

MASARYKOVA UNIVERZITA
V BRNĚ
LÉKAŘSKÁ FAKULTA

**Keratometrie – princip, měření, rozvržení
a excentricita keratometrických hodnot
v populaci**

Disertační práce

Vedoucí práce:
Doc. MUDr. Svatopluk Synek, CSc.

Vypracoval:
Mgr. Pavel Beneš

Brno 2012

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Mgr. Pavel Beneš

Název dizertační práce v originálním jazyce: Keratometrie – princip, měření, rozvržení a excentricita keratometrických hodnot v populaci

Název disertační práce anglicky: Keratometry – principle, measurement of corneal eccentricity and its setting-out in population

Studijní program: LF D-BF4 Lékařská biofyzika 5103V021

Studijní obor: LF LBIF Lékařská biofyzika

Školitel: doc. MUDr. Svatopluk Synek, CSc.

Rok obhajoby: 2012

Klíčová slova: astigmatismus, keratometrie, přední segment oka, přední plocha rohovky, rohovková topografie, excentricita

Key words: astigmatism, keratometry, anterior eye, corneal anterior surface, corneal topography, eccentricity

Poděkování

Děkuji svému školiteli Doc. MUDr. Svatopluku Synkovi, CSc., přednostovi Kliniky nemocí očních a optometrie LF MU, Mgr. Sylvii Petrové za podporu během doktorandského studia a Zuzaně Holoubkové. Dále děkuji prof. MUDr. Anně Vašku, CSc. za odborné konzultace při statistickém zpracování dat.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato disertační práce je mým původním, samostatně vypracovaným autorským dílem. Všechny použité informační zdroje, prameny a literaturu, které jsem při zpracování používal a čerpal z nich, řádně v práci cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Brně, dne 30.4.2012

Mgr. Pavel Beneš

ABSTRAKT

Keratometrie a rohovková topografie patří mezi základní diagnostické metody, zjišťující vstupní numerické parametry pro optometrické a oftalmologické výkony, jakými jsou například aplikace měkkých a tvrdých kontaktních čoček, předoperační vyšetření pro zákroky v rohovkové chirurgii, screening degenerativních onemocnění (např.: keratokonus, pellucidní marginální degenerace).

Cílem disertační práce je zjišťování metrických hodnot rohovek emetropických a ametropických očí, měření hodnot rohovkového astigmatismu a jeho případné kompenzace astigmatismem čočkovým a zbytkovým, podíl fyziologického a nepřímého astigmatismu. Následně byly zjišťovány topografické mapy rohovek a jejich excentricita.

Z výsledků jsou statisticky vyhodnocena rozmezí nejčastěji se vyskytujících hodnot. V diskuzi je pak rozvinut vliv astigmatismu rohovky na celkovou potřebnou korekci různými korekčními členy, zejména brýlovými a kontaktními čočkami.

K měření a diagnostice bylo využito následující přístrojové vybavení: rohovkový topograf, štěrbinová lampa, optotyp, autorefraktometr a zkušební sada brýlových čoček. Hlavním cílem práce je ověřit teoretické podklady udávané v literatuře.

ABSTRACT

Keratometry and corneal topography are part of basic diagnostic methods, detect entering numerical parameters for optometric and ophthalmologic investigative techniques as for example soft and hard contact lenses fitting, pre-operative assessment in corneal surgery, degenerative diseases screening (ie. keratoconus, pellucid marginal degeneration).

The aim of this study is to assess some metric values of the cornea on emmetropic and ametropic eyes, measuring of corneal astigmatism and its possibility by compensation astigmatism of crystalline lens and total astigmatism, ratio of physiologic and inverse astigmatism. Consequently corneal topographic maps and their eccentricity were provided. The results of the most frequent values distribution are statistically analysed.

In discussion is influence of corneal astigmatism in confrontation with the most frequent method of spectacle and contact lenses correction.

To evaluate and diagnose following instruments were used: Placido-based corneal topographer, slit lamp, optotype, autorefractometer and trial spectacle lenses case.

The aim of this paper is to verify theoretical data presented in literature.

OBSAH

1. Úvod	8
2. Metody a přístroje určené k měření parametrů přední plochy rohovky	9
2.1 Keratometrie	9
2.1.1 Vývoj keratometrů a možností měření	9
2.1.1.1 Optický princip keratometrů	11
2.1.2 Mechanické keratometry.....	12
2.1.3 Automatické keratometry	14
2.2 Topografie	15
2.3 Zobrazovací přístroje hodnotící přední segment.....	17
3. Refrakce rohovky	22
3.1 Fyziologie rohovky a slzný film ve vztahu k aplikaci kontaktních čoček	22
3.2 Změny ve tvaru rohovky	25
3.3 Popis rohovky dle Gullstranda	30
3.4 Rohovkový astigmatismus	31
3.4.1 Rozdělení očního astigmatismu	31
3.4.1.1 Pravidelný astigmatismus (regularis)	31
3.4.1.2 Nepravidelný astigmatismus (irregularis).....	33
3.5 Určení excentricity	33
4. Cíl práce	37
5. Soubor	38
5.1 Soubor 1	38
5.2 Soubor 2	38
5.3 Soubor 3	39
6. Metodika	40
7. Výsledky	43
7.1 Pohlaví	45
7.2 Refrakční vada	49
7.3 Astigmatismus přední plochy rohovky	53
7.4 Rozdíly stranových hodnot.....	58
8. Diskuze	69
9. Závěr	72
10. Seznam použité literatury	73
Internetové zdroje	81
Seznam použitých zkratk	82

Příloha 1 – Seznam publikací autora	83
Příloha 2 – Aktivní přednášky na veřejných a odborných fórech	86

1. Úvod

Neustále se rozšiřující trh a nabídka pomůcek určených především ke korekci refrakčních vad, jakými jsou například kontaktní čočky, vedou k útlumu provádění některých základních postupů a měření předního segmentu oka, jakými je zejména keratometrie. Tato jednoduchá a nepostradatelná metoda patří k základním technikám v optometrické praxi. Díky velké konkurenci je možné základní metodiku rozšiřovat a zkvalitňovat toto neinvazivní vyšetření. Měřicí zařízení jsou vybavena nejmodernějšími softwary, čímž se jejich proces zrychlí a zpřesní výsledná data při minimální zátěži klienta. Ta jsou následně snadno interpretovatelná.

K detekci a screeningu možných degenerativních změn nejen na rohovce, ale na celém předním segmentu oka, slouží celá škála přístrojů, zařízení a pomůcek, které lze využít k základní diagnostice.

Jednou z možných metod je provádění rohovkové topografie. Topografie rohovky se v posledních letech dostává více do popředí zájmu hlavně u měření předního segmentu oka při aplikaci kontaktních čoček. Potřeba přesnějšího měření je dána nejen rozvíjejícími se vyšetřovacími technikami, ale především nutností získání více metrických údajů i v paracentrální a okrajové části rohovky. Jedná se zejména o její přední plochu, pro případ aplikace stále se rozšiřujícího množství parametrů, především speciálních kontaktních čoček. Další nutností je snižovat invazivnost vyšetření. Volbou světla o vhodné vlnové délce se zabrání možnému oslnění pacienta. Tloušťka slzného filmu zůstane na standardní hodnotě a výsledné měření tím nabývá validnějších parametrů.

Samotná topografie jako měřicí metoda prošla také dlouhodobým vývojem. Výrobci rohovkových topografů dnes nabízí bohatou škálu variabilních konstrukcí, principů měření s možností jejich kombinací. Metody měření tvaru přední plochy rohovky sahají hluboko do historie, topografie však zůstávala dlouho v pozadí klasické keratometrie.

Klasická keratometrie z poloviny 19. století přinesla velké zjednodušení a snadnou reprodukovatelnost měření.

Optometristé, kteří jsou pracovníky nestátních zdravotnických zařízení a zabývají se aplikací kontaktních čoček, mohou díky přesnějšímu měření přední plochy rohovky odhalit případně se vyvíjející abnormality a doporučit klientovi další odborná vyšetření a předejít tak závažným očním komplikacím [4, 16]. Práce prezentuje výsledky, které poukazují na vzájemné vztahy při jednotlivých keratometrických měření a možné korelace jejich parametrů, především mezi vybranými skupinami ametropických pacientů i se zřetelem na pohlaví.

2. Metody a přístroje určené k měření parametrů přední plochy rohovky

2.1 Keratometrie

Keratometrie je metoda zabývající se měřením poloměru křivosti zrcadlicí se přední plochy rohovky. Poloměr křivosti je udáván na stupnici v milimetrech a dioptriích. Je tak možno určit velikost a orientaci hlavních řezů rohovkového astigmatismu, které mají zásadní vliv na refrakční stav oka.

Přístroj – keratometr má praktický význam při aplikaci kontaktních čoček, při diagnostice keratokonu a korekci afakických očí [52]. Měření se provádí ve dvou na sebe kolmých řezech. Podle hodnot poloměrů křivosti přední plochy rohovky se stanoví parametry, např. vhodný typ designu aplikované kontaktní čočky.

Základem každého manuálního keratometru je dalekohledový systém tvořený spojným objektivem a okulárem. Dále jsou přítomny testové značky, které jsou u každého typu přístroje odlišné. Z opticko–konstrukčního hlediska se jedná o složitější přístroje [51]. V zahraniční literatuře se lze setkat i s názvem oftalmometr.

2.1.1 Vývoj keratometrů a možností v měření

První zmínky o zrcadlení přední plochy rohovky zmiňuje **Christopher Scheiner** již roku 1619. Samotná měření rohovek na extrahovaných očích prováděl **Karl Friedrich Theodor Krause** počátkem roku 1832. Ten popisuje přední plochu rohovky jako sférickou plochu a zadní plochu rohovky jako parabolu. **Rudolf Kohlrausch** roku 1840 již provádí měření na živých očích pomocí odražených obrazů od určitého předmětu, vše pozoruje dalekohledem z dané vzdálenosti od měřeného oka. Dr. **Karl E. Senff** v roce 1846 pozoruje oplošťování rohovky směrem do periferie a z výsledků měření popisuje eliptický vzhled s tvrzením, že apex rohovky není vždy v koincidenci s optickou osou oka [51].

Roku 1856 zkonstruoval **Hermann von Helmholtz** (1821–1894) první keratometr, přístroj na měření poloměru křivosti přední plochy rohovky. Byl to spíše laboratorní přístroj s testovými značkami v pětimetrové vzdálenosti, čímž nebyl vhodný pro praktické použití, i když vykazoval překvapivou přesnost měření. Sloužil výhradně pro vědecké účely.

Ze všech opticky účinných ploch oka hraničí se vzduchem pouze přední plocha rohovky. I při tak malém poloměru křivosti tvoří její lomivost asi 72 % celkové lomivosti oka. Z toho plyne, že poloměr zakřivení přední plochy rohovky, obzvláště její

astigmatismus, musí mít velký vliv na refrakční stav oka. Přitom se předpokládalo, že rohovka je sféricky nebo tóricky zakřivená. Tento předpoklad není vždy splněn.

Daleko více se rozšířil keratometr zkonstruovaný **Emilem Javalem** (1839–1907) a **Hjalmar Augustem Schiötzem** (1850 – 1927) roku 1881. Tento přístroj vstoupil velmi brzy do praxe a v první řadě sloužil k určení rohovkového astigmatismu. Oproti Helmholtzovu oftalmometru vykazuje menší přesnost. Nevýhodou je to, že výsledek měření je silně závislý na tom, zda byla přesně dodržena daná vzdálenost mezi vyšetřovaným a samotným přístrojem [51]. Začínají se formulovat první matematické vztahy pro popis předního segmentu oka, vychází se z eliptického tvaru.

Je popsán fyziologický astigmatismus podle pravidla, který se věkem mění na rohovkový astigmatismus proti pravidlu. Až za 53 let je navržena řada vylepšení **Hansem Hartingerem** (1891 – 1960).

Roku 1891 **Hermann Aubert** zkonstruoval binokulární rohovkový mikroskop s objektivem v ohniskové vzdálenosti. Přístroj byl skvělou kombinací dvou monokulárních mikroskopů. První desetiletí dvacátého století bylo ve znamení několika publikací o kontaktních čočkách. Jednou z nich byla autora **Charlese Vickery Drysdalea** (1900), která upřesňuje způsob měření poloměru křivosti - základní měření pro aplikaci kontaktních čoček.

Hartinger uvádí roku 1934 vylepšení keratometru navrženého Javalem a Schiötzem. Princip přístroje je závislý na vzdálenosti testových značek. Podobné vlastnosti má také oftalmometr podle **Johna Hamera Sutciffa** z roku 1907. Oba hlavní řezy astigmatické rohovky mohou být měřeny současně, takže eventuální chyba měření je pro oba řezy stejná. Absolutní hodnota poloměru křivosti může být naprosto odlišná, astigmatický rozdíl je však vždy správně určen.

Keratometry se nejvíce začaly využívat při aplikaci kontaktních čoček od 20. let 20. století, kdy se začaly využívat afokální sklerální čočky.

S popularizací a s rozšiřováním kontaktních čoček se dále objevovala řada problémů, které bylo nutno řešit. Studovala se mimo jiné citlivost předního segmentu oka, jeho přesný tvar, metabolismus rohovky, složení slz. Současně se vyvíjely nové diagnostické a měřicí přístroje, prohlubovaly a upřesňovaly se všechny dřívější znalosti.

Každá tvrdá kontaktní čočka je individuální korekční pomůckou. Je zhotovena „na míru“ jednotlivému pacientovi. Vychází z fotokeratometrických měření rohovky. Tvar předního segmentu oka, na který je tvrdá kontaktní čočka aplikována, je dokonale zmapován a podle toho jsou kontaktologem zadány parametry pro přesné opracování vnitřní plochy čočky.

Jistou nevýhodou tvrdých čoček, pokud neslouží jako terapeutické, ale pro korekci běžných refrakčních vad, je tlak vyvolávaný vahou čočky, působící na rohovku. Deformace po sejmutí čočky se vyrovnává někdy až po několika hodinách a způsobuje změnu ve vidění.

Snahy zdokonalovat i tyto čočky směřovaly spíše k přizpůsobení poloměru křivosti rohovky než velikosti. Zvláštní pokroky však nebyly zaznamenány, neboť všechny tyto úpravy se dotýkaly jen tvaru a velikosti čoček, méně již materiálu, ze kterého byly zhotoveny.

Mikrokorneální čočky se pohybují na optické zóně rohovky, přičemž právě asférický tvar rohovkového povrchu znemožňuje takovéto čočce sklouznout k limbu. Jejich nevýhodou je možnost vypadnutí při prudkém pohybu hlavy nebo při koupání.

Roku 1950 zkonstruoval **Hans Littmann** nový oftalmometr. U tohoto přístroje je výsledek měření nezávislý na vzdálenosti mezi oftalmometrem a vyšetřovaným.

Pomocí tzv. klasických keratometrů mohou být měřeny pouze poloměry křivosti přední plochy rohovky v její centrální optické zóně. Podle druhu přístroje má měřená zóna průměr od 2,0 do 4,0 mm. Existují i nové specifické keratometry, se kterými lze změřit i okrajové oploštění rohovky. Nejznámějším z nich se stal přístroj navržený **R. Bonnetem** [52].

V druhé polovině 90. let 20. století se v kontaktologii významně rozšiřuje používání rohovkových topografů. Lékařům nebo laboratořím vyrábějícím kontaktní čočky na míru, bývají údaje často zasílány přímo z topografů napojených přes počítačové modemy.

Důležitým prostředníkem je také možnost využití internetu, zejména v souvislosti s možnostmi výchovy a vzdělávání jak kontaktologů, tak samotných pacientů.

2.1.1.1 Optický princip keratometrů

Tím, že přední plochu rohovky lze popsat obdobně jako kulové vypuklé zrcadlo, lze poloměr křivosti r zjišťovat pomocí poměrně jednoduchých metod. Velikost předmětu y se zobrazí do y' . Předmět a jeho obraz se nacházejí ve vzdálenosti d . Předmětová ohnisková vzdálenost je značena x , vzhledem ke znaménkové konvenci má zápornou hodnotu.

Pro příčné zvětšení platí vztah:
$$m = y'/y \quad (1)$$

Ohnisková vzdálenost f' od apexu rohovky k jejímu ohnisku je rovna polovině poloměru křivosti r ($f' = r/2$). Z podobnosti trojúhelníků lze odvodit vztah:
$$y'/y = r/2x \quad (2)$$

Substitucí pak dostaneme vztah, známý jako keratometrická rovnice: $r = 2dy'/y$ (3)

Jsou tak splněny požadavky teorie zobrazení v paraxiálním prostoru prvního řádu. Obrazy testových značek na povrchu rohovky jsou zvětšeny a pozorovány dalekohledným systémem. Pozorovací vzdálenost přístroje d je konstantní [51,52]. Protože pozorování živých očí a tudíž i obrazů testových značek není stacionární a klidové, musí být keratometry vybaveny zdvojující soustavou, nejčastěji optickým klínem-prizmatem. Princip optického dvojení se u jednotlivých výrobců liší.

Keratometry, kromě měření poloměrů křivosti přední plochy rohovky, jsou kalibrovány také pro zjištění optické mohutnosti přední plochy rohovky. Přístroje vychází ze skutečného indexu lomu rohovky (1,376), avšak v praxi se využívá nominálně nižší index lomu. Většina přístrojů pracuje s indexem lomu 1,3375; Zeiss používá 1,332 a AOC (American Optical Company) využívá index lomu 1,336.

Vztah, který platí pro kalibraci mezi optickou mohutností (φ [D]), poloměrem křivosti (r [mm]) a indexem lomu n je dán vztahem:

$$\varphi = n-1/r \quad (4)$$

Z přepočtu pak vychází, že velikost rozdílu v poloměru křivosti mezi nejstrmějším a nejplošším meridiánem rohovky o 0,2 mm, odpovídá velikosti rohovkového astigmatismu 1,0 D. Při každém stanovení korekce je proto důležité přihlížet k hodnotám rohovkového astigmatismu. Chyba v měření při používání rozdílných přístrojů může dle [52] být až 0,13 mm. Dvě rohovky, které mají stejný poloměr křivosti přední plochy, mohou mít odlišné poloměry křivosti zadní plochy rohovky a tloušťku, tím pádem i jinou optickou mohutnost, budou na každém jiném keratometru změřeny se stejnými výslednými hodnotami. Keratometrie se neomezuje jen na měření poloměrů křivosti ve dvou meridiánech v blízkosti centra rohovky, ale je také možné zjišťovat tyto hodnoty v její periférii (viz. kap. 3.5) [11, 51].

2.1.2 Mechanické keratometry

Helmholtzův keratometr – byl prvním keratometrem. Pomocí tohoto laboratorního přístroje se na rohovce pozorovaly pomocí dalekohledu zrcadlové obrazy dvou petrolejových lamp. Jako zdvojující soustavu využívala firma Rodenstock planparalelní destičky.

Javal – Schiötzův keratometr (Haag-Streit, Sbisal), má posuvné testové značky v podobě děleného obdélníka a stupňovité pyramidy na otáčivém rameni (obr. 1). Zdvojení paprskového svazku je způsobeno Wollastonovým hranolem.

Krahnův keratometr – má stejné testové značky jako Javal – Schiötzův keratometr, jsou však pevně umístěny po stranách přístroje, používá Wilmsovu zdvojující soustavu.

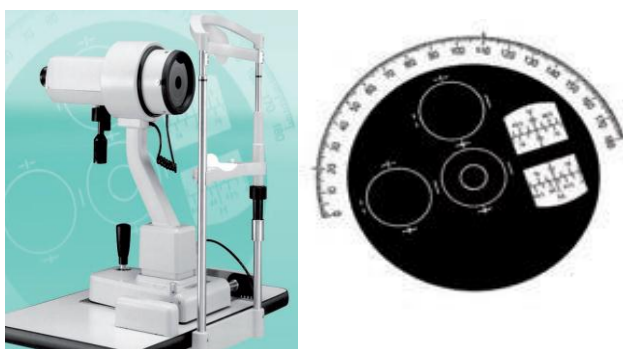
Hartingerův keratometr (Zeiss) – používá pevné značky, zdvojení a posunutí značek se uskutečňuje pomocí dvou diasporametrů mezi čočkami objektivu.



Obr. 1 - Javal - Schiötzův keratometr (Sbisa)

zdroj: foto - archiv autora

Sutcliffův keratometr (Bausch and Lomb) – oba hlavní řezy lze odečíst při jednom nastavení přístroje. Testová značka se sestává ze tří kružnic se značkami + a -. Při měření musí být ve vzájemné koincidenci (obr. 2). Zdvojující soustavu tvoří čtyři prizmatické clony umístěné před dvěma pozorovacími objektivy [67].



Obr. 2 - Sutcliffův keratometr OM-4, včetně testové značky

zdroj: <http://obchod.geodis.cz/file/251/> [cit.28-08-2011]

Littmannův keratometr (Zeiss) – má jako testové značky dutý a pevný kříž. V současnosti je považován za nejpřesnější. Paprsky jsou děleny pomocí hranolových systémů. Zdvojení značek umožní rozptylné čočky, které je možno decentrovat mezi hranolovými soustavami [52].

2.1.3 Automatické keratometry

Autokeratometry, ať již jako samostatné přístroje nebo ve spojení např. s autorefraktometrem, tonometrem a pachymetrem i jako čtyřkombinace, dávají rychle přesné hodnoty maximálního a minimálního řezu v centrální části rohovky.

Současná autokeratometrie jako metoda využívá počítač k provedení centrace a měření poloměru křivosti rohovky, přičemž princip je obdobný jako u klasické keratometrie. Využívá se rovněž přirozeného odrazu na povrchu rohovky, osvětlení musí splňovat bezpečnostní limity. Každý přístroj zohledňuje to, že měřený objekt je neustále v pohybu. Hlavní výhodou je možnost měření v průměru až 7,5 mm.

Měření se sestává z několika kroků a jako první je, díky změně roviny polarizovaného světla, promítána testová značka na rohovku. Jde o oblast vlnové délky blízkou infračervené laserové diodě (830 nm). Dále se porovnává testová značka s odraženým obrazem. Tím, že k odrazu dochází nejen na přední ploše rohovky, je nutné eliminovat ostatní odrazy od zadní plochy rohovky a čočky. Jako detektor záření se využívá CCD kamera, poté následuje převedení informace do digitální podoby. Počítač vyhodnotí odchylky poloměru křivosti vůči referenční rovině. Přístroje bývají vybaveny displayem nebo monitorem.

Koincidence značek přestává hodnotit lidské oko, čímž se zvyšuje přesnost a objektivnost měření. Odpadá nutnost hledání hlavních řezů a krátí se vyšetřovací čas. Výrobci často kombinují autokeratometr s autorefraktometrem, nyní i s tonometrem, pachymetrem a aberometrem [53, 73, 74].



Obr. 3 – Autorefraktokeratometr firmy Nidek
zdroj: <http://www.oculus.cz/refker.htm> [cit.28-08-2011]

2.2 Topografie

Klasická rohovková topografie znamená mapování přední plochy rohovky. Astigmatismus podle pravidla, kdy je lomivější vertikální meridián rohovky, bývá vysvětlen tlakem horního víčka na rohovku a gravitací. S posunem do periferie narůstá hodnota poloměru křivosti, rohovka se oplošťuje. Plocha rohovky je asférická.

Zadní plochu rohovky není snadné změřit, protože na každé měření má vliv přední plocha. Nabízí se možnost topografie přední plochy a pachymetrie v celém jejím průměru. Z těchto měření se dá odvodit průběh zadní plochy rohovky. Zadní plocha rohovky nemá tak velký význam jako přední, protože dalším optickým prostředím je komorová voda, která má index lomu 1,336, a proto lomivost zadní plochy je nižší než plochy přední, která sousedí se vzduchem s indexem lomu 1.

Vývojově se prostý tvar předního segmentu oka určoval otiskem oka po jeho znecitlivění, stereofotogrammetricky nebo topogometricky.

Historicky lze rozdělit metody zjišťování zakřivení přední plochy rohovky do tří skupin:

- a) metody celkové – jedná se o metodu otisku a stereogrammetrii
- b) metody optické – sem lze zařadit klasickou keratometrii, topogometrii a speciální oftalmometrii
- c) metody fotografické – zástupcem je fotokeratometrie

Pro zjišťování dalších zakřivení rohovky mimo centra bylo možno využít topogometr podle Girarda, který lze popsat jako keratometr s přídatným pohyblivým kontaktním osvětlením, přičemž posun pevné testové značky sleduje otočení oka. Tak bylo možné poměrně přesně proměřit přesně definované rozsahy na rohovce.

Obdobou je topografický keratometr dle Bonneta. Přístroj má zabudovanou posuvnou značku, kterou lze měřit rohovku od jejího centra k okraji v krocích např. po 5°.

Předchůdcem topografů je keratoskop, skládá se ze soustavy soustředných kružnic, tzv. **Placidova kotouče** (obr. 4). Ve středu těchto kružnic je pozorovací otvor s lupou. Nepravidelnosti v poloměrech křivosti na rohovce se jeví jako deformace kružnic. Informace o topografii je pouze orientační, není možné ji kvantifikovat. Z deformací kružnic Placidova kotouče je vypočten poloměr křivosti rohovky.

Věhlasu se dostalo roku 1880 **Antoniu Placidovi da Costa**, podle kterého je testový kruh pojmenován. Byl prvním, kdo použil fotografickou keratoskopii, ve stejném roce se nezávisle Javal zmiňuje o fotokeratoskopii. Avšak první ruční keratoskop prezentuje v roce

1847 **Henry Goode**, když diagnostikoval astigmatismus pomocí zrcadlího se čtverce na rohovce. Jako testové značky jsou následně voleny čtverce a soustředné kruhy [51,62].

Nevýhodou je potřeba provedení 7-8 měření na každé z hlavních os, což je poněkud zatěžující jak pro klienta, tak pro vyšetřujícího. Z ne zcela přesné fixace testové značky dochází ke zvýšení chyby v měření. Získané poloměry křivosti pak neleží na společné ose a vytváří pak evolutu [45, 51, 61, 64].



Obr. 4 – Keratoskop navržený A. Placidem roku 1880
zdroj: *Herrmann, C., Ludwig, U., Duncker, G. Korneale Topographie. Der Ophtalmologie, 2008, 105, pp. 193-206.*

V roce 1930 byl **Edwardem F. Fischerem** a **Hansem Hartingerem** zkonstruován první fotokeratometrický přístroj vybavený Placidovým kotoučem (následovali Amsler, Dekking, Reynolds). Tento způsob umožňuje měření přední plochy rohovky téměř v celém rozsahu 5° - 40° .

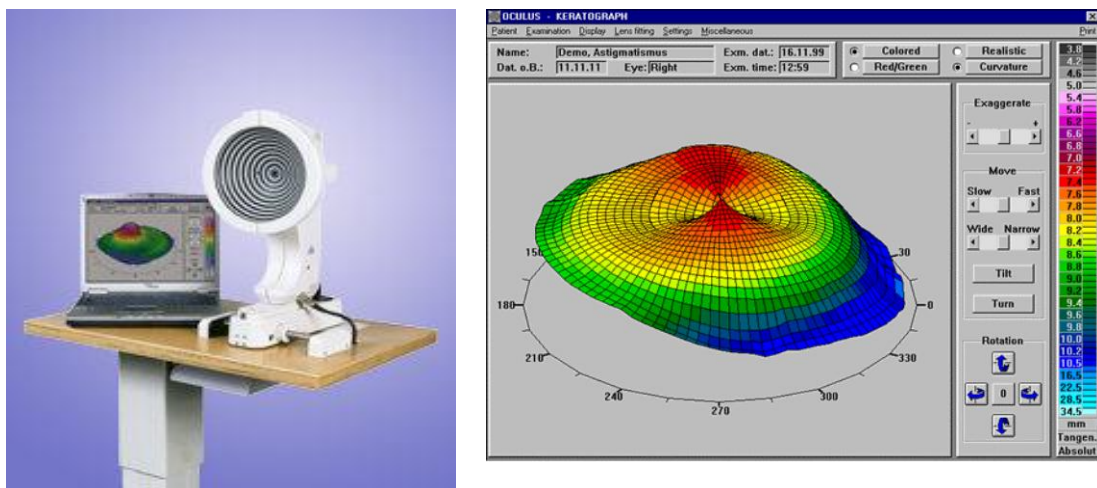
Mezi nejpoužívanější topografický přístroj patří **keratograf** (firma Oculus), který spojuje keratometrii s topografickou metodou měření povrchu rohovky, na principu odrazu kružnic Placidova kotouče, viz. obr. 5. Veškerá data jsou následně vyhodnocena příslušným softwarem, kde analogicky vzniklý obraz je digitalizován a komprimován počítačem, ten z něj navrhne topografický obraz změřené rohovky. Výsledné měření je ve formě barevného diagramu či prostorového obrazu.

Naměřené hodnoty (horizontální a vertikální poloměr křivosti v centru rohovky, astigmatismus a pozice osy, střední excentricita) jsou zobrazeny v závislosti na místě, velikosti astigmatismu a orientaci úhlu. Výsledné hodnoty poloměru křivosti rohovky se udávají v milimetrech nebo v dioptriích.

Pro názornou demonstraci pořízených hodnot nám nejlépe poslouží trojrozměrné geometrické zobrazení povrchu rohovky. Ke zlepšení prostorového dojmu je možné obrázek prezentovat v pohybu. Obraz pak velmi dobře zdůrazňuje průběh zakřivení rohovky a eventuální naměřené rozdíly. Samozřejmostí je i měření průměru rohovky a pupily.

Software přístroje umožňuje výběr teoretické kontaktní čočky včetně korekční hodnoty, pokud jsou k dispozici hodnoty z autorefraktometru a sortiment výrobců kontaktních čoček. Pro další vlivy při aplikaci, jako například množství a kvalita slzného filmu, tuhost víček a velikost oční šterbiny, je nutné vždy kontaktní čočku aplikovat a teoretický návrh prakticky ověřit. Další pomůckou je simulace fluorescenčního testu. Inovace softwaru tohoto přístroje umožňuje navíc měřit úhel víčka, případně výšku slzného menisku.

Rohovková topografie umožňuje kvantitativní a kvalitativní analýzu poloměru křivosti přední plochy rohovky v celém jejím rozsahu [56].



Obr. 5 - Keratograf a zobrazení 3D mapa přímého astigmatismu
zdroj: <http://www.oculus.cz/top.htm> [cit.28-08-2011]

2.3. Zobrazovací přístroje hodnotící přední segment

V posledním desetiletí došlo k rozmachu zobrazovacích a diagnostických přístrojů, které umožňují mimo jiné detailní proměření předního segmentu oka. Jsou tak získány nezávislé informace o přední i zadní ploše rohovky, pachymetrie v celém rozsahu, zobrazují se údaje o duhovce, komorovém úhlu, hodnotí oční čočku včetně denzitometrie. Z polohy těchto struktur je následně zjištěna hloubka přední komory a stanovena tloušťka rohovky. Všechna uvedená měření jsou prováděna bezkontaktně.

Základem většiny z vyšetřovacích zařízení je hlava přístroje, jejíž součástí je určité provedení a velikost Placidova kotouče. Ten je promítnut na rohovku, respektive její přední

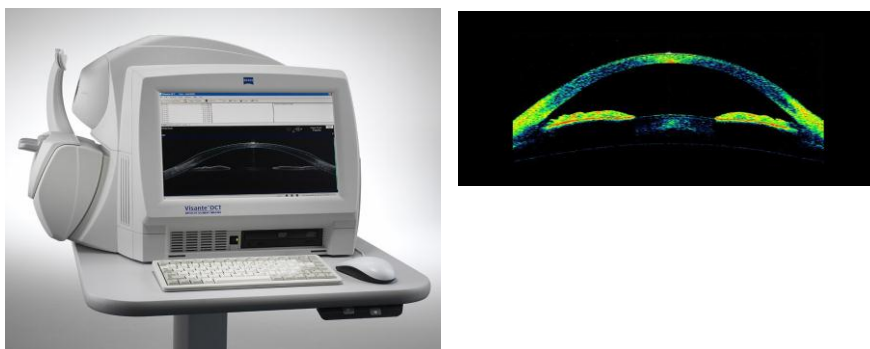
plochu. Odraz kruhů od zrcadlí se vrchní vrstvy rohovky je následně zaznamenán detektorem a tento signál je zpracován příslušným počítačovým programem.

Hlavní nevýhodou zůstává relativně dlouhý měřicí čas, asi 1,5 s. Mimovolní oční pohyby narušují přesnost měření, i když se výrobci zaměřují na vývoj softwaru pro monitoring a minimalizaci vlivů pohybů na měření.

Další nové vyšetřovací techniky jsou možné díky rozšiřující se oblasti klinických zobrazovacích metod. K detailnímu vyšetření předního segmentu oka již dnes neodmyslitelně patří OCT předního segmentu [28, 38, 46, 65].

Přístroje pracují na principu nízkokoherentní interferometrie, kdy se laserový paprsek o vlnové délce 1310 nm odráží od jednotlivých prostředí a pohybem paprsku v jedné rovině se tak získává dvojrozměrný obraz. Výsledný obraz pomocí OCT zobrazení je charakterizován ostrými konturami na řezu celým předním segmentem oka.

Prvním klinicky vyžívaným přístrojem byl Visante (firma Zeiss, obr. 6), hlavním přínosem této metodiky je přesnost zobrazení s možností zobrazení rohovkové tkáně, duhovko-rohovkového úhlu a artefaktů v přední komoře oka. Je indikováno v oblastech refrakční chirurgie, všeobecná oftalmologie, implantologie, glaukom a biometrie oka. Dále lze toto OCT využít při aplikaci kontaktních čoček pro určení typu aplikace (strmá, plochá) či pro zjištění stavu epitelu rohovky pod kontaktní čočkou [40, 43, 58].



Obr. 6 – Přístroj Visante a způsob zobrazení
zdroj: <http://www.meditec.zeiss.de/c125679e00510b81/> [cit.12-09-2011]

Další, vývojově mladší metodou, je systém slit-imaging, u kterého je souvisle promítán paprsek světla na rohovku z různých úhlů obdobně jako u šterbinové lampy. Principy jsou založeny na nejnovějších technických poznatcích a možnostech laserových a interferenčních zákonitostí. V kombinaci s Placido kotoučem, systém využívá soustředných kružnic a svazek světla skenující rohovku, např. Orbscan (firma Bausch and Lomb, obr. 7). Výsledné zobrazení zahrnuje vlastní keratometrii, topografii rohovky,

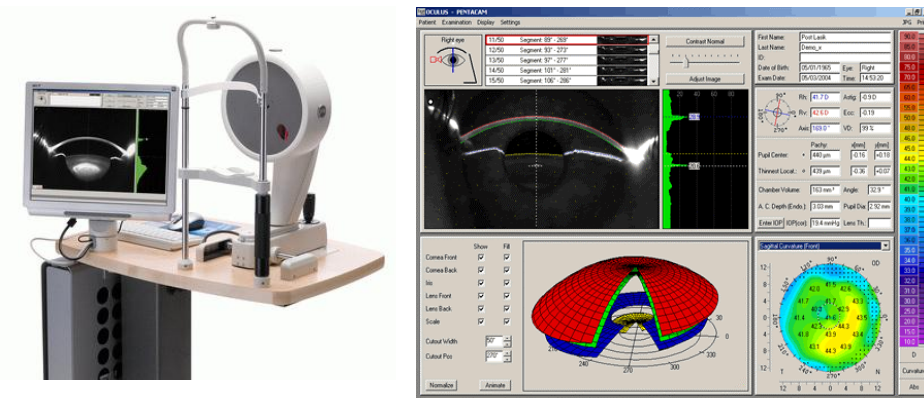
pachymetrii (měření tloušťky rohovky v 5000 bodech), pupilometrii, měření kappa úhlu (úhlu mezi osou vidění a anatomickou osou bulbu). Výhodou přístroje je zobrazení i zadní plochy rohovky. Důležitost mapování zadní plochy rohovky je v tom, že časné znaky některých onemocnění jsou patrné pouze na zadní ploše. Veškeré naměřené údaje poloměrů křivosti rohovky jsou převedeny do trojrozměrné barevně kódované mapy předního segmentu. Umožňuje také měření hloubky přední komory a komorového úhlu [8, 37, 60].



Obr. 7 - Orbscan

zdroj: http://www.laserproeye.com/lasersurgery_technology.html [cit.12-09-2011]

Scheimpflugova kamera, která tvoří další ze zobrazovacích principů, používá ve svém provedení např. Pentacam (firma Oculus, obr. 8). Měření, které trvá asi 2 vteřiny ve 25 000 bodech, probíhá opět v oblasti celého předního segmentu oka a poskytuje trojrozměrný obraz. Umožňuje srovnávat snímky, získat virtuální model předního segmentu, analyzovat pokročilost katarakty a určit přesněji vhodné parametry intraokulární čočky. Výhodou je screening glaukomu, také detekce a hodnocení progresu keratokonu [13, 26, 41]. Ve spojení s wavefront analýzou je přístroj vhodný k předoperačním i pooperačním vyšetřením v refrakční chirurgii [28, 42, 59, 72].



Obr. 8 – Pentacam a obrazovka s daty

zdroj: <http://www.oculus.cz/pent.htm> [cit.12-09-2011]

Základem zobrazovacího přístroje Galilei (obr. 9) je otočná dvoukanálová Scheimpflugova kamera a Placido disk, kombinuje tedy výhody dvou technologií: Placidovo zobrazování poskytuje vysoce přesné měření poloměrů křivosti, zatímco Scheimpflugovo zobrazování je ve vysokém rozlišení a optimální pro precizní získání dat pro výše zmíněné úkony, včetně denzitometrie rohovky a čočky. Zobrazení Galilea zachycuje šterbinové záběry z obou stran osvětlené šterbiny a průměruje data získaná z obou odpovídacích záběrů. Tato technologie tak zlepšuje vyšetření zadní plochy rohovky a poskytuje vynikající přesnost v pachymetrii celé rohovky i v případě, kdy je kamera decentrovaná z důvodu pohybů oka. Rozhraní počítačového softwaru umožňuje uživateli zobrazit Placidův nebo horní pohled (uprostřed) a zároveň Scheimpflugův obraz levý (nahore) a pravý (dole). Tento kombinovaný obraz je využíván pro zarovnání optického modulu před okem pacienta.

Vzdálenost oka a Placido disku je nastavována pomocí červených linek ve Scheimpflugově zobrazení, zatímco červený kruh při pohledu shora (uprostřed) je zarovnán s Purkyňovými obrázky na snímcích pro centrování. Vyhodnocení probíhá současně a po sloučení výsledků je vytvořen komplexní obraz, což je základem pro vysoce přesná měření elevace a zakřivení celé rohovky.

Lidské oko je stále v pohybu, následkem čehož může dojít během měření k odchýlení osy zařízení od nastavené centrální polohy. V tomto případě dopadá světlo ze šterbiny na povrch předního segmentu pod různými úhly, což vytváří dva zdánlivé obrazy, které reprezentují různé relativní tloušťky. Odchylka velikosti o 1 mm může zapříčinit chybu v určení tloušťky až 30 μm [31, 54, 55].

Tyto přístroje umožňují především zobrazení a měření parametrů celého předního segmentu oka-t.j. přední plocha rohovky v celém rozsahu včetně její excentricity, případnou patologii duhovky, lze jimi sledovat i postup kalení oční čočky (denzitometrie).



Obr. 9 – Galilei

zdroj: <http://www.ziemergroup.com/products/galilei/product-profile/theory/merging.html>
[cit.12-09-2011]

K poměrně novým přístrojům se řadí Casia SS-1000 (Tomey), obr. 10, Fourierův optický koherentní tomograf, vysokorychlostní a s optimálním rozlišením obrázků a videí na klinických situacích, včetně LASIKu, glaukomu s uzavřeným úhlem, puchýřku po trabeculectomii a diagnostikou keratokonu. Při rychlosti 0,3 až 2,4 sekundy 3D dat, může být zachycen artefakt s minimálním pohybem. Velikost roviny řezu je 16 x 16 x 6 mm, což umožňuje získat popis optických mohutností na každém místě rohovky. Obrázky mohou být pořízeny už bezprostředně po operaci. Například neprůhledné rohovky mohou být analyzovány pomocí měření zadní plochy, následně jsou vypočteny aplikace pro kvantifikaci dat [40, 68].



Obr. 10 – Casia SS 1000

zdroj: http://www.tomey.de/images/stories/tomey-pdf/ss1000_pros.pdf [cit.12-09-2011]

Novinkou v této oblasti je přídatné zařízení firmy Topcon, které se instaluje na štěrbinovou lampu a provádí přímo OCT předního segmentu, což ocení zejména optometristé či ambulantní oftalmologové.

Výše uvedené charakteristiky diagnostických a zobrazovacích příslušenství, určených k vyšetření předního segmentu oka, napomáhají nejen lékařům kataraktové chirurgie lépe určit astigmatismus oční čočky, ale vyšetření a jeho vyhodnocení je podstatné i u refrakčních zákroků.

K dispozici jsou samozřejmě další zařízení jako: WaveLight Allegro Oculyzer, Copernikus, Sirius a také přístroje měřící nitrooční struktury a celkový refrakční stav na principu aberometrie, např.: Hartmann-Shackův senzor, Tscherningův aberometr, metoda ray tracing.

3. Refrakce rohovky

V kapitole je uveden stručný přehled o fyziologii rohovkové tkáně a slzném filmu.

3.1 Fyziologie rohovky a slzný film ve vztahu k aplikaci kontaktních čoček

ROHOVKA: spolu s bělimou tvoří povrchovou vrstvu očního bulbu. Bělíma přechází v rohovku při svém okraji, který se nazývá limbus. Rohovka je bezbarvá, průhledná a zcela bezcévná tkáň, její povrch je zcela hladký a lesklý. Je první součástí optického systému oka, na kterou dopadá světlo přicházející z vnějšího prostředí. Optická mohutnost rohovky je přibližně +43 dioptrií, což představuje asi 2/3 celkové refrakce oka. Její tloušťka však není rovnoměrná. Průměrný poloměr křivosti v horizontále bývá 7,8 mm a ve vertikále 7,7 mm. Pokud rozdíl hodnot obou poloměrů nepřesáhne 0,1 mm, hovoříme o fyziologickém astigmatismu, který prakticky nemá vliv na celkovou zrakovou ostrost člověka.

Z mikroskopického – anatomického hlediska lze rohovku dělit do pěti vrstev:

1. rohovkový epitel (epithelium anterius corneae)
2. Bowmanova membrána (lamina limitans anterior)
3. rohovkové stroma (substantia propria corneae)
4. Descemetova membrána (lamina limitans posterior)
5. rohovkový endotel (endothel corneae)

Povrchový *epitel* je mnohvrstevný, dlaždicový. Za normálních okolností je složen z 5 – 7 vrstev buněk. Bázi tvoří buňky kubické až cylindrické, z nichž vybíhají háčkovité nebo prstencovité výběžky, která se napojuje na Bowmanovu membránu. Na tuto vrstvu buněk naléhají buňky polyedrické. Pak naléhají dvě vrstvy buněk plochých. Mezi buňkami jsou četná volná zakončení senzitivních nervových vláken. Díky tomu patří rohovka k nejcitlivější tkáni na lidském těle. Slouží také jako ochranná bariéra před zevními vlivy.

Hladká blanka tvořící *Bowmanovu membránu* má jemnou fibrilární strukturu. Tato vlákna jsou obalena stejnou hmotou jako fibrily kolagenních lamel stromatu.

Stroma je nejsilnější vrstvou rohovky, zaujímá asi 9/10 její tloušťky. Má silná, lamelózně uspořádaná kolagenní vlákna. V mezerách mezi lamelami jsou uloženy četné vazivové buňky (keratocyty). Ty tvoří jakousi síť a jsou nepostradatelné pro hojení rohovky po jejím poškození. Její optická homogenita je dána mukoidní substancí (typ kyseliny hyaluronové). Dojde-li k porušení vzájemné souhry těchto faktorů, začne se rohovka kalit.

Descemetova membrána je tvořena pružnou blankou, která se dá odloučit od stromatu. Má také regenerační schopnost.

Endotel je složen z jedné vrstvy plochých buněk mezenchymové povahy. Je důležitý pro udržení rohovkové hydratace a transparence a pro výživu.

Normální rohovka je úplně bezcévná. Výživa se uskutečňuje pomocí difúze, kapilární pleteně okolo limbu a komorové vody.

K posouzení kvalit všech vrstev slouží biomikroskopie pomocí šterbinové lampy. To, že rohovka přijímá atmosférický kyslík, popsal poprvé Fischer už v roce 1930. Všechny vrstvy rohovky potřebují kyslík, dokonce i endotel, i když se dlouho uvažovalo o tom, že endotel není závislý na příjmu atmosférického kyslíku, ale že přijímá kyslík z přední oční komory (duhovkovou cirkulací). Endotel má aktivní enzymatický pumpovací mechanismus, který je nejcitlivější ze všech vrstev rohovky na hypoxii, protože je energicky velmi náročný. Endotel nejvíce a nejdříve trpí hypoxií z nedostatečného příjmu atmosférického kyslíku, což může být způsobeno např. kontaktní čočkou.

Při deficitu kyslíku nastává redukce i epiteliálních buněk. Zejména u tvrdých kontaktních čoček je tato porucha způsobena mechanickým stresem. U tvrdých kontaktních čoček nepropustných pro kyslík, jsou pak poruchy v obnově epiteliálních buněk nejvýraznější.

Mnoho autorů se zabývalo otázkou metabolických a morfologických změn rohovkového epitelu a endotelu v průběhu nošení kontaktních čoček. V epitelu dochází nejprve ke změnám enzymatickým. Podle nových výzkumů se ukázala řada velmi důležitých mechanismů, zejména enzymatických, důležitých pro ochranu oka před škodlivinami zevního prostředí. Tyto systémy mohou být oslabeny nošením kontaktních čoček, i měkkých. Dále pak vlivem hypoxického i mechanického stresu se zvyšují aktivity různých enzymů. Ty se pak dostávají z poškozeného epitelu do slzného filmu a mohou začínat rozvíjet řadu negativních procesů, včetně zánětů. Rohovkový epitel mění do jisté míry i svůj objem spíše u prodloužené aplikace kontaktních čoček.

První změny vlivem nošení čoček lze pozorovat na endotelu pomocí endoteliálního mikroskopu. Zde se posuzuje polymegatismus či redukce počtu endoteliálních buněk.

Prodloužené nošení kontaktních čoček může ovlivnit (redukovat) rohovkovou citlivost, zejména při nošení tvrdých kontaktních čoček. Zde má větší význam mechanický stres, kterým kontaktní čočky na rohovku působí, než hypoxie. Změny byly zjištěny také u plynopropustných kontaktních čoček [3, 18, 35].

Jedním z důležitých činitelů, zabezpečujících rohovkovou transparenční, je udržování normální rohovkové hydratace. Změny hydratace vedou i ke změně transparence.

Rohovková hydratace se nejčastěji mění vlivem hypoxie při nošení kontaktních čoček.

Nároky na průnik kyslíku jsou různé podle toho, zda je čočka určena pro krátkodobé či prodloužené nošení.

Působí také řada dalších vlivů, především mechanická iritace a tlakové změny, poruchy slzného filmu, chemické působení slz, ukládání depozit do kontaktní čočky, dráždění limbálních cév, konjunktiválního epitelu, sekundární infekce,

Změny transparence a hydratace rohovky např. vlivem nošení kontaktních čoček jsou stále předmětem diskuzí.

SLZNÝ FILM: Kontaktní čočky mají velmi těsný vztah k slznému filmu. Obsah vody v hydrogelu a tím i parametry čočky jsou na něm přímo závislé. Především kvantitativní nedostatky slzného filmu mohou vést až ke změnám tvaru a parametrů čoček a jejich ztrátám, dehydrataci rohovky i jejímu vážnému poškození.

Rozhraní slzného filmu a obou ploch čočky jsou významná pro transport plynů. Složení slzného filmu je hlavní faktor ovlivňující tvorbu usazenin na povrchu čoček související s jejich snášenlivostí, životností a výskytem komplikací. Kontaktní čočky jsou tvořeny různými materiály, které mají různé vlastnosti vzhledem k průniku a usazování různých složek slzného filmu.

U tvrdých čoček je „slzná čočka“, mezi kontaktní čočkou a povrchem rohovky důležitou složkou optické soustavy.

Vzhledem k malému množství slz na povrchu oka a křehkosti rovnováhy faktorů zodpovědných za stabilitu filmu, který jej tvoří, je neuvěřitelné, jak velké procento nositelů snáší bez potíží na oku kontaktní čočky, které svým objemem výrazně překračují parametry slzného filmu. Aplikátor by se měl zabývat slzným filmem již před aplikací kontaktních čoček. Jeho stav umožní předpokládat snášenlivost čoček a tomu přizpůsobit jejich výběr a způsob péče. Subjektivní potíže uživatelů čoček často se slzným filmem souvisí, ale teprve jeho vyšetření poukáže na příčinu a odhalí problémy. Primárně narušený slzný film dále zvyšuje riziko možných komplikací.

Složení slzného filmu : - mukózní složka

- vodná složka

- lipidová složka

Funkce slzného filmu : - vytvoření opticky hladkého rozhraní na rohovce

- ochranná funkce – odvádí z povrchu cizí tělíska, nekrotické epiteliální buňky a zplodiny rohovkového metabolismu; slzy obsahují antimikrobiální složky, vyznačující se baktericidní aktivitou.

- lubrikace: slzný film rozprostřený na povrchu oka
umožňuje bezproblémový pohyb víček při mrkání,
tvoří stále vlhké prostředí, které je nezbytné pro
fyziologický stav rohovky.

- dodávání živin

Vyšetření slzného filmu je možné provádět na štěrbinové lampě při běžném vyšetření předního segmentu, kde si také všimáme výšky slzného menisku (vyšší než 0,2 mm) při okraji dolního víčka. Zde záleží na přítomnosti a množství spojivkových řas. Důležitým vyšetřením je hodnocení stability slzného filmu (BUT neboli break-up-time), což je čas do rozpadu slzného filmu. U zdravých jedinců se pohybuje v hodnotách 15-25 sekund. Pozoruje se štěrbinovou lampou s kobaltovým filtrem po vkápnutém fluoresceinu. Množství slz se pak hodnotí pomocí Schirmerova testu nebo fenolového vlákna. Norma je do 10 mm a 2 minuty. K dispozici je více metod.

Mírné formy poruch slzného filmu jsou častou příčinou nesnášenlivosti kontaktních čoček. U takovýchto pacientů dochází k dehydrataci čočky a následné dehydrataci povrchu oka, zvýšenému výskytu depozit. K dehydrataci jsou nejvíce náchylné ultratenké čočky a kontaktní čočky s vysokým obsahem vody [3, 21, 35, 36].

3.2 Změny ve tvaru rohovky

Topografie rohovky je ovlivněna kontaktními čočkami, které jsou v přímém kontaktu s okem a fyzikální síly tak mohou vést ke změně ve tvaru obou médií – kontaktní čočky a oka. Samozřejmě oba typy změn již byly zdokumentovány a mají důležité klinické následky. Pozornost se věnuje technikám aplikace kontaktních čoček a změnám ve tvaru rohovky, protože jsou zásadní pro vidění. Je známo, že kontaktní čočky mohou měnit i topografii spojivky a ovlivnit např. horní víčko (ptóza způsobená tvrdými kontaktními čočkami).

Důraz se klade na různé projevy změn v rohovkové topografii způsobené kontaktními čočkami. Název „změny v topografii“ zahrnuje všechny možné odchylky ve tvaru přední plochy rohovky od normálu. Autoři popisují množství termínů k jednotlivým fenoménům jako: deformace, distorze, vyklenutí, otlak, oploštění, zakulacení a zřasení. Tyto pojmy jsou všeobecně přijatelné a užívají se při objasnění konkrétních změn ve tvaru rohovky.

I když většina těchto změn není záměrná, je třeba mít na paměti, že právě některé typy aplikací kontaktních čoček jsou se záměrem pro ovlivnění tvaru. Dvě známé praktiky

se spornými názory jsou při pokrytí apexu u keratokonu – úmyslem je oploštění kuželovitého tvaru k zastavení nebo zpomalení jeho progresu, a orthokeratologie – oploštění rohovky k redukci refrakční vady.

Podobně keratometrie neprokázala změny tvaru rohovky u denního nebo prodlouženého nošení měkkých kontaktních čoček [22, 48].

Moderní topografické mapovací techniky odhalily, že všechny formy nošení konkrétních čoček mohou způsobovat malou, ale statisticky prokazatelnou změnu v topografii rohovky. Autoři připojili i klinický význam svých výsledků:

- pokles vízu na Snellenových optotypech až o jeden řádek byl zaznamenán u uživatelů PMMA a RGP čoček
- souvislosti mezi decentrací čočky a změnou tvaru rohovky.

Otlak okraje čočky na rohovce se vyskytuje v 29% při denním nošení a v 50% u prodlouženého nošení RGP čoček, což je klinicky dokazatelné v bílém světle nebo při použití fluoresceinu.

Většina dalších forem změn ve tvaru rohovky související s kontaktními čočkami, jako je například zřasení, je méně častá a přisuzovaná spíše nevhodnému designu nebo špatné aplikaci kontaktní čočky. Tyto fenomény a jejich důsledky proto nelze přesně číselně vyjádřit.

Klinický projev změny tvaru rohovky – charakterizovaný postupem času a přesným topografickým vyhodnocením změn, může mít projev závislý především na materiálu, designu a typu aplikace čočky.

Topografické změny se projeví v různých formách.

Starší literatura se zaměřuje na celkové změny v zakřivení, to znamená zestržení nebo oploštění přední plochy rohovky měřenou keratometricky. Výsledky byly prezentovány buď jako změny v poloměru křivosti rohovky (v milimetrech) nebo jako změna přední plochy rohovky, případně refrakce (v dioptriích).

Jakmile si pacient zvykne a je bez centrálního rohovkového edému, ustupuje i vzniklá myopie a zakřivení rohovky s refrakcí se vrací na předaplikační hodnoty. Po 12ti měsíčním nošení PMMA čoček, rohovky často vykazují centrální oploštění následované hypermetropizací, případně redukcí u myopie.

Klinické výsledky se posuzují tradičně použitím klasického keratometru. Tento přístroj je stále nepostradatelnou pomůckou a může být využíván k detekci celkového tvaru rohovky. Obtíže nastávají při vyhodnocování asymetrií nebo při lokalizaci distorzí, protože většina keratometrů, založená na optických podmínkách, odráží světlo od rohovky a měří

v průměru 3,0 mm okolo vrcholu rohovky. Proto případný otok, zevně nebo částečně dotýkající se tohoto průměru nebude zjištěn, případně špatně interpretován [17, 32-34].

V současnosti se běžně používají topografy, které využívají pro výpočet stupně nepravidelnosti tvaru povrchu rohovky počítačové algoritmy. Ruiz-Montenegro a kol. použili "Topographic Modelling Systeme (TMS)" vypočítávající funkci známou jako „Surface Asymmetry Index (SAI)". SAI konkrétně zjišťuje kvantitativní rozsah symetrie poloměru čtyř centrálních keratografických kruhů obklopujících vrchol rohovky.

Čím je vyšší stupeň centrální rohovkové symetrie, tím je index SAI nižší. Vysoký stupeň centrální rohovkové symetrie je charakteristický pro normální rohovky.

SAI byl statisticky a znatelně vyšší u všech typů čoček [20, 30, 48, 70].

Klinické zjištění bylo potvrzeno faktem, že autoři poukázali na vztah mezi přirozeně deformovanou rohovkou a po aplikaci kontaktní čočky. Například v horním kvadrantu u tvrdé čočky bylo patrné oploštění, což v našem případě poukazuje na nárůst indexu SAI. Tyto souvislosti byly objeveny pouze u nositelů RGP a PMMA čoček.

Zřetelná rohovková asymetrie může být změřena keratometricky, u topografie může vykazovat deformované kruhy – eliptického, hruškovitého nebo vejčitého tvaru.

Změna v pravidelnosti rohovky

Společně se SAI vypočítává TMS také funkci známou jako „Surface Regularity Index (SRI)", což je kvantitativní rozsah centrální a paracentrální nepravidelnosti odvozený ze součtu kolísajících dioptrických hodnot rohovky, která se zjišťuje podél hlavních meridiánů pomocí deseti soustředných topografických kruhů. Čím je přední plocha rohovky pravidelnější ve svém centru, tím je index SRI nižší. SRI je úzce spojen se zvolením nejvhodnější brýlové korekce zrakové ostrosti.

SRI byl statisticky a znatelně vyšší u PMMA a RGP čoček než u všech typů měkkých čoček všeobecně. Klinický obraz změn v SRI byl též potvrzen vztahem nositelů PMMA a RGP čoček se sníženým vízem i při nejlepší brýlové korekci, přičemž byly naměřeny zvýšené hodnoty SRI. Pacienti si však výrazně nestěžovali na pocit nepohody ve svých kontaktních čočkách.

Keratometr může zhruba detekovat nepravidelnosti nedostatečnou jasností testové značky, v případě kruhů to znamená, že některé části se budou jevit kontrastnější vůči ostatním, okraje nemusí být perfektně hladké. Samozřejmě toto měření, které keratometr opticky snímá, bude jen do průměru 3 mm na povrchu rohovky. Další pomůcky jako Placidův kotouč a Kleinův keratoskop udělají obdobná měření jako keratometr, ale na větší ploše rohovky.

Za zmínku stojí, že moderní rohovkové topografy nabízí výhody odrazující od tradičních přístrojů, ve smyslu plochy posuzované rohovky, citlivosti, přesnosti, objektivity a schopnosti prezentace vypočtených dat [2, 20, 70].

Důležitým ukazatelem může být individuální odlišnost rohovkové rigidity. Někteří pacienti s měkčími nebo poddajnějšími rohovkami jsou náchylnější ke změnám na rohovce způsobené nošením kontaktních čoček a jejich rohovka se pomaleji vrací do původního tvaru.

I když se PMMA čočky dnes aplikují vyjímečně, nesetkáváme se složitými problémy při vlastní aplikaci jako dříve. Je třeba mít na paměti klinické příznaky při změnách v rohovkové topografii u RGP čoček, což je evidentní u pacientů s vyšší korekcí vyžadující silnější čočky.

Tyto čočky působí na rohovky větším mechanickým a hypoxickým stresem ve srovnání s kontaktními čočkami vyrobených z obdobného materiálu. V každém případě změny tvaru rohovky způsobené kontaktní čočkou se dá jako náprava přejít na používání měkkých čoček, které mají jen nepatrný nebo žádný efekt na topografii rohovky.

Prognózy pro obnovu normální rohovkové topografie jsou velmi rozdílné a závislé na závažnosti a době působení deformačních sil. Nelze jednoznačně předpokládat časové období potřebné k regeneraci rohovky, na kterou působily fyzikální síly. Obnova rohovky po chronickém edému způsobeného kontaktní čočkou je zřejmá až po sedmi dnech od ukončení nošení kontaktních čoček.

Výrazné změny zakřivení rohovky po přerušení nošení PMMA kontaktních čoček po dlouhém používání zdokumentoval Rengstroff. Za první tři dny se začne redukovat myopie průměrně o 1,32 D, následuje postupný návrat k původnímu zakřivení po dobu dalších tří týdnů. Rozsah těchto změn souvisí s délkou nošení PMMA čoček, všeobecně se změny v refrakci objevují se změnou tvaru rohovky.

Bylo zjištěno, že obnova rohovky proběhne bez ohledu na to, zda byla použita metoda náhlého přerušení nošení nebo okamžitá nová aplikace. Protože je ale vidění lepší a stabilnější při metodě nové aplikace, je tento postup preferovaný [7, 24].

Prognóza obnovy závažnějších deformací už není tak dobrá. Hartstein uvedl 12 případů, kdy deformity byly už permanentní. Morgan uvedl jen polovinu uspokojivých výsledků od doby přerušení nošení čoček, Willson uvádí názor, že plná regenerace může trvat 5 – 8 měsíců. Uspokojivé prognózy se dají čekat jen při změně designu nebo typu kontaktní čočky.

Všeobecně je možné odlišit pokles vízu změnou tvaru rohovky od jiných příčin tak, že se minimalizuje posun refrakce se změnami v zakřivení rohovky. I když je tento vztah

platný, je potřeba rozeznat další faktory, kterými jsou přítomnost edému a změny v ostatních refrakčních složkách oka, jež mohou změnit celkový stav refrakce oka.

Změna v zakřivení způsobená kontaktní čočkou může budít dojem keratokonu. Klíčem k rozeznání těchto dvou případů je přítomnost protenčení rohovky, Vogtovy strie, Fleischerův prstenc a progresivní zestržení rohovky (vznikající kužel), do doby než se po přerušení nošení čočkou způsobené vyklenutí upraví a není nadále spojováno se ztenčováním rohovky, proužky a prstencem [23, 25, 29, 36, 59].

Ještě stručně je třeba se zmínit o dvou postupech, při kterých se využívá vlastností tvrdých kontaktních čoček pro formování rohovky za účelem obnovy tvaru této tkáně.

Keratokonius – tlak na konus

Na potvrzení keratokonus se téměř vždy aplikuje tvrdá kontaktní čočka, aby se neutralizovaly rohovkové distorze a dosáhlo se uspokojivého vidění. Nabízí se mnoho teorií, včetně pokrytí apexu, apikální clearance a metoda three-point. U pokrytí apexu je teorie založená na tom, že konstantní pokrytí kuželu zastaví nebo zpomalí jeho progresi.

Korb a kol. upozornili na tvorbu jizev na vrcholu kužele při pokrytí apexu. Dále se ukázalo, že není rozdíl v rychlosti progresu keratokonu, u pacientů nosících a nepoužívajících kontaktní čočky. I přes toto zjištění upřednostňuje tuto techniku 75% kontaktologů (u 1579 pacientů s keratokonem, v USA).

Orthokeratologie

Orthokeratologie je termín používaný pro popis klinických postupů, kdy je záměrem naaplikovat tvrdou kontaktní čočku takovým způsobem, aby se rohovka zformovala do nového tvaru. Úmyslem je změna refrakčního stavu oka. Typickým příkladem je aplikace oplošťující kontaktní čočky myopickému pacientovi pro snížení stupně jeho myopie.

Orthokeratologie musí být brána jako možná alternativa korekce refrakční vady, protože výsledky léčby jsou různé, nespolehlivé a ne příliš výrazné. Některé reference ukazují jen na minimální výsledky (neuspokojivé výsledky až u 61% orthokeratologických pacientů). Tímto procesem se dá nejvíc vykorigovat myopie 1,00 až 1,50 D, i když jde o převážně vratný efekt. Proto se i orthokeratologie limituje jen na lehkou myopii. Nedávno byly obhájeny mnoho sofistikovanější přístupy k orthokeratologii. Jsou známé jako moderní nebo intenzivní orthokeratologie a používá kontaktní čočky s opačnou geometrií ke tvarování rohovky buď přes den, nebo v noci. Wan nedávno provedl tajnou, přesně kontrolovanou namátkovou zkoušku účinku intenzivní

orthokeratologie a dokázal, že tato procedura představuje jen zanedbatelný pokrok oproti předešlým postupům [10, 11, 70].

3.3 Popis rohovky podle Gullstranda

Pro potřeby výpočtů a odvození vztahů zejména v oblasti geometrické optiky byl švédským oftalmologem **Allvarem Gullstrandem** vytvořen model schématického popisu oka (GSO). Jelikož jsou parametry v oku u každého jedince odlišné, nelze je považovat za exaktní. Tento navržený model je zástupcem průměrných hodnot nejčastěji se vyskytujících v populaci. GSO uvádí jednotlivé lámavé soustavy jako kulové optické plochy obklopené prostředími o známém indexu lomu. Je zde kladen důraz na Jenskou znaménkovou konvenci.

V následujících letech však došlo k dalšímu doplnění a obměnám a modifikacím [36, 47].

	Přední plocha rohovky	Zadní plocha rohovky	Rohovka jako celek
Poloměr křivosti (mm)	7,7	6,8	
Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	0,0	0,5	
Optická mohutnost (D)	48,831	-5,882	43,053
Index lomu			1,376

Tabulka 1 – Hodnoty rohovky podle Gullstranda

Rohovka je obklopena prostředími o rozličných indexech lomu, ze strany přední plochy se jedná s o vzduch ($n=1$), ze strany zadní plochy je komorová voda ($n=1,336$). Díky těmto vlastnostem má rohovka velkou refrakční schopnost. V modifikaci zjednodušeného GSO jsou přední a zadní plocha rohovky nahrazeny pouze jednou lámavou plochou o poloměru zakřivení 7,8 mm. Standardní redukované oko je emetropické, nebere v potaz astigmatismus [15, 19, 27, 44].

3.4 Rohovkový astigmatismus

Astigmatismus je refrakční vada, kdy paprsky rovnoběžně vstupující do oka nevytvoří v různých meridiánech své ohnisko ve stejné rovině.

3.4.1 Rozdělení astigmatismu

Pro snazší interpretaci se astigmatismus dělí podle svého charakteru a výskytu na přední ploše rohovky.

3.4.1.1 Pravidelný astigmatismus (regularis)

Bodový předmět z nekonečna se nezobrazuje jako bod v ohnisku, ale ve dvou ohniskových liniích na sebe kolmých. Určují se dva hlavní řezy, s minimálním a maximálním optickým účinkem, které jsou na sebe kolmé (nacházejí se v místě, kde je minimální a maximální lomivost všech meridiánů). Tento druh astigmatismu lze korigovat brýlovou čočkou nebo tórickými kontaktními čočkami. Dvě ohniskové linie jsou odděleny kroužkem nejmenšího rozptylu (KNR), kde je obraz nejméně zdeformovaný, ale stejnoměrně neostrý. Ohniskové linie jsou orientovány kolmo ke svému řezu.

Čím větší astigmatický rozdíl mezi lámavostí obou řezů, tím jsou ohniskové linie více od sebe vzdálené a hodnota cylindru je větší.

Pravidelný astigmatismus se dále dělí:

- **přímý – podle pravidla** (rectus) - vertikální hlavní řez je lámavější (ohnisková linie vertikální blíže k rohovce) než horizontální hlavní řez (ohnisková linie horizontální dále od rohovky než vertikální)
- **nepřímý – proti pravidlu** (inversus) - horizontální hlavní řez je lámavější než vertikální hlavní řez
- **šikmých os** (obliquus) - na sebe kolmé linie nejsou v horizontálním a vertikálním směru, ale jsou posunuty o více než 10° .

(biobliquus) – dvě linie, které nejsou vůči sobě kolmé

Každý z těchto tří astigmatismů lze dále rozdělit na:

- **jednoduchý** (simplex) - jeden hlavní řez je emetropický, jedna ohnisková linie je na sítnici
- **složený** (compositus) - obě ohniskové linie leží před sítnicí (oba řezy myopické) nebo obě ohniskové linie leží za sítnicí (oba řezy hypermetropické). Podíl sférické složky je vyšší než hodnota cylindru: $|sph| > |cyl|$

- **smíšený** (mixtus) - jedna ohnisková linie leží před sítnicí a druhá ohnisková linie leží za sítnicí (jeden řez je myopický a druhý hypermetropický) $|sph| < |cyl|$ nebo ryze smíšený astigmatismus – KNR na sítnici, $|sph| = |cyl|$.

Fyziologický astigmatismus se měří na přední ploše rohovky, astigmatický rozdíl nepřesahuje 0,5 D. Ve většině případů jej není potřeba korigovat, pokud klient neudává astenopické potíže. Zde také není významný rozdíl v poloměrech křivosti přední plochy rohovky v meridiánech, který bývá $\leq 0,1$ mm.

Nejčastěji bývá způsobený tlakem víček, tím pádem má rohovka ve vertikálním směru menší poloměr křivosti (je více lámavá) než v horizontálním řezu. Stářím se tento vertikální tlak víček na rohovku snižuje.

Celkový astigmatismus lze dělit na astigmatismus:

- **rohovky** – změna zakřivení přední plochy rohovky (nejčastější)
- **čočky** – lomivé a optické plochy čočky se také podílejí na astigmatismu, ale v menší míře než rohovka, čočkový astigmatismus může být orientován opačně než rohovkový – autokompenzační pochod v oku (vyrovnává astigmatismus rohovkový)
- **sítnice** – zbytkový astigmatismus má příčiny, které jsou v poruchách centrace optického systému oka a nepravidelnosti zobrazení v oblasti žluté skvrny, bývá zanedbatelný. Pro výpočet celkového astigmatismu lze využít vztah: $Ast_C = Ast_R + Ast_č + Ast_S$ (5)
(Ast_C – astigmatismus celkový, Ast_R – astigmatismus rohovky, $Ast_č$ – astigmatismus rohovky, Ast_S – astigmatismus sítnice)

Korekci astigmatismu je možné provést tórickými brýlovými nebo kontaktními čočkami, přičemž rozdíl mezi vrcholovými lámavostmi obou hlavních řezů se nazývá astigmatická diference, neboli cylindrický účinek.

Změřená osa korekční čočky odpovídá řezu s minimálním optickým účinkem, maximální optický účinek je ve směru kolmém k ose cylindru [10, 14, 47, 52, 63].

Javalova podmínka vyjadřuje vliv rohovkového astigmatismu na celkový oční astigmatismus, udává závislost mezi stupněm očekávaného celkového astigmatismu a astigmatismem rohovky. Empiricky byl zjištěn tento vztah:

$$Ast_C = 5/4 Ast_R \pm 0,5 \quad (6)$$

- u nepřímého rohového astigmatismu $Ast_C = 1,25 Ast_R + 0,5 D$ (7)

- u přímého rohov. astigm. $Ast_C = 1,25 Ast_R - 0,5 D$ (8)

Největší podíl na celkovém astigmatismu má první lámavá plocha rohovky, poloměr křivosti přední plochy rohovky se měří na keratometru. Astigmatismus zadní plochy rohovky bývá zanedbatelný, protože rozdíly mezi indexy lomu rohovky a komorové vody jsou obdobné.

$$Ast_{\check{c}} = 3/2(Ast_C - Ast_R) \quad (9)$$

Dřív se měřil objektivně rohovkový astigmatismus na keratometru a celkový astigmatismus se následně stanovil po subjektivním dokorigování oka pomocí sady zkušebních čoček nebo foropteru, umístěného v rámci vyšetřovací jednotky [12, 20, 50]. Pro subjektivní zjištění astigmatismu lze v praxi optometristy použít zamlžovací metodu s astigmatickým vějířem na optotypu nebo metodu Jacksonových zkřížených cylindrů.

Astigmatismus jako vada v optickém zobrazení se projeví například při špatné inklinaci brýlí nebo při nadměrném prohnutí brýlového středu a to i když je brýlová čočka správně centrovaná [1, 9, 36, 49, 50, 63].

3.4.1.2 Nepravidelný astigmatismus (irregularis)

Je způsoben deformací rohovky nebo jiné optické plochy v oku např. posunutím oční čočky (luxací). V každém meridiánu, i v každém místě plochy má jinou optickou mohutnost (nelze tedy určit hlavní řez s minimálním a maximálním účinkem).

Nelze ho korigovat brýlovou čočkou, jen nepravidelný astigmatismus způsobený deformací přední plochy rohovky (keratokonus – kuželovité vyklenutí rohovky). Zde bývá jedinou možností korekce tvrdou kontaktní čočkou (slzná čočka pod kontaktní čočkou zmírní rohovkový astigmatismus).

3.5 Určení excentricity

Z matematického hlediska je možné tvar přední plochy rohovky chápat jako plochu druhého stupně. Osový řez plochou (meridián) je tudíž křivkou druhého stupně. V praxi se lze setkat i s plochou rohovky mírně odchýlenou od rotační plochy - tříosá plocha druhého stupně, čímž se pak jednotlivé osově meridiány mohou mírně lišit. Ve dvou hlavních řezech jsou tvary a hodnoty extrémní. Pokud se položí vrchol křivky meridiánu plochy rohovky do počátku, je možné jej následně vyjádřit matematickými vztahy pro hyperbolu, parabolu, elipsu, kružnici a z toho vyjádřit obecný tvar takto:

hyperbola: $y^2 = 2px + (b^2 / a^2) x^2 \quad (10)$

parabola: $y^2 = 2px \quad (11)$

elipsa: $y^2 = 2(b^2 / a) x - (b^2 / a^2) x^2 \quad (12)$

kružnice: $y^2 = 2px - x^2 \quad (13)$

obecně: $y^2 = 2px - K x^2$, respektive $y^2 = 2(b^2/a) \pm (b^2/a^2) x^2$ (14),
kde x je souřadnice ve směru osy rotace, y je pořadnice kolmá k ose, $p = ro$ je poloměr
křivosti ve vrcholu, a je délka hlavní poloosy, b je délka vedlejší poloosy a K je tvarový
koeficient [45, 51, 57].

Pro vlastní praxi v kontaktologii je důležité určení tvarové konstanty K pomocí
naměřených keratometrických hodnot [45]. V případě měření periferie rohovky na
klasickém manuálním keratometru je potřeba mít přídatná zařízení a pomůcky pro fixaci
oka, které toto umožní. Od přístroje se očekává maximální přesnost v měření a taková
rohovka pak může být vyjádřena číselně.

Rotačně symetrická asférická plocha vzniká rotací určitého druhu kuželosečky
okolo své osy (mimo kružnice) a řadí se sem elipsa, parabola a hyperbola. Tyto
kuželosečky se odlišují měnicím se poloměrem křivosti v celém svém průběhu. Poloměr je
nejmenší v ose a na obě strany směrem do periferie se postupně křivka symetricky
oplošťuje v závislosti na zvyšujícím se poloměru křivosti [4, 8].

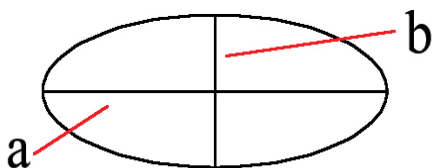
Přední plocha rohovky se dá matematicky obecně připodobnit křivce druhého
stupně, ze které lze vyjádřit vztahy mezi jednotlivými charakteristikami, popisující
asféricitu, potažmo excentricitu, kde a je hlavní poloosa, b je vedlejší poloosa (obr. 11) [5,
6, 75].

$$p = b^2/a^2 = Q+1 = 1-SF = 1-\varepsilon^2 \quad (15)$$

$$\varepsilon = \sqrt{1-p} = \sqrt{-Q} = \sqrt{SF} \quad (16)$$

$$SF = \varepsilon^2 = 1-p = -Q \quad (17)$$

$$Q = p-1 = -SF = -\varepsilon^2 \quad (18),$$



Obr. 11 – Obecný tvar elipsy (a – hlavní poloosa, b – vedlejší poloosa),
zdroj: [http://blogs.discovermagazine.com/badastronomy/2009/01/04/does-this-perihelion-make-my-sun-look-fat/\[cit.27-04-2012\]](http://blogs.discovermagazine.com/badastronomy/2009/01/04/does-this-perihelion-make-my-sun-look-fat/[cit.27-04-2012])

Zejména autoři zahraničních studií, uvádí jako asféricitu konstantu Q , kde pro
sférickou plochu je $Q = 0$, pro libovolnou asférickou plochu bude Q nenulové.

Lze tedy vyjádřit vztah pro hyperbolu, kde $Q < -1$; pro parabolu podél osy Z je $Q = -1$.
V případě elipsy protáhlé s osou Z je v intervalu $-1 < Q < 0$, pro plochou elipsu v rozmezí
osy X a Y je $Q > 0$ (viz tab. 2). Průměrná asféricita v populaci zaujímá hodnotu $-0,26$.

Záporné znaménko charakterizuje oploštění rohovky směrem do periferie, kladné znaménko vyjadřuje strmější přechod do periferie [75].

Pokud je předpoklad, že rohovka má tvar rotační elipsy, pak keratometrické údaje zjištěné v periferii poskytnou údaje o excentricitě rohovky. Hodnota udává kruhový průřez, přičemž kladná hodnota menší než jedna charakterizuje průběh elipsy s typickým oploštěním směrem od vrcholu rohovky do její periferie, což je typické pro lidské rohovky.

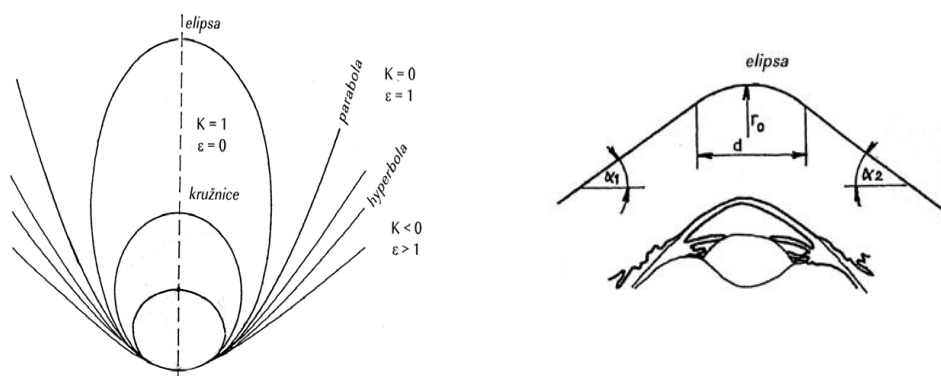
Definici excentricity lze formulovat následovně: jedná se o matematicky definovanou odlišnost asférické křivky od tvaru kružnice (sféry). Hodnota zpravidla popisuje typ kontaktní čočky nebo zakřivení rohovky, které obvykle nabývá hodnot 0,45. Teoretické modely jsou pak popsány pomocí kuželoseček, jak je patrné z obr. 12.

Excentricita je jedním z faktorů, podle kterého se určuje typ aplikace zejména tvrdých kontaktních čoček, její matematická hodnota je nižší než 1, viz. tabulka 2. V takovémto případě, podle klinických modelů prokazující eliptický průběh rohovky, jsou při korekci refrakčních vad často voleny kontaktní čočky s asférickou geometrií. Avšak ne všechny typy kontaktních čoček lze touto hodnotou charakterizovat.

V případě výběru vhodných parametrů kontaktních čoček patří bezesporu posouzení topografické mapy přední plochy rohovky, určení nejstrmějšího a nejploššího meridiánu, respektive hodnot excentricity. Její průběh se mění v závislosti na tvaru rohovky.

Je-li například biasférická kontaktní čočka s vysokou hodnotou excentricity decentrována, často vyvolá reziduální astigmatismus, který je způsobený rozdílnými optickými mohutnostmi sagitálních a tangenciálních poloměrů křivosti v periferii.

Následně pak podle provedené topografie a zjištěné hodnoty excentricity přední plochy rohovky se vybírá a navrhuje geometrie zkušební čočky též u metody orthokeratologie (viz kap. 3.2).



Obr. 12 - Průběh kuželoseček, tvarová konstanta K a excentricita ϵ .

zdroj: [45, 69, 71] [cit.5-02-2012]

kuželosečka	Q	ε	K	p	SF
sféra / kružnice	0	0	1	1	0
hyperbola	< -1	> 1	< 0	< 0	> 1
parabola	-1	1	0	0	1
protáhlá elipsa	-1 < Q < 0	0 < ε < 1	0 < K < 1	0 < p < 1	0 < SF < 1
zploštělá elipsa	> 0	< 0	> 1	> 1	< 0

Tabulka 2 - Srovnání značení a matematické vyjádření kuželoseček dle jednotlivých autorů. (Q – koeficient asféricity, ε – excentricita, K – tvarová konstanta, p – index asféricity, SF – tvarový faktor).

Z výše uvedených vztahů (10–13) je možné dále odvodit a určit číselné hodnoty charakterizující rohovku v měřené oblasti. Jsou-li známé r_0 a K, lze odvodit velikost obou poloos:

$$a = r_0/|K| \quad (19)$$

$$b^2 = r_0^2/|K| \quad (20)$$

Z odvozených vztahů pak lze analogicky určit vztah pro vlastní excentricitu rohovky, který je následující:

$$\varepsilon^2 = a^2 - b^2 = r_0^2/K^2 (1 - K) \quad (21)$$

Ve kterémkoliv místě na přední ploše rohovky od vrcholu, lze zjišťovat dva poloměry křivosti, sagitální a tangenciální.

Sagitální poloměr křivosti (r_s) lze vyjádřit rovnicí: $r_s = \{ r_0^2 + (1-p) y^2 \}^{1/2}$ (22)

Tangenciální poloměr křivosti (r_t) popisuje rovnice: $r_t = r_s^3 / r_0^2$ (23)

U sférické nebo neastigmatické rohovky, je možné měřit tangenciální poloměr křivosti v periférii tak, že se při vlastním měření změni směr fixace od centra v rovině testové značky. Nejsnáze lze zjišťovat výsledky z periférie při fixaci nasálních testových značek, případně v jejich blízkém okolí.

Uspořádáním orientace testových značek tak, aby byly souběžné a kolmé ke směru posunu fixace, lze automaticky malými keratometrickými značkami zjistit sagitální a tangenciální poloměry křivosti přední plochy rohovky. Protože střed poloměru křivosti tangenciálního oblouku neleží na stejné ose s rohovkou, označuje se takový průběh jako evoluta [44, 49, 51, 71, 75].

4. Cíl práce

- Ověření dřívějších poznatků uváděných v literatuře, které se uplatnily při návrzích konstrukcí vnitřní plochy měkkých hydrogelových, případně silikonhydrogelových kontaktních čoček (eliptický průběh rohovky) – hypotéza 1
- Verifikace parametrů přední plochy rohovky ve srovnání s hodnotami Gullstrandova schématického oka – hypotéza 2
- Subjektivní hodnoty celkového astigmatizmu (v absolutní hodnotě) jsou menší než hodnoty zjištěné pomocí objektivních vyšetřovacích metod (ARM) – hypotéza 3
- Převaha astigmatizmu podle pravidla v populaci (potvrdit/vyvrátit) – hypotéza 4
- Srovnání korekce astigmatizmu brýlemi a kontaktními čočkami – hypotéza 5

5. Soubor

Do randomizované studie, která probíhala od října roku 2008 do března roku 2012, bylo celkově zařazeno 678 klientů, tj. 1356 očí. Vybrané subjekty byly rozděleny do tří souborů. Soubor 1 je zastoupen klienty s refrakční vadou myopie, soubor 2 tvoří pacienti s refrakční vadou hypermetropie. Soubor číslo 3 je volen jako kontrolní, je zastoupen emetropickými klienty, tedy „zdravými“ subjekty, kteří jsou bez potřeby korekce refrakční vady a jejichž naturální vízus byl minimálně 1,0 (5/5) a lepší.

Při vstupním vyšetření byli ze souboru vyřazeni respondenti, kteří podstoupili laserovou refrakční operaci, měli jakýkoliv projev zánětlivého charakteru či jiné symptomy, které by mohly zkreslit výsledná měření (blefaritis, purulentní conjunktivitis, poruchy slzného filmu nebo s poruchami postavení víček).

Všichni klienti byli vyšetřeni registrovaným optometristou na ambulanci Kliniky nemocí očních a optometrie FN U sv. Anny v Brně. Reprodukovatelnost měření byla zajištěna.

5.1 Soubor 1

Tato skupina je zastoupena 340-ti klienty (N=680) s refrakční vadou myopie (krátkozrakost). Věkový průměr činí $39 \pm 18,9$ let (min. 9 let, max. 95 let, medián 35 let), graf 1. Jelikož se jedná o věkovou skupinu s osobami vedoucí aktivní způsob života, byly při vlastní korekci refrakční vady jako první volba vybírány a následně aplikovány měkké kontaktní čočky, jak sférické, tak tórické. Samozřejmě ve všech případech museli mít klienti k dispozici brýle s odpovídajícími hodnotami rozptylných brýlových čoček.

U vyšších stupňů refrakční vady byly klientům doporučeny vysokoindexové brýlové čočky.

Tato refrakční vada je v populaci nejvíce korigována. Tak tomu je i v této studii.

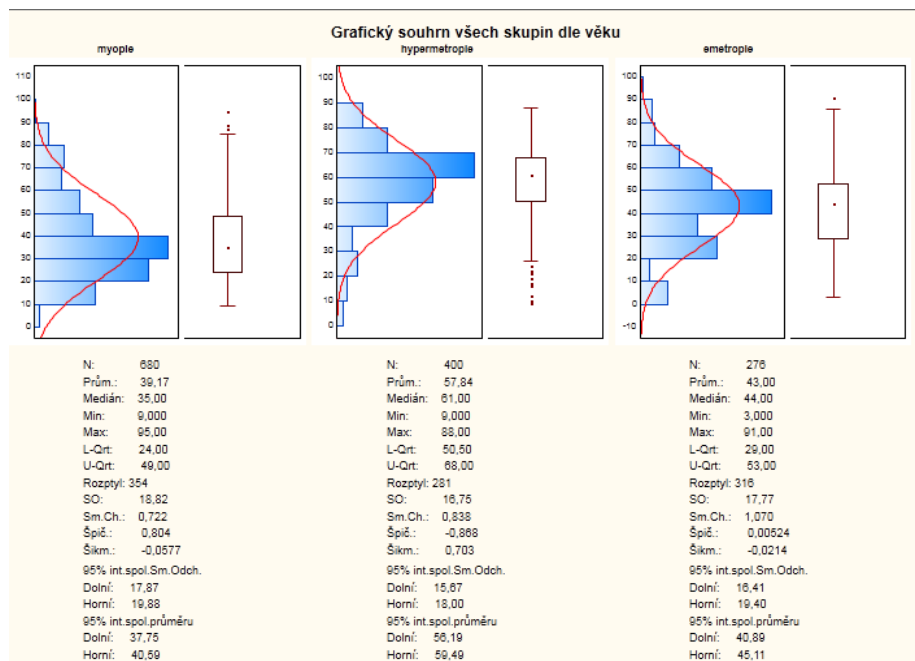
5.2 Soubor 2

Soubor 2 tvoří pacienti s hypermetropií (dalekozrakostí). Celkově jej tvoří 200 subjektů (N=400) s průměrným věkem $58,84 \pm 16,73$ let (min. 9 let, max. 88 let, medián 62 let), též v grafu 1. Nízká hypermetropie je podle literárních zdrojů nejčastěji se vyskytující refrakční vadou, její korekce však není tak častá. Tuto skupinu tvoří klienti, kterým byla následně nejčastěji zhotovena korekční pomůcka se spojnými brýlovými čočkami. Také při korekci pomocí kontaktních čoček jsme v případě hypermetropie omezení nabídkou

a škálou rozsahů optických mohutností. Zejména při vyšších hodnotách refrakční vady a kombinace s vyšší hodnotou korekční složky astigmatismu.

5.3 Soubor 3

V rámci tohoto kontrolního souboru bylo změřeno 138 emetropických klientů (N=276) s věkovým průměrem $42,99 \pm 18,73$ let (min. 3 roky, max. 91 let, medián 44 let), viz. graf 1. Tuto skupinu tvoří zdraví klienti, kteří jen žádali preventivní kontrolu vízu. U klientů souboru 3 se setkáváme s možností nošení brýlí především jako módního doplňku, zájem byl o brýlové čočky s absorpčními vrstvami, antireflexní úpravou a samozabarvujícím provedením. Z nabídky kontaktních čoček si tito klienti vybírají zejména barevné čočky, které mají kosmetický efekt.



Graf 1 - Grafický souhrn věkového rozložení v jednotlivých souborech

6. Metodika

Zjištění hodnot poloměrů křivosti rohovky ve dvou na sebe kolmých řezech, tedy nejstrmějším a nejplošším, bylo prováděno na autorefraktometru s Placido kotoučem (KR 8100P, Topcon, Japan). Zároveň byla změřena objektivní refrakce a sledována topografická mapa s výpočtem hodnoty střední excentricity rohovky. K jejímu vyhodnocení byl využit software a program Corneal Analyser Software, Version 3.0.

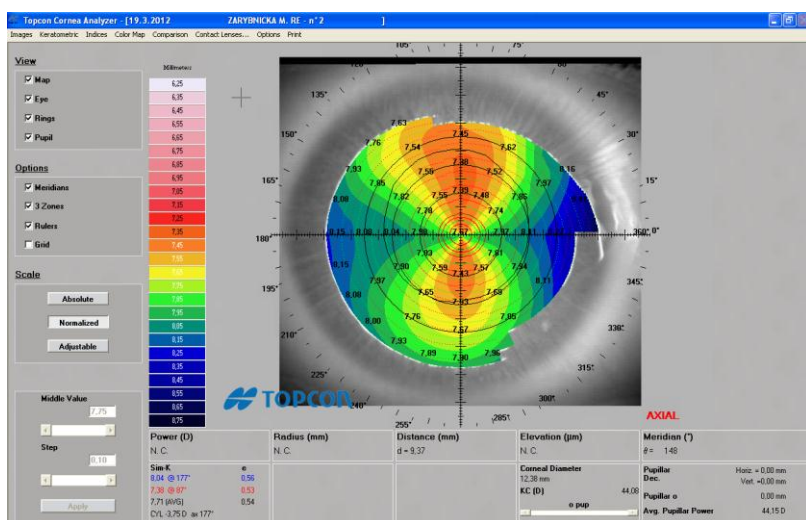
Metodika měření a zobrazení keratometrických hodnot pomocí topografie je ve formě barevné mapy (nejčastěji sagitální), tj. souhlasné s optickou osou oka. Tangenciální mapy zobrazují poloměr křivosti přední plochy rohovky v daném místě a jsou výraznější v lokalizaci změn na rohovce (např. keratokonus, pooperační stavy). Tato mapa ukazuje reálnou vzdálenost od vrcholu rohovky. Při měření byl též prováděn screening keratokonu a případná kompatibilita jeho hodnocení s výsledky provedené topografie rohovky.

Zjištěné hodnoty refrakce byly následně subjektivně přezkoušeny pomocí astigmatické zkušební brýlové obruby a sady brýlových čoček (Oculus). Zjištění vízu probíhalo na standardní vyšetřovací vzdálenost 5 m za použití projekčního optotypu (ACP-8, Topcon, Japan). Výsledky jsou zpracovány ze sedmimilimetrové zóny přední plochy rohovky směrem od jejího centra směrem do periferie.

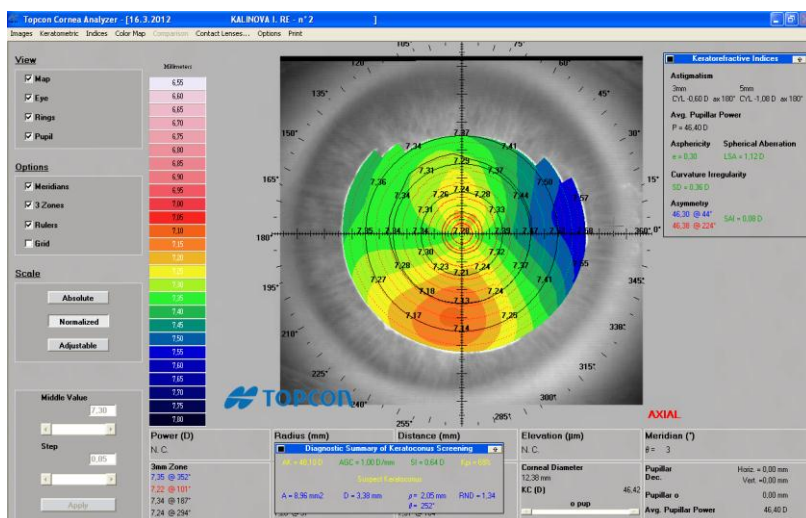
Ke statistickému zpracování zjištěných výsledků byla použita aplikace programu Statistica 10, CZ-Česká jednoruživatelská verze firmy StatSoft[®], dostupná studentům Masarykovy univerzity. Testy normality potvrdily normální rozložení dat, proto mohl být mimo jiné také využit jednovýběrový t-test. Výsledkem tohoto testu jsou pak data, která ukazují na průměry vstupních proměnných, jejich směrodatné odchylky (SD), případně jejich standardní chyby. Ve všech případech pak byla určena hodnota statistické významnosti „p“, která byla stanovena na 0,05. Výpočty zhodnocují vztahy pohlaví, věku, refrakční vady a hodnot rohovkového astigmatizmu. Součástí jsou také rozkladové tabulky, pro názornost, jakých hodnot parametry dosahují. Ke zjištění vzájemných korelací byl pak volen Spearmanův korelační koeficient. Zjištěné výsledky jsou vysoce signifikantní. Vše je doplněno grafy.



Obr. 13 - Zobrazení topografické mapy použitým softwarem
zdroj: archiv autora



Obr. 14 – Mapa pravidelného astigmatismu přímého
zdroj: archiv autora



Obr. 15 – Mapa suspektního keratokonu (subjekt vyřazený ze studie)
zdroj: archiv autora

Parametry měřicího přístroje:

Samotný přístroj je svojí konstrukcí podobný standardnímu autorefraktometru s opěrkou brady a čela. Měřicí hlava je opatřena Placidovým kotoučem. Zařízení je součástí vyšetřovací jednotky.

- Rozsah sférické složky: +22,0 D až – 25,0 D (po 0,25 D případně po 0,12 D krocích)
- Astigmatismus do: +/- 8,0 D; osa cylindru: 0° - 180°
- Poloměr křivosti rohovky: od 5,0 mm do 10,0 mm (po 0,01 mm kroku)
- Optická mohutnost rohovky: 33,75 mm – 67,50 mm (po 0,25 mm případně po 0,12 mm krocích), index lomu = 1,3375
- Hodnota rohovkového astigmatismu: 0 D – 10,0 D (+/-)
- Rozsah měřené plochy rohovky: od 1,5 mm – 9,2 mm
- Minimální průměr zornice pro měření: 2,0 mm
- Měření pupilární distance: do 85 mm (po 1,0 mm kroku)
- Fixace testové značky je pomocí auto zamlžovací metody, získaná data mají výstup na obrazovce přístroje, nebo jsou zobrazena počítačem
- Provozní teplota v místnosti: 10°C - 40°C

7. Výsledky

Sledovaný soubor byl podle refrakční vady rozdělen na skupinu **1** zastupující myopii, skupinu **2** představující hypermetropii a skupinu **3**, jako kontrolní soubor zahrnující emetropii. Tabulka 3 prezentuje kompletní hodnoty získané od všech subjektů zpracovaných popisnou statistikou, ze kterých byla následně provedena statistická analýza a ověření stanovených hypotéz.

Parametr	Počet	průměr±SD	minimum	maximum	medián
Věk subjektů (roky)	1356	45,45±19,76	3	95	44
Pohlaví – muži	280				
- ženy	398				
Objektivní refrakce – sféra (D)	1356	-0,35±3,17	-20,5	+19,0	0
- cylindr (D)	1055	-0,96±0,91	-0,25	-7,25	-0,75
- osa (°)	1055	97,35±51,10	0	180	94
Subjektivní refrakce – sféra (D)	1356	-0,49±2,80	-18,0	+17,0	0
- cylindr (D)	1050	-0,49±0,77	-0,25	-5,0	0
- osa (°)	1050	97,96±52,93	0	180	90
Nejstrmější meridián - r ₁ (mm)	1356	7,65±0,28	6,67	8,71	7,65
- osa (°)	1356	89,83±38,16	0	180	90
Nejplošší meridián - r ₂ (mm)	1356	7,79±0,28	6,94	8,90	7,79
- osa (°)	1356	179,79±38,23	0	180	180
Astigmatický rozdíl: r ₂ -r ₁ (mm)	1356	0,14±0,11	0	0,99	0,11
Hodnota rohovkového ast. (D)	1356	-0,75±0,60	0	-5,99	-0,60
Optická mohutnost rohovky (D)	1356	43,77±1,55	38,34	51,76	43,72
Průměr rohovky (mm)	1356	12,01±0,35	10,69	13,27	12,00
Excentricita v 10°	1356	0,30±0,17	0	0,93	0,29
Excentricita ve 20°	1356	0,36±0,14	0,01	0,97	0,38
Střední excentricita	1356	0,41±0,12	0	0,88	0,41
Astigmatizmus podle pravidla	609				
Astigmatizmus proti pravidlu	136				
Astigmatizmus šikmých os	577				
Ryze sférická rohovka	34				
Refrakční vada - myopie	680				
- hypermetropie	400				

Tabulka 3 – Numerické hodnoty parametrů u všech subjektů zařazených do studie

	Součet pořadí - MUŽI	Součet pořadí - ŽENY	U	Z	p-hodnota	Z - upravené	p-hodnota	N plat. MUŽI	N plat. ŽENY
Věk (roky)	365834,0	554212,0	208754,0	-1,9895	0,046642	-1,9898	0,046612	560	796
Obj. refrakce sph. (D)	384562,5	535483,5	218277,5	0,6482	0,516868	0,6486	0,516618	560	796
Obj. refrakce cyl. (D)	234781,5	322258,5	134067,5	0,2877	0,773549	0,2933	0,769260	442	613
Obj. refrakce ax. (°)	228350,5	328689,5	130447,5	-1,0291	0,303438	-1,0291	0,303417	442	613
Subj. refr. sph. (D)	382569,0	537477,0	220271,0	0,3674	0,713320	0,3710	0,710610	560	796
Subj. refr. cyl. (D)	232113,5	319661,5	134210,5	-0,0324	0,974184	-0,0356	0,971569	442	608
Subj. refr. ax. (°)	46842,5	62435,5	26541,5	-0,1323	0,894771	-0,1325	0,894579	201	266
Nejstrmější meridián r_1 (mm)	417703,0	502343,0	185137,0	5,3159	0,000000	5,3164	0,000000	560	796
Nejstrmější meridián ax. (°)	364348,0	510155,0	206345,0	0,7546	0,450505	0,7551	0,450199	543	779
Nejplošší meridián r_2 (mm)	404952,0	515094,0	197888,0	3,5200	0,000432	3,5203	0,000431	560	796
Nejplošší meridián ax. (°)	345015,0	529488,0	197319,0	-2,0763	0,037868	-2,0776	0,037747	543	779
Rozdíl meridiánů $r_2 - r_1$ (mm)	341496,5	578549,5	184416,5	-5,4174	0,000000	-5,4241	0,000000	560	796
Opt. mohutn. rohovky (D)	347951,0	572095,0	190871,0	-4,5083	0,000007	-4,5083	0,000007	560	796
excentricita střední	398535,5	521510,5	204304,5	2,6162	0,008891	2,6178	0,008851	560	796
excentricita v 10°	372500,5	547545,5	215420,5	-1,0506	0,293451	-1,0508	0,293368	560	796
excentricita ve 20°	391709,5	528336,5	211130,5	1,6548	0,097962	1,6553	0,097869	560	796
Průměr rohovky (mm)	423982,0	496064,0	178858,0	6,2003	0,000000	6,2012	0,000000	560	796

Tabulka 4 - Mann-Whitneyův U test podle proměnné POHLAVÍ. Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$.

Porovnáním jednotlivých parametrů podle pohlaví jsou rozdíly u věku jen hraničně, nejstrmější meridián r_1 (mm), nejplošší meridián r_2 (mm), (osa u obou už jen hraničně), astigmatický rozdíl $r_2 - r_1$ (mm), optická mohutnost rohovky (D), střední excentricita a průměr rohovky (mm), jak je uvedeno v tabulce 4.

Z naměřených hodnot lze dále sestavit jednotlivé rozkladové tabulky popisných statistik srovnání pohlaví a proměnných, které vykazovaly odlišnost.

7.1 Pohlaví

V tabulkách 5-12 jsou uvedeny statistiky, které vykazovaly rozdíly.

Pohlaví	Věk (roky) - Průměr	Věk (roky) - N	Věk (roky) - Sm.odch.	Věk (roky) - Minimum	Věk (roky) - Maximum	Věk (roky) - 25.kvan.	Věk (roky) - Medián	Věk (roky) - 75.kvan.
Muži	43,93571	560	18,68359	5,000000	85,00000	30,00000	43,00000	58,00000
Ženy	46,52764	796	20,43361	3,000000	95,00000	30,00000	44,50000	63,00000
celkem	45,45723	1356	19,76393	3,000000	95,00000	30,00000	44,00000	61,00000

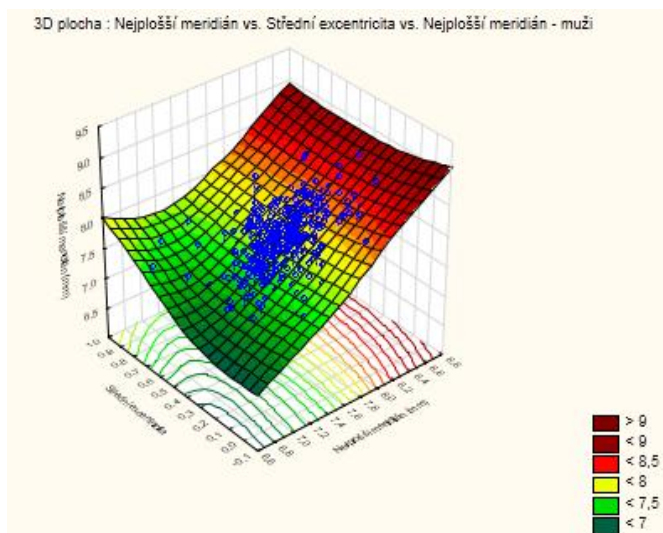
Tabulka 5 – Srovnání pohlaví a věku (v letech) u všech skupin (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356), viz. graf 1.

Pohlaví	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Průměr	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - N	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Sm.odch.	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Minimum	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Maximum	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - 25.kvan.	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Medián	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - 75.kvan.
Muži	7,701929	560	0,271376	6,690000	8,620000	7,530000	7,710000	7,870000
Ženy	7,623731	796	0,278252	6,670000	8,710000	7,450000	7,620000	7,800000
celkem	7,656025	1356	0,278014	6,670000	8,710000	7,470000	7,655000	7,840000

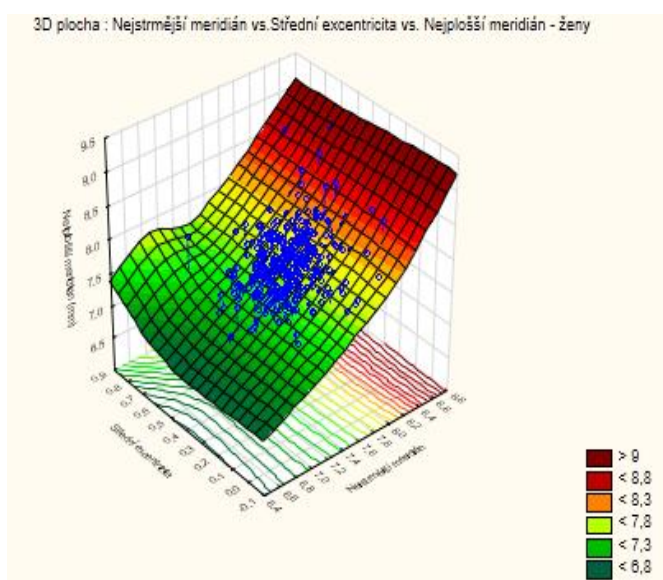
Tabulka 6 – Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a nejstrmějšího meridiánu (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Pohlaví	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Průměr	Nejplošší meridián r_2 (mm) - N	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Sm.odch.	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Minimum	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Maximum	Nejplošší meridián r_2 (mm) - 25.kvan.	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Medián	Nejplošší meridián r_2 (mm) - 75.kvan.
Muži	7,822232	560	0,267250	6,980000	8,700000	7,630000	7,820000	8,010000
Ženy	7,771156	796	0,282601	6,940000	8,900000	7,580000	7,760000	7,940000
celkem	7,792249	1356	0,277408	6,940000	8,900000	7,600000	7,790000	7,970000

Tabulka 7 – Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a nejploššího meridiánu (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).



Graf 2a – 3D grafické srovnání hodnot nejstrmějších a nejplošších meridiánů rohovky s hodnotami střední excentricity u skupiny muži.



Graf 2b – 3D grafické srovnání hodnot nejstrmějších a nejplošších meridiánů rohovky s hodnotami střední excentricity u skupiny ženy.

Pohlaví	$r_2 - r_1$ (mm) Průměr	$r_2 - r_1$ (mm) - N	$r_2 - r_1$ (mm) - Sm.odch.	$r_2 - r_1$ (mm) - Minimum	$r_2 - r_1$ (mm) - Maximum	$r_2 - r_1$ (mm) - 25.kvan.	$r_2 - r_1$ (mm) - Medián	$r_2 - r_1$ (mm) - 75.kvan.
Muži	0,122464	560	0,099395	0,00	0,990000	0,060000	0,090000	0,150000
Ženy	0,147186	796	0,110675	0,00	0,930000	0,080000	0,120000	0,180000
celkem	0,136976	1356	0,106821	0,00	0,990000	0,070000	0,110000	0,170000

Tabulka 8 - Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a velikosti rozdílu mezi jednotlivými meridiány (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Pohlaví	Hodnota rohovkového ast. (D) - Průměr	Hodnota rohovkového ast. (D) - N	Hodnota rohovkového ast. (D) - Sm.odch.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Minimum	Hodnota rohovkového ast. (D) - Maximum	Hodnota rohovkového ast. (D) - 25.kvan.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Medián	Hodnota rohovkového ast. (D) - 75.kvan.
Muži	-0,672946	560	0,562581	-5,99000	0,00	-0,83000	-0,530000	-0,340000
Ženy	-0,805339	796	0,625322	-5,30000	0,00	-1,00000	-0,685000	-0,420000
celkem	-0,750664	1356	0,603526	-5,99000	0,00	-0,94000	-0,600000	-0,390000

Tabulka 9 - Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a hodnotou rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Pohlaví	Opt. moh. rohovky (D) - Průměr	Opt. moh. rohovky (D) - N	Opt. moh. rohovky (D) - Sm.odch.	Opt. moh. rohovky (D) - Minimum	Opt. moh. rohovky (D) - Maximum	Opt. moh. rohovky (D) - 25.kvan.	Opt. moh. rohovky (D) - Medián	Opt. moh. rohovky (D) - 75.kvan.
Muži	43,55686	560	1,531091	38,46000	51,76000	42,65000	43,46000	44,53000
Ženy	43,92230	796	1,547163	38,34000	49,57000	42,92000	43,91500	44,90000
celkem	43,77138	1356	1,550464	38,34000	51,76000	42,79500	43,72000	44,75000

Tabulka 10 - Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a optické mohutnosti rohovky (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Pohlaví	Střední excentricita - Průměr	Střední excentricita - N	Střední excentricita - Sm.odch.	Střední excentricita - Minimum	Střední excentricita - Maximum	Střední excentricita - 25.kvan.	Střední excentricita - Medián	Střední excentricita - 75.kvan.
Muži	0,419375	560	0,119959	0,00	0,880000	0,350000	0,420000	0,480000
Ženy	0,400704	796	0,116610	0,00	0,850000	0,325000	0,410000	0,470000
celkem	0,408414	1356	0,118319	0,00	0,880000	0,330000	0,410000	0,480000

Tabulka 11 - Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví a hodnoty stření excentricity rohovky (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Pohlaví	Průměr rohovky (mm) - Průměr	Průměr rohovky (mm) - N	Průměr rohovky (mm) - Sm.odch.	Průměr rohovky (mm) - Minimum	Průměr rohovky (mm) - Maximum	Průměr rohovky (mm) - 25.kvan.	Průměr rohovky (mm) - Medián	Průměr rohovky (mm) - 75.kvan.
Muži	12,07945	560	0,349949	11,12000	13,27000	11,86500	12,09000	12,32000
Ženy	11,96437	796	0,352171	10,69000	13,27000	11,73000	11,96000	12,19000
celkem	12,01190	1356	0,355671	10,69000	13,27000	11,77000	12,00000	12,25000

Tabulka 12 - Rozkladová tabulka popisných statistik pohlaví horizontálního průměru rohovky (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356).

Ve výše uvedených tabulkách vykazující rozdíly mezi porovnávanými parametry, lze vzhledem k tématu práce učinit závěr, že rozdělením sledovaných subjektů podle pohlaví vykazují ženy menší poloměry křivosti přední plochy rohovky, ty jsou tedy strmější, než je tomu u mužů (viz. tab. 6 a 7, též v grafu 2a,b). Též podle fyziognomických a anatomických parametrů na lidském těle, vykazují vyšší a statnější postavy zpravidla muži. Tomuto odpovídají větší průměry rohovek, nižší hodnota rohovkového astigmatismu a plošší poloměry křivosti přední plochy rohovky. V návaznosti pak odpovídá zjištěnému vyšší hodnota střední excentricity u mužů oproti ženám (viz. tab. 10,11). Vychází se z teorie, že konstituce těla mužů je korpulentnější, než je tomu u žen.

Pro zjištění vzájemných korelací všech proměnných s věkem subjektů byly následně využity Spearmanovy korelace, (viz. tab. 13-14), ChD jsou vynechány, párově označené korelace jsou významné na hladině $p < ,05000$.

	Počet - plat.	Spearman - R	t(N-2)	p-hodn.
Obj. refrakce – sph. (D) & Věk (roky)	1356	0,425580	17,30532	0,000000
Obj. refrakce - cyl. (D) & Věk (roky)	1055	-0,203538	-6,74603	0,000000
Obj. refrakce - ax. (°) & Věk (roky)	1055	-0,100720	-3,28506	0,001053
Subj. refrakce - sph. (D) & Věk (roky)	1356	0,420762	17,06700	0,000000
Subj. refrakce - cyl. (D) & Věk (roky)	1050	-0,067302	-2,18371	0,029205
Subj. refrakce - ax. (°) & Věk (roky)	467	-0,047258	-1,02020	0,308163
Nejstrmější meridián r_1 (mm) & Věk (roky)	1356	-0,044256	-1,63006	0,103321
Nejstrmější meridián ax. (°) & Věk (roky)	1322	0,011162	0,40555	0,685137
Nejplošší meridián r_2 (mm) & Věk (roky)	1356	-0,046455	-1,71125	0,087264
Nejplošší meridián ax. (°) & Věk (roky)	1322	-0,089475	-3,26388	0,001127
Rozdíl meridián r_2-r_1 (mm) & Věk (roky)	1356	-0,021521	-0,79208	0,428452
Rohovkový astigmatismus (D) & Věk (roky)	1356	0,036307	1,33687	0,181490
Optická mohutnost rohovky (D) & Věk (roky)	1356	0,045368	1,67110	0,094933
Střední excentricita & Věk (roky)	1356	0,058811	2,16781	0,030347
Excentricita v 10° & Věk (roky)	1356	0,005447	0,20042	0,841181
Excentricita ve 20° & Věk (roky)	1356	-0,045688	-1,68292	0,092621
Průměr rohovky (mm) & Věk (roky)	1356	-0,201918	-7,58617	0,000000

Tabulka 13 – Spearmanovy korelace proměnných s věkem

7.2 Refrakční vada

V tabulkách 14-24 jsou uvedeny statistiky, které vykazovaly rozdíly s refrakční vadou.

Refrakční vada	Věk (roky) - Průměr	Věk (roky) - N	Věk (roky) - Sm.odch.	Věk (roky) - Minimum	Věk (roky) - Maximum	Věk (roky) - 25.kvan.	Věk (roky) - Medián	Věk (roky) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	39,17059	680	18,82241	9,000000	95,00000	24,00000	35,00000	49,00000
Skupina 2 - hypermetropie	57,84000	400	16,75160	9,000000	88,00000	50,50000	61,00000	68,00000
Skupina 3 - emetropie	43,00000	276	17,77455	3,000000	91,00000	29,00000	44,00000	53,00000
Všechny skupiny	45,45723	1356	19,76393	3,000000	95,00000	30,00000	44,00000	61,00000

Tabulka 14 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a věku (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Věk (roky), Nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: H (2, N= 1356) =250,7393 $p=0,000$.

Refrakční vada	Obj. ref. sph. (D) - Průměr	Obj. ref. sph. (D) - N	Obj. ref. sph. (D) - Sm.odch.	Obj. ref. sph. (D) - Minimum	Obj. ref. sph. (D) - Maximum	Obj. ref. sph. (D) - 25.kvan.	Obj. ref. sph. (D) - Medián	Obj. ref. sph. (D) - 75.kvan.
1 Skupina 1 - myopie	-2,45846	680	2,582159	-20,5000	4,25000	-3,50000	-2,00000	-0,750000
Skupina 2 - hypermetropie	2,79325	400	2,215966	0,0500	19,00000	1,50000	2,25000	3,250000
Skupina 3 - emetropie	0,30616	276	0,442635	-1,7500	1,50000	0,00000	0,25000	0,500000
Všechny skupiny	-0,34657	1356	3,172094	-20,5000	19,00000	-2,00000	0,00000	1,375000

Tabulka 15 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a sférické složky objektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Objektivní refrakce sféra (D), jako nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: H (2, N= 1356) =1041,051 $p=0,000$.

Refrakční vada	Obj. ref. cyl. (D) - Průměr	Obj. ref. cyl. (D) - N	Obj. ref. cyl. (D) - Sm.odch.	Obj. ref. cyl. (D) - Minimum	Obj. ref. cyl. (D) - Maximum	Obj. ref. cyl. (D) - 25.kvan.	Obj. ref. cyl. (D) - Medián	Obj. ref. cyl. (D) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	-1,08318	541	1,001510	-7,25000	-0,250000	-1,25000	-0,750000	-0,500000
Skupina 2 - hypermetropie	-0,98971	340	0,893006	-5,75000	-0,250000	-1,25000	-0,750000	-0,500000
Skupina 3 - emetropie	-0,50718	174	0,278606	-2,25000	-0,250000	-0,50000	-0,500000	-0,250000
Všechny skupiny	-0,95806	1055	0,908312	-7,25000	-0,250000	-1,00000	-0,750000	-0,500000

Tabulka 16 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a cylindrické složky objektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1055). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Objektivní refrakce cylindr (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: H (2, N= 1055) =88,97060 $p=0,000$.

Refrakční vada	Subj. ref. sph. (D) - Průměr	Subj. ref. sph. (D) - N	Subj. ref. sph. (D) - Sm.odch.	Subj. ref. sph. (D) - Minimum	Subj. ref. sph. (D) - Maximum	Subj. ref. sph. (D) - 25.kvan.	Subj. ref. sph. (D) - Medián	Subj. ref. sph. (D) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	-2,28066	680	2,373852	-18,0000	2,50000	-3,00000	-1,75000	-0,750000
Skupina 2 - hypermetropie	2,20887	400	2,054155	0,0000	17,00000	1,00000	1,75000	2,500000
Skupina 3 - emetropie	0,00091	276	0,015048	0,0000	0,25000	0,00000	0,00000	0,000000
Všechny skupiny	-0,49192	1356	2,806217	-18,0000	17,00000	-1,75000	0,00000	1,000000

Tabulka 17 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a sférické složky subjektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Subjektivní refrakce sféra (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 1051,763$ $p = 0,000$.

Refrakční vada	Subj. ref. cyl. (D) - Průměr	Subj. ref. cyl. (D) - N	Subj. ref. cyl. (D) - Sm.odch.	Subj. ref. cyl. (D) - Minimum	Subj. ref. cyl. (D) - Maximum	Subj. ref. cyl. (D) - 25.kvan.	Subj. ref. cyl. (D) - Medián	Subj. ref. cyl. (D) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	-0,640074	539	0,807060	-4,50000	0,00	-1,00000	-0,500000	0,00
Skupina 2 - hypermetropie	-0,482196	337	0,825366	-5,00000	0,00	-0,50000	0,000000	0,00
Skupina 3 - emetropie	-0,017241	174	0,109473	-1,00000	0,00	0,00000	0,000000	0,00
Všechny skupiny	-0,486190	1050	0,776456	-5,00000	0,00	-0,75000	0,000000	0,00

Tabulka 18 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a cylindrické složky subjektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1050). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Subjektivní refrakce cylindr (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1050) = 155,3237$ $p = 0,000$.

Refrakční vada	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Průměr	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - N	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Sm.odch.	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Minimum	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Maximum	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - 25.kvan.	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - Medián	Nejstrmější meridián r_1 (mm) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	7,618647	680	0,267791	6,690000	8,650000	7,440000	7,610000	7,800000
Skupina 2 - hypermetropie	7,670150	400	0,292379	6,670000	8,710000	7,480000	7,670000	7,850000
Skupina 3 - emetropie	7,727645	276	0,266175	6,910000	8,470000	7,550000	7,710000	7,890000
Všechny skupiny	7,656025	1356	0,278014	6,670000	8,710000	7,470000	7,655000	7,840000

Tabulka 19 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a nejstrmějšího meridiánu r_1 (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejstrmější meridián r_1 (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 29,70626$ $p = 0,000$.

Refrakční vada	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Průměr	Nejplošší meridián r_2 (mm) - N	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Sm.odch.	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Minimum	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Maximum	Nejplošší meridián r_2 (mm) - 25.kvan.	Nejplošší meridián r_2 (mm) - Medián	Nejplošší meridián r_2 (mm) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	7,763868	680	0,270281	6,980000	8,900000	7,580000	7,760000	7,940000
Skupina 2 - hypermetropie	7,805950	400	0,291545	6,940000	8,890000	7,600000	7,810000	7,995000
Skupina 3 - emetropie	7,842319	276	0,265895	7,100000	8,570000	7,660000	7,820000	8,000000
Všechny skupiny	7,792249	1356	0,277408	6,940000	8,900000	7,600000	7,790000	7,970000

Tabulka 20 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a nejploššího meridiánu r_2 (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejplošší meridián r_2 (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 16,72304$ $p = ,0002$.

Refrakční vada	Hodnota rohovkového ast. (D) - Průměr	Hodnota rohovkového ast. (D) - N	Hodnota rohovkového ast. (D) - Sm.odch.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Minimum	Hodnota rohovkového ast. (D) - Maximum	Hodnota rohovkového ast. (D) - 25.kvan.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Medián	Hodnota rohovkového ast. (D) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	-0,813294	680	0,640496	-5,990000	0,00	-1,040000	-0,665000	-0,410000
Skupina 2 hypermetropie	-0,743400	400	0,669208	-5,300000	0,00	-0,920000	-0,550000	-0,365000
Skupina 3 - emetropie	-0,606884	276	0,318630	-1,650000	0,00	-0,810000	-0,570000	-0,380000
Všechny skupiny	-0,750664	1356	0,603526	-5,990000	0,00	-0,940000	-0,600000	-0,390000

Tabulka 21 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a hodnoty rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Hodnota rohovkového astigmatismu (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 16,22426$ $p = ,0003$.

Refrakční vada	Opt. moh. roh. (D) - Průměr	Opt. moh. roh. (D) - N	Opt. moh. roh. (D) - Sm.odch.	Opt. moh. roh. (D) - Minimum	Opt. moh. roh. (D) - Maximum	Opt. moh. roh. (D) - 25.kvan.	Opt. moh. roh. (D) - Medián	Opt. moh. roh. (D) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	43,98257	680	1,531271	38,40000	51,76000	42,99000	43,95000	44,92500
Skupina 2 - hypermetropie	43,71057	400	1,586023	38,34000	49,57000	42,76000	43,63500	44,79500
Skupina 3 - emetropie	43,33917	276	1,449995	38,46000	48,23000	42,49500	43,37500	44,32000
Všechny skupiny	43,77138	1356	1,550464	38,34000	51,76000	42,79500	43,72000	44,75000

Tabulka 22 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a optické mohutnosti rohovky (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Optická mohutnost rohovky (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 33,18212$ $p = ,0000$.

Refrakční vada	Průměr rohovky (mm) - Průměr	Průměr rohovky (mm) - N	Průměr rohovky (mm) - Sm.odch.	Průměr rohovky (mm) - Minimum	Průměr rohovky (mm) - Maximum	Průměr rohovky (mm) - 25.kvan.	Průměr rohovky (mm) - Medián	Průměr rohovky (mm) - 75.kvan.
Skupina 1 - myopie	12,01353	680	0,359125	10,69000	13,27000	11,79000	12,00000	12,25000
Skupina 2 hypermetropie	11,96837	400	0,364813	11,08000	13,27000	11,73000	11,98000	12,25000
Skupina 3 - emetropie	12,07094	276	0,324820	11,12000	13,02000	11,89000	12,09000	12,28000
Všechny skupiny	12,01190	1356	0,355671	10,69000	13,27000	11,77000	12,00000	12,25000

Tabulka 23 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení refrakční vady a průměru rohovky (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1356). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Průměr rohovky (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Refrakční vada, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1356) = 14,54444$ $p = 0,0007$.

Refrakční vada	Rohovkový astigmatismus přímý (podle pravidla)	Rohovkový astigmatismus nepřímý (proti pravidlu)	Rohovkový astigmatismus šikmých os	Řádk. - součty
Skupina 1 - myopie	320	65	281	666
Skupina 2 - hypermetropie	147	55	186	388
Skupina 3 - emetropie	142	16	110	268
Všechny skupiny	609	136	577	1322

Tabulka 24 – Kontingenční tabulka, četnost označených buněk > 10 (marginální součty nejsou označeny). Z tabulky je zřejmý a vysoce signifikantní rozdíl v rohovkovém astigmatismu a mezi refrakční vadou hypermetropie a kontrolním souborem emetropie. (1/2: 320/346 vs. 147/241, $p=0,000823$; 1/3: 320/346 vs. 142/126, $p=0,098$; 2/3: 147/241 vs. 142/126, $p=0,000089$).

Rozdělením subjektů dle refrakční vady se ve vybraném vzorku populace potvrzuje výskyt refrakční vady myopie spíše v mladším věku (třetí decennium), hypermetropizační fáze nastupuje s přibývajícím věkem (50 a starší) (viz. tab. 14).

Hodnoty zjištěné objektivní refrakce jsou vyšší, než je tomu u subjektivně přezkoušené refrakce, to v případě jak u sférické, tak u cylindrické složky refrakční vady (tab. 15-18). Také numerická hodnota poloměru křivosti je u myopie nejnižší, následuje hypermetropie, plošší rohovky vykazuje skupina emetropů (tab. 19-20). V případě optické mohutnosti rohovky, jsou vyšší hodnoty u myopů, takové rohovky jsou více lomivé (viz. tab. 22) a tudíž tvoří obraz předmětu před sítnicí. Nejnižších hodnot dosahují emetropové,

tedy subjekty bez refrakční vady. Ve zkoumaném vzorku populace převažuje astigmatismus přímý (podle pravidla), dále je zastoupen astigmatismus přední plochy rohovky šikmých os, nejméně byl přítomen astigmatismus nepřímý (proti pravidlu), (tab. 24). Podrobněji se tomu věnuje následující kapitola.

7.3 Astigmatismus přední plochy rohovky

V tabulkách 25-37 jsou uvedeny statistiky, které vykazovaly rozdíly.

Rohovkový astigmatismus typ	Věk (roky) - Průměr	Věk (roky) - N	Věk (roky) - Sm.odch.	Věk (roky) - Minimum	Věk (roky) - Maximum	Věk (roky) - 25.kvan.	Věk (roky) - Medián	Věk (roky) - 75.kvan.
Přímý	39,75205	609	17,83936	3,00000	86,00000	26,00000	39,00000	53,00000
Nepřímý	61,20588	136	19,98967	13,00000	95,00000	48,00000	66,00000	78,00000
Šikmých os	47,53553	577	19,41682	3,00000	91,00000	32,00000	47,00000	63,00000
Všechny skupiny	45,35628	1322	19,85235	3,00000	95,00000	29,00000	44,00000	61,00000

Tabulka 25 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a věku (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Věk (roky), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 126,0239$ $p = 0,000$. V celkovém souboru mělo 34 subjektů ryze sférickou přední plochu rohovky, proto je celkové N v tomto případě nižší.

Rohovkový astigmatismus typ	Obj. ref. sph. (D) - Průměr	Obj. ref. sph. (D) - N	Obj. ref. sph. (D) - Sm.odch.	Obj. ref. sph. (D) - Minimum	Obj. ref. sph. (D) - Maximum	Obj. ref. sph. (D) - 25.kvan.	Obj. ref. sph. (D) - Medián	Obj. ref. sph. (D) - 75.kvan.
Přímý	-0,570608	609	2,866539	-12,5000	19,00000	-2,25000	-0,250000	0,750000
Nepřímý	0,033088	136	3,488315	-17,7500	14,50000	-1,12500	0,500000	2,000000
Šikmých os	-0,205286	577	3,420491	-20,5000	18,00000	-1,75000	0,000000	1,750000
Všechny skupiny	-0,349054	1322	3,189621	-20,5000	19,00000	-2,00000	0,000000	1,250000

Tabulka 26 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a sférické složky objektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Objektivní refrakce sféra (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 15,91270$ $p = 0,0004$.

Rohovkový astigmatismus typ	Obj. ref. cyl. (D) - Průměr	Obj. ref. cyl. (D) - N	Obj. ref. cyl. (D) - Sm.odch.	Obj. ref. cyl. (D) - Minimum	Obj. ref. cyl. (D) - Maximum	Obj. ref. cyl. (D) - 25.kvan.	Obj. ref. cyl. (D) - Medián	Obj. ref. cyl. (D) - 75.kvan.
Přímý	-0,91970	439	0,960976	-5,75000	-0,250000	-1,00000	-0,50000	-0,500000
Nepřímý	-1,29637	124	0,853833	-6,50000	-0,250000	-1,62500	-1,00000	-0,750000
Šikmých os	-0,92581	465	0,874310	-7,25000	-0,250000	-1,00000	-0,75000	-0,500000
Všechny skupiny	-0,96790	1028	0,917251	-7,25000	-0,250000	-1,00000	-0,75000	-0,500000

Tabulka 27 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a cylindrické složky objektivní refrakce (D). Nejmenší N ze všech proměnných, N=1028. Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Objektivní refrakce cylindr (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1028) = 57,41356$ $p = ,0000$.

Rohovkový astigmatismus typ	Obj. ref. ax. (°) - Průměr	Obj. ref. ax. (°) - N	Obj. ref. ax. (°) - Sm.odch.	Obj. ref. ax. (°) - Minimum	Obj. ref. ax. (°) - Maximum	Obj. ref. ax. (°) - 25.kvan.	Obj. ref. ax. (°) - Medián	Obj. ref. ax. (°) - 75.kvan.
Přímý	102,4009	439	63,08093	0,00000	180,0000	39,00000	106,0000	167,0000
Nepřímý	90,7016	124	19,40077	15,00000	171,0000	83,00000	89,0000	96,0000
Šikmých os	94,7355	465	44,49047	0,00000	179,0000	69,00000	93,0000	124,0000
Všechny skupiny	97,5224	1028	51,53400	0,00000	180,0000	69,50000	94,0000	141,0000

Tabulka 28 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a osy cylindru u objektivní refrakce (°). Nejmenší N ze všech proměnných, N=1028. Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Objektivní refrakce axis (osa) (°), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1028) = 14,70051$ $p = ,0006$.

Rohovkový astigmatismus typ	Subj. ref. sph. (D) - Průměr	Subj. ref. sph. (D) - N	Subj. ref. sph. (D) - Sm.odch.	Subj. ref. sph. (D) - Minimum	Subj. ref. sph. (D) - Maximum	Subj. ref. sph. (D) - 25.kvan.	Subj. ref. sph. (D) - Medián	Subj. ref. sph. (D) - 75.kvan.
Přímý	-0,666831	609	2,499222	-12,0000	17,00000	-2,00000	0,00	0,000000
Nepřímý	-0,246324	136	3,271932	-17,0000	13,50000	-1,00000	0,00	1,500000
Šikmých os	-0,372964	577	3,017578	-18,0000	16,00000	-1,75000	0,00	1,000000
Všechny skupiny	-0,495310	1322	2,822371	-18,0000	17,00000	-1,75000	0,00	1,000000

Tabulka 29 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a sférické složky subjektivní refrakce (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Subjektivní refrakce sféra (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 13,69893$ $p = ,0011$.

Rohovkový astigmatismus typ	Subj. ref. cyl. (D) - Průměr	Subj. ref. cyl. (D) - N	Subj. ref. cyl. (D) - Sm.odch.	Subj. ref. cyl. (D) - Minimum	Subj. ref. cyl. (D) - Maximum	Subj. ref. cyl. (D) - 25.kvan.	Subj. ref. cyl. (D) - Medián	Subj. ref. cyl. (D) - 75.kvan.
Přímý	-0,486812	436	0,843824	-5,00000	0,00	-0,75000	0,000000	0,00
Nepřímý	-0,695565	124	0,802410	-3,50000	0,00	-1,00000	-0,500000	0,00
Šikmých os	-0,442225	463	0,709425	-3,75000	0,00	-0,50000	0,000000	0,00
Všechny skupiny	-0,491935	1023	0,783730	-5,00000	0,00	-0,75000	0,000000	0,00

Tabulka 30 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a cylindrické složky u subjektivní refrakce (D). Nejmenší N ze všech proměnných, N=1023. Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Subjektivní refrakce cylindr (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1023) = 15,99164$ $p = ,0003$.

Rohovkový astigmatismus typ	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - Průměr	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - N	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - Sm.odch.	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - Minimum	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - Maximum	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - 25.kvan.	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - Medián	Nejstrmější meridián Γ_1 ax. (°) - 75.kvan.
Přímý	89,28079	609	7,11963	9,00000	103,0000	85,00000	90,0000	94,0000
Nepřímý	179,86765	136	5,12299	0,00000	180,0000	6,00000	180,0000	177,0000
Šikmých os	68,29809	577	39,57458	11,00000	169,0000	63,00000	77,0000	117,0000
Všechny skupiny	89,83812	1322	38,16143	0,00000	180,0000	76,00000	90,0000	100,0000

Tabulka 31 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a pozice osy u nejstrmějšího meridiánu (°), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejstrmější meridián axis (osa) (°), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 16,33092$ $p = ,0003$.

Rohovkový astigmatismus typ	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - Průměr	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - N	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - Sm.odch.	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - Minimum	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - Maximum	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - 25.kvan.	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - Medián	Nejplošší meridián Γ_2 ax. (°) - 75.kvan.
Přímý	179,8309	609	6,92485	0,00000	180,0000	7,00000	173,0000	178,0000
Nepřímý	91,0000	136	5,75087	80,00000	169,0000	86,00000	90,0000	95,0000
Šikmých os	158,8683	577	38,94471	11,00000	165,0000	36,00000	158,0000	159,0000
Všechny skupiny	179,2852	1322	38,42845	0,00000	180,0000	29,00000	128,0000	172,0000

Tabulka 32 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a pozice osy u neploššího meridiánu (°), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejplošší meridián axis (osa) (°), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 78,52529$ $p = ,0000$.

Rohovkový astigmatismus typ	r_2-r_1 (mm) - Průměr	r_2-r_1 (mm) - N	r_2-r_1 (mm) - Sm.odch.	r_2-r_1 (mm) - Minimum	r_2-r_1 (mm) - Maximum	r_2-r_1 (mm) - 25.kvan.	r_2-r_1 (mm) - Medián	r_2-r_1 (mm) - 75.kvan.
Přímý	0,154795	609	0,113616	0,020000	0,930000	0,080000	0,130000	0,190000
Nepřímý	0,133382	136	0,106439	0,020000	0,990000	0,070000	0,110000	0,170000
Šikmých os	0,127088	577	0,094961	0,010000	0,720000	0,070000	0,100000	0,150000
Všechny skupiny	0,140499	1322	0,105872	0,010000	0,990000	0,080000	0,110000	0,170000

Tabulka 33 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a velikost astigmatického rozdílu meridiánů r_1 a r_2 (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; r_2-r_1 (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus, Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322)=27,92593$ $p=,0000$.

Rohovkový astigmatismus typ	Střední excentricita - Průměr	Střední excentricita - N	Střední excentricita - Sm.odch.	Střední excentricita - Minimum	Střední excentricita - Maximum	Střední excentricita - 25.kvan.	Střední excentricita - Medián	Střední excentricita - 75.kvan.
Přímý	0,423842	609	0,117196	0,000000	0,880000	0,350000	0,420000	0,490000
Nepřímý	0,403897	136	0,114660	0,120000	0,690000	0,350000	0,420000	0,470000
Šikmých os	0,393795	577	0,117256	0,000000	0,830000	0,320000	0,400000	0,460000
Všechny skupiny	0,408676	1322	0,117751	0,000000	0,880000	0,330000	0,410000	0,480000

Tabulka 34 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a hodnot střední excentricity (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Střední excentricita, nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus (mm), Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322)=20,35658$ $p=,0000$.

Rohovkový astigmatismus typ	Excentricita v 10° - Průměr	Excentricita v 10° - N	Excentricita v 10° - Sm.odch.	Excentricita v 10° - Minimum	Excentricita v 10° - Maximum	Excentricita v 10° - 25.kvan.	Excentricita v 10° - Medián	Excentricita v 10° - 75.kvan.
Přímý	0,320016	609	0,167191	0,00	0,780000	0,200000	0,310000	0,440000
Nepřímý	0,262059	136	0,182875	0,00	0,880000	0,120000	0,240000	0,380000
Šikmých os	0,300503	577	0,169894	0,00	0,930000	0,170000	0,290000	0,420000
Všechny skupiny	0,305537	1322	0,170796	0,00	0,930000	0,180000	0,290000	0,430000

Tabulka 35 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a hodnot excentricity v 10° (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Excentricita rohovky v 10° , nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus (mm), Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322)=16,20151$ $p=,0003$.

Rohovkový astigmatismus typ	Excentricita ve 20° - Průměr	Excentricita ve 20° - N	Excentricita ve 20° - Sm.odch.	Excentricita ve 20° - Minimum	Excentricita ve 20° - Maximum	Excentricita ve 20° - 25.kvan.	Excentricita ve 20° - Medián	Excentricita ve 20° - 75.kvan.
Přímý	0,390887	609	0,134424	0,010000	0,970000	0,320000	0,400000	0,480000
Nepřímý	0,351985	136	0,160147	0,010000	0,690000	0,230000	0,380000	0,465000
Šikmých os	0,340101	577	0,138917	0,010000	0,770000	0,250000	0,360000	0,440000
Všechny skupiny	0,364719	1322	0,141242	0,010000	0,970000	0,280000	0,380000	0,460000

Tabulka 36 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a hodnot excentricity ve 20° (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Excentricita rohovky ve 20°, nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus (mm), Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 38,56267$ $p = ,0000$.

Rohovkový astigmatismus typ	Hodnota rohovkového ast. (D) - Průměr	Hodnota rohovkového ast. (D) - N	Hodnota rohovkového ast. (D) - Sm.odch.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Minimum	Hodnota rohovkového ast. (D) - Maximum	Hodnota rohovkového ast. (D) - 25.kvan.	Hodnota rohovkového ast. (D) - Medián	Hodnota rohovkového ast. (D) - 75.kvan.
Přímý	-0,844893	609	0,632208	-5,30000	0,00	-1,00000	-0,720000	-0,470000
Nepřímý	-0,721544	136	0,625230	-5,99000	0,00	-0,97000	-0,555000	-0,410000
Šikmých os	-0,702305	577	0,546035	-4,23000	0,00	-0,86000	-0,550000	-0,380000
Všechny skupiny	-0,769970	1322	0,598951	-5,99000	0,00	-0,95000	-0,620000	-0,410000

Tabulka 37 - Rozkladová tabulka popisných statistik rozložení typu astigmatismu přední plochy rohovky a hodnot rohovkového astigmatismu (D), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD, N=1322). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Hodnota rohovkového astigmatismu (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Rohovkový astigmatismus (mm). Kruskal-Wallisův test: $H(2, N=1322) = 26,58477$ $p = ,0000$.

Z měření je patrné, že u věkově mladších subjektů, průměrně do čtyřiceti let, převažuje astigmatismus přímý (podle pravidla). Ve středním věku, přibližně v padesáti letech, se tento mění v astigmatismus šikmých os a ve vyšším věku, po šedesátce, pak nabývá pozice jako astigmatismus nepřímý (podle pravidla). Toto je dáno především stárnutím organismu a anatomickými změnami s tím souvisejícími, jako je např. nižší tonus víček s následně nižším tlakem na rohovku (viz. tab. 25, 31).

Také rozložení typu astigmatismu se shoduje s daty udávanými v odborné literatuře. Pozice osy nejstrmějšího meridiánu u přímého astigmatismu odpovídá 90°, analogicky nejplošší meridián zaujímá pozici 180° (viz. tab. 31, 32). Přímý astigmatismus se také podílí na vyšší hodnotě střední excentricity (viz. tab. 34). Tato vzrůstající tendence je patrná při detailnějším měření excentricity od apexu rohovky např. v 10° a ve 20° (viz. tab. 35, 36).

7.4 Rozdíly stranových hodnot

V tabulkách 38-43 jsou uvedeny statistiky, které vykazovaly rozdíly jednak mezi pohlavím a pravým, respektive levým okem.

Stranové rozdíly	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - Průměr	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - N	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - Sm.odch.	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - Minimum	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) Maximum	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - 25.kvan.	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - Medián	Nejstrmější meridián r ₁ (mm) - 75.kvan.
Muži- Levé oko	7,699536	280	0,284043	6,690000	8,520000	7,530000	7,700000	7,885000
Ženy- Levé oko	7,622594	397	0,281008	6,880000	8,710000	7,440000	7,610000	7,800000
Muži- Pravé oko	7,704321	280	0,258577	6,980000	8,620000	7,540000	7,710000	7,860000
Ženy- Pravé oko	7,626448	397	0,275612	6,670000	8,440000	7,460000	7,620000	7,800000
Všechny skupiny	7,656536	1354	0,277899	6,670000	8,710000	7,480000	7,660000	7,840000

Tabulka 38 - Rozkladová tabulka popisných statistik, stranových rozdílů očí mužů a žen a hodnot poloměru křivosti nejstrmějšího meridiánu (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejstrmější meridián r₁ (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Stranové rozdíly, Kruskal-Wallisův test: H (3, N= 1354) =27,76636 p =,0000.

Stranové rozdíly	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - Průměr	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - N	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - Sm.odch.	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - Minimum	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) Maximum	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - 25.kvan.	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - Medián	Nejstrmější meridián r ₁ ax. (°) - 75.kvan.
Muži- Levé oko	91,09225	271	41,08729	0,000000	180,0000	74,00000	90,00000	107,0000
Ženy- Levé oko	94,65714	385	34,58853	1,000000	180,0000	80,00000	90,00000	103,0000
Muži- Pravé oko	89,43750	272	43,64326	0,000000	180,0000	71,00000	90,00000	105,0000
Ženy- Pravé oko	84,58418	392	34,73485	0,000000	180,0000	73,00000	87,00000	95,0000
Všechny skupiny	89,85833	1320	38,18641	0,000000	180,0000	76,00000	90,00000	100,0000

Tabulka 39 - Rozkladová tabulka popisných statistik, stranových rozdílů očí mužů a žen a pozice osy nejstrmějšího meridiánu (°). Nejmenší N ze všech proměnných: 1320. Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Nejstrmější meridián ax (osa v °), nezávislá (grupovací) proměnná: Stranové rozdíly, Kruskal-Wallisův test: H (3, N= 1320) =16,03676 p =,0011.

Stranové rozdíly	r2-r1 (mm) - průměr	r2-r1 (mm) - N	r2-r1 (mm) - Sm.odch.	r2-r1 (mm) - Minimum	r2-r1 (mm) - Maximum	r2-r1 (mm) - 25.kvan.	r2-r1 (mm) - medián	r2-r1 (mm) - 75.kvan.
Muži-Levé oko	0,129929	280	0,108809	0,00	0,990000	0,065000	0,100000	0,160000
Ženy-Levé oko	0,146146	397	0,109055	0,00	0,750000	0,080000	0,120000	0,180000
Muži-Pravé oko	0,115000	280	0,088561	0,00	0,690000	0,060000	0,090000	0,140000
Ženy-Pravé oko	0,147909	397	0,112568	0,00	0,930000	0,080000	0,120000	0,190000
Všechny skupiny	0,136869	1354	0,106856	0,00	0,990000	0,070000	0,110000	0,170000

Tabulka 40 - Rozkladová tabulka popisných statistik stranových rozdílů očí mužů a žen a rozdílu meridiánů r_2-r_1 (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; velikost astigmatického rozdílu meridiánů r_2-r_1 (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Stranové rozdíly, Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=1354) = 31,95978$ $p = ,0000$.

Stranové rozdíly	Rohovkový cylindr - průměr	Rohovkový cylindr - N	Rohovkový cylindr - Sm. odch.	Rohovkový cylindr - Minimum	Rohovkový cylindr - Maximum	Rohovkový cylindr - 25.kvan.	Rohovkový cylindr - medián	Rohovkový cylindr - 75.kvan .
Muži-Levé oko	-0,712714	280	0,634846	-5,99000	0,00	-0,89000	-0,540000	-0,360000
Ženy-Levé oko	-0,796625	397	0,604667	-4,25000	0,00	-0,99000	-0,680000	-0,440000
Muži-Pravé oko	-0,633179	280	0,477414	-3,50000	0,00	-0,78000	-0,525000	-0,310000
Ženy-Pravé oko	-0,811637	397	0,646486	-5,30000	0,00	-1,02000	-0,680000	-0,410000
Všechny skupiny	-0,749874	1354	0,603580	-5,99000	0,00	-0,94000	-0,600000	-0,390000

Tabulka 41 - Rozkladová tabulka popisných statistik stranových rozdílů očí mužů a žen a hodnota velikosti rohovkového astigmatismu (mm), (v seznamu závislých proměnných nejsou ChD). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Velikost optické mohutnosti cylindru rohovky (D), nezávislá (grupovací) proměnná: Stranové rozdíly, Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=1354) = 26,44762$ $p = ,0000$.

Stranové rozdíly	Průměr rohovky - Průměr	Průměr rohovky - N	Průměr rohovky - Sm.odch.	Průměr rohovky - Minimum	Průměr rohovky - Maximum	Průměr rohovky - 25.kvan.	Průměr rohovky - Medián	Průměr rohovky - 75.kvan.
Muži- Levé oko	12,08400	280	0,353046	11,12000	13,27000	11,88000	12,09000	12,32000
Ženy- Levé oko	11,96327	397	0,355357	10,69000	13,18000	11,73000	11,98000	12,19000
Muži- Pravé oko	12,07489	280	0,347397	11,13000	13,02000	11,86000	12,08000	12,32000
Ženy- Pravé oko	11,96484	397	0,350184	11,04000	13,27000	11,73000	11,96000	12,19000
Všechny skupiny	12,01178	1354	0,355921	10,69000	13,27000	11,77000	12,00000	12,25000

Tabulka – 42 Rozkladová tabulka popisných statistik stranových rozdílů očí mužů a žen a hodnot průměrů rohovky (v seznamu záv. prom. nejsou ChD). Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí; Průměr rohovky (mm), nezávislá (grupovací) proměnná: Stranové rozdíly, Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=1354) = 38,73287$ $p = ,0000$.

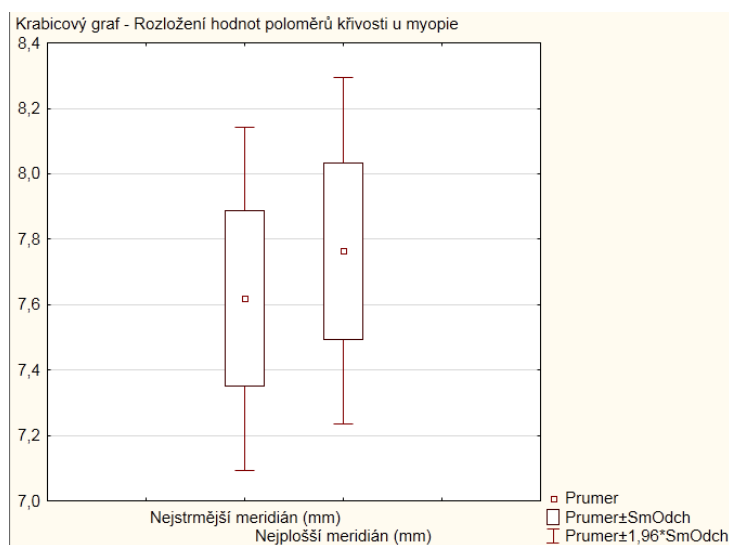
	Počet - plat.	Spearman - R	t(N-2)	p-hodn.
Nejstrmější meridián r_1 (mm) & střední excentricita	1356	0,004997	0,183873	0,854140
Nejstrmější meridián ax. (°) & střední excentricita	1356	0,008832	0,320886	0,748348
Nejplošší meridián r_2 (mm) & Střední excentricita	1356	0,035559	1,309301	0,190655
Nejplošší meridián ax. (°) & Střední excentricita	1356	0,011004	0,399812	0,689360

Tabulka – 43 Spearmanovy korelace nejstrmějších a nejplošších meridiánů (mm) včetně jejich osy (°), (ChD vynechány), párově označené korelace jsou významné na hladině $p < ,05000$.

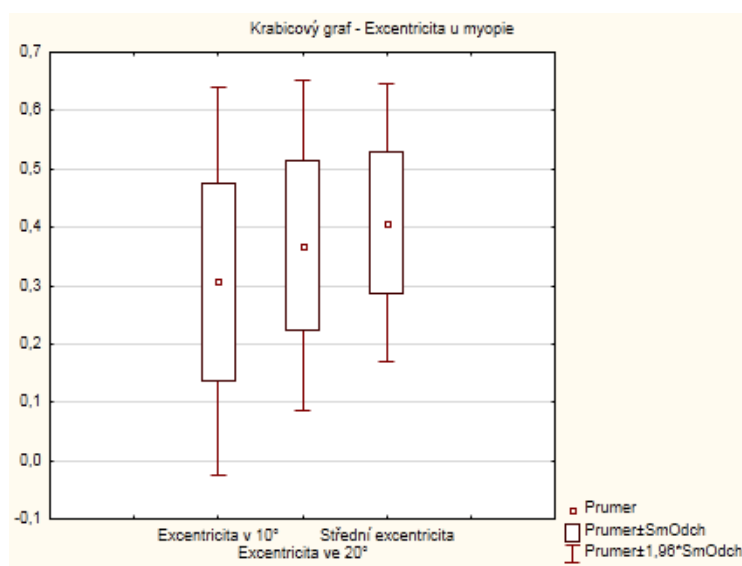
Tyto korelace však nejsou signifikantní.

Ve skupině 1 bylo celkem vyhodnoceno 680 myopických subjektů, 278 mužů a 402 žen, průměrný věk $39,17 \pm 18,82$ let (min. 9 let, max. 95 let, medián 35 let), graf 1. Zjištěná hodnota objektivní refrakce činí – sféra: $-2,45 \pm 2,58$ D (min. -0,25 D, max. -20,50 D, medián -2,0 D), velikost cylindru: $-1,08 \pm 1,0$ D (min. -0,25 D, max. -7,25 D, medián -0,75 D). Subjektivní refrakce v této skupině pak byla – sféra: $-2,28 \pm 2,37$ D (min. -0,25 D, max. -18,0 D, medián -1,75 D), velikost cylindru: $-0,64 \pm 0,80$ D (min. -0,25 D, max. -4,5 D, medián -0,50 D).

Keratometrie změřená v této skupině je: poloměr křivosti přední plochy rohovky v nejstrmějším meridiánu je $7,62 \pm 0,27$ mm (min. 6,96 mm, max. 8,65 mm, medián 7,61 mm) a v nejplošším meridiánu je $7,76 \pm 0,27$ mm (min. 6,98 mm, max. 8,90 mm, medián 7,76 mm), viz. graf 3. Velikost astigmatismu přední plochy rohovky pak analogicky z rozdílu mezi nejplošším a nejstrmějším meridiánem je $-0,81 \pm 0,64$ D (min. -0,25 D, max. -5,99 D, medián -0,66 D). Optická mohutnost rohovky u myopie pak nabývá hodnot $43,98 \pm 1,53$ D (min. 38,40 D, max. 51,76 D, medián 43,95 D). Průměr rohovky činil $12,01 \pm 0,36$ mm (min. 10,69 mm, max. 13,27 mm, medián 12,00 mm). Hodnota střední excentricity činila $0,40 \pm 0,12$ (min. 0,0; max. 0,88, medián 0,41), též v grafu 4, 9 a 10.



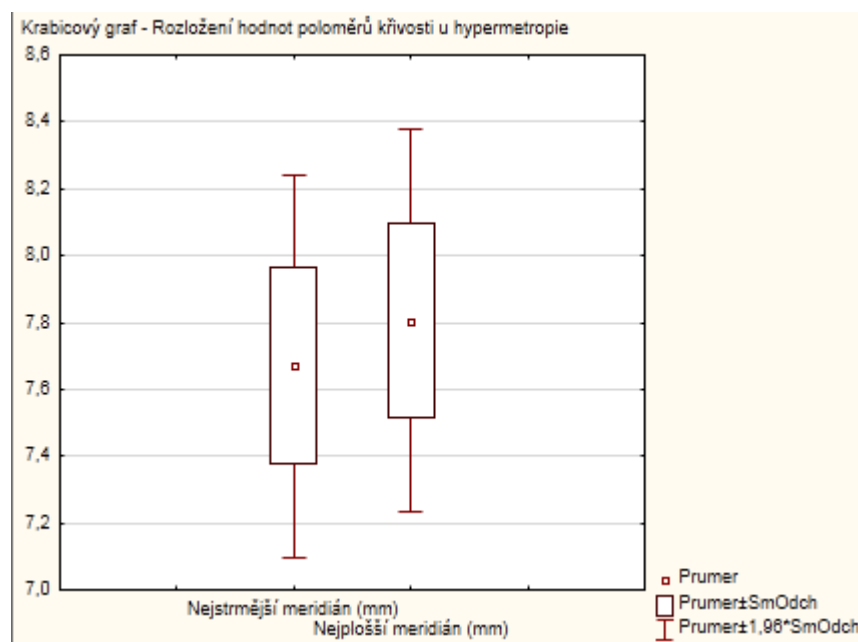
Graf 3 - Rozložení hodnot poloměrů křivosti nejstrmějších a nejplošších meridiánů u myopie



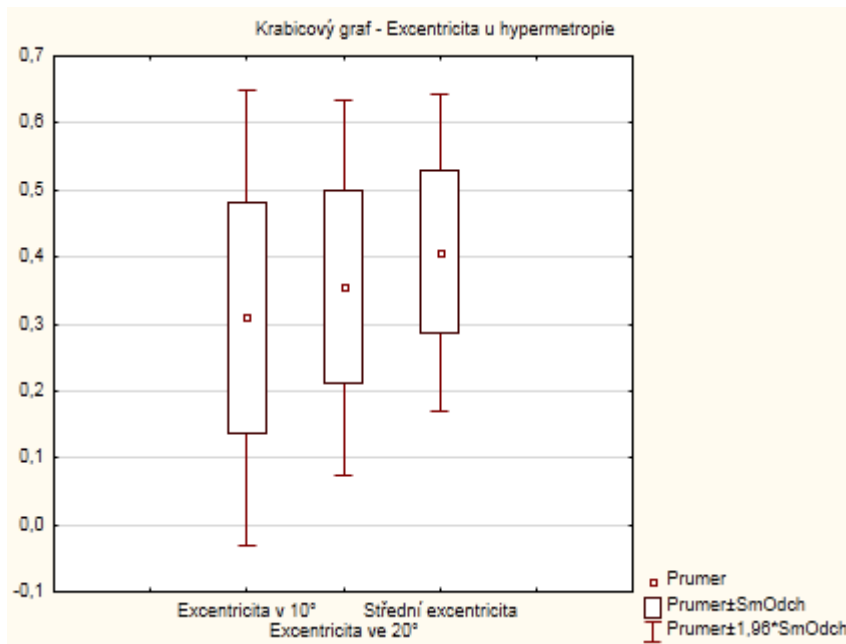
Graf 4 – Hodnoty excentricity v 10°, ve 20° a střední excentricita u myopie

Soubor 2 tvoří 400 hypermetropických subjektů, 166 mužů a 234 žen, průměrný věk $57,84 \pm 16,75$ let (min. 9 let, max. 88 let, medián 61 let), jak je uvedeno v grafu 1. Objektivní refrakce v této skupině – sféra: $+2,79 \pm 2,21$ D (min. $+0,25$ D, max. $+19,0$ D, medián $+2,25$ D), cylindr: $-0,98 \pm 0,89$ D (min. $-0,25$ D, max. $-5,75$ D, medián $-0,75$ D). Hodnoty subjektivní refrakce v této skupině jsou – sféra: $+2,20 \pm 2,05$ D (min. $+0,25$ D, max. $+17,0$ D, medián $+1,75$ D), velikost cylindru: $-0,48 \pm 0,82$ D (min. $+0,25$ D, max. $-5,0$ D, medián $0,0$ D).

Keratometrická měření ve dvou hlavních meridiánech v této skupině je: poloměr křivosti přední plochy rohovky v nejstrmějším meridiánu je $7,67 \pm 0,29$ mm (min. 6,97 mm, max. 8,65 mm, medián 7,61 mm) a v nejplošším meridiánu je $7,80 \pm 0,29$ mm (min. 6,94 mm, max. 8,89 mm, medián 7,81 mm), viz. graf 5. Velikost astigmatismu přední plochy rohovky mezi oběma meridiány je $-0,74 \pm 0,66$ D (min. $-0,25$ D, max. $-5,30$ D, medián $-0,55$ D). Optická mohutnost rohovky jako celkové tkáně u hypermetropie vykazuje hodnoty $43,71 \pm 1,58$ D (min. 38,34 D, max. 49,57 D, medián 43,63 D). Průměr rohovky činil $11,96 \pm 0,36$ mm (min. 11,08 mm, max. 13,27 mm, medián 11,98 mm). Hodnota střední excentricity činila $0,40 \pm 0,12$ (min. 0,0; max. 0,86, medián 0,41), též v grafech 6, 9 a 10.



Graf 5 - Rozložení hodnot poloměrů křivosti nejstrmějších a nejplošších meridiánů u hypermetropie

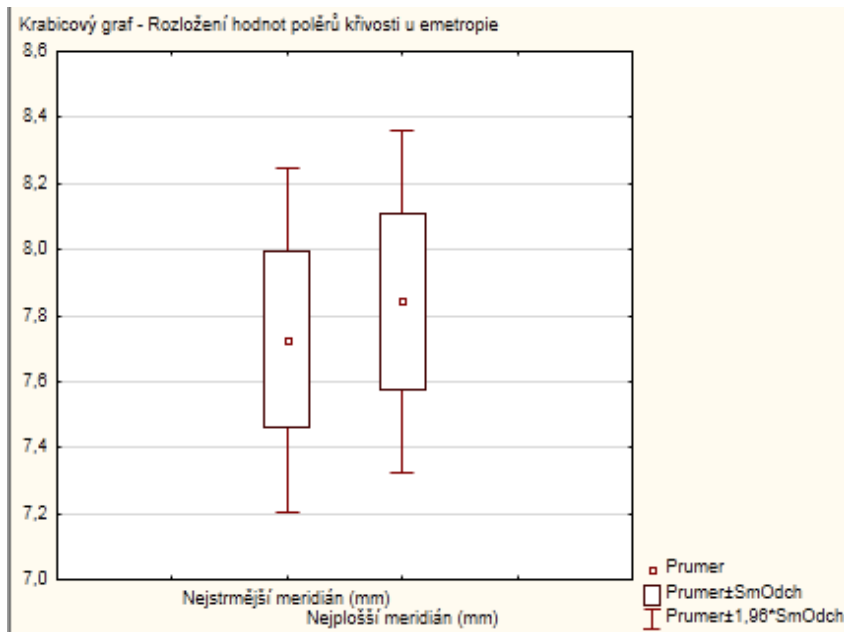


Graf 6 - Hodnoty excentricity v 10°, ve 20° a střední excentricita u hypermetropie

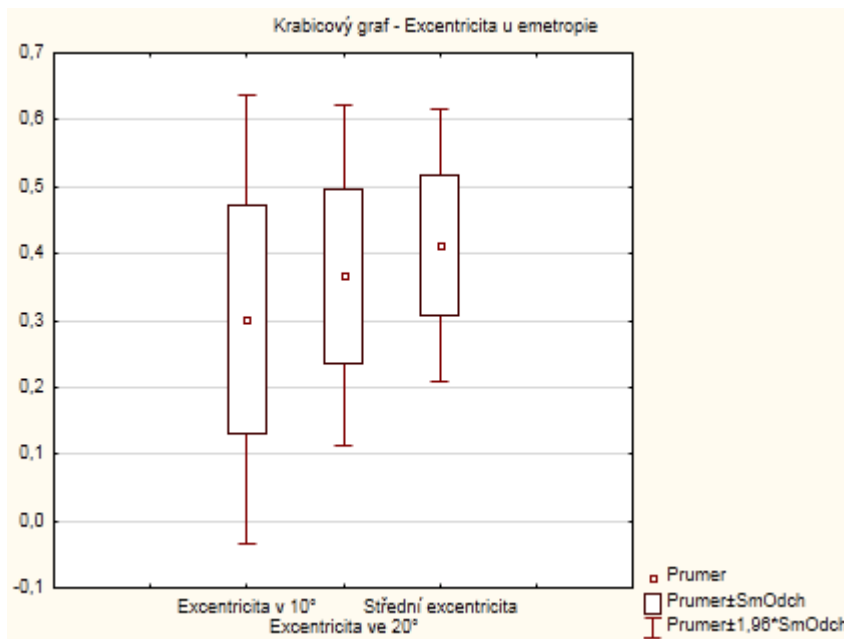
Kontrolní soubor **3** je zastoupen 276 emetropickými subjekty, tedy klienty bez refrakční vady, kteří bez použití korekce brýlemi nebo kontaktními čočkami dosahovali vizu minimálně 5/5 (1,0) a lepšího. Tento soubor je tvoří oči 118 mužů a 158 žen, průměrného věku $43 \pm 17,77$ let (min. 3 roky, max. 91 let, medián 44 let), uvedeno v grafu 1. Hodnoty naměřené objektivní refrakce – sféra: $+0,30 \pm 0,44$ D (min. -1,75 D, max. +1,5 D, medián 0,25), objektivně naměřené hodnoty cylindru: $-0,50 \pm 0,29$ D (min. -0,25 D, max. -2,25 D, medián -0,5 D). Subjektivní refrakci nebylo nutné přezkušovat, jedná se o subjekty, které neměly potřebu jakékoliv korekční pomůcky.

Keratometrie v této skupině nabývá následujících hodnot: nejstrmější meridián je $7,72 \pm 0,26$ mm (min. 6,91 mm, max. 8,47 mm, medián 7,71 mm), nejplošší meridián je $7,84 \pm 0,26$ mm (min. 7,10 mm, max. 8,57 mm, medián 7,82 mm), viz. graf 7. Velikost astigmatismu přední plochy rohovky, který je určen z rozdílů mezi nejplošším a nejstrmějším meridiánem je $-0,60 \pm 0,32$ D (min. -0,25 D, max. -0,81 D, medián -0,57 D).

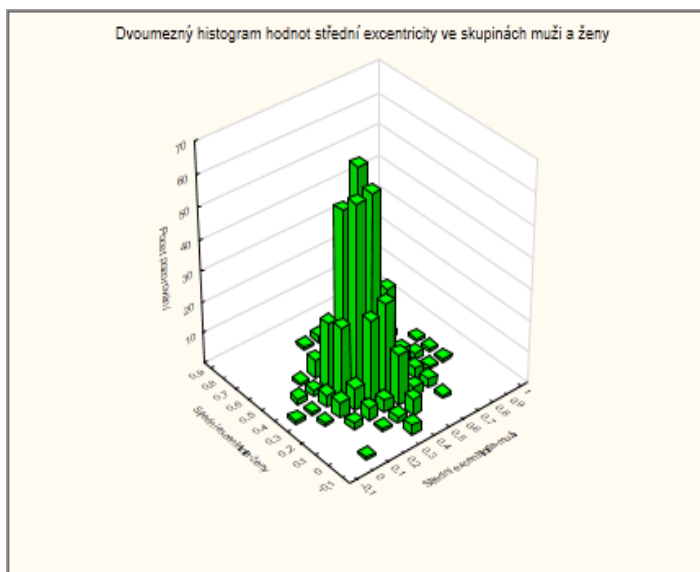
Optická mohutnost rohovky emetropů je pak vypočítána na $43,34 \pm 1,45$ D (min. 38,46 D, max. 48,23 D, medián 43,37 D). Průměr rohovky je $12,07 \pm 0,32$ mm (min. 11,12 mm, max. 13,02 mm, medián 12,09 mm). Hodnota střední excentricity činila $0,41 \pm 0,10$ (min. 0,0; max. 0,67, medián 0,44), též v grafech 8-10.



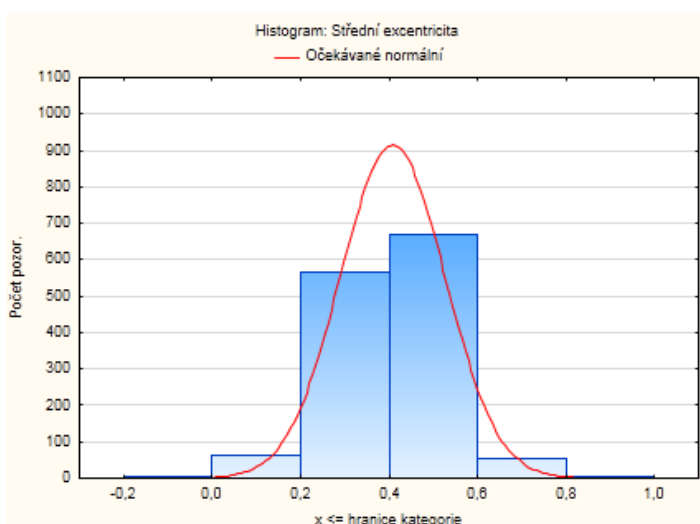
Graf 7 - Rozložení hodnot poloměrů křivosti nejstrmějších a nejplošších meridiánů u emetropie



Graf 8 - Hodnoty excentricity v 10°, ve 20° a střední excentricita u emetropie



Graf 9 – Hodnoty střední excentricity ve skupinách muži a ženy



Graf 10 – Histogram rozložení hodnot střední excentricity u všech subjektů

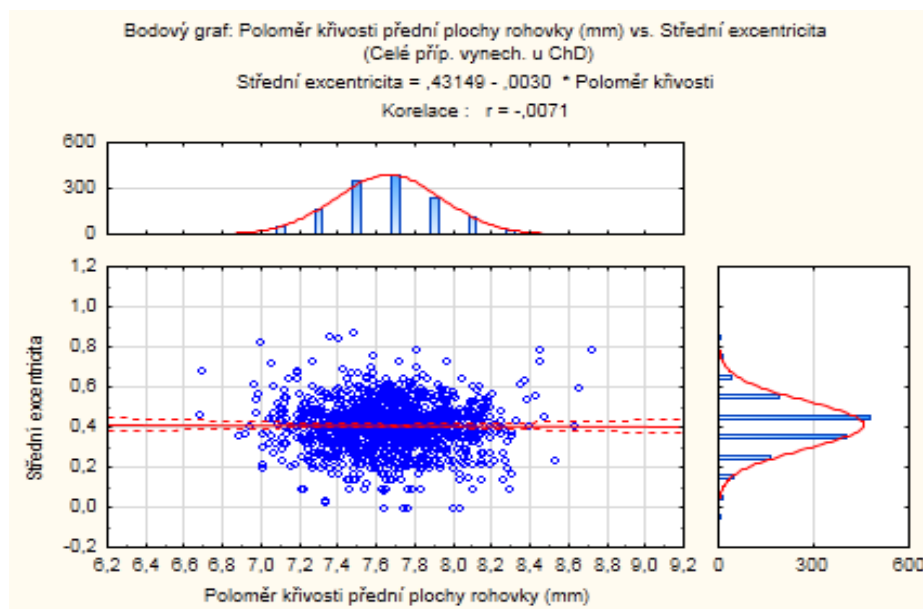
Soubor - refrakční vada	r_1	r_2	excentricita
1. Myopie	$7,62 \pm 0,27$ mm	$7,76 \pm 0,27$ mm	$0,40 \pm 0,12$
2. Hypermetropie	$7,67 \pm 0,29$ mm	$7,80 \pm 0,29$ mm	$0,40 \pm 0,12$
3. Emetropie	$7,72 \pm 0,26$ mm	$7,84 \pm 0,26$ mm	$0,41 \pm 0,10$

Tabulka 44 – Přehledová tabulka naměřených hodnot keratometrie a střední excentricity u jednotlivých zástupců refrakčních vad a kontrolního souboru.

Z tabulky 44 je patrné, že poloměr křivosti rohovky u myopie je nejnižší, takovéto rohovky jsou strmější, směrem k emetropii má tato hodnota vzrůstající tendenci. Obecně se dá konstatovat, že poloměry křivosti u refrakční vady hypermetropie a kontrolního souboru emetropie jsou vyšší a průběh rohovek je plošší.

Ze zjištěných hodnot střední excentricity u jednotlivých zástupců refrakčních vad je patrné, že rohovky sledované ve studii mají eliptický průběh ($0 < \epsilon < 1$; viz. tabulky 2-4, 11,13, 34, 38, 39). Vše je názorně zobrazeno v grafech 4, 5, 7, 9, 11. Tímto je **potvrzena hypotéza 1**.

Vzájemná korelace mezi poloměrem křivosti a hodnotou střední excentricity nejsou statisticky významné ($p < 0,05$) a jsou zobrazeny v grafu 11.

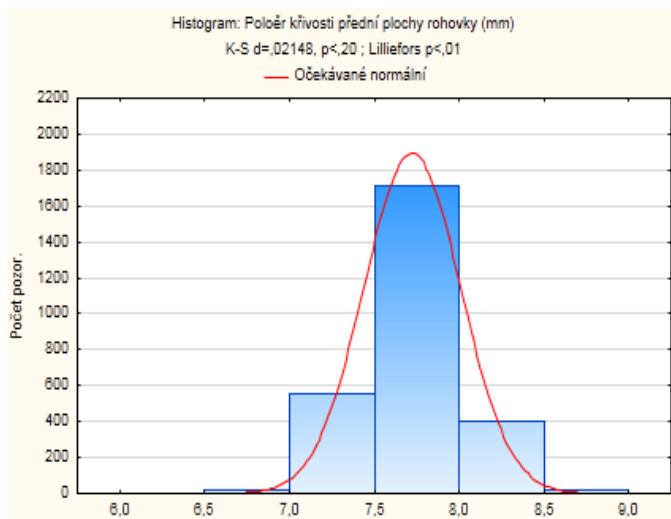


Graf 11 – Korelace poloměru křivosti přední plochy rohovky dle Gullstranda, versus hodnota střední excentricity.

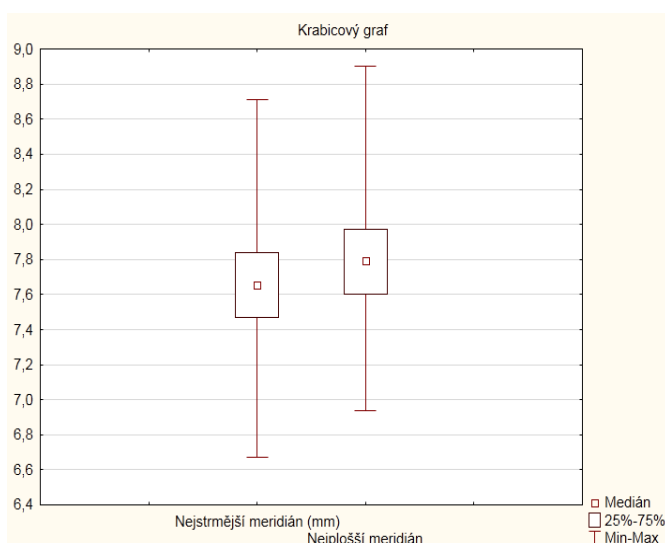
Rohovka	Průměr	Sm.odch.	N	Sm.odch	Referenční konstanta	t	SV	p
Opt. moh. rohovky (D)	43,77138	1,550464	1356	0,042105	43,05000	17,13294	1355	0,00
Střední excentricita	0,408414	0,118319	1356	0,003213	0,500000	-28,5038	1355	0,00
Nejstrmější meridián r_1 (mm)	7,656025	0,278014	1356	0,007550	7,700000	-5,82464	1355	0,000000
Nejplošší meridián r_2 (mm)	7,792249	0,277408	1356	0,007533	7,700000	12,24544	1355	0,000000

Tabulka 45 – Test průměrů vůči referenční konstantě dle Gullstranda, $p < 0,05$.

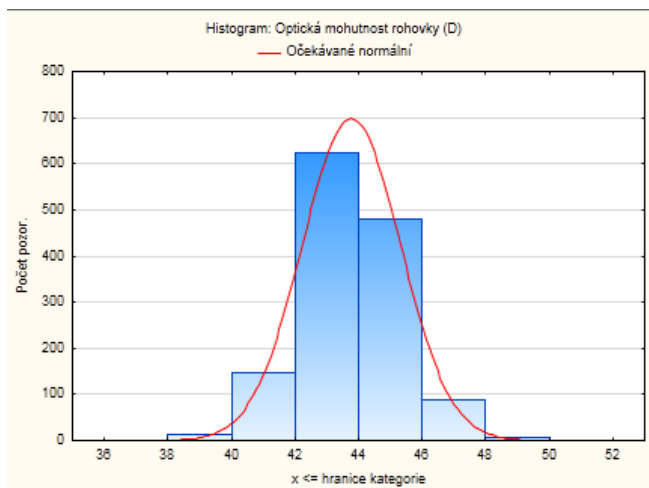
Tabulka 45 shrnuje parametry předního segmentu oka, které jsou potřeba k porovnání s hodnotami uváděné v literatuře. Jako referenční hodnoty byla zvolena data přední plochy rohovky Gullstrandova schématického popisu oka (viz. kap. 3.3), grafy 12-14. Např. Gullstrand uvádí poloměr křivosti přední plochy rohovky **7,7** mm. Pro poloměr křivosti přední plochy rohovky jsou ve studii následující výsledky: $7,72 \pm 0,28$ mm (min. 6,67 mm, max. 8,90 mm, medián **7,71** mm). Optická mohutnost rohovky podle Gullstranda nabývá hodnot 43,05 D. Na základě provedených měření máme k dispozici následující data: $43,77 \pm 1,55$ D (min. 38,34 D, max. 51,76 D, medián 43,72 D). Je zřejmé, že hodnoty zjištěné v této studii jednoznačně korelují s Gullstrandovými výpočty (viz. tabulky 1, 3, 4, 6, 7, 10, 13, 19, 20, 22, 38, 39) a **potvrzuje se tak hypotéza 2.**



Graf 12 – Poloměr křivosti přední plochy rohovky (mm)



Graf 13 – Rozložení hodnot nejstřmějších a nejplošších meridiánů (mm) ve zkoumaném vzorku populace.



Graf 14 – Histogram rozložení hodnot optické mohutnosti (D) ve všech skupinách

Subjektivní hodnoty celkového astigmatismu jsou menší než hodnoty zjištěné pomocí objektivních vyšetřovacích metod (ARM), jak je patrné z tabulek 3, 4, 13, 16, 18, 27, 30. Je tomu tak i v praxi, při stanovení brýlového nebo korekčního cylindru do kontaktních čoček, bývá jeho numerická hodnota po subjektivním přezkoušení sadou zkušebních čoček nebo foropterem zpravidla nižší. Přístroje určené k objektivnímu zjištění většinou naměří vyšší hodnoty. Je tak **potvrzena hypotéza 3**.

Dalším cílem stanoveným v této práci je potvrzení převahy přímého astigmatismu (podle pravidla) v měřeném vzorku populace. Jednotlivá zjištění a výpočty jsou opět stanoveny z parametrů přední plochy rohovky a lze je interpretovat z tabulek 3, 13, 24-37. U osob mladšího věku výrazně převažuje astigmatismus přímý, s vyšším věkem se tento mění v astigmatismus šikmých os. Nejméně se pak vyskytl nepřímý astigmatismus. Lze tak **potvrdit hypotézu 4**.

Srovnání korekce astigmatismu brýlemi a kontaktními čočkami je velmi subjektivní záležitostí. Každý klient, který má refrakční vadu, by měl mít korekční pomůcku. Brýle patří k jejich základním a nezbytným součástem každodenního života. Kontaktní čočky bývají voleny zejména jako doplněk, i když u některých klientů jejich nošení převyšuje nad nošením brýlí, hlavně z estetického hlediska. Proto nelze **hypotézu 5 potvrdit ani vyvrátit**.

8. Diskuze

Z provedených měření lze dospět k několika zjištěním. Podle výsledků uvedených v tabulkách je zřejmé, že hodnoty objektivní refrakce jsou vyšší než následné provedení subjektivního přezkoušení dané korekce. A to ve všech zkoumaných skupinách a jednotlivých složkách refrakčních vad. Průměrná hodnota u myopie je ve sféře -2,5 D objektivně, zatímco subjektivně je tato hodnota nižší na -2,25 D. Také objektivně naměřená hodnota cylindru je v 1. skupině -1,0 D, zatímco subjektivně se pohybuje mezi -0,5 D až -0,75 D. Osa korekčního cylindru je však v obou případech přibližně stejná, což ukazuje mimo jiné i na poměrně vysokou přesnost zvoleného měřicího přístroje.

Obdobně je tomu u skupiny 2. Hodnoty zjištěné objektivní refrakce jsou vyšší, tj. sférická složka vykazuje +2,75 D, zatímco subjektivně je +2,25 D. To je patrné i u výše objektivních hodnot cylindru -1,0 D, kdežto subjektivně vychází necelá -0,5 D korekčního cylindru. V případě osy korekčního cylindru jsou obě hodnoty opět téměř totožné. Také se potvrzuje hypotéza, že v populaci převažuje korekce přímého astigmatizmu, jehož rozmístění se dle literárních zdrojů pohybuje v rozmezí $90^\circ \pm 10^\circ$ [3, 14, 25, 35, 39, 54, 65].

Jako kontrolní soubor byli zařazeni klienti (skupina 3), kteří subjektivně nepotřebovali korekci brýlemi či kontaktními čočkami. Tito respondenti nejčastěji žádali nedioptické sluneční brýle, byli zde i respondenti, kteří nosili kosmetické barevné kontaktní čočky.

Bohužel v praxi se oční optici nesetkávají jen s takovými nízkými hodnotami refrakčního stavu oka. Kombinace ploch brýlových čoček s vyšším astigmatizmem mnohdy způsobí nepříliš estetický výsledný vzhled brýlí, jako korekční pomůcky. Proto je vhodné využít softwarové animace nejmodernějších centrovacích systémů, které nabízí možnosti vizualizace konkrétního produktu brýlové čočky, parametry centrace do vybrané brýlové obruby a hodnoty okrajových tloušťek pro dosažení požadovaného výsledku [1, 8].

Pro celkové zhodnocení předního segmentu oka byla u každého subjektu provedena topografie rohovky. Ta umožnila vyloučit případné patologické stavy či zohlednit podíl rohovkového astigmatizmu vůči astigmatizmu celkovému. Software také automaticky vyhodnocoval screening keratokonu, jako prevenci možného vzniku degenerativního onemocnění rohovkové tkáně.

K dokonalé korekci patří samozřejmě dokonalá optika. Proto je upřednostněno doporučování čoček brýlových i kontaktních v provedení s asférickou plochou. Hlavním přínosem asférické plochy obecně, je preciznější optické zobrazení a omezení vad sférické

a chromatické aberace, což má především vliv na zvýšení zrakového výkonu. To je nejzřetelnější zejména při technologiích a konstrukcích korekčních pomůcek.

Aberometrie zaujímá stále výraznější postavení při posuzování refrakčních vad a způsobů jejich korekce. K běžnému softwarovému vybavení nových měřících přístrojů již automaticky patří výpočet sférické aberace přední plochy rohovky. Aberace vyšších řádů jsou vady v optickém zobrazení, které nelze korigovat běžně dostupnými pomůckami. V klinické praxi, ve snaze dosáhnout co nejoptimálnějšího výsledku při řešení refrakčních či kataraktových zákroků, je záměr snížit či úplně odstranit tyto aberace a zlepšit tak zrakové funkce. Dojde-li po zákroku k signifikaci těchto vad, při vnímání se projevují jako haló efekty, haze či glare a působí velmi rušivě.

Znalost technologií výroby, použité materiály, obsah vody, propustnost pro kyslík, index lomu, modul pružnosti, smáčivost, kvalita povrchu, stabilita čočky v prostředí, sklon k usazeninám, biokompatibilita a snadnost manipulace pro klienta jsou kritéria pro doporučení vhodné kontaktní čočky jako korekční pomůcky [1, 9, 36, 49, 50, 63].

Volná dostupnost těchto produktů na trhu, zejména její neřízený internetový boom, může svému nositeli vážně a nenávratně poškodit zrak. Apelace na dodavatelské firmy se však mívají účinkem.

Hlavním nedostatkem jsou pak možné komplikace způsobené špatnou či žádnou edukací pacienta a to především v oblasti dezinfekce a správné hygieny při manipulaci s kontaktními čočkami.

Z uvedených výsledků jsou patrné odlišnosti v hodnotách poloměrů křivosti přední plochy rohovky u jednotlivých skupin zastoupené pohlavím a refrakčními vadami. Ve skupině myopických očí jsou poloměry křivosti nejmenší a takovéto rohovky jsou svým tvarem strmější. Směrem k emetropii se poloměr křivosti zvětšuje, rohovky jsou plošší. Z toho jasně vyplývá, že v případě distribucí např. měkkých kontaktních čoček jen v jednom poloměru křivosti, nelze vyhovět potřebám klientů s různými refrakčními vadami. Mohla by tak být narušena fyziologie rohovky. Proto je nutné pečlivé vyšetření předního segmentu oka a věnovat pozornost metrickým hodnotám.

Mezi zástupce klasických metod řadíme keratometrii prováděnou na manuálních přístrojích, dnešní moderní doba se již odkazuje na využití elektronických zařízení s interpretací výsledků zpracovaných počítačovými programy. Pro běžnou optometrickou praxi je hojně využíván rohovkový topograf, pro potřeby detailnějších popisů a výpočtů nutných zejména pro rohovkovou chirurgii se používají složitější přístroje, jako jsou například Pentacam a Orbscan [44, 49, 51, 71, 75].

Tato studie prokázala korelaci mezi centrálním poloměrem křivosti rohovky a hodnotou excentricity, ta nevykazuje ve sledovaných skupinách ametropií významné průkazný rozdíl.

Topografii je důležité provádět pro vyloučení degenerativních onemocnění a dystrofií rohovky. U nositelů kontaktních čoček by se pak měla provádět topografie rohovky pravidelně jedenkrát za rok. Aberace vyšších řádů a excentricita hrají významnou roli při aplikaci speciálních kontaktních čoček, v kataraktové a refrakční chirurgii.

Refrakce oka je tvořena poměrem mezi lomivostí optického systému a délkou oka, tudíž je závislá na centrálním poloměru křivosti, indexu lomu prostředí a vrcholové vzdálenosti. Studie sleduje a hodnotí velikost poloměru křivosti a excentricity ve vzorku populace, ve sledovaném souboru neměly refrakční vady významný vliv na hodnoty poloměrů křivosti. Centrální poloměr křivosti a excentricita rohovky spolu však korelují.

Jako srovnávací studie byly využity práce na podobné téma [40, 75]. Jedná se o zahraniční klinické studie, které navíc sledovaly možný vliv a korelace excentricity rohovky s axiální délkou oka či sférickou aberací. Použitá metodika však probíhala na odpovídajících měřicích zařízeních, umožnila tak zjištění požadovaných výsledků.

Výše uvedené studie se nezabývají tak podrobnými popisy jednotlivých parametrů rohovky, jak je tomu v této disertační práci. Vzájemné porovnání dat je pak srovnatelné ve výsledné fázi.

9. ZÁVĚR

Úkolem oftalmologů, optometristů a očních optiků je pomáhat lidem s refrakčními vadami prostřednictvím korekčních pomůcek, kam bezesporu patří po dlouhá desetiletí i kontaktní čočky. Především u mladých lidí ustupuje klasická brýlová korekce kontaktním čočkám. Korekci kontaktními čočkami vyhledává většina sportovně aktivních lidí, osoby s vysokou korekční hodnotou. Ze zjištěných hodnot korekce refrakčních vad můžeme dát za pravdu výrobcům brýlových a kontaktních čoček, kteří ve studiích uvádí obdobná výsledná měření. Z toho se následně odvíjí i jejich nabídka rozsahů optických mohutností a produktů pro korekci dané refrakční vady.

S celkovým vědecko–technickým pokrokem se rozvíjejí i možnosti využití řady moderních technologií a vybavení jak v oftalmologii tak optometrii.

Základním principem keratometrie je odraz světla od přední plochy rohovky, která působí jako vypuklé zrcadlo a odráží přibližně 3–4 % dopadajícího světla. Keratometry měří většinou jen centrální oblast s průměrem 2–4 mm. Pro detailnější a přesnější měření je vhodné využít rohovkové topografy a případně další moderní zařízení. Přední plocha rohovky však často vykazuje tóricitu. Častější je astigmatismus přímý (podle pravidla), kdy lomivější je vertikální meridián rohovky.

Měřicí přístroje, které prošly dlouholetým vývojem a pořád se zdokonalují, jsou často propojovány s počítači, což práci zpřesní, urychlí a zároveň poskytne širokou škálu možností, jak vyhodnotit zobrazit naměřená data, od uvedení excimerového laseru do oftalmologie uběhlo necelé desetiletí.

Při výběru a návrhu korekční pomůcky jsme mnohdy limitováni. To sice platí pro nepřiliš často se vyskytující hodnoty refrakčních vad, ale právě u korekce klientů s vysokou ametropií bývá výběr omezen. Naším cílem je pak zhotovení kvalitní, funkční a estetické korekční pomůcky.

V dnešní době již brýle nejsou handicapem, ale vedle korekce refrakční vady posiluje i osobnost klienta z hlediska jeho image. V korekci refrakčních vad v současnosti hraje také významnou úlohu refrakční chirurgie, správná volba metody usnadní rychlou zrakovou rehabilitaci a návrat klienta do běžného života.

Cílem této práce bylo potvrzení hypotéz, k jejich verifikaci byla využita převážně popisná statistika neparametrická. Všechna data jsou díky velkému vzorku subjektů věrohodná.

Práce je přínosná v tom směru, že data jednotlivých parametrů měřených na přední ploše rohovky se shodují s literárními údaji, mnohdy prezentovanými více jak před sto lety.

10. Seznam použité literatury

1. ALTINOK, A., SEN, E., YAZICI, A., AKSAKAL, F.N., ONCUL, H., KOKLU, G. Factors influencing central corneal thickness in a Turkish population. *Current Eye Research*, 2007, 32(5), pp. 413-419. ISSN 0271-3683.
2. ARBA-MOSQUERA, S., MERAYO-LLOVES, J., DE ORTUETA, D. Asphericity analysis using corneal wavefront and topographic meridional fits. *Journal of Biomedical Optics*, 2010, 15(2), Art. No. 028003. ISSN 1083-3668.
3. ATCHISON, D.A., MARKWELL, E.L., KASTHURIRANGAN, S., POPE, J.M., SMITH, G., SWANN, P.G. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. *Journal of Vision*, 2008, 8(4), art. no. 29. ISSN 1543-7362.
4. BENEŠ, P., PETROVÁ, S. Rohovková topografie v optometrii. *Visionnews.eu*, Ostrava: Printo, spol. s.r.o., 2009, 2(1), od s. 15 – 17, 3 s. MK ČR E 18435.
5. CALOSI, A. - Corneal asphericity and apherical aberration. *Journal of Refractive Surgery*, 2007, 23(5), pp. 505-514. ISSN 1081-597X.
6. DAVIS, WR., RAASCH, TW., MITCHELL, GL., MUTTI, DO., ZADNIK, K. Corneal asphericity and apical curvature in children: A cross-sectional and longitudinal evaluation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2005, 46(6), pp. 1899-1906. ISSN 0146-0404.
7. DIETZE, HH., COX, MJ., DOUTHWAITE, WA. Verification of aspheric contact lens back surfaces. *Optometry and Vision Science*, 2003, 80(8), pp. 596-605. ISSN 1040-5488.
8. DOUTHWAITE, WA., PARKINSON, A. Precision of Orbscan II Assessment of Anterior Corneal Curvature and Asphericity. *Journal of Refractive Surgery*, 2009, 25(5), pp. 435-443. ISSN 1081-597X.
9. DUBBELMAN, M., WEEBER, HA., VAN DER HEIJDE, RGL., VOLKER-DIEBEN, HJ. Radius and asphericity of the posterior corneal surface determined by corrected

Scheimpflug photography. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 2002, 80(4), pp. 379-383. ISSN 1395-3907.

10. EFRON, N. *Contact lens complications*. 1. vydání. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd., 2000. ISBN 0-750-60582-0.

11. EFRON, N. *Contact lens practice*. 2. vydání. China: Butterworth Heinemann Elsevier, 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7.

12. ELBAZ, U., BARKANA, Y., GERBER, Y., AVNI, I., ZADOK, D. Comparison of Different Techniques of Anterior Chamber Depth and Keratometric Measurements. *American Journal of Ophthalmology*, 2007, 143(1), pp. 48-53. ISSN 0002-9394.

13. FALAVARJANI, K.G., MODARRES, M., JOSHAGHANI, M., AZADI, P., AFSHAR, A.E., HODJAT, P. Interocular differences of the Pentacam measurements in normal subjects. *Clinical and Experimental Optometry*, 93(1), pp. 26-30. ISSN 1444-0938.

14. FANNY, A., OUATTARA, A., AKA, J., COULIBALY, F. GBÉ, K., BONI, S., BÉRÉTÉ-COULIBALY, R., KONAN-TOURÉ, M.L., ADJOROLO, C. Ocular biometric values of the black African patients and theoretical consideration of the role of these values in variopos pathologies: Analysis of 325 eyes [Valeurs biométriques de l'oeil du sujet Africain de race noir et hypothèse du rôle dand certaines pathologies: Á propos de 325 yeux]. *Journal Francais d'Ophthalmologie*, 2007, 30(1), pp. 68-72. ISSN 0181-5512.

15. FONTES, B.M., AMBRÓSIO Jr., R., ALONSO, R.S. JARDIM, D., VELARDE, G.C., NOSÉ, W. Corneal biomechanical metrics in eyes with refraction of -19.00 to +9.00 D in healthy Brazilian patients. *Journal of Refractive Surgery*, 2008, 24(9), pp. 941-945. ISSN 1081-597X.

16. FRILING, R., WEINBERGER, D., KREMER, I., AVISAR, R., SIROTA, L., SNIR, M.A. Keratometry measurements in preterm and full term newborn infants. *British Journal of Ophthalmology*, 2004, 88(1), pp. 8-10. ISSN 0007-1161.

17. GEORGE, M.K., KURIAKOSE, T., DeBROFF, B.M., EMERSON, J.W. The effect of Gonioscopy on keratometry and corneal surface topography, *BMC Ophthalmology*, 2006, 6, art. no. 26. ISSN 1471-2415.

18. GONZÁLEZ-MÉIJOME, J.M., JORGE, J., QUEIROS, A., ALMEIDA, J.B., PARAFITA, M.A. A comparison of the ARK-700A autokeratometer and Medmont E300 corneal topographer when measuring peripheral corneal curvature. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2004, 24(5), pp. 391-398. ISSN 0275-5408.
19. GONZALEZ-MEIJOME, J.M., VILLA-COLLAR, C., MONTES-MICO, R., GOMES, A.- Asphericity of the anterior human cornea with different corneal diameters. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2007, 33(3), pp. 465-473. ISSN 0886-3350.
20. GOTO, T., KLYCE, S.D., ZHENG, X., MAEDA, N., KURODA, T., IDE, C. Gender- and age-related differences in corneal topography. *Cornea*, 2001, 20(3), pp. 270-276. ISSN 0277-3740.
21. GUDMUNDSDOTTIR, E., ARNARSSON, A., JONASSON, F. Five-year refractive changes in an adult population: Reykjavik eye study. *Ophthalmology*, 2005, 112(4), pp. 672-677. ISSN 0161-6420.
22. HABERLAND, T. Jak důležité je měření centrálního zakřivení rohovky pro aplikaci měkkých kontaktních čoček?. *Česká oční optika*, 2006, 47(1), s. 100-101. ISSN 1211-233X.
23. HAJI, SA., BROCKS, DC., FAHIM, MM., ASBELL, PA. Videokeratography in conductive keratoplasty. *Journal of Refractive Surgery*, 2004, 20(4), pp. 329-336. ISSN 1081-597X.
24. HANDA, T., MUKUNO, K., NIIDA, T., UOZATO, H., TANAKA, S., SHIMIZU, K. Diurnal variation of human corneal curvature in young adults. *Journal of Refractive Surgery*, 2002, 18(1), pp. 58-62. ISSN 1081-597X.
25. HAOUAT, M., GATINEL, D., DUONG, MH., FARAJ, H., PRISANT, O., REYAL, F., HOANG-XUAN, T. Corneal asphericity in myopes. *Journal Francais d'Ophthalmologie*, 2002, 25(5), pp. 488-492. ISSN 0181-5512.

26. HASEMI, H., MEHRAVARAN, S., REZVAN, F. Changes in corneal thickness, curvature, and anterior chamber depth during the menstrual cycle. *Canadian Journal of Ophthalmology*, 2010, 45(1), pp. 67-70. ISSN 0008-4182.
27. HICK, S., LALIBERTE, JF., MEUNIER, J., CHAGNON, M., BRUNETTE, I. Effects of misalignment during corneal topography. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2007, 33(9), pp. 1522-1529. ISSN 0886-3350.
28. HO, J.-D., TSAI, C.-Y., R.J.-F., KUO, L.-L., TSAI, I.-L., LIOU, S.-W. Validity of the keratometric index: Evaluation by the Pentacam rotating Scheimpflug camera. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2008, 34(1), pp. 137-145. ISSN 0886-3350.
29. CHEN, M.-J., LIU, Y.-T., TSAI, C.-C., CHEN, Y.-C., CHOU, C.-K., LEE, S.-M. Relationship between central corneal thickness, refractive error, corneal curvature, anterior chamber depth and axial length. *Journal of the Chinese Medical Association*, 2009, 72(3), pp. 133-137. ISSN 1726-4901.
30. CHO, P., LAM, A.K.C., MOUNTFORD, J., NG, L. The performance of four different corneal topographers on normal human corneas and its impact on orthokeratology lens fitting. *Optometry and Vision Science*, 2002, 79(3), pp. 175-183. ISSN 1040-5488.
31. KAMIYA, K., SHIMIZU, K., OHMOTO, F. Effect of aging on corneal biomechanical parameters using the ocular response analyzer. *Journal of Refractive Surgery*, 2009, 25(10), pp. 888-893. ISSN 1081-597X.
32. LAM, A.K.C., CHAN, R., CHIU, R. Effect of instrument rotation on handheld keratometry. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2004, 30(12), pp. 2590-2594. ISSN 0886-3350.
33. KARABATSAS, C.H. , PAPAETHYMIU, I., ASLANIDES, I.M., CHATZOULIS, D.Z. Comparison of keratometric and topographic cylinder and axis measurements on normal corneas with low astigmatism. *European Journal of Ophthalmology*, 2005, 15(1), pp. 8-16. ISSN 1120-6721
34. KHABAZKHOOB, M., HASEMI, H., YAZDANI, K., MEHRAVARAN, S., YEKTA, A. , FOTOUHI, A. Keratometry measurements, corneal astigmatism and irregularity in a

normal population: the Tehran EyeStudy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2010, 30(6),pp.800-805. ISSN 0275-5408.

35. KOLÍN, J. a kol. *Oftalmologie praktického lékaře*. 1. vydání. Praha: Univerzita Karlova, 1994. ISBN 80-7066-861-X.

36. KUCHYNKA, P. a kol. *Oční lékařství*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007, 812 s. ISBN 978-80-247-1163-8.

37. LI, X.-Y., LIU, L., YUAN, Q., DONG, J.-Y., ZOU, Y. Comparison of the keratometric value obtained from vary methods. *International Journal of Ophthalmology*, 2006, 6(3), pp. 644-646. ISSN 0165-5701.

38. LIM, K.-L., FAM, H.-B. Relationship between the corneal surface and the anterior segment of the cornea: An Asian perspective. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2006, 32(11), pp. 1814-1819. ISSN 0886-3350.

39. LIU, Z., XIE, Y., ZHANG, M. Corneal topography and pachymetry in normal eyes. [*Chung-hua yen k'o tsa chih*] *Chinese journal of ophthalmology*, 2001, 37(2), pp. 125-128. ISSN 0301-4738.

40. MAINSTONE, J.C., GARNEY, L.G., ANDERSON, C.R., CLEM, P.M., STEPHENSEN, A.L. and WILSON, M.D. Corneal shape in hyperopia. *Clinical and Experimental Optometry*. 1998, 81(3), pp.131-137. ISSN 0816-4622.

41. MIHÁLTZ, K., KOVÁCS, I., TAKÁCS, Á., NAGY, Z.Z. Evaluation of keratometric, pachymetric, and elevation parameters of keratoconic corneas with Pentacam. *Cornea*, 2009, 28(9), pp. 976-980. ISSN 0277-3740.

42. MIRANDA, M.A., RADHAKRISHNAN, H., O'DONELL, C. Repetability of oculus pentacam metrics derived from corneal topography. *Cornea*, 2009, 28(6), pp. 657-666. ISSN 0277-3740.

43. NANGIA, V., JONAS, J.B., MATIN, A., KULKARNI, M., SINHA, A., GUPTA, R. Body height and ocular dimensions in the adult population in rural central India. The

Central India Eye and Medical Study. *Grafe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2010, 248(11), pp. 1657-1666. ISSN 1435-702X.

44. NIETO-BONA, A., LORENTE-VELAZQUEZ, A., MONTES-MICO, R. Relationship between anterior corneal asphericity and refractive variables. *Greefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2009, 247(6), pp. 815-820, ISSN 0721-832X.

45. PETROVÁ, S. Tvrdé kontaktní čočky. *Diplomová práce*, UP Olomouc, 212 s., 1992

46. PLESEA, L., PODOLEANU, A.Gh. - Keratometry and corneal topography using multiple delay element OCT. *Progress in Biomedical Optics and Imaging – Proceedings of SIPE*, 6847, art. no. 684704. 2008. ISSN 1605-7422.

47. POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Oční optika, n.p., 579 s. 1974. ISBN 06-045-74.

48. PRISANT, O., THANH, HX., PROANO, G., HERNANDEZ, E., AWAD, S., AZAR, DT. Vector summation of anterior and posterior corneal topographical astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2002, 28(9), pp. 1636-1643. ISSN 0886-3350.

49. READ, SA., COLLINS, MJ., CARNEY, LG., FRANKLIN, RJ. The topography of the central and peripheral cornea. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2006, 47(4), pp. 1404-1415. ISSN 0146-0404.

50. REMON, L., BENLLOCH, J., FURLAN, WD. Corneal and Refractive Astigmatism in Adults: A Power Vectors Analysis. *Optometry and Vision Science*, 2009, 86(10), pp. 1182-1186. ISSN 1040-5488.

51. RUBEN, M., GUILLON, M. *Contact Lens Practice*. 1. vydání. London: Chapman a Hall, 1994. 1155 s. ISBN 0-412-35120-X.

52. RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. 1. vydání. Brno: IDVPZ, 2000, 189 s. ISBN 80-7013-301-5.

53. SAWADA, A., TOMIDOKORO, A., ARAIE, M., IWASE, A., YAMAMOTO, T. Refractive errors in an Elderly Japanese Population. The Tajimi Study. *Ophthalmology*, 2008, 115(2), pp. 363-370. ISSN 0161-6420.
54. SHAMMAS, H.J., CHAN, S. Precision of biometry, keratometry, and refractive measurements with a partial coherence interferometry-keratometry device. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2010, 36(9), pp. 1474-1478. ISSN 0886-3350.
55. SHIRAYAMA, M., WANG, L., KOCH, D.D., WEIKERT, M.P. Comparison of accuracy of intraocular calculations using automated keratometry, a placido-based corneal topographer, and a combined placido-based and dual scheimpflug corneal topographer. *Cornea*, 2010, 29(10), pp. 1136-1138. ISSN 0277-3740.
56. SEILER, T., KOLLER, T. Asphericity of the cornea and astigmatism. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 2005, 222(12), pp. 977-982. ISSN 0023-2165.
57. SCHOLZ, K., MESSNER, A., EPPIG, T., BRUENNER, H., LANGENBUCHER, A. Topography-based assessment of anterior corneal curvature and asphericity as a function of age, sex, and refractive status. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 2009, 35(6), pp. 1046-1054. ISSN 0886-3350.
58. SICAM, V.A.D.P., VAN DER HEIJDE, R.G.L. Topographer reconstruction of the nonrotation-symmetric anterior corneal surface features. *Optometry and Vision Science*, 2006, 83(12), pp. 910-918. ISSN 1040-5488.
59. SOMANI, S., TUAN, A., CHERNYAK, D. Corneal asphericity and retinal image quality: A case study and simulations. *Journal of Refractive Surgery*, 2004, 20(5), pp. S581-S585. ISSN 1081-597X.
60. SWARTZ, T., MARTEN, L., WANG, M. Measuring the cornea: The latest developments in corneal topography. *Current Opinion in Ophthalmology*, 2007, 18(4), pp. 325-333. ISSN 1040-8738
61. SZCZOTKA-FLYNN, L. - Ocular surface influences on corneal topography. *Ocular Surface*, 2004, 2(3), pp. 188-200. ISSN 1542-0124.

62. TANG, M., SHEKHAR, R., HUANG, D. Mean curvature mapping for detection of corneal shape abnormality. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2005, 24(2), pp. 424-428. ISSN 0278-0062.
63. TOPUZ, H., OZDEMIR, M., CINAL, A., GUMUSALAN, Y. Age-related differences in normal corneal topography. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging*, 2004, 35(4), pp. 298-303. ISSN 1542-8877.
64. TORRES, R.J., JONES, E., EDMUNDS, B., BECKER, T., CIOFFI, G.A., MANSBERGER, S.L. Central Corneal Thickness in Northwestern American Indians/Alaskan Natives and Comparison with White and African-American Persons. *American Journal of Ophthalmology*, 2008, 146(5), pp. 747-752. ISSN 0002-7362.
65. TOUZEAU, O., BORDERIE, V., LOISON, K., ALLOUCH, C., SCHEER, S., CHASTANG, P., LAROCHE, L. Correlation between corneal topography and subjective refraction in idiopathic and surgery-induced astigmatism. *Journal Français d'Ophthalmologie*, 2001, 24(2), pp. 129-138. ISSN 0181-5512.
66. UBOLSING, S., CHAROENSRI, A. Keratometry in Thai children from newborn to the age of ten: a retrospective study. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangphaet*, 2006, 89(Suppl 3), pp. S196-199. ISSN 0125-2208.
67. VENTURA, L., RIUL, C., DE GROOTE, J.-J., SOUSA, S.J.F., De Oliveira, G.C.D.A. Automatic keratometry in slit lamps. *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE*, 6426, 2007, art. no. 64261S. ISSN 1605-7422.
68. VENTURA, L., RIU, C., SOUSA, S.J.F., DE GROOTE, J.G.S., ROSA, AB., OLIVIERA, G.C.D. Corneal astigmatism measuring module for slit lamps. *Physics in medicine and biology*, 2006, 51(12), pp. 3085-3098. ISSN 0031-9155.
69. VODŇANSKÝ, J. - Tvar oka, jeho parametry a měření. *Československá oční optika*, 1983, 24(3,4), od s. 33-40. ISSN 1211-233X.

70. WAN, S.C., CHO, P. A comparative study of the performance of different corneal topographers on children with respect to orthokeratology practice. *Optometry and Vision Science*, 2005, 82(5), pp. 420-427. ISSN 1040-5488.

71. WICHTERLE, O. - Tvarové parametry oka a jejich měření. *Československá oční optika*, 1980, 21(21), od s. 34-37. ISSN 1211-233X.

72. WOODMASS, J., ROCHA, G. A comparison of Scheimpflug imaging simulated and Holladay equivalent keratometry values with partial coherence interferometry keratometry measurements in phakic eyes. *Canadian Journal of Ophthalmology*, 2009, 44 (6), pp. 700-704. ISSN 0008-4182.

73. XU, Y.-Y., FAN, J.-H., LI, X.-X. Study on the correlation between corneal curvature and age, sexual. *International Journal of Ophthalmology*, 2009, 9(5), pp. 884-886. ISSN 0165-5701.

74. YILDIRIM, N., SAHIN, A., BASMAK, H., BAL, C. Effect of central corneal thickness and radius of the corneal curvature on intraocular pressure measured with the Tono-Pen and noncontact tonometer in healthy schoolchildren. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 2007, 44(4), pp. 216-222. ISSN 0191-3913.

75. ZANG, Z., WANG, J., NIU, W., MA, M., JIANG, K., ZHU, P. and KE, B. Corneal Asphericity and Its Related Factors in 1052 Chinese Subjects. *Optometry and Vision Science*, 2011, 88(10), pp. 1232-1239. ISSN 1040-5488.

Internetové zdroje:

http://www.tomey.de/images/stories/tomey-pdf/ss1000_pros.pdf [cit.21-07-2011]

http://www.crstodayeurope.com/Issues/0109/0109_17.pdf [cit.21-07-2011]

<http://www.opthalworld.de/cosmoshop/pix/> [cit.21-07-2011]

<http://www.cxnews.pl/img/articles/230/1>[cit.21-07-2011]

<http://obchod.geodis.cz/optika/topografy>[cit.21-07-2011]

<http://obchod.geodis.cz/file/161/>[cit.21-07-2011]

<http://obchod.geodis.cz/file/251/>[cit.21-07-2011]

<http://www.oculus.cz/top.htm>[cit.21-07-2011]

Seznam použitých zkratek

ARM	autorefraktometrie
cyl	cylindr
D	dioptrie
GSO	Gullstrandovo schématické oko
KNR	kroužek nejmenšího rozptylu
mm	milimetr
OCT	optická koherentní tomografie
PMMA	polymethylmetakrylát
RGP	rigid gas permeable
SAI	Surface Asymmetry Index
SD	směrodatná odchylka
sph	sféra
SRI	Surface Regularity Index
TMS	Topographic Modelling Systeme

Příloha 1 - Seznam publikací autora

PETROVÁ, S. a P. BENEŠ. Jednodušší vyšetření u keratokonu při jeho detekci, sledování i předoperačně. *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol. s.r.o, 2012, 53(2), od s. XX-XX, X s. ISSN 1211-233X. (v tisku)

SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ, J. a BENEŠ, P. a HOLOUBKOVÁ, Z. *Visual field*. Poster presentation in 1st Optometry Conference of Central and South-Eastern Europe, Opatija (Croatia) 1.-3.6.2012

BENEŠ, P. a SYNEK, S. a PETROVÁ, S. *Comparison of keratometric values and corneal eccentricity*. Poster presentation in 1st Optometry Conference of Central and South-Eastern Europe, Opatija (Croatia) 1.-3.6.2012

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ a J. SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ a L. FORÝTKOVÁ. Biofyzikální vlastnosti materiálů pro kontaktní čočky. *Jemná mechanika a optika*. Přerov: Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., 2012, 56(4), od s. XX-XX, X s. ISSN 0447-6441. (recenzovaný časopis)

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ a Z. HOLOUBKOVÁ a J. SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ. *Zorné pole*. Poster. 19.3.2012

BENEŠ, P. a SYNEK, S. a PETROVÁ, S. a SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ, J. a FORÝTKOVÁ, L. a HOLOUBKOVÁ, Z. Výskyt refrakčních vad s následnou volbou korekční pomůcky. *Česká a slovenská oftalmologie*. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně, 2012, 68(1), s. 11-16, 6 s. ISSN 1211-9059.

BENEŠ, P. Dostupnost kontaktních čoček a možnosti refrakčních zákroků. *Brýle a móda*. Praha: Iva Production Agency, s.r.o., 2012, 2(1), s. 40-42, 3 s. ISSN 1804-7866.

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ. Šetrný tonometr. *Jemná mechanika a optika*. Přerov: Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., 2012, 56(2), od s. 52, 1 s. ISSN 0447-6441.

BENEŠ, P. Předoperační přístroje ke zjištění astigmatizmu. *Jemná mechanika a optika*. Přerov: Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., 2012, 56(2), od s. 50-51, 2 s. ISSN 0447-6441.

PETROVÁ, S. a P. BENEŠ a J. PETR. Nové metody v oblasti měření vlastností rohovkové tkáně. *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol.s.r.o, 2012, 53(1), od s. 56-58, 3 s. ISSN 1211-233X.

BENEŠ, P. a S. SYNEK a S. PETROVÁ. Porovnání keratometrických hodnot a excentricit rohovek u myopie, hypermetropie a emetropie. *Česká a slovenská oftalmologie*. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně, 2011, 67(5-6), s. 181-186, 6 s. ISSN 1211-9059.

BENEŠ, P. Korekce nízkých hodnot astigmatizmu. *Brýle a móda*. Praha: Iva Production Agency, s.r.o., 2011, 1(4), s. 28-31, 4 s. ISSN 1804-7866.

BENEŠ, P. Fyzikální vlastnosti zdravých lidských slz a vhodné roztoky. *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol. s.r.o, 2011, 52(4), s.68-70, 3 s. ISSN 1211-233X.

VESELÝ, P. a S. SYNEK a P. BENEŠ. Zasedání evropské akademie optiky a optometrie. Brno: Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, 10/2011, 2, s. 26-29, 4 s. ISSN 1805-014X.

VESELÝ, P. a S. PETROVÁ a P. BENEŠ a S. SYNEK. *OPTIKA-OPTOMETRIE na LF MU Brno v roce 2011*. Poster in kongres Optometrie Optika 2011, Brno, 17.9-18.9.2011

BENEŠ, P. a S. SYNEK a S. PETROVÁ a P. VESELÝ. *Living with Optometry in Brno*. Poster presentation in Kongres ECCO a EAOO Prague 6.-8.5.2011; 4th International Congress Of Croatian Society "ALBERT EINSTEIN", 26.-29.5.2011, Rab, Croatia)

BENEŠ, P. Důkladná dezinfekce a správná péče o kontaktní čočky. *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol. s.r.o, 2011, 52(3), s.80-84, 5 s. ISSN 1211-233X.

BENEŠ, P. Lepší vízus díky asférické ploše. *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol. s.r.o, 2011, 52(2), s.74-76, 3 s. ISSN 1211-233X.

BENEŠ, P. Smáčivost u silikonhydrogelových kontaktních čoček s vybranými roztoky pro kontaktní čočky. *Brýle a móda*. Praha: Iva Production Agency, s.r.o., 2011, 1(2), s. 66, 1 s. ISSN 1804-7866.

BENEŠ, P. „BCLA – Celosvětová konference pro kontaktology“. In *Sborník přednášek*. 1.Celostátní studentská konference Optometrie, 21.10.2010, Brno

BENEŠ, P. a J. ŠIDLOVÁ. Stručný průvodce dysfunkcí Meibomských žlázek (MGD). *Česká oční optika*. Praha: EXPO DATA, spol. s.r.o, 2010, 51(4), s. 28-29, 2 s. ISSN 1211-233X.

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ a Z. HOLOUBKOVÁ. Optická praktika. *Elportál* [online]. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, vyd. 4. 10. 2010 [cit. 2010-10-04]. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/elportal/?id=901008>. ISSN1802-128X.

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ. Posouzení silikonhydrogelových kontaktních čoček I. *Bryle plus*. Praha: Libertas, a.s., 2009, 3(1), s. 48–50, 3 s. ISSN 1802-4246.

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ. Posouzení silikonhydrogelových kontaktních čoček II. *Bryle plus*. Praha: Libertas, a.s., 2009, 3(2), s.14–15, 2 s. ISSN 1802-4246.

BENEŠ, P. Nové jednodenní kontaktní čočky pro korekci astigmatizmu. *Bryle plus*. Praha: Libertas, a.s., 2009, 3(2), s. 42 , 1 s. ISSN 1802-4246.

BENEŠ, P. a S. PETROVÁ. Rohovková topografie v optometrii. *Visionnews.eu*. Ostrava : Printo, spol. s.r.o. , 2009, 2(1), s. 15–17, 3 s. MK ČR E 18435. 2009.

- tématický článek pro Českou televizi k pořadu Dobré ráno (Vliv světla na zrak 11.5.2009)

- tématický článek pro Českou televizi k pořadu Dobré ráno (Zrakové klamy 29.10.2008)

Příloha 2 - Aktivní přednášky na veřejných a odborných fórech

BENEŠ, P. a S. SYNEK a S. PETROVÁ. *Comparison of keratometric values and corneal eccentricity.* Poster presentation in 1st Optometry Conference of Central and South-Eastern Europe, Opatija (Croatia) 1.-3.6.2012

SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ, J. a P. BENEŠ a Z. HOLOUBKOVÁ. *Visual field.* Poster presentation in 1st Optometry Conference of Central and South-Eastern Europe, Opatija (Croatia) 1.-3.6.2012

VESELÝ, P. a S. PETROVÁ, S. a P. BENEŠ a S. SYNEK. *OPTIKA-OPTOMETRIE na LF MU Brno v roce 2011.* Poster in kongres Optometrie Optika 2011, Brno, 17.9.-18.9.2011

BENEŠ, P. - *Topografie rohovky.* Odborná školící akce a kongres Telč 2011, 3.6 - 4.6.2011, Telč

BENEŠ, P. a S. SYNEK a S. PETROVÁ a P. VESELÝ. - *Living with Optometry in Brno.* Poster presentation in Konference ECCO a EAEO, 6.5. - 8.5.2011, Praha

BENEŠ, P. *BCLA – Celosvětová konference pro kontaktology.* 1. Celostátní studentská konference Optometrie, 21.10.2010, Brno

BENEŠ, P. *Štěrbínová lampa v praxi optometristy.* Bausch and Lomb Academy, 21.5.-22.5.2010, Lednice

BENEŠ, P. *Kdy doporučit degresivní brýlové čočky.* 5. Brněnské Slavíkovy oftalmologické dny, 7.5.2010, Brno

BENEŠ, P. *Multifokální kontaktní čočky.* Seminář Bausch and Lomb, 23.10.2009, Praha

SYNEK, S. a BENEŠ, P. *Účinky a zdravotní rizika UV záření na oko.* Kongres Optometrie 2009, 12.9.-13.9.2009, Hradec Králové

BENEŠ, P. *Tórické kontaktní čočky.* Seminář Bausch and Lomb, 27.8.-28.8.2009, Piešťany

BENEŠ, P. *Rohovková topografie v optometrii.* Optometrické sympozium AMBG, 3.4.-4.4.2009, Hrotovice

BENEŠ, P. *Techniky osvětlení štěrbinovou lampou.* Optometrické sympozium AMBG, 13.9.2008, Hrubá Skála

