focus Night & Day
Výrobce	Bausch & Lomb	CIBA Vision
Materiál	Balafilcon A	Lotrafilcon A
Obsah vody [%]	36	24
Permeabilita Dk [barrer]	91	140
Modul pružnosti [MPa]	1,5	1,52
Povrchová úprava	Plasmová oxidace	Plasmové povlékání

Tabulka 4-4: Srovnání materiálů použitých pro druhou generaci silikon-hydrogelů [50]

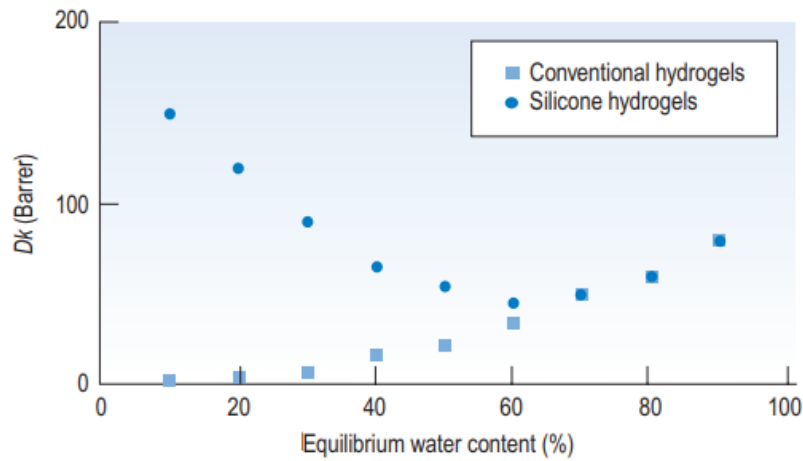
Název kontaktní čočky	O ₂ Optix	Acuvue Advance
Výrobce	CIBA Vision	Johnson&Johnson
Materiál	Lotrafilcon B	Galyfilcon A
Obsah vody [%]	33	47
Permeabilita Dk [barrer]	110	60
Modul pružnosti [MPa]	1,0	0,43
Povrchová úprava	Plasmové povlékání	-

Tabulka 4-5: Srovnání materiálů použitých pro třetí generaci silikon-hydrogelů [50]

Název kontaktní čočky	Biofinity	Acuvue Oasys
Výrobce	CooperVision	Johnson&Johnson
Materiál	Comfilcon A	Senofilcon A
Obsah vody [%]	48	38
Permeabilita Dk [barrer]	128	103
Modul pružnosti [MPa]	0,75	0,72

Mezi **výhody** čoček z tohoto materiálu patří: vysoké hodnoty Dk , vhodnost pro prodloužené nošení, rychlá adaptace a v neposlední řadě dobrá pevnost v tahu s nízkou mírou lomu. Hlavními **nevýhodami** je cena, dále výskyt tzv. mucinových koulí, možné alergie na silikon. [51]

Obrázek 4-1 znázorňuje závislost hodnot Dk a obsahu vody u silikon–hydrogelů a hydrogelů. [52]



Obrázek 4-1: Graf závislosti hodnot Dk a obsahu vody u hydrogelů a silikon–hydrogelů [52]

4.2 Vliv kontaktních čoček na oko

Materiály kontaktních čoček jsou dobrými příklady biomateriálů. Biomateriál může být v tomto případě definován jako přírodní nebo syntetický materiál, který je vhodný pro kontakt s živou tkání. Pro tento kontakt je nezbytné zajištění biokompatibility. Ačkoliv je zajištěna, může docházet ke vzniku určitých změn a to hlavně v rámci rohovky. [38]

Změny, ke kterým dochází vlivem nošení kontaktních čoček na rohovce, se mohou dělit z pohledu působení kontaktních čoček na citlivost rohovky, dále z pohledu změny hydratace a transparence rohovky v rámci jejich nošení. Prodloužené nošení kontaktních čoček může snížit rohovkovou citlivost. Příčinou je mechanický nebo hypoxický stres. [14]

Mechanický stres je úzce spojen s gigantopapilární konjunktivitidou, která se zkráceně označuje jako GPC (pokud je způsobena kontaktními čočkami – CLPC; z angl. *Contact Lens Papillary Conjunctivitis*). Může být způsobena autoimunitní reakcí na denaturované bílkoviny, pokud dojde k jejich usazení na kontaktní čočce, dále ji mohou způsobit také alergické reakce na látky obsažené ve víceúčelových roztocích a v neposlední řadě samotné mechanické dráždění. [46; 53]

Při **hypoxii** dochází ke snížení aktivity sodíkové pumpy, sníženému přísunu glukózy a tvorby ATP. Výsledkem je hydratace stromatu rohovky spolu se sníženou průhledností rohovky. Následná akumulace kyseliny mléčné vede ke změně osmotických poměrů a tím dochází ke zvýšenému transportu tekutiny z přední komory do stromatu rohovky. Mluví-li se o edému rohovky, jedná se o otok epitelu i stromatu. U tvrdých kontaktních čoček z PMMA (polymethylmethakrylát) dochází k otoku v centrální části rohovky. Naopak u hydrogelových čoček, se edém objevuje přes celou plochu rohovky. Po odstranění kontaktní čočky z oka, se u pacienta objevuje mlhavé vidění (Sattlerův závoj), které je způsobeno rozptylem světla, ke kterému dochází na edémem změněném epitelu rohovky. Toto mlhavé vidění odeznívá do 30 až 60 minut. U tvrdých kontaktních čoček dochází k většímu zakřivení rohovky, které vede k myopizaci oka. U hydrogelových kontaktních čoček ke změnám refrakce s ohledem na edém rohovky, nedochází. [14]

Dlouhodobé nošení kontaktních čoček může vést k výskytu **epiteliálních mikrocyt**. Ty se vytvářejí minimálně 2 až 3 měsíce po aplikaci kontaktních čoček v hlubších vrstvách epitelu. Postupem času dochází k jejich prostupu k povrchovým vrstvám epitelu, kde vytváří defekty a následně jsou barveny pomocí fluoresceinového testu. Obecně platí, že nižší prevalence mikrocyt je spojena s denním nošením kontaktních čoček ve srovnání s prodlouženým

nošením čoček. Mikrocysty se vyznačují kulovitým tvarem s průměrem řádově 20 μm a reverzní iluminescencí – rozložení světla v mikrocystě je opačné než rozložení světla na pozadí. Mikrocysty obecně neovlivňují zrakovou ostrost a jsou asymptomatické. Je uváděno, že primárně představují viditelný důkaz chronického tkáňového metabolického stresu a dopadu hypoxie. Aby došlo k zamezení jejich vzniku, doporučuje se aplikace čoček s vyššími hodnotami Dk/t , dále přechod z prodlouženého nošení na nošení denní, přechod z měkkých kontaktních čoček na kontaktní čočky tvrdé (dochází zde k účinnější výměně slzného filmu pod čočkou a zároveň tvrdé kontaktní čočky umožňují větší přísun kyslíku z hlediska jejich velikosti) a v neposlední řadě vyvarování se poškozeným kontaktním čočkám, které by způsobily určitou míru mechanického stresu. [14; 54]

V hloubkovém stromatu se vlivem hypoxie objevují **striie**. Jedná se o paralelně uspořádané rýhy. U nositelů měkkých kontaktních čoček výskyt strií převládá. [14]

Neovaskularizace stimuluje chronický edém limbu. Z tohoto důvodu jsou častým jevem u hydrogelových kontaktních čoček. [14]

Na téma vlivu měkkých kontaktních čoček na oko existuje opět velká řada zahraničních studií. Jedna z dohledaných s názvem „*Corneal Epithelial Thickness Map in Long-Term Soft Contact Lenses Wearers*“ [55] porovnávala změny epitelu rohovky u dvou skupin lidí. První skupinu tvořilo 40 subjektů, kteří nikdy nenosili měkké kontaktní čočky. Danou skupinu tvořilo 21 mužů a 19 žen s průměrným věkem pro skupinu 40 let (s věkovým rozmezím 18–60 let). Druhá skupina sestávala také ze 40 subjektů, kteří nosili kontaktní čočky déle než 2 roky. Byla tvořena 15 muži a 25 ženami s průměrným věkem 43,7 pro danou skupinu (s věkovým rozmezím 18–64 let). Subjekty byly vyloučeny, pokud v minulosti nosily jiné druhy kontaktních čoček (např.: PMMA) a v případě očních komplikací souvisejících se suchým okem (pocit cizího tělesa, pálení očí, rozpad slzného filmu pod 5 sekund nebo dysfunkce Meibomských žlázek). Ve skupině nositelů měkkých kontaktních čoček byly čočky z oka odstraněny 1 hodinu před začátek vyšetření, které sestávalo z OCT měření. Bylo zjištěno, že u jedinců, kteří nosí měkké kontaktní čočky dlouhodobě, dochází ke snížení tloušťky epitelu. Zjištěná data změn tloušťky rohovky u dlouhodobých nositelů a nenositelů kontaktních čoček jsou zanesena v Tabulce 4–6. V této studii však nebyly důkladně zpracována data ohledně propustnosti pro kyslík u nošených měkkých kontaktních čoček. Studie dále zmiňuje, že silikon–hydrogelové čočky s vysokou propustností pro kyslík snižují stupeň ztenčení epitelu rohovky. Odkazuje tím na další studii [56], která zjistila, že epitel rohovky u dlouhodobých nositelů čoček s nízkými hodnotami Dk byl tenčí oproti nositelům čoček s vysokými hodnotami

Dk ($p < 0,001$). Centrální epitel byl u nositelů s vysokým Dk byl tenčí o 7 % ($54 \mu\text{m} \pm \text{SD } 14$) na rozdíl od nositelů s nízkými hodnotami Dk , kde ztenčení činilo 21 % ($46 \mu\text{m} \pm \text{SD } 10$). [55]

Tabulka 4-6: Srovnání změn tloušťky epitelu rohovky u dlouhodobých nositelů kontaktních čoček a jejich nenositelů [55]

Parametry	Dlouhodobý nositelé měkkých kontaktních čoček (40)	Nenositelé kontaktních čoček (40)	p
Věk	43,7	40	0,413
Pohlaví (muži:ženy)	15:25	21:19	0,178
Refrakce [dpt]	– ($2,63 \pm 1,40$)	– ($2,05 \pm 1,50$)	0,425
BUT (Break up time) [s]	$7,7 \pm 4,8$	$8,1 \pm 4,0$	0,449
Centrální tloušťka rohovky [μm]	$518,6 \pm 32,6$	$537,4 \pm 29,4$	0,116
Paracentrální tloušťka rohovky [μm]	$538,9 \pm 30,2$	$554,2 \pm 27,7$	0,073
Periferní tloušťka rohovky [μm]	$561,2 \pm 28,0$	$570,2 \pm 27,8$	0,148

V další nalezené studii s názvem „*Confocal Microscopy In Vivo in Corneas of Long-Term Contact Lens Wearers*“ [57] byly opět porovnávány dvě skupiny lidí. Obě skupiny byly tvořeny 20 subjekty stejného věku. Skupina nositelů kontaktních čoček nosila kontaktní čočky déle než 10 let. Vyšetření rohovky bylo provedeno pomocí konfokální mikroskopie in vivo. Na rozdíl od předchozí studie nebyly mezi skupinou nositelů kontaktních čoček a kontrolní skupinou nenositelů zjištěny změny v centrální části rohovky. Temporálně bylo u dlouhodobých nositelů zjištěno ztenčení epitelu. Vysvětlením nezměněné tloušťky rohovky v centru, by mohl být delší interval mezi sundáním kontaktních čoček a počátkem samotného měření. V této studii byly kontaktní čočky z oka vyjmuty 12–24 hodin před začátkem měření. V předchozí studii měření započalo do 1 hodiny od sejmutí kontaktních čoček. [57; 55]

Mezi další nalezenou studii patří „*Regional Changes in Corneal Thickness and Shape with Soft Contact Lenses*“ [58]. Tato studie zkoumala na dvanácti mladých jedincích (s věkovým rozmezím 21–32 let a rozpětím tloušťky rohovky 475–596 μm) vliv čtyř různých typů měkkých kontaktních čoček na parametry rohovky. Byly použity kontaktní čočky ze dvou materiálů – silikon–hydrogelů nebo hydrogelů a ve dvou provedeních – sférické a torické kontaktní čočky, s mohutností –3,00 nebo –7,00 dpt. Měření tloušťky rohovky a její topografie bylo provedeno po 8 hodinách nošení kontaktních čoček a poté po 2 dnech bez jejich aplikace. K měření byl využit Pentacam (Oculus, Wetzlar, Německo), (s poskytnutím 25 řezů). Opět jako

v předchozích studiích bylo zajištěno, že žádný z jedinců neměl poruchy slzného filmu, které by znehodnocovaly dosažené výsledky. Každý ze subjektů během studie vystřídal všechny 4 typy kontaktních čoček (jejich parametry jsou uvedeny v Tabulce 4–7). Měření rohovky bylo provedeno dvakrát denně a bylo dokončeno do 5–10 minut od sundání kontaktní čočky (po uplynutí 8 hodin s nasazenými kontaktními čočkami). Aby se zabránilo maximální dosažené hodnoty tloušťky rohovky bezprostředně po probuzení [9], první ranní měření proběhlo alespoň 2 hodiny po probuzení. Průměrná tloušťka rohovky a zakřivení byly vypočteny pro každého jedince ve dvou oblastech rohovky (tj. centrální, průměr 4 mm a periferní, prstenec 4 až 8 mm). [58]

Tabulka 4-7: Parametry čtyř kontaktních čoček použitých ve studii [58]

Parametr	1	2	3	4
Design	sférický	sférický	torický	torický
Material	SiHy	SiHy	SiHy	HEMA
Síla [dpt]	-3,00	-7,00	-3,00	-3,00
Zakřivení [mm]	7,7–8,9	7,7–8,9	7,7–8,9	7,7–9,0
Průměr [mm]	14,8	14,8	14,8	14,0
H ₂ O [%]	54	54	54	38
Dk/t	53	53	53	8–10
Centrální tloušťka [mm]	0,11	0,11	0,11	0,11
Okrajová tloušťka [mm]	0,10	0,10	0,08	0,09

Bylo zjištěno, že po 8hodinovém nošení měkkých torických čoček s nízkým Dk/t byl zjevný regionální otok rohovky kvůli umístění silnějších stabilizačních zón. Hydrogelové torické čočky způsobily signifikantně největší ztlustění rohovky v centrální ($20,3 \pm 10,00 \mu\text{m}$) a periferní části rohovky ($24,1 \pm 9,1 \mu\text{m}$), ($p < 0,001$). Zbylé změny způsobené ostatními typy kontaktních čoček jsou zaneseny do Tabulky 4–8. Otok rohovky a změny zakřivení pozorované v této studii po 8 hodinách nošení čoček, jsou srovnatelné se změnami pozorovanými bezprostředně po probuzení a pravděpodobně neovlivní pohodlí a kvalitu vidění pacienta. Přirozené denní změny, které byly naměřeny, dosahovaly vyšších hodnot než změny způsobené silikon–hydrogelovými čočkami. [58; 9]

Hodnoty, které odhalily signifikantní změnu od výchozí hodnoty, jsou v Tabulce 4-8 zvýrazněny hvězdičkou ($p \leq 0,001$). Pozitivní hodnoty změn představují otok a negativní hodnoty změn naopak ztenčení. [58]

Tabulka 4-8: Změny, ke kterým došlo po 8 hodinách nošení 4 různých typů čoček v závislosti na normálních hodnotách tloušťky rohovky [58]

Typ kontaktní čočky	Průměrná centrální změna \pm SD [μ m]	Průměrná periferní změna \pm SD [μ m]
SiHy 1	-1,4 \pm 6,6	2,3 \pm 7,0
SiHy 2	-0,3 \pm 6,2	3,9 \pm 6,2
SiHy 3	-0,6 \pm 5,2	4,5 \pm 5,5
Hydrogel 4	20,3 \pm 10,5***	24,1 \pm 9,6***

Další studie „*Corneal Changes from Hydrophilic Contact Lenses*“ [45] zkoumala hydrofilní (hydrogelové) kontaktní čočky. Perioda nošení čoček se pohybovala od 2,25 do 7,5 hodin. Žádný ze subjektů měření pravidelně nenosil kontaktní čočky a zároveň týden před zahájením měření, nenosili žádné kontaktní čočky. Výsledky ukázaly vždy zvětšení tloušťky rohovky. Změny v zakřivení rohovky, ke kterým došlo, byly obecně nevýznamné. Největší změnou bylo oploštění o 0,10 mm horizontálně a 0,09 mm vertikálně (přibližně 0,50 dpt). Po odstranění kontaktních čoček se tloušťka rohovky vrátila do přirozeného stavu během dvou hodin. Z Tabulky 4–9 výsledků této studie je vidět, že doba nošení není přímo úměrná procentuální změně tloušťky rohovky. V levém sloupci Tabulky 4–9 jsou pro čočky Bionite napsány iniciály 8 subjektů měření pro tento typ kontaktních čoček a poté iniciály 3 subjektů pro čočky Hydron. [45]

Tabulka 4-9: Naměřené výsledky změny tloušťky a zakřivení rohovky [45]

Iniciály subjektů	Počet hodin nošení	Změna tloušťky (%)	Změna radiu zakřivení (mm)	
			Horizontální	Vertikální
Bionite čočky				
D.P.S.	4 ¾	7,8	0,00	0,01
A.W.J.	5	6,9	0,02	0,02
A.J.G.	5	5,7	0,05	0,02
L.F.G.	6 ½	4,3	0,03	0,01
R.J.J.	6 ½	8,0	0,05	0,08
G.R.T.	7 ½	6,3	0,01	0,03
L.G.C. (a)	7 ½	3,9	0,03	0,02
L.G.C. (b)	6 ½	8,3	0,04	0,02
L.G.C. (c)	7 ½	1,6	0,01	0,04
L.G.C. (d)	2 ¼	3,9	0,10	0,09
I.L.B. (a)	7 ½	5,4	0,05	0,06
I.L.B. (b)	7 ¼	3,1	0,01	0,01
I.L.B. (c)	7 ½	4,8	0,00	0,04
I.L.B. (d)	2 ¼	4,9	0,02	0,02
Hydron čočky				
R.J.J.	4 ½	7,0	0,02	0,00
L.G.C.	7 ½	6,5	0,00	0,05
I.L.B.	7 ½	5,2	0,00	0,01

Mezi dohledané studie se dále řadí studie s názvem „*Corneal shape changes induced by first and second generation silicone hydrogel contact lenses in daily wear*“ [59]. Ta zjistila, že po 3 měsících denního nošení byly topografické rohovkové indexy u silikon-hydrogelových kontaktních čoček (Focus Night & Day a Acuvue Oasys) stabilní (měření proběhlo po 5 minutách od sundání kontaktní čočky). U hydrogelových čoček (Soflens 38) došlo k malým, ale statisticky významným změnám v hodnotách (přední rohovkový astigmatismus dostal změny v nárůstu o 0,10 mm, který ekvivalentně odpovídá změně 0,50 dpt). Dále bylo zjištěno, že vyšší hodnoty Dk/t u silikon-hydrogelových čoček mohou krátkodobě zabránit malým změnám tvaru rohovky v rámci denního nošení. U první generace silikon-hydrogelových čoček se objevily problémy v oblasti subjektivní pohodlnosti čoček, které byly způsobeny vyšším modulem pružnosti (1,52 g/mm²). V krátkodobém horizontu nebyl vyšší modul pružnosti zodpovědný za změny v topografii rohovky, může však způsobit jiné mechanické komplikace. [59]

Poslední zahraniční dohledaná studie s názvem „*The Effects of Long-Term Contact Lens Wear on Corneal Thickness, Curvature, and Surface Regularity*“ [60] zkoumala vliv kontaktních čoček na oko u subjektů, kteří byli nositeli po dobu delší než 5 let. Nebyly specifikovány použité materiály aplikovaných čoček. Topografie rohovky byla provedena bezprostředně po sundání čoček a dále po dobu alespoň 2 týdnů. Bylo zjištěno, že dlouhodobé nošení kontaktních čoček zmenšuje celou tloušťku rohovky, zvyšuje zakřivení rohovky a nepravidelnost jejího povrchu. Ve srovnání s kontrolní skupinou nenositelů byla průměrná tloušťka rohovky snížena o 30–50 μm ($p < 0,001$). Je zde uvedeno, že snížení tloušťky rohovky může vést ke zvýšení zakřivení. U nositelů byla rohovka významně strmější než u nenositelů ($p < 0,01$, pro K_{\min} i K_{\max}). Změny v tloušťce a zakřivení rohovky, které byly měřeny pomocí přístroje zvaného Orbscan (Inc., Salt Lake City, Utah), v této studii, jsou uvedeny v Tabulce 4–10 a Tabulce 4–11, kde Max K značí maximální hodnoty keratometrie a Min K naopak minimální. Dále nebyl zjištěn rozdíl rohovkového astigmatismu mezi skupinou nositelů a nenositelů ($p = 0,96$). [60]

Tabulka 4-10: Průměrné hodnoty zakřivení rohovky a astigmatismu naměřené u lidí nenosících kontaktní čočky a u nositelů [60]

	Průměr ± SD [dpt] nenositelů čoček	Průměr ± SD [dpt] nositelů čoček	P
Max K	43,85 ± 1,58	44,66 ± 1,42	<0,01
Min K	42,66 ± 1,52	43,46 ± 1,41	<0,01
Astigmatismus	1,19 ± 0,77	1,19 ± 0,93	0,96

Tabulka 4-11: Průměrné hodnoty tloušťky rohovky u nenositelů a nositelů kontaktních čoček [60]

Lokalizace tloušťky rohovky	Průměr ± SD [mm] nenositelů čoček	Průměr ± SD [mm] nositelů čoček	P
Superior	0,64 ± 0,03	0,61 ± 0,03	<0,001
Superotemporálně	0,62 ± 0,03	0,58 ± 0,03	<0,001
Temporálně	0,58 ± 0,03	0,55 ± 0,03	<0,001
Inferotemporálně	0,60 ± 0,03	0,56 ± 0,03	<0,001
Inferior	0,62 ± 0,03	0,57 ± 0,03	<0,001
Inferonazálně	0,62 ± 0,03	0,58 ± 0,03	<0,001
Nazálně	0,61 ± 0,03	0,57 ± 0,03	<0,001
Superonazálně	0,64 ± 0,03	0,59 ± 0,03	<0,001
Centrálně	0,56 ± 0,02	0,52 ± 0,03	<0,001

Dále byly dohledány lokální (české) odborné práce, které také zkoumaly vliv měkkých kontaktních čoček na oko. První z nich je diplomová práce s názvem „Dočasná změna objektivní a subjektivní refrakce po aplikaci kontaktních čoček“ [61]. Během 9 měsíců bylo zkoumáno 107 očí 54 osob, které měly naaplikované silikon-hydrogelové (57 očí) nebo hydrogelové čočky (50 očí). Před zahájením měření neměly měřené osoby čočky v oku alespoň po dobu 12 hodin, po které byla naměřena výchozí hodnota. Další měření proběhlo po uplynutí doby 4 hodin, po kterou osoby měly kontaktní čočky nasazené. Byla zjištěna objektivní, subjektivní refrakce a keratometrie ihned po vyjmutí čoček z oka (0 min – viz Tabulka 4–12), následně po uplynutí 10, 20 a 30 minut od sundání kontaktní čočky. K měření byl využit autorefraktokeratometr. Byl potvrzen myopický posun po 4hodinovém nošení čoček. Bylo zjištěno, že po 4hodinovém nošení, se hodnoty objektivní a subjektivní refrakce u nositelů silikon-hydrogelových čoček vrátí k výchozím hodnotám do 30 minut od vyjmutí kontaktní čočky. Pro celý soubor byla potvrzeno, že dochází ke statisticky významným změnám, které zamítly návrat hodnot refrakce po 30 minutách k původním hodnotám. Hodnoty sférického ekvivalentu (SE) objektivní refrakce naměřené pro celý soubor, a poté zvláště pro hydrogely (Hy) a silikon–hydrogely (Si-Hy), jsou uvedeny v Tabulce 4–12 a hodnoty SE subjektivní refrakce v Tabulce 4–13. Byla také potvrzena hypotéza, že změna refrakce je u hydrogelových kontaktních čoček vyšší. [61]

Tabulka 4-12: Hodnoty SE objektivní refrakce naměřené po 4hodinovém intervalu nošení kontaktních čoček [61]

	Výchozí [dpt]	0 min [dpt]	10 min [dpt]	20 min [dpt]	30 min [dpt]
Celý soubor	-1,578	-1,844	-1,789	-1,721	-1,665
SD	1,915	1,971	1,980	1,989	1,968
Hy	-2,156	-2,538	-2,506	-2,446	-2,347
SD	1,483	1,549	1,573	1,571	1,544
Si-Hy	-1,071	-1,236	-1,160	-1,086	-1,068
SD	2,099	2,096	2,084	2,097	2,101

Tabulka 4-13: Hodnoty SE subjektivní refrakce naměřené po 4hodinovém intervalu nošení kontaktních čoček [61]

	Výchozí [dpt]	0 min [dpt]	10 min [dpt]	20 min [dpt]	30 min [dpt]
Celý soubor	-1,596	-1,922	-1,871	-1,814	-1,751
SD	1,737	1,812	1,817	1,816	1,810
Hy	-2,088	-2,527	-2,494	-2,462	-2,408
SD	1,344	1,456	1,448	1,406	1,409
Si-Hy	-1,164	-1,392	-1,324	-1,246	-1,175
SD	1,918	1,923	1,928	1,940	1,922

Hodnoty statistiky t pro změny objektivní i subjektivní refrakce odhalily, že na zadané hladině významnosti se jednalo o statisticky signifikantní rozdíly ($p < 0,05$). Kritická hodnota byla pro celou skupinu 1,659. [61]

Změny, ke kterým došlo v porovnání od výchozích hodnot u silikon–hydrogelů a hydrogelů, vykazují signifikantní hodnoty v závislosti na použitém materiálu. Z Tabulky 4–14 je patrné, že změny (v objektivní i subjektivní refrakci) u hydrogelových materiálů nabývají větších hodnot a oproti silikon–hydrogelovým čočkám mají pomalejší progresi návratu tvaru rohovky do výchozích hodnot. [61]

Tabulka 4-14: Změny SE objektivní a subjektivní refrakce u hydrogelů a silikon–hydrogelů [61]

Objektivní refrakce				
	0 min [dpt]	10 min [dpt]	20 min [dpt]	30 min [dpt]
Hydrogely	-0,382	-0,350	-0,290	-0,191
SD	0,188	0,244	0,260	0,277
Silikon-hydrogely	-0,164	-0,089	-0,015	-0,004
SD	0,158	0,167	0,120	0,148

Subjektivní refrakce				
Hydrogely	-0,439	-0,407	-0,374	-0,321
SD	0,247	0,251	0,264	0,282
Silikon-hydrogely	-0,227	-0,159	-0,081	-0,011
SD	0,140	0,172	0,149	0,082

Druhou nalezenou diplomovou prací je práce s názvem „*Vliv aplikace kontaktních čoček na parametry rohovky*“ [62]. Cílem práce bylo ověřit, jak nošení kontaktních čoček ovlivňuje parametry rohovky – s důrazem na poloměry křivosti přední plochy, pachymetrii a refrakční stav. Bylo měřeno 50 očí 25 osob (11 osob s hydrogelovými čočkami, 14 se silikon–hydrogelovými). K měření byl využit autorefraktokeratotonometr (NIDEK Tonoref II) a Pentacam (Oculus, Německo). Týden před počátkem měření neměly měřené osoby nasazené kontaktní čočky. Po uplynutí této doby došlo v ranních hodinách (8:00) ke změření pacienta. Poté byl pacient vyzván, aby měl 9 hodin nasazené kontaktní čočky a po uplynutí této doby se opět dostavil na měření. Subjektivní refrakce měřena nebyla. Bylo zjištěno, že v případě občasného nošení kontaktních čoček nedochází k významným změnám a práce neshledává návštěvu očního lékaře nebo optometristy v kontaktních čočkách na měření jako problém. Zmiňuje však, že vzhledem k narušené stabilitě slzného filmu, ke které v rámci nošení čoček dochází, by bylo vhodné před zahájením měření bezprostředně po sundání čoček vyčkat po dobu alespoň 15–20 minut. Doba 15 minut pro obnovení stability slzného filmu je uváděna pro hydrogelové čočky [63].

Na základě dohledaných studií bylo zjištěno, že kontaktní čočky způsobují změny v tloušťce i zakřivení rohovky. U dlouhodobých nositelů, kteří kontaktní čočky nosí každodenně v rámci několika let, dochází k dlouhodobému snížení tloušťky rohovky (a to až o 30–50 μm) [55; 60]. Snížením tloušťky rohovky poté dochází ke zvýšení zakřivení rohovky. Bylo zjištěno, že silikon-hydrogelové čočky s vysokými hodnotami Dk/t snižují stupeň ztenčení epitelu rohovky [55; 59].

Dále studie poukazují na to, jak je důležitá doba mezi sundáním kontaktních čoček a počátkem samotného měření topografických změn. Většina z dohledaných studií prováděla měření bezprostředně po sundání kontaktních čoček (respektive do 5–10 minut od jejich sundání [58]) nebo do 1 hodiny od jejich sundání [55]. U těchto studií byly zaznamenány změny tloušťky rohovky v periferii a také v centru rohovky. Studie, která měření provedla 12–24 hodin po sundání čoček, změny v centrální oblasti nezaznamenala [57].

Významnější změny byly objeveny převážně u hydrogelových čoček. V rámci jedné ze studií byl zjištěn nárůst tloušťky rohovky v centru o $20,3 \pm 10,00 \mu\text{m}$ a v periférii, ve které dochází k tomuto jevu více [9], o $24,1 \pm 9,1 \mu\text{m}$ [58]. U prvositelů měkkých hydrogelových kontaktních čoček byl nárůst tloušťky rohovky také přítomen. Změny v zakřivení zde byly zanedbatelné (horizontální oploštění o 0,10 mm a vertikální o 0,09 mm – přibližně 0,50 dpt) [45]. U těchto prvositelů se tloušťka rohovky vrátila do původního stavu během 2 hodin po sundání kontaktních čoček. Dále bylo zjištěno, že v rámci krátkodobého nošení kontaktních čoček, není hodinová doba nošení během jednoho dne přímo úměrná procentuální změně tloušťky rohovky [45].

Poslední důležitou informací je fakt, že u silikon-hydrogelových čoček použitých ve studii [58], otok rohovky a změny zakřivení po 8 hodinách nošení jsou srovnatelné se změnami, které jsou pozorovány bezprostředně po probuzení. Objevily se i případy, kdy přirozené denní změny, ke kterým během dne dochází, dosahovaly vyšších hodnot než ty, které byly způsobeny měkkými silikon-hydrogelovými čočkami. [58; 9]

5 Metodika

Cílem experimentální části bylo zjistit, zda má aplikace kontaktních čoček vliv na výsledné hodnoty předepsané brýlové korekce, je-li subjektivní refrakce měřena bezprostředně po vyjmutí kontaktních čoček z oka. Cílem bylo dále stanovit přibližný čas, který by byl dostatečný pro návrat parametrů rohovky do původního stavu a ustálení refrakce oka.

V této části práce popisují soubor měřených osob, postup měření a stanovené hypotézy s výběrem vhodných statistických testů pro vyhodnocení získaných dat. V závěru experimentální části popisují výsledky práce, na které je navázáno v rámci diskuze.

5.1 Soubor měřených osob

Testování se zúčastnilo 20 subjektů, z toho 18 žen a 2 muži. Průměrný věk činil 23 let, hodnota mediánu byla 22 let. Nejmladšímu subjektu bylo 21 let a nejstaršímu 28 let. Žádná z měřených osob netrpěla suchým okem, ani poruchou slzného filmu, hodnota invazivního BUT testu byla u všech vyšší než 10 s. Všechny osoby byly bez zdravotních komplikací a netrpěly onemocněními, které by ovlivnily refrakční stav oka nebo přispívaly ke kolísání hodnot refrakčního stavu oka (diabetes mellitus, onemocnění štítné žlázy, hypertenze, prodělané refrakční zákroky, oční záněty). U všech osob byla přítomna správná aplikace kontaktních čoček.

Pravidelných nositelů kontaktních čoček bylo 14 a občasných 6. Pravidelný nositel byl stanoven jako osoba, která nosí kontaktní čočky minimálně 4 dny v týdnu. Občasní nositelé udávali, že kontaktní čočky nosí alespoň 3 krát do měsíce.

Mezi nošenými čočkami ve vybrané skupině lidí převládaly silikon-hydrogelové čočky (19), jeden z respondentů byl nositelem hydrogelových kontaktních čoček. Podle intervalu výměn převládaly denní čočky (12), dále byly zastoupeny měsíční (6) a nakonec 14denní (2). Torické kontaktní čočky byly aplikovány u 2 osob. Maximální hodnota cylindru činila -1,25 dpt a minimální poté -0,75 dpt. Maximální kladná sférická hodnota u nošených kontaktních čoček činila +2,75 dioptrie a maximální záporná sférická hodnota poté -6,00 dioptrie. Tabulka, která shrnuje rozložení nošených kontaktních čoček a jejich dioptrické hodnoty, je uvedena v **Příloze A – Přehled nošených kontaktních čoček**.

Minimální doba od první aplikace čoček byla 1 rok a maximální 13, průměrná hodnota byla 4,7 roku.

Minimální doba nošení kontaktních čoček před počátkem měření v rámci 2. termínu byla 3,5 hodiny, maximální poté 11,5 hodin, průměrná hodnota činila 7,2 hodiny.

5.2 Postup měření

Měření experimentální části proběhlo v období od 26. 1. 2023 do 3. 4. 2023 ve vyšetřovnách refrakcí a kontaktních čoček na Fakultě biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze, s adresou: náměstí Sítná 3105, Kladno.

Na měření experimentální části se klienti dostavili ve dvou termínech. **První termín měření** byl určen k získání vstupních hodnot každého klienta a uskutečnil se po minimálně 24 hodinách, ve kterých neměli měření jedinci nasazené kontaktní čočky. Nejprve bylo zaznamenáno, jaké kontaktní čočky měřené osoby nosí, jak dlouho jsou nositeli, a jestli kontaktní čočky nosí pravidelně nebo jen občas. Následně došlo ke kontrole předního segmentu oka pomocí šterbinové lampy a zhodnocení kvality slzného filmu. Ke zjištění tohoto stavu byl proveden invazivní break-up time test (BUT) s aplikací fluoresceinu. Bylo tak provedeno z důvodu vyřazení osob s defekty epitelu rohovky a problémy spojenými s kvalitou slzného filmu.

Následovalo vyšetření předního segmentu oka za použití přístroje Pentacam (Oculus, Německo) s výběrem 25 řezů rohovky. Byla změřena centrální tloušťka rohovky (CCT), centrální zakřivení přední plochy rohovky v horizontálním (R_{f1}) a vertikálním řezu (R_{s1}), osa horizontálního řezu (A_{x1}), průměrné zakřivení přední plochy rohovky (R_{m1}) a rohovkový astigmatismus přední plochy rohovky (Ast). Dále bylo měřeno centrální zakřivení zadní plochy rohovky opět v horizontálním (R_{f2}) a vertikálním řezu (R_{s2}), osa horizontálního řezu (A_{x2}), průměrné zakřivení zadní plochy rohovky (R_{m2}) a hloubka přední komory (ACD). Pro vyhodnocení byly pro zakřivení přední a zadní plochy rohovky využity pouze průměrné hodnoty R_{m1} a R_{m2} .

Po změření předního segmentu oka byly změřeny hodnoty stávající brýlové korekce, které sloužily jako pomocné hodnoty k určení plné korekce subjektivní refrakce oka. Subjektivní refrakce byla měřena pomocí brýlové skříně (Essilor, Francie) a optotypu PolaSkop 3D+ (DAO, Německo), jehož vzdálenost od vyšetřovaného byla 5,4 m. Nejprve došlo ke stanovení monokulární sférické a cylindrické korekce za využití bodového testu a Jacksonova zkříženého cylindru - JZC. Po odkrytí clony byl pro binokulární akomodační vyvážení proveden Osterbergův polarizační bichromatický test.

Druhý termín měření se konal po 7 dnech, ve kterých měřené osoby nosily kontaktní čočky každodenně alespoň 8 hodin/den. Aby nedošlo k měření za rozdílných podmínek u jednotlivých jedinců a zamezilo se vlivu denních změn na rohovce, uskutečnil se tento termín ve stejný čas, ve kterém proběhlo první měření. Na měření se klienti dostavili v kontaktních čočkách, které měli nasazené alespoň 3 hodiny před počátkem měření. Pomocí štěrbinové lampy proběhlo zhodnocení aplikace čoček. Bezprostředně po sundání kontaktní čočky proběhlo měření předního segmentu oka na Pentacamu (Oculus, Německo) nejprve na pravém a poté na levém oku. Byly měřeny stejné parametry jako při prvním termínu měření (CCT, Rf₁, R_{S1}, Ax₁, Ast, Rm₁, Rf₂, R_{S2}, Ax₂, Rm₂, ACD). Následně byla nasazena zkušební obruba, do které byly vloženy zkušební čočky hodnot, získaných během prvního termínu měření. Poté byla monokulárně stanovena změna sférocylické korekce (opět pomocí brýlové skříně a JZC), ke které došlo vůči výchozí hodnotě. Po odkrytí clony na zakrytém oku byl za binokulárních podmínek pro provedení akomodačního vyvážení proveden Osterbergův polarizační bichromatický test. Po 15 minutách od sundání kontaktních čoček proběhlo opět měření předního segmentu oka na Pentacamu (Oculus, Německo) a poté vývoj změny v subjektivní refrakci vůči výchozí hodnotě stejným postupem, který byl uplatněn ihned po vyndání kontaktní čočky z oka. Tento postup byl opakován dále po 30, 45 a nakonec po 60 minutách.

5.3 Statistická analýza

Naměřené parametry byly zaznamenány do programu Excel a dále podrobeny statistické analýze. U všech parametrů získaných v časových intervalech 0, 15, 30, 45 a 60 minut od sundání kontaktních čoček, došlo k porovnání s výchozí hodnotou a následnému porovnání změn v závislosti na čase měření.

Pro deskriptivní statistiku byl stanoven průměr, medián, směrodatná odchylka, maximum a minimum. Pro induktivní statistiku byly zvoleny následující nulové hypotézy H_0 a k nim alternativní hypotézy H_1 :

Nulové hypotézy H_0

Vyndání měkkých kontaktních čoček ihned před měřením **nemá** vliv na následující parametry:

- centrální tloušťku rohovky ($CCT_V = CCT_0$)
- průměrné centrální zakřivení přední plochy rohovky ($Rm1_V = Rm1_0$)
- průměrné centrální zakřivení zadní plochy rohovky ($Rm2_V = Rm2_0$)
- hloubku přední komory ($ACD_V = ACD_0$)
- rohovkový astigmatismus přední plochy rohovky ($Ast_V = Ast_0$)
- sféru ($Sph_V = Sph_0$)
- cylindr ($Cyl_V = Cyl_0$)
- osu cylindru ($Ax_V = Ax_0$)

15, 30, 45 a 60 minut po vyndání budou výše jmenované parametry **nezměněny** oproti výchozím hodnotám.

- ($CCT_V = CCT_{15}$)
- ($CCT_V = CCT_{30}$)
- ($CCT_V = CCT_{45}$)
- ($CCT_V = CCT_{60}$)

- ($Rm1_V = Rm1_{15}$); ($Rm1_V = Rm1_{30}$); ($Rm1_V = Rm1_{45}$); ($Rm1_V = Rm1_{60}$)
- ($Rm2_V = Rm2_{15}$); ($Rm2_V = Rm2_{30}$); ($Rm2_V = Rm2_{45}$); ($Rm2_V = Rm2_{60}$)
- ($ACD_V = ACD_{15}$); ($ACD_V = ACD_{30}$); ($ACD_V = ACD_{45}$);
($ACD_V = ACD_{60}$)
- ($Ast_V = Ast_{15}$); ($Ast_V = Ast_{30}$); ($Ast_V = Ast_{45}$); ($Ast_V = Ast_{60}$)

- (Sph_V = Sph_15); (Sph_V = Sph_30); (Sph_V = Sph_45); (Sph_V = Sph_60)
- (Cyl_V = Cyl_15); (Cyl_V = Cyl_30); (Cyl_V = Cyl_45); (Cyl_V = Cyl_60)
- (Ax_V = Ax_15); (Ax_V = Ax_30); (Ax_V = Ax_45); (Ax_V = Ax_60)

Alternativní hypotézy H₁

Vyndání měkkých kontaktních čoček bezprostředně před počátkem měření **má** vliv na výše jmenované parametry. 15, 30, 45 a 60 minut po vyndání budou výše jmenované parametry **změněny**.

Pro vyhodnocení **induktivní statistiky** byl proveden ANOVA test vždy pro všechny měřené parametry v jednotlivých časech. Testování proběhlo na hladině významnosti 0,05. Provedení testu proběhlo pomocí internetové stránky astatsa.com. [64]

ANOVA test porovnal výchozí hodnotu pro každý jednotlivý parametry vždy s dalšími hodnotami získanými v následujících časech – např.: pro hodnotu sférické hodnoty korekce Sph_V vůči Sph_0, Sph_15, Sph_30, Sph_45, Sph_60. Dále došlo ke vzájemnému porovnání naměřených hodnot mezi sebou. Stejně byly porovnány zbylé měřené parametry (Cyl, Ax, CCT, Ast, Rm₁, Rm₂, ACD). Výsledky statistického testování jsou spolu se všemi naměřenými hodnotami uvedeny v následující kapitole.

6 Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny výsledky experimentální části bakalářské práce. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v **Příloze B – Měřené hodnoty v rámci 1. termínu** pro 1. termín měření, a v **Příloze C – Měřené hodnoty v rámci 2. termínu** pro 2. termín měření.

Následující Tabulka 6-1 ukazuje základní shrnutí všech naměřených dat. Pro každý měřený parametr je uvedena průměrná hodnota \pm směrodatná odchylka (SD) a poté minimální a maximální hodnota [min; max], které bylo v rámci měření u daného souboru osob dosaženo. Dále je v tabulce uveden výsledek ANOVY (*p-hodnota*), který říká, jestli jsou výsledné změny, ke kterým v měření docházelo, statisticky signifikantní.

Tabulka 6-1: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka, minimum a maximum měřených parametrů v každém čase

	Výchozí průměr \pm SD [min; max]	0 min průměr \pm SD [min; max]	15 min průměr \pm SD [min; max]	30 min průměr \pm SD [min; max]	45 min průměr \pm SD [min; max]	60 min průměr \pm SD [min; max]	ANOVA (<i>p-hodnota</i>)
Sph [dpt]	-2,87 \pm 2,51 [-6,50; +3,00]	-2,94 \pm 2,55 [-6,75; +3,25]	-2,96 \pm 2,54 [-6,75; +3,25]	-2,94 \pm 2,57 [-7,00; +3,25]	-2,93 \pm 2,55 [-7,00; +3,25]	-2,92 \pm 2,56 [-7,00; +3,25]	1,0000
Cyl [dpt]	-0,41 \pm 0,36 [-1,50; 0]	-0,46 \pm 0,36 [-1,50; 0]	-0,47 \pm 0,35 [-1,50; 0]	-0,45 \pm 0,37 [-1,50; 0]	-0,44 \pm 0,36 [-1,50; 0]	-0,44 \pm 0,36 [-1,50; 0]	0,9906
Ax [°]	78,13 \pm 73,04 [0; 180]	88,78 \pm 71,74 [0; 180]	89,55 \pm 71,13 [0; 180]	87,48 \pm 73,03 [0; 180]	87,68 \pm 72,93 [0; 180]	87,68 \pm 72,93 [0; 180]	0,9851
CCT [μ m]	559,03 \pm 30,49 [513; 639]	560,58 \pm 30,16 [513; 653]	555,33 \pm 32,01 [502; 651]	556,90 \pm 30,87 [508; 648]	557,25 \pm 30,84 [513; 647]	557,35 \pm 30,12 [503; 642]	0,9836
Ast [dpt]	1,00 \pm 0,44 [0,3; 1,9]	0,98 \pm 0,45 [0,4; 2,0]	0,94 \pm 0,48 [0,1; 2,0]	0,96 \pm 0,48 [0,3; 2,0]	0,97 \pm 0,45 [0,4; 2,0]	0,99 \pm 0,46 [0,4; 2,1]	0,9957
Rm ₁ [mm]	7,74 \pm 0,25 [7,32; 8,16]	7,75 \pm 0,25 [7,31; 8,16]	7,75 \pm 0,25 [7,30; 8,17]	7,75 \pm 0,25 [7,31; 8,14]	7,74 \pm 0,25 [7,32; 8,16]	7,74 \pm 0,25 [7,32; 8,16]	1,0000
Rm ₂ [mm]	6,26 \pm 0,22 [5,87; 6,67]	6,25 \pm 0,21 [5,84; 6,63]	6,26 \pm 0,21 [5,84; 6,62]	6,26 \pm 0,21 [5,87; 6,60]	6,26 \pm 0,21 [5,85; 6,62]	6,26 \pm 0,21 [5,90; 6,64]	1,0000
ACD [mm]	3,10 \pm 0,25 [2,37; 3,62]	3,08 \pm 0,25 [2,36; 3,62]	3,09 \pm 0,25 [2,35; 3,58]	3,11 \pm 0,25 [2,38; 3,63]	3,11 \pm 0,25 [2,33; 3,61]	3,12 \pm 0,25 [2,39; 3,62]	0,9886

Pro lepší vyhodnocení výsledných rozdílů mezi měřeními byly zhotoveny tabulky, které porovnávají vždy nově naměřenou hodnotu vůči předchozí, aby byla vidět progrese změny v čase. Záporné hodnoty značí prohloubení hodnoty směrem do mínusu, kladné poté znázorňují zvýšení nově naměřené hodnoty do kladných hodnot. Zmíněné tabulky jsou uvedeny v **Příloze D – Změny hodnot mezi termíny**.

Pro jednodušší porovnání byla vytvořena Tabulka 6-2, která shrnuje průměrné změny \pm SD, minimální a maximální dosaženou změnu mezi jednotlivými termíny měření.

Tabulka 6-2: Průměrné změny \pm SD, minimální a maximální dosažené změny mezi jednotlivými termíny

	V x 0 průměr \pm SD [min; max]	0 x 15 průměr \pm SD [min; max]	15 x 30 průměr \pm SD [min; max]	30 x 45 průměr \pm SD [min; max]	45 x 60 průměr \pm SD [min; max]	V x 60 průměr \pm SD [min; max]
Sph [dpt]	$-0,07 \pm 0,19$ [-0,5; 0,25]	$-0,02 \pm 0,17$ [-0,25; 0,5]	$0,01 \pm 0,15$ [-0,25; 0,25]	$0,01 \pm 0,11$ [-0,25; 0,50]	$0,01 \pm 0,14$ [-0,25; 0,25]	$-0,05 \pm 0,36$ [-0,5; 1,75]
Cyl [dpt]	$-0,04 \pm 0,15$ [-0,5; 0,25]	$-0,01 \pm 0,10$ [-0,25; 0,25]	$0,02 \pm 0,09$ [-0,25; 0,25]	$0,01 \pm 0,09$ [-0,25; 0,50]	0 ± 0 [0; 0]	$-0,03 \pm 0,14$ [-0,25; 0,25]
CCT [μ m]	$1,55 \pm 9,99$ [-27; 24]	$-5,25 \pm 7,64$ [-30; 9]	$1,58 \pm 8,79$ [-15; 36]	$0,35 \pm 4,42$ [-9; 9]	$0,1 \pm 5,48$ [-12; 13]	$-1,68 \pm 8,61$ [-27; 16]
Ast [dpt]	$-0,02 \pm 0,16$ [-0,2; 0,4]	$-0,04 \pm 0,22$ [-1,1; 0,2]	$0,02 \pm 0,20$ [-0,3; 1,1]	$0,01 \pm 0,15$ [-0,3; 0,4]	$0,02 \pm 0,12$ [-0,2; 0,3]	$-0,02 \pm 0,19$ [-0,4; 0,5]
Rm1 [mm]	$0,01 \pm 0,03$ [-0,08; 0,06]	$0 \pm 0,03$ [-0,05; 0,11]	$0 \pm 0,02$ [-0,07; 0,03]	$0 \pm 0,02$ [-0,1; 0,03]	$0 \pm 0,02$ [-0,02; 0,08]	$0,01 \pm 0,03$ [-0,03; 0,1]
Rm2 [mm]	$0 \pm 0,05$ [-0,13; 0,08]	$0,01 \pm 0,05$ [-0,07; 0,19]	$0 \pm 0,03$ [-0,07; 0,1]	$0 \pm 0,04$ [-0,08; 0,06]	$0 \pm 0,03$ [-0,06; 0,06]	$0 \pm 0,05$ [-0,1; 0,09]
ACD [mm]	$-0,02 \pm 0,05$ [-0,15; 0,13]	$0,01 \pm 0,05$ [-0,12; 0,18]	$0,02 \pm 0,03$ [-0,08; 0,07]	$0 \pm 0,04$ [-0,06; 0,15]	$0 \pm 0,04$ [-0,07; 0,11]	$0,01 \pm 0,05$ [-0,14; 0,16]

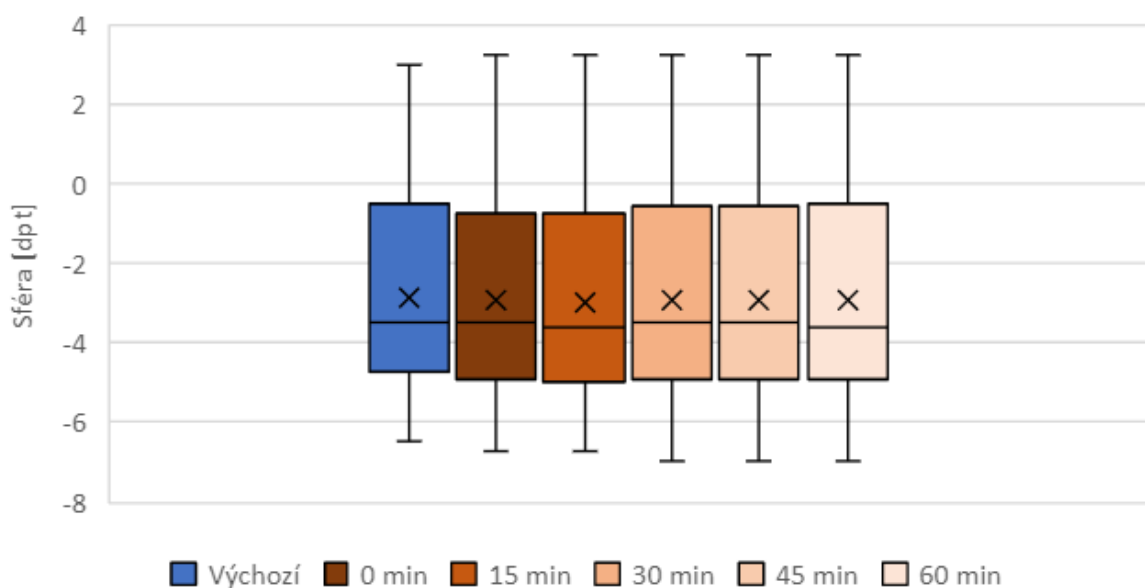
Kapitola je dále rozdělena na jednotlivé podkapitoly, které shrnují výsledky získané pro jednotlivé měřené parametry v závislosti na jednotlivých časech měření. Pro přehlednost jsou výsledky zaneseny do Box-plot grafů, které ukazují grafické rozložení změn, ke kterým docházelo mezi jednotlivými měřeními.

6.1 Měřené hodnoty sférické korekce

Výchozí sférická hodnota se pohybovala mezi $-6,50$ dpt a $+3,00$ dpt (průměr \pm SD: $-2,87 \pm 2,51$ dpt). Pohyb ve sférické korekci mezi termíny byl nejčastěji do $0,25$ dpt, u pěti očí pak byla naměřena změna ve sférické korekci o $0,5$ dpt (u některých směrem do plusu, u jiných do mínusu) a u jednoho subjektu o $-1,75$ dpt (jeho výchozí korekce $-3,50$ dpt a 60 min po sundání $-1,75$ dpt, cylindr se změnil z $-0,75$ dpt na $-1,00$ dpt).

Test ANOVA neodhalil žádné signifikantní změny a byla zde přijata nulová hypotéza H_0 , která zamítá alternativní hypotézu H_1 . Tímto říká, že změny, ke kterým v rámci sférické korekce došlo, jsou zanedbatelné a statisticky nevýznamné. Na tuto skutečnost poukazuje také *p-hodnota*, která pro tento měřený parametr činila $1,0000$ (Tabulka 6-1).

To potvrzuje také grafické zpracování formou Box Plotu (Obrázek 6-1), naměřené hodnoty v jednotlivých termínech mají velmi podobné rozložení a na grafech není vidět tendence klesání ani stoupání sférické korekce.



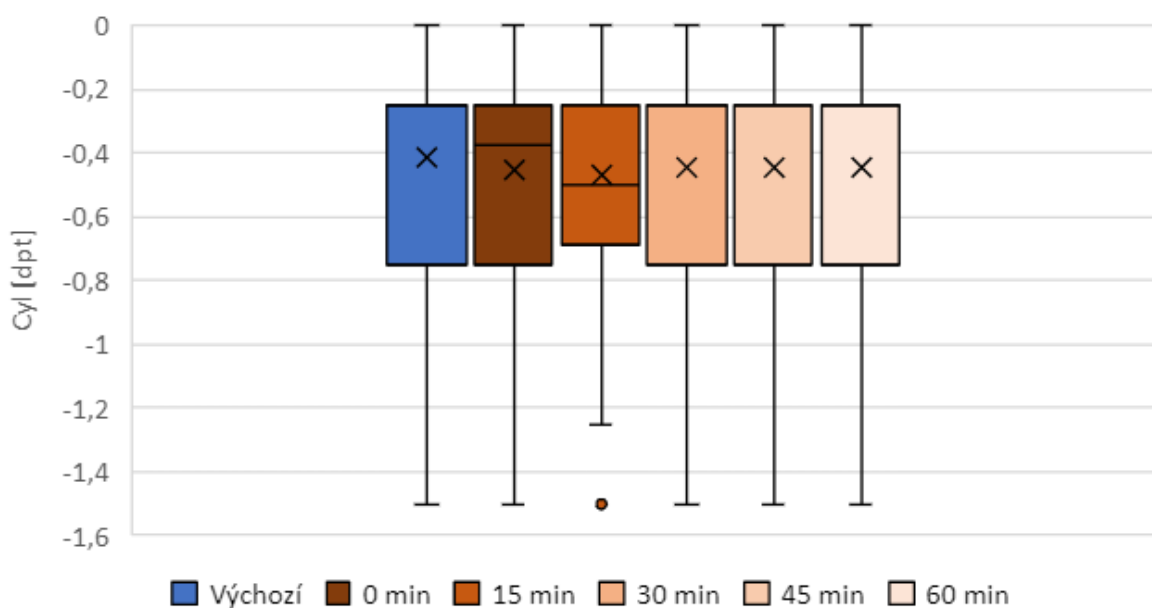
Obrázek 6-1: Box Plot měřených hodnot sférické korekce v jednotlivých časech měření

6.2 Měřené hodnoty cylindrické korekce

Nejvyšší výchozí cylindrická hodnota činila $-1,50$ dpt (průměr \pm SD: $-0,41 \pm 0,36$ dpt). Největší změna cylindrické korekce byla zaznamenána u subjektu č. 8 a činila změnu o $-0,50$ dpt. Z měřených 40 očí došlo k nově navozené hodnotě cylindru u 4 očí různých subjektů a nejvyšší hodnota nově naměřeného cylindru činila $-0,25$ dpt. Ke změně hodnoty cylindru došlo u 9 očí – z toho nejvyšší změna činila $-0,50$ dpt (subjekt č. 8), a zbylé změny byly o $-0,25$ dpt. U ostatních očí (27) nedošlo ke změně výchozí hodnoty naměřeného cylindru a v případě, že nebyl během prvního měření naměřen, nedošlo k jeho navození (5 očí).

Test ANOVA opět neodhalil žádné signifikantní změny a byla přijata nulová hypotéza H_0 . *P-hodnota* činila 0,9906 (Tabulka 6-1).

Tuto skutečnost potvrzuje také následující grafické zpracování pomocí Box Plotu (Obrázek 6-2), naměřené hodnoty v jednotlivých termínech mají velmi podobné rozložení a na grafech není vidět žádná tendence klesání či stoupání cylindrické korekce. Průměrné hodnoty (značené černými křížky) se pohybují v podobných mezích a není zde vidět žádné abnormální odklonění hodnot vůči sobě.



Obrázek 6-2: Box Plot měřených hodnot cylindrické korekce v jednotlivých časech měření

6.3 Měřené hodnoty osy cylindru

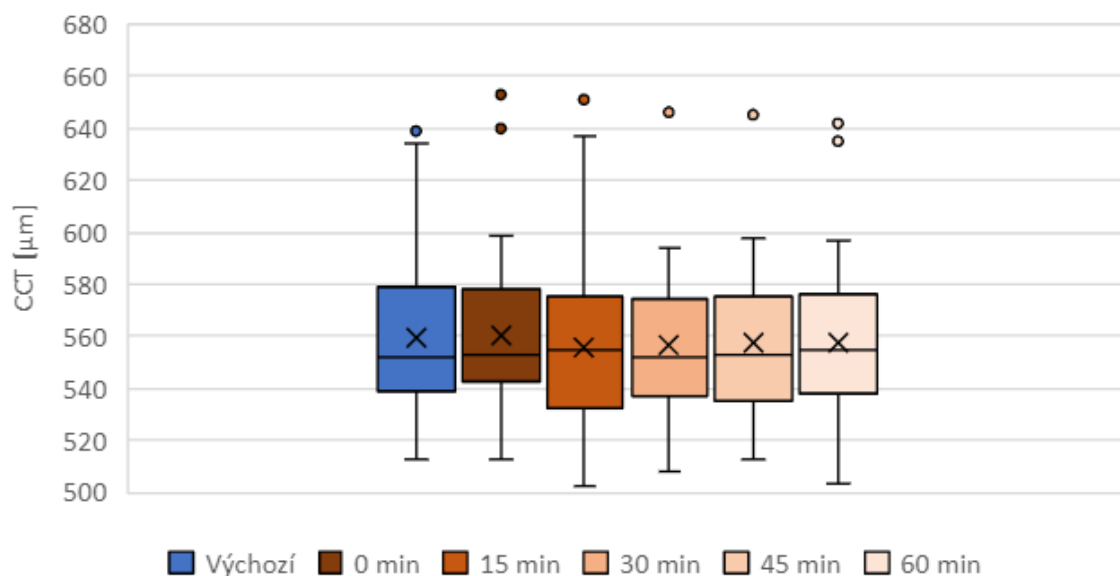
Průměrná výchozí hodnota (\pm SD) činila u osy cylindru $78,13 \pm 73,04$ °. V následujících časech byla průměrná hodnota zvýšena, ale v průběhu dalších měření nedocházelo k dalšímu výraznému stoupaní či klesání hodnot.

Změny, ke kterým docházelo u os cylindru, byly pomocí ANOVA testu stanoveny opět jako nesignifikantní a *p-hodnota* zde byla 0,9851 (Tabulka 6-1). Změny byly způsobeny navozením nové cylindrické korekce, která ve výchozích hodnotách nebyla přítomna – celkem 3 oči. Dále v průběhu měření v časech došlo ke změně osy cylindru ve 4 případech. Největší změna byla o 15°, dále o 8°, 5° a v posledním případě o 3°. U subjektu měření č. 6 došlo v čase 15 minut od sundání čoček k navození hodnoty cylindru, která byla v následujícím čase (30 minut) opět odebrána. V ostatních případech se hodnota cylindru nezměnila, popřípadě nebyla zapsána do tabulky z důvodu nenaměření cylindrické korekce (poznamenaná hodnotou 0).

6.4 Měřené hodnoty centrální tloušťky rohovky

Centrální tloušťka rohovky se při výchozím měření pohybovala mezi 513 μm a 639 μm (průměr \pm SD: 559,03 \pm 30,49 μm). Mezi výchozím měřením a měřením, které proběhlo ihned po vyndání čoček, byla změřena průměrná změna o 1,55 \pm 10 μm (min: -27 μm ; max: 24 μm). Mezi výchozím měřením a měřením, které proběhlo po 60 minutách od vyndání čoček, byla změřena průměrná změna -1,68 \pm 9 μm (min: -27 μm ; max: 16 μm). Ostatní hodnoty CCT naměřené v jednotlivých termínech jsou shrnuty v Tabulce 6-1.

Následující Box Plot (Obrázek 6-3) graficky zobrazuje naměřené hodnoty centrální tloušťky rohovky opět v daných měřených časech. Je zde opět vidět, že se hodnoty pohybují kolem stejného mediánu. To potvrzuje opět také ANOVA, která nezaznamenala žádné signifikantní změny a byla tedy opět přijata nulová hypotéza H_0 . *P-hodnota* činila 0,9836.



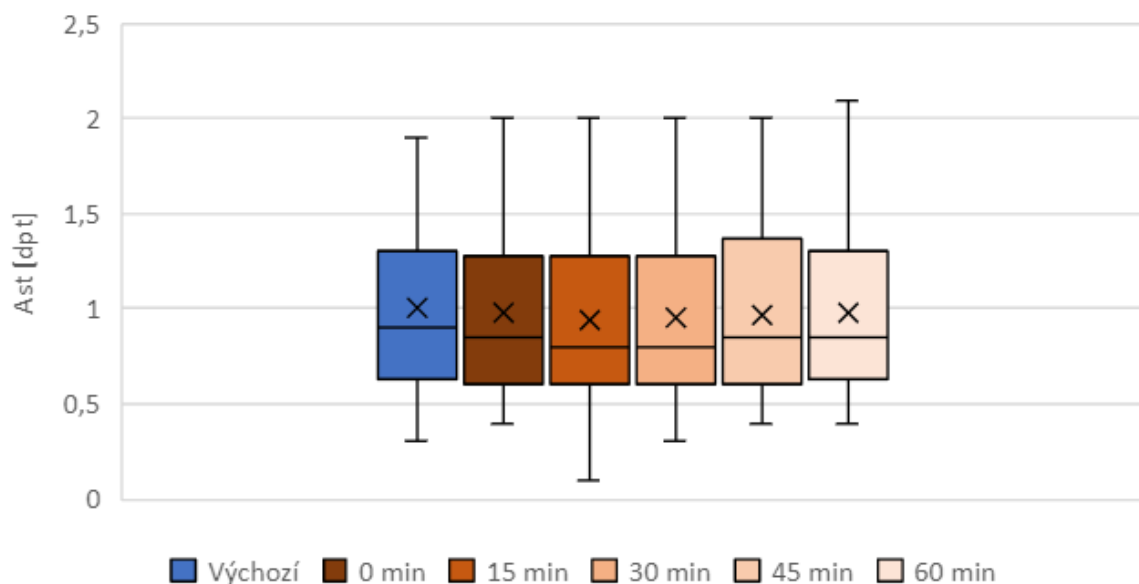
Obrázek 6-3: Box Plot měřených hodnot centrální tloušťky rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo)

6.5 Měřené hodnoty astigmatismu přední plochy rohovky

Výchozí hodnota astigmatismu přední plochy rohovky se pohybovala od 0,3 dpt do 1,9 dpt (průměr \pm SD: 1,00 \pm 0,44 dpt). Průměrná změna \pm SD, ke které došlo vůči výchozí hodnotě bezprostředně po vyndání čoček z oka, byla $-0,02 \pm 0,2$ dpt. Hodnota minimální změny byla rovna $-0,2$ dpt a maximální hodnota byla 0,4 dpt. Hodnoty se dále s časem výrazně neměnily a v případě porovnání výchozí hodnoty s hodnotou naměřenou 60 minut od vyndání kontaktních čoček, byla průměrná (\pm SD) velikost změny $-0,02 \pm 0,2$ dpt. Minimální změna byla o $-0,4$ dpt, maximální poté o 0,5 dpt.

U subjektu č. 8, u kterého došlo k největší dosažené změně cylindrické korekce z hodnoty cylindru $-0,75$ dpt na $-1,25$ dpt. U daného subjektu se v tomto čase (porovnání výchozí hodnoty s hodnotou měřenou ihned po vyndání čoček) hodnota astigmatismu přední plochy rohovky měřeného pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo) změnila o 0,1 dpt.

ANOVA nezjistila žádné signifikantní změny (*p*-hodnota činila 0,9957), čímž byla přijata nulová hypotéza H_0 . Neměnnost hodnot nám graficky znázorňuje také Box Plot (Obrázek 6-4), ze kterého je vidět, že se průměrné hodnoty udržovaly na stejné hladině, stejně tak poté mediány.



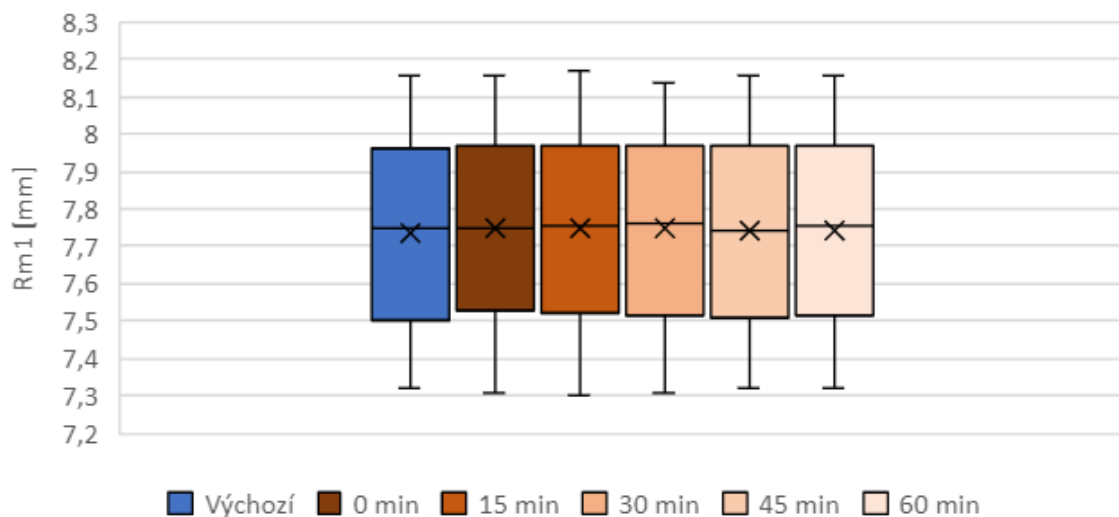
Obrázek 6-4: Box Plot měřených hodnot astigmatismu přední plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo)

6.6 Měřené hodnoty průměrného zakřivení přední plochy rohovky

Výchozí hodnoty průměrného zakřivení přední plochy rohovky se pohybovaly od 7,32 mm do 8,16 mm. Průměrná hodnota \pm SD činila $7,74 \pm 0,25$ mm. Průměrná změna \pm SD, ke které došlo mezi výchozím měřením a měřením provedeným ihned po vyndání čoček z oka, činila $0,01 \pm 0,03$ mm (min: $-0,08$; max: $0,06$). Změna, ke které došlo v porovnání s výchozí hodnotou po 60 minutách od vyndání čoček, byla (průměr \pm SD) $0,01 \pm 0,03$ mm (min: $-0,03$ mm; max: $0,1$ mm).

Z tohoto porovnání je patrné, že nedocházelo k významným změnám v průměrném zakřivení přední plochy rohovky. Tuto skutečnost lze pozorovat také z Box Plotu (Obrázek 6–5), kde se průměrné hodnoty, mediány a rozložení kvartilů liší minimálně, a zároveň se všechny hodnoty rozprostírají ve stejné oblasti. V porovnání s ostatními Box Ploty zbylých měřených parametrů, zde byly pozorovány nejmenší dosažené změny.

Neměnnost hodnot potvrzuje také ANOVA, která neprokázala žádné signifikantní změny a byla tímto přijata nulová hypotéza H_0 . Tuto skutečnost potvrzuje *p-hodnota*, která je rovna 1,0000.



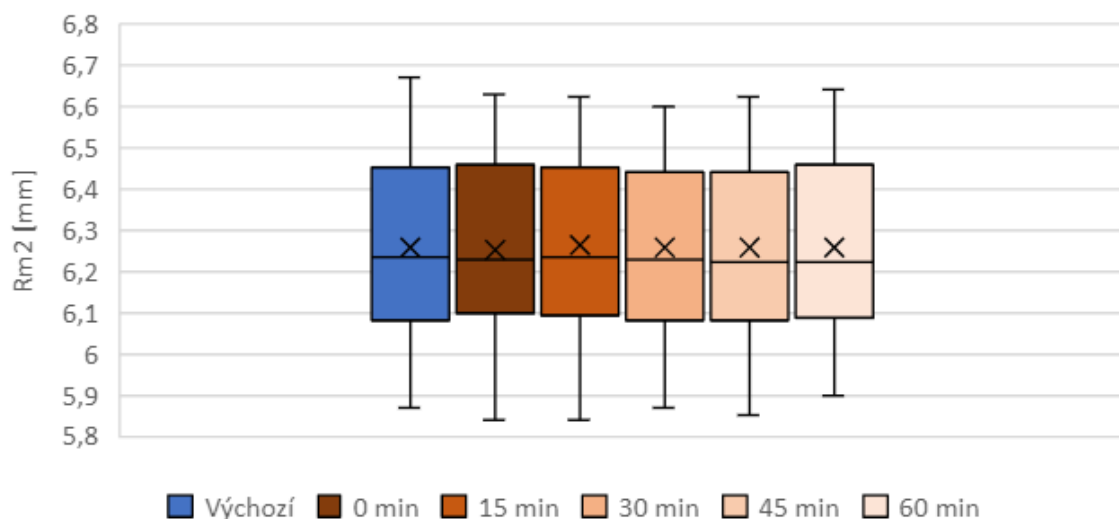
Obrázek 6-5: Box Plot měřených hodnot průměrného zakřivení přední plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo)

6.7 Měřené hodnoty průměrného zakřivení zadní plochy rohovky

Výchozí hodnoty průměrného zakřivení zadní plochy rohovky se pohybovaly od 5,87 mm do 6,67 mm (průměr \pm SD: $6,26 \pm 0,22$). Průměrná změna \pm SD, ke které došlo mezi výchozím měřením a měřením provedeným ihned po vyndání čoček z oka, činila $0 \pm 0,05$ mm (min: $-0,13$; max: $0,08$). Změna, ke které došlo v porovnání s výchozí hodnotou po 60 minutách od vyndání čoček, byla (průměr \pm SD) $0 \pm 0,05$ mm (min: $-0,1$ mm; max: $0,09$ mm). Z těchto údajů je vidět, že ke změnám průměrného zakřivení zadní plochy rohovky téměř nedocházelo.

Tuto skutečnost opět potvrzuje ANOVA, která neodhalila žádné signifikantní změny (p -hodnota = 1,0000) a byla přijata nulová hypotéza H_0 .

Grafické rozložení dat pomocí Box Plotu (Obrázek 6-6) neukazuje také na žádné patrné změny. Naměřené hodnoty jsou v grafu opět lokalizována ve stejné oblasti.



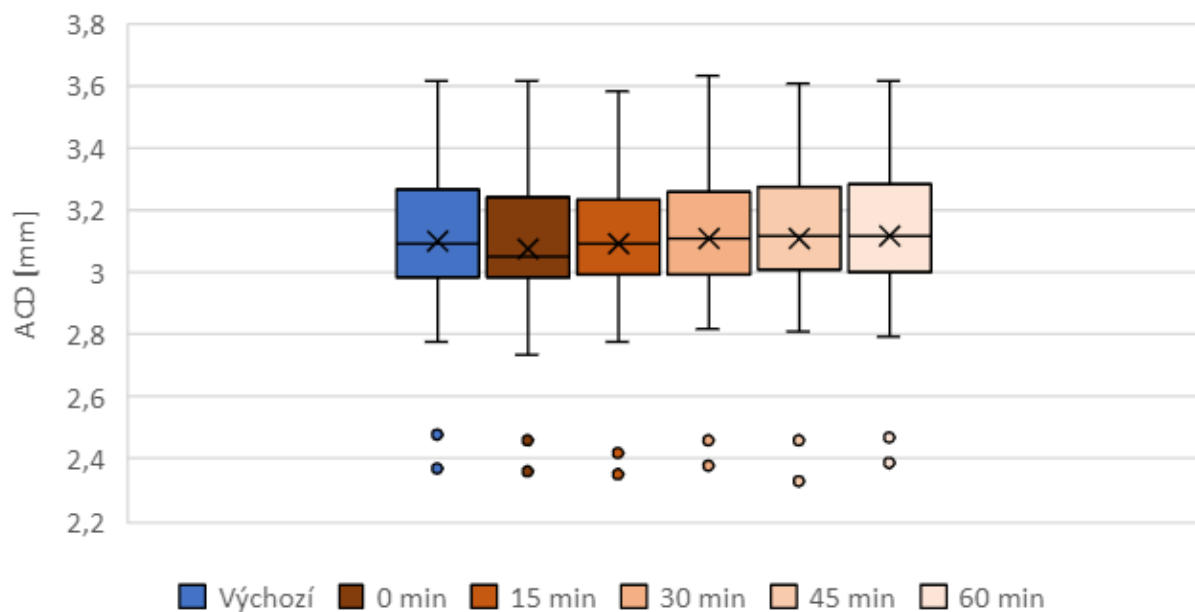
Obrázek 6-6: Box Plot měřených hodnot průměrného zakřivení zadní plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo)

6.8 Měřené hodnoty hloubky přední komory

Posledním měřeným parametrem byla hloubka přední komory. Výchozí měřená hodnota se pohybovala od 2,37 mm do 3,62 mm. Průměrná hodnota \pm SD poté činila $3,10 \pm 0,25$ mm. Hodnoty naměřené v dalších časech jsou uvedeny v Tabulce 6-1. Průměrná hodnota změřena ze všech změn v různých časech činila $0,004 \pm 0,05$ mm. Nejnižší naměřená změna ze všech měření činila směrem do mínusu změnu o $-0,15$ mm, maximální změna poté směrem do plusu činila 0,18 mm.

Grafické znázornění pomocí Box Plotu (Obrázek 6-7) opět neukazuje na žádné viditelné změny. Hodnoty a izolované body se opět pohybují ve stejné oblasti.

Tuto skutečnost potvrzuje ANOVA, která neodhalila žádné signifikantní změny a i v tomto případě byla přijata nulová hypotéza H_0 . Na neměnnost hodnot ukazuje také *p-hodnota*, která je rovna 0,9886.



Obrázek 6-7: Box Plot měřených hodnot hloubky přední komory pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo)

7 Diskuze

ANOVA testování u všech měřených parametrů (sph, cyl, ax, CCT, Ast, Rm₁, Rm₂, ACD) neodhalilo žádné signifikantní změny.

U **sférické korekce** docházelo nejčastěji ke změnám o 0,25 dioptrie do plusu i do mínusu. Tyto změny by se, s ohledem na denní změny, ke kterým běžně o 0,25 dioptrie v refrakčních stavu oka dochází, daly považovat za zanedbatelné. [9; 37]. U pěti očí byla zaznamenána změna o 0,50 dpt. Skutečnost zanedbatelnosti změn v zásadě potvrzuje provedení testu ANOVA, který neodhalil žádné statisticky signifikantní změny a grafické rozložení naměřených dat v jednotlivých časech pomocí Box Plotu (Obrázek 6-1).

V souboru se však objevila změna, která se dá vzhledem k výsledným hodnotám celého souboru měřených osob považovat za abnormální. Tato (největší) dosažená změna byla zaznamenána u pravého oka subjektu č. 18. Zde, oproti výchozí sférické hodnotě (-3,50 dpt), nastal po 60 minutách od sundání čoček stav, ve kterém byla sférická korekce snížena na hodnotu -1,75 dpt. Cylindrická korekce byla zvýšena z hodnoty -0,75 dpt na hodnotu -1,00 dpt. V ostatních parametrech u daného subjektu nedocházelo k abnormálním změnám, které by zásadně vystupovaly z naměřených hodnot celého souboru měřených osob. Tuto změnu mohla způsobit chyba měření – v případě stanovení výchozí korekce nebo během měření v rámci 2. termínu. Změna by mohla být způsobena také nošením dlouhodobě nadhodnocené korekce směrem do mínusu. Oko subjektu nebylo vyřazeno z hodnot měření. K důkladnějšímu posouzení této změny by bylo potřebné provést další měření, která by v první řadě ověřila velikost výchozí plné korekce.

Plačková, B [61] ve své diplomové práci porovnávala změny refrakce po vyndání kontaktních čoček u 107 očí. Mezi výchozí hodnotou sférické korekce a hodnotou získanou ihned po vyndání čoček zjistila signifikantní změnu o průměrně \pm SD $-0,227 \pm 0,140$ dpt u silikon-hydrogelových čoček a opět signifikantní změnu $-0,439 \pm 0,247$ dpt u hydrogelových čoček. Oproti tomu v současné studii vyšla nesignifikantní změna $-0,07 \pm 0,19$ dpt (pro hydrogelové a silikon-hydrogelové čočky dohromady, z důvodu pouze jednoho subjektu s hydrogelovými čočkami nebylo děleno.) Srovnání výchozí hodnoty sférické korekce a hodnoty naměřené 30 minut od sundání čoček odhalilo u Plačkové průměrnou nesignifikantní změnu (\pm SD) $-0,011 \pm 0,082$ dpt pro silikon-hydrogelové čočky a signifikantní změnu $-0,321 \pm 0,282$ dpt pro hydrogelové čočky, tato studie změnu $0,08 \pm 0,23$ dpt, opět statisticky nevýznamnou.

Změny, ke kterým dospělo toto testování ihned po vyndání, jsou ve srovnání s Plačkovou [61] nižší a nesignifikantní. Nižší hodnoty mohou být zkresleny menším množstvím subjektů měření (Plačková 107, tato studie 40 očí). Rozložení refrakčních vad i aplikovaných čoček bylo odlišné. Studie navíc zkoumala širší věkovou škálu – průměrný věk činil 29,41 let v rozmezí 17 – 58 let (v této práci jen 23 let, v rozmezí 21 – 28 let). Dalšími faktory by mohl být odlišný přístup měření.

Absence větších změn by mohla být způsobena menším zastoupením vyšších refrakčních vad v souboru měřených osob nebo malým počtem hydrogelových čoček (1), které působí větší vliv na změny parametrů rohovky [9; 14; 58; 59; 61]. Purslow, Ch. ve své studii [63] navíc uvádí, že by se po vyndání hydrogelových čoček z oka mělo před začátkem měření čekat 15 minut, aby došlo k opětovnému navrácení stability slzného filmu. Dalo by se říci, že čočky, které jsou v současné době zastoupeny na trhu, jsou složeny převážně ze silikon-hydrogelových čoček a v závislosti na vysoké propustnosti pro kyslík způsobují menší vliv na parametry rohovky. Čočky, které byly zastoupeny v rámci tohoto testování, dosahovaly průměrných hodnot propustnosti pro kyslík 125 Dk/t. Minimální hodnota propustnosti pro kyslík byla 42 Dk/t (hydrogel – subjekt č. 3 – ve věku 23 let), maximální dosažená hodnota propustnosti pro kyslík měla hodnotu 163 Dk/t (silikon-hydrogel: subjekt č. 8 – ve věku 24 let a subjekt č. 16 – ve věku 21 let).

Hodnoty **cyldrické korekce** nabraly největší změnu u subjektu č. 8 mezi výchozím měřením a ihned po vyndání čoček. Cyldrická korekce se zvýšila o $-0,50$ dpt (bez čoček $-0,75$ dpt, ihned po vyndání $-1,25$ dpt). Hodnota astigmatismu přední plochy rohovky se v tuto dobu změnila z výchozí hodnoty 1,9 dpt na hodnotu 2,0 dpt. Po 45 minutách od sundání čoček se u subjektu č. 8 vrátila cyldrická korekce na výchozí hodnotu $-0,75$ dpt, ale hodnota astigmatismu přední plochy rohovky zůstala na stejné hodnotě (2 dpt). Souvislost mezi subjektivně naměřenou cyldrickou korekcí a hodnotou astigmatismu přední plochy rohovky (z přístroje Pentacam) tedy zde není patrná, podobně ji nelze pozorovat ani v ostatních případech.

U ostatních subjektů byla změna cyldrické korekce maximálně o 0,25 dpt. Tuto změnu lze s ohledem na běžné kolísání korekce během dne považovat za zanedbatelnou [9]. Dále by tato změna mohla být způsobena nepřesností subjektivního měření jako je např.: nepochopením metody JZC ze strany vyšetřovaného.

Radaie-Moghadam a spol. ve své studii [65] uvádí, že stabilizační zóny u vyšších hodnot cylindru mají větší vliv na parametry rohovky. V současné studii byli pouze dva nositelé torických kontaktních čoček (subjekt č. 5 – ve věku 26 let, hodnoty cylindru byly pro pravé i levé oko rovny $-0,75$ dpt; subjekt č. 11 – ve věku 22 let, hodnoty cylindru pro pravé oko $-0,75$ dpt a pro levé oko $-1,25$ dpt), u nich nebyla větší změna oproti ostatním pozorována.

Co se týče **osy cylindru**, ke změnám hodnot docházelo pouze u 4 očí. Změny byly o 15° (pravé oko subjektu č. 3), o 8° (levé oko subjektu č. 4), dále o 5° (levé oko subjektu č. 6) a naposledy o 3° (pravé oko subjektu č. 5). Průměrná změna (\pm SD) mezi výchozí hodnotou a hodnotou naměřenou ihned po vyndání čoček byla o $10,7 \pm 37,1^\circ$. Průměr je zkreslen nově navozenou cylindrickou korekcí, ke které došlo u 3 očí. Drobné změny, ke kterým v rámci změny osy docházelo, neovlivnily zrakovou ostrost.

Změny **centrální tloušťky rohovky** dosahovaly v porovnání výchozí hodnoty a hodnoty naměřené ihned po vyndání čoček z oka celkově v průměru (\pm SD) $1,55 \pm 10 \mu\text{m}$. Tyagi a spol. [58] porovnávali zvláště nositele hydrogelových a silikon–hydrogelových čoček. U hydrogelových došlo k signifikantnímu ztluštění rohovky v průměru o $20,3 \pm 10 \mu\text{m}$, v současné studii byl pouze jeden nositel hydrogelových čoček, kde u pravého oka došlo ke ztluštění rohovky o $12 \mu\text{m}$, u levého oka dokonce ke ztenčení o $-3 \mu\text{m}$. V případě porovnání vlivu silikon–hydrogelových čoček na CCT byla změřena v současné studii průměrná hodnota změny \pm SD: $1,39 \pm 10 \mu\text{m}$. Tyagi a spol. [58] naměřil u 3 typů silikon–hydrogelových čoček nejvyšší průměrnou změnu u o $-1,4 \pm 6,6 \mu\text{m}$, u dalšího typu čoček o $-0,3 \pm 6,2 \mu\text{m}$ a u posledního typu silikon–hydrogelových čoček změnu o $-0,6 \pm 5,2 \mu\text{m}$. Jednalo se o měkké torické čočky, které pravděpodobně kvůli stabilizačním zónám způsobily větší ztenčení centrální části rohovky. Každopádně změna, kterou Tyagi a spol. [58] naměřil, je v tomto případě považována také za nesignifikantní.

Dále je nutné vzít v potaz chybovost měření Pentacamu. Kiraly a spol. [66] určovali opakovatelnost měření CCT na Pentacamu, průměrný rozdíl mezi opakováním měření byl $-0,25 \pm 5,18 \mu\text{m}$. Porovnání měření CCT z této aktuální studie jsou shrnuta v Tabulce 7-1.

Tabulka 7-1: Porovnání měření CCT v jednotlivých časech (vytaženo z Tabulky 6-2)

	V x 0	0 x 15	15 x 30	30 x 45	45 x 60	V x 60
	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]
CCT [μm]	1,55 ± 9,99 [-27; 24]	-5,25 ± 7,64 [-30; 9]	1,58 ± 8,79 [-15; 36]	0,35 ± 4,42 [-9; 9]	0,1 ± 5,48 [-12; 13]	-1,68 ± 8,61 [-27; 16]

Při zvažování vlivu změny centrální tloušťky rohovky na změnu subjektivní refrakce oka je možno využít poznatků za kapitoly 3.3, že změna o 0,37 mm v CCT je adekvátní změně sféry o 1 dpt. [35; 34] To znamená, že pro změnu o 0,25 dpt by se musela změnit rohovka o 93 μm. Z tohoto hlediska jsou změny v tloušťce rohovky ve vztahu k subjektivní refrakci zanedbatelné.

Hodnocení změny **astigmatismu přední plochy rohovky** vlivem kontaktních čoček neodhalilo také žádné signifikantní změny. Nebyla dohledána studie, která by zkoumala vliv měkkých kontaktních čoček na změnu hodnoty astigmatismu přední plochy rohovky. Překvapivé je, že nebyla odhalena souvislost mezi velikostí změny cylindrické korekce a velikostí právě astigmatismu přední plochy rohovky získaného metodou měření pomocí Pentacam. Každopádně je možné, že studie, která by do měření zahrnula větší množství probandů s vyšší cylindrickou korekcí, by souvislost objevila.

U **průměrného zakřivení přední i zadní plochy rohovky** opět nedocházelo k signifikantním změnám. Plačková, B [61] ve své diplomové práci, se kterou byla již porovnána změna subjektivní refrakce, naměřila mezi výchozí hodnotou a hodnotou měřenou ihned po vyndání kontaktních čoček z oka průměrnou změnu zakřivení přední plochy rohovky u hydrogelových $0,025 \pm 0,203$ mm a $0,03 \pm 0,197$ mm u silikon–hydrogelových čoček.

V současné studii byla ve stejný čas změřena průměrná změna o $0,01 \pm 0,03$ mm. Nově naměřené změny jsou v porovnání s danou diplomovou prací (Plačková, B) [61] podobné. Pro potvrzení byla dále porovnána výchozí hodnota s hodnotou naměřenou 30 minut od sundání čoček, kde průměrná změna v diplomové práci (Plačková, B) [61] činila u silikon–hydrogelových čoček $0,014 \pm 0,193$ mm. V současné studii se hodnoty ve stejném časovém úseku změnilo průměrně o $0,01 \pm 0,02$ mm. Pro větší přesnost byl v tomto porovnání jeden případ hydrogelových čoček odstraněn.

Sel, S a spol. [67] ve své studii opět zkoumali rozdíly v opakovaných měřeních na přístroji Pentacam a zjistili průměrnou odchylku u průměrné keratometrie přední plochy rohovky $-0,02 \pm 0,09$ dpt. V současné studii byla pro porovnání z průměrných hodnot zakřivení přední

plochy rohovky získaných ve výchozím měření a poté ihned po vyndání čoček vypočtena optická mohutnost přední plochy rohovky. Průměrná změna činila $-0,06 \pm 0,16$ dpt.

Byla dohledána studie, ve které Goudie, C a spol. [68] zkoumali vliv načasování sundání kontaktních čoček před provedením měření biometrie oka. Biometrie byla změřena ihned po vyndání čoček a následně po 2, 4 a 7 dnech od jejich vyndání. Studie [68] ukázala, že kontaktní čočky neměly vliv na výsledky biometrie oka a jejich vyjmutí před zahájením nemusí být časově odstupňováno. Všechna opakovaná měření centrálního zakřivení rohovky u kontrolní skupiny měla průměrnou změnu o $0,12 \pm 0,09$ dpt. U nositelů činila po vyndání čoček z oka průměrná změna $0,16 \pm 0,11$ dpt. [68] Z těchto hodnot je patrné, že aplikace kontaktních čoček ve studii, kterou vedl Goudie, C [68], neměla na parametry rohovky a měření biometrie významný vliv, když byly čočky vyndány z oka bezprostředně před zahájením měření.

Změny dosažené v rámci **hloubky přední komory** opět nenabývaly signifikantních změn. Je zde znovu uveden úryvek z Tabulky 6-2, kde jsou průměrné změny mezi jednotlivými časy měření. Stejně jako v předchozím případě Sel, S a spol. [67] zkoumali změny v opakovatelnosti měření na přístroji Pentacam. Průměrná odchylka měření tohoto parametru byla stanovena na $-0,001 \pm 0,03$ mm. Vypočítaná směrodatná odchylka se liší od směrodatných odchylek v této práci pouze minimálně.

Tabulka 7-2: Porovnání měření ACD v jednotlivých časech (vytaženo z Tabulky 6-2)

	V x 0	0 x 15	15 x 30	30 x 45	45 x 60	V x 60
	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]	průměr ± SD [min; max]
ACD [mm]	$-0,02 \pm 0,05$ [-0,15; 0,13]	$0,01 \pm 0,05$ [-0,12; 0,18]	$0,02 \pm 0,03$ [-0,08; 0,07]	$0 \pm 0,04$ [-0,06; 0,15]	$0 \pm 0,04$ [-0,07; 0,11]	$0,01 \pm 0,05$ [-0,14; 0,16]

Závěrem diskuze je nutné říct, že skupina měřených osob obsahovala pouze malý počet subjektů (20) a malým věkovým rozpětím (21 – 28 let). K dalšímu posouzení by bylo potřebné měřenou skupinu rozšířit a přidat kontrolní skupinu, která by mapovala hodnoty přirozených změn, které by nebyly případně způsobené vlivem kontaktních čoček na oko. U kontrolních skupin by měření probíhalo stejným způsobem, jen s tím rozdílem, že by u nich nebyly aplikovány kontaktní čočky.

8 Závěr

V úvodu teoretické části bakalářské práce byly shromážděny informace o anatomii, fyziologii rohovky a poté o přirozených změnách rohovky, ke kterým v průběhu dne dochází. Ze studie Read, S [9] bylo zjištěno, že se během dne refrakční stav oka běžně mění o 0,25 dpt do plusu i do mínusu. Dále se teoretická část zaměřila na refrakci oka, která byla rozdělena na subjektivní a objektivní. Hlavním rozdílem je, že ke stanovení subjektivní refrakce je nutná aktivní spolupráce vyšetřovaného. Došlo k popsání patologických a fyziologických změn refrakce, ke kterým může docházet. Závěr teoretické části byl zaměřen na problematiku měkkých kontaktních čoček. V první řadě byly popsány základní vlastnosti měkkých kontaktních čoček, v závěru této kapitoly byl pomocí dohledaných studií objasněn vliv kontaktních čoček na parametry oka a případně na refrakci.

Cílem experimentální části práce bylo zjistit, zda měkké kontaktní čočky ovlivní subjektivní refrakci, jsou-li z oka vyjmuty těsně před zahájením měření. K posouzení tohoto vlivu byly 20 subjektům změřeny následující parametry: sférická korekce, cylindrická korekce, osa cylindru, centrální tloušťka rohovky, hodnota astigmatismu přední plochy rohovky, průměrné zakřivení přední a zadní plochy rohovky a hloubka přední komory. Měření proběhlo ve dvou termínech. První termín byl využit ke změření výchozích hodnot, které byly poté porovnány s hodnotami naměřenými v rámci druhého termínu, kdy došlo ke změření výše zmíněných parametrů bezprostředně po vyndání čoček z oka (0 minut) a dále v čase po 15, 30, 45 a nakonec 60 minutách od sundání čoček.

Tyto naměřené hodnoty byly podrobeny statistické analýze (ANOVA), která neodhalila žádné signifikantní změny a tím byla přijata nulová hypotéza H_0 , která říká, že si jsou hodnoty změn, naměřené mezi jednotlivými parametry v jednotlivých časech, vždy pro daný parametr navzájem rovny.

Průměrná změna, ke které došlo ve srovnání výchozí hodnoty a hodnoty naměřené ihned po sundání kontaktních čoček, se u **sférické korekce** pohybovala v rozmezí $-0,5$ do $0,25$ dpt (průměr \pm SD: $-0,07 \pm 0,19$), **cylindrické korekce** v rozmezí $-0,5$ do $0,25$ dpt (průměr \pm SD: $-0,04 \pm 0,15$), **CCT** v rozmezí od -27 do 24 μm (průměr \pm SD: $1,55 \pm 9,99$), **astigmatismu přední plochy rohovky** v rozmezí $-0,2$ do $0,4$ dpt (průměr \pm SD: $-0,02 \pm 0,16$), **průměrného zakřivení přední plochy rohovky** v rozmezí $-0,08$ do $0,06$ mm (průměr \pm SD: $0,01 \pm 0,03$), **průměrného zakřivení zadní plochy rohovky** v rozmezí $-0,13$ do $0,08$ mm (průměr \pm SD: $0 \pm 0,05$) a **ACD** v rozmezí $-0,15$ do $0,13$ mm (průměr \pm SD: $-0,02 \pm 0,05$).

V současné době se na pacienty ve většině případů apeluje, aby si kontaktní čočky z oka vyndali v určité době před příchodem do oční optiky či ordinace. Doba, po kterou mají být čočky z oka vyjmuty, však není často jednoznačně stanovená.

Z tohoto vyhodnocení pro danou měřenou skupinu vyplývá, že by nositelé měkkých kontaktních čoček, kteří se chystají na měření zraku do očních optik či k oftalmologovi, mohli přijít s nasazenými kontaktními čočkami a sundat si je bezprostředně před zahájením měření. Tato studie se ale zaměřuje pouze na malou skupinu (20 subjektů) nositelů kontaktních čoček, která se skládá jen z mladých lidí (věkové rozmezí 21 – 28 let). Není tedy možné předpokládat, jakým způsobem by se jednotlivé parametry měnily v jiných věkových kategoriích. Studie také obsahuje pouze jednoho nositele hydrogelových čoček, přičemž tyto čočky v dnešní době na trhu sice nepřevládají, ale jsou stále aplikovány. Dalším vlivem působícím na změny parametrů rohovky by mohly být stabilizační zóny u vyšších hodnot cylindru torických kontaktních čoček. Z celkových 20 osob, které se podrobily měření, měly torické kontaktní čočky aplikovány pouze 2 osoby a nejvyšší hodnota cylindru činila $-1,25$ dpt.

K ověření naměřených dat by bylo dále vhodné studii rozšířit o subjekty z jiných věkových kategorií, stejně tak do měření zahrnout větší množství subjektů, kteří nosí torické či hydrogelové kontaktní čočky.

9 Bibliografie

- [1] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství. 2.*, přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [2] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu. 2.* aktualizované a doplněné vydání. Praha: Maxdorf, 2021. ISBN 978-80-7345-704-4.
- [3] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství: pro pregraduální i postgraduální přípravu. Druhé,* přepracované vydání. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- [4] ŠTROFOVÁ, Helena. *Praktická oftalmologie.* Praha: Mladá fronta, 2018. ISBN 978-80-204-4888-0.
- [5] PAŠTA, Jiří. *Základy očního lékařství.* Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2017. ISBN 978-80-246-2460-0.
- [6] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění. 2.*, dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [7] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník. 1. vydání.* Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [8] PATEL, S, J MARSHALL a F FITZKE. *Shape and radius of posterior corneal surface* [online]. 1993, 173-181 [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8343438/>
- [9] READ, Scott a Michael COLLINS. Diurnal Variation of Corneal Shape and Thickness. *Optometry and Vision Science* [online]. 2009, **86**(3), 170-180 [cit. 2022-09-29]. ISSN 1040-5488. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e3181981b7e
- [10] ATCHISON, David a George SMITH. *Optics of the human eye.* Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 07-506-3775-7.
- [11] FENG, Yunwei, Jalazah VARIKOOTY a Trefford SIMPSON. Diurnal Variation of Corneal and Corneal Epithelial Thickness Measured Using Optical Coherence Tomography. *Cornea* [online]. 2001, **20**(5), 480-483 [cit. 2022-09-29]. ISSN 0277-3740. Dostupné z: doi:10.1097/00003226-200107000-00008
- [12] HOLDEN, Brien, George MERTZ a John MCNALLY. Corneal Swelling Response to Contact Lenses Worn Under Extended Wear Conditions. *Association for Research in Vision and Ophthalmology* [online]. 1983, **24**(2), 218-26 [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6826325/>
- [13] HARPER, C, M BOULTON, D BENNETT, B MARCYNIUK, J JARVIS-EVANS, A TULLO a A RIDGWAY. Diurnal variations in human corneal thickness. *British Journal*

- of Ophthalmology* [online]. 1996, **80**(12), 1068-1072 [cit. 2022-09-29]. ISSN 0007-1161. Dostupné z: doi:10.1136/bjo.80.12.1068
- [14] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Kontaktní čočky*. První. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-701-3387-2.
- [15] BAJER, Jiří. *Optika*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015-2018. ISBN 978-80-244-4532-8.
- [16] MALÝ, Petr. *Optika*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1342-0.
- [17] ŠVEC, Miloslav a Jiří VONDRÁK. *APLIKOVANÁ OPTIKA A ELEKTRONIKA: MODUL 01 OPTICKÁ ZOBRAZENÍ* [online]. Brno, 2004 [cit. 2022-09-30]. Dostupné z: <https://adoc.pub/aplikovana-optika-a-elektronikae4d06794efe79ad9a671a810caf84e3274199.html>. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta stavební.
- [18] NOVÁK, Jiří. *Aplikovaná optika* [online]. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2006 [cit. 2022-09-30]. Dostupné z: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/geometr_optika_zaklady1.pdf. Přednáška. Fakulta stavební ČVUT v Praze.
- [19] LORCH, Richard. Ibn al-Haytham: Arab astronomer and mathematician. *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Ibn-al-Haytham>
- [20] RABBETTS, Ronald B. *Clinical Visual optics*. 4. edition. UK: Butterworth Heinemann Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8874-1.
- [21] SMITH, George a David ATCHISON. *The eye and visual optical instruments*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. ISBN 05-214-7820-0.
- [22] AUTRATA, Rudolf a Jana ČERNÁ. *Nauka o zraku*. První - dotisk. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [23] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. 1. Weinheim: Wiley-VCH, 2014. ISBN 978-3-527-41068-2.
- [24] ŠTROFOVÁ, Helena, Karel SEDLÁČEK, Alena JAROŠOVÁ a Petra TEPLANOVÁ. Základní oční vyšetření a terapie v praxi praktického lékaře. *Medicina pro praxi* [online]. 2004, **9**(6-7), 285-292 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2012/06/08.pdf>

- [25] HORNOVÁ, Jara. *Oční propedeutika*. 1. vydání. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [26] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to Visual optics*. Fourth edition. London: ABDO, 1993. ISBN 978-0-900-09928-1.
- [27] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. První. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [28] VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. *Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.
- [29] LANG, Gerhard a Oskar GAREIS. *Ophthalmology: a pocket textbook atlas*. 2nd ed., rev. and enlarged. Stuttgart: Thieme, 2007. Clinical sciences. ISBN 978-3-13-126162-5.
- [30] ASIMELLIS, George. *Visual Optics: Lectures in Optics, Vol. 4* [online]. ProQuest Ebook Central: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2022 [cit. 2022-10-08]. ISBN 9781510622623. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=6804079>
- [31] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-701-3402-X.
- [32] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. První. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000, 189 s. ISBN 80-701-3301-5.
- [33] Snellenovy optotypy. In: *Zelený zákal: Informace pro pacienty* [online]. Praha: MeDitorial, 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.zeleny-zakal.cz/snellenovy-optotypy>
- [34] HAVELKOVÁ, Barbara. Refrakční stav oka: ve vztahu k očním a celkovým chorobám. *Česká oční optika* [online]. EXPO DATA spol. s r.o, 2007, **2016**(01), 36-39 [cit. 2022-10-21]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: https://www.4oci.cz/archiv_4o23-2016-51
- [35] NOVÁK, Jiří. *Geometrická a brýlová optika: Změna refrakční hodnoty při změně délky oka*. ČVUT Fbmi Praha, 2021. [přednáška].
- [36] 3 Most Common Causes of Fluctuating Vision. In: *Sure Vision: Eye Centers* [online]. United States: SureVision Eye Centers, 2022 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://surevision.com/3-most-common-causes-of-fluctuating-vision/>
- [37] DEBROWSKI, Adam. Gradual or sudden vision changes: Is this normal?. In: *All about vision* [online]. USA: AAV Media, LLC, 2000 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://www.allaboutvision.com/conditions/fluctuating-vision/>
- [38] EFRON, Nathan. *Contact Lens Practice*. 3. Great Britain: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-7020-6660-3.

- [39] MICHÁLEK, Jiří, Dana CHMELÍKOVÁ, Eva CHYLÍKOVÁ KRUMBHOLCOVÁ, Jiří PODEŠVA a Miroslava DUŠKOVÁ SMRČKOVÁ. Historie měkkých kontaktních čoček aneb jak to bylo doopravdy. *Chemické listy* [online]. 2018, **112**(3), 143-147 [cit. 2023-05-12]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/issue/view/260>
- [40] Průzkum aplikace kontaktních čoček v České republice v roce 2016. *Kontaktologické listy*. Praha, 2016, (4), 05-07.
- [41] *Průzkum aplikace kontaktních čoček: Výsledky průzkumu aplikací v ČR za rok 2017*. Praha, 2017.
- [42] BĚLOVÁ, Šárka. ČESKÁ KONTAKTOLOGICKÁ SPOLEČNOST. *Průzkum aplikace kontaktních čoček: Výsledky průzkumu aplikace kontaktních čoček v České republice za rok 2019*. Praha, 2019, 5 s.
- [43] VEYS, Jane, John MEYLER a Ian DAVIES. *Essential Contact Lens Practice: A practical guide*. 1. Anglie: The Vision Care institute of Johnson and Johnson Medical Ltd, 2009. 841567121.
- [44] ELLIOTT, David B. *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. 4. edition. Elsevier Saunders, 2014. ISBN 978-0-7020-5194-4.
- [45] BAILEY, Ian a Leo CARNEY. Corneal Changes from Hydrophilic Contact Lenses. *Victorian College of Optometry*. Melbourne, Australia, 1973, (56), 305-309.
- [46] PETROVÁ, Sylvie, Zdeňka MAŠKOVÁ a Tomáš JUREČKA. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2.
- [47] MICHÁLEK, Jiří. *Botnavost a mechanické vlastnosti kontaktních čoček: Kontaktní čočky I*. Kladno, 2022. Přednáška. Fakulta biomedicínského inženýrství - ČVUT.
- [48] MICHÁLEK, Jiří. *Materiálové parametry kontaktních čoček: Makromolekulární chemie*. Kladno, 2021. Přednáška. Fakulta biomedicínského inženýrství - ČVUT.
- [49] MICHÁLEK, Jiří. *Materiály kontaktních čoček: Kontaktní čočky I*. Kladno, 2022. Přednáška. Fakulta biomedicínského inženýrství - ČVUT.
- [50] MICHÁLEK, Jiří. *Silikonhydrogely: očekávání a realita: Materiál, design, vlastnosti: Makromolekulární chemie*. Kladno, 2021. Přednáška. Fakulta biomedicínského inženýrství - ČVUT.
- [51] GASSON, Andrew a Judith MORRIS. *The Contact Lens Manual: A practical guide to fitting*. 3. Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-5548-8.
- [52] EFRON, Nathan. *Contact Lens Practice*. 2. Butterworth Heinemann Elsevier, 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7.

- [53] SKOTNITSKY, Cheryl, Padmaja SANKARIDURG, Deborah SWEENEY a Brien HOLDEN. General and local contact lens induced papillary conjunctivitis (CLPC). *Clinical and Experimental Optometry* [online]. 2002, **85**(3), 193-197 [cit. 2022-12-06]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1444-0938.2002.tb03034.x
- [54] EFRON, Nathan. Contact lens-induced epithelial microcysts. *Optician: Continuing education* [online]. 1996, **211**(5549), 33-38 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://eprints.qut.edu.au/11414/1/11414.pdf>
- [55] HONG, Jiaxu, Tingting QIAN, Yujing YANG, Chunhui JIANG, Zuguo LIU, Xinghuai SUN, Sophie DENG a Jianjiang XU. Corneal Epithelial Thickness Map in Long-Term Soft Contact Lenses Wearers. *Optometry and Vision Science: Cornea and Contact Lenses*. American Academy of Optometry, 2014, **91**(12), 1455-1461. ISSN 1040-5488.
- [56] JALBERT, I, D SWEENEY a F STAPLETON. The effect of long-term wear of soft lenses of low and high oxygen transmissibility on the corneal epithelium. *Eye* [online]. 2009, **23**(6), 1282-1287 [cit. 2022-12-29]. ISSN 0950-222X. Dostupné z: doi:10.1038/eye.2008.307
- [57] PATEL, Sanjay, Jay MCLAREN, David HODGE a William BOURNE. Confocal Microscopy In Vivo in Corneas of Long-Term Contact Lens Wearers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. **43**(4), 995-1003 [cit. 2022-11-17]. 11923239. Dostupné z: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2200179>
- [58] TYAGI, Garima, Michael COLLINS, Scott READ a Brett DAVIS. Regional Changes in Corneal Thickness and Shape with Soft Contact Lenses. *Optometry and Vision Science*. 2010, **87**(8), 567-575. Dostupné z: doi:10.1097/OPX.0b013e3181e61b78
- [59] ALBA-BUENO, Francisco, Angel BELTRAN-MASGORET, Cristian SANJUAN, Marc BIARNÉS a Jesús MARÍN. Corneal shape changes induced by first and second generation silicone hydrogel contact lenses in daily wear. *Contact Lens & Anterior Eye*. BCLA - British Contact Lens Association, 2009, **2**(32), 88-92. Dostupné z: doi:10.1016/j.clae.2008.11.002
- [60] LIU, Zuguo a Stephen PFLUGFELDER. The Effects of Long-Term Contact Lens Wear on Corneal Thickness, Curvature, and Surface Regularity. *Ophthalmology*. Elsevier Science Inc., 2000, **107**(1), 105-111. ISSN 0161-6420.
- [61] PLAČKOVÁ, Barbora. *Dočasná změna objektivní a subjektivní refrakce po aplikaci kontaktních čoček*. Brno, 2018. Diplomová práce. Masarykova univerzita - Lékařská fakulta - Katedra optometrie a ortoptiky. Vedoucí práce Gabriela Spurná.
- [62] HRUŠKOVÁ, Karolína. *Vliv aplikace kontaktních čoček na parametry rohovky*. Brno, 2015. Diplomová práce. Masarykova univerzita - Lékařská fakulta - Katedra optometrie a ortoptiky. Vedoucí práce Sylvie Petrová.
- [63] PURSLOW, Christine. The interaction between contact lenses and the tear film. *The Free Library: Optometry Today* [online]. 2010 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z:

- [https://www.thefreelibrary.com/The interaction between contact lenses and the tear film.-a0221655259](https://www.thefreelibrary.com/The+interaction+between+contact+lenses+and+the+tear+film.-a0221655259)
- [64] VASAVADA, Navendu. One-way ANOVA (ANalysis Of VArIance) with post-hoc Tukey HSD (Honestly Significant Difference) Test Calculator for comparing multiple treatments. In: *Astatsa* [online]. 2016 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: https://astatsa.com/OneWay_Anova_with_TukeyHSD/
- [65] RADAIE-MOGHADAM, Somayeh, Hassan HASHEMI, Ebrahim JAFARZADEHPUR, AbbasAli YEKTA a Mehdi KHABAZKHOOB. Corneal biomechanical changes following toric soft contact lens wear. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*. 2016, **11**(2), 131-135. ISSN 2008-322X. Dostupné z: doi:10.4103/2008-322X.183921
- [66] KIRALY, Laszlo, Jana STANGE, Kathleen KUNERT a Saadettin SEL. Repeatability and Agreement of Central Corneal Thickness and Keratometry Measurements between Four Different Devices. *Journal of Ophthalmology* [online]. 2017, **2017**, 1-8 [cit. 2023-05-10]. ISSN 2090-004X. Dostupné z: doi:10.1155/2017/6181405
- [67] SEL, Saadettin, Jana STANGE, Delia KAISER a Laszlo KIRALY. Repeatability and agreement of Scheimpflug-based and swept-source optical biometry measurements. *Contact Lens and Anterior Eye* [online]. 2017, **40**(5), 318-322 [cit. 2023-05-10]. ISSN 13670484. Dostupné z: doi:10.1016/j.clae.2017.03.007
- [68] GOUDIE, Colin, Andrew TATHAM, Rhys DAVIES, Alison SIFTON a Mark WRIGHT. The effect of the timing of the cessation of contact lens use on the results of biometry. *Eye*. 2018, **32**(6), 1048-1054. ISSN 0950-222X. Dostupné z: doi:10.1038/s41433-018-0019-1

Seznam symbolů a zkratk

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
Dpt	dioptrie, jednotka optické mohutnosti
SD	z anglického „Standard deviation“ – směrodatná odchylka
ACD	z anglického „Anterior Chamber Depth“ – Hloubka přední komory
OCT	z anglického „Optical Coherence Tomography“ – Optická koherenční tomografie
<i>D_k</i>	permeabilita, schopnost materiálu propouštět kyslík
BUT	z anglického „Break-up time“ – kvalitativní metoda vyšetření slzného filmu
JZC	Jacksonův zkřížený cylindr
SE	Sférický ekvivalent

Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Schématické znázornění změn nalezených na rohovce a přední komoře po probuzení [9].....	11
Obrázek 2-2: Průměrná změna tloušťky rohovky v centru a v periferii [9].....	12
Obrázek 2-3: Střední amplituda změny tloušťky rohovky pro různé oblasti [9].....	12
Obrázek 3-1: Ilustrace znaménkové konvence v geometrické optice [18].....	15
Obrázek 3-2: Optický model oka se šesti optickými plochami [1].....	16
Obrázek 3-3: Akomodační amplituda pro myopické oko [1].....	18
Obrázek 3-4: Emetropické oko [2].....	20
Obrázek 3-5: Myopické oko (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo) [2].....	21
Obrázek 3-6: Hypermetropické oko (vlevo) a jeho brýlová korekce (vpravo) [2].....	21
Obrázek 3-7: Snellenův optotyp [33].....	23
Obrázek 3-8: ETDRS optotyp [2].....	23
Obrázek 4-1: Graf závislosti hodnot Dk a obsahu vody u hydrogelů a silikon–hydrogelů [52].....	32
Obrázek 6-1: Box Plot měřených hodnot sférické korekce v jednotlivých časech měření.....	50
Obrázek 6-2: Box Plot měřených hodnot cylindrické korekce v jednotlivých časech měření.....	51
Obrázek 6-3: Box Plot měřených hodnot centrální tloušťky rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo).....	53
Obrázek 6-4: Box Plot měřených hodnot astigmatismu přední plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo).....	54
Obrázek 6-5: Box Plot měřených hodnot průměrného zakřivení přední plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo).....	55
Obrázek 6-6: Box Plot měřených hodnot průměrného zakřivení zadní plochy rohovky pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo).....	56
Obrázek 6-7: Box Plot měřených hodnot hloubky přední komory pomocí přístroje Pentacam (Oculus, Německo).....	57

Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Parametry schématického Gullstrandova modelu oka [1]	17
Tabulka 3-2: Gullstrandův schématický model oka [1]	18
Tabulka 3-3: Převody hodnot vízu do dálky [2].....	23
Tabulka 4-1: Rozšířené a současné dělení kontaktních čoček [39].....	27
Tabulka 4-2: Základní vlastnosti kontaktních čoček [49]	30
Tabulka 4-3: Srovnání materiálů použitých pro první generaci silikon-hydrogelů [50].....	31
Tabulka 4-4: Srovnání materiálů použitých pro druhou generaci silikon-hydrogelů [50].....	31
Tabulka 4-5: Srovnání materiálů použitých pro třetí generaci silikon-hydrogelů [50].....	31
Tabulka 4-6: Srovnání změn tloušťky epitelu rohovky u dlouhodobých nositelů kontaktních čoček a jejich nenositelů [55]	35
Tabulka 4-7: Parametry čtyř kontaktních čoček použitých ve studii [58].....	36
Tabulka 4-8: Změny, ke kterým došlo po 8 hodinách nošení 4 různých typů čoček v závislosti na normálních hodnotách tloušťky rohovky [58]	37
Tabulka 4-9: Naměřené výsledky změny tloušťky a zakřivení rohovky [45]	37
Tabulka 4-10: Průměrné hodnoty zakřivení rohovky a astigmatismu naměřené u lidí nenosících kontaktní čočky a u nositelů [60]	38
Tabulka 4-11: Průměrné hodnoty tloušťky rohovky u nenositelů a nositelů kontaktních čoček [60]	39
Tabulka 4-12: Hodnoty SE objektivní refrakce naměřené po 4hodinovém intervalu nošení kontaktních čoček [61]	40
Tabulka 4-13: Hodnoty SE subjektivní refrakce naměřené po 4hodinovém intervalu nošení kontaktních čoček [61]	40
Tabulka 4-14: Změny SE objektivní a subjektivní refrakce u hydrogelů a silikon–hydrogelů [61]	40
Tabulka 6-1: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka, minimum a maximum měřených parametrů v každém čase.....	48
Tabulka 6-2: Průměrné změny \pm SD, minimální a maximální dosažené změny mezi jednotlivými termíny	49
Tabulka 7-1: Porovnání měření CCT v jednotlivých časech (vytaženo z Tabulky 6-2)	61
Tabulka 7-2: Porovnání měření ACD v jednotlivých časech (vytaženo z Tabulky 6-2)	62

Příloha A – Přehled nošených kontaktních čoček

	Pohlaví	Věk	Si/Hy	Název čoček	Výrobce	Počet let nošení	Pravid./Obč.	Denní/14D/M	Před 2. měřením [hodina]	Hodnoty čoček [dpt]	
										-0,5	0
1.	Žena	21	Si	Dailies Total 1	Alcon	1	O	D	8	-0,5	0
2.	Žena	22	Si	Acuvue Oasys with HydraClear Plus	Johnson & Johnson	1	O	14D	6	-2	0
3.	Žena	23	Hy	Bio true 1D	Bausch + Lomb	2	O	D	6	-0,5	0
4.	Žena	21	Si	Ultraflex premier	CooperVision	5	P	M	7	-4	0
5.	Žena	26	Si	Clariti 1Day toric	CooperVision	1	O	D	10	-0,75	0
6.	Žena	21	Si	Switch 1Day	CooperVision	2	P	D	8	-3,75	0
7.	Žena	22	Si	Dailies Total 1	Alcon	2	P	D	9,5	-3,75	0
8.	Žena	24	Si	ULTRA	Bausch + Lomb	12	P	M	10,5	-1,25	0
9.	Muž	22	Si	Dailies Total 1	Alcon	1	O	D	11,5	-1,75	0
10.	Žena	21	Si	Air Optix plus HydraGlyde	Alcon	2	P	M	4	-5,5	0
11.	Žena	22	Si	MyDay toric	CooperVision	6	P	D	3,5	0,75	0
12.	Muž	24	Si	Precision 1D	Alcon	11	P	D	8	0,5	0
13.	Žena	22	Si	Bio true 1D	Bausch + Lomb	1	O	D	4,5	-5	0
14.	Žena	26	Si	Biofinity	CooperVision	13	P	M	5	-4,5	0
15.	Žena	23	Si	Air Optix plus HydraGlyde	Alcon	8	P	M	5,5	-0,75	0
16.	Žena	21	Si	ULTRA	Bausch + Lomb	2	P	D	8	-4,5	0
17.	Žena	21	Si	Dailies Total 1	Alcon	1	P	D	8	-4,5	0
18.	Žena	20	Si	VISIOMAX	dm	3	P	M	3,5	-3	0
19.	Žena	28	Si	Acuvue Oasys with Transitions	Johnson & Johnson	12	P	14D	9	-3,75	0
20.	Žena	23	Si	Dailies Total 1	Alcon	8	P	D	7,5	-3,5	0
										-4,75	0
										-3,25	0
										2,75	0
										2,75	0

Příloha B – Měřené hodnoty v rámci 1. termínu

	sph_V [dpt]	cyl_V [dpt]	ax_V [°]	CCT_V [μm]	Ast_V [dpt]	Rm1_V [mm]	Rm2_V [mm]	ACD_V [mm]
1.	-0,50	0	0	542	0,5	7,8	6,31	3,05
	-0,50	0	0	556	0,5	7,75	6,25	3,12
2.	-2,00	-0,50	130	516	0,8	7,61	6,21	2,98
	-1,75	-0,50	30	515	1,2	7,62	6,22	3,01
3.	-0,25	-0,50	115	560	0,6	7,47	5,92	3
	-0,50	-0,50	60	562	0,6	7,39	5,87	3,04
4.	-4,75	0	0	595	0,9	7,54	6,01	3,14
	-4,50	-0,25	47	597	1,1	7,55	5,95	3,16
5.	0,50	-1,00	173	588	1,8	7,98	6,45	2,88
	0,25	-0,75	180	591	1,6	7,96	6,51	2,86
6.	-4,25	0	0	544	0,4	7,92	6,36	3,18
	-4,25	-0,25	150	540	0,9	7,91	6,39	3,14
7.	-1,50	0	0	544	0,5	7,49	6,18	3,25
	-2,00	0	0	539	0,7	7,44	6,06	3,37
8.	-5,25	-0,75	180	639	1,9	7,4	5,9	3,5
	-6,50	-0,25	53	634	1,1	7,47	5,95	3,22
9.	1,00	-0,25	170	549	0,8	7,92	6,51	3,03
	0,50	-0,25	20	554	0,7	7,95	6,47	3,03
10.	-5,75	-0,25	85	533	0,5	8,14	6,54	3,37
	-5,25	0	0	526	0,5	8,15	6,58	3,39
11.	-6,50	-1,25	180	572	1,6	7,32	5,99	2,87
	-6,00	-1,50	180	571	1,9	7,34	6,04	2,78
12.	-3,00	-0,25	160	544	0,8	7,79	6,19	2,84
	-3,50	0	0	548	0,7	7,82	6,13	2,98
13.	-0,50	-1,00	176	595	1,7	7,43	6,07	3,05
	-0,75	-0,75	10	581	1,5	7,47	6,11	3,14
14.	-6,00	0	0	513	1,1	7,99	6,42	2,98
	-5,50	-0,75	3	521	1,1	7,97	6,41	3,08
15.	-5,00	-0,25	56	546	0,9	7,6	6,11	3,3
	-4,25	-0,50	170	537	1,3	7,56	6,16	3,43
16.	-4,75	-0,25	53	600	0,9	7,94	6,46	3,6
	-4,75	-0,25	4	597	1,1	7,97	6,53	3,62
17.	-3,75	-0,25	99	549	0,7	7,55	6,13	3,33
	-4,25	-0,25	70	548	0,3	7,57	6,2	3,27
18.	-3,50	-0,75	25	523	1,4	7,96	6,44	3,1
	-3,50	-0,75	10	519	1,5	7,98	6,45	3,06
19.	-4,50	-0,50	176	571	1,3	7,69	6,25	3,11
	-3,00	-0,75	170	571	1,3	7,74	6,25	3,07
20.	3,00	-0,25	180	559	0,4	8,16	6,67	2,37
	2,50	-0,25	10	572	0,9	8,13	6,59	2,48

Příloha C – Měřené hodnoty v rámci 2. termínu

Příloha C1: Hodnoty naměřené **bezprostředně** po vyjmutí kontaktních čoček z oka.

	sph_0 [dpt]	cyl_0 [dpt]	ax_0 [°]	CCT_0 [μm]	Ast_0 [dpt]	Rm1_0 [mm]	Rm2_0 [mm]	ACD_0 [mm]
1.	-0,75	0	0	566	0,6	7,78	6,25	3,01
	-0,50	-0,25	95	572	0,4	7,77	6,2	3,04
2.	-2,00	-0,50	130	515	0,8	7,59	6,15	2,98
	-1,50	-0,75	30	513	1,2	7,64	6,19	2,93
3.	-0,50	-0,50	130	572	0,4	7,52	5,84	3,03
	-0,75	-0,50	60	559	0,5	7,41	5,84	2,99
4.	-5,00	0	0	580	1	7,56	6	3,2
	-4,50	-0,25	47	570	0,9	7,58	6	3,13
5.	0,50	-0,75	170	587	1,8	7,99	6,5	2,84
	0,25	-0,75	180	595	1,6	7,99	6,38	2,87
6.	-4,25	0	0	550	0,7	7,94	6,35	3,19
	-4,00	-0,50	155	548	0,8	7,92	6,37	3,16
7.	-1,75	-0,25	134	540	0,6	7,51	6,13	3,23
	-2,25	-0,25	180	539	0,7	7,45	6,11	3,33
8.	-5,50	-1,25	180	653	2	7,46	5,95	3,35
	-6,75	-0,25	53	640	1,3	7,47	5,97	3,15
9.	0,75	-0,25	170	542	0,6	7,97	6,47	3,05
	0,50	-0,25	20	550	0,7	7,97	6,47	3,03
10.	-6,00	-0,25	85	536	0,5	8,16	6,54	3,38
	-5,50	0	0	526	0,6	8,13	6,55	3,35
11.	-6,50	-1,25	180	566	1,4	7,31	6,02	2,81
	-6,25	-1,50	180	562	1,8	7,32	6,08	2,74
12.	-3,25	-0,25	160	543	0,6	7,8	6,25	2,84
	-3,75	0	0	544	0,7	7,79	6,18	2,87
13.	-0,50	-0,75	176	590	1,6	7,45	6,15	3
	-1,00	-0,50	10	598	1,9	7,46	6,04	3,16
14.	-6,00	0	0	514	0,9	8,01	6,46	3,01
	-5,50	-0,75	3	529	1,1	7,89	6,44	3,05
15.	-5,00	-0,25	56	545	1	7,58	6,09	3,43
	-4,75	-0,50	170	532	1,2	7,57	6,22	3,28
16.	-4,75	-0,25	53	593	0,7	7,96	6,47	3,54
	-4,75	-0,25	4	599	1,1	7,99	6,53	3,62
17.	-3,50	-0,25	99	549	0,5	7,56	6,16	3,29
	-4,00	-0,25	70	547	0,4	7,6	6,24	3,25
18.	-3,25	-0,75	25	543	1,2	7,98	6,4	3,09
	-3,50	-1,00	10	543	1,4	7,97	6,45	3,1
19.	-4,50	-0,50	176	569	1,2	7,73	6,21	3,04
	-3,25	-0,75	170	581	1,6	7,73	6,23	3,04
20.	3,25	-0,50	180	555	0,6	8,16	6,62	2,36
	2,75	-0,50	10	568	0,7	8,15	6,63	2,46

Příloha C2: Hodnoty naměřené po uplynutí **15 minut** od sundání kontaktních čoček.

	sph_15 [dpt]	cyl_15 [dpt]	ax_15 [°]	CCT_15 [μm]	Ast_15 [dpt]	Rm1_15 [mm]	Rm2_15 [mm]	ACD_15 [mm]
1.	-0,75	0	0	553	0,4	7,79	6,18	3,1
	-0,25	-0,50	90	565	0,6	7,76	6,17	3,22
2.	-2,25	-0,50	130	508	0,8	7,59	6,13	3
	-1,75	-0,75	30	515	1,3	7,65	6,21	3
3.	-0,25	-0,50	130	563	0,5	7,51	5,89	2,98
	-0,50	-0,50	60	568	0,5	7,4	5,84	3,04
4.	-5,00	0	0	578	0,9	7,57	5,99	3,22
	-4,50	-0,25	47	562	0,9	7,59	6,06	3,11
5.	0,25	-1,00	176	584	1,7	7,97	6,51	2,83
	0	-0,50	180	586	1,8	7,94	6,47	2,85
6.	-4,25	-0,25	30	538	0,6	7,96	6,36	3,18
	-4,25	-0,50	155	543	0,9	7,93	6,36	3,16
7.	-1,75	-0,25	134	531	0,6	7,49	6,25	3,18
	-2,25	-0,25	180	540	0,8	7,44	6,05	3,36
8.	-5,50	-1,25	180	651	1,9	7,48	5,91	3,43
	-6,75	-0,25	53	637	0,9	7,51	5,99	3,22
9.	0,50	-0,25	170	545	0,5	7,98	6,48	3,05
	0,50	-0,25	20	556	0,7	7,97	6,45	3,04
10.	-5,75	-0,25	85	524	0,5	8,17	6,55	3,34
	-5,50	0	0	527	0,7	8,12	6,54	3,36
11.	-6,75	-1,00	180	562	1,5	7,3	6,04	2,84
	-6,25	-1,50	180	564	2	7,33	6,04	2,78
12.	-3,25	-0,25	160	541	0,6	7,81	6,23	2,92
	-3,75	0	0	530	0,6	7,81	6,24	2,87
13.	-0,75	-0,75	176	593	1,7	7,43	6,09	3,02
	-1,00	-0,50	10	595	1,8	7,45	6,09	3,15
14.	-6,00	0	0	511	1	7,98	6,45	2,99
	-5,50	-0,75	3	518	0,9	8	6,46	3,04
15.	-5,00	-0,25	56	520	0,5	7,6	6,28	3,31
	-4,75	-0,50	170	502	0,1	7,61	6,16	3,29
16.	-5,00	-0,25	53	591	0,8	7,95	6,45	3,57
	-4,75	-0,25	4	585	1,1	8	6,54	3,58
17.	-3,50	-0,25	99	547	0,5	7,55	6,17	3,31
	-3,75	-0,25	70	535	0,3	7,58	6,31	3,24
18.	-2,75	-1,00	25	538	1,2	7,97	6,4	3,1
	-3,75	-1,00	10	536	1,3	7,96	6,43	3,09
19.	-4,50	-0,50	176	570	1,2	7,75	6,21	3,05
	-3,25	-0,75	170	577	1,5	7,74	6,23	3,05
20.	3,25	-0,50	180	561	0,8	8,13	6,58	2,35
	2,75	-0,50	10	563	0,8	8,14	6,62	2,42

Příloha C3: Hodnoty naměřené po uplynutí **30 minut** od sundání kontaktních čoček.

	sph_30 [dpt]	cyl_30 [dpt]	ax_30 [°]	CCT_30 [μm]	Ast_30 [dpt]	Rm1_30 [mm]	Rm2_30 [mm]	ACD_30 [mm]
1.	-0,75	0	0	554	0,5	7,8	6,23	3,09
	-0,50	-0,25	90	553	0,3	7,77	6,19	3,14
2.	-2,00	-0,50	130	508	0,8	7,6	6,23	2,98
	-1,50	-0,75	30	508	1,1	7,62	6,2	3,06
3.	-0,25	-0,50	130	564	0,4	7,47	5,87	2,99
	-0,50	-0,50	60	553	0,5	7,4	5,89	3
4.	-4,74	0	0	576	1	7,57	6	3,22
	-4,75	-0,25	47	569	0,9	7,58	6,01	3,15
5.	0,25	-1,00	176	586	1,8	7,98	6,5	2,87
	0	-0,75	180	594	2	7,94	6,44	2,89
6.	-4,25	0	0	534	0,4	7,92	6,36	3,17
	-4,00	-0,25	155	535	0,8	7,94	6,37	3,15
7.	-1,75	-0,25	134	532	0,6	7,51	6,23	3,22
	-2,25	-0,25	180	542	0,8	7,46	6,06	3,37
8.	-5,50	-1,25	180	648	2	7,47	5,9	3,44
	-7,00	0	0	646	1	7,5	5,93	3,24
9.	0,50	-0,25	170	547	0,6	7,96	6,44	3,06
	0,25	-0,25	20	551	0,7	7,96	6,44	3,02
10.	-5,75	-0,25	85	529	0,5	8,13	6,55	3,39
	-5,50	0	0	523	0,6	8,12	6,55	3,35
11.	-7,00	-1,00	180	558	1,4	7,31	6,04	2,85
	-6,25	-1,50	180	569	1,9	7,31	6,04	2,82
12.	-3,25	-0,25	160	540	0,5	7,81	6,21	2,86
	-3,75	0	0	538	0,5	7,81	6,2	2,92
13.	-0,50	-0,75	176	592	1,7	7,43	6,07	3,02
	-0,75	-0,50	10	592	1,8	7,46	6,1	3,15
14.	-6,00	0	0	520	1,2	8,01	6,39	3,03
	-5,50	-0,75	3	518	1	7,99	6,47	3,11
15.	-5,00	-0,25	56	548	0,6	7,62	6,26	3,35
	-4,75	-0,50	170	538	1,2	7,54	6,15	3,34
16.	-5,00	-0,25	53	590	0,8	7,97	6,47	3,63
	-4,75	-0,25	4	591	1	7,99	6,53	3,61
17.	-3,50	-0,25	99	548	0,6	7,56	6,15	3,29
	-4,00	-0,25	70	542	0,3	7,59	6,24	3,27
18.	-2,75	-1,00	25	539	1,3	7,97	6,42	3,12
	-3,50	-1,00	10	537	1,3	7,98	6,47	3,11
19.	-4,50	-0,50	176	565	1,1	7,74	6,27	3,11
	-3,25	-0,75	170	578	1,4	7,75	6,18	3,09
20.	3,25	-0,50	180	561	0,8	8,12	6,58	2,38
	3,00	-0,50	10	560	0,7	8,14	6,6	2,46

Příloha C4: Hodnoty naměřené po uplynutí **45 minut** od sundání kontaktních čoček.

	sph_45 [dpt]	cyl_45 [dpt]	ax_45 [°]	CCT_45 [μm]	Ast_45 [dpt]	Rm1_45 [mm]	Rm2_45 [mm]	ACD_45 [mm]
1.	-0,75	0	0	556	0,5	7,77	6,22	3,09
	-0,50	-0,25	90	558	0,6	7,75	6,2	3,16
2.	-2,25	-0,50	130	513	0,9	7,57	6,15	3,02
	-1,75	-0,75	30	513	1,5	7,61	6,22	3,05
3.	-0,25	-0,50	130	560	0,6	7,49	5,89	2,98
	-0,50	-0,50	60	559	0,6	7,4	5,85	3,03
4.	-4,75	0	0	583	1	7,54	6,01	3,16
	-4,75	-0,25	55	571	0,9	7,57	5,99	3,16
5.	0,25	-1,00	176	582	1,8	7,99	6,54	2,84
	0	-1,00	180	590	1,8	7,93	6,45	2,89
6.	-4,25	0	0	533	0,5	7,95	6,38	3,17
	-4,00	-0,25	155	534	0,9	7,95	6,38	3,15
7.	-1,75	-0,25	134	537	0,6	7,49	6,16	3,26
	-2,25	-0,25	180	538	0,6	7,44	6,09	3,37
8.	-5,25	-0,75	180	647	2	7,47	5,93	3,42
	-7,00	0	0	645	1	7,5	5,93	3,39
9.	0,50	-0,25	170	549	0,6	7,97	6,41	3,04
	0,25	-0,25	20	548	0,7	7,98	6,46	3,01
10.	-5,75	-0,25	85	528	0,4	8,16	6,57	3,38
	-5,50	0	0	524	0,6	8,11	6,56	3,37
11.	-7,00	-1,00	180	560	1,3	7,32	6,04	2,89
	-6,00	-1,50	180	560	1,9	7,32	6,08	2,81
12.	-3,25	-0,25	160	541	0,6	7,8	6,19	2,86
	-3,75	0	0	547	0,7	7,83	6,16	2,98
13.	-0,50	-0,75	176	595	1,6	7,43	6,06	3,04
	-0,75	-0,50	10	598	1,5	7,45	6,04	3,19
14.	-6,00	0	0	514	0,9	8	6,42	3,01
	-5,50	-0,75	3	518	0,8	7,99	6,42	3,12
15.	-5,00	-0,25	56	541	0,5	7,61	6,22	3,42
	-4,75	-0,50	170	532	1,3	7,57	6,19	3,28
16.	-5,00	-0,25	53	590	0,8	7,94	6,51	3,58
	-4,75	-0,25	4	590	1,1	7,89	6,58	3,61
17.	-3,50	-0,25	99	542	0,5	7,57	6,19	3,28
	-4,00	-0,25	70	550	0,4	7,58	6,22	3,27
18.	-2,25	-1,00	25	537	1,1	7,96	6,4	3,12
	-3,50	-1,00	10	534	1,4	7,97	6,46	3,09
19.	-4,50	-0,50	176	571	1,4	7,73	6,2	3,11
	-3,25	-0,75	170	577	1,4	7,73	6,24	3,08
20.	3,25	-0,50	180	560	0,7	8,15	6,59	2,33
	3,00	-0,50	10	565	0,7	8,14	6,62	2,46

Příloha C5: Hodnoty naměřené po uplynutí **60 minut** od sundání kontaktních čoček.

	sph_60 [dpt]	cyl_60 [dpt]	ax_60 [°]	CCT_60 [μm]	Ast_60 [dpt]	Rm1_60 [mm]	Rm2_60 [mm]	ACD_60 [mm]
1.	-0,50	0	0	557	0,4	7,8	6,22	3,11
	-0,50	-0,25	90	564	0,4	7,77	6,16	3,12
2.	-2,25	-0,50	130	511	1	7,59	6,17	3
	-1,50	-0,75	30	503	1,4	7,62	6,27	3
3.	-0,25	-0,50	130	564	0,4	7,48	5,91	2,99
	-0,50	-0,50	60	562	0,5	7,4	5,9	3,01
4.	-4,75	0	0	581	1,1	7,57	5,98	3,23
	-4,50	-0,25	55	570	0,9	7,58	6,01	3,15
5.	0,25	-1,00	176	585	1,8	7,98	6,48	2,87
	0	-1,00	180	589	1,8	7,94	6,45	2,88
6.	-4,25	0	0	540	0,6	7,93	6,4	3,2
	-4,00	-0,25	155	536	0,8	7,93	6,41	3,17
7.	-1,75	-0,25	134	542	0,7	7,48	6,1	3,29
	-2,25	-0,25	180	551	0,7	7,42	6,03	3,43
8.	-5,50	-0,75	180	635	2,1	7,5	5,93	3,36
	-7,00	0	0	642	1	7,48	5,93	3,32
9.	0,50	-0,25	170	549	0,6	7,97	6,41	3,06
	0,25	-0,25	20	552	0,8	7,96	6,47	3,01
10.	-5,75	-0,25	85	527	0,4	8,14	6,55	3,39
	-5,50	0	0	522	0,6	8,12	6,55	3,36
11.	-6,75	-1,00	180	561	1,3	7,32	6,06	2,87
	-6,25	-1,50	180	556	1,9	7,33	6,08	2,79
12.	-3,25	-0,25	160	542	0,7	7,83	6,21	2,87
	-3,75	0	0	540	0,5	7,82	6,19	3,02
13.	-0,50	-0,75	176	593	1,4	7,42	6,11	3,05
	-1,00	-0,50	10	593	1,8	7,47	6,05	3,19
14.	-6,00	0	0	505	0,8	8	6,48	3
	-5,50	-0,75	3	525	1	8,02	6,41	3,09
15.	-5,00	-0,25	56	554	0,7	7,59	6,16	3,46
	-4,75	-0,50	170	537	1,3	7,57	6,13	3,39
16.	-5,00	-0,25	53	587	0,8	7,97	6,55	3,53
	-4,75	-0,25	4	597	1,2	7,97	6,54	3,62
17.	-3,75	-0,25	99	543	0,7	7,57	6,15	3,27
	-4,00	-0,25	70	543	0,4	7,56	6,22	3,27
18.	-1,75	-1,00	25	529	1	7,97	6,46	3,13
	-3,50	-1,00	10	535	1,5	7,95	6,44	3,12
19.	-4,50	-0,50	176	569	1,3	7,74	6,22	3,11
	-3,25	-0,75	170	578	1,5	7,74	6,22	3,06
20.	3,25	-0,50	180	561	0,9	8,16	6,6	2,39
	3,00	-0,50	10	564	0,7	8,13	6,64	2,47

Příloha D – Změny hodnot mezi termíny

D1: Změny, ke kterým došlo bezprostředně po sundání kontaktních čoček (0) vůči výchozí hodnotě (V).

V x 0								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	-0,25	0	0	24	0,1	-0,02	-0,06	-0,04
	0	-0,25	95	16	-0,1	0,02	-0,05	-0,08
2.	0	0	0	-1	0	-0,02	-0,06	0
	0,25	-0,25	0	-2	0	0,02	-0,03	-0,08
3.	-0,25	0	15	12	-0,2	0,05	-0,08	0,03
	-0,25	0	0	-3	-0,1	0,02	-0,03	-0,05
4.	-0,25	0	0	-15	0,1	0,02	-0,01	0,06
	0	0	0	-27	-0,2	0,03	0,05	-0,03
5.	0	0,25	-3	-1	0	0,01	0,05	-0,04
	0	0	0	4	0	0,03	-0,13	0,01
6.	0	0	0	6	0,3	0,02	-0,01	0,01
	0,25	-0,25	5	8	-0,1	0,01	-0,02	0,02
7.	-0,25	-0,25	134	-4	0,1	0,02	-0,05	-0,02
	-0,25	-0,25	180	0	0	0,01	0,05	-0,04
8.	-0,25	-0,5	0	14	0,1	0,06	0,05	-0,15
	-0,25	0	0	6	0,2	0	0,02	-0,07
9.	-0,25	0	0	-7	-0,2	0,05	-0,04	0,02
	0	0	0	-4	0	0,02	0	0
10.	-0,25	0	0	3	0	0,02	0	0,01
	-0,25	0	0	0	0,1	-0,02	-0,03	-0,04
11.	0	0	0	-6	-0,2	-0,01	0,03	-0,06
	-0,25	0	0	-9	-0,1	-0,02	0,04	-0,04
12.	-0,25	0	0	-1	-0,2	0,01	0,06	0
	-0,25	0	0	-4	0	-0,03	0,05	-0,11
13.	0	0,25	0	-5	-0,1	0,02	0,08	-0,05
	-0,25	0,25	0	17	0,4	-0,01	-0,07	0,02
14.	0	0	0	1	-0,2	0,02	0,04	0,03
	0	0	0	8	0	-0,08	0,03	-0,03
15.	0	0	0	-1	0,1	-0,02	-0,02	0,13
	-0,50	0	0	-5	-0,1	0,01	0,06	-0,15
16.	0	0	0	-7	-0,2	0,02	0,01	-0,06
	0	0	0	2	0	0,02	0	0
17.	0,25	0	0	0	-0,2	0,01	0,03	-0,04
	0,25	0	0	-1	0,1	0,03	0,04	-0,02
18.	0,25	0	0	20	-0,2	0,02	-0,04	-0,01
	0	-0,25	0	24	-0,1	-0,01	0	0,04
19.	0	0	0	-2	-0,1	0,04	-0,04	-0,07
	-0,25	0	0	10	0,3	-0,01	-0,02	-0,03
20.	0,25	-0,25	0	-4	0,2	0	-0,05	-0,01
	0,25	-0,25	0	-4	-0,2	0,02	0,04	-0,02

D2: Změny, ke kterým došlo 15 minut od sundání čoček vůči hodnotám získaným bezprostředně po vyndání kontaktních čoček z oka (0 minut).

0 x 15								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	0	0	0	-13	-0,2	0,01	-0,07	0,09
	0,25	-0,25	-5	-7	0,2	-0,01	-0,03	0,18
2.	-0,25	0	0	-7	0	0	-0,02	0,02
	-0,25	0	0	2	0,1	0,01	0,02	0,07
3.	0,25	0	0	-9	0,1	-0,01	0,05	-0,05
	0,25	0	0	9	0	-0,01	0	0,05
4.	0	0	0	-2	-0,1	0,01	-0,01	0,02
	0	0	0	-8	0	0,01	0,06	-0,02
5.	-0,25	-0,25	6	-3	-0,1	-0,02	0,01	-0,01
	-0,25	0,25	0	-9	0,2	-0,05	0,09	-0,02
6.	0	-0,25	30	-12	-0,1	0,02	0,01	-0,01
	-0,25	0	0	-5	0,1	0,01	-0,01	0
7.	0	0	0	-9	0	-0,02	0,12	-0,05
	0	0	0	1	0,1	-0,01	-0,06	0,03
8.	0	0	0	-2	-0,1	0,02	-0,04	0,08
	0	0	0	-3	-0,4	0,04	0,02	0,07
9.	-0,25	0	0	3	-0,1	0,01	0,01	0
	0	0	0	6	0	0	-0,02	0,01
10.	0,25	0	0	-12	0	0,01	0,01	-0,04
	0	0	0	1	0,1	-0,01	-0,01	0,01
11.	-0,25	0,25	0	-4	0,1	-0,01	0,02	0,03
	0	0	0	2	0,2	0,01	-0,04	0,04
12.	0	0	0	-2	0	0,01	-0,02	0,08
	0	0	0	-14	-0,1	0,02	0,06	0
13.	-0,25	0	0	3	0,1	-0,02	-0,06	0,02
	0	0	0	-3	-0,1	-0,01	0,05	-0,01
14.	0	0	0	-3	0,1	-0,03	-0,01	-0,02
	0	0	0	-11	-0,2	0,11	0,02	-0,01
15.	0	0	0	-25	-0,5	0,02	0,19	-0,12
	0	0	0	-30	-1,1	0,04	-0,06	0,01
16.	-0,25	0	0	-2	0,1	-0,01	-0,02	0,03
	0	0	0	-14	0	0,01	0,01	-0,04
17.	0	0	0	-2	0	-0,01	0,01	0,02
	0,25	0	0	-12	-0,1	-0,02	0,07	-0,01
18.	0,50	-0,25	0	-5	0	-0,01	0	0,01
	-0,25	0	0	-7	-0,1	-0,01	-0,02	-0,01
19.	0	0	0	1	0	0,02	0	0,01
	0	0	0	-4	-0,1	0,01	0	0,01
20.	0	0	0	6	0,2	-0,03	-0,04	-0,01
	0	0	0	-5	0,1	-0,01	-0,01	-0,04

D3: Změny, ke kterým došlo 30 minut po vyndání kontaktních čoček z oka vůči hodnotám naměřeným 15 minut po sundání čoček (15).

15 x 30								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	0	0	0	1	0,1	0,01	0,05	-0,01
	-0,25	0,25	0	-12	-0,3	0,01	0,02	-0,08
2.	0,25	0	0	0	0	0,01	0,1	-0,02
	0,25	0	0	-7	-0,2	-0,03	-0,01	0,06
3.	0	0	0	1	-0,1	-0,04	-0,02	0,01
	0	0	0	-15	0	0	0,05	-0,04
4.	0,25	0	0	-2	0,1	0	0,01	0
	-0,25	0	0	7	0	-0,01	-0,05	0,04
5.	0	0	0	2	0,1	0,01	-0,01	0,04
	0	-0,25	0	8	0,2	0	-0,03	0,04
6.	0	0,25	-30	-4	-0,2	-0,04	0	-0,01
	0,25	0,25	0	-8	-0,1	0,01	0,01	-0,01
7.	0	0	0	1	0	0,02	-0,02	0,04
	0	0	0	2	0	0,02	0,01	0,01
8.	0	0	0	-3	0,1	-0,01	-0,01	0,01
	-0,25	0,25	-53	9	0,1	-0,01	-0,06	0,02
9.	0	0	0	2	0,1	-0,02	-0,04	0,01
	-0,25	0	0	-5	0	-0,01	-0,01	-0,02
10.	0	0	0	5	0	-0,04	0	0,05
	0	0	0	-4	-0,1	0	0,01	-0,01
11.	-0,25	0	0	-4	-0,1	0,01	0	0,01
	0	0	0	5	-0,1	-0,02	0	0,04
12.	0	0	0	-1	-0,1	0	-0,02	-0,06
	0	0	0	8	-0,1	0	-0,04	0,05
13.	0,25	0	0	-1	0	0	-0,02	0
	0,25	0	0	-3	0	0,01	0,01	0
14.	0	0	0	9	0,2	0,03	-0,06	0,04
	0	0	0	0	0,1	-0,01	0,01	0,07
15.	0	0	0	28	0,1	0,02	-0,02	0,04
	0	0	0	36	1,1	-0,07	-0,01	0,05
16.	0	0	0	-1	0	0,02	0,02	0,06
	0	0	0	6	-0,1	-0,01	-0,01	0,03
17.	0	0	0	1	0,1	0,01	-0,02	-0,02
	-0,25	0	0	7	0	0,01	-0,07	0,03
18.	0	0	0	1	0,1	0	0,02	0,02
	0,25	0	0	1	0	0,02	0,04	0,02
19.	0	0	0	-5	-0,1	-0,01	0,06	0,06
	0	0	0	1	-0,1	0,01	-0,05	0,04
20.	0	0	0	0	0	-0,01	0	0,03
	0,25	0	0	-3	-0,1	0	-0,02	0,04

D4: Změny, ke kterým došlo po 45 minutách od sundání kontaktních čoček vůči předchozímu času (30).

30 x 45								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	0	0	0	2	0	-0,03	-0,01	0
	0	0	0	5	0,3	-0,02	0,01	0,02
2.	-0,25	0	0	5	0,1	-0,03	-0,08	0,04
	-0,25	0	0	5	0,4	-0,01	0,02	-0,01
3.	0	0	0	-4	0,2	0,02	0,02	-0,01
	0	0	0	6	0,1	0	-0,04	0,03
4.	-0,01	0	0	7	0	-0,03	0,01	-0,06
	0	0	8	2	0	-0,01	-0,02	0,01
5.	0	0	0	-4	0	0,01	0,04	-0,03
	0	-0,25	0	-4	-0,2	-0,01	0,01	0
6.	0	0	0	-1	0,1	0,03	0,02	0
	0	0	0	-1	0,1	0,01	0,01	0
7.	0	0	0	5	0	-0,02	-0,07	0,04
	0	0	0	-4	-0,2	-0,02	0,03	0
8.	0,25	0,50	0	-1	0	0	0,03	-0,02
	0	0	0	-1	0	0	0	0,15
9.	0	0	0	2	0	0,01	-0,03	-0,02
	0	0	0	-3	0	0,02	0,02	-0,01
10.	0	0	0	-1	-0,1	0,03	0,02	-0,01
	0	0	0	1	0	-0,01	0,01	0,02
11.	0	0	0	2	-0,1	0,01	0	0,04
	0,25	0	0	-9	0	0,01	0,04	-0,01
12.	0	0	0	1	0,1	-0,01	-0,02	0
	0	0	0	9	0,2	0,02	-0,04	0,06
13.	0	0	0	3	-0,1	0	-0,01	0,02
	0	0	0	6	-0,3	-0,01	-0,06	0,04
14.	0	0	0	-6	-0,3	-0,01	0,03	-0,02
	0	0	0	0	-0,2	0	-0,05	0,01
15.	0	0	0	-7	-0,1	-0,01	-0,04	0,07
	0	0	0	-6	0,1	0,03	0,04	-0,06
16.	0	0	0	0	0	-0,03	0,04	-0,05
	0	0	0	-1	0,1	-0,1	0,05	0
17.	0	0	0	-6	-0,1	0,01	0,04	-0,01
	0	0	0	8	0,1	-0,01	-0,02	0
18.	0,50	0	0	-2	-0,2	-0,01	-0,02	0
	0	0	0	-3	0,1	-0,01	-0,01	-0,02
19.	0	0	0	6	0,3	-0,01	-0,07	0
	0	0	0	-1	0	-0,02	0,06	-0,01
20.	0	0	0	-1	-0,1	0,03	0,01	-0,05
	0	0	0	5	0	0	0,02	0

D5: Změny, ke kterým došlo po 60 minutách od sundání kontaktních čoček v porovnání s předchozím časem (45).

45 x 60								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	0,25	0	0	1	-0,1	0,03	0	0,02
	0	0	0	6	-0,2	0,02	-0,04	-0,04
2.	0	0	0	-2	0,1	0,02	0,02	-0,02
	0,25	0	0	-10	-0,1	0,01	0,05	-0,05
3.	0	0	0	4	-0,2	-0,01	0,02	0,01
	0	0	0	3	-0,1	0	0,05	-0,02
4.	0	0	0	-2	0,1	0,03	-0,03	0,07
	0,25	0	0	-1	0	0,01	0,02	-0,01
5.	0	0	0	3	0	-0,01	-0,06	0,03
	0	0	0	-1	0	0,01	0	-0,01
6.	0	0	0	7	0,1	-0,02	0,02	0,03
	0	0	0	2	-0,1	-0,02	0,03	0,02
7.	0	0	0	5	0,1	-0,01	-0,06	0,03
	0	0	0	13	0,1	-0,02	-0,06	0,06
8.	-0,25	0	0	-12	0,1	0,03	0	-0,06
	0	0	0	-3	0	-0,02	0	-0,07
9.	0	0	0	0	0	0	0	0,02
	0	0	0	4	0,1	-0,02	0,01	0
10.	0	0	0	-1	0	-0,02	-0,02	0,01
	0	0	0	-2	0	0,01	-0,01	-0,01
11.	0,25	0	0	1	0	0	0,02	-0,02
	-0,25	0	0	-4	0	0,01	0	-0,02
12.	0	0	0	1	0,1	0,03	0,02	0,01
	0	0	0	-7	-0,2	-0,01	0,03	0,04
13.	0	0	0	-2	-0,2	-0,01	0,05	0,01
	-0,25	0	0	-5	0,3	0,02	0,01	0
14.	0	0	0	-9	-0,1	0	0,06	-0,01
	0	0	0	7	0,2	0,03	-0,01	-0,03
15.	0	0	0	13	0,2	-0,02	-0,06	0,04
	0	0	0	5	0	0	-0,06	0,11
16.	0	0	0	-3	0	0,03	0,04	-0,05
	0	0	0	7	0,1	0,08	-0,04	0,01
17.	-0,25	0	0	1	0,2	0	-0,04	-0,01
	0	0	0	-7	0	-0,02	0	0
18.	0,50	0	0	-8	-0,1	0,01	0,06	0,01
	0	0	0	1	0,1	-0,02	-0,02	0,03
19.	0	0	0	-2	-0,1	0,01	0,02	0
	0	0	0	1	0,1	0,01	-0,02	-0,02
20.	0	0	0	1	0,2	0,01	0,01	0,06
	0	0	0	-1	0	-0,01	0,02	0,01

D6: Závěrečné porovnání výchozích hodnot s konečnými hodnotami získanými 60 minut od sundání kontaktních čoček. Žlutě jsou zvýrazněny změny os, ke kterým došlo vůči výchozí hodnotě, červeně poté stav, kdy vůči výchozí hodnotě došlo k úplnému vyřazení cylindrické korekce. Ostatní změny os, ke kterým došlo, byly způsobeny nově navozenou cylindrickou korekcí. Pole, která se rovnají hodnotě 0, značí nezměněnou osu výchozího cylindru nebo jeho nenavození (cylindrická korekce nebyla naměřena).

V x 60								
	sph [dpt]	cyl [dpt]	ax [°]	CCT [μm]	Ast [dpt]	Rm1 [mm]	Rm2 [mm]	ACD [mm]
1.	0	0	0	15	-0,1	0	-0,09	0,06
	0	-0,25	90	8	-0,1	0,02	-0,09	0
2.	-0,25	0	0	-5	0,2	-0,02	-0,04	0,02
	0,25	-0,25	0	-12	0,2	0	0,05	-0,01
3.	0	0	15	4	-0,2	0,01	-0,01	-0,01
	0	0	0	0	-0,1	0,01	0,03	-0,03
4.	0	0	0	-14	0,2	0,03	-0,03	0,09
	0	0	8	-27	-0,2	0,03	0,06	-0,01
5.	-0,25	0	3	-3	0	0	0,03	-0,01
	-0,25	-0,25	0	-2	0,2	-0,02	-0,06	0,02
6.	0	0	0	-4	0,2	0,01	0,04	0,02
	0,25	0	5	-4	-0,1	0,02	0,02	0,03
7.	-0,25	-0,25	134	-2	0,2	-0,01	-0,08	0,04
	-0,25	-0,25	180	12	0	-0,02	-0,03	0,06
8.	-0,25	0	0	-4	0,2	0,1	0,03	-0,14
	-0,50	0,25	-53	8	-0,1	0,01	-0,02	0,1
9.	-0,50	0	0	0	-0,2	0,05	-0,1	0,03
	-0,25	0	0	-2	0,1	0,01	0	-0,02
10.	0	0	0	-6	-0,1	0	0,01	0,02
	-0,25	0	0	-4	0,1	-0,03	-0,03	-0,03
11.	-0,25	0,25	0	-11	-0,3	0	0,07	0
	-0,25	0	0	-15	0	-0,01	0,04	0,01
12.	-0,25	0	0	-2	-0,1	0,04	0,02	0,03
	-0,25	0	0	-8	-0,2	0	0,06	0,04
13.	0	0,25	0	-2	-0,3	-0,01	0,04	0
	-0,25	0,25	0	12	0,3	0	-0,06	0,05
14.	0	0	0	-8	-0,3	0,01	0,06	0,02
	0	0	0	4	-0,1	0,05	0	0,01
15.	0	0	0	8	-0,2	-0,01	0,05	0,16
	-0,50	0	0	0	0	0,01	-0,03	-0,04
16.	-0,25	0	0	-13	-0,1	0,03	0,09	-0,07
	0	0	0	0	0,1	0	0,01	0
17.	0	0	0	-6	0	0,02	0,02	-0,06
	0,25	0	0	-5	0,1	-0,01	0,02	0
18.	1,75	-0,25	0	6	-0,4	0,01	0,02	0,03
	0	-0,25	0	16	0	-0,03	-0,01	0,06
19.	0	0	0	-2	0	0,05	-0,03	0
	-0,25	0	0	7	0,2	0	-0,03	-0,01
20.	0,25	-0,25	0	2	0,5	0	-0,07	0,02
	0,50	-0,25	0	-8	-0,2	0	0,05	-0,01