

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

**EVA
JIRÁSKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Fotoretinoskopie a korekce refrakčních vad

Photoretinoscopy and Correction of Refractive Errors

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Eva Jirásková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Fůs

Konzultant bakalářské práce: Doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc., FEBO

Kladno 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jirásková** Jméno: **Eva** Osobní číslo: **491766**
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:

Fotorefraktometrie a korekce refrakčních vad

Název bakalářské práce anglicky:

Photorefractometry and Correction of Refractive Errors

Pokyny pro vypracování:

Objektivní refrakce je v oftalmologii i optometrii nezbytnou součástí vyšetření zrakových funkcí pacienta. Designový koncept běžných nepřenositelných autorefraktometrů je limitací pro realizaci vyšetření u dětí nebo imobilních či nespolupracujících pacientů. V těchto případech lze využít přenosných přístrojů, které se využívají zejména v oblasti screeningových vyšetření. V teoretické části se student zaměří na rozbor technologie a možností konvenčních i přenosných screeningových přístrojů pro vyhodnocení refrakčních vad. V praktické části provede vyšetření relevantního počtu pacientů za využití fotoretinoskopie (fotorefraktometrie) přístrojem 2WIN – Adaptica, konvenčního autorefraktometru a následně subjektivního vyšetření. Komparací výsledků vyhodnotí využitelnost fotoretinoskopie, jakožto alternativy nepřenosné autorefraktometrii.

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] Yalcin Elvan, Comparison of Refraction Defects in Childhood Measured Using Plusoptix S09, 2WIN Photorefractometer, Benchtop Autorefractometer, and Cycloplegic Retinoscopy, Seminars in Ophthalmology, ročník 32, číslo 4, 2017, 422-427 s., Doi:10.3109/08820538.2015.1118135
- [3] Goncalves Bruno Viana, Comparison of refractometric measurements using 2win® Photoscreener and manual retinoscopy in asymptomatic preschoolers, Revista Brasileira de Oftalmologia, ročník 80, číslo 1, 2021, Doi:10.5935/0034-7280.20210006

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: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2023**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.
vedoucí katedry

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

Název bakalářské práce: Fotoretinoskopie a korekce refrakčních vad

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá různými metodami stanovení objektivní refrakce. Nejprve jsou uvedeny historické počátky a první manuální přístroje, které k vyšetření sloužily. Zmíněné jsou jejich konstrukce, technické údaje a způsob měření pomocí nich. Další část práce se zabývá automatickými refraktometry, kde jsou popsány jednotlivé metody použité v daných autorefraktometrech. Poslední část je věnovaná refraktometrům založených na principu fotoretinoskopie. Uveden je zejména binokulární refraktometr 2WIN, pomocí jehož v praktické části práce probíhá měření hodnot refrakce. Experimentální část se zabývá porovnáním třech odlišných principiálních metod stanovení refrakce: fotoretinoskopie, autorefraktometrie a subjektivní refrakce. Výsledky z těchto měření jsou statisticky vyhodnoceny. Stanovená hypotéza H1, která předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření refrakce autorefraktometrem a přístrojem 2WIN se ve vztahu k subjektivní refrakci statisticky neliší, není na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítnuta. Naopak hypotéza H2, která předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření pupilární vzdálenosti autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k měření PD metrem se statisticky významně neliší. Ta je na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítnuta.

Klíčová slova:

Objektivní refrakce, automatické refraktometry, fotorefrakce, 2WIN

Bachelor's thesis title: Photoretinoscopy and Correction of Refractive Errors

Abstract:

This bachelor thesis deals with different methods of determining objective refraction. First, the historical origins and the first manual instruments used for the examination are presented. Their construction, technical data and the method of measurement using them are mentioned. Next part of the thesis deals with autorefractometers, where the various methods used in these autorefractometers are described. Last part of the thesis is devoted to refractometers based on the principle of photoretinoscopy. In particular, the binocular refractometer 2WIN is presented, and is then used in the practical part of the thesis to measure refraction values. Experimental part then deals with the comparison of three different principle methods of refraction determination: photoretinoscopy, autorefractometry and subjective refraction. The results of these measurements are statistically evaluated. Hypothesis H1, which assumes that the difference between the mean values of refraction measurements by autorefractometer and 2WIN in relation to subjective refraction is not statistically different, is not statistically rejected on the scale of significance $\alpha = 0.05$. Conversely, hypothesis H2, which predicts that the difference of the average values of the measurement of pupil distance by the autorefractometer and the 2WIN device in relation to the measurement of PD by the meter is not statistically significantly different. It is rejected at a significance level of $\alpha = 0.05$.

Key words:

Objective refraction, automatic refractometers, photorefraction, 2WIN

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Martinu Fůsovi, pod jehož vedením jsem bakalářskou práci psala.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Fotoretinoskopie a korekce refrakčních vad*“ 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	1
2	Objektivní refrakce	2
2.1	Oftalmoskopie	4
2.2	Skiaskopie	5
2.3	Oční refraktometry	6
2.3.1	Hardy-Astronův oční refraktometr	7
2.3.2	Rodenstockův refraktometr	7
2.3.3	Scheinerův pokus	8
2.3.4	Hartingerův koincidenční refraktometr	9
2.4	Automatické refraktometry	11
2.4.1	Scheinerova metoda	12
2.4.2	Metoda retinoskopie	13
2.4.3	Metoda nejlepšího zaostření	14
2.4.4	Metoda velikosti obrazu	14
2.4.5	Metoda odrazu paprsků	15
2.4.6	Knife Edge Method	16
2.5	Přenosné fotorefraktometry	18
2.5.1	Retinomax	18
2.5.2	Plusoptix	19
2.5.3	2WIN	20
2.5.4	Spot Vision Screener VS100	22
4	Experimentální část	24
4.1	Metodika	24
4.2	Výsledky	28
4.3	Diskuze	35
5	Závěr	37
	Seznam použité literatury	39
	Seznam zkratk	42
	Seznam obrázků	43
	Seznam tabulek	43
	Příloha	44

1 Úvod

Objektivní refrakce představuje jedno z prvotních vyšetření refrakčního stavu oka v očních optikách či oftalmologických zařízeních. Z objektivně naměřených výsledků se poté postupuje k subjektivnímu vyšetření. Proto je pro optometry či oftalmology toto měření podstatné a je zapotřebí, aby jeho výsledky byly velmi rychlé a přesné.

V praxi se používá řada přístrojů a metod, kterými lze objektivní refrakci stanovit. Některé z nich, ale nejsou vhodné pro všechny pacienty, a proto je potřeba přistupovat k alternativním metodám. U dětských pacientů, je obzvlášť důležité stanovení vhodné brýlové korekce pro správný vývoj zrakových funkcí a binokulárního vidění. Zejména u těchto jedinců či imobilních pacientů nejsou parametry klasických autorefraktometrů vhodné. Tudíž se v těchto případech přistupuje k vyšetření pomocí přenosných refraktometrů, obvykle fungujících na principu screeningových vyšetření.

V teoretické části je uvedena metodika historických způsobů stanovení objektivní refrakce. Další kapitola je věnována automatickým refraktometrům, kde jsou vysvětleny jednotlivé metody: metoda retinoskopie, odrazu paprsků, srovnání velikosti obrazu, nejlepšího zaostření, kníže edge method a Scheinerova metoda. Poslední část teoretické části uvádí vybrané přenosné refraktometry včetně přístroje 2WIN, kde jsou zmíněny jejich technické parametry, možnosti a podmínky za jakých může být vyšetření provedeno.

Cílem bakalářské práce je uvést problematiku refraktometrů založených na principu fotoretinoskopie a vyhodnotit jejich přínos (formou rozdílu hodnot vůči subjektivní refrakce) do běžné praxe optometry, jakožto alternativu k běžným nepřenosným autorefraktometrům.

2 Objektivní refrakce

Refrakce vyjadřuje vztah mezi lomivostí oka a jeho osovou délkou. Při nulové refrakční vadě platí, že paprsky předmětu přicházejícího z nekonečna vytvoří ostrý obraz na sítnici. Tento stav oka nazýváme emetropie. Není-li výše uvedená podmínka splněna, mluvíme o ametropii. Má-li oko ve všech rovinách (meridiánech) stejnou optickou mohutnost, jedná se o sférickou ametropii. Pokud tomu tak není, je oko astigmatické. U nestejných refrakčních vad obou očí mluvíme o anizometropii. [1]

Pro měření refrakce nebo refrakční vady rozlišujeme metody objektivní a subjektivní. Mezi objektivní metody patří např. retinoskopie nebo autorefrakce, kdy získáme výsledky bez interakce pacienta. Naproti tomu subjektivní metoda vyžaduje jeho aktivní spolupráci. Subjektivní refrakci provádíme pomocí zkušební obruby a sady zkušebních skel nebo prostřednictvím foropteru. Pacient čte znaky na optotypu vzdáleném minimálně 5 m od oka a na základě dosažených výsledků stanovuje vyšetřující výslednou korekci. Obě tyto metody poskytují oftalmologovi či optometristovi různé informace pro stanovení korekce refrakční vady. Refrakční vada se může korigovat pomocí brýlí, kontaktních čoček nebo rohovkových refrakčních terapií. K zjištění refrakční vady se také využívá vyšetření v cykloplegii, aby se docílilo paralýzy řasnatého tělíska a pacient nemohl akomodovat. To se využívá při vyšetřování zraku dětí a mladších dospělých, kteří podvědomě zaostřují během měření zraku. [2]

Objektivní refrakce slouží jako výchozí stav pro následnou subjektivní část refrakční zkoušky. U jisté skupiny jedinců provést subjektivní vyšetření nelze, proto je cílem vyšetřujícího získání přesných a okamžitých výsledků. V těchto případech se objektivní refrakce stává důležitým a často jediným podkladem pro korekci refrakční vady.

Objektivní refrakce lze stanovit pomocí různých přístrojů, které jsou méně či více náročné pro vyšetřujícího či spolupráci pacienta. Mezi nejstarší a dnes už téměř nevyužívanou techniku pro objektivní stanovení refrakce, patří oftalmoskopie. S oftalmoskopem se setkáme zejména v ordinacích očního lékaře, a to při diagnostice očního pozadí, kde je přímá oftalmoskopie využívána. Jako další metoda, která je v klinické praxi poměrně zastoupena je skiaskopie. Pakliže je v tomto ohledu vyšetřující zkušený, lze získat velmi přesné výsledky měření. [3, 4]

Sice jsou tyto metody ještě dost využívány a také na pořízení finančně nenáročné, přesto se s nimi v běžných očních optikách tolik nesetkáme. Tam se k pořízení objektivní

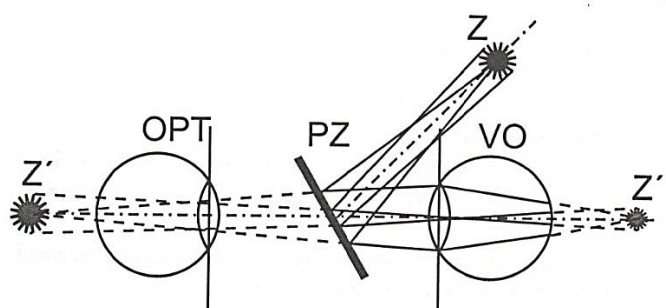
refrakce převážně využívají automatické oční refraktometry. Ty provádí své měření na základě infračerveného záření, které je pro lidský zrak neviditelné, a tudíž neovlivňuje refrakční stav oka. [5]

Obsluha těchto přístrojů je snadná, rychlá a na zkušenost vyšetřujících nenáročná. S automatickými očními refraktometry se pracuje buďto ve stolní nebo ruční podobě. Ruční přenosné autorefraktometry mají své hojné zastoupení zejména u dětí, nespolupracujících či imobilních pacientů, kde není možné tyto pacienty vyšetřit u běžného stolního autorefraktometru. Velký důraz je kladen u vyšetření objektivní refrakce u dětí do 6 let. V tomto období je správné stanovení brýlové korekce zvláště důležité pro správný vývoj zrakových funkcí a binokulárního vidění. [3, 6, 7]

2.1 Oftalmoskopie

Vyšetřovací metoda, která vznikla v polovině 19. století. Jako první vynálezce funkčního oftalmoskopu se roku 1851 představil Hermann von Helmholtz s tzv. Helmholtzovým zrcátkem, za použití silnější planparalelní destičky, která působila jako polopropustné zrcadlo. Tehdy byl oftalmoskop základním vyšetřovacím nástrojem, pomocí kterého se vyšetřoval vnitřek lidského oka s použitím světelného paprsku. Dále se prostřednictvím oftalmoskopu objektivně zjišťoval refrakční stav oka, kde je využita schopnost sítnice odrážet dopadající záření. [3, 8, 9]

První objevenou metodou vyšetření očního pozadí byla přímá oftalmoskopie. Roku 1851 ji představil německý fyzik Hermann von Helmholtz. Principem jeho původního návrhu bylo použití silnější planparalelní desky, která působila jako polopropustné zrcadlo PZ. To bylo umístěno mezi vyšetřovanou osobou VO a vyšetřujícím OPT. Musel být zvolen vhodný zdroj světla Z (kloubové světlo, stolní oční lampa), aby světlo bylo vrháno do roviny oka a sítnice byla správně nasvícena. Pro zachycení světla nasvícené sítnice se pozorovatel musel dostat do rovnoběžné pozice s okem vyšetřovaného.



Obrázek 1: Schéma přímé oftalmoskopie [3]

Vyšetření probíhá z velmi krátké vzdálenosti (cca 2 cm) prostřednictvím ručního oftalmoskopu. Ten je vybaven alespoň dvěma Rekkosovými kotouči, pro pozorování očního pozadí. V Rekkosově kotouči jsou uloženy čočky, které slouží k zaostření obrazu a vyrovnání optických podmínek obou očí. Pro lepší diagnostiku sítnice jsou některé oftalmoskopy vybaveny i proměnnou optikou, pomocí níž lze měnit velikost průměru nasvíceného pole. Pomocí přímého oftalmoskopu jsme schopni sledovat oblast sítnice v rozsahu cca 2 mm. Přináší nám tedy detailní obraz, ale kvůli malému rozsahu je orientace na sítnici málo přehledná. [3, 10]

2.2 Skiaskopie

Skiaskopie (vizualizace stínů), známá také jako retinoskopie (zobrazení sítnice), je relativně jednoduchá, ale velmi přesná objektivní refrakční metoda používaná k určení vzdáleného bodu lidského oka. Poskytuje spolehlivé výsledky s minimálními nároky na vybavení, přičemž aby se takto kvalitních výsledků dosáhlo, musí být vyšetřující v tomto směru velmi zkušený. V klinické praxi se skiaskopie využívá při určení refrakčního stavu u dětí nebo pacientů, kteří nejsou ochotni nebo schopni při vyšetření spolupracovat. Touto technikou také získáme přehled o stavu předního segmentu oka (např. zákal rohovky, nepravidelnost rohovky nebo kataraktu). [11]

Skiaskopie byla odvozena od oftalmoskopie a podobá se technice ruční neutralizace čočky. Světlo ze skiaskopu svítí pacientovi do oka a sítnice působí jako odrazná destička, po které se pohybuje světelný paprsek. Světlo odrážené od sítnice, která funguje jako sekundární zdroj světla, se po výstupu z oka zobrazuje v podobě červeného reflexu. [4] Na pacientovu oku je zobrazováno světlo skiaskopu pohyblivou čočkou a rozdělovačem paprsku. Jako zdroj světla se v elektrických skiaskopech využívá bílé světlo, halogenová žárovka. [8] V závislosti na typu světelného zdroje se na oku pacienta vytváří kruhový nebo úzký obdélníkový světelný pás. Podle světelného zobrazení rozlišujeme tedy bodový a pásový skiaskop. Vyšetření astigmatických očí se provádí pásovým skiaskopem. Zde je jako zdroj světla použita speciální žárovka s dlouhým žhavicím vláknem, tím vytvoříme úzký světelný pás, který přesahuje zorničku, duhovku i bělimu. [3] Pro standartní oční vyšetření se používá divergentní dráha paprsku. Osa světelného zdroje lze otáčet kolem optické osy, což je užitečné při vyšetření astigmatických očí. Úhel a divergence světelného paprsku se nastavují pomocí společné objímky nebo límcového kroužku, který lze otáčet (pro změnu úhlu) a osově posouvat (pro změnu vzdálenosti mezi čočkou a zdrojem světla). Duhovka pacientova oka funguje jako clona a propuštěná část světelného svazku se zobrazuje na sítnici. V závislosti na refrakční vadě pacienta je dopadající svazek více či méně dobře zaostřen na sítnici. [11]

Světelný paprsek, který se odráží od sítnice pacienta, se nazývá červený reflex. Vyšetřující pozoruje červený reflex přes skiaskopickou clonu a vyhodnocuje jeho pohyb. Při vyšetření musí klient fixovat na vzdálený bod, aby se uvolnila akomodace. Důležité je, aby zornice byla co nejširší, proto se vyšetření provádí v temné místnosti. V případě hypermetropických očí se reflex pohybuje souhlasně se směrem pohybu skiaskopu, protože daleký bod se nachází za skiaskopem. Pro získání neutrálního reflexu předkládáme před oko spojné čočky. Pokud má pacient krátkozraké oko, tak daleký bod myopického oka se nachází

v konečné vzdálenosti před okem, tzn. mezi klientem a skiaskopem. Proto se červený reflex pohybuje proti směru pohybu světelného pásu. Zde se k získání neutrálního reflexu předsazují rozptylné čočky. Během vyšetření nesledujeme jenom rychlost a směr pohybu červeného paprsku, ale i šířku. V momentě, kdy se červený reflex už nepohybuje a dochází k maximálnímu jasů a problikávání, znamená to, že jsme našli vzdálený bod oka. Při závěrečném vyhodnocení výsledné refrakce klienta je potřeba zohlednit vyšetřovací vzdálenost. Běžně se vyšetřuje z 0,5 m, tudíž se k dosavadní refrakci přičítají -2 D. [8, 11]

U měření astigmatismu se červený reflex pohybuje šikmo. Nejprve musíme při určování refrakce vzdáleného bodu astigmatického oka, zjistit oba směry hlavních řezů. [11] Toho docílíme umístěním skiaskopu před vyšetřované oko s nastaveným svazkem paprsků pod úhlem 0°, 45°, 90° a 135° vůči horizontální ose. Poté sledujeme směr pohybu světla v rovině pupily a zjišťujeme ve které ose nastane shoda pohybu s pohybem osvětlovacího svazku. V místě shody určíme jeden z obou hlavních řezů. Ke konečnému stanovení astigmatického rozdílu lze dojít několika metodami např. předsazováním sférických zkušebních čoček nebo Lindnerovou metodou. [3]

2.3 Oční refraktometry

Historicky prvním manuálním přístrojem pro měření refrakční vady oka byl optometr. Pacient si měření řídil sám, proto se jednalo o subjektivní metodu stanovení refrakce oka. [6, 8]

Optometr funguje na principu nepřímé oftalmoskopie. Skládá se z vodící lišty se stupnicí, fixační destičky (obsahující např. optotypovou značku) a oftalmoskopické čočky. Jedná se o Badalovu čočku o optické mohutnosti +10,0 D. Pacient posouvá destičku, dokud nedojde k zaostření znaků. Jedná-li se o emetropické oko, tak se vycházející paprsky z oka zobrazí přes oftalmoskopickou čočku primárně do nekonečna a poté se lámou přesně do jejího ohniska. V případě krátkozrakého oka se paprsky vystupující z oka a procházející oftalmoskopickou čočkou, dopadají v konečné vzdálenosti před okem. U dalekozrakého oka se takto protíná s optickou osou za okem. Nevýhodou této metody měření byla nemožnost vyřazení akomodace oka a stanovení hodnot astigmatismu. [3, 6, 8]

K prvním očním refraktometrům patřil také Hardy-Astronův oční refraktometr, který byl konstruován podobně jako optometr. Taktéž se chtělo využít bezreflexního pozorování, což v praxi nebylo možné dodržet. Proto se i tento oční refraktometr přestal velmi brzy

používat. Dalším následníkem byl Rodenstockův oční refraktometr od firmy Rodenstock. Disponoval technickým vylepšením a vzhledem k jeho konstrukci bylo dosaženo i bezreflexního pozorování. Proto byl významně používán po řadu let a byl vystřídán až automatickými refraktometry. K principům použitých u očních refraktometrů se zařadil i Scheinerův pokus. Kde za použití terče obsahující kruhové otvory a předkládáním barevných filtrů, byl zjišťován refrakční stav oka. Scheinerova clona se nadále využívá také u automatických očních refraktometrů. [3]

2.3.1 Hardy-Astronův oční refraktometr

Jedná se o jeden z prvních očních refraktometrů, kde se využíval princip bezreflexního pozorování. Jeho konstrukce byla podobná již známému optometru, sestavovala se z posuvného testu v rovině oftalmoskopické čočky a vyhodnocovacího zařízení. Optickou soustavou oka jsou na sítnici soustředěny paprsky, aby mohly sítnici osvětlit, odráží se přes zrcadlo s kulovým otvorem. Pro individuální změření ametropie je využit Recossův kotouč s výměnnými čočkami v kombinaci se správným posouváním testu.

Přesto že nastal zásadní pokrok, v posuzování zaostřeného testu na sítnici, samotným vyšetřujícím, se tento oční refraktometr přestal používat. Nebylo totiž dosaženo úplného bezreflexního pozorování, ani výměna korekčních čoček v pozorovacím svazku paprsků nepůsobila bez problémů. [3]

2.3.2 Rodenstockův refraktometr

Dalším následníkem očních refraktometrů byl Rodenstockův (Kühlův) prizmatický refraktometr, který na trh uvedla firma Rodenstock. Došlo k technickému zlepšení, dalo se už pracovat s pevnou polohou testové značky a měření refrakce se mohlo provádět souvisle. Postupem času se i docílilo bezreflexního pozorování. Testová značka je umístěna za kondenzorem a zdrojem světla. Ta je vzhledem k využití měřícího prizmatu zobrazena ve dvojnásobné ohniskové vzdálenosti a v původní velikosti. Až poté takto vytvořený obraz slouží oftalmoskopické čočce jako předmět, a může ho v základním postavení promítat do nekonečna. Pakliže je oko emetropické tak se konečný obraz vytvoří na sítnici. V opačném případě, kdy je přítomna ametropie, se musí posouvat měřícím hranolem, aby mohlo dojít k přímému odečítání výsledků.

Využití prizmatu přineslo dvě výhody. Zkrátila se stavební délka refraktometru a posunutí hranolu o půlku odpovídalo dvojnásobné vzdálenosti oproti posunutí samotného testu. U tohoto očního refraktometru se bezreflexního pozorování dosáhlo díky obrazovému ohnisku oftalmoskopické čočky, které se nachází v úrovni pupily, sešikmení stěn hranolu a aperturní clonou pozorovacího systému.

U emetropického oka, se přes jeho optický systém zobrazí hypotetický bod na sítnici do roviny dalekého bodu. Tento bod vzniká v nekonečnu. K výslednému pozorování dalekohledem byl určen až meziobraz, vytvořený oftalmoskopickou čočkou ve svém ohnisku, a s totožným ohniskem druhé pomocné oftalmoskopické čočky.

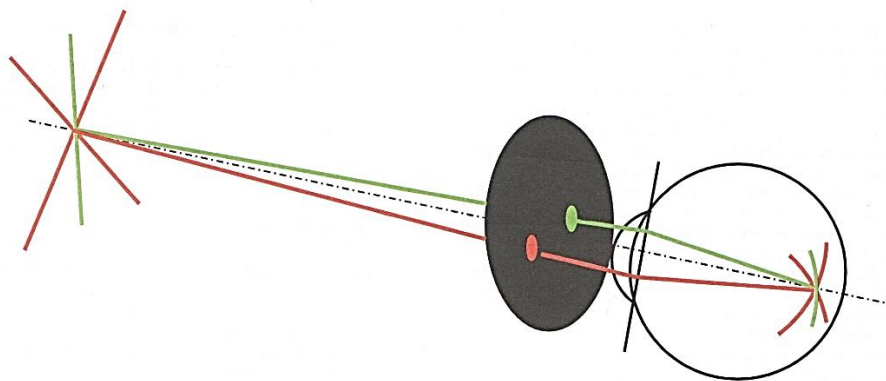
Tento refraktometr byl nedílnou součástí vyšetření objektivní refrakce oka mnoho let, jeho používání vystřídal až automatické přístroje. [3]

2.3.3 Scheinerův pokus

Tato metoda vychází z obecně známého předpokladu, že koincidenční zrková ostrost je až osmkrát vyšší než úhlová zrková ostrost. Přístroje pro měření objektivní refrakce jsou založeny na dvou principech. Dosud se využívalo angulární rozlišení definované mezním kritériem prostřednictvím minima separabile. U Hantingerova refraktometru se nově začal využívat koincidenční princip.

Před oční zornici se umístí neprůhledný terč, na kterém jsou udělané dva otvory umístěny v rozmezí menším, než je velikost průměru pupily. Ze vzdálenosti větší než 5-6 m zobrazíme světelný zdroj. U emetropického oka vzniká na sítnici obraz jednoduchý. V momentě, kdy je přítomna nějaká z ametropií, dochází k příčnému posunutí dvou původně kryjících se parciálních obrazů. U hypermetropie a myopie tedy vzniká rozostřený a dvojitý obraz. Kvůli velkému vlivu hloubky pole na malých stenopeických otvorech clony je lépe vnímáno rozdvojení než rozostření obrazu. Otvory jsou ještě vybaveny komplementárně zbarvenými filtry. Ty nám umožní lepšího vyhodnocení refrakčního stavu. Dochází totiž k zachování stranové orientace barevných otvorů promítaných na sítnici. Bohužel v takto jednoduché formě pokusu, se nepovedlo dosáhnout kvalitních výsledků.

Až další varianta tzv. Bachmeierova (zobrazena na obrázku 3), se stala známější. Zde je využito testu s diagonálně kříženou dvojicí úseček v červené barvě. A středem kříže prochází zelená vertikální úsečka.



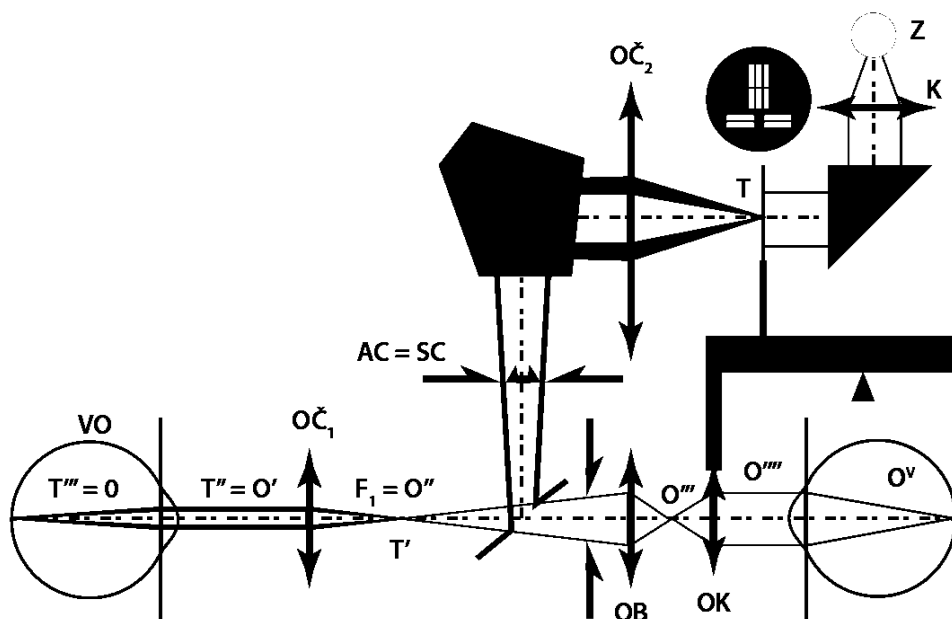
Obrázek 2: Bachmeierova varianta [3]

Pro vyšetření je zapotřebí mít neprůhledný terč s dvěma malými kulatými otvory a filtry v komplementárních barvách. To se pacientovi předkládá před oko a je zajištěno, že přes zelený filtr je vnímána svislá zelená úsečka a přes červený filtr, červený kříž. Pokud pacient vidí svislou čáru procházející středem kříže, obraz se zobrazuje na sítnici. V momentě, kdy tomu tak není, se před oko předkládávají čočky a pomocí nich se měří refrakční hodnota meridiánu. Ten je určen spojnicí obou otvorů Scheinerovy clony a optickou osou oka. Měření se provádí dvakrát při vyhodnocování astigmatismu. Tam je zapotřebí natočit celé uspořádání testu do obou hlavních řezů. [3]

2.3.4 Hartingerův koincidenční refraktometr

Konstrukce tohoto očního refraktometru je složena ze dvou oftalmoskopických čoček, Scheinerovy clony a koincidenční značky pro stanovení hlavních lámavých řezů. [6]

Oftalmoskopické čočky, které mají stejnou optickou mohutnost, jsou umístěny v trojnásobné ohniskové vzdálenosti od sebe. Aby mohl být výsledný obraz promítán prostřednictvím obou čoček do nekonečna, musí být test T vložen do dvojnásobné ohniskové vzdálenosti. Scheinerova clona je umístěna mezi oftalmoskopickými čočkami tak, aby se zobrazila do úrovně rohovky. [3]



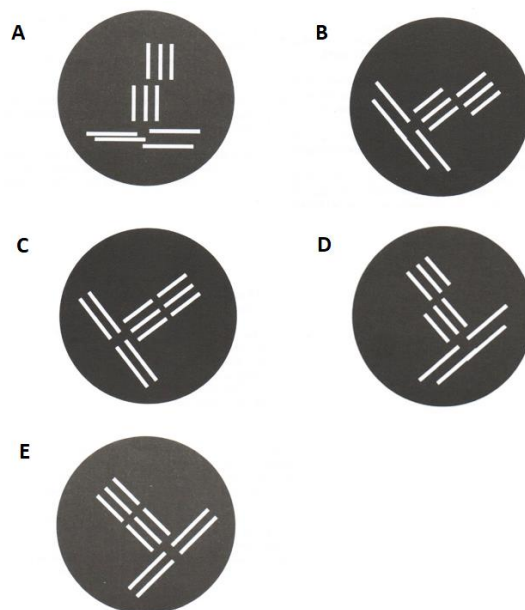
Obrázek 3: Schéma Hartingerova koincidenčního refraktometru [3]

Na obrázku 3 je znázorněna konstrukce Hartingerova koincidenčního refraktometru. Díky své jednoduchosti patřil mezi velmi využívané přístroje pro měření refrakce oka. Přístroj musí být umístěn na křížovém stole, aby se mohl nastavit co nejpřesněji před vyšetřované oko pacienta. Hlava se fixuje pomocí čelní a bradové opěrky.

V první fázi se zaostřují na duhovce pacienta dva poloměščitě segmenty Scheinerovy clony. Na sítnici se testová značka zobrazí pomocí paprsků, které přes ně procházejí. Testové značky jsou v podobě dělených přímek neboli trojce koincidenčních úseček. Spojitost značek slouží ke stanovení úhlové orientace hlavních řezů astigmatismu. V momentě, kdy testové značky jsou neostře a nenavazují na sebe, je zapotřebí je uvést do správné pozice. Při posuzování dvojce úseček, se zjišťuje sférická ametropie. Pro posouzení astigmatismu se využívá trojce úseček. [3, 8]

Při měření pacienta s očním astigmatismem se vyšetřujícímu budou jevit značky jako na obrázku 4 A. Nejprve se snažíme dostat do správné polohy dvojici úseček. Toho docílíme otáčením hlavy přístroje kolem jeho optické osy. Jestliže docílíme situace viz obr. 4 B, znamená to, že jsme našly jeden z hlavních astigmatických řezů. Pro zjištění hodnoty lámavosti astigmatismu, dáváme do koincidence i zbylé dvě trojce úseček, umístěných kolmo na dvojici úseček. Následně vzniká situace, základní postavení, viz. obr. 4 C. Nyní lze na stupnici odečíst hodnoty refrakce přímo v dioptriích, pro první hlavní řez astigmatismu. Abychom zjistili i hodnotu druhého hlavního řezu, musíme měřící hlavu přístroje otočit o 90° .

Vyšetřující uvidí situaci viz. obr. 4 D. Poté zbývá dokončit koincidenční postavení u všech úseček a stanovit refrakční hodnotu i druhého hlavního řezu viz obr. 4 E. [3, 8]



Obrázek 4: Testové značky Hartingerova koincidenčního refraktometru [3]

Nejnovější přístroje tohoto typu se vyznačují velkým rozsahem měřených hodnot axiálních refrakcí v rozmezí od $-38,0$ D do $+18,0$ D. Další zlepšení nastalo i v menší citlivosti přístroje na změnu vzdálenosti vůči měřenému oku i jeho konstrukce se zmenšila, což zlepšilo celkovou manipulaci při měření. [3]

2.4 Automatické refraktometry

Komerční výroba autorefraktometrů se rozšířila v 80. letech 20. století. Cílem bylo zvýšit spolehlivost a rychlost měření objektivní refrakce. Od roku 1985 byly k automatickým refraktometrům přidány automatické keratometry, pro měření základních rozměrů přední plochy rohovky. Tímto vznikly kombinované přístroje. tzv autorefraktokeratometry. [6, 12]

Všechny autorefraktometry používají k osvětlení infračervené záření (NIR - near infra-red) o vlnové délce 800 až 950 nm. Pracují s NIR zářením především proto, že v blízké NIR oblasti je odrazivost od očního pozadí zhruba 10x vyšší než ve viditelné oblasti (rozsah vlnových délek 380–740 nm). Zároveň je výhodnější, že refrakční a transparentní části oka mají v NIR oblasti nejvyšší propustnost. V důsledku toho, je pro měření k dispozici větší intenzita světla. Jelikož zrakový systém člověka není citlivý na infračervené záření,

tak se neaktivuje akomodace a zornicový reflex. Použité světlo tedy nezpůsobuje oslnění pacienta, a průměr zornice i stav akomodace jsou během měření zachovány. [11, 13]

Základní optické uspořádání všech typů automatických objektivních refraktometrů se skládá z dráhy osvětlovacího a detekčního-pozorovacího paprsku. Dráha osvětlovacího paprsku se přes clonu používá k osvětlení očního pozadí pacienta. Dopadající světelný paprsek se odráží a rozptyluje od fundu a poté opouští oko, které je následně detekováno a analyzováno v detekčně pozorovací dráze autorefraktometru prostřednictvím různých metod. [11]

Před měřením, je zapotřebí refraktometr vycentrovat do správné vzdálenosti od zornice pacienta. Na obrazovce se zobrazí obraz duhovky pořízený videokamerou. Vyšetřující na základě snímku provádí nastavení, u některých přístrojů stačí hrubé. Jemné nastavení si přístroj provádí sám. Aby vyšetření mohlo být provedeno správně, je pacient instruován. Hlava musí být opřena o opěrku čela a brady. Následně je pacient požádán o zaměření na fixační bod (například letící horkovzdušný balón, loďku nebo domeček), ten má za úkol odstranit nadbytečnou akomodaci oka. Právě největším zdrojem chyb při měření refrakce vzdáleného bodu je nadměrná akomodace pacienta. [6, 8, 11]

2.4.1 Scheinerova metoda

Scheinerova metoda je založena na principu dvou periferních dílčích paprsků vytvořených kruhovým diskem se dvěma otvory, které se nazývají Scheinerův disk. Není to tedy metoda, která analyzuje kontrast snímku zkušebního obrazu, potřebného ke stanovení axiálního posunu. Po průchodu clonou jsou dílčí paprsky lomeny okem. U emetropického oka se ohniska obou paprsků shodují na sítnici, vytváří se jeden kruhový reflex fundu. Z tohoto důvodu se Scheinerova metoda často nazývá „koincidenční metoda“. U krátkozrakého oka se paprsky protínají před sítnicí. V opačném případě u dalekozrakého oka za sítnicí. Pokud je přítomna některá z ametropií, vytvoří se dva rozostřené reflexy. Tyto paprsky jsou střídavě zakrývány. U krátkozrakého oka zmizí reflex fundu na opačné straně, a u dalekozrakého oka na stejné straně. Pro určení refrakční vady astigmatických očí, je třeba přizpůsobit orientaci clon. [8, 11]

V autorefraktometrech založených na Scheinerově metodě je nahrazení clony realizováno pomocí infračervených světelných diod. Ty jsou vertikálně posunuty od optické osy a umístěny v ohnisku kolimátorové čočky. Následně jsou LED diody zobrazovány

optickou čočkou do roviny zornice pacientova oka a přes mřížku testové značky, která je souhlasná s pohyblivou dírkovou clonou. Ta je v dráze paprsků obou LED diod umístěna tak, že u emetropického oka se tvoří ostrý obraz na sítnici. Pokud se použije stejná poloha dírkové clony pro ametropické oko, tak se vytvoří dva rozostřené body. Reflexy fundu se pak zobrazí pomocí refrakčních částí oka, přes rozdělovač paprsků a oftalmoskopický podsystém na čtyři kvadrantové detektory. Kvadranty detektoru jsou orientovány tak, že jedna z dělicích čar je rovnoběžná s linií obou LED diod. Pro nastavení koincidence obou dílků paprsků se testová značka posouvá podél optické osy. A po jejím zaostření může být signál zaznamenán a vyhodnocen. [8, 11, 12]

U autorefraktometrů založených na Scheinerově metodě může vyšetřující určit hodnotu refrakce a astigmatismu v hlavních meridiánech. Autorefraktometry založené na Scheinerově metodě vyráběla například společnost NIDEK [11]

2.4.2 Metoda retinoskopie

Využití retinoskopické metody v autorefraktometrech je založeno na velmi podobném principu, jako je klasická ruční pásová retinoskopie. První přístroj, který využíval tuto metodu byl Safir ophthalmetron od firmy Bausch+Lomb roku 1971. Jednalo se o automatizovanou verzi ručních retinoskopů založených na vyhledávání bodu probliknutí. Z tohoto způsobu měření mohla být následně vypočítána hodnota refrakce. Vyhodnocování rychlosti reflexu sítnice bylo z hlediska měření rychlejší i cenově výhodnější. Proto se u autorefraktometrů založených na metodě retinoskopie, využívá princip měření rychlosti pohybu sítnicového reflexu. Tato metoda byla záhy nahrazena rychlostním měřením reflexů fundu v rovině zornice (např. firmou Nikon). [11]

Světelný zdroj u těchto přístrojů představovala infračervená LED dioda, uložená v prstenci se štěrbinami. LED dioda je zobrazována pomocí oftalmoskopické čočky do předmětového ohniska tak, aby dopadla na sítnici klientova oka a vytvořil se reflex fundu. Rotující prstenec, který se otáčí konstantní úhlovou rychlostí poté rozděljuje usměrněný paprsek.

Rychlost pohyblivých reflexů na sítnici není závislé na refrakční vadě. Až rychlost a směr pohyblivých reflexů fundu zobrazených v rovině zornice, závisí na refrakčním stavu oka. Ty jsou zaznamenávány čtyřkvadrantovým fotodetektorem, kde je vyhodnocen refrakční stav oka.

U astigmatického oka se musí nejprve určit orientace hlavních meridiánů. K určení hlavních meridiánů se využívá šikmo pohybující se červený reflex, v rovině zornice. Za pomoci Pechanova hranolu, umístěného mezi děličem paprsků a okem pacienta, lze měřit odpovídající lomivé síly. [8, 11]

Tento princip také využívá ruční autorefraktor vyráběný společností Nikon (Retinomax) a autorefraktor dříve nabízený společností Carl Zeiss Meditec (Acuitus). [12]

2.4.3 Metoda nejlepšího zaostření

První vyráběné autorefraktometry využívaly metodu nejlepšího zaostření. Ta je založena na principu zhodnocení obrazu s ohledem na jeho kontrast a ostrost. Na základě těchto dat se upravuje poloha testovací značky. V principu, tato metoda funguje jako automatické zaostřování fotokamery. Důležitá je volba testovací značky. Musí být vhodná pro stanovení ostrosti obrazu i pro vyšetření astigmatických očí, kde je zapotřebí určení hlavních meridiánů.

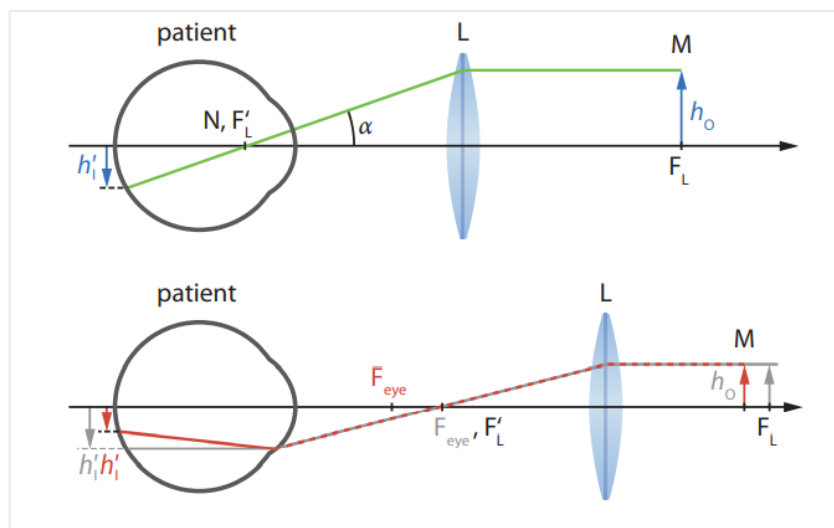
V těchto autorefraktometrech je použita Badalova čočka, ta je umístěna tak, aby se její ohnisko shodovalo s uzlovým bodem oka. Jelikož je po dobu měření vzdálenost mezi Badalovou čočkou a okem konstantní, je konstantní i úhel dopadajícího paprsku. U ametropického oka se obraz na sítnici jeví jako rozmazaný. Refrakční vada je tedy měřena optimalizací ostrosti obrazu. [11]

2.4.4 Metoda velikosti obrazu

U této metody je použito měření, kde je čočka subsystému optometru shodná s předmětovým ohniskem, nikoliv s uzlovým bodem oka. Čímž se liší od ostatních metod. U emetropického oka se testová značka zobrazuje ostře na sítnici. Pokud se změní refrakční síla oka, změní se i velikost sítnicového obrazu. Z toho vyplývá, že tato metoda je jinou modifikací měření, při které se využívá posouzení velikosti obrazů.

V podsystému optometru funguje LED dioda jako primární bodový zdroj. Ta je rozšířena kolimátorovou čočkou a zobrazena čočkou optometru do ohniskové roviny pacientova oka na straně objektu. Za kolimátorovou čočkou se nachází testová značka, která lze posouvat podél optické osy. Čočka optometru zobrazuje testovací značku přes pevnou kruhovou aperturu na oční pozadí. Pevná kruhová apertura se zobrazí do roviny zornice a funguje jako Scheinerova clona. Změnou polohy testové značky vzhledem k čočce

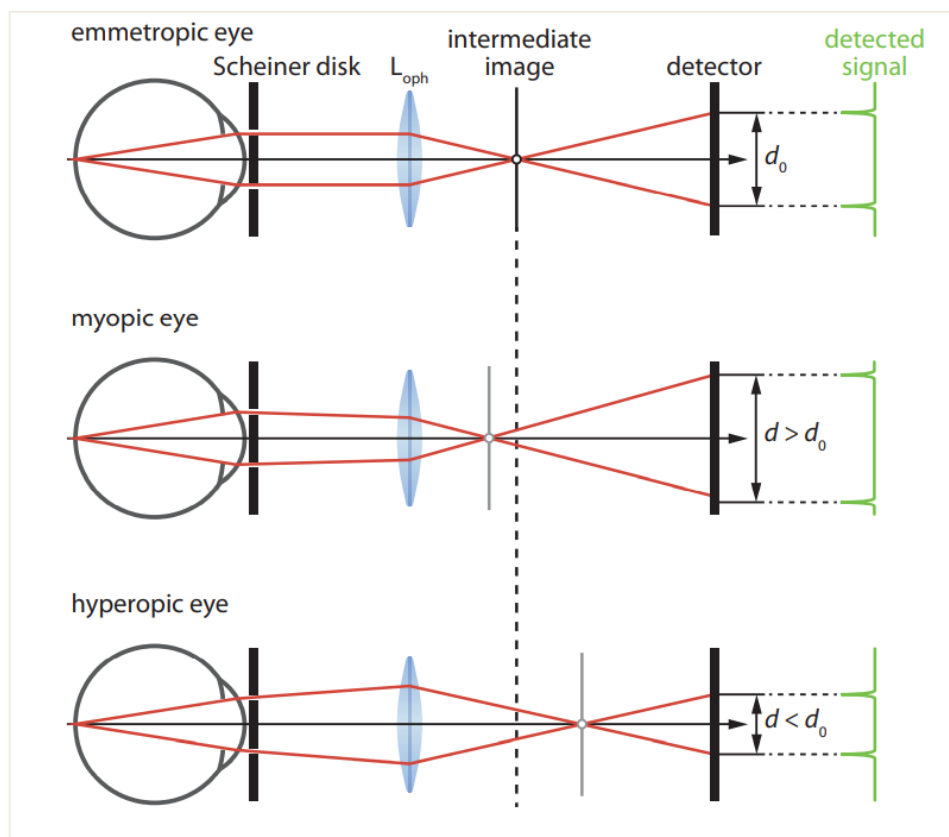
optometru lze vytvořit zaostřený obraz na sítnici. To pouze zvyšuje přesnost vyhodnocení obrazu, ale není to hlavním kritériem měření. Pro měření velikosti obrazu sítnice se využívá CCD kamera. Metoda velikosti obrazu je použita například v autorefraktometrech společnosti Topcon. [8, 11]



Obrázek 5: Srovnání dráhy optického paprsku pro standardní nastavení optometru a pro optometr založený na srovnání velikostí obrazů. [11]

2.4.5 Metoda odrazu paprsků

U této metody se pomocí sekundárního bodového zdroje dosáhne nejvyšší možné hloubky ostrosti fundu. Reflex fundu musí být nezávislý na refrakčním stavu oka. Než světlo fundusového reflexu opustí oko, je lomeno refrakčními optickými prostředími oka. V závislosti na refrakčním stavu je vystupující paprsek u emetropického oka paralelní, u hypermetropického oka divergentní a u myopického oka konvergentní. Scheinerova clona, která je umístěna před okem propouští dva paprsky. Ty jsou oftalmoskopickou čočkou lomeny do obrazové roviny, a nakonec jsou promítnuty na CCD fotodetektor. V rovině detektoru se zobrazí dva rozmazané obrazy reflexu fundu, jejichž relativní vzdálenost se vyhodnocuje. U emetropických očí je referenční vzdálenost d_0 . Pokud je naměřená vzdálenost větší než d_0 , je vyšetřované oko krátkozraké. V opačném případě, kdy je naměřená vzdálenost menší než d_0 , je vyšetřované oko dalekozraké.



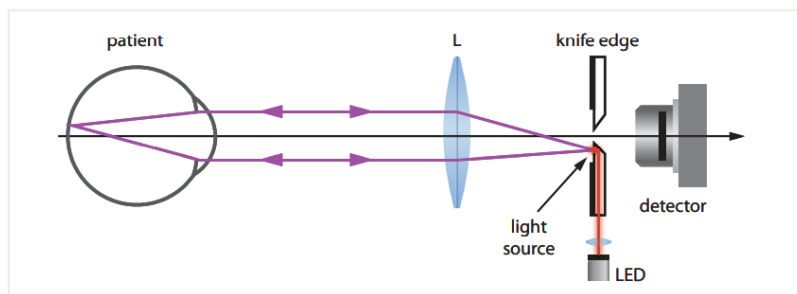
Obrázek 6: Oftalmoskopický subsystém refraktometru založeného na odrazu paprsků. [11]

V praxi se Scheinerův disk se dvěma otvory nahrazuje kruhovou Scheinerovou aperturou. To umožňuje určit refrakci vzdáleného bodu oka ve všech meridiánech současně. Na rozdíl od klasické Scheinerovy metody neposuzujeme axiální posun, ale posun obou reflexních obrazů fundu kolmo na sebe k optické ose. Tuto metodu využívají například refraktometry Canon. [8, 11, 14]

2.4.6 Knife Edge Method

U této metody se využívá jako primární bodový zdroj světla infračervená LED dioda, která je zaostřena na lineární hranu rovné neprůhledné plochy (clony). Infračervená LED dioda je následně prostřednictvím čočky L zobrazena na oční pozadí. Vytvořený reflex fundu se zobrazuje zpět pomocí čočky L do roviny clony. V tomto uspořádání čočka přebírá úlohu optometru i oftalmoskopické čočky. Ohnisko čočky L se nachází v rovině zornice oka. V závislosti na kvalitě vytvořeného obrazu mohou některé paprsky dopadat až k detektoru. To lze průchodem v otvoru clony. Detektorem může být lidské oko pozorovatele (jako

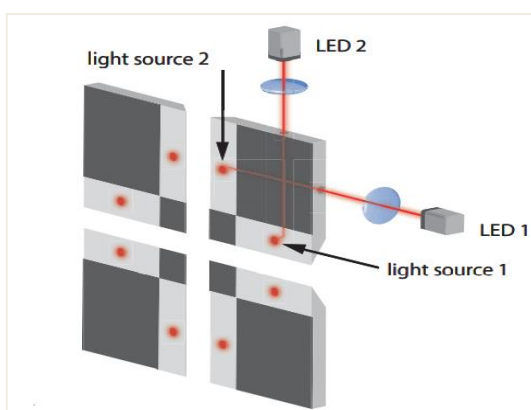
v retinoskopii), fotodetekční zařízení (jako v autorefrakci) nebo fotografický film (jako ve fotorefrakci).



Obrázek 7: Schéma Knife Edge Method [11]

Během měření se hrana clony axiálně posouvá, dokud není dosaženo nulového nastavení. Konstrukce, která je zde použita, se skládá ze čtyř čtvercových hranolů uspořádaných do párů. Každý hranol má seříznuté hrany se zrcadlovou úpravou a je osvětlen dvěma infračervenými LED diodami, které jsou vzájemně kolmo uspořádány. Ty představují primární zdroj světla. Středový otvor clony slouží k detekci odražených paprsků pomocí čtyřkvadrantového fotodetektoru.

Tento typ přístroje umožňuje rozpoznat jen sférické refrakční vady. Pro vyšetření astigmatických očí by bylo zapotřebí do soustavy předložit tórické čočky.



Obrázek 8: Čtvercová hranoly osvětlené infračervenými LED diodami v konstrukci autorefraktometru založeném na Knif Edge Method [11]

Na rozdíl od ostatních principů, na nichž byly založeny automatické objektivní refraktory, pouze jediná společnost uvedla na trh autorefraktometr založený na knife edge

method. Společnost Humphrey Instruments (nyní Carl Zeiss Meditec) nabízela několik variant postavených na podobných optických systémech. [8, 11, 12, 14]

2.5 Přenosné fotorefraktometry

U těchto přístrojů probíhá vyšetření ze vzdálenosti 1 metru nebo jsou v přímém kontaktu s obličejem pacienta. Slouží zejména pro screening kojenců a dětí, ale mohou být využívány i při vyšetření refrakční vady u imobilních či nespolupracujících pacientů. Nesmí se zaměňovat se stolovým autorefraktometrem, který měří refrakční chyby jednoho oka v daném čase a v uměle vytvořeném stavu s fixací do dálky. Tyto přístroje jsou schopné nejenom měřit refrakční stav oka, ale například i průměr a vzdálenost zornic. [15]

Amblyopie (tupozrakost) je nejčastější příčinou snížení zrakové ostrosti v dětství. Častými příčinami jsou chybné refrakce (zejména anizometropie) nebo strabismus. Proto je řádné vyšetření refrakční vady, stanovení správné brýlové korekce a orto-pleoptické cvičení z hlediska prevence amblyopie velmi důležité. [7, 16, 17]

2.5.1 Retinomax

U tohoto přístroje probíhá vyšetření z velmi malé vzdálenosti, jelikož stabilizace přístroje je zajištěna opřením o čelo vyšetřovaného. Pomocí světelných značek je umožněno zjistit nejlepší zaostření na rohovce a dosažení optimální vzdálenosti vyšetření. K zvýšení přesnosti a stability hodnot je přístroj vybaven senzorem pro změnu náklonu a vycentrování přístroje.

Výsledky měření se získají během několika vteřin. Číselné označení nám umožní zjistit spolehlivost naměřených výsledků.

Měřicí rozsah přístroje se pohybuje od -20,00 D do +23,00 D ve sféře a od -12,00 D do +12,00 D v cylindru. Aby se měření mohlo uskutečnit, je zapotřebí minimální průměr zornice 2,3 mm. Pro dosažení přesných výsledků se měření provádí v cykloplegii.

Jelikož se tento přístroj využívá pro měření zejména u dětských pacientů, je vybaven melodií a měnícími se barvami pro upoutání pozornosti. Přístroj také disponuje retroiluminačním módem pro detekci šedého zákalu či lokalizaci cizího tělíska. Refrakce lze naměřit i u pacientů s očním nystagmem, za použití zrychleného programu Quick. [18,19]



Obrázek 9: Ruční autorefraktometr Retinomax K-plus 5 [19]

2.5.2 Plusoptix

Jedná se o screeningový přístroj, tzv. videoretinoskop, který je určen pro měření dětí a batolat. Přístroj provádí screening refrakční vady pomocí fotorefrakce. Refrakce je měřena binokulárně. Není za potřeby provádět rozkapání očí k docílení rozšíření zornice. Vyšetření přístrojem plusoptix je určeno pro děti od 6 měsíců do cca 3 let, v některých případech i pro předškoláky. Pokud jsou výsledky měření v normě, stačí screening provádět jednou do roka.



Obrázek 10: Screeningový přístroj Plusoptix [20]

Přístroj je určený k měření refrakce, rohovkových reflexů a velikosti zornic. Také k odhalení zrakových vad: tupozrakosti, šilhání a astigmatismu. Pokud je výsledek měření pozitivní, mělo by být dítě vyšetřeno komplexně oftalmologem včetně rozkapání očí.

Princip přístroje PlusoptiX S09 je založen na excentrické fotoskiaskopii. Infračervené světlo prochází skrz zornice na sítnici. Z odraženého světla vzniká na zornici podle stupně refrakční vady specifický světelný obrazec. Z charakteru tohoto obrazce jsou následně vypočteny sférické hodnoty refrakce. Měření je opakováno ve třech meridiánech, aby mohla být případně určena také cylindrická oční vada. [7, 20, 21]

Přístroj je kalibrován pro měření ze vzdálenosti z 1 m, a jeho čas trvá přibližně 0,8 sekundy s volitelným zvukovým fixačním podnětem. Měření sférických i cylindrických dioptrií lze v rozsahu od -7,00 D do +5,00 D s krokem 0,25 D. Osu cylindru 1°-180° v 1° krocích. Velikost zornic: 3,0 – 8,0 mm s krokem 0,1 mm. [22]

Dostupné jsou dvě varianty přístrojů. Varianta A, která je určena pro oftalmology a oční specialisty, bez automatických výsledků měření. Výstupem měření Plusoptixem varianty A, je certifikát, který je zapotřebí opatřit podpisem oftalmologa. Jinak nejsou výsledky validní. Naproti tomu varianta S, je vybavena automatickým vyhodnocováním výsledků, která je určena pro pediatry, kteří výsledky měření hodnotí na základě tabulky kritických hodnot schválené Českou oftalmologickou společností a Českou společností dětské oftalmologie a strabologie viz. tabulka 1. [16]

Věk v měsících	Anizometropie [dpt]	Astigmatismus [dpt]	Myopie [dpt]	Hypermetropie [dpt]	Anisokorie [mm]
6-12	2,00	2,50	2,00	4,00	1,50
12-36	1,50	1,50	2,00	3,00	1,50
36-72	1,50	1,00	1,00	2,50	1,50
72-240	1,00	1,00	1,00	2,00	1,50

Tabulka 1: Tabulka ustanovených kritických hodnot pro měření screeningovým přístrojem Plusoptix S [16]

2.5.3 2WIN

Tento přístroj je konstruován jako ruční binokulární refraktometr a analyzátor zraku. Jedná se tedy o přístroj, který měří refrakci na základě excentrické infračervené fotoretinoskopie. Při této technice se infračervené světlo promítá přes zornici pacienta na sítnici. Odražené světlo vytvoří uvnitř zornice obrazec ve tvaru půlměsíce. Sférická refrakce se vypočítá na základě tohoto vytvořeného obrazce. Výpočet cylindru a jeho osy jsou

založeny na stejném principu výpočtu, které se opakuje ve čtyřech meridiánech. Přístroj dále umožňuje při zachování přirozených binokulárních podmínek vyhodnotit směr pohledu, oční zarovnání, průměr zornice, vzdálenost zornic a akomodační rovnováhu/nerovnováhu mezi oběma očima.

Měření probíhá z 1 metru. Pro provoz je zapotřebí vhodných podmínek. Zajištění tlumeného světla pro dostatečnou velikost zornic a k docílení minimální akomodace. Dopadající světlo na pacientův obličej může negativně ovlivnit výsledek měření. Dále je zapotřebí, aby pacientova zornice byla v průměru mezi 3,5 až 11 milimetry. Pro sféru i cylindr je přesnost měření $\pm 0,25$ D v rozsahu ± 5 D. Osa cylindru se udává v rozmezí 1° až 180° s krokem 1° , a s přesností $\pm 5^\circ$. Pokud se výsledná hodnota refrakční chyby dostane mimo rozsah měření, zobrazí se indikátor „high M“ pro myopii nebo „high H“ pro hypermetropii. V tomto případě mohou být výsledky měření nedostupné. Doporučuje se tedy použít zkušební čočka o velikosti ± 10 D a tím docílit vyrovnání refrakce do rozsahu měření.

Výsledky měření jsou opatřeny indexem spolehlivosti. Nejlepší možný výsledek je 9. Aby se mohlo měření považovat za validní, musí být index spolehlivosti minimálně 5, jinak je třeba měření zopakovat. Vyšetření slouží zejména k včasnému odhalení a podchycení amblyopie u dětí. Právě kvůli upoutání pozornosti malých dětí je přístroj vybaven zvukovou a světelnou stimulací. Vyšetřovat lze obě oči současně ale i každé oko zvlášť, dále přístroj umožňuje provést refrakci přes brýle či kontaktní čočky. [23, 24, 25]



Obrázek 11: Binokulární refraktometr 2WIN [23]

3.5.4 Spot Vision Screener VS100

Přístroj byl vyvinut na základě doporučení Americké akademie dětské oftalmologie a strabismu (AAPOS) a Americké pediatrické akademie (AAP). [26] Tento fotoretinoskop pracuje na principu excentrické fotorefrakce (fotoretinoskopie) k odhadu velikosti ametropie na základě charakteristik světelného reflexu v zornici. Je určen pro použití u dětí od 6 měsíců do dospělosti (včetně dospělých jedinců), pod vedením zrakového specialisty. Přístroj umožňuje vést databázi subjektů, místa a času měření, import a export dat, nastavení kritérií podle věku i volbu jazyka. Měření probíhá za tlumeného osvětlení ve vzdálenosti 1 metru v úrovni očí pacienta. Vyšetření nelze provádět u nezastíněného okna v době slunečního svitu, neboť odraz tohoto světla od rohovky (bočního nebo čelního zdroje světa) znemožňuje vlastní měření. V případě nutnosti by měl vyšetřovaný stát zády k rušivému zdroji světla. Přístroj na displeji zobrazí naměřené hodnoty zvláště pro pravé a levé oko. Pokud se naměřené hodnoty nacházejí mimo interval tolerovaných ametropií, signalizuje doporučení dalšího doporučení. V případě selhání binokulární projekce je možné přejít do monokulárního režimu s volbou pravého nebo levého oka. Zařízení umožňuje shromáždit data až 300 záznamů. Měření probíhá v oblasti infračerveného záření o vlnové délce 850 nm a intenzitě menší než 2 mW/cm^2 .

Měření sférického ekvivalentu lze v rozsahu $-7,5 \text{ D}$ až $+7,5 \text{ D}$ v krocích po $0,25 \text{ D}$. Přesnost měření sférického ekvivalentu v rozsahu $-3,5 \text{ D}$ až $+3,5 \text{ D}$ se udává $\pm 0,5 \text{ D}$. U vyšších hodnot je přesnost měření $\pm 1,0 \text{ D}$. Měření cylindrické složky lze v rozsahu $-3,0 \text{ D}$ do $+3,0 \text{ D}$ v krocích po $0,25 \text{ D}$. Přesnost měření v rozměni $-1,5 \text{ D}$ až $+1,5 \text{ D}$ je $\pm 0,5 \text{ D}$. Mimo tento rozsah je přesnost měření $\pm 1 \text{ D}$. Osa cylindru 1° - 180° v krocích po 1° . Přesnost měření pro cylindr větší než $\pm 0,5 \text{ D}$ je ± 10 stupňů. Přístroj měří průměr zornic ve věkové kategorii 0,5 – 19 let v rozmezí 4,0 mm až 9 mm v krocích po 0,1 mm s přesností měření $\pm 0,4 \text{ mm}$. [26, 27, 28]



Obrázek 12: Spot Vision Screener VS100 [29]

4 Experimentální část

Cílem experimentální části bylo vyhodnocení stanovených hodnot objektivní refrakce na základě využití dvou rozdílných principiálních přístupů. Hodnoty pupilární distance, sférické a cylindrické složky objektivní refrakce byly stanoveny pomocí metody nejlepšího zaostření autorefraktometrem (ARK) a fotorefraktometrií za využití přístroje 2WIN. První úlohou bylo stanovení průměrné odchylky měření obou přístrojů, následované komparací objektivně získaných hodnot z obou přístrojů s hodnotami subjektivními. Diferencí jednotlivých parametrů a statistickým vyhodnocením dat bude určena významnost rozdílu získaných hodnot refrakce i pupilární distance. Závěrem bude formulována možnost potenciální využitelnosti screeningového přístupu fotorefraktometrie jakožto alternativy ke konvenční autorefraktometrii v praxi optometristy.

Pro hodnocení výše uvedených parametrů byly stanoveny následující hypotézy:

H_1 : Rozdíl středních hodnot měření hodnot refrakce autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k subjektivní refrakci se statisticky významně neliší.

H_2 : Rozdíl středních hodnot měření pupilární distance autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k měření PD metrem se statisticky významně neliší.

4.1 Metodika

Vyšetření byla uskutečněna v oční optice *Alja optik* v Rakovníku, od prosince roku 2021 do dubna roku 2022. Výzkumu se zúčastnilo 40 probandů z toho 25 žen a 15 mužů. Výběr probandů byl náhodný ve věku od 17 do 67 let. Do výzkumu byly zařazeny osoby s korekcí refrakční vady i osoby, které korekci refrakční vady běžně nepoužívají či nepotřebují. Dle výsledků subjektivní refrakce se výzkumu zúčastnilo 48 myopických očí v dioptrickém rozsahu -6,25 dpt až -0,25 dpt, 22 hypermetropických očí v rozsahu +0,25 dpt až +4,5 dpt a 10 emetropických očí. U všech měření byl dodržen stejný vyšetřovací postup a dodrženy stejné vyšetřovací a světelné podmínky.

Oba přístroje pro vyhodnocení měření objektivních složek refrakce byly nastaveny s přesností na 0,25 dpt, a také před zahájením experimentální činnosti byly oba přístroje kalibrovány. Žádný z probandů při dotazování na anamnézu neuvedl kontraindikační kritéria, která by mohla výzkum významně ovlivnit. Celkové vyšetření trvalo přibližně 30 minut v závislosti na spolupráci a refrakční vadě.

Počet očí:		80
Počet žen:		25
Počet mužů:		15
Průměrný věk:		26,25±10,44
Průměrná hodnota subjektivní refrakce	Sférická kor. [D]	-0,76
	Cylindrická kor. [D]	-0,41
	Osa korekce [°]	113,71
Průměrné PD [mm] stanovené PD metrem		62,40

Tabulka 2: Demografická data

Pro statistické vyhodnocení jsou naměřené sférické a cylindrické dioptrie a osa astigmatismu třemi metodami: autorefraktometrem, přístrojem 2WIN a subjektivní refrakcí. Tyto parametry jsou hodnoceny na souboru 80 očí. Pupilární vzdálenost je změřena přístrojem 2WIN, autorefraktometrem a PD metrem, hodnocen je souboru 40 párů očí.

Prvních dvacet očí bylo změřeno každým přístrojem desetkrát pro určení průměrné směrodatné odchylky měření a ověření správnosti metodiky vyšetření.

Ke statistickému porovnání diferencí subjektivní refrakce vůči objektivní refrakci z přístrojů 2WIN a autorefraktometru byl použit Studentův dvouvýběrový párový t-test v programu Microsoft Excel. Statisticky jsou porovnány parametry refrakce i pupilární vzdálenosti, a to na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Měření pomocí přístroje 2WIN

V prvním kroku vyšetření byl proband změřen přístrojem 2WIN. Pro využití metody fotorefraktometrie je zapotřebí docílit snížených světelných podmínek. Tento výzkum probíhal při intenzitě osvětlení, která se pohybovala v rozmezí 15–20 lux. ve zkontrolované vyšetřovací vzdálenosti 1 m. Další podmínkou bylo zamezení nežádoucí reflexe jiných zdrojů záření od rohovky, která by mohla negativně ovlivnit výsledek měření. V případě, že uvedené podmínky byly dodrženy, mohlo se přistoupit k samotnému měření. Nejprve bylo zapotřebí nastavit věkové rozmezí do kterého daný proband spadá. Nejčastěji se měřilo ve věkovém rozmezí 15 – 50 let. Dále byl proband instruován k pohledu do středu objektivu přístroje. V této fázi vyšetření se může pro upoutání pozornosti (zejména dětí) zapnout světelná a zvuková signalizace. Pokud se nacházíme ve správné vzdálenosti 1 m, na displeji přístroje se zobrazí zelený indikátor a měření refrakce je realizováno. V případě, že správnou

vzdálenost nemáme, svítí na displeji červený indikátor a musíme vyšetřovací vzdálenost upravit. Do výzkumu byly zařazeny výsledky měření s hodnotou relevantnosti měření $\geq R7$.



Obrázek 13: Zobrazení měření a výsledků na displeji binokulárního refraktometru 2WIN [vlastní zpracování]

Měření PD metrem

V druhém kroku se určovala pupilární vzdálenost PD metrem značky B&S, model 238700. Probandovi byl opřen PD metr o čelo a vhodně usazen na nose. Dále byl proband požádán k fixaci zeleného bodu. Pupilární vzdálenost byla nejprve změřena samostatně pro oko pravé a levé na střed pacientovi zornice. Poté byla změřena binokulární pupilární vzdálenost.

Měření pomocí autorefraktometru

Ve třetím kroku mého experimentálního měření probíhalo zjištění refrakčního stavu a pupilární vzdálenosti autorefraktometrem značky Grand Seiko, typ GR-21, kde je implementována metoda měření nejlepšího zaostření. Pacientovi byla upravena výška vyšetřovacího křesla a opěrka brady do komfortní polohy. Dále byl pacient instruován k opření čela a pohledu do dálky na fixační obrázek majáku, aby nedocházelo k nežádoucí akomodaci a ovlivnění výsledné hodnoty refrakce.



Obrázek 14: Autorefaktometr GR-21 a použitý testovací obrázek [vlastní zpracování]

Subjektivní refrakce

V poslední části experimentálního výzkumu se uskutečnilo subjektivní stanovení refrakčního stavu oka. Vyšetření probíhalo na optotypu značky Tomey, model TPC – 3000P ve vzdálenosti 5 m. Nejprve byl vyšetřen naturální visus monokulárně i binokulárně. Dále následovalo monokulární stanovení nejlepší sféry. Korekce myopie probíhala podle pravidla nejslabší rozptylné čočky a hypermetropie podle pravidla nejsilnější spojné čočky. Poté se přešlo k vyšetření astigmatismu na bodovém testu, kde se určila optická mohutnost a osa cylindru pomocí Jacksonova zkříženého cylindru $\pm 0,25$ dpt. Pro sférické dokorigování byl následně použit červenozelený test, kdy bylo cíleno na rovnocennou ostrost textu v červeném a zeleném poli předkládáním $\pm 0,25$ dpt. Následovalo binokulárním vyvážením, za využití třířádkového testu s binokulárním zamlžením $+0,50$ dpt a předsazením filtrů s V polarizací (zvolený optotyp disponuje lineární polarizací). Proband byl následně dotazován na čitelnost a kontrastnost obou řádků. Cílem bylo dosažení rovnocenného kontrastu obou řádků, pokud tomu tak nebylo, postupně se předkládalo $+0,25$ dpt před oko, u kterého pacient viděl kontrastnější řádek. Přítomnost fúze se vyšetřilo na Worthově testu s předsazením červeného filtru před pravé oko a zeleného filtru před oko levé. Přítomnost heteroforie se stanovila na K – testu s fúzním i bez fúzního podnětu. Na závěr byl proveden test na pravé nekonečno s binokulárním předsazením $\pm 0,25$ dpt.

4.2 Výsledky

Prvotním úkolem bylo stanovení průměrných odchylek měření obou přístrojů. Na základě výsledků bylo možné určit, že metodika měření přenosným přístrojem 2WIN je správná a je možné výsledky měření využít k statistickému porovnání s autorefraktometrem viz. tabulka 3.

Průměrná směrodatná odchylka celkem	ARK			2WIN		
	sph	cyl	ax	sph	cyl	ax
	0,32	0,22	13,97	0,24	0,18	14,21

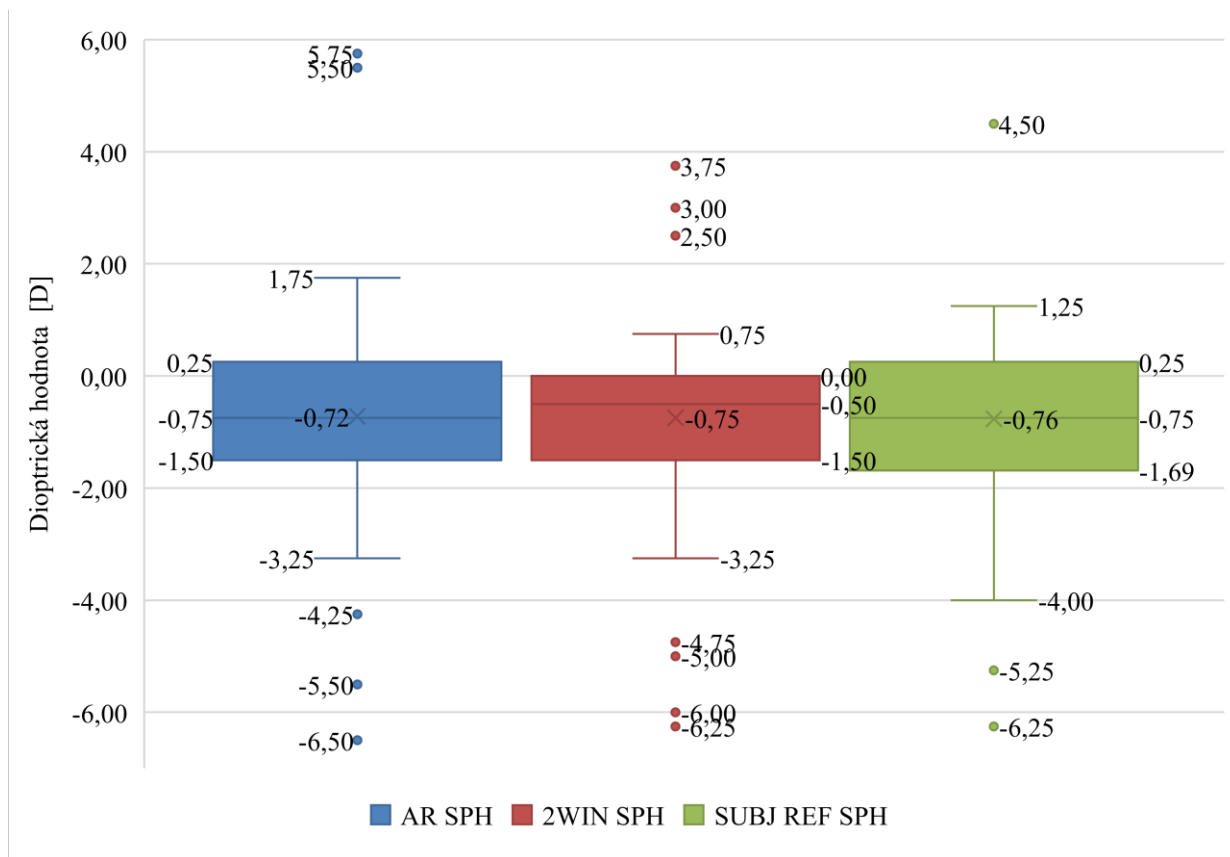
Tabulka 3: Výsledky průměrných směrodatných odchylek

V tabulce 4 je uvedena charakteristika naměřených dat pro následující část, kde byl porovnán výsledný rozdíl hodnot subjektivní a objektivní refrakce (naměřené přístrojem 2WIN a ARK) na souboru 80 očí.

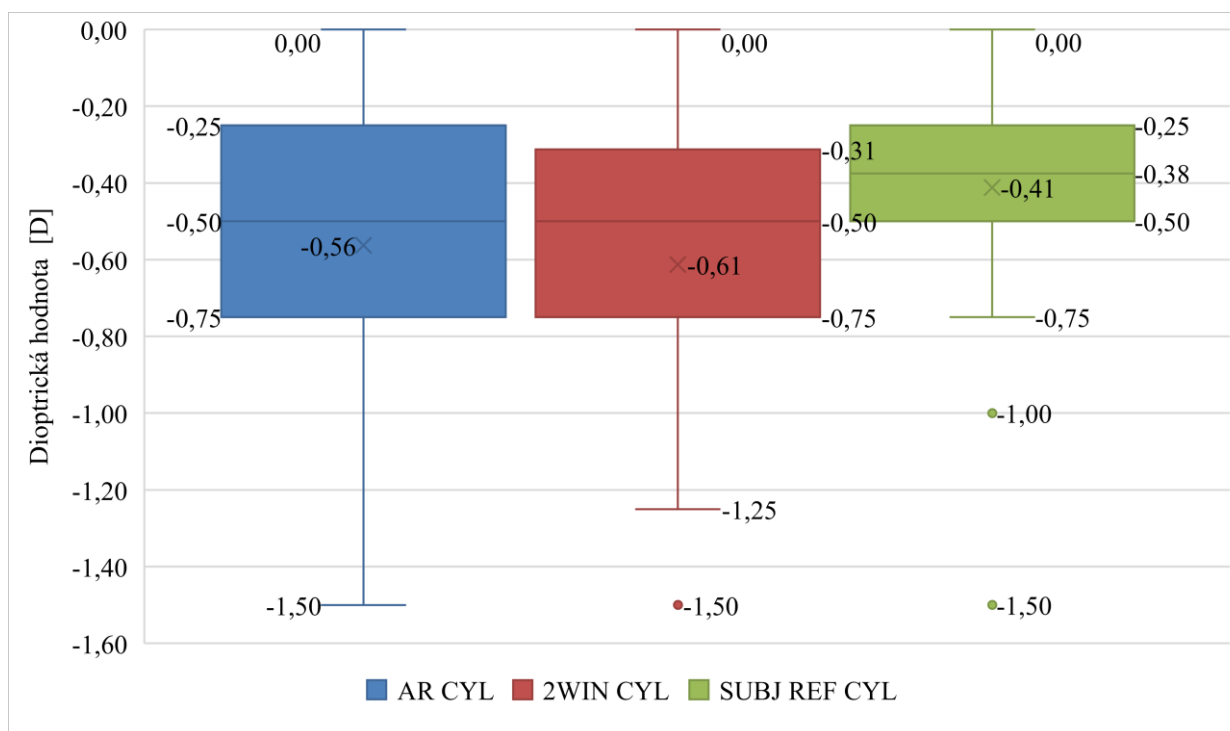
	Sférické dioptrie			Cylindrické dioptrie			Osa astigmatismu		
	SUBJ	ARK	2WIN	SUBJ	ARK	2WIN	SUBJ	ARK	2WIN
Medián	-0,75	-0,50	-0,75	-0,50	-0,50	-0,38	102	121	105
Směrodatná odchylka	1,80	1,68	1,64	0,32	0,35	0,31	56,46	64,42	59,67

Tabulka 4: Charakteristika dat refrakce naměřených subjektivní refrakcí, ARK a přístrojem 2WIN

Na obrázku 15, 16, 17, je grafické znázornění měření sférické, cylindrické složky (a její osy) refrakce prostřednictvím všech tří metod. Jsou zde zaznamenány nejvyšší a nejnižší hodnoty dioptrií a os, hodnoty jednotlivých odlehlých bodů, střední hodnota a průměr.

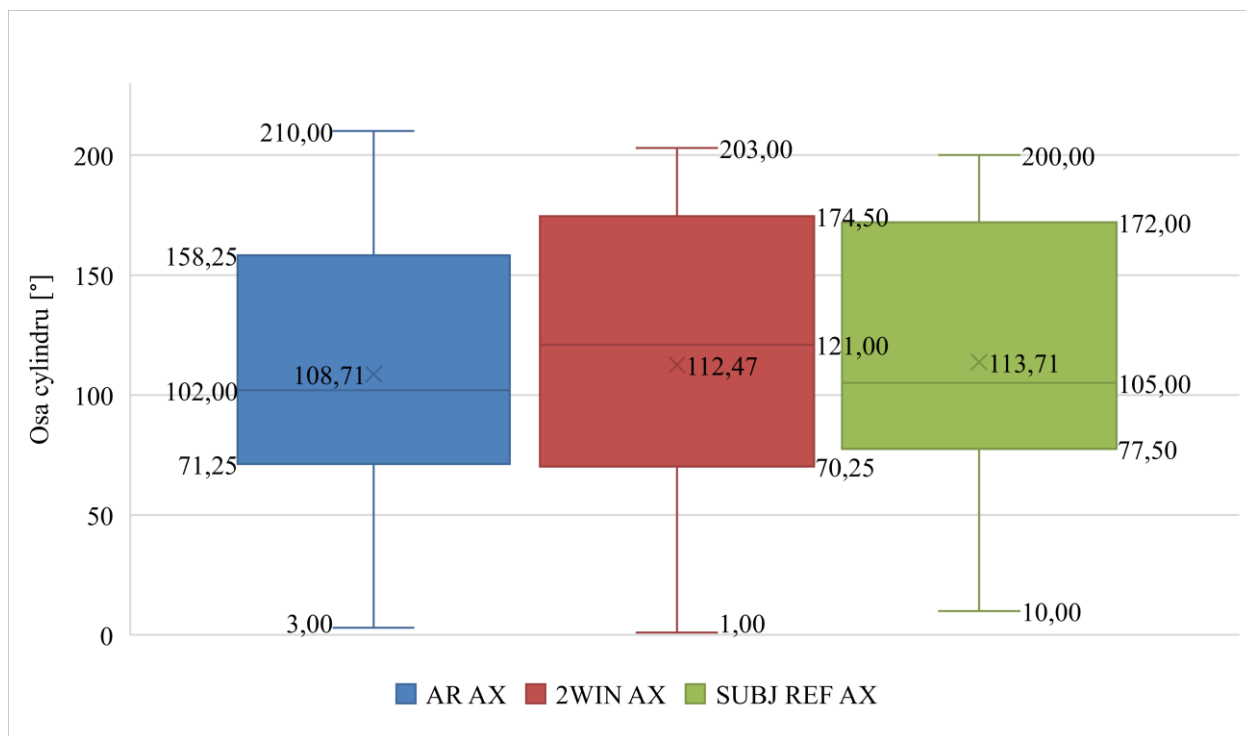


Obrázek 15: Graf měření sférické složky [vlastní zpracování]



Obrázek 16: Graf měření cylindrických dioptrií [vlastní zpracování]

U vyhodnocování osy astigmatismu bylo nutné v některých případech přičíst 180° , jelikož hodnoty oscilovaly kolem osy 0° a nešlo by je z tohoto důvodu mezi sebou správně porovnat. Proto se na obrázku 17 nacházejí i hodnoty přesahující klasické uvádění os astigmatismu v rozmezí 0° - 180° .



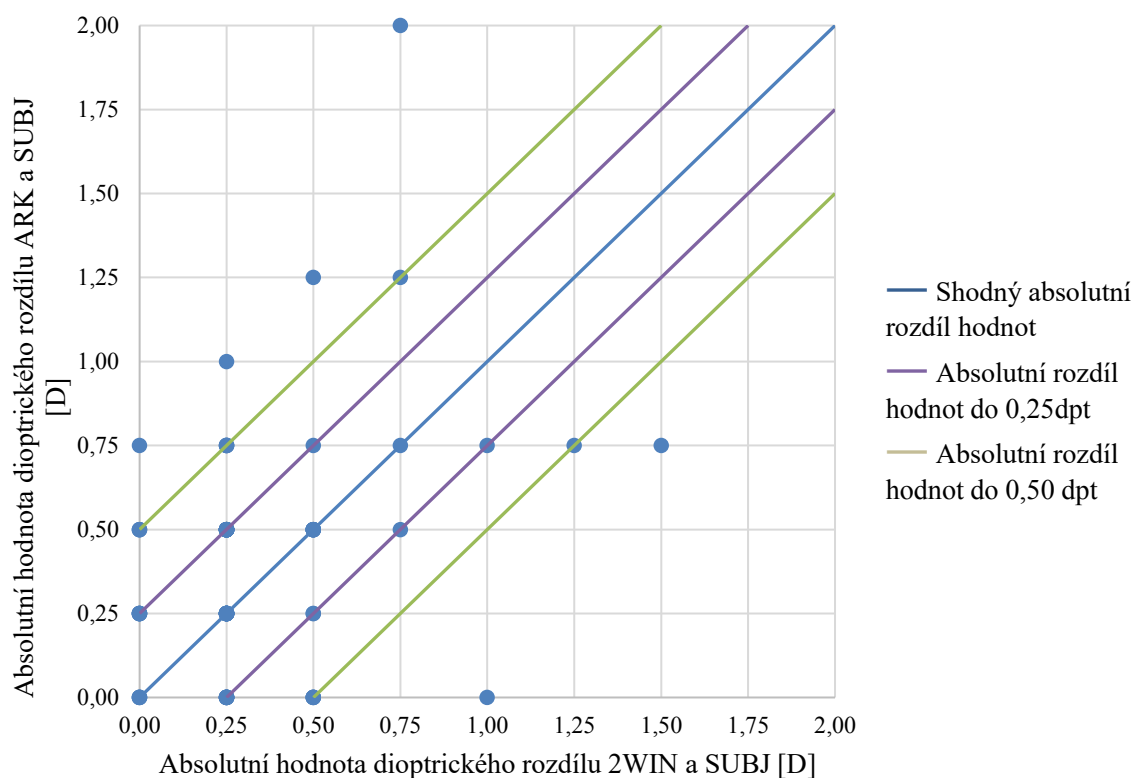
Obrázek 17: Graf měření osy astigmatismu [vlastní zpracování]

První částí statistického zpracování je určení statistické významnosti diferencí refrakce obou přístrojů k subjektivní refrakci viz. tabulka 5.

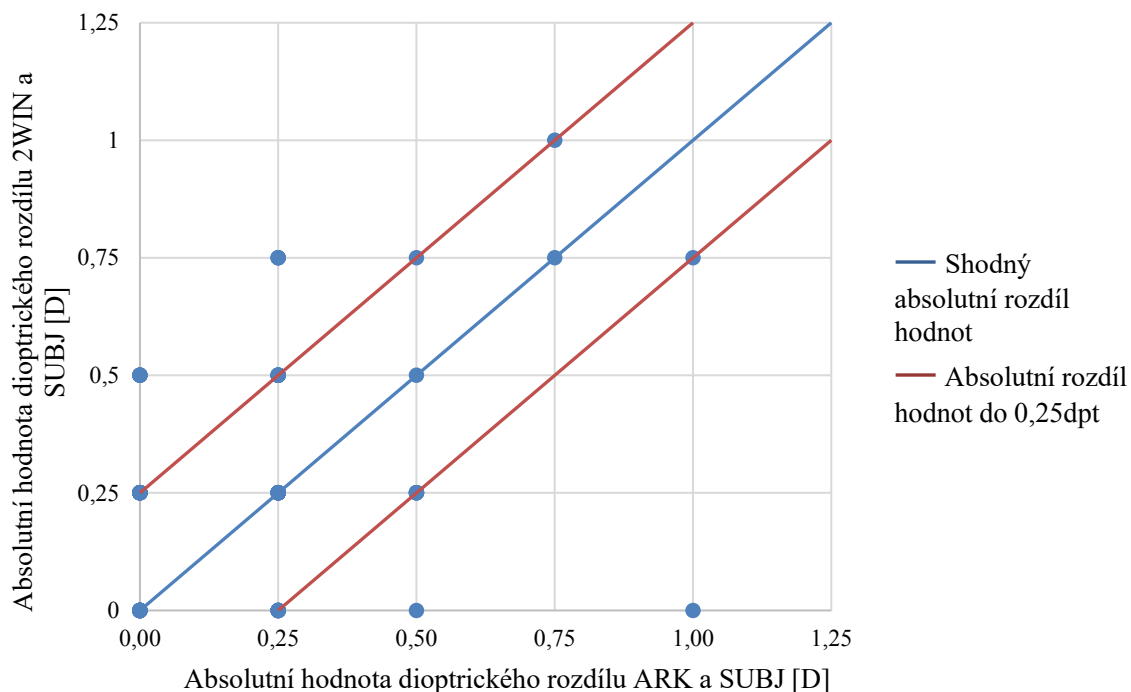
DIFERENCE								
SUBJ – ARK					SUBJ – 2WIN			
	SPH	CYL	AX	PD	SPH	CYL	AX	PD
Průměr	0,32	0,19	25,36	0,66	0,39	0,26	31,20	0,74

Tabulka 5: Uvedené průměrné hodnoty absolutních hodnot diferencí přístrojů vůči subjektivní refrakci.

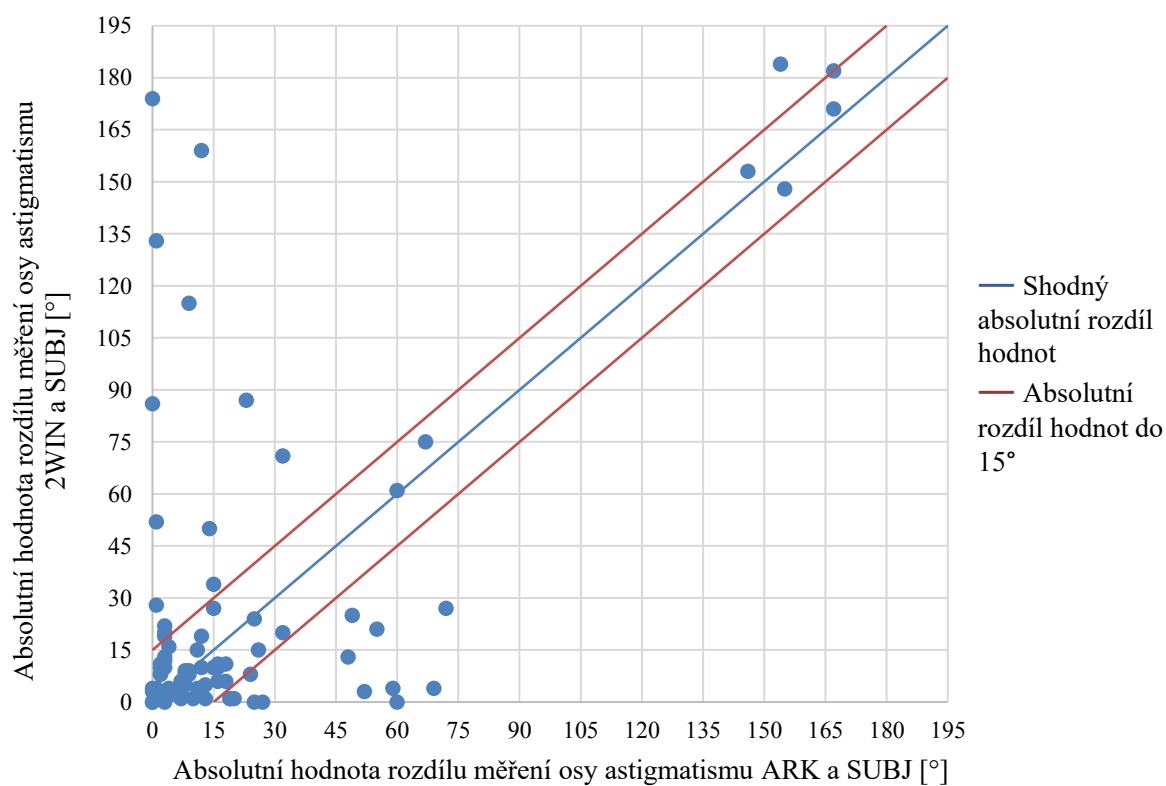
Na obrázcích 18, 19, 20, jsou graficky znázorněné absolutní hodnoty rozdílu v měření oběma přístroji ve vztahu k subjektivní refrakci pro jednotlivé složky refrakce. Body ležící na modré spojnici vyjadřují shodu rozdílů obou přístrojů. Barevné spojnice vyjadřují zvolené hraniční vzdálenosti měření od subjektivní refrakce v hodnotách 0,25 dpt a 0,50 dpt. V rámci sférické hodnoty byla hranici 0,25 dpt překročena v 38 % případů a hranice 0,50 dpt překročilo 7,5 % případů. Cylindrickou složku refrakce rozdílu 0,25 dpt překročilo 12,5 % případů. Klinicky významnou hodnotu rozdílu osy 15° překročilo 36,25 % očí.



Obrázek 18: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u sférické složky [vlastní zpracování]



Obrázek 19: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u cylindrické složky [vlastní zpracování]



Obrázek 20: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u os astigmatismu [vlastní zpracování]

Hypotéza H1 předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření sférické, cylindrické (včetně osy astigmatismu) složky refrakce se autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k subjektivní refrakci statisticky významně neliší. V rámci statistického zpracování dat byla pomocí T-testu stanovena hodnota $p = 0,72$ pro sférickou složku, $p = 0,11$ pro cylindrickou složku a $p = 0,87$ pro osu astigmatismu. U všech složek byla překročena stanovená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Hypotézu H1 tedy nelze zamítnout, absolutní hodnoty difference mezi subjektivní refrakcí a autorefraktometrem i fotorefraktometrem 2WIN se ve vztahu statisticky neliší.

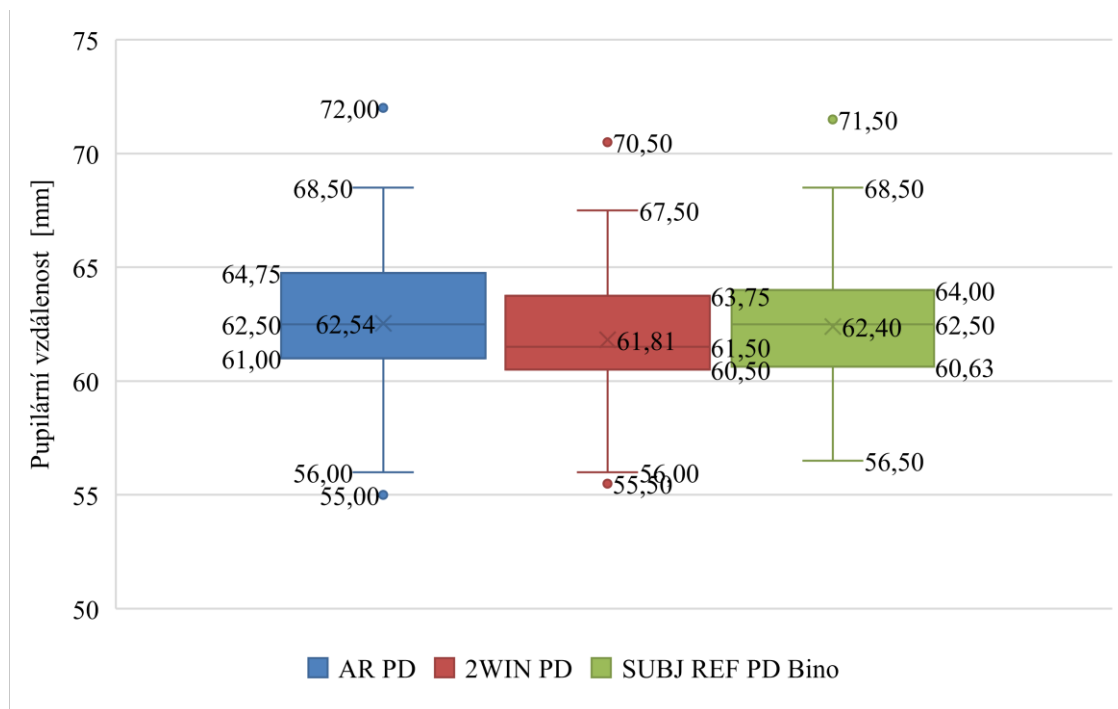
Pro druhou část vyhodnocení dat byla měřena pupilární vzdálenosti autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k PD metru na souboru 40 párů očí. Data, z kterých vychází statistické zpracování jsou uvedena v tabulce 6.

Pupilární vzdálenost			
	PD metr	ARK	2WIN
Počet pozorování	40	40	40
Střední hodnota	62,40	62,54	61,81
Rozptyl výběru	11,52	13,11	10,59
Směrodatná odchylka	3,62	3,25	3,39

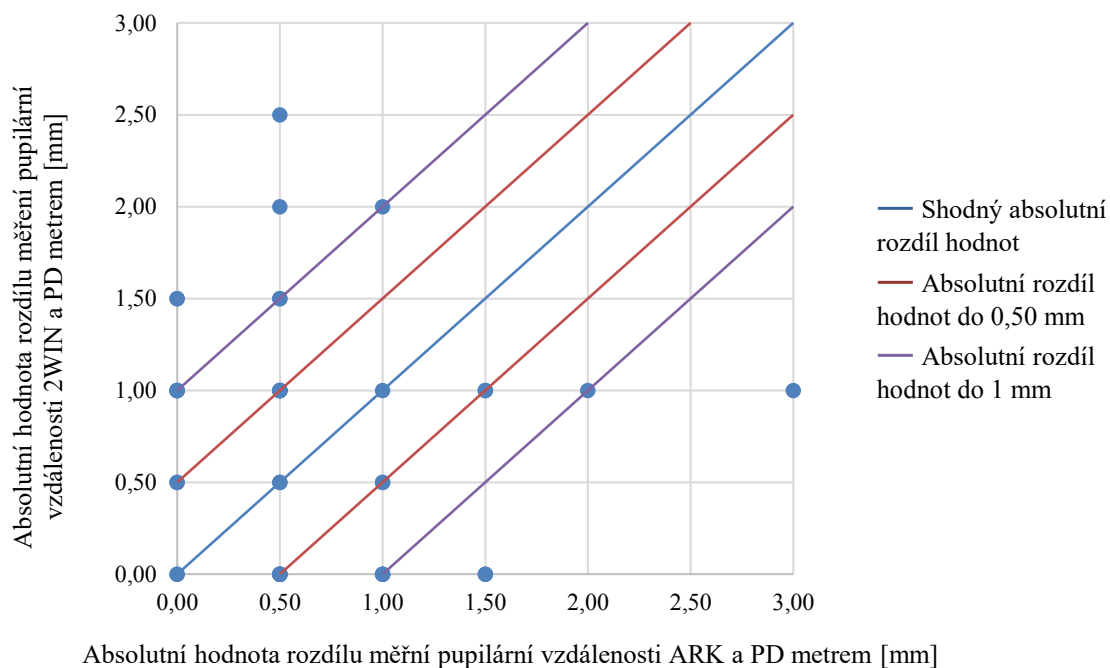
Tabulka 6: Základní charakteristika souboru naměřené pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování]

Na obrázku 21, je grafické znázornění měření pupilární vzdálenosti prostřednictvím všech tří metod. Opět jsou graficky prezentovány nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty, hodnoty jednotlivých odlehlých bodů, střední hodnota a průměr.

Klinickým významným limitem absolutního rozdílu hodnot pupilární vzdálenosti oběma přístroji a PD metrem byly stanoveny hodnoty 0,5 mm a 1 mm, uvedeno graficky na obrázku 22. Hranici 0,5 mm překročilo 45 % případů a hranici 1 mm překročilo 17,5 % případů.



Obrázek 21: Graf měření pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování]



Obrázek 22: Grafické vyjádření rozdílu vzdáleností naměřených hodnot od PD metru u pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování]

Hypotéza H2 předpokládá, že rozdíl středních hodnot měření pupilární vzdálenosti se autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k měření pupilární vzdálenosti PD metrem významně neliší. V rámci statistického zpracování dat byla pomocí T-testu stanovena pro pupilární vzdálenost hodnota $p = 4,55 \times 10^{-7}$. Nebyla tedy překročena stanovená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Hypotézu H2 lze na základě toho zamítnout. Lze tedy říct, že rozdíly autorefraktometru s PD metrem i přístroje 2WIN s PD metrem se statisticky významně liší.

4.3 Diskuze

Předpokladem, pro vykonání experimentální části, bylo posouzení relevantnosti měření z obou přístrojů. To proběhlo na souboru prvních dvaceti očí, které byly změřeny každým přístrojem desetkrát. Na základě výsledků průměrných směrodatných odchylek byla relevantnost měření z obou přístrojů ověřena. Statistické testování bylo provedeno pro jednotlivé složky refrakce a pupilární vzdálenost. Stanovily se průměrné absolutní hodnoty diferencí jednotlivých přístrojů vůči subjektivní refrakci. U autorefraktometru vyšly průměrné absolutní hodnoty rozdílu pro sférickou složku 0,32 dpt, astigmatickou složku 0,19 dpt a její osu 25,36°. Příklad 2WIN vykazoval průměrné absolutní hodnoty rozdílu vůči subjektivní refrakci pro sférickou složku 0,39 dpt, cylindrickou složku 0,26 dpt a její osu 31,20°. Odchylka přístroje 2WIN byla ve všech hodnotách vyšší.

Dalším cílem bylo zjistit, zda se absolutní hodnoty diferencí obou přístrojů vůči subjektivní refrakci statisticky významně liší či nikoliv. První hypotéza H1 předpokládala, že rozdíl středních hodnot měření refrakce autorefraktometrem a přístrojem 2WIN, se ve vztahu k subjektivní refrakci nebude statisticky významně lišit. Následně prostřednictvím t-testu byly získány hodnoty $p = 0,72$ pro sférickou složku, $p = 0,11$ pro cylindrickou složku a $p = 0,87$ pro osu astigmatismu. Hladina významnosti $\alpha = 0,05$ byla překročena u všech složek refrakce. Tímto hypotéza H1 nebyla zamítnuta. Mohu tedy říct, že se v mé experimentální části výsledky měření refrakce autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k subjektivní refrakci statisticky nelišily.

U vyšetření refrakce byly stanoveny (v praxi běžně využívané) klinicky významné hranice. Při měření sférické složky bylo zjištěno, že hranici 0,25 dpt, absolutních diferencí obou přístrojů k subjektivní refrakci, překročilo 38 % hodnot. Hranici 0,50 dpt překročilo 7,5 % hodnot. U cylindrické složky byla stanovena klinicky významná hranice diferencí

přístrojů vůči subjektivní refrakci 0,25 dpt, ta byla překročena u 12,5 % případů. Pro osu astigmatismu byla zvolena hranice 15° a překročena byla v 36,25 %.

Několik zahraničních zdrojů se zabývá podobnou problematikou. Dle studie, kterou Kelechi C. Ogbuehi a kol. prováděli na souboru 86 očí ve věku 20 až 25 let, zjišťovali shodu autorefraktometru Topcon KR8800, přístroje 2WIN a subjektivní refrakci. Z výsledků jejich studie bylo zjištěno, že všechny refrakční složky naměřené přístrojem 2WIN se statisticky významně nelišily od všech složek refrakce stanovených pomocí subjektivní refrakce ($p > 0,05$). Závěr studie se shoduje s výsledky této práce, tedy že výsledné hodnoty z videorefraktometru 2WIN jsou srovnatelné se subjektivní refrakcí. [30]

V druhé části statistického testování se zjišťovala shoda měření autorefraktometrem, přístrojem 2WIN a PD metrem u pupilární vzdálenosti. Druhá hypotéza H2 tedy předpokládala, že není statisticky významný rozdíl při měření pupilární vzdálenosti autorefraktometrem a přístrojem 2WIN, vůči měření pupilární vzdálenosti PD metrem. Průměrná hodnota absolutního rozdílu měření pupilární vzdálenosti autorefraktometrem a PD metrem byla 0,66 mm. U přístroje 2WIN a PD metru byla hodnota 0,74 mm. I zde bylo cílem zjistit, zda se absolutní hodnoty diferencí přístrojů, vůči měření pupilární vzdálenosti PD metrem, shodují. Při vyhodnocení t-testu byla získána hodnota $p = 4,55 \times 10^{-7}$. Na základě toho, byla hypotéza H2 zamítnuta. Byl tedy zjištěn statisticky významný rozdíl měření jednotlivými přístroji. Domnívám se, že tento výsledek vznikl z důvodu, že při měření PD metrem se provádí centrace na střed pacientovy zornice, kde závisí na subjektivním vnímání vyšetřujícího a usazení PD metru na obličej pacienta. Autorefraktometr využívá pro stanovení pupilární vzdálenosti vizuální osu, přičemž přístroj 2WIN ke stanovení pupilární vzdálenosti využívá geometrických středů zornic při fixaci na jeden metr, které jsou přepočítány na pohled do nekonečna. Z výsledků tohoto experimentálního výzkumu, nelze považovat měření pupilární vzdálenosti jednotlivými přístroji vůči PD metru shodné. Což je patrné i z grafického vyjádření absolutních hodnot rozdílů a stanovení klinicky významných hranic, kde hranice 0,50 mm byla překročena ve 45 % případů a hranice 1 mm u 17,5 % případů.

5 Závěr

V práci byla uvedena teorie jednotlivých metod stanovení objektivní refrakce: oftalmoskopie, skiaskopie, fotoretinoskopie, oční refraktometry a autorefraktometry. Byly zmíněny jejich parametry, způsob měření a možnosti provedení, které jsou častokrát limitací pro určitou skupinu pacientů. Kapitola přenosných refraktometrů sloužila zejména k zmínění důležitosti včasného odhalení refrakčních vad u dětí, a s tím souvisejícího rizika vzniku amblyopie. Jelikož jsou běžně dostupné stolní refraktometry svými parametry pro vyšetření dětí nevhodné, přechází se k screeningové metodě. Tento způsob vyšetření se v posledních letech rozšířil a s tím i výroba přístrojů založených na měření refrakce pomocí fotoretinoskopie. Jelikož se jedná o přístroje založené na principu fotoretinoskopie probíhá u nich vyšetření při zachování binokulárních podmínek ze vzdálenosti 1 m. To přináší otázku ohledně přesnosti měření těchto přístrojů. Cílem mé praktické části bylo provést měření refrakčního stavu oka prostřednictvím autorefraktometru, fotoretinoskopu 2WIN a subjektivní refrakce. A z těchto dat statisticky vyhodnotit difference měření autorefraktometru a přístroje 2WIN ve vztahu k subjektivní refrakci. Následně uvést využitelnost fotoretinoskopie, jako alternativu ke konvenční autorefraktometrii.

Stanovily se dvě hypotézy. H1 předpokládala, že se střední hodnoty měření hodnot refrakce autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k subjektivní refrakci nebudou významně lišit. Hypotéza H2 předpokládala, že se střední hodnoty měření pupilární vzdálenosti autorefraktometrem a přístrojem 2WIN ve vztahu k měření pupilární vzdálenosti PD metrem nebudou významně lišit. Prostřednictvím t-testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nebylo možné hypotézu H1 zamítnout ($p > 0,05$). Tím jsem ve své práci potvrdila, že je přístroj 2WIN stejně spolehlivý, pro prvotní měření refrakce, před samotným subjektivním vyšetřením. Nepochybně k jeho dalším výhodám patří skladnost, nižší pořizovací cena než u klasických autorefraktometrů, rychlost měření, vyšetřovací vzdálenost, zachování binokulárních podmínek a uživatelská jednoduchost.

Prostřednictvím t-testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla hypotéza H2 zamítnuta ($p < 0,05$). Na základě toho, jsem potvrdila že je statisticky významný rozdíl, při měření pupilární vzdálenosti přístrojem 2WIN a autorefraktometrem ve vztahu k měření pupilární vzdálenosti PD metrem. Dle mého názoru, to je způsobené tím, že centrace pupilární vzdálenosti PD metrem byla manuálně prováděna na střed pacientovy zornice, kde i velkou roli hraje správné usazení na pacientův obličej. Kdežto autorefraktometrem pro stanovení pupilární

vzdálenosti využívá vizuální osu a přístroj 2WIN využívá geometrických středů zornic pro fixaci na jeden metr, které jsou přepočítány na pohled do nekonečna.

Seznam použité literatury

- [1] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [2] BEDINGHAUS, Troy. Refraction Tests in Eye Exams. *Verywell health* [online]. 9. 7. 2020 [cit. 2022-01-06]. Dostupné z: <https://www.verywellhealth.com/refraction-in-your-eye-or-vision-exam-3421821>
- [3] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometry a oftalmologii*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [4] MESLIN, Dominique. *Practical Refraction*. Paris, France: ESSILOR ACADEMY EUROPE, 2008. ISBN 979-10-90678-22-4
- [5] 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.
- [6] SEVERA, David a Petr VESELÝ. *Základy metod korekce refrakčních vad: Objektivní metody korekce refrakčních vad* [online]. 2016 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/pages/02-objektivni-metody.html
- [7] *Www.videris.cz* [online]. Praha: Videris, 2010 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.videris.cz/plusoptix-pro-pediatry>
- [8] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [9] Ophthalmoscopes. College of Optometrists - Professional body for optometrists [online]. Copyright © Royal College of Ophthalmologists [cit. 30.10.2021]. Dostupné z: <https://www.college-optometrists.org/the-college/museum/onlineexhibitions/virtual-ophthalmic-instrument-gallery/o>
- [10] HLOŽÁNEK, Martin a Blanka BRŮNOVÁ. *Přístrojová technika v oftalmologii*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902160-9-9.
- [11] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2014. ISBN 978-3-527-41068-2.
- [12] BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, 2006, xviii, 1694 p. ISBN 07-506-7524-1.
- [13] DOSHI, Sandip, Bill HARWEY, W. *Eye Essentials: Eye Essentials: Assessment & Investigative Techniques*, ed.1., Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2005, ISBN: 978-0-7506-8853-6.
- [14] SHAH, Brinda a Partha Haradhan CHOWDHURY. Principles of autorefractometer. *Green Publication*. 2020, 6(4), 4. ISSN 2208-2670.
- [15] *2WIN Operator manual* [online]. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <http://ftpuso.com/manuals/Adaptica/2WIN.pdf>

- [16] ZOBANOVÁ, Anna. *Doporučený postup screeningového testu přístroje Plusoptix*. 2014.
- [17] Gekeler F, Schaeffel F, Howland HC, Wattam-Bell J. Measurement of astigmatism by automated infrared photoretinoscopy. *Optom Vis Sci*. 1997 Jul;74(7):472-82. doi: 10.1097/00006324-199707000-00013. PMID: 9293513.
- [18] *Retinomax 2* [online]. Japan: Nikon, 1999 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://oftis-opta.cz/wp-content/uploads/2014/01/Retinomax-2-prospekt.pdf>
- [19] *Retinomax K-plus 5* [online]. Japan: Right MfG, 2019 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.optiekvision.nl/wp-content/uploads/2019/05/Retinomax5-L.pdf>
- [20] PILKOVÁ, Gabriela. *Plusoptix* [online]. 21.03.2016 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.detskeoci.cz/jak-probiha-vysetreni-plusoptix/>
- [21] Rajavi Z, Sabbaghi H, Baghini AS, Yaseri M, Sheibani K, Norouzi G. Prevalence of Color Vision Deficiency and its Correlation with Amblyopia and Refractive Errors among Primary School Children. *J Ophthalmic Vis Res*. 2015 Apr-Jun;10(2):130-8. doi: 10.4103/2008-322X.163778. PMID: 26425314; PMCID: PMC4568609.
- [22] *Plusoptix User manual* [online]. 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: https://plusoptix.com/fileadmin/Downloads/Pproducts/Vision_Screeners/BA_S12C_S16/Plusoptix_User_manual_Vision_Screener_S12C_und_S16_CAD_20200506_en-us.pdf
- [23] *2WIN Operator manual* [online]. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <http://ftpuso.com/manuals/Adaptica/2WIN.pdf>
- [24] YALCIN, Elvan, Pinar SULTAN, Senay YILMAZ a Ioannis G. PALLIKARIS. A Comparison of Refraction Defects in Childhood Measured Using Plusoptix S09, 2WIN Photorefractometer, Benchtop Autorefractometer, and Cycloplegic Retinoscopy. *Seminars in Ophthalmology* [online]. 2017, 32 (4), 422-427 [cit.2021-12-29]. ISSN 0882-0538. Dostupné z: doi:10.3109/08820538.2015.1118135
- [25] GONÇALVES, Bruno Viana, Keila Miriam Monteiro de CARVALHO, Nilza MINGUINI, Milton Ruiz ALVES a Fernanda Maria SOUTO. Comparison of refractometric measurements using 2win® Photoscreener and manual retinoscopy in asymptomatic preschoolers. *Revista Brasileira de Oftalmologia* [online]. 2021, 80(1) [cit. 2022-05-06]. ISSN 0034-7280. Dostupné z: doi:10.5935/0034-7280.2021000
- [26] *Welch Allyn Spot Vision Screener Model VS100: Directions for use*. New York, 2019. Dostupné také z: <https://www.welchallyn.com/content/dam/welchallyn/documents/upload-docs/user-testing/80024081A.pdf>
- [27] Crescioni M, Miller JM, Harvey EM. Accuracy of the Spot and Plusoptix photoscreeners for detection of astigmatism. *J AAPOS*. 2015 Oct;19(5):435-40. doi: 10.1016/j.jaapos.2015.07.284. PMID: 26486025; PMCID: PMC4617546.
- [28] Peterseim MM, Papa CE, Wilson ME, Davidson JD, Shtessel M, Husain M, Cheeseman EW, Wolf BJ, Trivedi R. The effectiveness of the Spot Vision Screener in

detecting amblyopia risk factors. J AAPOS. 2014 Dec;18(6):539-42. doi: 10.1016/j.jaapos.2014.07.176. PMID: 25498463; PMCID: PMC4507562.

[29] *Hill-Rom Services, Inc.* [online]. 2021 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.hillrom.com/en/products/spot-vision-screener/>

[30] Ogbuehi, Kelechi & Almalki, Wael & Alqarni, Ahmed & Osuagwu, Uchechukwu. (2015). Reliability and Reproducibility of a Handheld Videorefractor. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry.* 92. 10.1097/OPX.0000000000000566.

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ARK	autorefraktometr
CCD	Charge-coupled device
LED	Light-Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda
NIR	Near infra-red
OPT	Vyšetřující osoba
PD	Pupilární vzdálenost
PZ	Polopropustné zrcadlo
SUBJ	Subjektivní refrakce
VO	Vyšetřovaná osoba
Z	Zdroj světla

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma přímé oftalmoskopie [3]	4
Obrázek 2: Bachmeierova varianta [3]	9
Obrázek 3: Schéma Hartingerova koincidenčního refraktometru [3].....	10
Obrázek 4: Testové značky Hartingerova koincidenčního refraktometru [3].....	11
Obrázek 5: Srovnání dráhy optického paprsku pro standartní nastavení optometru a pro optometr založený na srovnání velikosti obrazů. [11].....	15
Obrázek 6: Oftalmoskopický subsystém refraktometru založeného na odrazu paprsků. [11]	16
Obrázek 7: Schéma Knife Edge Method [11].....	17
Obrázek 8: Čtvercová hranoly osvětlené infračervenými LED diodami v konstrukci autorefraktometru založeném na Knif Edge Method [11].....	17
Obrázek 9: Ruční autorefraktometer Retinomax K-plus 5 [19]	19
Obrázek 10: Screeningový přístroj Plusoptix [20].....	19
Obrázek 11: Binokulární refraktometr 2WIN [23]	21
Obrázek 12: Spot Vision Screener VS100 [29]	23
Obrázek 13: Zobrazení měření a výsledků na displeji binokulárního refraktometru 2WIN [vlastní zpracování]	26
Obrázek 14: Autorefraktometr GR-21 a použitý testovací obrázek [vlastní zpracování].....	27
Obrázek 15: Graf měření sférické složky [vlastní zpracování].....	29
Obrázek 16: Graf měření cylindrických dioptrií [vlastní zpracování].....	29
Obrázek 18: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u sférické složky [vlastní zpracování]	31
Obrázek 19: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u cylindrické složky [vlastní zpracování].....	32
Obrázek 20: Grafické vyjádření rozdílu naměřených hodnot od subjektivní refrakce u os astigmatismu [vlastní zpracování]	32
Obrázek 21: Graf měření pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování]	34
Obrázek 22: Grafické vyjádření rozdílu vzdáleností naměřených hodnot od PD metru u pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování].....	34

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka ustanovených kritických hodnot pro měření screeningovým přístrojem Plusoptix S [16]	20
Tabulka 2: Demografická data	25
Tabulka 3: Výsledky průměrných směrodatných odchylek.....	28
Tabulka 4: Charakteristika dat refrakce naměřených subjektivní refrakcí, ARK a přístrojem 2WIN	28
Tabulka 5: Uvedené průměrné hodnoty absolutních hodnot diferencí přístrojů vůči subjektivní refrakci.	30
Tabulka 6: Základní charakteristika souboru naměřené pupilární vzdálenosti [vlastní zpracování]	33

Příloha

Naměřená data z autoreftaktometru, přístroje 2WIN a subjektivní refrakce.

Pořadí	ID	Oko	ARK			2WIN			SUBJ					
			PD	SPH	CYL	AX	PD	SPH	CYL	AX	PD	SPH	CYL	AX
1	M98KDR	R	61,5	0,25	-0,75	179	61,5	0,25	-1,00	194	61,5	0,25	-0,50	190
2	M98KDL	L		0,00	-0,50	28		0,25	-1,00	11		0,25	-0,50	20
3	Ž04KAR	R	62,5	-2,25	-0,75	6	61,5	-0,25	-1,25	7	61,5	-1,50	-0,50	15
4	Ž04KAL	L		-2,75	-0,75	141		-0,50	-0,75	168		-1,25	-0,50	140
5	Ž98DKR	R	61	-2,75	-0,50	102	60,5	-2,75	-0,25	85	61,5	-3,00	-0,75	105
6	Ž98DKL	L		-2,00	-0,25	194		-1,75	-0,50	178		-2,25	-0,25	170
7	Ž99HLR	R	62	-6,50	-0,75	89	62	-6,25	-0,50	125	62	-6,25	-0,50	75
8	Ž99HLL	L		-5,50	-1,00	129		-6,00	-0,75	119		-5,25	-0,50	132
9	M96MNR	R	65,5	0,75	-0,50	137	64	-0,50	-0,50	138	64	0,25	-0,25	162
10	M96MNL	L		0,75	-0,25	148		-0,25	-0,75	179		0,25	-0,50	160
11	Ž00PKR	R	59,5	5,50	-0,75	135	58,5	3,75	-0,50	123	57,5	4,50	-0,50	150
12	Ž00PKL	L		5,75	-0,50	3		3,75	-0,50	15		4,50	-0,25	35
13	Ž00EJR	R	62	-3,25	-0,50	71	61,5	-3,25	-0,50	135	62	-3,75	-0,25	48
14	Ž00EJL	L		-2,25	-0,50	210		-2,25	-0,50	176		-2,25	-0,50	155
15	M99LTR	R	68,5	-1,75	-0,75	146	67	-1,50	-0,75	153	68	-2,00	0,00	
16	M99LTL	L		-1,50	-0,50	185		-1,50	-0,25	190		-2,00	-0,25	200
17	M03EJR	R	62,5	-1,50	-1,00	7	61,5	-1,75	-0,75	10	62,5	-1,75	-0,75	15
18	M03EJL	L		-0,50	-1,00	173		-0,25	-1,00	179		-0,75	-1,00	180
19	M99LKR	R	66	0,50	-0,75	84	65,5	0,75	-1,00	84	65,5	0,25	-0,75	93
20	M99LKL	L		0,50	-0,50	107		0,75	-0,50	113		0,25	-0,50	105
21	Ž00JVR	R	56,5	0,25	-0,25	27	57,5	0,00	0,00		57	0,00	0,00	
22	Ž00JVL	L		0,50	-0,25	72		0,00	-0,25	27		0,00	0,00	
23	Ž99ŠER	R	67	-0,75	-0,50	132	67,5	-0,50	0,00		67,5	0,00	-0,25	133
24	Ž99ŠEL	L		-0,75	-0,50	60		-0,50	-0,25	61		-0,50	0,00	
25	Ž99MVR	R	62	0,25	-0,25	148	61	0,25	-0,50	203	62	0,00	-0,25	200
26	Ž99MVL	L		0,50	-0,25	102		0,50	-0,75	163		0,00	-0,25	150
27	Ž00CAR	R	63	-0,75	-0,50	84	62,5	-0,50	-0,50	62	62,5	-0,50	-0,50	72
28	Ž00CAL	L		-1,00	-0,50	155		-0,75	-0,25	148		-0,75	0,00	
29	Ž01ZKR	R	62	-0,50	-0,50	182	61,5	-0,75	-0,75	186	62	-1,00	-0,25	15
30	Ž01ZKL	L		-0,25	-0,75	159		-0,50	-0,75	177		-0,50	-0,75	178
31	Ž00MDR	R	61	-0,50	-1,25	95	61,5	-0,50	-1,50	86	62,5	-0,75	-0,50	97
32	Ž00MDL	L		-0,50	-0,75	93		-0,50	-1,00	91		-1,25	-0,25	92
33	M00TSR	R	68	-0,75	-0,50	132	66,5	-0,75	-0,50	171	68,5	-1,00	-0,50	100
34	M00TSL	L		-0,75	-0,25	56		-0,50	-0,75	3		-1,00	-0,25	55
35	M00JVR	R	60	1,25	-1,25	79	59	0,25	-1,00	101	60	0,75	-0,75	95
36	M00JVL	L		1,00	-0,75	86		0,25	-0,75	88		0,75	-0,50	90
37	Ž00VGR	R	58	-0,75	-0,25	174	57	-0,50	-0,50	166	58,5	-1,00	-0,25	170
38	Ž00VGL	L		-0,75	0,00			-0,75	0,00			-0,50	0,00	
39	Ž99HTR	R	58	-1,50	-0,25	167	57,5	-1,50	-0,25	166	57,5	-1,00	-0,50	160
40	Ž99HTL	L		-2,50	-0,25	16		-2,75	-0,25	11		-2,25	0,00	
41	Ž95PMR	R	61	0,00	-0,50	101	60,5	-0,25	-0,50	164	61,5	0,25	-0,25	160

42	Ž95PML	L		0,00	-0,25	21		0,00	-0,50	9		0,00	-0,25	25
43	Ž93KDR	R	62	-1,50	-0,25	173	60	-1,25	-0,50	177	62,5	-1,50	-0,25	180
44	Ž93KDL	L		-1,25	-0,75	21		-0,75	-1,00	24		-0,75	-1,00	20
45	Ž98HMR	R	55	-0,75	-0,50	206	55,5	-0,25	-1,00	195	56,5	-0,25	-0,25	180
46	Ž98HML	L		0,00	-0,75	172		0,00	-1,00	178		0,25	-0,50	170
47	M99TVR	R	63	0,75	-1,00	167	62	0,25	-0,75	182	63	0,50	0,00	
48	M99TVL	L		0,75	-0,25	189		0,25	-0,50	163		0,75	-0,25	178
49	Ž00KŠR	R	60	-0,75	0,00		60,5	-0,25	0,00		60,5	-0,25	0,00	
50	Ž00KŠL	L		-1,00	-0,50	49			-0,25	25		0,00	0,00	
51	M94TMR	R	67	0,25	-0,50	159	65,5	0,25	-0,75	165	67	0,50	-0,50	175
52	M94TML	L		0,50	-0,75	30		0,25	-0,75	9		0,50	-0,75	10
53	M65JAR	R	72	1,75	-1,00	92	70,5	2,50	-1,25	81	71,5	1,25	-0,75	82
54	M65JAL	L		1,75	-1,00	72		3,00	-1,00	80		1,00	-0,75	85
55	Ž54KVR	R	64	-0,50	-1,25	81	63	0,00	-1,25	82	63	-0,75	-1,00	83
56	Ž54KVL	L		-0,50	-0,50	87		-0,25	-0,50	95		-0,75	-0,50	85
57	M00HMR	R	63	0,25	-0,75	13	63	0,00	-1,25	10	62,5	0,50	-1,00	10
58	M00HML	L		0,50	-1,00	167		0,00	-1,50	167		0,50	-0,75	175
59	Ž89MIR	R	62	-0,25	0,00		61	0,25	-0,50	86	61	0,00	0,00	
60	Ž89MIL	L		0,00	-0,25	90		0,00	-0,25	82		0,00	-0,25	85
61	Ž71TJR	R	63	-0,50	-0,25	23	61	-0,50	-0,50	11	60	-0,75	-0,25	10
62	Ž71TJL	L		-1,00	-0,25	156		-0,50	-0,50	176		-1,00	-0,25	175
63	M76MJR	R	67	-4,25	-1,25	97	65,5	-4,75	-1,00	104	66	-4,00	-1,50	94
64	M76MJL	L		-4,25	-0,75	66		-5,00	-0,75	78		-4,00	-1,00	84
65	Ž98GMR	R	63	-1,50	-1,00	94	61,5	-1,50	-1,00	90	63	-1,75	-1,00	94
66	Ž98GML	L		-1,75	-0,50	60		-1,50	0,00			-1,75	0,00	
67	Ž97HKR	R	64	-2,75	-0,50	149	62,5	-2,50	-0,75	174	62,5	-2,75	-0,50	152
68	Ž97HKL	L		-2,00	0,00			-1,75	-0,25	174		-2,25	0,00	
69	Ž99LKR	R	56	-2,50	-0,50	171	56,5	-3,00	-0,25	152	57	-2,75	-0,50	186
70	Ž99LKL	L		-0,75	-0,50	162		-1,00	-0,50	15		-0,75	-0,50	174
71	M01KJR	R	65	-1,25	-0,50	124	64,5	-1,50	0,00		64,5	-1,00	-0,50	115
72	M01KJL	L		-1,25	-0,25	67		-1,25	-0,25	75		-1,00	-0,25	
73	M00KDR	R	66	-2	-0,50	155	64,5	-1,75	-0,75	180	65,5	-2,00	-0,25	180
74	M00KDL	L		-1,25	-0,75	17		-1,00	-1,00	1		-1,00	-0,75	20
75	Ž00HAR	R	63	0,5	-0,50	154	62	-0,25	-0,50	184	64	0,25	0,00	
76	Ž00HAL	L		0,5	-0,25	180		0,00	-0,50	183		0,75	-0,25	180
77	M98NOR	R	63	-0,25	-1,50	127	62	-0,25	-0,50	132	63,5	0,00	-0,50	142
78	M98NOL	L		-0,5	-0,25	78		-0,50	-0,25	71		-0,25	-0,25	60
79	Ž04CAR	R	56	-2,25	-0,50	83	56	-3,00	-0,25	68	57	-2,75	-0,25	80
80	Ž04CAL	L		-2	-0,25	116		-2,75	-0,50	189		-2,00	-0,25	185