

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**NICOLA
ŠEFRNOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Měření velikosti duhovko-rohovkového úhlu

Measurement of the size of the irido-cornea angle

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Nicola Šefrnová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Fůs

Konzultant bakalářské práce: doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc.

Kladno 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šefrnová** Jméno: **Nicola** Osobní číslo: **499991**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Měření velikosti duhovko-rohovkového úhlu

Název bakalářské práce anglicky:

Measurement of the size of the irido-cornea angle

Pokyny pro vypracování:

Student vypracuje rešerši zahrnující problematiku přístrojové diagnostiky duhovko-rohovkového úhlu včetně jeho patologie a dále principy měření biometrických parametrů oka. Cílem práce bude také realizace vyšetření duhovko-rohovkového úhlu u relevantního počtu pacientů za využití předně-segmentového OCT a Scheimpflugovy kamery, dále pak komparace naměřených dat z obou přístrojů a současně vyhodnocení jejich potenciální závislosti na biometrických parametrech oka.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kaschke Michael, Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles and clinical applications, ed. 1, Bergstr: Wiley-VCH, 2013, ISBN 978-352-7410-682
- [2] Heissigerová Jarmila, Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu, ed. 1, Maxdorf, Jessenius, 2018, ISBN 978-80-7345-580-4
- [3] Biomed Eng Online, Methods of measuring the iridocorneal angle in tomographic images of the anterior segment of the eye, ed. 1, 2013, Květen, Biomed Eng Online, doi:10.1186/1475-925X-12-40.

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Fůs

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

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

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

Název bakalářské práce: Měření velikosti duhovko-rohovkového úhlu

Abstrakt:

Teoretická část se zabývá patofyziologií přední komory a iridokorneálním úhlem v souvislosti s glaukomovým onemocněním, součástí je též principiální objasnění přístrojových metod pro vyšetření přední komory oka. V experimentální části byla provedena komparace dvou přístrojových metod.

Větší koeficient spolehlivosti byl zjištěn při měření iridokorneálního úhlu na manuálním OCT vyšetření s předně-segmentovým modulem. Byla prokázána závislost jednotlivých biometrických parametrů oka na velikost D-RÚ: velmi silná pozitivní korelace pro ACD, střední pozitivní korelace pro AL, WtW a PD. Střední negativní korelace pro LT. Nevýznamný vliv na velikosti úhlu mají ostatní parametry: sagitta, tloušťka a keratometrie rohovky. Průměrná hodnota absolutního rozdílu mezi vypočítanou velikostí iridokorneálního úhlu na základě výstupního vzorce regresivní analýzy (v závislosti na biometrických parametrech oka) a reálné hodnoty naměřené na OCT činila $2,43^\circ$, přičemž rozdíl mezi daty nebyl statisticky významný.

Klíčová slova:

Iridokorneální úhel, přední segment oka, Scheimpflugova kamera, biometrie, předně-komorové OCT, glaukom

Bachelor's Thesis title: Measurement of the size of the irido-cornea angle

Abstract:

The theoretical part deals with the pathophysiology of the anterior chamber and the iridocorneal angle in relation to glaucoma disease, it also includes a principal explanation of the instrumental methods for the examination of the anterior chamber of the eye. In the experimental part, a comparison of two instrumental methods was performed.

A higher reliability coefficient was found for the measurement of the iridocorneal angle on manual OCT examination with the anterior-segment module. The dependence of individual biometric parameters of the eye on the size of the D-RU was demonstrated: very strong positive correlation for ACD, moderate positive correlation for AL, WtW and PD. Medium negative correlation for LT. Insignificant influence of other parameters on the size of the angle: sagitta, corneal thickness and keratometry. The mean value of the absolute difference between the calculated iridocorneal angle magnitude based on the output formula of the regression analysis (depending on the biometric parameters of the eye) and the actual value measured on OCT was 2.43° , and the difference between the data was not statistically significant.

Key words:

Iris-cornea angle, anterior segment of eye, the Scheimpflug camera, Biometry, anterior-segment OCT, glaucoma

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Martinu Fůsovi za vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat paní docentce MUDr. Šárce Pitrové CSc. a celé Oční klinice JL, V Hůrkách 1296 v Praze a Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně za poskytnutí potřebných přístrojů k naměření potřebných dat. Děkuji také své rodině za podporu při psaní bakalářské práce a během celého studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Velikost duhovko-rohovkového úhlu v závislosti na fyziologických parametrech oka“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V *Kladně* dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod	6
2	Fyziologie a patofyziologie přední komory	7
3	Vliv iridokorneálního úhlu na patologické stavy oka.....	12
4	Vyšetřovací metody přední komory	15
4.1	Biomikroskopie.....	15
4.2	Gonioskopie	16
4.3	Digitální goniofotografie	20
4.4	Optická koherenční tomografie.....	22
4.5	Sheimpflugova kamera	25
5	Biometrie oka	27
6	Experimentální část	30
6.1	Metodika	31
6.2	Výsledky	34
7	Diskuse	40
8	Závěr.....	42
	Seznam použité literatury	44
	Seznam symbolů a zkratek	47
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam tabulek.....	49
	Příloha A: Naměřená data.....	50

1 Úvod

Přední komora je prostor mezi rohovkou a kořenem duhovky. Místo, kde přechází rohovka v duhovku se nazývá iridokorneální úhel. Je důležitý pro cirkulaci nitrooční tekutiny a udržuje správný poměr mezi její tvorbou a odtokem. Velikost iridokorneálního úhlu se pohybuje okolo 25° - 45° .

Glaukomatické onemocnění je nenávratné poškození nervových vláken sítnice. Proto je důležitá včasná diagnóza rizikových faktorů podporujících vznik tohoto onemocnění. V současnosti představuje glaukom velmi diskutované téma, neboť má významné následky na vidění. Cílem této práce je zjistit a predikovat, zda i některé fyziologické parametry oka mohou být rizikovými faktory pro vznik tohoto onemocnění.

Iridokorneální úhel lze měřit specializovanými přístroji fungujícími na různých fyzikálních principech. Gonioskopie patří mezi nejstarší způsob pozorování, využívá biomikroskop a speciální gonioskopickou čočku. Slouží k odhadování velikosti úhlů ve srovnání s tloušťkou rohovky. Gonioskopii začali postupně doplňovat a částečně i nahrazovat jiné specializované diagnostické metody jako digitální Goniofotografie, Optická koherenční tomografie s předně-segmentovým modulem a Scheimpflugova kamera.

Pro měření fyziologických parametrů oka byla použita optická Biometrie, která využívá laserového záření pro měření celkové velikosti oka. Jedná se o bezkontaktní metodu nejvyužívanější v praxi. Vedle optické existuje i biometrie ultrazvuková, se kterou se pracuje v případě zakalení očních medií, kdy laserové záření není schopno projít.

Experimentální část práce je rozdělena do tří cílů. Prvním cílem je pozorování naměřených dat ze dvou rozdílných přístrojových diagnostik: Scheimpflugovy kamery a Optické koherenční tomografie. A následné vyhodnocení rozdílných výsledků měření iridokorneálního úhlu. Druhým cílem je komparace nasální a temporální velikosti úhlů s předpokladem, že nasální úhel vychází stejně velký jako temporální. Třetím cílem je určení potenciální míry závislosti měřeného D-RÚ na biometrických datech, respektive určení prediktability D-RÚ. Jinými slovy zjistit, zda by některý biometrický parametr oka mohl přispět k vyvolání uzávěru úhlu a tím způsobit akutní glaukomový záchvat. Současně odvodit rovnici pro odhad velikosti úhlu dle biometrie.

2 Fyziologie a patofyziologie přední komory

Vnitřní část lidského oka je rozdělena do tří komor. Přední komora se skládá z řasnatého tělesa, endotelem rohovky a duhovky se zornicí, která ji odděluje od zadní komory. Ta je ohraničená již zmíněnou duhovkou a z druhé strany oční čočkou. Rohovka spolu s duhovkou svírají úhel, tzv. Iridokorneální úhel. V přední a zadní komoře se nachází komorová tekutina, která vyživuje rohovku a čočku. Komorová tekutina je velmi důležitým faktorem při vzniku očních onemocnění, proto je potřeba při rutinním vyšetření kontrolovat nitrooční tlak (NOT), jedná se o poměr mezi tvorbou a odtokem komorové tekutiny. Třetí komorou je tzv. sklivec, který je ohraničený oční čočkou a sítnicí. [1; 2]

Řasnaté těleso, latinsky corpus ciliare, je spolu s duhovkou a cévnatkou součástí prostřední vrstvy oka, která se nazývá tunica vasculosa. Na vnitřním obvodu má řasnaté těleso kolem 70-80 dlouhých, paprscitě uspořádaných výběžků, které mají hrbolatý povrch. Mezi těmito výběžky jsou umístěna závěsná vlákna čočky. Na zadní straně řasnaté těleso přechází v ora serrata. Jedná se o přechod mezi pars optica retinae a pars caeca retinae. Řasnaté těleso spolu s oční čočkou zajišťují akomodaci. Pomocí jeho svalů, je čočka schopna měnit svůj tvar a tím zaostřovat na předměty v různých vzdálenostech. Dále pomocí epitelových buněk řasnatého těleso je produkována komorová tekutina. [3]

Iridokorneální úhel se nachází mezi rohovkou a kořenem duhovky, proto se mu také říká iridokorneální úhel. Jeho tvar je tvoří vzájemné spojení řasnatého tělesa, duhovky, rohovky a sklery, které také ovlivňuje jeho šíři. Z fyziologického hlediska je vzhled iridokorneálního úhlu velmi variabilní. Při vyšetření iridokorneálního úhlu se hodnotí duhovka, sklerální ostruha, proužek řasnatého tělesa, trámčinu, Schwalbeho linii a periferní rohovku (Obrázek 2.1.). Tyto struktury se označují jako drenážní oblasti oka. [1; 2; 3]



Obrázek 2.1: Histologický řez přední komory [1]

Duhovka rozděluje přední a zadní komoru. V oblasti iridokorneálního úhlu má odlišný tvar. Je lehce konkávní, plochá nebo výrazně konvexní. Z přední plochy kořene duhovky vychází pigmentové duhovkové tkáně, které se nazývají duhovková trámčina. Jedná se o vícevrstevnou strukturu kolagenních a elastoidních vláken. Tvoří ji tři vrstvy. Vrstva uveální, korneosklerální a juxtakanalikulární. Má porézní charakter a směrem ke Schlemmovu kanálu se póry zmenšují. [1; 3]

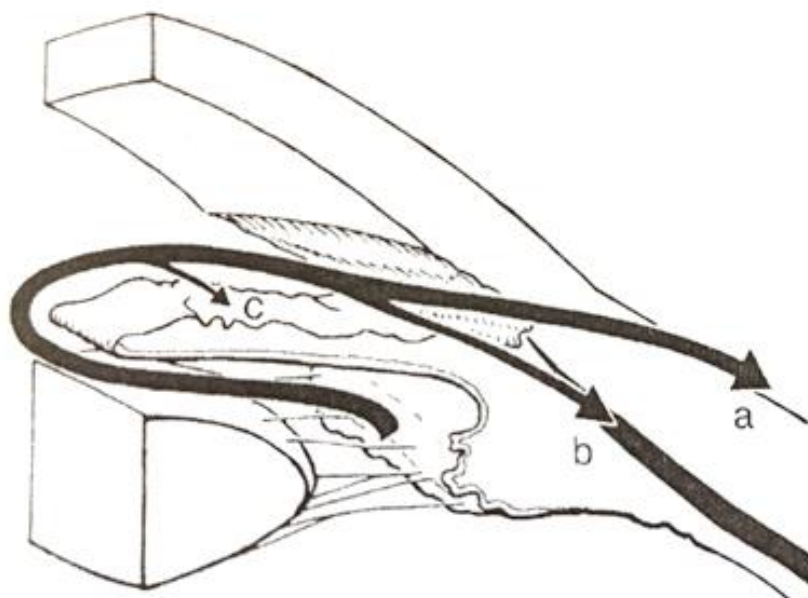
Sklerální ostruha je světle šedá, v periferii jemně nažloutlá. Nachází se u horní hranice trámčiny a u úponu Descemetovy membrány rohovky. Někdy může mít totožnou barvu jako trámčina (úzký proužek mezi rohovkou a sklérou), v tomto případě je potřeba odlišit ji pomocí ciliárního proužku. U mladých lidí je transparentní a s věkem začíná mít určitý stupeň pigmentace. Pigmentové usazeniny se ukládají typicky u sklerální ostruhy, kde se nachází hlavní filtrační část trámčiny. Schwalbeho linie se od duhovkové trámčiny liší hustotou a zbarvením. [1; 2; 3]

Schlemmův kanál je uložen ve sklerálním sulku, kde není standartně vidět. Viditelný začíná být, pokud obsahuje krev. Ta je převážně z episklerálních cév a objevuje se při hypotonii, žilní kompresi, srpkovité anémii nebo u kavernózních píštělí. Jedná se o cirkulární kanál, jehož stěna je pokryta endotelovými buňkami. Zevní strana je hladká a souvislá. Vnitřní strana sousedí s juxtakanalikulární trámčinou duhovky. [1; 4]

Komorová tekutina vzniká za pomoci krevní plazmy v epitelových buňkách řasnatého tělesa v množství kolem 2.4 mm³/min. Epitelové buňky řasnatého tělesa jsou rozděleny na zevní pigmentový list a vnitřní nepigmentový list. Hlavním místem produkce komorové tekutiny jsou buňky nepigmentového epitelu, které jsou v těsném spojení a obsahují větší počet mitochondrií. Z krevní plazmy se tvoří pomocí ultrafiltrace aktivní sekrece a difuzí. Na rozdíl od plazmy komorová tekutina obsahuje malé množství hydrogeluhlčičinatu (HCO₃⁻), proteinů, růstových faktorů, fosfolipázy A₂, kyseliny hyaluronové a mnoho dalších. Ultrafiltrace je závislá na tlakovém gradientu toku do nitra oka, který vytváří rozdíl mezi hydrostatickým tlakem kapilárního řečiště a nitroočním tlakem. Následnou aktivní sekrecí dochází k transportu tekutiny do zadní komory proti elektrochemickému gradientu. Poté pasivním pohybem (tzv. difuzí) jsou ionty přesunuty přes membrány. Produkce je ovlivněna zejména neurohumorální regulací epitelu, cévami a krevním průtokem výběžků řasnatého tělesa a neporušenou hematookulární bariérou. Tu vytváří buňky vnitřního epitelu a zároveň zabraňuje přesunu velkých molekul (např. bílkovin) z krve do komorové tekutiny. [1; 2; 3; 5]

V průběhu spánku, u starších lidí, při zánětech a při úrazech rychlost produkce komorové tekutiny klesá. K její správné regulaci a udržení iontového prostředí slouží betablokátory a inhibitory karboanhydrázy. Komorovou tekutinou je vyplněna přední i zadní komora oka. Jedná se o hypertonickou tekutinu s vysokým obsahem kyseliny askorbové a s nízkým obsahem proteinů. Po vytvoření je komorová tekutina odváděna do zadní komory. Odtud poté odtéká přes zornici a ciliární sval do přední komory. Dále je 90 % tekutiny odváděno přes trabekulární trámčinu do Schlemmova kanálu a dále do episklerálního venózního řečiště (Obrázek 2.2.). Odtok přes trámčinu iridokorneálního úhlu se nazývá trabekulární odtok, který je závislý na NOT. Zbýlých 10 % tekutiny je odváděno dalšími odvodnými cestami, které mají značný odpor k odtoku komorové tekutiny. Je proto zapotřebí vyprodukovat náležité množství tekutiny, aby docházelo k jejímu odtoku. Pro diagnostiku glaukomu je poté zapotřebí tento odpor lokalizovat. [1; 2; 3; 5]

Dynamika komorové tekutiny úzce souvisí s NOT a v normálním stavu udržuje svůj objem i NOT. Komorová tekutina je transparentní, obsahuje vysoké množství Cl^- a H^+ iontů a kyseliny askorbové. Komorová tekutina nejen udržuje normální nitrooční tlak, ale také zásobuje bezcévné tkáně kyslíkem a živinami. Podílí se na metabolismu sklivce, rohovky a čočky. [1; 2; 3]



Obrázek 2.2: Cirkulace komorové tekutiny. a) episklera b) Schlemmův kanál c) iris [3]

Zornice (Pupila) je kruhový otvor, který se fyziologicky nachází v pomyslném středu duhovky. V duhovce je posunuta částečně nasálním směrem a částečně do spodní části duhovky. Ke změnám jejího tvaru může docházet již při narození, při zánětech duhovky, kde dochází ke srůstu duhovky s čočkou nebo při glaukomových záchvatech. I různé nervové choroby mohou přispívat ke změně tvaru zornice. [3; 6; 7]

Zornice se umí velice dobře adaptovat na různou intenzitu světla. Adaptace na silnější světlo trvá jen několik desítek sekund. Oproti tomu adaptace na tmu je pomalá a trvá desítky minut až hodinu. Její šíře je proměnlivá, standardně se pohybuje v rozmezí 2-5 mm. Je však závislá na mnoha faktorech, jako je intenzita osvětlení, adaptace sítnice, vegetativní tonus, věk, barva duhovky, refrakce a další. Mezi fyziologické reakce zornice se řadí její zúžení (tzv. mióza) a rozšíření (tzv. mydriáza). Svou šíří reguluje množství dopadajícího světla na sítnici. Pokud dopadá nepříliš světla, reflexně dojde k mydriáze, aby se dostalo na sítnici co nejvíce světla. K rozšíření dochází také při psychosenzorických podnětech, jako je radost, bolest nebo strach. Pokud je v prostředí intenzivní světlo dojde k mióze, aby nedocházelo k oslnění. Při pohledu do blízka dojde k mióze aktivací oční triády (konvergence, akomodace, mióza). Při sevření víček se zužuje, eliminuje tím chromatické a sférické aberace, a dochází k větší ostrosti obrazu. Dále se zužuje při spánku a u jedinců se světlou barvou duhovky nebo s refrakční vadou zvanou myopií. [1; 3; 6; 7]

Zornicové reakce vyšetřujeme difúzním osvětlením. Reakce na světlo se vyšetřuje při pohledu do dálky a střídavým zakrýváním očí. Vyšetřující sleduje rychlost, rozsah a průběh přímé fotoreakce. Reakce na blízko se vyšetřuje tím způsobem, že se pacient nejprve dívá do dálky a poté začne fixovat blízký předmět (například prst, který je vzdálený 10 cm před okem). Vyšetřující pozoruje miózu. [1; 3; 6; 7]

Aktuální velikost zornice je určena dvěma svaly duhovky, intenzitou světla, věkem, barvou duhovky, pupilomotorickou adaptací sítnice a refrakcí oka. Jedná se o dva hladké svaly duhovky: musculus dilatator pupillae, inervovaný sympatikem a musculus sfínter pupillae, inervovaný parasympatikem. Při podráždění sympatiku adrenalinem, kokainem, dochází k mydriáze. Naopak podrážděním parasympatiku pilokarpinem nastává mióza. Stav, kdy jsou stejně velké zornice obou očí, se nazývá isokorie. V opačném případě se jedná o anizokorii. U fyziologické anizokorie se mohou velikostně lišit o 0,3 mm. Nerovnost pupil neboli větší rozdíl mezi pravým a levým okem, může být způsobena drážděním, lézí na sympatiku nebo parasymatiku. [1; 6; 7]

Kromě oboustranné miózy/mydriázy může nastat stav asymetrické jednostranné miózy/mydriázy. Nejčastější příčinou anizokorie je pupilotonie. Jedná se o pozánětlivou degeneraci parasympatických vláken, jejíž vliv je doprovázen benigní poruchou zornicových reakcí, která bývá nejčastěji jednostranná. Pupila postižená pupilotonií nemá správné fotoreakce. To se se v praxi projevuje během koukání za světla, kdy je na jednom oku širší než na oku druhém. Při pohledu do blízka má neobvyklé tonické (křečovitě) stahy, které jsou pomalé, a mohou trvat až jednu minutu. Zornice a její reakce jsou velmi důležité pro orientaci zdravotníků, kteří podle jejich reakcí zjišťují stav vědomí i správné fungování organismu. [1; 6; 7]

K vyšetření šíře se v praxi využívá pupilometr, který se skládá z monitoru s optikou. Každé oko vidí pouze jednu půlku monitoru. Po stranách tohoto monitoru jsou dvě kamery, snímající každé oko zvlášť. Jedná se o vyšetření zornicových odpovědí na řadu světelných podnětů, které jsou zaznamenány na displeji. Vyšetření se odehrává za fotopických, mezopických i skotopických podmínek. Je velmi důležité pro refrakční i kataraktovou chirurgii. Pupilometrie je součástí biometru, ale může být také samostatným vyšetřením. [3]

3 Vliv iridokorneálního úhlu na patologické stavy oka

Iridokorneální úhel je velmi důležitý pro odvod komorové tekutiny. Pokud se zúží nebo dojde k úplnému uzavření, komorová tekutina nemá kudy odcházet, začne se hromadit a dochází k akutnímu glaukomovému záchvatu. Vyšší riziko vzniku glaukomu s uzavřeným úhlem je u dalekozrakých očí. Ke glaukomu může docházet i pokud jsou přítomny patologické struktury v komorovém úhlu, mezi kterými se objevují novotvořené cévy, nadměrná pigmentace, synechie duhovky (vazivový pozánětlivý srůst) a pseudoexfoliace. Novotvořené cévy jsou samostatné cévy na úrovni trámčiny, které přerostou ciliární proužek a sklerální ostruhu až do duhovky. Tvoří se hlavně u neovaskulárního glaukomu a Fuchsovy iridocyklitidy. Nadměrná pigmentace se vyskytuje v dolní části úhlu, kde vytváří pigmentové granule. Dochází k syndromu disperze pigmentu (uniformní silně pigmentový pruh). Nepravidelná pigmentace je typicky přítomna u maligního melanomu způsobeného zánětem, úrazem nebo operací. Synechie duhovky má rombický nebo cípatý tvar. Dosahuje různé výše trámčiny v úhlu. Pseudoexfoliace neboli bělavé usazeniny fibrilárního materiálu se vyskytují na strukturách úhlu. [1; 9; 3]

Velikost iridokorneálního úhlu můžou dále ovlivňovat ostatní parametry oka (axiální délka oka, tloušťka rohovky, velikost zornice). Předpokládá se, že lidé s širší rohovkou mohou mít vyšší předpoklad k uzavření úhlu. Dále i lidé s fyziologicky nebo terapeuticky rozšířenými zornicemi. V mydriatickém stavu dochází k nahrnutí duhovky do místa iridokorneálního úhlu. [1; 9; 3]

Pojem mydriáza označuje stav, kdy je zornice širší než 4 mm. Existují různé typy mydriázy a to fyziologická, terapeutická, spastická a paralytická. Fyziologickou mydriázu způsobují různé emoce jako radost a stres nebo zvýšená hladina sympatiku, zvyšující adrenalin (při bolesti). Tato informace je využívána i při farmakologické mydriáze, při níž se používají parasymptolytika (tropikamid, neosyefrin) a sympatomimetika (kapky phenylephrinu). Parasymptolytika se využívají v kapkách a způsobují dočasnou poruchu akomodace. Tyto kapky začínají působit během několika minut a mydriáza trvá kolem 2-3 hodin. Sympatomimetika, také působí velmi rychle, ale nezpůsobují poruchy akomodace. Aby se při vyšetření dosáhlo dostatečně velké mydriázy, kombinuje se v kapkách tropicamid a phenylephrin. [1; 4; 6]

Při terapeutické mydriáze je snaha předejít komplikacím při iridocyklitidách. Využívají se kapky parasimpatolytik (homatropinu, skopolaminu nebo atropinu). Atropin má nejdelsí účinek, dokáže účinkovat sedm až deset dnů. Pokud se projeví komplikace těžké iridocyklitidy (zadní synechie, tj. vazivový srůst zadní plochy duhovky s předním pouzdem čočky), je zapotřebí zkombinovat parasimpatolytika a sympatomimetika, případně se může využít injekce adrenalinu pod spojivku. Pokud dojde ke kontrakci dilatatoru zornice, vlivem dráždění sympatiku, jedná se o spastickou mydriázu. Vzniká jako psychosenzorická reakce. V případě spastické mydriáze mají zornice dobré fotoreakce. Avšak ty jsou slabší než ve fyziologické formě. Při jednostranné spastické mydriáze může být sympatikus drážděn nádorem (například plicního hrotu, nebo štítné žlázy). Spastická mydriáza vzniká vzácně. Častěji dochází k paralytické mydriáze. Jedná se o absolutní ztuhlost zornic, u které dochází k poruše reakce na světlo a reakce při pohledu do blízka. Může vzniknout samostatně anebo současně s poruchou akomodace. Současně s poruchou akomodace se jedná o vnitřní oftalmoplegii. Pokud je součástí totální oftalmoplegie, dochází k útlaku nervus oculomotorius. Na jeho povrchu se nachází parasympatická vlákna, která mají vliv na šíři zornice. [1; 4; 6]

Glaukom je multifaktoriální neléčitelné onemocnění, při kterém dochází k progresivní neuropatii optiku. Jedná se o chronické onemocnění řízené rizikovými faktory. Mezi rizikové faktory patří především vysoký nitrooční tlak, nízký krevní tlak, výskyt glaukomu v rodinné anamnéze, věk, pohlaví a refrakční vady. Avšak to není zdaleka všechno, za rizikové faktory je možno považovat i parametry oka, které negativně působí na iridokorneální úhel. [3; 9]

Glaukomové onemocnění dělíme na primární a sekundární. S vlivem iridokorneálního úhlu souvisí primární glaukom. Ten se dá dále rozdělit na glaukom s uzavřeným a otevřeným úhlem. Ke glaukomu s uzavřeným úhlem dochází zvyšováním NOT následkem uzávěru iridokorneálního úhlu. K tomu mají vyšší predispozici lidé s hypermetropií nebo lidé s menší velikostí rohovky. Tito lidé mají fyziologicky užší iridokorneální úhel. Dále vlivem rozšíření zornice, kdy se duhovka nahrne na trabekulární trámčinu tím dojde k zabránění odtoku komorové tekutiny. Vzniká zde iridotrabekulární kontakt. Následně jsou přítomny akutní ataky, kdy dochází k náhlému zvýšení NOT. Na vzniklou situaci má vliv rozšíření zornice, z toho se dá vyvodit, že k atakám dochází v prostředí s nízkým osvětlením, při emočním vzrušení nebo při vyšetření s nutností oči rozkatat a navodit mydriázu. [3; 9]

Mezi nejčastější typ glaukomu patří glaukom s otevřeným úhlem. Zde není žádná překážka na trabekulárním systému. Postupně dochází k zhoršenému odtoku komorové tekutiny. Oproti glaukomu s uzavřeným úhlem jsou asymetricky postiženy obě oči. Začíná zcela bez subjektivních potíží. V rozmezí mezi prvním zvýšením NOT a prvními změnami na zrakovém terči může uplynout i několik let. [3; 9]

Glaukomový záchvat je charakterizován akutním nástupem, oko zčervená s následnou bolestí, dochází k edému rohovky s mlhavým viděním, iridaci, zornice jsou rozšířené a nereagují. Oči poté začnou hypermetropizovat. Příznačné jsou bolesti hlavy, nauzea a zvracení. Dochází k extrémně vysokému NOT kolem 50-80 mmHg. Komorová tekutina vlivem hromadění začíná tláčit na přední plochu čočky směrem k duhovce. Dále vznikne pupilární blok, čímž dochází k uzavěru štěrbinu mezi čočkou a okrajem duhovky. Následně tekutina začne protlačovat kořen duhovky ze zadní komory dopředu a tím uzavře trámčinu iridokorneálního úhlu. Akutnímu záchvatu předchází dilatace zornice (vyvolaná fyziologicky nebo farmakologicky), psychické napětí nebo delší předklon hlavy. Léčí se podáním miotik současného podání lokálních nebo per os osmoticky působících látek (např. glycerin). Po odeznění záchvatu se provádí laserová iridotomie, vytvářející v periferii duhovky otvor pro průchod pupilárního bloku. [3; 9]

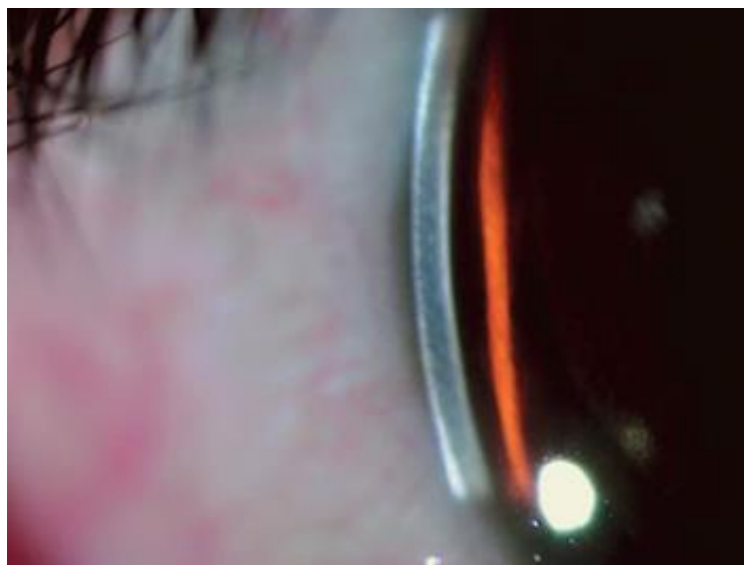
Diagnostika glaukomového onemocnění vyžaduje provedení řady testů. Mezi tyto testy se řadí gonioskopie, tonometrie (vyšetření nitroočního tlaku), pachymetrie a perimetrie. Pro zobrazení je zásadní OCT vyšetření, díky kterému lze zobrazit tloušťku sítnicových vrstev, stav gangliových buněk a samotné zobrazení terče zrakového nervu. Vizualizaci iridokorneálního úhlu je možné provádět prostřednictvím předně-komorové OCT. [3; 11]

4 Vyšetřovací metody přední komory

Přední komora se vyšetřuje zejména pro diagnostiku iridokorneálního úhlu z funkčně vizuálního hlediska a současně objektivně jako objektivní anatomický parametry. Pro posouzení přední komory by měl být uvažován zejména vliv velikosti zornice a nitroočního tlaku. Mezi stěžejní subjektivní vyšetřovací techniky řadíme konvenční biomikroskopii (Van Herrickova metoda, Smithova metoda) s gonioskopií, zobrazovací metody předního segmentu oka jako je Scheimpflugova kamera nebo předně-komorové OCT. [2]

4.1 Biomikroskopie

Pro odhad iridokorneálního úhlu využívá **van Herrickova metoda**, která je považována za nejpoužívanější. Využívá se, pokud není k dispozici gonioskopická čočka. Jedná se o rychlou kvalitativní metodu, která může být velmi efektivní za použití štěrbinové lampy. Tato metoda se provádí před dilatací pupily. Patří mezi rutinní vyšetření. Na štěrbinové lampě se nastaví nejmenší zvětšení s dostatečnou hloubkou ostrosti. Paprskem se svítí do oka pod úhlem 60° z temporální strany, aby byl přibližně kolmý k limbu. Díky tomuto úhlu paprsku, je iridokorneální úhel kontrastní a může být porovnán s tloušťkou rohovky (Obrázek 4.1.). [2; 4]



Obrázek 4.1: Porovnání tloušťky rohovky a prostorem mezi zadní částí rohovky a přední částí duhovky [10]

Pokud je iridokorneální úhel stejně nebo více široký jako rohovka, je otevřený. Pokud je ale úhel menší než tloušťka rohovky, je zde větší riziko uzavření úhlu a následného akutního glaukomatického záchvatu. Pokud vůbec není vidět prostor mezi rohovkou a duhovkou, iridokorneální úhel je uzavřený (Tabulka 4.1.). Iridokorneální úhel zjišťovaný pomocí van Herrickovy metody, se provádí jak z temporální strany, tak i ze strany nasální. Světelný paprsek je potřeba posunout co nejvíce k limbu. [2; 4]

Tabulka 4.1: Posouzení iridokorneálního úhlu podle van Herrickovy metody [2]

Poměr Rohovka:Prostor	Stupně	Úhel
1:1 nebo větší	4	Otevřený
1:0.5-1.0	3	Otevřený
1: 0.25-0.5	2	Úzký, možné uzavření úhlu
1: menší než 0,25	1	Úzký, pravděpodobné uzavření
Zavřený	0	Úhel uzavřený – Akutní glaukomový záchvat

Pokud se stane, že by se přední komora zdála více mělká, než je ve skutečnosti, musí se poté vyšetřit pacient pomocí Gonioskopie.

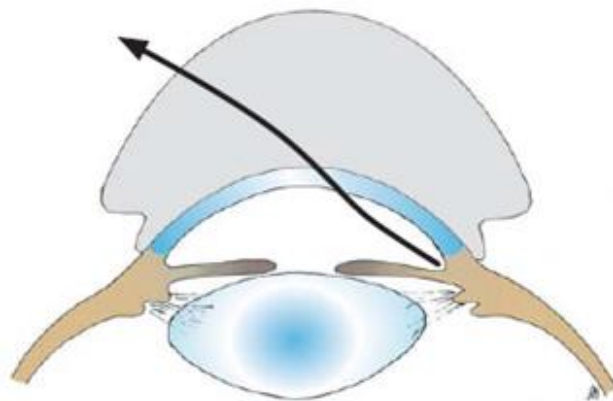
4.2 Gonioskopie

Gonioskopie je vyšetření, které je součástí komplexního vyšetření očí pacienta a je klíčové pro diagnózu glaukomu s otevřeným i s uzavřeným úhlem. Podle výsledku se určuje optimální léčba. Manuální gonioskopie se provádí na šterbinové lampě (binokulární mikroskop vybavený osvětlovacím systémem) s pomocnou speciální čočkou. Nevýhodou této manuální techniky je potřebná praxe vyšetřujícího pro správný snímek iridokorneálního úhlu a nepříjemný pocit pacienta. Dále se v praxi využívá i digitální gonioskopie (více vysvětleno v kapitole 4.3). [1; 2]

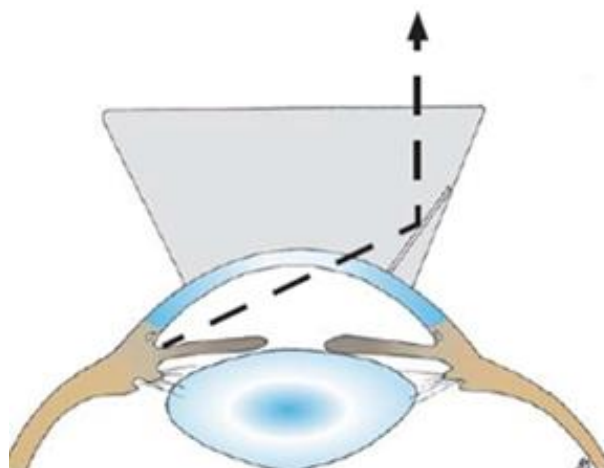
Manuální gonioskopie se provádí přímou nebo nepřímou metodou. Vyšetření přímou metodou probíhá přes mikroskop za použití osvětlené lupy nebo přenosné šterbinové lampy. Používá se speciální čočka, Koepova nebo Barkanova, přikládána přímo na znecitlivěný povrch oka. Oko musí být v primární poloze, aby nedošlo k chybné

klasifikaci úhlu. Vyšetření probíhá v temné místnosti se štěrbinovým paprskem tak, aby nebyla osvětlena pacientova zornice a nevznikla mióza, jejíž důsledkem mohlo dojít k podhodnocení šíře úhlu. Poskytuje snadnou orientaci a možné srovnání obou očí (Obrázek 4.2.). Využívá se nejčastěji při chirurgii glaukomu, u goniotomii dětí nebo při goniosynechiolýze dospělých. [1; 2; 4; 3]

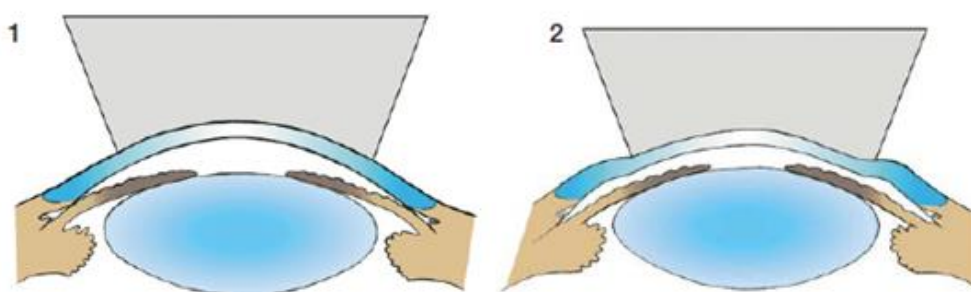
U nepřímé metody je zapotřebí štěrbinová lampa a Goldmannova gonioskopická čočka. Goldmanova čočka je jednozrcadlová, proto se s ní musí během vyšetření otáčet o 360° kolem celého obvodu úhlu. Úhel se zobrazí pomocí zrcátka obrácený o 180°. Světlo se z přední komory odráží od zrcátka a tím jsou vidět struktury z protilehlé části úhlu (Obrázek 4.3.). Tato metoda se nejvíce využívá v praxi, protože je rychlejší než přímá gonioskopie. Dále se můžou využít čočky Zeissovy a Posnerovy, které jsou čtyřzrcadlové. Zůstává stejný princip obrazu protilehlé strany, ale čočky se na oku nemusí otáčet. Nelze zde vyšetřovat najednou obě oči. U glaukomu s uzavřeným úhlem je nenahraditelná technika impresní gonioskopie. Uspořádání iridokorneálního úhlu při přiložení vyšetřovací čočky někdy brání vidět jeho struktury. Proto je zapotřebí zatlačit na čtyřzrcadlovou čočku v předozadním směru, čímž se objem nitrooční tekutiny přesune směrem do periferie přední komory (Obrázek 4.4.). Poté dojde k prohloubení a zobrazení úhlu. Touto technikou se rozlišuje zúžený nebo zcela uzavřený úhel. Pokud by byl úhel uzavřený úplně, lze prokázat přítomnost synechií (skutečný uzávěr). [1; 2; 3; 4 8]



Obrázek 4.2: Přímá gonioskopie [4]



Obrázek 4.3: Nepřímá gonioskopie [4]



Obrázek 4.4: Dynamická gonioskopie (1) uzavření iridokorneálního úhlu. (2) při zatlačení čočky se vytvoří prohlubeň a úhel se rozšíří [4]

Pro výsledné hodnocení a zápis iridokorneálního úhlu, je důležité posoudit šíři, stupeň pigmentace a přítomnost patologických struktur. Pro jeho klasifikaci jsou nejvíce používané metody podle Shaffera a Spaethe. Shaffet posuzuje šíři úhlu a rozděluje ji do pěti kategorií (Tabulka 4.2.) Spaethova klasifikace hodnotí úhel více dopodrobna. Hodnotí šíři a úpon duhovky (Tabulka 4.3.), zakřivení periferní duhovky (Tabulka 4.4), stupeň pigmentace úhlu (Tabulka 4.5.) a jeho dynamiku, zjišťovanou impresivní gonioskopíí. Využití gonioskopie je velice žádoucí, například pro hodnocení anatomie úhlu. Umožňuje u pacienta srovnávat nálezy v přední komoře s časovým odstupem. [1; 3; 4]

Tabulka 4.2: Shaffetova klasifikace iridokorneálního úhlu [1]

Stupeň	Šíře úhlu	Závěr
4	35-45°	Široce otevřený, uzávěr není možný, viditelné všechny struktury od Schwalbeho linie
3	25-35°	Otevřený, uzávěr není možný
2	20°	Mírně zúžený, uzávěr je možný
1	10°	Výrazně úzký s viditelnou Schwalbeho linií, uzávěr je pravděpodobný
0	0°	Uzavřený úhel, nejsou zde vidět struktury úhlu

Tabulka 4.3: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle úponu kořene duhovky [1]

Stupeň	Úpon kořene duhovky
A (= above)	Nad Schwalbeho linií, uzavřený úhel, struktury nejsou viditelné
B (= below)	Pod Schwalbeho linií, uzavřený úhel
C (= can't see corpus ciliare)	V úrovni sklerální ostruhy, mírně otevřený úhel
D (= deep)	Hluboký s viditelnou přední částí řasnatého tělesa, otevřený úhel
E (= extremely deep)	Extremně hluboký, široce otevřený úhel

Tabulka 4.4: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle zakřivení periferní části duhovky [1]

Stupeň	Zakřivení periferní části duhovky
R	Regular – normální zakřivení
S	Steep – konvexní
Q	Queer – konkávní

Tabulka 4.5: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle stupně pigmentace [1]

Stupeň	Stupeň pigmentace
0	Žádný pigment
1+	Ojediné hrudky pigmentu
2+	Střední stupeň pigmentace
3+	Výrazný stupeň pigmentace
4+	Souvislý pruh pigmentace

4.3 Digitální goniofotografie

Digitální goniofotografie neboli automatická digitální gonioskopie představuje alternativu konvenční gonioskopie. Výstupem je digitální dokumentace úhlu, kdy výstupem jsou barevné snímky úhlu z 360°. Pracuje s multizrcadlovou prizmatickou čočkou, osvětlovacím systémem s LED osvětlením a kamerou s vysokým rozlišením. [12; 21]

Multizrcadlová byla vyvinuta pro každý povrch optimalizací, díky které automaticky detekovala iridokorneální úhel pomocí 16ti odrazných ploch s hranoly promítajícími bílé světlo na část úhlu. [12]

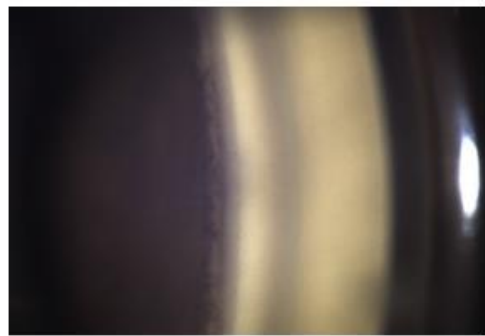
Jedná se o bezkontaktní metodu, kde je potřeba spolupráce pacienta (aby fixoval jedno místo). Celé vyšetření probíhá ve dvou krocích a trvá minimálně jednu minutu. V prvním kroku měření Pro přiložení multizrcadlové čočky k oku je potřeba lokální podání anestetik a imerzního gelu, aby se čočka nedotýkala povrchu oka. Nejprve je zapotřebí správného vyrovnaní kamery s očními strukturami úhlu ze všech stran. Na obrazovce se zobrazí vizuální obraz iridokorneálního úhlu. Zařízení poté kontroluje správnou vzdálenost čočky od rohovky s cílem nejlepšího zaostření obrazu. Kamera pořídí po zaostření 17 snímků za sebou v různých ohniskových rovinách ve všech 16 odrazových ploch čočky. Následně v druhém kroku, pokud je dosaženo správného úhlu ve všech čtyřech sektorech (horní, dolní, nasální a temporální) gonioskop zaznamená sadu gonioskopických snímků. Obrazy jsou poskládány softwarem do lineárního nebo kruhového panoramatického obrazu (nazývaný Stitching), celého iridokorneálního úhlu. Pokud není automatickým snímáním

dosaženo dobré kvality obrazu, lze záznam provést manuálně. Ze všech šestnácti snímků lze vytvořit Stitching. [12; 13]

Díky digitální goniofotografii se porovnává Grading hodnocení iridokorneálního úhlu, podle toho, zda jsou nebo nejsou viditelné struktury úhlu (Obrázek 4.5). viditelné patologické a pooperační nálezy v oblasti iridokorneálního úhlu. [12]



A



B



C



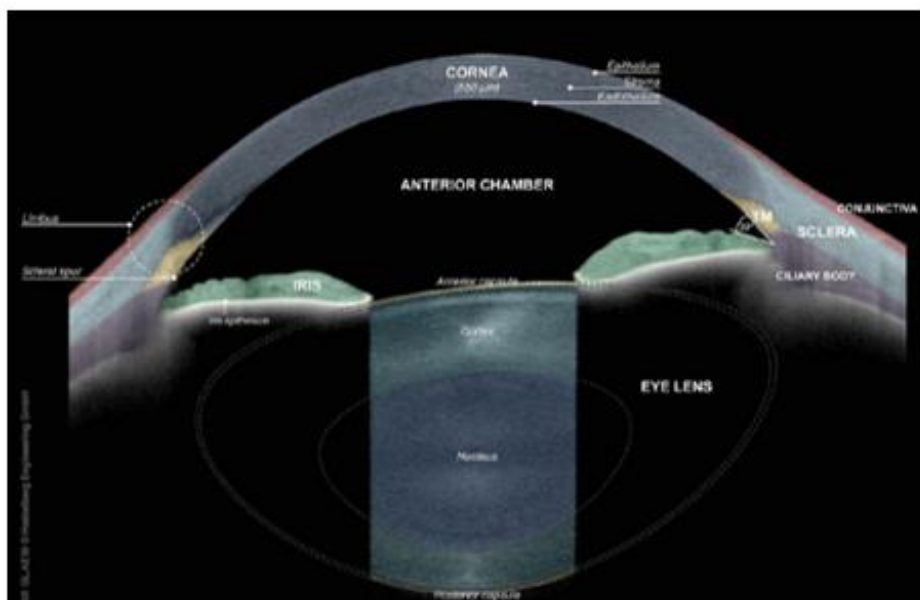
D

Obrázek 4.5: Grading hodnocení iridokorneálního úhlu. A) Grading 0. viditelné struktury úhlu po sklerální ostruhu B) Grading 1. Viditelné struktury úhlu po trabekulární síťovinu C) Grading 2. viditelní pouze Swabeho linie D) Grading 3. nejsou viditelné struktury úhlu [13]

4.4 Optická koherenční tomografie

Optická koherenční tomografie je neinvazivní, bezkontaktní a transpupilární vyšetření. [11; 14; 15]

Hraje primární úlohu v zobrazování a diagnostice sítnice, zrakového nervu a přilehlých tkání, ale zároveň pro vizualizaci celého předního segmentu oka (Obrázek 4.6.). Swept-source OCT vysokou rozlišovací schopností umožnilo jiný pohled na etiologii, vývoj a diagnostiku struktur oka. Kvalitativně se hodnotí tvar struktur a jejich reflektivitu, což umožňuje hodnocení nebo vývoj patologických stavů. Kvantitativně se hodnotí tloušťka, objem a topografie jednotlivých struktur. [3; 11; 14; 16]



Obrázek 4.6: Přední segment oka zobrazený předně-komorovým OCT. [17]

Přístroj se skládá z optiky, videokamery, swept-source interferometru a monitoru. Samotná optika přístroje je tvořena zdrojem infračerveného záření, štěrbinové lampy s čočkou o optické mohutnosti 78 D. Zdrojem IR je superluminiscentní dioda. Pracuje s rozdílnou reflektivitou jednotlivých tkáňových struktur, s rozdílně nastavitelným škálováním. Konvenčně se zobrazí hyperreflektivní tkáně v odstínech šedi na černém pozadí. [3; 8; 9; 14]

Principem je nízkokoherentní interferometrie. K interferenci dochází, když je rozdíl optických drah interferujících paprsků menší než koherentní délka. K zobrazení tkání pomocí OCT dochází podobně jako u ultrazvukového vyšetření, kdy se vlny odrážejí od tkáňových struktur, odražené vlny se analyzují a podle jejich zpoždění se měří hloubka

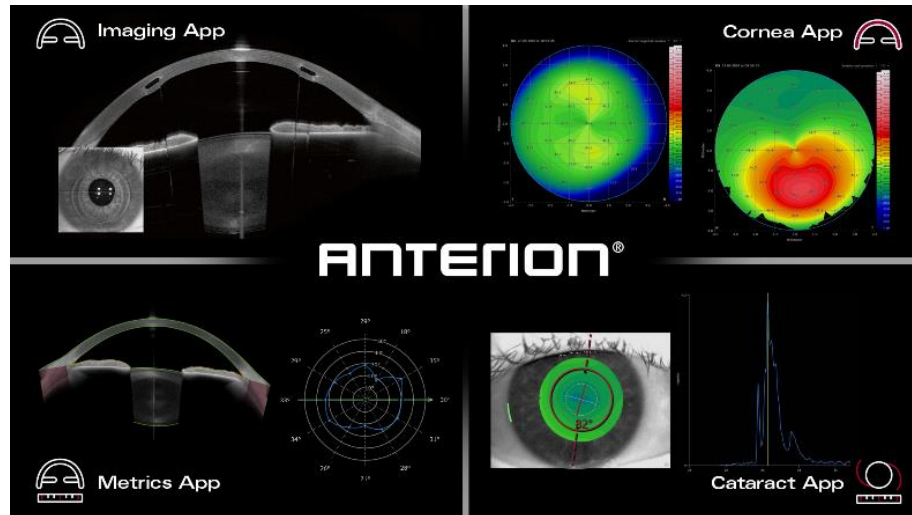
tkáně, od které se odrazily. Čím delší bude vlnová délka, tím se světlo dostane do větší hloubky. Proto místo ultrazvukového vlnění OCT využívá infračervené záření (IR) o vlnové délce kolem 820 nm, které je mnohem rychlejší. Zpoždění paprsku se měří nepřímo prostřednictvím interferometru. Oproti klasickému ultrazvukovému vyšetření, které má rozlišení na hranici 150 mikrometrů, má OCT míru rozlišení 10 mikrometrů. Mezi základní vlastnosti OCT patří nezávislost podélného a příčného rozlišení, u axiálního rozlišení je definován světelným zdrojem a je tedy omezený šířkou pásma dopadajícího světla. Díky axiálnímu rozlišení dosahuje rozlišení konfokální mikroskopii. [2; 3; 9; 11; 14; 15; 20]

OCT funguje na principu Michelsonova interferometru, který společně s proměnnou vlnovou délkou snímá časové rozdíly paprsku odraženého od jednotlivých vrstev tkáně. Měřením fázového posunu mezi paprskovými svazky je na základně konstruktivní nebo destruktivní interference získán signál v podobě A-scanu, z jejichž soustavy je vytvořen obrázek v podobě B-scanu. [2; 3; 9; 11; 14; 15]

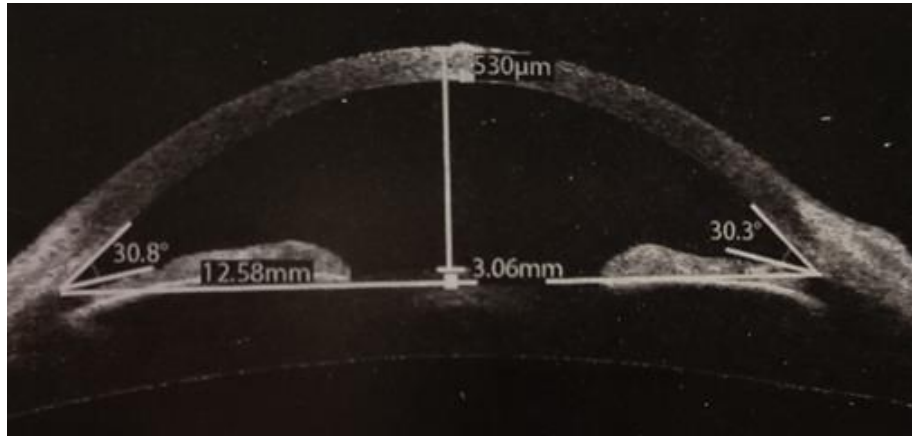
Předně-komorové OCT (AS – OCT) dostalo povolení pro využití k vyšetření pacientů od amerického úřadu pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) v roce 2005. Předně-komorového OCT umožňuje vizualizaci a hodnocení slzného filmu, rohovky, spojivky, skléry, strukturu iridokorneálního úhlu, čočky a přímých svalů oka. Avšak vlnové délky konvenčního OCT, které se pohybují kolem 820 nm v oblasti iridokorneálního úhlu vykazují velký rozptyl. Vznikla potřeba využít vyšších vlnových délek kolem 1050-1300 nm. Tato vlnová délka proniká hluboko do skléry a spojivky a je vhodná na zobrazení předního segmentu. Není však vhodná pro zobrazování sítnice, protože je silně absorbována ve sklivci. Pro vysoké rozlišení předních i zadních struktur se využívá technologii Swept-source (SS-OCT), s vlnovou délkou 1050 nm. Tato technika nám umožňuje vysoce kontrastní snímky celé přední komory až po zadní pouzdro čočky. Přední komora je detekována videokamerou a obraz se poté generuje pomocí pozorovacího mikroskopu. OCT využívá skenovací zrcadlo v xy osách k umístění měřícího paprsku. Paprsek je poté zaostřen čočkou do obrazové roviny. Takto poté OCT skenuje vybrané struktury v přední komoře a generuje průřezové scany v reálném čase. [9; 12; 15; 18]

Některá předně-komorové OCT, která mají kombinaci dlouhovlnového světelného zdroje a technologii SS-OCT může kombinovat topografii rohovky, tomografii (Obrázek 4.7.), zobrazení průřezu přední komory oka. U předně-komorového OCT existují dva typy. První typ dokáže zobrazit celý přední segment na jednom snímku (Obrázek 4.8.).

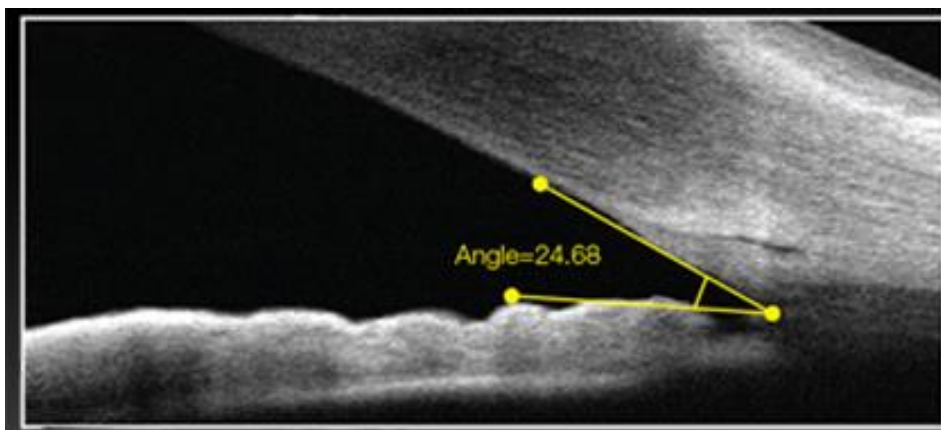
Do této kategorie spadají přístroje od firmy Heidelberg Engineering. Druhý typ zobrazuje jen část předního segmentu. OCT Avanti využívány v následující praktické části umí vytvořit pouze 6 mm výřez předního segmentu (Obrázek 4.9.). [1; 9; 15; 19]



Obrázek 4.7: Předně-komorové OCT vyšetření pomocí topografického škálování [19]



Obrázek 4.8: Zobrazení přední komory s fyziologickými parametry struktur pomocí předně-komorového OCT [9]



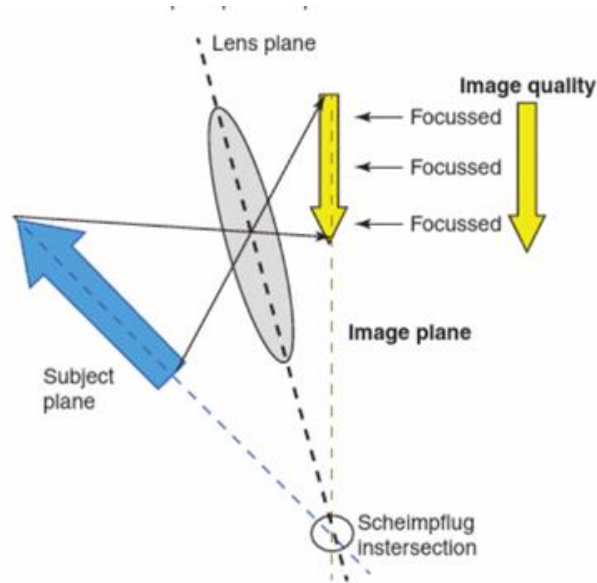
Obrázek 4.9: Předně komorové OCT Avanti. [vlastní snímek]

Nevýhoda využití reflektivity tkání je v případě, když nemáme zcela transparentní optická media, kterými záření prochází. Pokud je více zakalená oční čočka nebo při dystrofii a edémech rohovky nebo pokud je více hustých sklivcových zákalků. Další nevýhodou může být spolupráce samotného pacienta, nebo špatná kvalita slzného filmu.

Výhodou je, že pomáhá vizualizovat a dokumentovat dynamiku iridokorneálního úhlu a tím diagnostikovat glaukomová onemocnění, srovnatelně jako gonioskopie, s výhodou, že se jedná o bezkontaktní metodu. Vyšetření předně-komorového OCT není zapotřebí oproti gonioskopii na štěrbinové lampě trénink pacienta. [1; 9; 15; 16; 19]

4.5 Scheimpflugova kamera

Scheimpflugova kamera umožňuje podrobné vyšetření od povrchu rohovky, až po zadní plochu čočky. Principem je geometrické pravidlo, které umožňuje zvýšenou hloubku ostrosti, aniž by byl obraz zkreslený a snímky jsou dobře zaostřené. To je dáno postavením roviny objektu, čočky a obrazu. Tyto roviny nejsou rovnoběžné, ale svírají spolu ostrý úhel a protínají se v jednom společném bodě (Obrázek 4.10.). Pokud by byla rovina čočky a obrazu rovnoběžná, jednalo by se o ideální stav, ve kterém je objekt v rovině obrazu zcela zaostřený. Obraz je poté zachycen rotačními kamerami, které se otáčejí od sebe o 180° , a tím se získávají dva snímky – každý o 90° otočený. Zdroj světla poté rotuje okolo kamery a osvětluje přední komoru a rohovku z různých meridiánů. Zaměření přístroje je na střed rohovky, je zobrazen několikrát, čímž zpřesňuje informace o středu rohovky. [22; 23; 24]



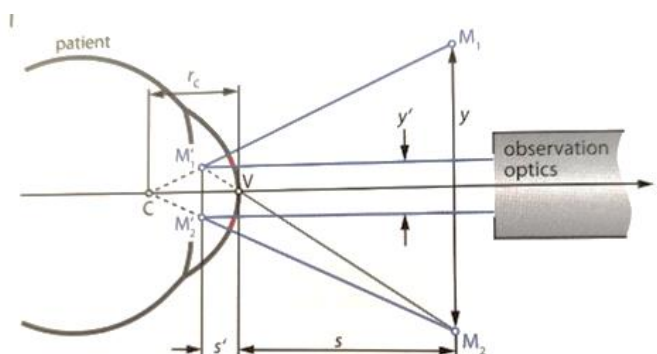
Obrázek 4.10: Scheimflugův princip s dosažením celkového zaostření [22]

Principu Scheimpflugovy kamery využívá přístroj Pentacam. Pomocí systému kamer, je tvořen jednou otočnou Scheimpflugovou kamerou a druhou kamerou pevnou (ta zajišťuje fixaci pacienta), lze sestavit obraz předního segmentu oka. Během dvou sekund je poskytnuto dvanáct až padesát snímků předního segmentu oka, z nichž počítač vytvoří trojrozměrný obraz předního segmentu v rozsahu 360°. Využívá se osvětlení štěrbinou a vše zaznamenává CCD kamera. Pro detekci okrajů rohovky (jejího epitelu a endotelu), které mají sníženou transparentnost, je součástí Pentacamu matematický software. Pentacam měří celkovou refrakční sílu rohovky, pachymetrii, průměr, topografii přední i zadní plochy rohovky, tomografii předního segmentu oka a celkovou 3D analýzu přední komory. Tam patří iridokorneální úhel, výška přední komory, hloubka a objem přední komory. Pentacam je využíván v refrakční chirurgii i v oblasti glaukomatologie, kde je nejdůležitější hodnocení pachymetrie a zhodnocení především iridokorneálního úhlu. Lze zde vytvořit a zobrazit mapu s barevným škálováním, ukazující tloušťku rohovky v kterémkoliv bodě. Výhodou této vyšetřovací metody je, že lze změřit velikost iridokorneálního úhlu a hloubku přední komory. Zatímco gonioskopie je spíše objektivní metodou a dává přibližná data. Je zde nevýhoda ohledně detekce iridokorneálního úhlu přes okraj rohovky. Ten je méně transparentní, a tak může dávat nižší hodnoty velikosti úhlu. [3; 20; 24; 25; 26; 27]

5 Biometrie oka

Biometr oka je využíván pro zjišťování fyziologických parametrů oka, kterými jsou axiální délka oka (AL), tloušťka rohovky (CCT), keratometrii a topografii, průměr rohovky (WtW), pupilometrie (PD), hloubka přední komory (AD) a tloušťka čočky (LT). Biometrie je využívána hlavně pro správné stanovení optické mohutnosti nitrooční čočky po operaci katarakty. [2; 28; 29; 30]

Keratometrie v rámci biometru stanovuje zakřivení rohovky. Fyziologické zakřivení rohovky je 7,4 – 8,4 mm. Keratometrie funguje na zjednodušeném předpokladu, že rohovka je sférická s indexem lomu 1,3375. Principem je zaznamenání velikosti odraženého bodu od povrchu rohovky (Obrázek 5.1.). Výslednou hodnotu ovlivňuje volba indexu lomu rohovky. Poloměr zakřivení rohovky lze vypočítat ze známé velikosti předmětu a vzdálenosti od obrazu k objektu. Využívá se optického zdvojení, u kterého je zapotřebí zarovnat obrazy reflektující se od rohovky. Vzdálenost obrazů měříme pomocí pozorovacího systému keratometru. [1; 9; 10]



Obrázek 5.1: Znárodnění principu keratometry [9]

Měření axiální délky oka patří mezi nejčastější vyšetření v oftalmologii. Jedná se o vzdálenost mezi vrcholem rohovky a foveou centralis neboli nejostřejším místem na sítnici, kde tyto dva body protíná osa vidění. Fyziologická délka emetropického oka dosahuje 24 mm. Pokud je oko delší, jedná se o myopické oko, naopak u kratšího se jedná o oko hypermetropické. Ne vždy to ale platí. Může dojít k tomu, pokud je oko kratší, ale má větší lomivost očních medií může se jednat o oko emetropické. Nebo naopak, pokud bude oko příliš velké ale bude malá lomivost očních medií také se může jednat o oko emetropické. [28; 30]

Měření axiálních biometrických parametrů oka lze kategorizovat na optickou a ultrazvukovou techniku. V praktické části budeme využívat Biometr Lenstar LS900

(Obrázek 5.2.). Optické biometry využívají laserové optické záření fungující na principu Michelsonova interferometru čili parciální koherentní interference za využití infračervené oblasti světla. Termín koherence je fyzikální vlastnost dvou vlnoploch majících dočasně konstantní nebo pravidelně se měnící fázový posun v každém bodě v prostoru. Měření optickou metodou probíhá na rozdíl od ultrazvukové metody podél osy vidění při fixaci oka na určený světelný bod a nedochází ke kontaktu sondy s okem. [2; 28; 30]



Obrázek 5.2: Optický biometr Lenstar LS900 [31]

Ultrazvuková biometrie funguje na principu vzniku volných elektrických nábojů, u kterých dochází po přivedení na povrch k mechanické deformaci. V oftalmologii se využívá ultrazvuk o frekvenci 8 až 20 MHz. V prostředí se ultrazvuk chová jako mechanické kmity částic. Na oku existuje pět rozhraní definovaných ultrazvukem, tj. rohovka s komorovou vodou, komorová voda s čočkou, čočka se sklivcem, sklivec se sítnicí a bělima s retrobulbární tkání. Od jednotlivých tkáňových rozhraní se odráží různé impulzy jako vertikální odchylky. Tyto odchylky nazýváme echa. Ultrazvukový biometr má možnost využít pachymetrickou sondu, takže se někdy využívá místo pachymetru pro zjištění tloušťky rohovky. Existují dvě metody měření ultrazvukovou biometrií, kontaktní a imerzní. Při vyšetření kontaktní metodou se sonda pokládá přímo na oko, které je nutné znecitlivit (Obrázek 5.3.). Imerzní metoda využívá speciální předsádky, které v sobě vlastní syntetický gel (Obrázek 5.4.). Ultrazvukovou biometrií vyšetřuje pacienty, u kterých neprojde přes optická media laserové záření. Jedná se o pacienty s pokročilou kataraktou. [2; 3; 28; 30]



Obrázek 5.3: Kontaktní metoda ultrazvukové biometrie [30]



Obrázek 5.4: Imerzní metoda ultrazvukové biometrie [30]

6 Experimentální část

Experimentální část byla věnována realizaci vyšetření iridokorneálního úhlu (D-RÚ) na relevantním množství pacientů, a to za využití přístrojové diagnostiky s rozdílným fyzikálním principem: Scheimpflugova kamera (polo-automatizované měření a vyhodnocení D-RÚ) v porovnání se snímky z Optické koherenční tomografie s předně-segmentovým modulem (manuální měření a vyhodnocení D-RÚ). Jednotlivé cíle byly rozděleny na tři úlohy:

- porovnání naměřených dat z obou přístrojů a vyhodnocení rozdílných výsledků těchto měření
- komparace nasálního úhlu s úhlem temporálním
- určení potenciální míry závislosti měřeného parametru na biometrických datech, respektive určení prediktability D-RÚ

6.1 Metodika

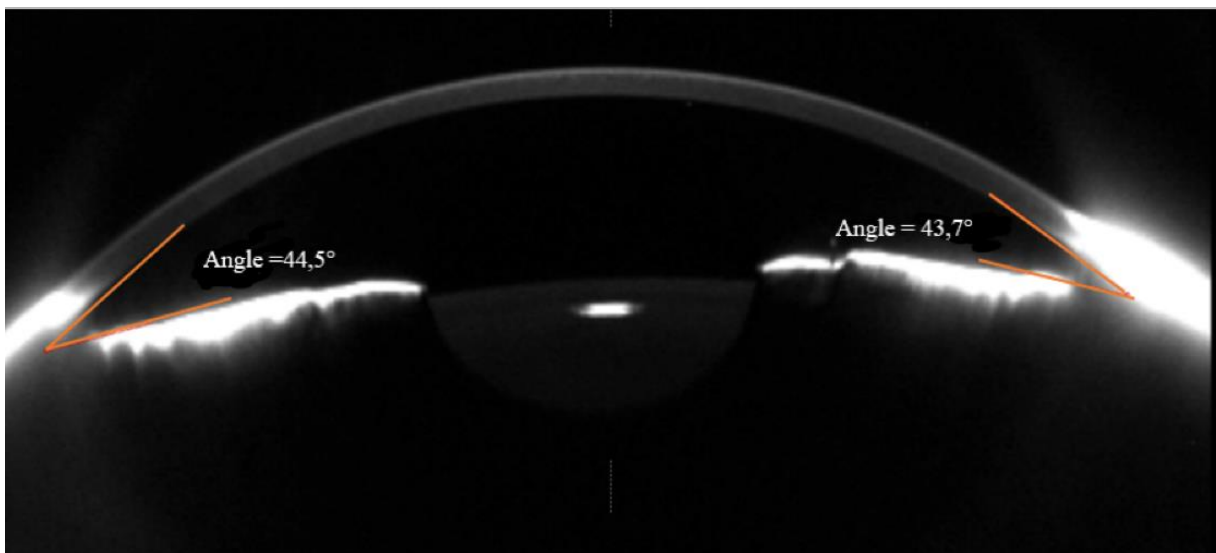
Měření se zúčastnilo 61 probandů z toho 52 žen a 9 mužů, kteří byli vybráni náhodně ve věku od 21 do 53 let. Průměrné hodnoty se směrodatnou odchylkou a mediánem pro iridokorneální úhel nasální (D-RÚ N) a temporální (D-RÚ T), tloušťku rohovky (CCT), hloubku přední komory (ACD), tloušťku oční čočky (LT), axiální délku oka (AL), keratometrie ve strmém (K1) a kolmém meridiánu (K2) rohovky, průměr limbu rohovky (WtW) a šířka zornice (PD) jsou uvedené v následující tabulce (Tabulka 6.1). Všichni splňovali inkluzivní kritéria, tedy fyziologický nález bez relevantních očních a neurologických onemocnění ovlivňujících výsledek měření.

Vyšetření probíhalo od února do dubna roku 2023 na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně a na Oční klinice JL, V Hůrkách 1296 v Praze. Měření byla provedena autorkou bakalářské práce Nicolou Šefrnovou pod odborným dohledem vedoucího práce Ing. Martina Fůse na uvedených přístrojích.

Tabulka 6.1: Průměrné hodnoty, směrodatné odchylky a medián naměřených hodnot. [vlastní zpracování]

	Průměr ϕ	Směrodatná odchylka σ	Medián
Temporální D-RÚ [°]	43,10	$\pm 6,38$	42,62
Nasální D-RÚ [°]	39,96	$\pm 6,47$	39,40
CCT [μm]	556,25	$\pm 42,67$	553,00
ACD [mm]	3,51	$\pm 0,37$	3,51
LT [mm]	3,62	$\pm 0,39$	3,61
AL [mm]	23,67	$\pm 1,19$	23,55
K1 [D]	43,09	$\pm 1,46$	43,25
K2 [D]	44,12	$\pm 1,83$	44,36
WtW [mm]	12,08	$\pm 0,42$	12,10
PD [mm]	5,67	$\pm 1,02$	5,70

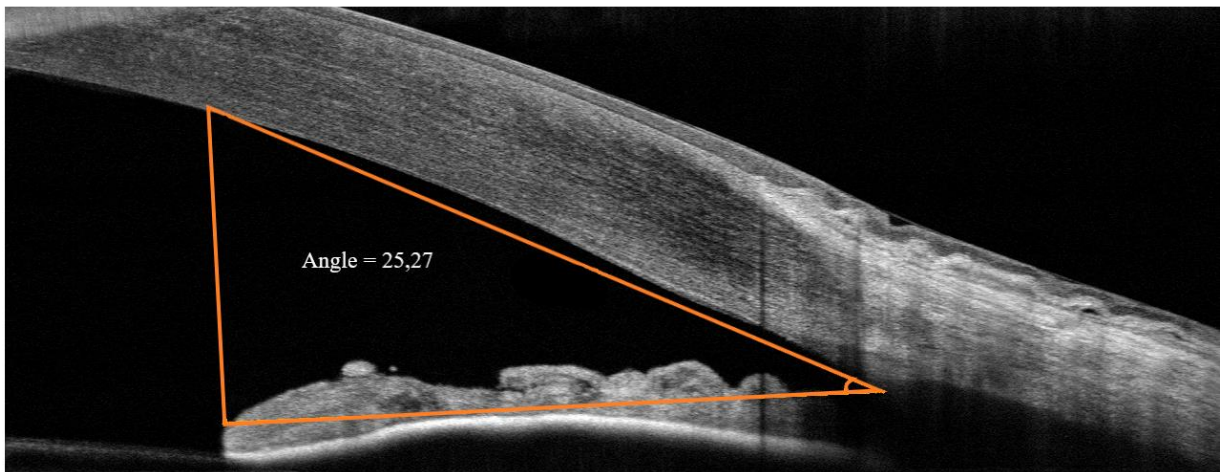
První sada vyšetření probíhala na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně, kde byl použit přístroj Pentacam Oculus 70700 24 V DC 2.1. Při posazení probanda k přístroji byla vyšetřovací jednotka přesně nastavena vůči pozorovanému oku. K úplnému zaostření docházelo při zobrazení prvního Purkyňova obrázku. Pro snímání bylo využito 25 snímků v jednotlivých řezech. Měření D-RÚ probíhala ve vybraném horizontálním řezu předním segmentem. Všechny využité parametry byly změřeny automaticky a bez možnosti je manuálně upravit (obrázek 6.1). Pentacam byl také využit pro získání hodnoty sagitty rohovky, jakožto potenciálního faktoru ovlivňujícího velikost D-RÚ. Sagitta byla konvenčně hodnocena v 10mm zóně od apexu rohovky, protože automatické vyhodnocení probíhalo pouze v nejstrmějším a nejplošším meridiánu. Hodnota byla aproximována přepočtem do horizontální roviny s předpokladem lineárního trendu sagitty.



Obrázek 6.1: Ukázkové foto automatického změření D-RÚ [vlastní snímek]

Každý proband podstoupil i druhou sadu měření, která probíhala na Oční klinice JL, V Hůrkách 1296 v Praze. Zde probíhalo vyšetření na Optovue RTVue XR Avanti OCT s přídatným předně-segmentovým modulem. I toto měření bylo zcela bezkontaktní a probíhalo v horizontálním směru, stejně jako na Pentacamu. Po usazení probanda bylo využito dvojice infra-červených diod pro lepší orientaci vyšetřujícího a zvýšení kontrastu výsledných snímků. Proband sledoval modrou fixační značku v červeném poli, čímž bylo zajištěno nastavení měřící hlavy přístroje v ose vidění následované zaostřením na první Purkyňův obrázek, jakožto apex rohovky. Po zaostření byla měřící jednotka pro vytvoření tomografického řezu přesunuta v horizontální rovině do oblasti temporálního a následně i do nasálního segmentu přední komory oka. Vizualizace temporálního a následně

nasálního D-RÚ byla podmíněna adekvátním indexem spolehlivosti měření (dostatečnou ostrost v oblasti úhlu a standardní šíří skenu 6 mm). Manuální měření probíhalo pomocí softwaru, který byl součástí přístroje. Všechny úhly byly definovány spojnicí dvou přímek. Spodní přímka směřovala od spojnice rohovky s duhovkou (aproximující kořen duhovky) až k rozhraní duhovky s oční čočkou. Horní přímka vycházela ze stejného bodu, vedla podél endotelové vrstvy rohovky až do bodu, kde se spodní přímkou tvoří pravoúhlý trojúhelník (obrázek 6.2).



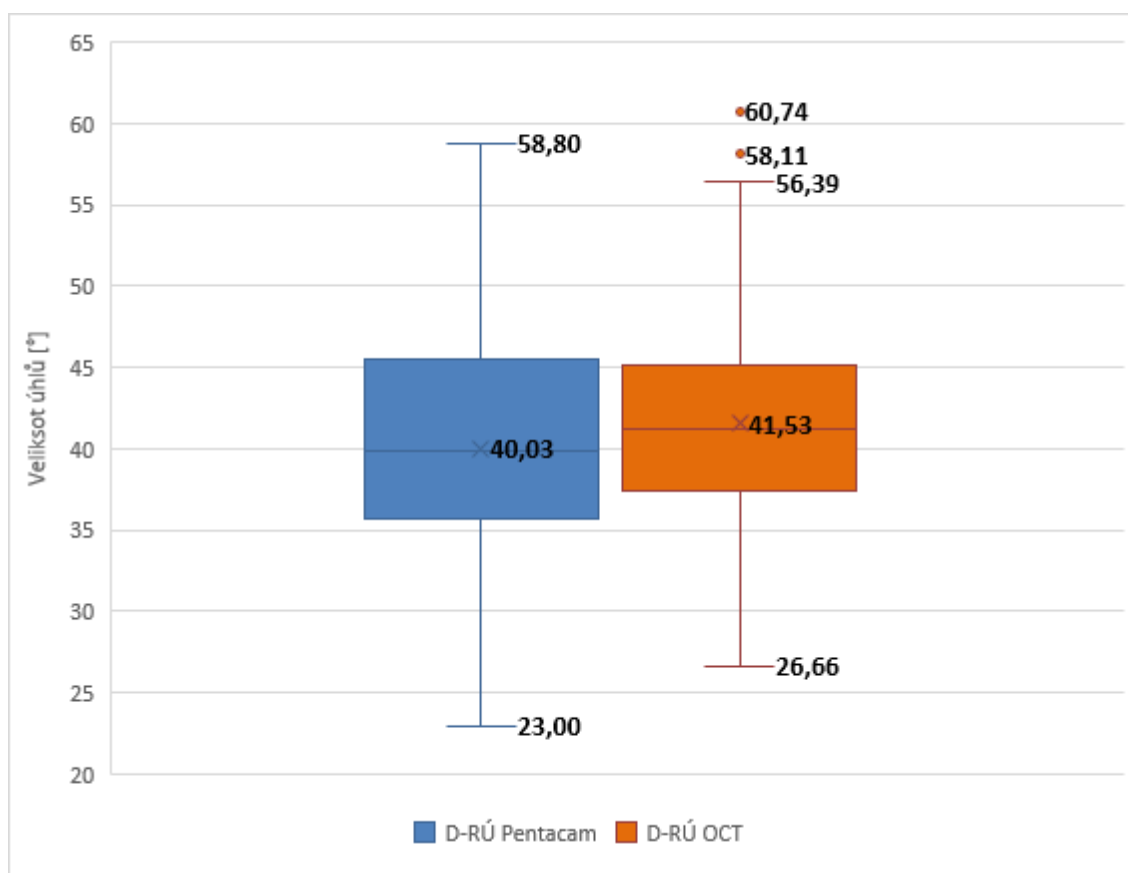
Obrázek 6.2: Ukázkový snímek manuálního měření Iridokorneálního úhlu.[vlastní snímek]

Přístrojem Lenstar 900 byly vyšetřeny biometrické parametry oka. Pro měření ve vizuální ose musel proband hledět do červeného fixačního světla a omezil mrkání. Pomocí Swept-source interferometrie byly změřeny axiální parametry oka. Keratometrie byla spočítána z polohy 32 reflektovaných značek, výsledná hodnota byla definována průměrem z celkem 12ti měření. Průměr rohovky, tedy hodnota WtW, odpovídala průměru ideálního kruhu stejně jako průměr zornice. Pro práci byly využity hodnoty: axiální délky oka, hloubka přední komory, keratometrie přední plochy rohovky, průměr i tloušťka rohovky a šířka zornice.

6.2 Výsledky

Kapitola výsledky byla rozdělena do tří částí. Všechny naměřené vstupní hodnoty jsou uvedeny v příloze A.

První část se věnovala realizaci vyšetření iridokorneálního úhlu (D-RÚ) a komparace naměřených dat z obou přístrojů. Graf (obrázek 6.3) ukazuje nejvyšší, nejnižší a průměrnou hodnotu velikosti úhlů (uvažujeme průměr nasálnímu a temporálnímu úhlu jednoho oka) a odlehlé body na zmiňovaných přístrojích.



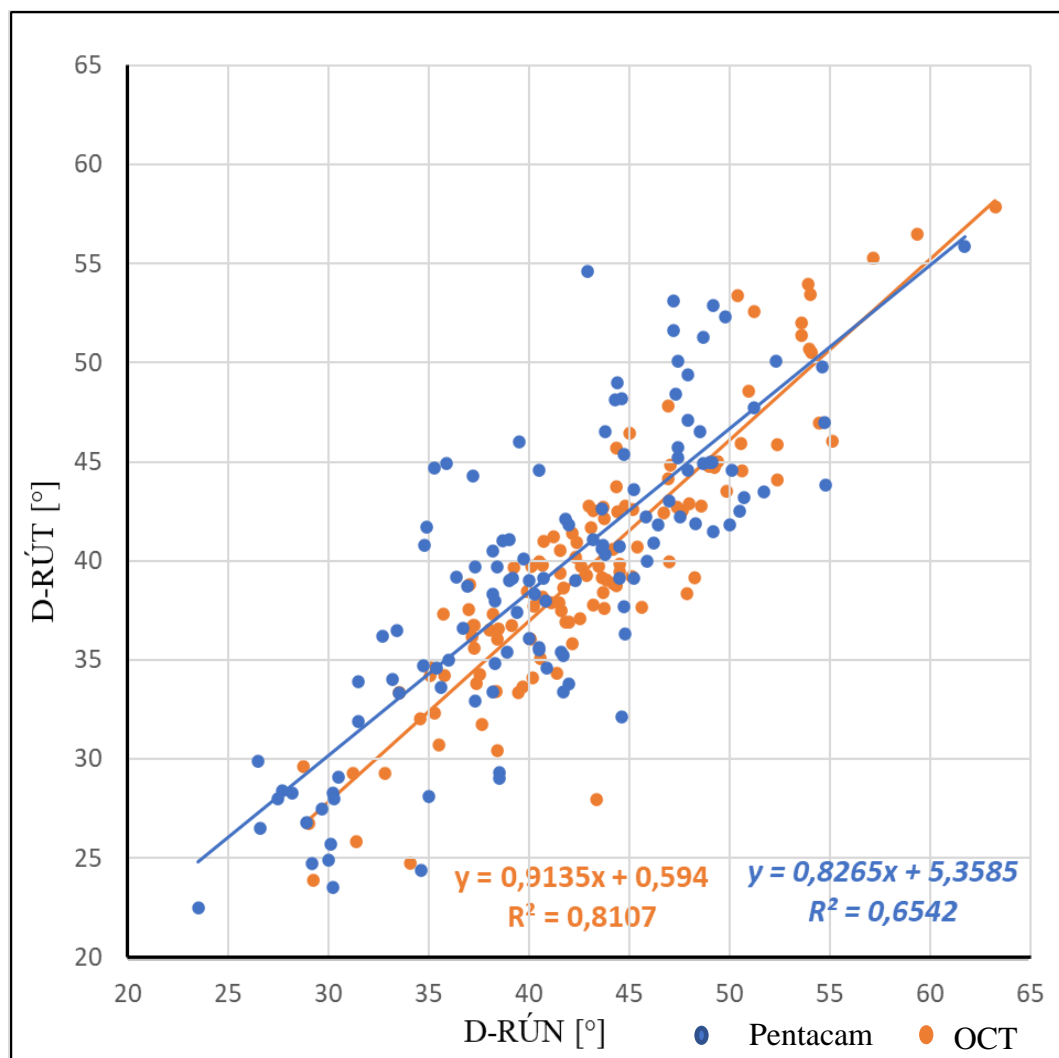
Obrázek 6.3: Grafické znázornění četnosti D-RÚ na jednotlivých přístrojích [vlastní zpracování]

Pro statistické vyhodnocení byl využit dvouvýběrový T-test se shodností rozptylů. Hladina spolehlivosti byla nastavena na $\alpha=0,05$. Vycházelo se z předpokladu, že metoda měření manuálním předně-komorovým OCT bude stejná pro hodnocení D-RÚ jako měření polo-automatizovanou Scheimpfugovou kamerou. Na 5 % hladině spolehlivosti vyšla hodnota $P = 0,079$. Jelikož je $P > \alpha$ nemohu toto tvrzení zamítnout.

Druhá část se věnovala komparaci velikosti nasálního a temporálního úhlu. Domněnkou bylo tvrzení, že nasální úhel bude stejný jako temporální. Porovnání bylo provedeno prostřednictvím grafického znázornění naměřených hodnot z přístroje Pentacam a OCT a pomocí statistického dvouvýběrového T-testu.

Následující graf (obrázek 6.4) vystihuje rozdíl nasálního a temporálního úhlu. Modrou barvou jsou vyznačené naměřené úhly na přístroji Pentacam a oranžovou barvou jsou vyznačené naměřené úhly Optickou koherenční tomografií.

Proložení lineární přímkou při statistickém vyhodnocení jsou zřejmé odchylky měřených úhlů.



Obrázek 6.4: Graf závislosti nasálního iridokorneálního úhlu na temporálním naměřených na Pentacamu a na OCT [vlastní zpracování]

Z grafu (obrázek 6.4) byly vyjádřené lineární rovnice a hodnoty její spolehlivosti z Pentacamu a z OCT, kdy hodnota y vyjadřuje temporální iridokorneální úhel a hodnota x vyjadřuje nasální iridokorneální úhel.

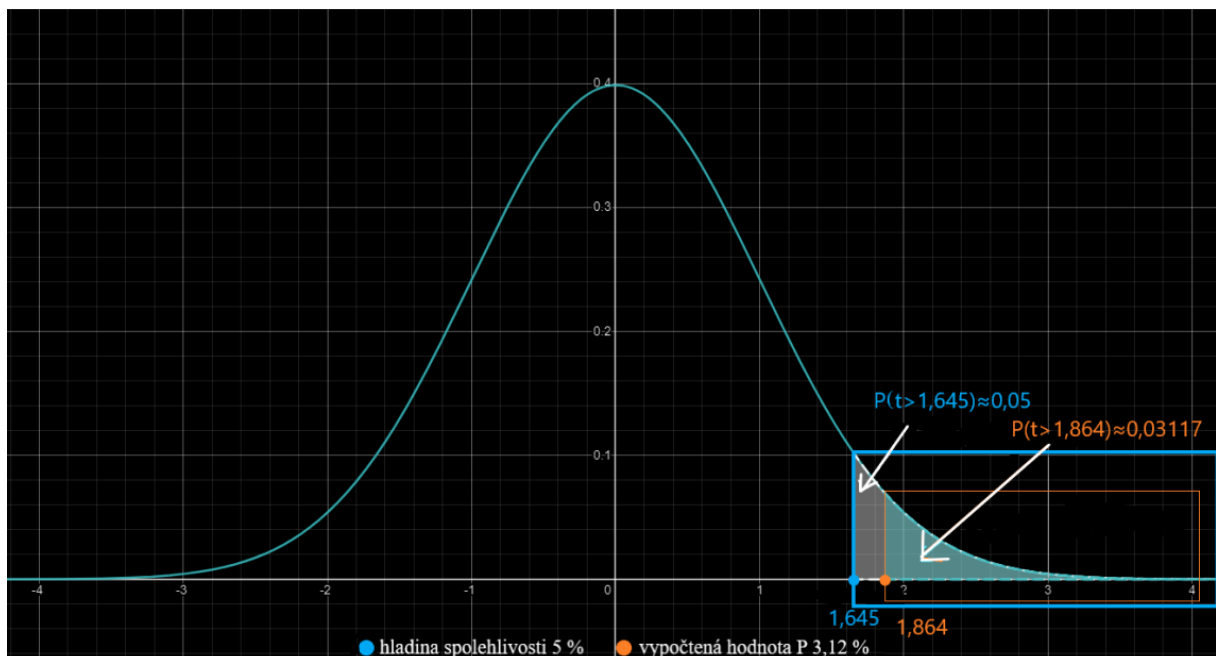
Předpokládaným výsledkem byla shodnost obou úhlů, respektive lineární závislost s pozitivní korelací. Vyšší míra koeficientu spolehlivosti dosahující hodnoty 0,8107 vyplynula z manuálního vyšetření na přístroji OCT. Větší rozdíly naměřených úhlů vycházely z polo-automatizovaného měření Pentacamem s mírou koeficientu spolehlivosti 0,6542.

Pomocí statistického T-testu se shodnými rozptyly bylo tvrzení druhé části vyvráceno. Byl využit jednostranný test s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Pro tento test byla stanovena nulová a alternativní hypotéza:

$$H_0: D-RÚ T = D-RÚ N$$

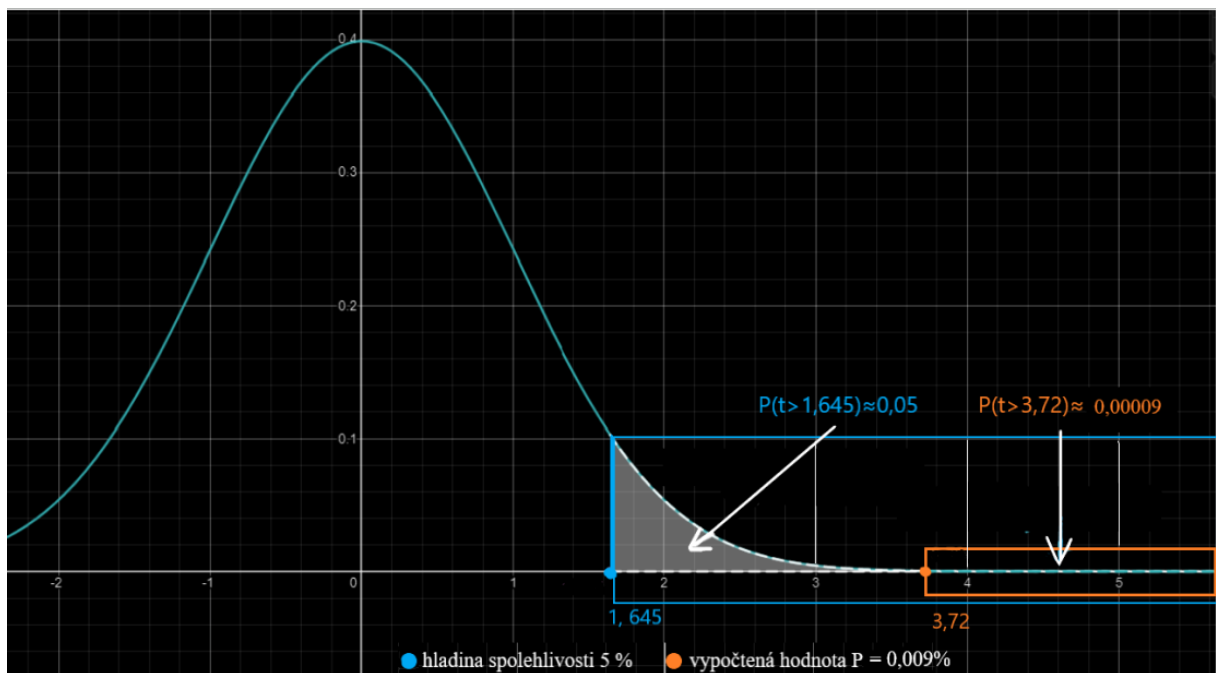
$$H_1: D-RÚ T > D-RÚ N$$

Na Pentacamu po dosazení hodnot do vzorce vychází hodnota $t = 1,8725$. Na základě této hodnoty byla stanovena hladina spolehlivosti $P = 0,0311$. Jelikož vychází $P < \alpha$ nulová hypotéza se zamítla a v platnost vychází hypotéza alternativní. Tento test je signifikantní a je pouze 3 % šance, že bude zamítnut. Na obrázku 6.5 je grafické znázornění tohoto testu.



Obrázek 6.5: Grafické znázornění zamítnutí nulové hypotézy (protože $P < \alpha$) pomocí jednostranného T-testu naměřených dat na Pentacamu [vlastní zpracování]

Pro výsledky z přístroje OCT byl tento test provedený stejným způsobem. Po dosažení naměřených hodnot z OCT do vzorce vychází hodnota $t = 3,7936$. Na základě této hodnoty byla stanovena hladina spolehlivosti $P=0,0000938$ z tohoto vychází $P < \alpha$. Tento test vychází tedy výrazně signifikantní s 0,009 % šancí, že bude zamítnut. I u těchto hodnot zamítám nulovou hypotézu, že se průměry rovnají a přijímám alternativní hypotézu, že temporální úhel je větší než nasální. Toto lze vyčíst i z následujícího grafického vyjádření (obrázek 6.6)



Obrázek 6.6: Grafické znázornění zamítnutí nulové hypotézy (protože $P < \alpha$) pomocí jednostranného T-testu naměřených dat na předně-segmentovém OCT [vlastní zpracování]

Z výsledků je tedy zřejmé, že se nasální úhel od temporálního výrazně statisticky liší a že menší je nasální úhel.

Cílem třetí části bylo zjistit potenciální závislosti biometrických parametrů oka na velikosti iridokorneálního úhlu. A spolu s tím vytvořit rovnici odhadu velikosti D-RÚ dle biometrie.

Z přístrojového měření na Pentacamu a OCT byly využity průměrné hodnoty úhlů spojením nasálního a temporálního úhlu v rámci jednoho oka. Z Biometru byly získané fyziologické parametry oka, jako CCT, ACD, LT, AL, K1, K2, WtW a PD. Pro statistické vyhodnocení korelace dat byla využita funkce PEARSON v Excelu.

V následující tabulce (tabulka 6.2) je aplikovaná tato závislost v koeficientech. První řádek pojednává o souvislosti parametrů oka naměřených na biometru a průměrné velikosti úhlů naměřené na Pentacamu. V druhém řádku je souvislost biometrických parametrů oka na průměrné velikosti úhlů naměřených na OCT.

Tabulka 6.2: Porovnání uvedených biometrických parametrů oka na průměrné velikosti iridokorneálního úhlu [vlastní]

	Sagitta T [°]	Sagitta N [°]	CCT [μm]	ACD [mm]	LT [mm]	AL [mm]	K1[D]	K2 [D]	WtW [mm]	PD [mm]
D-RÚ Pentacam	0,06	0,00	0,05	0,72	-0,51	0,44	-0,10	-0,08	0,36	0,08
D-RÚ OCT	0,08	0,05	0,14	0,79	-0,40	0,47	-0,02	-0,09	0,39	0,50

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že je velmi silná pozitivní korelace pro ACD (Pentacam $r=0,72$; OCT $r=0,79$), střední pozitivní korelace pro AL (Pentacam $r = 0,44$; OCT $r = 0,47$), WtW (Pentacam $r = 0,36$; OCT $r = 0,39$) a PD (Pentacam $r = 0,08$; OCT $r = 0,50$). Střední negativní korelace pro LT (Pentacam $r = -0,51$; OCT $r = -0,40$). Nevýznamný vliv na velikosti iridokorneálního úhlu, tedy slabá korelace vychází pro sagittu rohovky, CCT, K1 a K2.

K vytvoření rovnice [1] pro výpočet odhadu velikosti úhlů dle biometrie byla využita lineární regresivní analýza (statistická funkce REGRESE v Excelu). Využily se průměrné velikosti úhlu jednoho oka u každého probanda (z důvodů větší shody nasálního a temporálního D-RÚ byla použita data z OCT), ty byly následně dosazeny jako vstupní hodnoty spolu s biometrickými parametry oka. Díky těmto hodnotám byly stanoveny koeficienty k jednotlivým parametrům a konstantní člen pro korelaci výpočtu.

$$D - R\acute{U}_v = -31,36 + 0,01 * CCT + 13,00 * ACD + 1,13 * LT + 0,26 * AL + 0,59 * K1 - 0,18 * K2 - 1,36 * WtW + 2,05 * PD \quad [1]$$

CCT je v mikrometrech, parametry ACD, LT, AL WtW a PD jsou v milimetrech a keratometrie K1 a K2 jsou v Dioptriích.

V rovnici jsou vyjádřené i jednotlivé korelační závislosti parametrů na úhel. Parametr ACD je vyjádřen v rovnici s nejvyšším koeficientem 13,00. Jednotlivá znaménka nejsou ve shodě s korelačními koeficienty.

Pro znázornění odhadu je zde ukázka vypočítaného úhlu i naměřeného úhlu z naměřených biometrických parametrů u jednoho probanda. Do vzorce byly dosaženy hodnoty: CCT = 515 μ m; ACD = 3,30 mm; LT = 3,80 mm; AL = 22,09 mm; K1 = 44,51 D; K2 = 45,22 D; WtW = 12,23 mm; PD = 6,70 mm.

$$D - R\acute{U}_N = 39,58^\circ$$

$$D - R\acute{U}_V = 40,81^\circ$$

Veličina $D-R\acute{U}_N$ znázorňuje iridokorneální úhel naměřený na předně-segmentovém OCT a veličina $D-R\acute{U}_V$ vyjadřuje vypočítanou hodnotu pomocí vzorce.

Pro zhodnocení, zda se může rovnice využít v praxi byl vypočítán koeficient spolehlivosti $R = 0,8$; průměrný rozdíl $2,43^\circ$ a medián rozdílu $1,87^\circ$ následně i chybovost odhadu, kde záporných chyb bylo 50,82 % a kladných chyb 49,18 % ze všech naměřených očí. Počet záporných a kladných chyb odhadu je téměř shodný a je nejednoznačné, zda odhad udává vyšší nebo nižší hodnoty úhlu, než byly hodnoty reálně naměřené.

Pro úplnost, zda se dá nebo nedá využít tento vzorec v praxi, byl aplikován statistický dvouvýběrový T-test s nerovností rozptylů s $\alpha = 0,05$. Byla stanovena nulová a alternativní hypotéza:

$$H_0: D-R\acute{U}_N = D-R\acute{U}_V$$

$$H_1: D-R\acute{U}_N \neq D-R\acute{U}_V$$

Na 5 % hladině spolehlivosti vyšlo $P=1$. Jelikož $P > \alpha$, nulovou hypotézu nelze zamítnout a velikosti naměřených a vypočtených úhlů vyšly statisticky shodné.

7 Diskuse

Prvotní myšlenkou a cílem pro vypracování experimentální části byla komparace výsledků měření velikosti iridokorneálního úhlu pomocí přístrojové diagnostiky s rozdílnými fyzikálními principy: Scheimpflugovy kamery a Optické koherenční tomografie s předně-segmentovým modulem. Prostřednictvím statistického vyhodnocení na hladině spolehlivosti 5 % nelze zamítnout tvrzení o rovnosti těchto dvou technik. Toto tvrzení bylo zamítnuto v článku z roku 2010 s názvem Měření tloušťky rohovky, objem a hloubka přední komory pomocí Scheimpflugovy kamery a Optické koherenční tomografie [32]. V tomto experimentu bylo zařazeno vždy jedno oko u 50 osob. Výsledkem byly statistické rozdíly těchto dvou přístrojových diagnostik. I v porovnání s článkem z roku 2017, s názvem Analýza shody mezi Pentacamem a Optickou koherentní tomografií při hodnocení rozevření iridokorneálního úhlu u velké populace zdravých osob [33] se výsledek práce neshoduje. Tento článek také vyvrací, že se naměřené hodnoty na Pentacamu a OCT shodují. Zde se jednalo o měření iridokorneálního úhlu na jednom oku u 989 zdravých osob. Rozdíl ve výsledcích mohl nastat z důvodů různých počtů naměřených očí, různou velikostí zornic při vyšetření (tu nelze zkontrolovat, jelikož se jednalo o dvě různá pracoviště s různou intenzitou osvětlení) nebo ve využití statistického testu.

Druhým cílem bylo zjistit s jakou pravděpodobností je nasální úhel stejně velký jako temporální. Tato hypotéza byla otestována pomocí statistického T-testu na hladině významnosti 5 %. Zde byl cíl druhé části zamítnut. Na uvedené hladině významnosti vyšla statistická odlišnost těchto dvou úhlů. Výsledky této části jsou potvrzené i článkem: [34] Sektorové rozdíly šířky iridokorneálního úhlu a obejmu duhovky u čínských Singapurců: studie optické koherenční tomografie se zameteným zdrojem dat. Oproti této práci, která se zabývá pouze horizontálním směrem v tomto článku studují všechny sektory oka. I když se jednalo o rozdílné etnikum vychází úhly stejně statisticky odlišné. Nejmenší úhly byly vypočtené v nasálním sektoru následně ve spodním poté temporální a jako nejširší úhly v sektoru horním.

Třetím cílem práce bylo porovnání biometrických parametrů oka v závislosti na velikosti iridokorneálního úhlu a současné vytvoření rovnice pro odhad velikosti úhlu dle biometrie. Velmi silná pozitivní korelace pro ACD (Pentacam $r=0,72$; OCT $r=0,79$), střední pozitivní korelace pro AL (Pentacam $r=0,44$; OCT $r=0,47$), WtW (Pentacam

$r=0,36$; OCT $r=0,39$) a PD (Pentacam $r=0,08$; OCT $r=0,50$). Střední negativní korelace pro LT (Pentacam $r=0,51$; OCT $r=0,40$). Díky analýze závislosti iridokorneálního úhlu s dalšími biometrickými parametry oka bylo prokázáno, že uvedené parametry se jeví jako další rizikové faktory pro vznik akutního glaukomového záchvatu. Jsou významné pro včasnou diagnostiku a prevenci výskytu. Jelikož nebyly k této problematice dohledány žádné odborné publikace, jedná se o původní práci s výhledem praktického využití.

Rovnice [1] pro výpočet velikosti úhlů z biometrických parametrů oka je úspěšným experimentem, s koeficientem spolehlivosti $R = 0,8$ a odchylky průměrně $\pm 2,43^\circ$ od skutečně naměřené hodnoty. Pro praktické využití v oftalmologii není rozdíl pár stupňů relevantní. V praxi je důležité vědět, zda se iridokorneální úhel jednotlivého pacienta pohybuje v rozsahu 35° - 45° to znamená úhel je otevřený, nebo zda je úhel pod 20° a tím může snáze dojít k jeho uzávěru. Proto by tato rovnice mohla teoreticky uspět i v praktickém využití.

K případným chybám v měření mohlo dojít nepřesnou instruktáží probandů, chybnou fixací na fixační značku nebo k promrknutí během delšího snímání oka.

Je možné tyto výsledky využít pro další výzkum v oblasti hledání rizikových faktorů pro vznik akutního glaukomového záchvatu. Navázat by mohl výzkum zaměřený na komparaci spolehlivosti měření na předně-segmentovém OCT a digitální nebo manuální Gonioskopii. Je možný další experiment a otestování rovnice na větším množství probandů.

8 Závěr

Začátek práce je věnován teoretickému zpracování problematiky velikosti iridokorneálního úhlu, cirkulaci nitrooční tekutiny a fyziologii celé přední komory oka. Popsána je i patologie, již zmíněných struktur oka a závažné oční onemocnění glaukom. Dále je uvedena teoretická charakteristika přístrojových metod, fungujících na různých fyzikálních principech, které byly následně využity v experimentální části.

V experimentální části byla specifikována skupina probandů pomocí demografických dat. Skupina celkově složená z 61 probandů, z toho 52 žen a 9 mužů. Je definována ve věku od 21 do 53 let. Probandi byli změřeni na různých přístrojích. Pomocí Scheimpflugovy kamery (polo-automatizovaného měření) a Optické koherenční tomografie s předně-segmentovým modulem (manuální měření).

Při porovnání těchto dvou přístrojových diagnostik, měla větší koeficient spolehlivosti 0,81 manuální vyšetření na předně-segmentovém OCT. Ze statistického T-testu nelze zamítnout rovnost těchto dvou přístrojových diagnostik. Následně byly vypočtené průměrné hodnoty nasálního úhlu $39,96^{\circ} \pm 6,47^{\circ}$ a temporálního úhlu $43,1^{\circ} \pm 6,38^{\circ}$ z přístrojového měření na OCT a na Pentacamu byly vypočtené průměrné hodnoty nasálního úhlu $39,17^{\circ} \pm 7,35^{\circ}$ a temporálního $40,9^{\circ} \pm 7,17^{\circ}$.

Druhá část se věnovala komparaci nasálního úhlu s temporálním. Za pomoci statistického jednostranného T-testu vyšly statisticky významně odlišné. S 3 % hladinou spolehlivosti komparace úhlů, naměřených na Pentacamu, byl vyhodnocen nasální úhel menší než temporální. Pomocí Optické koherenční tomografie s hladinou spolehlivosti 0,009 % byl také vyhodnocen nasální úhel menší než temporální.

Závěr experimentální části práce se zabýval porovnáním průměrné hodnoty úhlů s naměřenými biometrickými parametry, naměřených na Biometru. Velmi silná pozitivní korelace byla pro ACD (Pentacam $r=0,72$; OCT $r=0,79$), střední pozitivní korelace pro AL (Pentacam $r=0,44$; OCT $r=0,47$), WtW (Pentacam $r=0,36$; OCT $r=0,39$) a PD (Pentacam $r=0,08$; OCT $r=0,50$). Střední negativní korelace pro LT (Pentacam $r=0,51$; OCT $r=0,40$). Díky analýze závislosti iridokorneálního úhlu s dalšími biometrickými parametry oka bylo prokázáno, že uvedené parametry mají vliv na velikost iridokorneálního úhlu a jeví se jako další rizikové faktory pro vznik akutního glaukomového záchvatu. Nevýznamný vliv na velikost úhlu mají ostatní parametry: sagitta, tloušťka a keratometrie rohovky, které se pohybovaly v rozsahu $r = 0 - 0,14$.

Výstupem regresivní analýzy byla rovnice pro výpočet velikosti úhlu pomocí fyziologických parametrů naměřených na biometru. Jelikož koeficient spolehlivosti vychází $R = 0,8$ a chyba měření kolem $\pm 2,43^\circ$, dá se s touto rovnicí teoreticky počítat i pro praktické použití k predikci šíře iridokorneálního úhlu.

Všechny stanovené cíle práce byly úspěšně splněny adekvátně k jejímu zadání.

Seznam použité literatury

- [1] KUCHYNKA, Pavel. Oční lékařství. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 9788024750798
- [2] DOSHI, Sandip a Bill HARVEY. Assessment and investigative techniques. Great Britain: Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-8853-X
- [3] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9
- [4] Terminology and guidelines for glaucoma: European glaucoma society. 4th edition. Italy: PUldiComm, 2014. ISBN 978-88-98320-05-9
- [5] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. Fyziologie oka a vidění. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [6] AUTRATA, Rudolf. Nauka o zraku. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-701-3362-7
- [7] PIVOŇKOVÁ, Bára a Ondřej VLASÁK. Vliv velikosti zornice na hodnotu subjektivní refrakce. Česká Oční Optika. Praha 1: EXPO DATA spol., 2022, 63(3), 40-41. ISSN 1211-233X
- [8] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu. 2. vyd. Praha: Maxdorf, [2018]. Jessenius. ISBN 978-80-7345-580-4
- [9] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles and clinical applications. Weinheim, Bergstr: Wiley-VCH, 2013. ISBN 978-352-7410-682
- [10] THE VISION CARE INSTITUTE. Základy kontaktologické praxe: Vyšetření zakřivení rohovky [online]. In: Johnson & Johnson s.r.o. 2012, s. 3-4 [cit. 2022-12-21]. Dostupné z:
https://www.jnjvisioncare.cz/sites/default/files/public/cz/tvci/knihovna/knihovna/zakladykontaktologickepraxe_vysetrenizakrivenirohovky.pdf
- [11] KASL, Zdeněk, Jana LÍZROVÁ PREININGEROVÁ a Štěpán RUSŇÁK. Použití optické koherenční tomografie v neurooftalmologické diagnostice. In: Trendy soudobé oftalmologie. 11. vyd. Praha: Galén, 2018, s. 97-111. ISBN 978-80-7492-377-7
- [12] Cutolo CA, Bonzano C, Scotto R, Iester M, Bagnis A, Pizzorno C, Catti C, Traverso CE. Moving beyond the Slit-Lamp Gonioscopy: Challenges and Future Opportunities. Diagnostics. 2021; 11(12):2279.
<https://doi.org/10.3390/diagnostics11122279>

- [13] Shi, Y. et al. (2019). Novel and semiautomated 360-degree gonioscopic anterior chamber angle imaging in under 60 seconds. *Ophthalmology Glaucoma*, 2(4):215–223
- [14] NĚMEC, Pavel. Možnost diagnostiky OCT – opět o stupeň výš. In: *Trendy soudobé oftalmologie*. Svazek 6. Praha: Galén, 2010, s. 15-24. ISBN 978-80-7262-661-8
- [15] ZINSER, Gerhard, BILLE, Josef F., ed. *High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology: New Frontiers in Biomedical Optics*. Springer, 2019. ISBN 978-3-030-16638-0
- [16] NĚMEC, Pavel. Současné možnosti diagnostiky optické koherenční tomografie. In: *Trendy soudobé oftalmologie*. 3.vyd. Praha: Galén, 2006, s. 113-123. ISBN 80-726-2405-9
- [17] Anterior segment anatomy. In: *Heidelberg Engineering* [online]. Německo, 1990, 13.srpna 2019 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://business-lounge.heidelbergengineering.com/bb/en/>
- [18] Alió, Jorge L., and del Barrio, Jorge L. Alió, eds. *Atlas of Anterior Segment Optical Coherence Tomography*. Cham: Springer International Publishing AG, 2020. Accessed November 23, 2022. ProQuest Ebook Central.
- [19] Anterior segment OCT. *Heidelberg Engineering* [online]. Německo: Heidelberg Engineering, 1990, 21. září 2018 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.heidelbergengineering.com>
- [20] Mohammadpour M, editor. *Diagnostics in Ocular Imaging: Cornea, Retina, Glaucoma and Orbit*. Cham: Springer International Publishing AG; 2020.
- [21] Teixeira F, Sousa DC, Leal I, Barata A, Neves CM, Pinto LA. Automated gonioscopy photography for iridocorneal angle grading. *Eur J Ophthalmol*. 2020 Jan;30(1):112-118. doi: 10.1177/1120672118806436. Epub 2018 Oct 26. PMID: 30360660.
- [22] Corbett, Melanie, et al. *Corneal Topography : Principles and Applications*, Springer International Publishing AG, 2019. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=5788969>
- [23] *Atlas of Corneal Imaging*, edited by J. Bradley Randleman, SLACK, Incorporated, 2022. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=29378277>.
- [24] Wolffsohn, James. *Eye Essentials: Ophthalmic Imaging E-Book*. London: Elsevier Health Sciences, 2008. Accessed October 5, 2022. ProQuest Ebook Central
- [25] Ichhpujani, Parul, ed. *Current Advances in Ophthalmic Technology*. Singapore: Springer Singapore Pte. Limited, 2019. Accessed October 5, 2022. ProQuest Ebook Central

[26] Gologorsky, Daniel, and Rosen, Richard B., eds. Principles of Ocular Imaging. Thorofare: SLACK, Incorporated, 2021. Accessed October 5, 2022. ProQuest Ebook Centra

[27] VÝBORNÝ, Petr a Petr ŠEBESTA. Trendy soudobé oftalmologie: Nové směry v diagnostice glaukomu. 4.svazek. Praha 5: Galén, 2007. ISBN 978-80-7262-470-6

[28] VESELÝ, P., J. HŘEBCOVÁ a R. MATĚJKOVÁ. Biometrie v klinické praxi. Česká Oční Optika: Kontaktní čočky dnes, skutečnost a mýty. Praha: Sagitta, 2010, 51(2), 56-59. ISSN 1211-233X

[29] KORYNTA, Jiří. Biometrie oka po refrakčním zákroku na rohovce. In: ROZSVÍZAL, Pavel. Trendy soudobé oftalmologie. 3.vyd. Praha: Galén, [2006], s. 87-89. ISBN 80-726-2405-9

[30] VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0

[31] HAAG STREIT Lenstar LS 900. In: Ophthalmicdata [online]. Ophthalmicdata, 2011 [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://www.ophthalmicdata.com/products/lenstar-ls-900>

[32] MOU, Dapeng, Jing FU, Shuning LI, et al. Narrow- and Open-Angle Measurements with Anterior-Segment Optical Coherence Tomography and Pentacam™. Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina. 2010, 41(6), 622-628. ISSN 2325-8160. Dostupné z: doi:10.3928/15428877-20100929-06

[33] FERNÁNDEZ-VIGO, J.I., L. DE-PABLO-GÓMEZ-DE-LIAÑO, I. ALMORÍN-FERNÁNDEZ-VIGO, C. FERNÁNDEZ-VIGO, A. MACARRO-MERINO, J. GARCÍA-FEIJÓO a FERNÁNDEZ-VIGO. Agreement between Pentacam and optical coherence tomography in the assessment of iridocorneal angle width in a large healthy population. Journal Français d'Ophtalmologie. 2018, 41(1), 14-20. ISSN 01815512. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfo.2017.07.003

[34] TUN, Tin A., Mani BASKARAN, Shamira A. PERERA, et al. Sectoral variations of iridocorneal angle width and iris volume in Chinese Singaporeans: a swept-source optical coherence tomography study. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. 2014, 252(7), 1127-1132. ISSN 0721-832X. Dostupné z: doi:10.1007/s00417-014-2636-0

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
F	MHz	Frekvence vyjádřena v megahertzích
λ	nm	Vlnová délka vyjádřena v nanometrech
D	mm mm ³ /min	Délka vyjádřena v milimetrech Sekrece komorové tekutiny
R2		Korelační koeficient
X1	°	Iridokorneální úhel temporální vyjádřený ve stupních
X2	°	Iridokorneální úhel nasání vyjádřený ve stupních
σ		Rozptyl
N		Počet naměřených očí
α		Hladina spolehlivosti pro T-test $\alpha=0,05$
P		Naměřená hladina spolehlivosti, pravděpodobnost

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
D-RÚ (T; N)	Iridokorneální úhel (temporální; nasální)
AL	Axiální délka oka
LT	Tloušťka oční čočky
ACD	Hloubka přední komory
CCT	Tloušťka rohovky
WtW	Průměr rohovky, od bílého k bílému
HVID	Horizontální průměr rohovky
PD	Pupilometrie, šířka zornice
FDA	Americká organizace pro kontrolu potravin a léčiv
HN sagitta	Horizontální nasální sagitta
HT sagitta	Horizontální temporální sagitta
NOT	Nitrooční tlak
OCT	Optická koherentní tomografie
AS-OCT	Předně-segmentová optická koherentní tomografie
IR	Infračervené záření

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Histologický řez přední komory [1].....	7
Obrázek 2.2: Cirkulace komorové tekutiny. a) episkéra b) Schlemmův kanál c) iris [3]	9
Obrázek 4.1: Porovnání tloušťky rohovky a prostorem mezi zadní částí rohovky a přední částí duhovky [10]	15
Obrázek 4.2: Přímá gonioskopie [4].....	17
Obrázek 4.3: Nepřímá gonioskopie [4]	18
Obrázek 4.4: Dynamická gonioskopie (1) uzavření iridokorneálního úhlu. (2) při zatlačení čočky se vytvoří prohlubeň a úhel se rozšíří [4].....	18
Obrázek 4.5: Grading hodnocení iridokorneálního úhlu. A) Grading 0. viditelné struktury úhlu po sklerální ostruhu B) Grading 1. Viditelné struktury úhlu po trabekulární síťovinu C) Grading 2. viditelní pouze Swabeho linie D) Grading 3. nejsou viditelné struktury úhlu [13]	21
Obrázek 4.6: Přední segment oka zobrazený předně-komorovým OCT. [17]	22
Obrázek 4.7: Předně-komorové OCT vyšetření pomocí topografického škálování [19].....	24
Obrázek 4.8: Zobrazení přední komory s fyziologickými parametry struktur pomocí předně-komorového OCT [9]	24
Obrázek 4.9: Předně komorové OCT Avanti. [vlastní snímek]	25
Obrázek 4.10: Scheimflugův princip s dosažením celkového zaostření [22]	26
Obrázek 5.1: Znázornění principu keratometry [9]	27
Obrázek 5.2: Optický biometr Lenstar LS900 [31]	28
Obrázek 5.3: Kontaktní metoda ultrazvukové biometrie [30]	29
Obrázek 5.4: Imerzní metoda ultrazvukové biometrie [30]	29
Obrázek 6.1: Ukázkové foto automatického změření D-RÚ [vlastní snímek].....	32
Obrázek 6.2: Ukázkový snímek manuálního měření Iridokorneálního úhlu.[vlastní snímek].	33
Obrázek 6.3: Grafické znázornění četnosti D-RÚ na jednotlivých přístrojích [vlastní zpracování]	34
Obrázek 6.4: Graf závislosti nasálního iridokorneálního úhlu na temporálním naměřených na Pentacamu a na OCT [vlastní zpracování]	35
Obrázek 6.5: Grafické znázornění zamítnutí nulové hypotézy (protože $P < \alpha$) pomocí jednostranného T-testu naměřených dat na Pentacamu [vlastní zpracování].....	36
Obrázek 6.6: Grafické znázornění zamítnutí nulové hypotézy (protože $P < \alpha$) pomocí jednostranného T-testu naměřených dat na předně-segmentovém OCT [vlastní zpracování].	37

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Posouzení iridokorneálního úhlu podle van Herrickovy metody [2]	16
Tabulka 4.2: Shaffetova klasifikace iridokorneálního úhlu [1].....	19
Tabulka 4.3: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle úponu kořene duhovky [1]..	19
Tabulka 4.4: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle zakřivení periferní části duhovky [1]	19
Tabulka 4.5: Spaethova klasifikace iridokorneálního úhlu podle stupně pigmentace [1].....	20
Tabulka 6.1: Průměrné hodnoty, směrodatné odchylky a medián naměřených hodnot. [vlastní zpracování]	31
Tabulka 6.2: Porovnání uvedených biometrických parametrů oka na průměrné velikosti iridokorneálního úhlu [vlastní]	38

Příloha A: Naměřená data

		PENTACAM Oculus 70700							Optovue RTVue XR Avanti OCT		
		D-RÚ T [°]	D-RÚ N [°]	Průměr z T a N D-RÚ [°]	Výsledná hor. T sagita	Výsledná hor. N sagita	sagita vert. S	sagita vert. I	D-RÚ T [°]	D-RÚ N [°]	Průměr D-RÚ
1.	PO	49,1	45	47,05	1775	1698	1726	1775	44,54	40,08	42,31
	LO	44,7	45,4	45,05	1764,2	1699,7	1753	1766	42,61	37,29	39,95
2.	PO	31,5	33,9	32,7	1869,1	1764,4	1828	1872	39,3	39,86	39,58
	LO	39,4	37,4	38,4	1831,9	1860,4	1895	1828	43,4	28,13	35,77
3.	PO	48,3	41,9	45,1	1657,2	1696,7	1713	1693	44,25	39,09	41,67
	LO	47	43	45	1696,6	1635,8	1677	1730	44,58	39,64	42,11
4.	PO	44,8	36,3	40,55	1684,0	1659,6	1642	1700	45,22	42,84	44,03
	LO	37,3	32,9	35,1	1622,2	1695,2	1714	1647	43,92	39,27	41,60
5.	PO	47,9	44,6	46,25	1823,0	1715	1788	1827	48,31	39,39	43,85
	LO	45,2	39,1	42,15	1718,7	1816,9	1833	1798	47,04	40,15	43,60
6.	PO	41,6	35,4	38,5	1787,7	1826,0	1806	1817	55,22	46,28	50,75
	LO	42	33,8	37,9	1817,8	1772,8	1803	1816	42,05	37,11	39,58
7.	PO	41,7	35,2	38,45	1663,9	1729,8	1693	1747	40,73	39,98	40,36
	LO	39	39	39	1657,1	1717,6	1709	1710	40,56	40,2	40,38
8.	PO	40,5	35,5	38	1807,6	1724,4	1784	1800	45,68	37,86	41,77
	LO	33,2	34	33,6	1722	1809	1847	1801	43,04	43	43,02
9.	PO	34,9	41,7	38,3	1778,3	1871,9	1847	1901	41,78	38,86	40,32
	LO	46,4	41,8	44,1	1849,0	1778,4	1885	1870	40,76	41,23	41,00
10.	PO	44,5	39,1	41,8	1754,4	1719,3	1758	1717	53,68	52,26	52,97
	LO	61,7	55,9	58,8	1779,6	1706,7	1735	1739	54,05	50,96	52,51
11.	PO	47,9	47,1	47,5	1835,9	1807,9	1801	1858	45,07	46,68	45,88
	LO	48,5	46,5	47,5	1834,3	1830,4	1871	1823	47,08	45,1	46,09
12.	PO	34,7	34,7	34,7	1822,9	1812,0	1798	1838	35,1	34,8	34,95
	LO	35,6	33,6	34,6	1800,8	1792,3	1828	1791	35,09	34,39	34,74
13.	PO	34,8	40,8	37,8	1701,2	1668,0	1703	1748	37,59	34,44	36,02
	LO	39	41,1	40,05	1687,7	1691,4	1765	1695	37,22	36,94	37,08
14.	PO	47,2	53,1	50,15	1719,2	1797,0	1797	1842	41,65	37,69	39,67
	LO	54,6	49,8	52,2	1817,3	1735,6	1830	1789	40,71	38,36	39,54
15.	PO	39,5	46	42,75	1755,0	1744	1787	1716	40,19	34,29	37,24
	LO	35,9	44,9	40,4	1707,7	1757,0	1776	1761	37,01	37,73	37,37
16.	PO	48,7	51,3	50	1695,9	1780,0	1797	1780	39,92	38,69	39,31
	LO	49,8	52,3	51,05	1698,0	1763	1809	1777	40,72	38,34	39,53
17.	PO	48,7	44,9	46,8	1738,7	1761,4	1754	1818	54,52	47,2	50,86
	LO	54,7	47	50,85	1724,7	1755,1	1788	1790	52,42	46,12	49,27
18.	PO	40,3	38,3	39,3	1810,9	1721,6	1798	1817	47,73	42,75	45,24
	LO	38,7	41	39,85	1804,4	1737,3	1811	1794	42,41	41,16	41,79
19.	PO	40	36,1	38,05	1818,6	1724,8	1812	1807	40,59	35,26	37,93
	LO	36,7	36,6	36,65	1823,2	1759,6	1837	1839	38,24	37,5	37,87
20.	PO	31,5	31,9	31,7	1825,8	1813,9	1864	1925	32,85	29,44	31,15
	LO	30,5	29,1	29,8	1827,6	1836,7	1826	1912	33,57	33,55	33,56

21.	PO	40,9	34,6	37,75	1697,0	1635	1732	1698	43,76	38,61	41,19
	LO	49,2	52,9	51,05	1764,4	1734,8	1824	1845	44,38	45,96	45,17
22.	PO	44,5	40,7	42,6	1723	1658	1731	1715	47,42	42,94	45,18
	LO	47,5	42,2	44,85	1712,7	1702,3	1687	1742	43,24	42,78	43,01
23.	PO	43,6	42,6	43,1	1719	1745	1767	1773	51,02	48,8	49,91
	LO	50	41,8	45,9	1726,9	1777,2	1793	1781	54,11	53,74	53,93
24.	PO	42	41,8	41,9	1599,3	1584,3	1632	1673	41,88	37,12	39,50
	LO	46,2	40,9	43,55	1566,6	1570,1	1649	1630	40,17	39,95	40,06
25.	PO	28,9	26,8	27,85	1844	1714	1816	1810	39,5	33,56	36,53
	LO	38,2	33,4	35,8	1714,4	1833,6	1824	1826	39,17	36,95	38,06
26.	PO	35,3	44,7	40	1743,0	1706,6	1792	1740	63,35	58,13	60,74
	LO	44,4	49	46,7	1736,2	1745,1	1736	1730	57,23	55,55	56,39
27.	PO	30,2	28,3	29,25	1883,8	1811,6	1880	1872	37,16	36,37	36,77
	LO	35	28,1	31,55	1872,2	1793,7	1840	1807	37,3	35,82	36,56
28.	PO	51,7	43,5	47,6	1746,8	1679,6	1753	1796	49,92	43,72	46,82
	LO	49,2	41,5	45,35	1679,8	1725,2	1798	1767	49,46	45,26	47,36
29.	PO	38,9	35,4	37,15	1849	1876	1946	1892	43,78	37,83	40,81
	LO	40,5	35,6	38,05	1799	1892	1976	1863	43,53	39,92	41,73
30.	PO	35,4	34,6	35	1670,8	1630,8	1645	1693	35,76	37,51	36,64
	LO	38,5	29,3	33,9	1619,6	1665,3	1714	1621	38,07	36,72	37,40
31.	PO	47,2	51,6	49,4	1733,2	1715,2	1775	1821	53,65	51,64	52,65
	LO	41,8	42,1	41,95	1700,7	1716,8	1882	1815	59,42	56,79	58,11
32.	PO	47,4	50,1	48,75	1711,6	1691,0	1740	1691	53,99	54,24	54,12
	LO	47,9	49,4	48,65	1677,1	1697,4	1718	1717	50,44	53,67	52,06
33.	PO	40,7	39,1	39,9	1625,7	1543,4	1604	1635	41,6	39,61	40,61
	LO	44,7	37,7	41,2	1546,0	1636,6	1674	1649	42,17	41,63	41,90
34.	PO	32,7	36,2	34,45	1876,2	1766,0	1870	1854	38,47	30,6	34,54
	LO	39,7	40,1	39,9	1766,4	1846,1	1850	1815	34,58	32,22	33,40
35.	PO	51,2	47,7	49,45	1810,1	1724,1	1760	1793	40,25	37,94	39,10
	LO	47,3	48,4	47,85	1751,7	1794,2	1796	1774	40,12	36,23	38,18
36.	PO	38,2	40,5	39,35	1685,1	1790,7	1835	1780	39,71	33,81	36,76
	LO	36,4	39,2	37,8	1762,8	1739,9	1771	1849	37,05	36,75	36,90
37.	PO	44,3	48,1	46,2	1819,7	1772,0	1843	1842	38,53	36,76	37,65
	LO	50,1	44,6	47,35	1767,2	1804,6	1845	1803	41,25	41,47	41,36
38.	PO	29,7	27,5	28,6	1815,7	1770,6	1805	1831	35,55	30,91	33,23
	LO	29,2	24,7	26,95	1788	1805	1839	1804	38,44	36,24	37,34
39.	PO	45,8	42,2	44	1782,0	1735,1	1768	1816	45,16	39,41	42,29
	LO	45,2	43,6	44,4	1716,3	1779,9	1831	1771	44,82	42,98	43,90
40.	PO	37,2	44,3	40,75	1700,5	1616,7	1760	1697	37,66	31,93	34,80
	LO	38,4	39,7	39,05	1606,6	1708,9	1719	1742	35,32	32,5	33,91
41.	PO	33,5	33,3	33,4	1755,4	1863,0	1847	1799	42,94	39,48	41,21
	LO	38,3	38	38,15	1849,8	1804,4	1829	1892	43,74	42,96	43,35
42.	PO	54,8	43,8	49,3	1799,4	1774,0	1857	1842	48,63	43,01	45,82
	LO	52,3	50,1	51,2	1803	1779	1960	1872	43,16	41,88	42,52
43.	PO	43,6	40,6	42,1	1668	1810	1791	1756	43,66	39,35	41,51
	LO	40	39	39,5	1789,7	1711,2	1737	1803	37,06	39,01	38,04
44.	PO	43,2	41,1	42,15	1675	1798	1753	1743	49,31	44,96	47,14
	LO	43,7	40,8	42,25	1707,9	1755,8	1757	1735	35,79	34,39	35,09

45.	PO	42,3	39	40,65	1835	1719	1867	1818	46,78	42,63	44,71
	LO	41,7	33,4	37,55	1708	1801	1841	1862	45,43	40,95	43,19
46.	PO	43,8	40,3	42,05	1673,3	1528,3	1591	1653	44,25	40,82	42,54
	LO	45,9	40	42,95	1517,1	1655,9	1678	1567	43,26	37,96	40,61
47.	PO	50,5	42,5	46,5	1722,1	1749,1	1732	1691	43,79	42,35	43,07
	LO	40,5	44,6	42,55	1697,1	1732,2	1743	1712	44,39	38,96	41,68
48.	PO	27,7	28,4	28,05	1716,0	1589,6	1716	1674	41,52	38,11	39,82
	LO	30,3	28	29,15	1598,8	1701,2	1685	1703	41,6	40,77	41,19
49.	PO	26,5	29,9	28,2	1742,3	1702,9	1803	1790	34,09	24,9	29,50
	LO	26,6	26,5	26,55	1728,8	1725,7	1826	1847	28,78	29,81	29,30
50.	PO	50,7	43,2	46,95	1814,7	1813,6	1925	1810	49,04	45,02	47,03
	LO	43,8	46,5	45,15	1828,7	1840,6	1799	1959	47	48,08	47,54
51.	PO	39,2	39,1	39,15	1772,0	1813,6	1810	1828	42,39	40,42	41,41
	LO	38,3	34,8	36,55	1809,1	1748,2	1837	1789	42,63	39,94	41,29
52.	PO	23,5	22,5	23	1622	1740	1753	1734	31,41	25,97	28,69
	LO	30	24,9	27,45	1663,6	1693,3	1792	1783	31,26	29,44	30,35
53.	PO	44,6	32,1	38,35	1762,1	1695,9	1779	1767	48,01	43,13	45,57
	LO	40,8	38	39,4	1701,1	1772,2	1787	1741	46,99	44,36	45,68
54.	PO	37,3	39,7	38,5	1609,4	1708,1	1725	1769	41,41	34,52	37,97
	LO	38,2	38,3	38,25	1620,1	1716,8	1706	1781	37,27	36,94	37,11
55.	PO	34,6	24,4	29,5	1746,3	1876,9	1858	1854	47,95	38,56	43,26
	LO	38,5	29	33,75	1857,9	1757,9	1824	1873	50,7	44,8	47,75
56.	PO	42,9	54,6	48,75	1725	1794	1754	1823	44,42	43,97	44,20
	LO	44,6	48,2	46,4	1800	1721	1815	1772	44,44	42,69	43,57
57.	PO	36,9	38,7	37,8	1707,8	1797,0	1805	1850	42,17	36,02	39,10
	LO	37	36	36,5	1800	1721	1815	1772	41,14	38,09	39,62
58.	PO	47,4	45,2	46,3	1802,7	1875,6	1881	1834	52,42	44,34	48,38
	LO	47,4	45,7	46,55	1806,2	1864,1	1878	1848	50,65	46,16	48,41
59.	PO	30,2	23,5	26,85	1541,6	1667,2	1653	1618	37,43	33,99	35,71
	LO	28,2	28,3	28,25	1549,3	1648,9	1632	1632	38,4	33,58	35,99
60.	PO	36	35	35,5	1816,3	1727,0	1795	1831	51,3	52,88	52,09
	LO	33,4	36,5	34,95	1745,3	1839,2	1848	1826	54,17	50,76	52,47
61.	PO	27,5	28	27,75	1726,7	1737,3	1770	1766	29,25	24,06	26,66
	LO	30,1	25,7	27,9	1700,5	1712,8	1778	1732	29,02	26,89	27,96

BIOMETR LENSTRAR 900											
		CCT [um]	CCT [mm]	ACD [mm]	LT [mm]	AL [mm]	K1 [D]	K2 [D]	K2[°]	WtW [mm]	PD [mm]
1.	PO	505,00	0,51	4,39	3,19	23,73	43,11	43,83	78,00	12,47	6,12
	LO	508,00	0,51	3,87	3,64	23,84	42,83	43,61	111,00	12,37	4,86
2.	PO	515,00	0,52	3,30	3 8	22,09	44,51	45,22	96,00	12,23	6,70
	LO	519,00	0,52	3,29	3,85	22,06	44,43	45,27	77,00	12,05	6,79
3.	PO	553,00	0,55	3,56	3,61	23,60	42,39	43,16	71,00	12,51	6,13
	LO	553,00	0,55	3,51	3,63	23,66	41,88	43,05	119,00	12,39	5,77
4.	PO	516,00	0,52	3,45	3,70	23,70	41,50	42,18	104,00	12,16	6,63
	LO	513,00	0,51	3,48	3,67	23,67	41,45	42,33	82,00	12,19	6,08
5.	PO	552,00	0,55	3,64	3,67	22,89	43,70	44,85	85,00	12,71	6,61
	LO	555,00	0,56	3,63	3,82	22,88	43,82	45,27	84,00	12,62	5,61
6.	PO	523,00	0,52	3,54	3,45	22,80	43,98	44,67	75,00	11,49	7,54
	LO	518,00	0,52	3,56	3,48	22,77	43,67	44,36	96,00	11,52	4,70
7.	PO	553,00	0,55	3,43	3,77	24,94	43,02	44,04	79,00	12,28	5,23
	LO	554,00	0,55	3,41	3,63	25,08	42,95	43,70	95,00	12,30	4,54
8.	PO	485,00	0,49	3,59	3,71	23,21	44,19	45,69	92,00	11,92	4,69
	LO	586,00	0,59	3,63	3,68	23,01	44,45	46,11	91,00	12,03	4,92
9.	PO	612,00	0,61	3,48	3,66	22,44	44,73	46,09	77,00	11,86	6,09
	LO	616,00	0,62	3,49	3,80	22,55	44,12	46,35	115,00	11,82	5,64
10.	PO	566,00	0,57	4,07	3,61	25,51	42,83	43,63	111,00	12,53	7,46
	LO	563,00	0,56	4,03	3,67	24,81	42,99	43,80	96,00	12,45	6,37
11.	PO	651,00	0,65	3,83	3,42	24,55	41,48	41,86	86,00	12,12	6,47
	LO	649,00	0,65	3,85	3,34	24,78	41,39	41,85	94,00	12,08	6,28
12.	PO	545,00	0,55	3,20	3,79	22,21	44,67	45,16	109,00	11,40	4,23
	LO	542,00	0,54	3,21	3,77	22,31	44,36	44,90	91,00	11,23	3,83
13.	PO	566,00	0,57	3,47	3,54	24,27	41,68	42,56	94,00	12,26	5,14
	LO	563,00	0,56	3,49	3,55	24,42	41,68	42,77	88,00	12,29	4,86
14.	PO	548,00	0,55	3,60	3,76	24,28	43,43	44,83	84,00	12,18	5,70
	LO	557,00	0,56	3,55	3,74	23,59	43,93	45,06	104,00	12,03	3,86
15.	PO	524,00	0,52	3,55	4,18	23,34	43,60	43,60	165,00	11,93	4,89
	LO	527,00	0,53	3,49	4,35	23,64	43,02	43,37	62,00	12,07	4,65
16.	PO	575,00	0,58	3,66	3,44	23,95	42,97	44,53	86,00	12,26	3,32
	LO	575,00	0,58	3,70	3,47	23,95	42,92	44,21	89,00	12,28	3,58
17.	PO	512,00	0,51	4,02	3,51	23,43	43,34	44,03	83,00	12,88	6,68
	LO	523,00	0,52	4,00	3,52	23,38	43,28	44,10	81,00	12,85	6,39
18.	PO	518,00	0,52	3,45	3,64	22,48	44,08	44,53	72,00	12,06	6,44
	LO	524,00	0,52	3,50	3,60	22,58	43,99	44,48	105,00	12,16	5,86
19.	PO	518,00	0,52	3,57	3,65	23,20	43,49	44,94	93,00	12,49	5,37
	LO	512,00	0,51	3,69	3,56	23,23	43,70	44,63	93,00	12,47	6,15
20.	PO	514,00	0,51	3,09	3,68	22,46	44,76	46,21	90,00	12,03	4,38
	LO	508,00	0,51	3,18	3,83	22,40	45,21	45,68	112,00	11,87	3,44
21.	PO	472,00	0,47	3,48	3,63	26,75	41,97	42,90	91,00	11,90	6,94
	LO	526,00	0,53	3,92	0,78	25,27	/	/	/	11,90	5,04
22.	PO	606,00	0,61	3,80	3,59	24,51	41,93	42,49	85,00	12,68	7,18
	LO	600,00	0,60	3,81	3,58	24,65	42,24	42,24	/	12,77	6,99

23.	PO	547,00	0,55	3,96	3,31	23,87	43,08	43,60	94,00	12,62	7,57
	LO	556,00	0,56	3,99	3,27	24,12	43,59	44,12	100,00	12,66	6,89
24.	PO	446,00	0,45	3,50	3,39	25,52	37,51	38,23	113,00	12,41	6,47
	LO	428,00	0,43	3,50	3,39	25,58	37,39	37,85	55,00	12,47	5,79
25.	PO	568,00	0,57	3,21	3,68	22,06	43,98	44,65	97,00	11,74	5,40
	LO	565,00	0,57	3,20	3,65	22,14	43,80	45,39	83,00	11,69	5,08
26.	PO	626,00	0,63	3,97	3,46	25,67	42,72	43,30	123,00	12,32	8,33
	LO	624,00	0,62	3,86	3,52	25,50	43,04	43,26	35,00	12,25	5,78
27.	PO	516,00	0,52	3,02	3,49	22,41	45,25	45,74	108,00	11,27	6,03
	LO	516,00	0,52	3,05	3,79	22,42	44,96	45,66	98,00	11,45	5,69
28.	PO	599,00	0,60	4,12	3,24	27,13	42,19	42,91	105,00	12,56	6,62
	LO	595,00	0,60	4,14	3,24	27,18	42,03	43,16	88,00	12,61	5,89
29.	PO	564,00	0,56	3,43	3,87	24,23	45,49	46,99	86,00	11,71	6,43
	LO	562,00	0,56	3,39	3,85	24,06	45,38	47,36	89,00	11,59	6,50
30.	PO	576,00	0,58	3,12	3,70	25,30	41,41	42,07	99,00	12,44	5,10
	LO	577,00	0,58	3,71	3,13	24,98	41,03	41,85	94,00	12,49	5,30
31.	PO	606,00	0,61	4,28	3,25	24,68	42,64	44,05	102,00	12,05	6,46
	LO	605,00	0,61	4,38	3,27	24,55	42,79	44,38	88,00	12,23	5,98
32.	PO	526,00	0,53	3,64	3,52	25,21	42,53	42,90	96,00	11,96	7,51
	LO	529,00	0,53	3,63	3,55	25,07	42,37	43,16	73,00	12,02	6,36
33.	PO	557,00	0,56	3,35	3,49	24,88	40,18	41,11	94,00	12,29	6,37
	LO	553,00	0,55	3,36	3,53	24,91	40,20	41,72	79,00	12,44	6,09
34.	PO	533,00	0,53	3,10	3,52	22,83	45,19	45,19	/	11,12	4,99
	LO	541,00	0,54	3,09	3,51	22,37	44,97	45,44	75,00	11,14	3,96
35.	PO	545,00	0,55	3,41	3,49	22,90	43,87	44,83	92,00	12,09	4,60
	LO	544,00	0,54	3,42	3,44	22,96	44,30	45,14	88,00	12,12	4,16
36.	PO	577,00	0,58	3,43	3,50	21,99	42,84	44,52	54,00	12,15	4,42
	LO	579,00	0,58	3,34	3,38	21,59	43,45	44,37	124,00	12,10	4,06
37.	PO	562,00	0,56	3,58	3,17	24,86	44,15	45,51	102,00	11,75	5,03
	LO	567,00	0,57	3,56	3,36	24,39	43,88	54,27	73,00	11,76	4,71
38.	PO	542,00	0,54	2,86	3,75	21,85	44,04	44,60	82,00	11,83	6,97
	LO	531,00	0,53	2,87	3,81	21,75	44,34	44,73	113,00	11,80	6,87
39.	PO	530,00	0,53	3,70	3,39	24,53	43,44	44,63	95,00	12,26	5,02
	LO	529,00	0,53	3,67	3,45	24,27	43,19	44,76	81,00	12,10	5,88
40.	PO	543,00	0,54	3,29	3,88	23,25	41,29	43,12	96,00	12,52	5,93
	LO	534,00	0,53	3,23	3,91	23,15	41,42	42,87	86,00	12,50	6,00
41.	PO	563,00	0,56	3,18	3,87	22,31	44,69	45,82	99,00	11,25	5,53
	LO	557,00	0,56	3,21	3,84	22,12	45,09	45,99	94,00	11,27	5,24
42.	PO	650,00	0,65	3,74	3,38	24,31	40,84	41,64	100,00	11,78	5,99
	LO	644,00	0,64	3,72	3,38	24,27	41,69	42,34	108,00	11,81	4,52
43.	PO	595,00	0,60	3,42	3,62	22,75	43,76	44,81	90,00	11,81	4,81
	LO	593,00	0,59	3,42	3,62	22,82	43,74	44,42	99,00	11,86	4,85
44.	PO	504,00	0,50	3,37	3,40	22,80	43,25	44,11	87,00	12,48	8,04
	LO	509,00	0,51	3,32	3,78	22,84	42,94	43,81	101,00	12,70	5,18
45.	PO	550,00	0,55	3,52	3,70	22,77	44,68	46,08	93,00	11,87	6,55
	LO	539,00	0,54	3,51	3,64	22,85	44,10	45,10	91,00	11,90	6,41
46.	PO	542,00	0,54	3,90	3,18	25,30	40,84	41,42	97,00	12,30	7,38
	LO	543,00	0,54	3,89	3,44	25,11	40,33	41,20	85,00	12,48	7,08

47.	PO	596,00	0,60	3,65	3,60	24,26	43,36	43,72	101,00	12,08	6,96
	LO	596,00	0,60	3,71	3,57	24,26	43,33	44,04	65,00	12,18	6,45
48.	PO	549,00	0,55	2,95	4,42	22,03	41,36	41,81	114,00	11,79	5,37
	LO	559,00	0,56	3,00	4,40	22,31	41,43	42,05	74,00	11,91	5,48
49.	PO	574,00	0,57	2,89	3,65	22,49	43,25	45,72	106,00	11,25	5,43
	LO	588,00	0,59	2,90	3,63	22,42	43,61	45,88	76,00	11,17	4,73
50.	PO	565,00	0,57	3,52	3,50	22,35	45,00	45,40	106,00	11,83	6,35
	LO	565,00	0,57	3,57	3,48	22,23	45,55	46,03	76,00	11,70	6,37
51.	PO	503,00	0,50	3,48	3,71	23,57	44,21	45,23	81,00	11,88	5,29
	LO	502,00	0,50	3,42	3,72	23,41	43,90	45,12	104,00	11,94	5,06
52.	PO	589,00	0,59	2,55	4,62	23,33	42,58	43,99	93,00	11,95	5,74
	LO	574,00	0,57	2,57	4,64	23,67	42,40	44,51	84,00	11,88	5,59
53.	PO	699,00	0,70	3,69	3,30	23,97	42,64	43,13	109,00	11,89	6,41
	LO	705,00	0,71	3,71	3,39	23,86	42,89	42,89	88,00	11,87	6,43
54.	PO	590,00	0,59	3,47	3,85	23,53	41,74	43,34	85,00	12,46	4,04
	LO	590,00	0,59	3,48	3,84	23,48	41,96	43,48	88,00	12,48	3,96
55.	PO	582,00	0,58	3,61	3,55	22,82	44,57	46,30	88,00	12,38	6,53
	LO	585,00	0,59	3,73	3,53	23,06	44,59	46,25	97,00	12,35	4,66
56.	PO	536,00	0,54	3,95	3,53	23,44	43,67	44,73	87,00	12,50	5,18
	LO	542,00	0,54	3,92	3,59	23,38	43,76	44,81	100,00	11,43	4,89
57.	PO	539,00	0,54	3,36	3,55	24,60	43,13	44,65	87,00	11,45	4,87
	LO	536,00	0,54	3,42	3,52	24,36	43,68	45,41	100,00	11,51	4,32
58.	PO	532,00	0,53	3,81	3,76	23,48	44,74	45,44	74,00	12,29	5,20
	LO	527,00	0,53	3,92	3,75	23,80	44,96	45,67	101,00	12,27	4,54
59.	PO	562,00	0,56	2,90	4,21	22,98	40,74	41,65	92,00	12,34	6,26
	LO	568,00	0,57	2,83	4,24	22,57	40,32	41,38	83,00	12,28	5,64
60.	PO	547,00	0,55	4,12	3,68	25,85	42,62	43,16	79,00	12,81	6,70
	LO	542,00	0,54	4,18	3,72	25,88	42,20	42,79	92,00	12,89	5,31
61.	PO	608,00	0,61	2,55	4,67	22,5	42,81	43,70	146,00	11,39	5,13
	LO	605,00	0,61	2,56	4,64	22,37	42,75	43,52	54,00	11,49	4,70