

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**ELIŠKA
ŠALOUNOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Výskyt refrakčních vad na vzorku dospělé populace

Prevalence of refractive errors in Czech Republic

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Eliška Šalounová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

Kladno 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šalounová** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **499976**
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:

Výskyt refrakčních vad na vzorku dospělé populace

Název bakalářské práce anglicky:

Prevalence of refractive errors in Czech republic

Pokyny pro vypracování:

Popište klasifikaci refrakčních vad, jednotlivý vývoj refrakčních vad vzhledem k věku. Následně vyhledejte studie zabývající se rozložením očních vad v populaci. Popište principy a metody objektivního měření refrakčních vad oka a jejich případné výhody a nevýhody. V rámci praktické části nasbírejte formuláře z autorefraktometru a proveďte analýzu těchto dat.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HASHEMI, Hassan, Akbar FOTOUHI, Abbasali YEKTA, Reza PAKZAD, Hadi OSTADIMOGHADDAM a Mehdi KHABAZKHOOB, Global and regional estimates of prevalence of refractive errors, ScienceDirect, Journal of Current Ophthalmology , [Revidováno 1 August 2017], ročník 30, číslo 1, doi:10.1016/j.joco.2017.08.009, 24522325
- [2] MA, Le, Rong LIU, Jun DU, Tao LIU, Shan WU a Xiao LIU, Lutein, Zeaxanthin and Meso-zeaxanthin Supplementation Associated with Macular Pigment Optical Density, Nutrients [online], MDPI, [Revidováno 19 June 2016], doi:10.3390/nu8070426, ISSN 2072-6643
- [3] Pavel Kuchyňka, Oční lékařství, ed. 2. přepracované vydání, Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jakub Král

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

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

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

Název bakalářské práce: Výskyt refrakčních vad na vzorku dospělé populace

Abstrakt:

Tato práce se zabývá především refrakčními vadami jak sférickými, tak i asférickými. V teoretické části jsou popsány modely oka a zmíněné refrakční vady, kterými jsou hypermetropie, myopie, astigmatismus i presbyopie. Dále je nastíněn postup subjektivní refrakce. V kapitole Objektivní refrakce jsou popsány přístroje a metody měření. Je zde řešena zastoupení refrakčních vad v České republice a prevalence refrakčních vad ve světě. V praktické části jsou vyobrazeny výsledné grafy, které jsou vytvořeny z dat posbíraných z objektivní refrakce pomocí automatického refraktometru po dobu sedmi let. Data z grafů jsou vyhodnocena. V této práci převažuje hypermetropie a astigmatismus proti pravidlu, což je v 90°.

Klíčová slova:

ametropie • myopie • hypermetropie • astigmatismus • emetropie • výskyt refrakčních vad v populaci ČR • rozložení refrakčních vad

Title of the thesis: Occurrence of Refractive Errors on Sample of Adult Population

Abstract:

The thesis mostly deals with refractive errors both spherical and aspherical. In the theoretical part, the models of eye and mentioned refractive errors which are hyperopia, myopia, astigmatism, presbyopia are described. Further, the procedure of subjective refraction is briefly described. The instruments methods of measurement are described in the chapter of objective refraction. The research of representation of refractive errors in the Czech Republic and prevalence of refractive errors in the world is in there. In the practical part, the graphs are depicted which were created from data gathered from objective refraction thanks to automatic refractometer used for 7 years. Data from graphs are evaluated. Hypermetropia and astigmatism against-the-rule which is at 90° are the majority in the thesis.

Key words:

Ametropia • Myopia • Hypermetropia • Astigmatism • Emmetropia • Occurrence of refractive errors in the population of the Czech Republic • Distribution of refractive errors

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své práce Mgr. Jakobovi Královi za odbornou konzultaci a poskytnutí materiálů na dané téma. Dále bych chtěla poděkovat optice Remi Optic s. r. o. a své rodině za podporu při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Výskyt refrakčních vad na vzorku dospělé populace*“ 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 17.5.2023

.....

podpis

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Lidské modely oka	8
2.1	Gullstrandovo schematické oko	8
2.2	Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka	10
2.3	Standardní redukované oko.....	11
3	Refrakční vady oka	12
3.1	Emetropie	12
3.2	Hypermetropie.....	13
3.2.1	Latentní a manifestní hypermetropie	14
3.2.2	Etiologie hypermetropie	15
3.2.3	Rozdělení hypermetropie.....	15
3.2.4	Projevy.....	15
3.2.5	Korekce.....	16
3.3	Myopie	17
3.3.1	Etiologie myopie.....	17
3.3.2	Rozdělení myopie	18
3.3.3	Projevy.....	18
3.3.4	Korekce.....	18
3.4	Astigmatismus.....	19
3.4.1	Etiologie astigmatismu	19
3.4.2	Projevy.....	21
3.4.3	Korekce.....	22
3.5	Presbyopie.....	22
3.5.1	Korekce.....	23
4	Objektivní refrakce.....	24
4.1	Skiaskopie	24

4.2	Hartingerův koincidenční refraktometr.....	24
4.3	Wavefront-analýza	25
4.4	Automatické refraktometry	25
5	Subjektivní refrakce	26
6	Dosavadní výzkumy prevalence refrakčních vad	28
6.1	Zastoupení refrakčních vad v ČR.....	28
6.1.1	Výsledky	28
6.1.2	Závěr	30
6.2	Souhrnný výzkum prevalence refrakčních vad v Evropě	30
6.2.1	Výsledky	30
6.3	Studie prevalence refrakčních vad u dětí	31
6.3.1	Výsledky studie	31
6.4	Prevalence refrakčních vad na Středním východě	33
6.4.1	Výsledky	33
7	Praktická část	35
7.1	Metodika	35
7.2	Výsledky praktické části	36
8	Diskuse.....	42
8.1	Srovnání výsledků s tuzemskou studií	42
8.2	Porovnání výsledků se studií prevalence refrakčních vad na Středním východě.....	42
8.3	Porovnání výsledků s evropskou studií.....	43
8.4	Shrnutí výsledků	43
9	Závěr	44
10	Seznam literatury	45
11	Seznamy obrázků a tabulek.....	48

1 Úvod

Je všeobecně známo, že lidé v populaci mají především refrakční vadu nežli stav emetropie neboli bez refrakční vady. Většinou podle velikosti akomodační rezervy dokážou svoji refrakční vadu – dalekozrakost – vykorigovat sami. S přibývajícím věkem tato schopnost klesá a zraková vada se projeví, s vyšším věkem nastává vetchozrakost, kterou je potřeba korigovat. V české populaci převládá dalekozrakost, proto je většina mladých lidí bez brýlí.

Tato práce se zabývá především problematikou rovnováhy mezi axiální délkou oka a lomivostí jednotlivých optických prostředí oka. Budou zde důkladně popsány základní oční vady, jako jsou krátkozrakost, dalekozrakost, astigmatismus a presbyopie. Zahrne taktéž popis objektivní refrakce a její metodiku. Přiblíží rovněž základní modely oka, kde bude popsán především Gullstrandův model oka.

V praktické části bude popsán sběr spolu s interpretací refrakčních vad z objektivní refrakce, které byly získány z oční optiky Remi Optic s. r. o. a z Nadačního fondu Dar zraku, který pomáhá s osvětou ohledně této problematiky v různých soukromých firmách i seniorských domech po celé České republice. Tento výzkum probíhal po dobu sedmi let. Hodnoty jsou změřeny pomocí objektivní refrakce na automatickém refraktometru. Výsledná data budou zpracována do přehledných grafů. Cílem této práce je rozřazení jednotlivých refrakčních vad na vybraném vzorku populace České republiky.

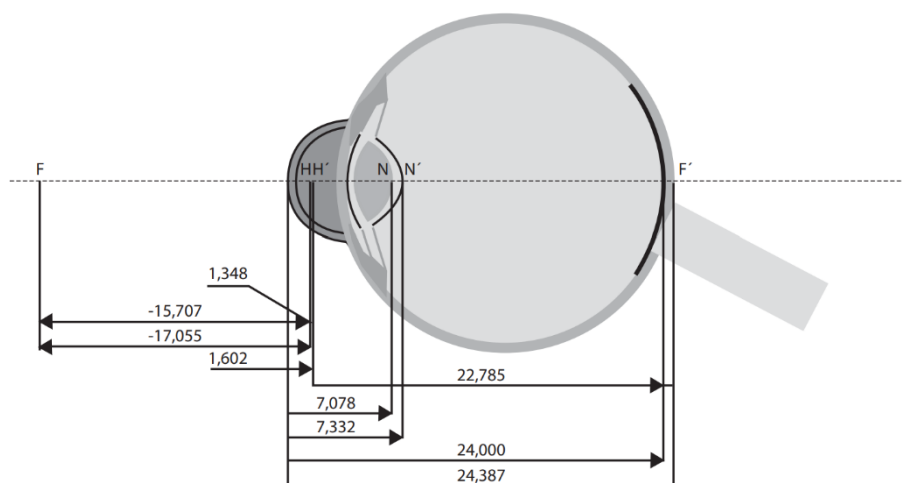
2 Lidské modely oka

Z optického hlediska oko představuje konvergentní systém, kterým prochází viditelné světlo. Systém, který zobrazuje vnější předměty na vnitřní vrstvu receptorů. Máme skotopické receptory, což jsou tyčinky, a ftopické receptory, což jsou čípky, které se nachází ve žluté skvrně. Optická soustava oka se skládá z rohovky, komorové vody, oční čočky a sklivce. Funkci clony z vnějšího prostředí plní zornice, která se zvětšuje, či zmenšuje jako reakce na světlo a je vymezena duhovkou. Vnitřní vrstvu oka tvoří cévnatka, která slouží jako absorpční vrstva a ta zabraňuje odrazu paprsků. Vytvoření ostrého obrazu na sítnici pozorovaného předmětu v různých vzdálenostech před okem je zajištěno změnou celkové optické mohutnosti oka, tzv. akomodací. (1) (2)

Pro podrobný rozbor průchodu paprsků optickým systémem je potřebná znalost několika optických parametrů oční soustavy. Jelikož každé oko je jedinečné, je nutné se omezit na parametry reprezentující průměrné hodnoty naměřené s přesností u skutečných očí. Jsou známy tři modely očí, které se používají. (2)

2.1 Gullstrandovo schematické oko

Jedná se o nejpodrobnější a nejvyužívanější model oka. Předmětové prostředí je vzduch o indexu lomu 1. V modelu je šest lámavých ploch. Uvnitř jsou komorová voda a sklivec, které mají stejný index lomu. Celková optická mohutnost této soustavy je +58,64 D při uvolněné akomodaci a při maximální akomodaci je +70,57 D. Předmětová a obrazová ohnisková vzdálenost je -17,055 mm a +22,785 mm v neakomodovaném stavu, -14,169 mm a +18,030 mm při maximální akomodaci. Používá se pro přesné teoretické výpočty. Parametry indexů lomu ostatních prostředí, poloměry křivostí všech ploch jsou uvedeny v tabulce 1. Poloha předmětových a obrazových hlavních bodů (H, H'), poloha předmětových a hlavních uzlových bodů (N, N'), poloha obrazového i předmětového ohniska (F, F') a polohu sítnice jsou vyobrazeny na obrázku 1, což jsou všechny body soustav neboli celého oka. (2)



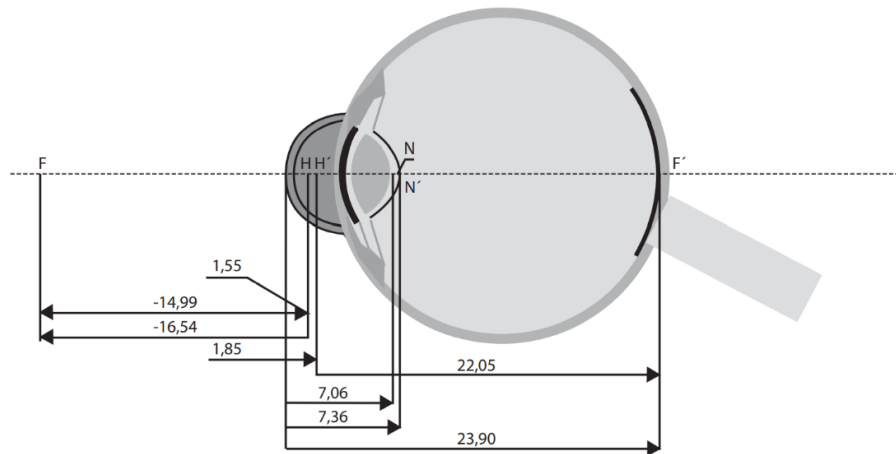
Obr. 1: Gullstrandův model oka (2)

Tab. 1: Gullstrandův model oka (2)

	Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	Poloměr zakřivení (mm)	Index lomu
Přední plocha rohovky	0	7,7	–
Rhovka	–	–	1,376
Zadní plocha rohovky	0,5	6,8	–
Komorová voda	–	–	1,336
Přední plocha čočky	3,6 (3,2)	10 (5,33)	–
Periferie čočky	-	–	1,386
Přední plocha jádra čočky	4,146 (3,8725)	7,911 (2,655)	–
Jádro čočky	–	–	1,406
Zadní plocha jádra čočky	6,665 (6,5275)	–5,760 (–2,655)	–
Zadní plocha čočky	7,2	–6,00 (–5,33)	–
Sklivec	–	–	1,336
Předmětové ohnisko	–5,707 (–12,397)	–	–
Obrazové ohnisko	24,387 (21,016)	–	–
Předmětový hlavní bod	1,348 (1,722)	–	–
Obrazový hlavní bod	1,602 (2,086)	–	–
Předmětový uzlový bod	7,078 (5,663)	–	–
Obrazový uzlový bod	7,332 (5,992)	–	–
Poloha sítnice	24,00	–	–

2.2 Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka

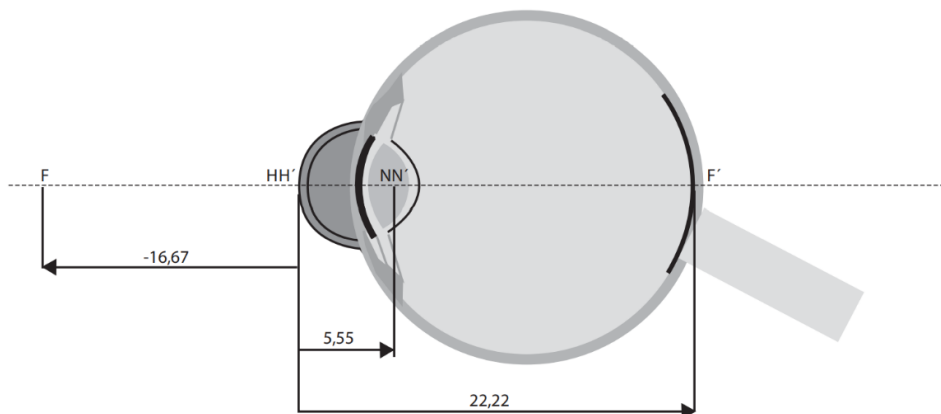
Pro praktické využití byl vytvořen zjednodušený model, kde je rohovka vyobrazena jednou lámavou plochou a čočka dvěma lámavými plochami. Celé oko, jako optická soustava, se skládá ze tří lámavých ploch. Obrazové ohnisko leží přímo na sítnici. Celková optická mohutnost modelu je +60,48 D, axiální délka je 23,90 mm a předmětová a obrazová vzdálenost je –16,54 mm a +22,05 mm. Výpočty jsou zjednodušeny, protože se zde zanedbává akomodace. (2)



Obr. 2: Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova oka (2)

2.3 Standardní redukované oko

Standardní redukované oko je emetropické, pokud upravíme teoretické hodnoty, pak je oko nestandardním redukovaným okem. Model redukovaného oka tvoří pouze jednu lámavou plochu o poloměru křivosti $+555$ mm s indexem lomu $1,33$. Předozadní délka oka je $22,22$ mm. Celková optická mohutnost je $+60$ D a je předmětová a obrazová ohnisková vzdálenost činí $-16,67$ mm a $+22,22$ mm. Tento typ modelu slouží pouze pro orientační výsledky. (2)



Obr. 3: Standardní redukované oko (2)

3 Refrakční vady oka

Vývoj zraku, na rozdíl od ostatních smyslů, je dokončen až po narození. Nejdéle trvá vývoj zraku do 8. roku života, než docílí kvalitního binokulárního vidění. Díky tomu jsou vnímány pozorované předměty současně oběma očima jako jeden vjem. Přičemž může během vývoje zraku dojít k nějaké překážce, která znemožní spolupráci očí, a tím k patologickým změnám. V nejhorším případě může dojít k tupozrakosti, nebo dokonce ke slepotě. Jeden ze základních problémů pro vývoj zraku je to, že oko je zatíženo refrakčními vadami. (3)

Pokud v růstu nenastanou žádné změny, vidění se vyvíjí normálně. Vstupující paprsky dopadají na oko rovnoběžně s optickou osou, optický systém je fokusuje do jednoho místa a ideálně do žluté skvrny na sítnici. Toto platí za předpokladu nulové akomodace oka a průchodem optickým systémem. Tento stav nazýváme emetropie, kdy musí být dodržen správný poměr mezi axiální délkou oka a lomivostí jednotlivých prostředí. (2)

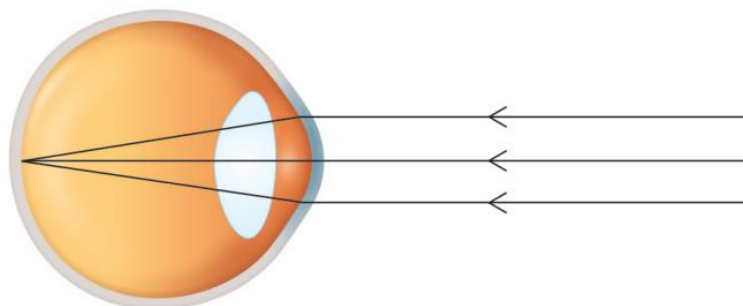
Nastanou-li odchylky od tohoto ideálního stavu, je označován za ametropii, kdy jsou tyto dva parametry v nepoměru a následkem toho vznikne refrakční vada oka. Jestliže se změní axiální délka oka o 1 mm, pak se zvyšuje refrakční vada přibližně o 3 D. U ametropie se paprsek láme, buď ohnisko vzniká za sítnicí, potom se tento stav nazývá hypermetropií, nebo se ohnisko nachází před sítnicí, což je označováno jako myopie. (2) (4) (5)

3.1 Emetropie

Oko bez refrakčních vad je nazýváno již zmiňovaným okem emetropickým. Jedná se o rovnovážný stav, kdy oko má správný poměr mezi lomivostí jednotlivých prostředí a jeho axiální délkou. Slovo může být rozděleno na *emmetros*, což je z řeckého jazyka souměrný, a *ops*, což lze přeložit jako oko. (5) (6)

Daleký bod R neboli punctum remotum je bod, který je viděn ostře při nulové akomodaci a je to nejvzdálenější ležící bod na optické ose. U předmětu umístěného do vzdálenosti dalekého bodu se jeho obraz zobrazí na sítnici. Vzdálenost mezi dalekým bodem R a předmětovou hlavní rovinou oka označujeme a_R a udává se v metrech. Převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu v metrech udává refrakční stav oka neboli axiální refrakci. U emetropie je daleký bod v nekonečnu před okem. U myopie je v konečné vzdálenosti před okem. U hypermetropie je umístěn při nulové akomodaci za okem. (7) (8)

Blízký bod P neboli punctum proximum leží na optické ose, při maximální akomodaci jej vidíme ostře. Vzdálenost mezi blízkým bodem a předmětovou hlavní rovinou značíme a_P a udává se v metrech. Pomocí převrácených vzdáleností blízkého a dalekého bodu můžeme vypočítat akomodační interval. U emetropie, hypermetropie i myopie leží v konečné vzdálenosti před okem. (7) (8)



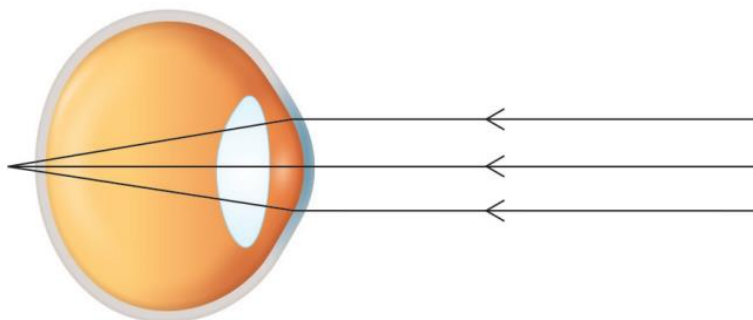
Obr. 4: Emetropie (9)

3.2 Hypermetropie

Hypermetropie je sférickou ametropií. Termín hypermetropie je složen ze slov *hyper*, což znamená přemíra; *met*, tedy měřit; a *opia*, čímž se rozumí oku. Do českého jazyka se překládá jako dalekozrakost. Vstupující paralelní paprsky a procházející přes optický systém oka se sbíhají v ohnisku, které leží za sítnicí. Převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu je kladná. Daleký bod vidí ostře při zapojení akomodace. Blízký bod může být při maximální akomodaci v konečné vzdálenosti před okem, v nekonečnu nebo v konečné vzdálenosti za okem. Poloha bodu závisí na velikosti refrakční vady a akomodační šíři daného oka. Hypermetrop akomoduje na všechny vzdálenosti více než emetrop i myop, protože jeho akomodační interval je posunut dále od oka. (2) (4) (6) (7)

Tato vada může být zapříčiněna menší axiální délkou oka nebo tloušťkou čočky, nižším zakřivením optických ploch jednotlivých rozhraní oka nebo menším indexem lomu prostředí. Často bývá doprovázena u vyšších vad esotropií nebo esoforií. Dalekozrakost rozdělujeme

na dvě složky: manifestní a latentní. Manifestní složka musí být korigována plusovými dioptriemi. Latentní složku lze vykorigovat trvale zvýšenou akomodací, která může vyústit do spasmu akomodace neboli křeče. (3) (2) (4) (5)



Obr. 5: Hypermetropie (9)

3.2.1 Latentní a manifestní hypermetropie

Latentní (skrytá) hypermetropie je část vady, kterou dokáže oko pomocí akomodace vykorigovat. Díky zvýšenému napětí ciliárního svalu, než je fyziologicky dáno, se navýší refrakční hodnoty oční čočky (dosahují asi 1 D). Takto se vykoriguje celá refrakční vada, případně jen její část. Složka se vyšetřuje v cykloplegii. (3)

Manifestní hypermetropie je složka, která je rozlišována na dvě možnosti, a to absolutní a fakultativní. Absolutní složka je taková, kterou oko nedokáže vykorigovat pomocí akomodace. Fakultativní složka je ta část hypermetropie, kdy oční aparát dokáže vykompenzovat akomodací. Jestliže je akomodace vyčerpána, pak oko již nedokáže zaostřit předmět a jeví se oku jako rozmazaný. Tento stav se nazývá absolutní složka hypermetropie. (3)

Totální hypermetropie je celkový součet všech tří složek, tj. latentní, fakultativní a absolutní hypermetropie. Abychom ji zjistili, musíme vyřadit z činnosti musculus ciliaris, a tím zabránit akomodaci. Jsou využívána cykloplegika, například atropin, který se kape přímo do oka. Využívá se především u dětí, které sekundárně vykazují esotropii, protože akomodace je spojena s konvergencí, a protože hypermetropové neustále musí kompenzovat svoji vadu, při vyšších hodnotách vady lze pozorovat stočení oka k nosu neboli esotropii, proto je důležitá správná korekce vady, především předepsání plné korekce v podobě nejsilnější spojné čočky. (10)

3.2.2 Etiologie hypermetropie

Axiální neboli osová hypermetropie je častější než lomivostní hypermetropie a vzniká v důsledku kratší předožadní délky oka. Novorozenci, kojenci i malá batolata mají fyziologickou dalekozrakost, protože bulbus při narození je menší a s růstem oka se snižuje fyziologická hypermetropie. Kolem třetího roku života dosáhne délky emetropického oka, což je přibližně 24 mm. Od tří do čtrnácti let je už růst oka pomalý. Za rok naroste asi o 0,1 mm, což změní dioptrickou hodnotu o 0,3 D. Fyziologickými procesy se tělo vypořádává s rostoucí axiální délkou tím, že při zvětšování bulbu se oplošťují rohovka a čočka. Prakticky zůstává určitý stupeň hypermetropie asi u 50 % očí. Zkrácení oka a v důsledku toho i navýšení dioptrií mohou být charakteristické pro některé choroby, například tumor, který utlačuje zezadu bulbus, nebo odchlípení sítnice aj.. (3) (10)

Lomivostní hypermetropie bývá méně častá. Vada je zapříčiněna zmenšeným zakřivením některé refrakční plochy (rohovka, čočka), může být získaná nebo vrozená. Plochá rohovka, která způsobuje hypermetropii, může vzniknout vrozeně, nebo je získaná následkem porážkových stavů předního segmentu oka, popřípadě ji způsobují některé choroby. Posunutí čočky dozadu (subluxace čočky) může být důsledkem vrozené vady, případně získané též při úrazu. Mezi lomivostní hypermetropii řadíme i afakii, což je stav oka bez oční čočky. Jestliže je oko bez čočky, může jít o vadu získanou nebo vrozenou. Lomivostí hypermetropie vzniká zvětšením poloměru zakřivení rohovky nebo čočky, kde se zvýší refrakce. (3) (10)

Může nastat i indexová hypermetropie, vyskytující se převážně u starších lidí a těch, kteří se léčí s diabetem nebo důsledkem získání kortikální sklerózy ve stáří. Jde o následek zakalení čočky, a tím i snížení jejího indexu. (3) (9)

3.2.3 Rozdělení hypermetropie

Hypermetropii dělíme podle velikosti refrakční vady, a to na nízkou, která má hodnoty do +3,0 D, následuje střední hypermetropie, ta je od +3,25 D do +5,0 D, nakonec se jedná o vysokou hypermetropii a ta je od +5,25 D a větší hodnoty dioptrie. (5)

3.2.4 Projevy

Dalekozraký musí akomodovat do dálky, a tím pádem ještě více na blízko. Při dlouhodobé práci na blízko se začínají projevovat astenopické potíže, které jsou spojeny s únavou, bolestí hlavy, rozdvojeným viděním, bolestí očí. Nadměrně zatěžovaná akomodace vede ke spasmu akomodace, v důsledku čehož vzniká pseudomyopie neboli arteficiální myopie.

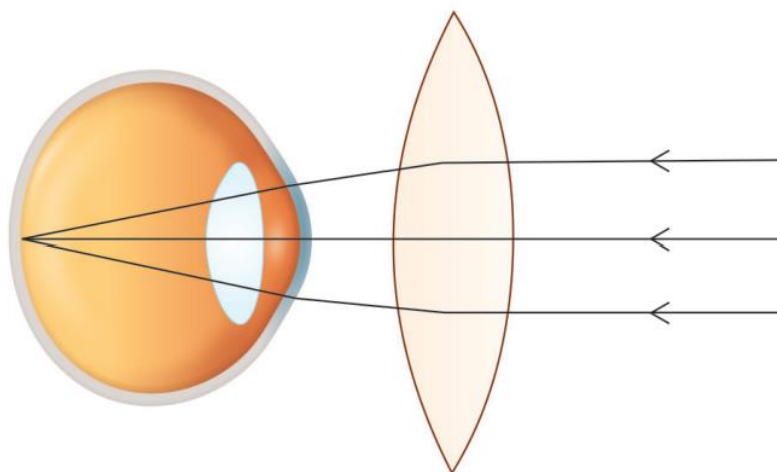
U nekorigovaných dětí může vést k amblyopii a konvergentnímu šilhání. U dospělého kolem 35. roku života je někdy nutné předepsat brýle na blízko, protože se začnou objevovat astenopické potíže. V pozdějším věku se z latentní složky stává manifestní a lidé začínají potřebovat brýle na blízko i na dálku, protože ubývá akomodace. (3)

3.2.5 Korekce

Hypermetropie je korigována spojnou čočkou, kterou posuneme obraz na sítnici. Předepisuje se nejsilnější plusová čočka, se kterou má pacient nejlepší vizus. Jestliže je hypermetrop podkorigován, akomoduje na všechny vzdálenosti, mohou nastat astenopické potíže. (8) (11)

Při malé refrakční vadě a dobrém vidění na dálku není nutné korigovat, pokud se nevyskytují subjektivní obtíže. U dětí do sedmi let je nutné vadu korigovat, je-li vysoká, nebo ji doprovází šilhání. U dětí do šestnácti let korigujeme, pokud je snížena zraková ostrost a při astenopických potížích. Většina hypermetropů v pubertě odloží korekci, protože mají silnou akomodaci a svoji vadu dokážou její pomocí plně vykorigovat. Po 35. roce života se vrací ke korekci, protože akomodace ubývá a přestávají vidět na blízko. (3) (12)

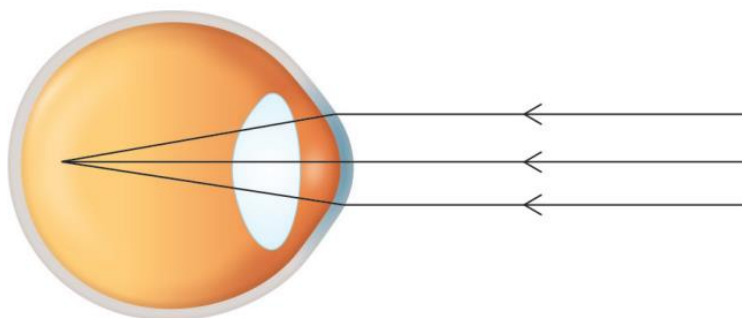
Hypermetropii se dá korigovat i chirurgicky pomocí laserů. Využívá se přemodelování rohovky excimerového laseru, ale musíme postupovat přísně individuálně. Není to tolik úspěšné jako u korekce myopie pomocí laseru. (3)



Obr. 6: Hypermetropické oko po předsazení spojně čočky (9)

3.3 Myopie

Myopie je sférická ametropie. Při nulové akomodaci se vytvoří obraz předmětu v nekonečnu před sítnicí. Vidí dobře předměty v blízké vzdálenosti, nicméně předměty v dálce vidí rozmazaně. Na předměty, které jsou mezi dalekým a blízkým bodem, nemusí tolik akomodovat jako emetrop. To způsobuje ochablost akomodace, protože myop si předmět umístí do pohodlné vzdálenosti. Blízky bod P leží v konečné vzdálenosti před okem a daleký bod R leží mezi nekonečnem a přední plochou rohovky. (2) (3)



Obr. 7: Myopie (9)

3.3.1 Etiologie myopie

Lomivostní myopie se vyskytuje méně často než axiální myopie. Lomivá vzniká následkem zvýšené lomivosti optického systému, oproti předozadní délce oka. Zvýšená lomivost u rohovky je způsobena keratokonem, což je neměnný stav. U čočky může být příčina dočasná, které se říká transitorní myopie, nebo vrozená důsledkem sféroafakie či lentikonu. Dočasné příčiny jsou způsobeny změnou polohy čočky, spasmem ciliárního svalu, u počáteční nukleární katarakty, dále u diabetiků při malém vzestupu hladiny cukru v krvi a také po některých lécích. (10)

Axiální myopie je způsobena větší předozadní délkou oka, než je standardní délka oka (24 mm), a je častějším případem u této vady. Lomivost optického systému je v normálních hodnotách jako u oka emetropického. Hlavní příčinou této myopie je velký růst bulbu. (7) (10)

Indexová myopie bývá nejméně častá a jde o vadu získanou, protože při změně indexu lomu sklivce a komorové vody se vada neprojeví. U lidí s cukrovkou nebo u šedého zákalu se změní refrakční hodnoty v důsledku toho, že se zvýší lomivost jádra oční čočky. (3)

3.3.2 Rozdělení myopie

Myopie dělíme na základě hodnoty dioptrií refrakční vady, a to na lehkou (simplex) do $-3,0$ D, střední (modica) od $-3,25$ D do $-6,0$ D a vysokou (gravis) nad $-6,25$ D a větší hodnotu. Lehkou a střední myopii nedoprovázejí degenerativní onemocnění. Začínají ve školním věku a dosažením 20. roku života se vada dále nezhoršuje. Progresivní myopie je druh myopie, kde se objevují degenerativní změny na sítnici, cévnatce a sklivci. Proto u těchto pacientů existuje zvýšené riziko odchlípení sítnice a subretinální neovaskularizace. Za rok může vada narůst o 1 D až 4 D. Zhoršuje se do 30 let, potom už obvykle dále nenarůstá. Zvláštní typ myopie je vrozená, kdy hned v prvním roce života vykazují oči -10 D, ale už se příliš nezhoršuje. (4) (12) (13)

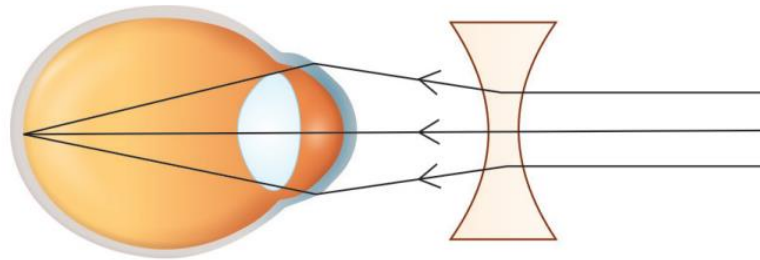
3.3.3 Projevy

Hlavním příznakem myopie je špatné vidění do dálky, při kterém klient mhouří oči, aby zmenšil rozptyl světelných paprsků na sítnici. Projevuje se hlavně ve školním věku, kdy dítě nevidí na tabuli, ale může se vyvinout až po 18. roce, kdy hodnoty jsou většinou do -3 D. (3) (4) (10)

3.3.4 Korekce

Myopie je korigována rozptylnou čočkou, která posune obraz na sítnici. Předepisujeme nejslabší rozptylku, se kterou dosáhne nejlepší vizus. Nízkou a střední myopii korigujeme plnou korekcí, zatímco u vysoké myopie není plná korekce tolerována klientem. (8) (11)

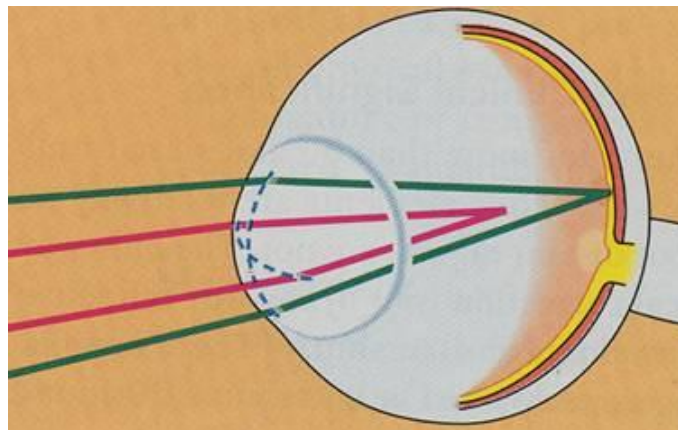
Myopie se dá korigovat i chirurgicky. Používají se excimerové lasery. U vyšších myopií je lepší aplikace afakických nebo fakických nitroočních čoček. K chirurgickému zákroku se přistupuje pouze tehdy, když není možné nosit brýlovou korekci nebo kontaktní čočku. Chirurgická korekce myopie má lepší výsledky než chirurgicky odstraněná hypermetropie. (3)



Obr. 8: Myopické oko po předložení rozptylné čočky (9)

3.4 Astigmatismus

Astigmatismus je asférická refrakční vada, kdy nejsou stejné hodnoty optické mohutnosti v meridiánech optického systému oka. Rovnoběžné paprsky, které vstupují do oka, se na sítnici nespojí do bodu, ale promítnou se jako dvě fokální linie, jejich vzdálenost mezi sebou se nazývá fokální interval. V důsledku toho vzniká deformovaný a neostřý obraz na sítnici. Hlavní podíl na astigmatismu má rohovka, která může mít nepravidelný tvar. Dále rozdělujeme čočkový a zbytkový astigmatismus. U čočkového může být vrozené větší zakřivení předního a zadního pólu čočky, tento stav nazýváme lentikonus, nebo může jít o astigmatismus způsobený následkem subluxace čočky, což se děje po úrazech nebo po operaci katarakty. Celkový astigmatismus je součtem všech tří optických ploch oka a buď se nám mohou hodnoty ploch sečíst a navýšit vadu, nebo se navzájem vyruší. Může se objevit astigmatismus indexový, ten je zapříčiněn počínajícím zkalením oční čočky. (3) (4) (10) (12)



Obr. 9: Astigmatismus (14)

3.4.1 Etiologie astigmatismu

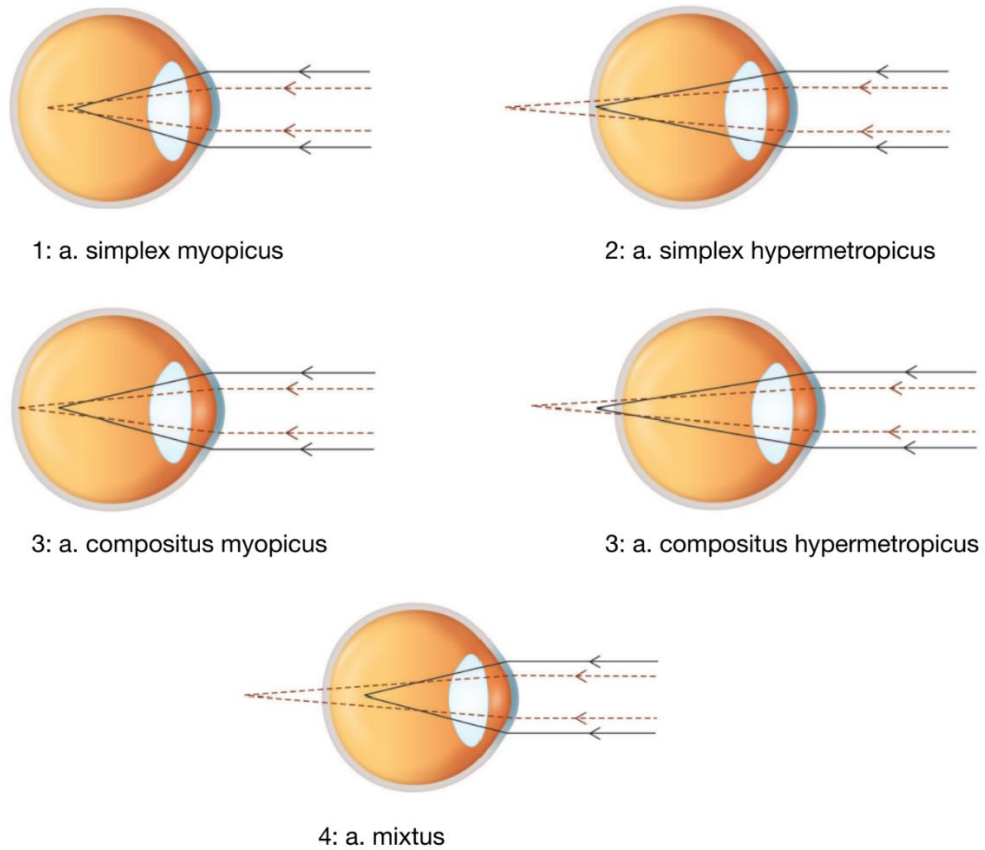
Astigmatismus rozdělujeme na pravidelný a nepravidelný. Astigmatismus pravidelný (a. regularis) je takový, u kterého můžeme určit meridiány s největší a nejmenší lomivostí,

příčemž jsou oba na sebe kolmé. U nepravidelného astigmatismu (a. irregularis) se nedají zjistit hlavní řezy s nejmenší a největší lomivostí. Stane se to následkem nepravidelného zakřivení rohovky způsobeného jejím zjizvením nebo keratokonem. Může se vytvořit indexový nepravidelný astigmatismus, v důsledku změny indexu lomu v různých částech krystalické čočky, ale vyskytuje se vzácně u pacientů s kataraktou. (9) (10)

Rozdělení pravidelného astigmatismu

Pravidelný astigmatismus rozdělujeme podle hodnoty refrakce na hlavních řezech. Jestliže je v jedné ose refrakce nulová neboli emetropická a ve druhé ose, která je na ni kolmá, je hodnota hypermetropická (plusová) nebo myopická (minusová), pak se jedná o astigmatismus jednoduchý (a. simplex) – myopicus nebo hypermetropicus. Jestliže je v obou osách refrakční hodnota hypermetropická nebo je refrakce v obou osách myopická, nazývá se astigmatismus složený (a. compositus) – myopicus nebo hypermetropicus. Nebo může být v jednom meridiánu refrakce hypermetropická a ve druhém myopická, pak se jedná o astigmatismus smíšený (a. mixtus). (10)

Dále rozdělujeme astigmatismus podle pravidla a proti pravidlu. Podle pravidla neboli přímý je takový, kde je svislý meridián více lomivý než horizontální. Děje se tak v souvislosti s fyziologií oka, protože na rohovku působí tlak horního víčka. Astigmatismus proti pravidlu neboli nepřímý má větší hodnotu refrakce v ose horizontální než vertikální, což je opačný případ než u astigmatismu podle pravidla. Nakonec lze definovat astigmatismus šikmý (a. obliquus), kdy hlavní řez se nachází kolem 45° nebo 135° a druhý je na něj kolmý, nelze určit, který je horizontální a který vertikální. Větší zakřivení přední plochy rohovky o 0,1 mm, než je u emetropického oka, způsobí astigmatismus 0,5 D. (3) (12)



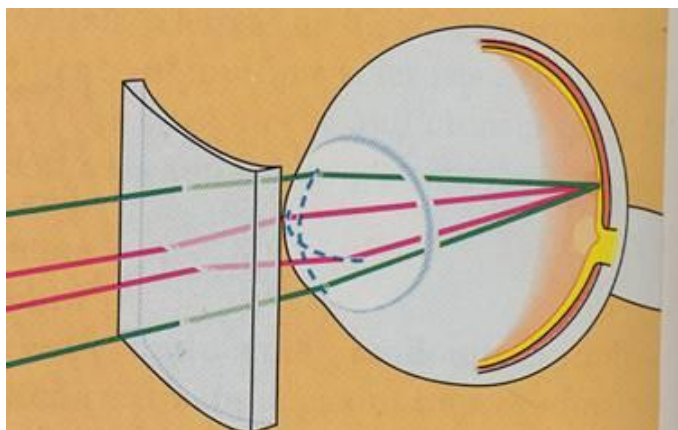
Obr. 10: Rozdělení pravidelného astigmatismu (9)

3.4.2 Projevy

Astigmatismus bývá většinou vrozený, protože je způsoben interakcemi mezi růstem rohovky a dalšími optickými systémy v oku, nitroočním tlakem a tlakem víček. Jeho osa se může změnit v průběhu celého života, ale děje se tak po malých stupních. Vada způsobuje neostrý obraz jak do dálky, tak i na blízko. Pacienti s astigmatismem přivírají oční štěrbinu, aby neprocházel tolik paprsků do oka a obraz byl pak ostřejší. Při nekorigování nebo špatném vykorigování vady se mohou objevit astenopické potíže. (3) (15)

3.4.3 Korekce

Astigmatismus pravidelný neboli přímý korigujeme pomocí tórických čoček neboli cylindrických, které mají na sebe dvě kolmé osy s jinou lomivostí. U dospělých, kteří nejsou zvyklí na cylindrickou korekci, se začíná podle subjektivní refrakce na snesitelné hodnotě tórické čočky. Děti jsou adaptivnější, proto se jim dává hned plná korekce. Při správné hodnotě cylindrických čoček je obraz kontrastnější a ostřejší. Je důležité dbát na správné stanovení osy, protože pokud dojde ke špatné poloze osy, vytvoří se nový astigmatismus v nové ose. Vada se může korigovat kontaktními čočkami i chirurgicky pomocí laserů. (3) (10)



Obr. 11: Astigmatismus s korekcí (16)

Astigmatismus nepravidelný neboli nepřímý se koriguje pomocí brýlí při malých hodnotách. Při nárůstu vady korigujeme tvrdými kontaktními čočkami, ty se vyrábí individuálně. U keratokonu se snažíme zabránit růstu rohovky a zvětšení nepřímého astigmatismu, proto využíváme i chirurgické zákroky, jako je vložení intrakorneálního ringu do rohovky. U pozdních stadií keratokonu se přistupuje i k transplantaci rohovky. (17)

3.5 Presbyopie

Presbyopie neboli vetchozrakost je fyziologický děj, který nastává v důsledku ztráty elasticity oční čočky. Tato vada se objevuje kolem 40. roku života, kdy akomodační šíře klesne pod 4,5 D a pacient nevidí na blízko. Hypermetrop potřebuje presbyopickou korekci dříve než emetrop, protože většinou nemá vykorigovanou manifestní hypermetropii. Jestliže hypermetrop má správnou korekci totální hypermetropie, pak přichází pro korekci presbyopie stejně jako emetrop. Zatímco myopové podle velikosti refrakční vady mohou přijít o několik let později, protože při sundání brýlí budou vidět dobře na blízko, jelikož jejich hodnota přídavku do blízka se odečítá od hodnoty korekce na dálku. (10)

3.5.1 Korekce

Při korekci presbyopie využíváme přídavek do blízka neboli adici, kterou přičítáme ke korekci do dálky. Pro korekce presbyopie se dají využít jednoohniskové i víceohniskové čočky. Při ametropii se využívají víceohniskové čočky, protože jsou na dvě a více vzdáleností. Jsou to čočky bifokální, trifokální nebo multifokální. Bifokální čočky mají viditelný segment a jsou určeny na blízko a dálku. Trifokální čočky mají také viditelný segment, ale jsou na tři vzdálenosti – na blízko, na střední vzdálenost a na dálku. Multifokální čočky jsou nejmodernější, s plynulým neviditelným segmentem a jsou na všechny vzdálenosti. (8) (10)

4 Objektivní refrakce

Objektivní refrakce se stanovuje pomocí přístrojů založených na různých principech. Používají se k tomu skiaskopie, Hartingerův koincidenční refraktometr, automatické refraktometry a wavefront analýza. Především se používá u dětí nebo u mentálně postižených lidí, kteří nedokážou subjektivně vyhodnotit při předkládání skel o různé lámavosti před oko, zda se zraková ostrost zlepší, či zhorší. Objektivní refrakci využíváme i u dospělých s kombinací se subjektivní refrakcí, jestli daná korekce vyšetřovanému vyhovuje. (18)

4.1 Skiaskopie

Metoda skiaskopie není náročná na vybavení, protože nám stačí sada zkušebních skel a skiaskop. Její nevýhodou může být přesné provedení, které vyžaduje zkušenosti vyšetřujícího. (18)

Principem skiaskopie je pozorování světla od sítnice, kterému se říká červený reflex. Vyšetřující pohybuje skiaskopem malými kývavými pohyby před okem a pozoruje proužkový stín od sítnice, zda je souhlasný s pohybem zdroje světla, nebo opačný. Podle pohybu se předkládají před vyšetřované oko čočky o různé lomivosti. Dále se pozoruje, kdy nastane bod neutralizace, a to je v okamžiku, kdy se pohyb reflexu začne pohybovat na opačnou stranu, než byla původní. Nejčastěji se vyšetřuje na 1 m. Z toho vyplývá, že se musí odečíst převrácená hodnota vyšetřované vzdálenosti od hodnoty předsazené čočky, abychom získali konečné hodnoty objektivní refrakce na dálku. U emetropického, hypermetropického i myopického oka bude souhlasný pohyb stínů do -1 D. Tato hodnota platí jen u vyšetřovací vzdálenosti 1 m. (18)

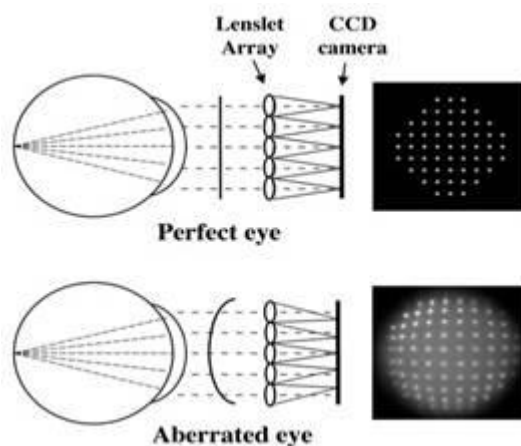
4.2 Hartingerův koincidenční refraktometr

Přístroj Hartingerův koincidenční refraktometr je založen na principu, kdy lidské oko dokáže mnohem přesněji rozeznat rozdíl mezi rozdvojeným obrazem než mezi obrazem ostrým a méně ostrým. Oko dokáže velmi dobře rozeznat malý rozdíl v koincidenční, zda dvě úsečky jsou na jedné přímce, či nikoliv. V praxi to vypadá tak, že vyšetřující je vyzván o koincidenční tři dvojic úseček, které pozoruje v okuláru refraktometru. Když se vyslaná značka do vyšetřovaného oka promítne ostře na sítnici, nastane koincidence mezi úsečkami. Vyšetřující má na refraktometru stupnice, odkud může snadno přečíst změřenou refrakci v jednotlivých meridiánech. (18)

4.3 Wavefront-analýza

Využívá se především u refrakční laserové chirurgie. Wavefront-analýza dokáže detekovat nejen refrakční vady prvního a druhého řádu, ale odhalí vady až pátého řádu. Vady vyšších řádů není možné korigovat brýlovou ani kontaktní čočkou. Jediná možnost jejich korekce je pomocí laserových zákroků na rohovce. (18)

Principem wavefront-analýzy je vyšetření, při kterém jsou vyslány rovnoběžné paprsky v rovině kolmé na rohovku do oka. Paprsky odražené od sítnice jsou analyzovány a dále proměřeny vady celého optického systému oka. Z analýzy naměřených hodnot se dá individuálně vykorigovat vada pomocí laserové chirurgie a zjistit předčasně katarakta. (18) (19)



Obr. 12: Wavefront-analýza (20)

4.4 Automatické refraktometry

Všechny automatické refraktometry mají společné využití infračervené oblasti záření ke stanovení dioptrií daného optického systému. Toto spektrum záření lidské oko nevidí, proto při vyšetření nedochází k oslnění. Přístroje využívají různé principy, jako jsou rozostření kruhové značky, skiaskopie nebo oftalmoskop. Autorefraktometry umí spolehlivě uvolnit akomodaci oka během měření. Mají v sobě zabudovány dva světelné svazky. Jeden světelný svazek osvětluje danou fixační značku, většinou to bývá obrázek, který se rozostřuje. Druhý světelný svazek je měřicí. (18) (21)

5 Subjektivní refrakce

Po změření objektivní refrakce přichází na řadu subjektivní refrakce. K té se používá optotyp, zkušební sada skel v brýlové skříní a speciální obruba se vsadkami, případně se může použít foropter, který má v sobě zabudována korekční skla v kotoučích, díky čemuž je s ním rychlejší a snadnější práce při předsazování libovolných skel. Při použití obou těchto metod musí vyšetřující spolupracovat a dokázat určit rozdíl v kvalitě vidění na stejných znacích s jinými skly. Doporučený postup při subjektivním vyšetření je následující: určení sférické mohutnosti, cylindru a osy pro každé oko zvlášť, dále se ověřuje binokulární vyváženost a nakonec, pokud je potřeba, se stanovuje korekce na blízko. (6) (10)

Myopii korigujeme rozptylnými neboli konkávními čočkami. Myopovi vždy předepisujeme nejnižší rozptylku, se kterou má nejlepší zrakovou ostrost. Pokud mu předepíšeme silnější čočku, bude muset trvale akomodovat do dálky, z toho pak mohou vzniknout astenopické potíže. U myopie se nemusí nutně vyřadit akomodace, protože ji tolik nepoužívá, neboť mu refrakční vadu zhoršuje. Na blízko vidí dobře s korekcí i bez ní. Pokud si myopové sundávají brýle na blízko, může dojít k oslabení ciliárního svalu, a tím k dřívějšímu předpisu brýlí na blízko, proto by měli korekci nosit pořád na každou vzdálenost a plně používat akomodaci. (10)

Hypermetropii korigujeme pomocí spojných neboli konvexních čoček. Hypermetropovi vždy předepisujeme nejsilnější plusovou hodnotu čočky, se kterou má nejlepší zrakovou ostrost. Pokud předepíšeme menší hodnotu korekce, bude docházet k neustálé akomodaci, a tím i k astenopickým potížím. Především u mladších hypermetropů se využívá metoda zamlžování, kdy se před oko dá taková plusová hodnota, se kterou se zhorší vizus, dále předsazujeme po čtvrtkách minusové čočky do doby, kdy bude mít nejlepší zrakovou ostrost s nejsilnější spojkou. Tato metoda se především používá kvůli vyřazení akomodace, a tím i fakultativní složky hypermetropie, nebo se používá cykloplegie. (6) (10)

Astigmatismus korigujeme pomocí tórických neboli cylindrických čoček. To jsou skla, která mají na sebe dvě kolmé osy s jinými hodnotami. Ke stanovení korekce se používá Jacksonův zkřížený cylindr a bodový test na optotypu. Jacksonův zkřížený cylindr je nejpoužívanější v hodnotě $\pm 0,25$ D. Mělo by se pracovat především s minusovými cylindry. Nejprve musíme stanovit přesnou osu cylindru a poté jeho sílu. Předepisuje se vždy nižší hodnota cylindru. (6) (10)

Presbyopii korigujeme pomocí plusových čoček. Předepisujeme adici, což je hodnota dioptrie na blízko. Presbyop může pohodlně bez přerušení používat $\frac{2}{3}$ rozsahu své akomodace a udržovat si tak $\frac{1}{3}$ rozsahu akomodace jako akomodační rezervu. Proto používáme vzoreček pro stanovení přesné akomodace: $A_{dice} = 1/\text{čtecí vzdálenost} - \frac{2}{3} \text{ maximální akomodační rozsah}$. Nejvyšší hodnota přídávku na blízko by měla být 2,5 D. (6) (10)

Vyváženost binokulárního vidění se provádí proto, aby se vyrovnalo akomodační úsilí obou očí a měly současně zaostřeny oba obrazy na sítnici. U většiny testů na binokulární vyvážení je důležité, aby byla stejná zraková ostrost obou očí. Využívají se k vyvážení různé testy i metody. Může se použít disociace pomocí polarizačních filtrů, disociace pomocí prizmatu nebo disociace pomocí barevných filtrů. Na optotypu se musí vybrat správný test ke každé metodě. (6)

6 Dosavadní výzkumy prevalence refrakčních vad

6.1 Zastoupení refrakčních vad v ČR

Výzkum refrakčních vad v České republice a následný výběr vhodného typu korekční pomůcky provedl docent Mgr. Pavel Beneš, PhD., v roce 2012. Do výzkumu bylo zařazeno 615 respondentů (1 230 očí), kteří podstoupili objektivní i subjektivní refrakci. K objektivní metodě byl použit autorefraktometr s Placidovým kotoučem a byly zaznamenávány sférické i cylindrické hodnoty. Následně se výsledky měření ověřovaly subjektivní metodou pomocí sady brýlových čoček a optotypu na běžnou vzdálenost 5 metrů. (22)

6.1.1 Výsledky

Respondenti se rozdělili do tří skupin, podle typu ametropie. Skupina I je nejpočetnější a tvoří ji myopičtí klienti. Skupina II je zastoupena hypermetropickými klienty a skupina III je nejméně početná, tvořená klienty bez potřeby korekční pomůcky, kdy byl vizus minimálně 1,0 (5/5) a lepší, což jsou emetropové. (22)

Skupinu I tvoří celkově 318 myopických klientů, z toho je 123 mužů a 195 žen. Věkový průměr zde činí $39 \pm 18,9$ roku, kdy nejmladšímu respondentovi je devět let a nejstaršímu 95 let, medián je 35 let. Hodnoty objektivní refrakce u sféry jsou $-2,57 \pm 2,46$ D (min. $-0,25$ D, max. $-20,5$ D; medián $-2,0$ D) a u cylindru jsou $-1,1 \pm 1,01$ D (min. $-0,25$ D, max. $-7,25$ D; medián $-0,75$ D), osa $100^\circ \pm 53,16^\circ$ (min. 0° , max. 180° ; medián $97,5^\circ$). Po subjektivní zkoušce vyšly hodnoty sféry $-2,28 \pm 2,33$ D (min. $0,0$ D, max. $-18,0$ D; medián $-1,75$ D) a cylindru $-0,63 \pm 0,80$ D (min. $0,0$ D, max. $-4,5$ D; medián $-0,5$ D), osa $99,8^\circ \pm 56,64^\circ$ (min. 0° , max. 180° ; medián 95°). U subjektivní metody je patrné, že má nižší hodnoty než objektivní refrakce. Dále se zjistilo, že se nejvíce vyskytuje přímý rohovkový astigmatismus, a to u 278 očí, nepřímý rohovkový se vyskytuje u 59 očí a šikmý byl zjištěn u 285 očí. Bez rohovkového astigmatismu, pouze se sférickým tvarem přední plochy bylo 13 očí. (22)

Skupina II sestává z hypermetropických klientů, konkrétně 67 mužů a 107 žen. Věkový průměr je $58,84 \pm 16,73$ roku (min. 9 let, max 88 let; medián 62 let). Hodnoty objektivní refrakce u sféry jsou $+2,81 \pm 2,21$ D (min. 0,0 D, max. +19,0 D; medián 2,38 D) a cylindru jsou $-1,0 \pm 0,94$ D (min. $-0,25$ D, max. $-5,75$ D; medián $-0,75$ D) a osa $95^\circ \pm 45,4^\circ$ (min. 0° , max. 180° ; medián 92°). Při následné subjektivní zkoušce vyšly hodnoty sféry $+2,28 \pm 2,06$ D (min. 0,0 D, max. +17,0 D; medián +1,75 D), cylindr $-0,49 \pm 0,85$ D (min. 0,0 D, max. $-5,0$ D; medián 0 D) a osa $95,9^\circ \pm 46,4^\circ$ (min. 0° , max. 180° ; medián 90°). Rohovkový přímý astigmatismus se vyskytl u 113 očí, nepřímý byl změřen u 42 očí a šikmý se objevil u 182 očí. (22)

Skupina III, nejméně početně zastoupená, se skládala z emetropů, kteří bez korekční pomůcky mají minimální vizus 1,0 (5/5) a lepší a bez subjektivních potíží. U této skupiny bylo subjektivní zkouškou prokázáno, že klienti nepotřebovali korekci brýlemi či kontaktními čočkami. Skupina je zastoupena 52 muži a 71 ženami. Průměrný věk je $42,99 \pm 18,73$ roku (min. 3 roky, max. 91 let; medián 44 let). U objektivní refrakce se zjistily sférické hodnoty $+0,32 \pm 0,45$ D (min. $-1,75$ D, max. +1,5 D; medián 0,25 D), cylindrické $-0,51 \pm 0,28$ D (min. $-0,25$ D, max. $-2,25$ D; medián $-0,5$ D) a osa $94,7^\circ \pm 57,5^\circ$ (min. 0° , max. 180° ; medián $93,5^\circ$). Subjektivní zkouška refrakce prokázala, že klienti nepotřebovali mít korekci brýlemi ani kontaktní čočkou. Přímý rohovkový astigmatismus se vyskytl u 113 očí, nepřímý u 15 očí a šikmý byl přítomen u 111 očí. Sférický tvar rohovky byl zjištěn u osmi očí. (22)

Tab. 2: Porovnání subjektivní a objektivní refrakce (22)

Skupiny	Objektivní refrakce			Subjektivní refrakce		
	Sféra (D)	Cylindr (D)	Osa (°)	Sféra (D)	Cylindr (D)	Osa (°)
I. Myopie	$-2,57$ $\pm 2,46$	$-1,1$ $\pm 1,01$	100° $\pm 53,16^\circ$	$-2,28$ $\pm 2,33$	$-0,63$ $\pm 0,80$	$99,8^\circ$ $\pm 56,64^\circ$
II. Hypermetropie	$+2,81$ $\pm 2,21$	$-1,0$ $\pm 0,94$	95° $\pm 45,4^\circ$	$+2,28$ $\pm 2,06$	$-0,49$ $\pm 0,85$	$95,9^\circ$ $\pm 46,4^\circ$
III. Emetropie	$+0,32$ $\pm 0,45$	$-0,51$ $\pm 0,28$	$94,7^\circ$ $\pm 57,5^\circ$	–	–	–

6.1.2 Závěr

Když se porovnají výsledky objektivní a subjektivní refrakce, je zřejmé, že objektivní metoda má vyšší hodnoty než subjektivní. **Skupina I** má průměrnou hodnotu ve sféře $-2,5$ D objektivně a subjektivně je hodnota nižší než $-2,25$ D. Objektivně průměrná hodnota cylindru u myopia činí $-1,0$ D, ale subjektivně se pohybuje mezi $-0,5$ D až $-0,75$ D. Osa je u obou metod průměrně stejná. U **skupiny II** je průměrná sférická hodnota $+2,75$ D objektivně, subjektivně je $+2,25$ D. Cylindr naměřený objektivně u hypermetropie je $-1,0$ D, zatímco subjektivně je to necelá $-0,5$ D. Obě hodnoty os jsou téměř totožné. **Skupině III** byly naměřeny vyšší hodnoty objektivně, protože subjektivně měli její členové vizus minimální 1,0. (22)

6.2 Souhrnný výzkum prevalence refrakčních vad v Evropě

Ve výzkumu prevalence ametropie v Evropě se využila data z 33 studií realizovaných v letech 1990–2013. Účastníci pocházeli převážně ze severní a západní Evropy, byli ve věku od 15 do 90 let a převažovaly mezi nimi ženy (57,6 %). Refrakce se měřila pomocí subjektivní metody, objektivní metody nebo jejich kombinací. Sférický ekvivalent byl považován za průměr. Ametropie byla kategorizována do skupin. Myopie je rozdělena na nízkou, střední a vysokou. Hypermetropie se člení na nízkou (≥ 1 D) a vysokou (≥ 3 D). Astigmatismus se začlenil od 1 D a více. (23)

6.2.1 Výsledky

Celková prevalence myopie byla 24,2 %, s evropskou věkovou standardizovanou prevalencí myopie vzrostla na 30,6 %. Celková prevalence hypermetropie je 34,7 %, s věkovou standardizovanou prevalencí se snížila na 25,2 %. Hodnota prevalence astigmatismu je 27,3 %, s věkově standardizovaným odhadem 23,9 %. U této studie ženy měly vyšší prevalenci dalekozrakosti než muži, a naopak muži měli vyšší prevalenci astigmatismu než ženy. (23)

Tab. 3: Věkově standardizovaná prevalence refrakčních vad pro Evropu (23)

Refrakční vada	Myopie	Hypermetropie	Astigmatismus
Věkově standardizovaná prevalence	30,6 %	25,2 %	23,9 %

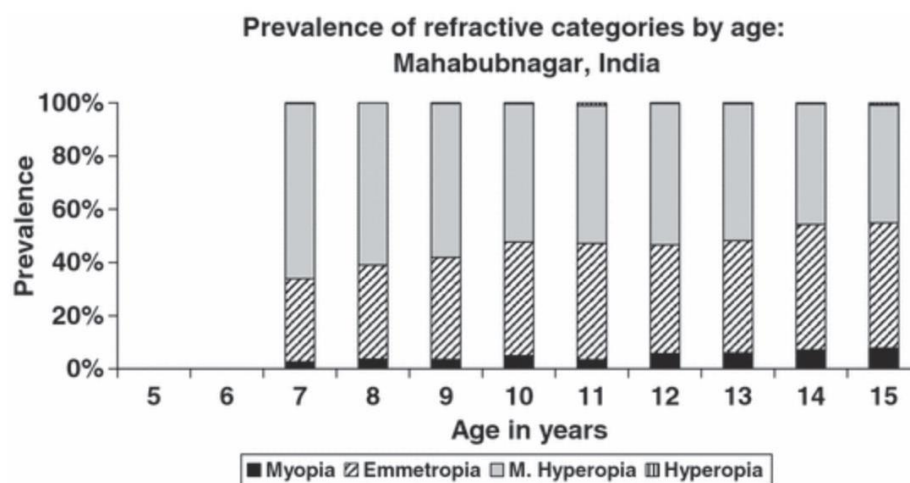
6.3 Studie prevalence refrakčních vad u dětí

Tato studie se zabývá prevalencí refrakční vady u dětí. Při zjištění refrakce se použila cykloplegika. Výzkum se prováděl ve městech i na venkově. V těchto zemích: Nepál, Indie, Chile, Malajsie a Čína. Děti byly ve věku od pěti do 15 let. Refrakce byly měřeny pomocí skiaskopie nebo z autorefraktometru. Kategorie se rozdělily podle hodnoty sférického ekvivalentu. Myopie je od $-0,5$ D a více, hypermetropie je od $+0,5$ D do $+2,0$ D, vysoká hypermetropie je od $+2,25$ D a více, emetropie je od $-0,5$ D do $+0,5$ D. (24)

6.3.1 Výsledky studie

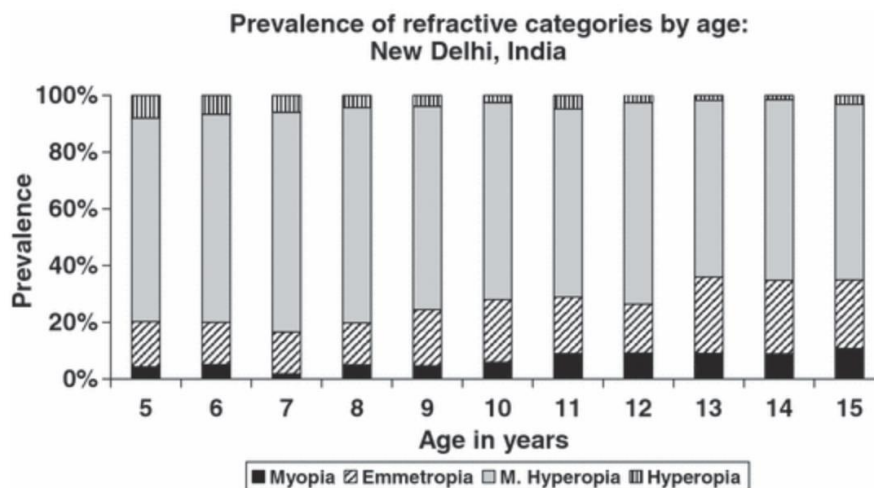
Myopie ve věku pěti let je zastoupena v 0,45 %, ale ve věku 15 let se hodnoty navýšily a je od 0,79 % do 72,9 %. (24)

Na grafu číslo 13 je znázorněn výskyt refrakčních vad podle věku v jižní Indii na venkově. Je zřejmé, že minimální podíl zde mají myopie a vysoká hypermetropie. Podobně vyvážená je zde nízká hypermetropie do $+2,0$ D a emetropie, která je tady nejvíce zastoupena ze všech zemí, a to 47,2 %. (24)



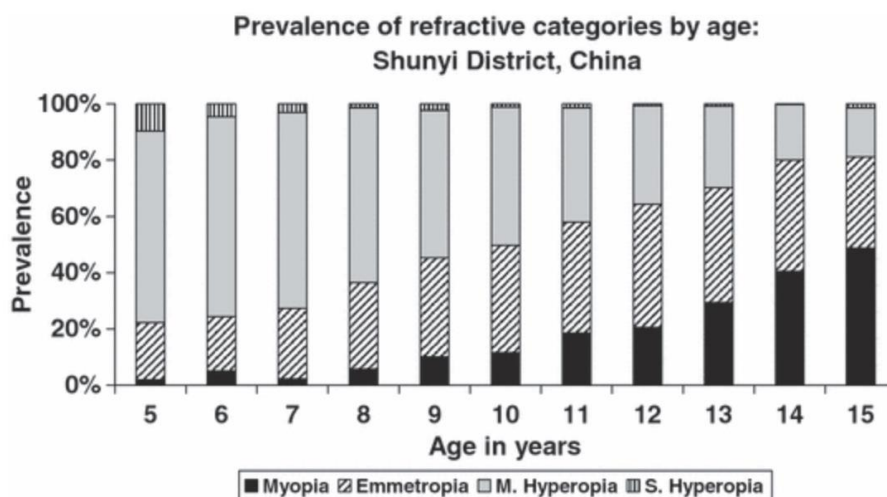
Obr. 13: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: jižní Indie, venkov (24)

Zde na grafu číslo 14 je rozložení refrakčních vad podle věku ve městě Nové Dillí v Indii. V tomto městě převažuje ve všech věkových kategoriích nízká hypermetropie do +2,0 D. Zajímavé je, že v sedmi letech se přibližuje myopie téměř k nule a od sedmi let znova narůstá. Je zde velmi málo zastoupena emetropie. (24)



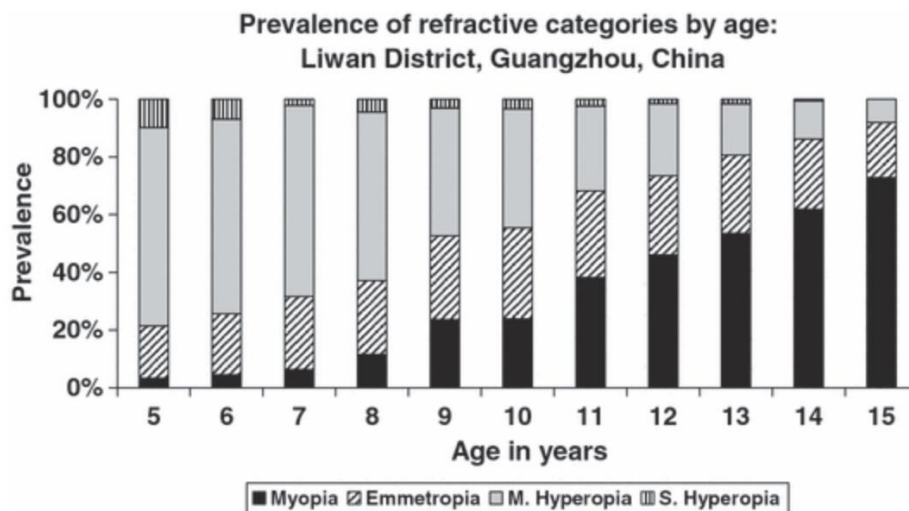
Obr. 14: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: Nové Dillí, město (24)

Na grafu číslo 15 je prevalence vad podle věku v okrese Shunyi v Číně na poloovně. Je zde patrné, že od pěti přibližně do osmi let převažuje nízká hypermetropie do +2,0 D. Zhruba od 11 let má zde velké zastoupení emetropie. Myopie na tomto grafu pomalu narůstá ve všech věkových kategoriích, kromě sedmi let, kdy mírně klesla, jako je tomu v Novém Dillí. (24)



Obr. 15: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: okres Shunyi, Čína (poloovně) (24)

Graf číslo 16 znázorňuje rozložení refrakčních vad podle věku v Guangzhou v Číně ve městě. Přibližně od 13 let převažuje nad 50 % myopie. V nižším věku naopak převažuje nízká hypermetropie, a to do osmi let. Je zde malý podíl emetropie ve všech věkových kategoriích. (24)



Obr. 16: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: Guangzhou, Čína (město) (24)

6.4 Prevalence refrakčních vad na Středním východě

Data do této studie byla použita z databáze PubMed, Web of Science, Scopus a Google Scholar, pocházela ze 47 vědeckých článků přidáných do září roku 2019. Interval spolehlivosti je zde 95 %. Zahrnují se sem pouze země Středního východu, například Palestina, Sýrie, Turecko, Egypt, Írán, Irák a další. Pro stanovení refrakčních vad byly vybrány studie, které využívaly k hodnocení sférický ekvivalent, což je součet hodnoty sféry a poloviny hodnoty minusového cylindru. Pro myopii byl stanoven sférický ekvivalent stejný nebo nižší než $-0,5$ D. U hypermetropie byla hodnota sférického ekvivalentu $+2,0$ D nebo vyšší. Kritériem pro astigmatismus byla cylindrická hodnota $-0,75$ D a více. Dále je studie rozdělena na muže, ženy a respondenty od 15 let a do 15 let, kteří byli měřeni pomocí cykloplegii. (25)

6.4.1 Výsledky

Prevalence myopie u osob ve věku do 15 let byla 4 % a 30 % u osob starších 15 let. U hypermetropie činila prevalence 8 % u mladších respondentů nebo rovných 15 let a 21 % u starších 15 let. Výsledky prevalence astigmatismu u mladších respondentů nebo rovných 15 let byla 15 % a 24 % u starších nad 15 let. (25)

Tab. 4: Prevalence refrakčních vad podle věku a pohlaví (25)

Stáří	Myopie		Hypermetropie		Astigmatismus	
	Ženy	Muži	Ženy	Muži	Ženy	Muži
	% (95 % CI)	% (95 % CI)	% (95 % CI)	% (95 % CI)	% (95 % CI)	% (95 % CI)
≤ 15 let	4,2 (2,9–5,5)	3,5 (2,8–4,1)	13,1 (5,0–21,3)	12,4 (4,3–20,5)	9,9 (1,5–18,3)	9,0 (0,7–17,3)
> 15 let	31,9 (30,1–33,7)	31,7 (29,8–33,7)	11,2 (9,9–12,4)	14,5 (12,9–16,1)	31,0 (28,3–33,8)	31,5 (28,0–35,0)

7 Praktická část

Pro praktickou část jsou data sesbírána z oční optiky Remi Optic s. r. o. a na Dni Zraku. Výsledky byly měřeny od září roku 2016 do února roku 2023. Měřena byla vedoucím práce Mgr. Jakubem Králem a mnou. Pro objektivní refrakci byly k dispozici autorefraktometry G-Medics GRK-2100, TOMEY TR 4000, Topcon RM 800. Vyšetřující místnosti měly venkovní okno, které pokud oslňovalo, bylo zataženo žaluziemi. Zdrojem světla bylo v místnostech stropní osvětlení. Pacienti byli vyšetřováni v sedě na polohovací židli. Autorefraktometr byl na polohovacím stole upevněn. Před každým pacientem byly řádně očištěny pomocí dezinfekce prostory pro opření hlavy, což je posuvná opěrka na bradu a pevně upevněná opěrka na čelo. Také byly vydezinfikovány rukojeti a okolí autorefraktometru. Celkem se výzkumu zúčastnilo 1 328 probandů, což je 2 656 očí. Všichni účastníci studie byli starší 15 let.

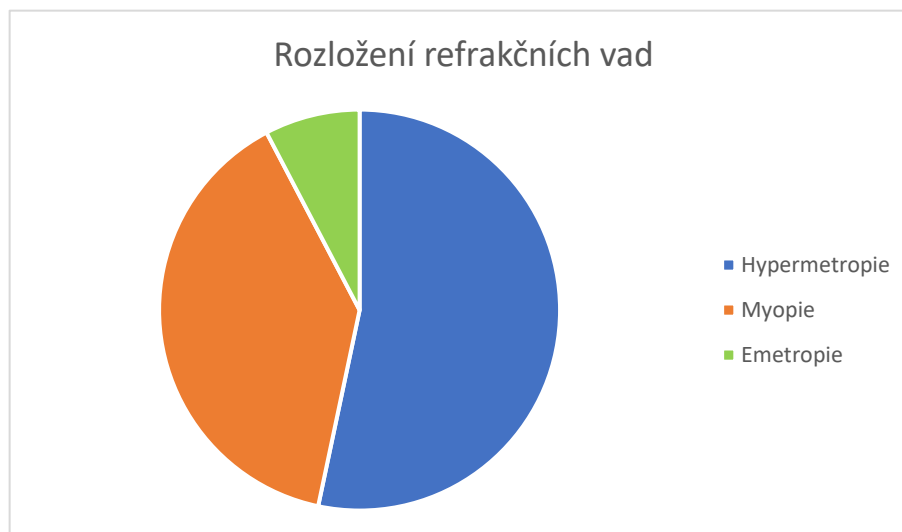
Cílem této bakalářské práce je porovnat data a shromážděné objektivní refrakce na vybrané populaci dospělých jedinců nad 15 let a zpracované výsledky porovnat s jinými studiemi, které se zabývají podobným tématem. Dosavadní literatura (26) a studie naznačují, že nejvyšší podíl refrakčních vad v populaci připadá na myopii. Astigmatická složka je v populaci nejrozšířenější kolem 1 D a osa záporného cylindru je podle pravidla a to v ose 180°.

7.1 Metodika

Při objektivní refrakci byl použit autorefraktometr, který nám naměří dioptrickou a cylindrickou hodnotu, osu cylindru, pupilární distanci neboli PD a sférický ekvivalent nám vypočítá, vždy pro pravé a levé oko. Vyšetření na tomto přístroji vypadá následovně: proband si opře bradu a čelo o opěrku, nesmí mrkat a hýbat se. V přístroji sleduje fixační obraz, který se rozostřuje a zaostruje pro uvolnění akomodace. Do oka projde infračervený paprsek, ten se odrazí a vrátí zpět do detektoru, který vyhodnotí refrakční vadu. Tento proces se opakuje alespoň třikrát, aby byly hodnoty co nejpřesnější a pro každé oko zvlášť. Nakonec se vytisknou výsledné hodnoty na formuláři z přístroje. Pro jednotlivé refrakční vady jsou zde nastavena kritéria. Za hypermetropii se považuje hodnota $\leq +0,25$ D, u myopie je hodnota $\geq -0,25$ D, u emetropie je hodnota rovna 0,0 D a u astigmatismu se zahrnuje hodnota cylindrické složky od -0,25 D a méně.

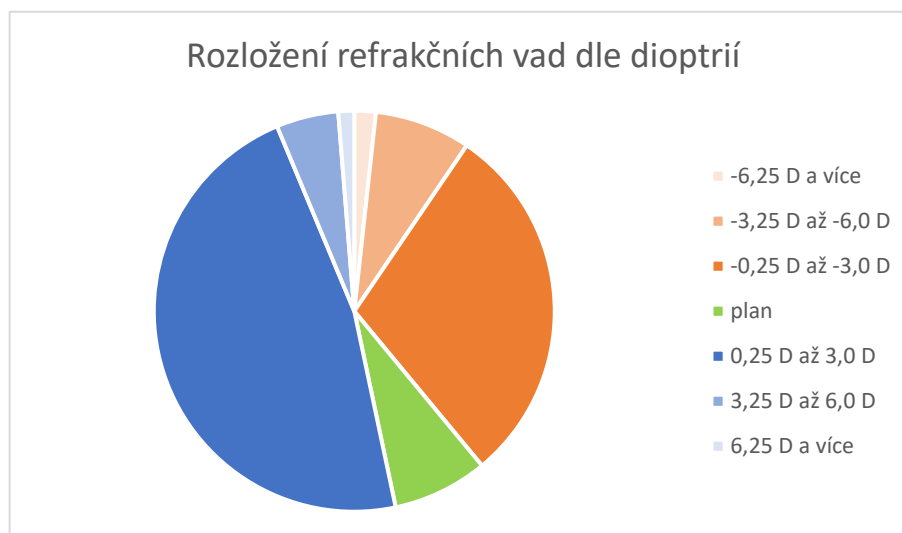
7.2 Výsledky praktické části

Graf číslo 17 rozděluje refrakční vady, které jsou zastoupeny v populaci, na tři základní, což jsou hypermetropie, myopie a emetropie. Nejvíce zastoupena v této práci je hypermetropie (53 %), druhá nejčastější je pak myopie (39 %) a poslední je emetropie (8 %). Modus je 0,0 D, medián je +0,25 D a směrodatná odchylka je $\pm 2,395$ D.



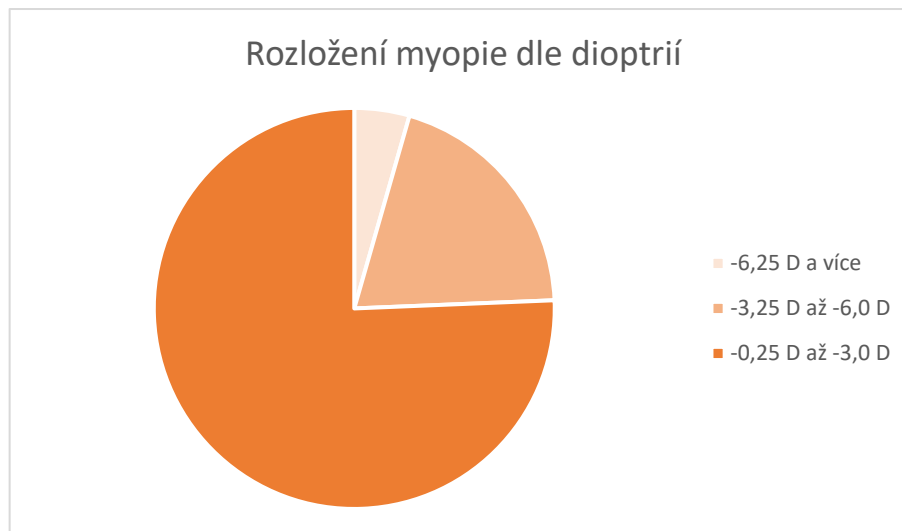
Obr. 17: Graf rozložení refrakčních vad

Na grafu číslo 18 jsou znázorněny procentuální hodnoty rozložení refrakčních vad podle dioptrií. Refrakční vady jsem rozdělila do sedmi skupin, a to na nízkou ($\pm 0,25$ D až $\pm 3,0$ D), střední ($\pm 3,25$ D až $\pm 6,0$ D), vysokou ($\pm 6,25$ D a více) myopii a hypermetropii, samostatnou emetropii (0,0 D). Nejvíce zastoupena je nízká hypermetropie 47 %, naopak nejméně těžká hypermetropie 1 %. Emetropie je zde zastoupena v 8 %.



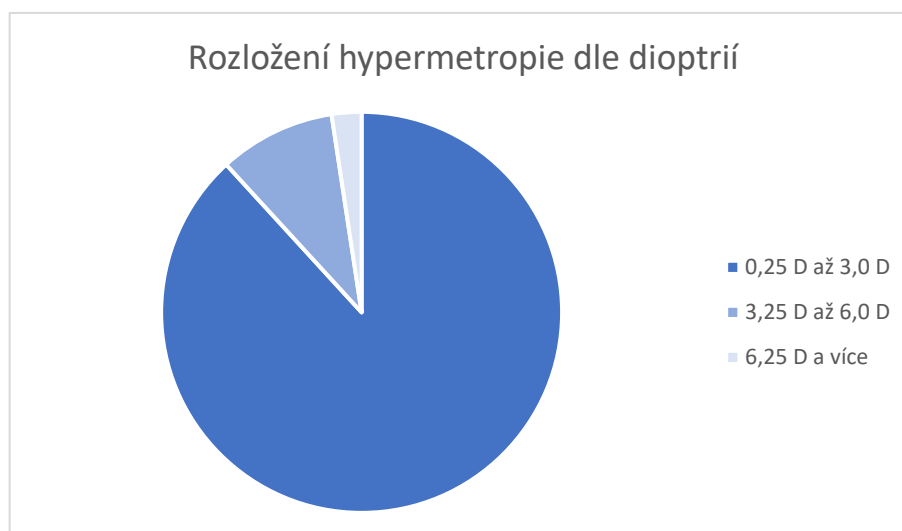
Obr. 18: Graf rozložení refrakčních vad podle dioptrií

Na grafu číslo 19 je rozložení myopie podle dioptrií. Nejčastěji se objevuje nízká myopie v procentuálním množství 76 %, další je střední myopie, zastoupená ve 20 %, a nejméně čtená je vysoká myopie s 2 %. Nejnižší hodnota je zde $-13,0$ D. Modus činí $-0,75$ D, medián je $-1,5$ D a směrodatná odchylka je $\pm 1,820$ D.



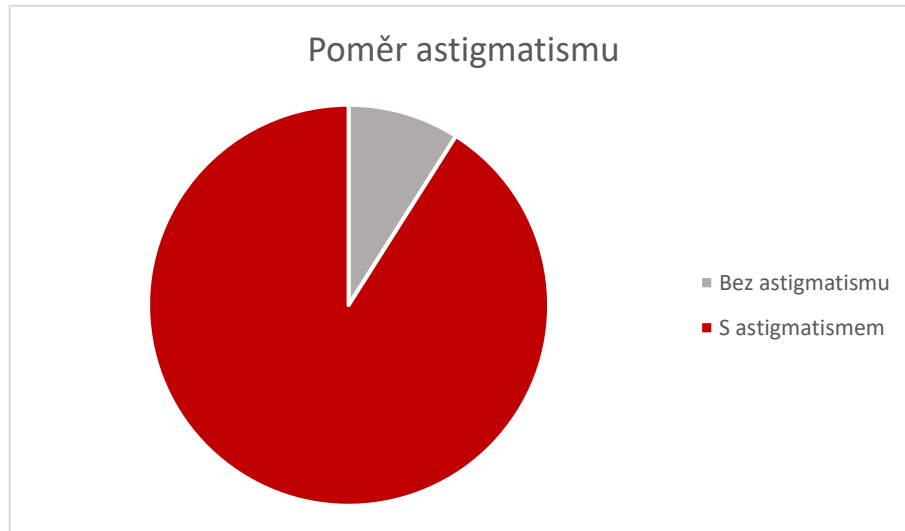
Obr. 19: Graf rozložení myopie podle dioptrií

U grafu číslo 20 jsou rozdělovány hodnoty hypermetropie. Nejvíce zastoupena je nízká hypermetropie s hodnotou 88 %, dále střední hypermetropie, zastoupená 9 %. Těžká hypermetropie se vyskytuje v procentuálním množství 2 %. Nejvyšší hodnota je zde $+12,0$ D. Modus je $+0,5$ D, medián $+1,25$ D a směrodatná odchylka činí $\pm 1,493$ D.



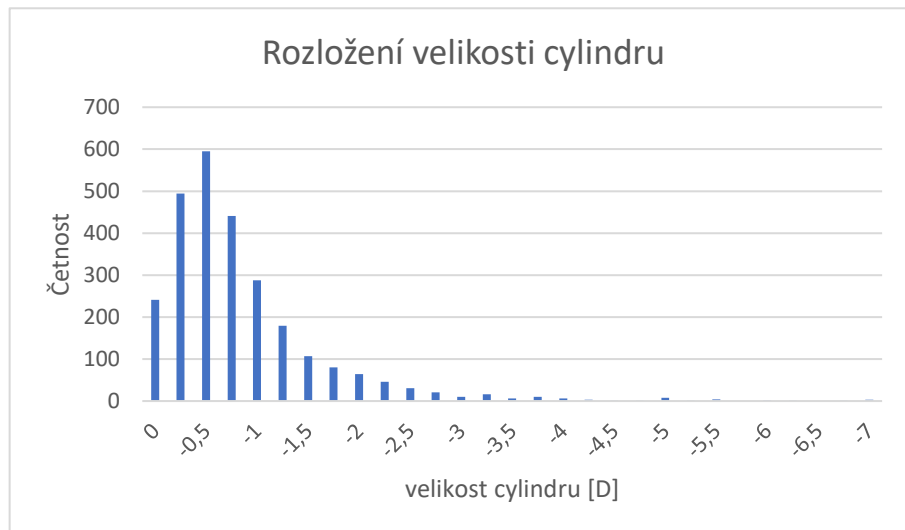
Obr. 20: Graf rozložení hypermetropie podle dioptrií

Tento graf číslo 21 nám udává procentuální počet očí s astigmatismem a bez astigmatismu. Je zde zřejmé, že převažuje hodnota 91 % očí s astigmatismem. Bez astigmatismu je zde jen 9 % očí.



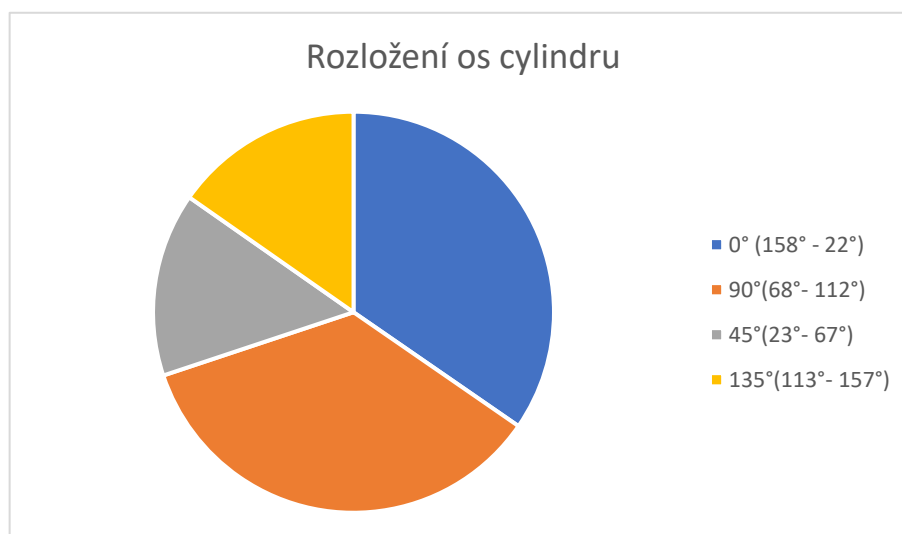
Obr. 21: Graf rozložení očí s astigmatismem a bez něho

V grafu číslo 22 je vyobrazena četnost síly cylindru. Největší hodnota cylindru činí $-7,0$ D. Modus se rovná $-0,5$ D, medián je $-0,65$ D a směrodatná odchylka $\pm 0,825$ D.



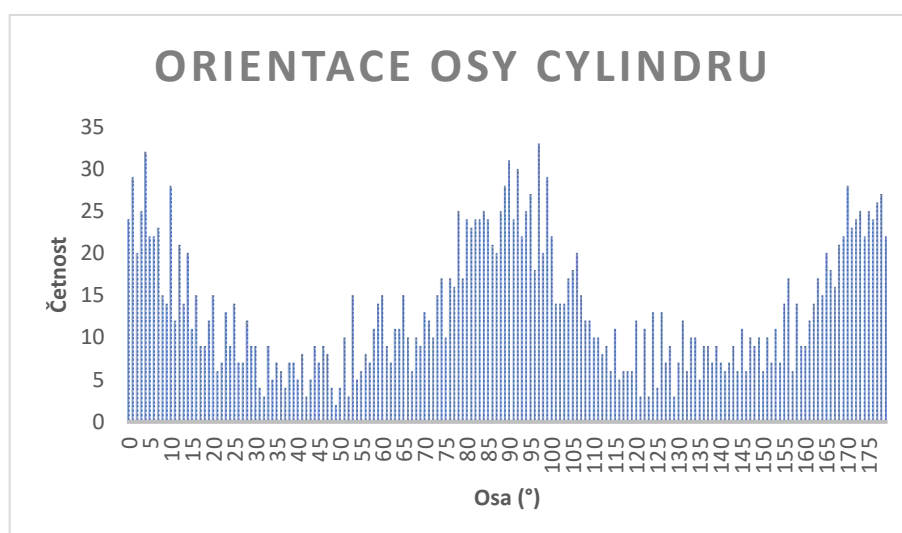
Obr. 22: Graf rozložení velikosti cylindru

Tento graf číslo 23 nám znázorňuje rozložení os u astigmatismu. Očí s astigmatismem bylo 2 421, z toho vyplynulo, že proti pravidlu (90°) a podle pravidla (0°) mají stejné zastoupení, a to 35 %. U šikmých ($45^\circ, 135^\circ$) os vycházejí také stejně, s hodnotami 15 %.



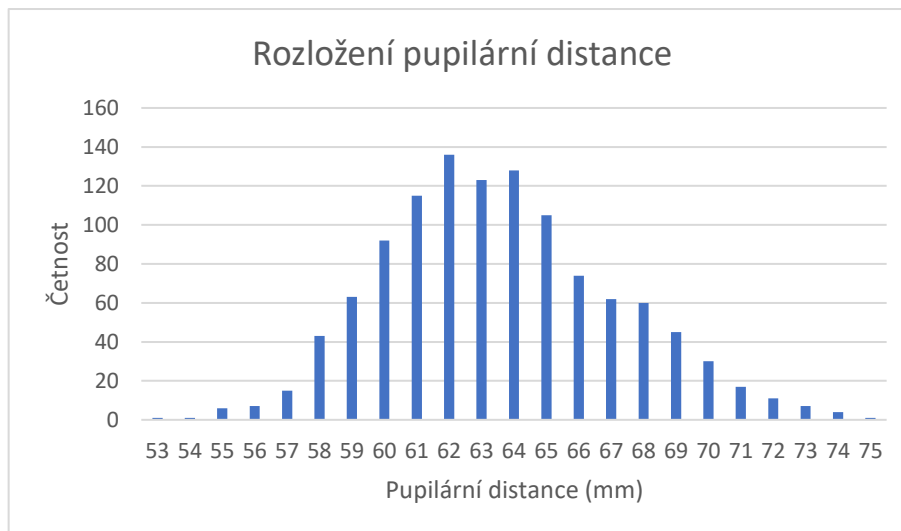
Obr. 23: Graf rozložení os cylindru

Zde na grafu číslo 24 jsou vyobrazeny osy podle orientace osy minusového cylindru. Největší počet má osa ve 4° s hodnotou 32 očí. Nejmenší má osa ve 49° s hodnotou dvou očí. Počet párů očí, které mají šikmé osy do A, je 64 výskytů a šikmé osy do V má 56 párů očí. Je zde 359 očí, které mají šikmou osu 45° (23° – 67°) a 370 očí se šikmou osou ve 135° (113° – 157°).



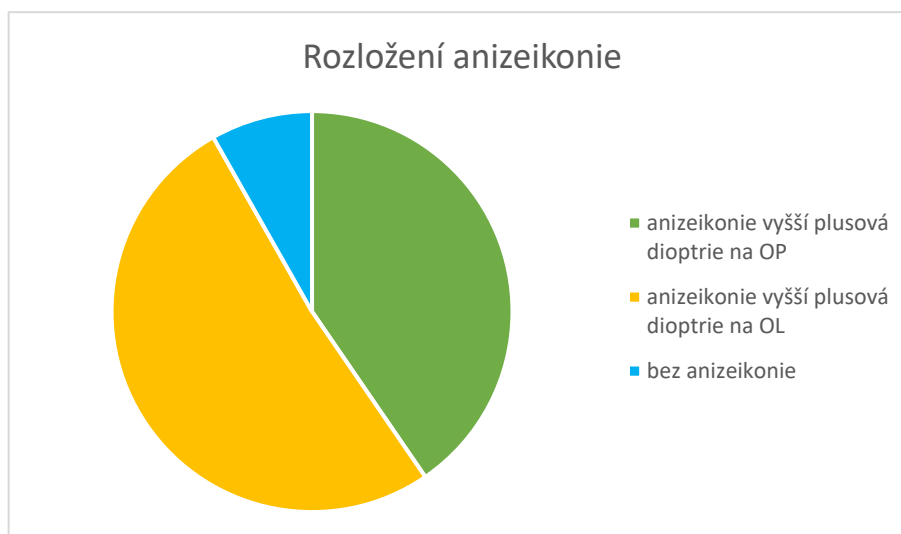
Obr. 24: Graf orientace osy cylindru

Graf číslo 25 zachycuje počet pacientů s danou pupilární distancí na ose x. Nejpočetnější skupina je s PD 62 mm s hodnotou 136. Naopak nejméně zastoupené skupiny jsou s krajními hodnotami, což jsou 53 mm, 54 mm a 75 mm, které mají hodnotu jednoho pacienta. Modus je 62 mm, medián 63 mm a směrodatná odchylka činí $\pm 3,582$ mm.



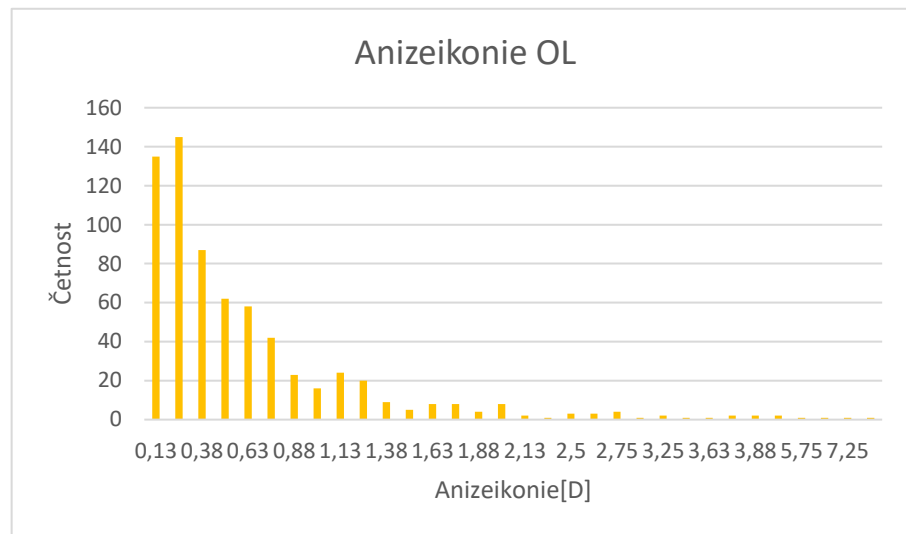
Obr. 25: Graf rozložení pupilární distance

Graf číslo 26 znázorňuje rozložení anizeikonie. Stejně vnímaný obraz oběma očima má pouze 109 párů očí, což je 8 %. Vyšší hodnoty anizeikonie na oku levém převažují více než na oku pravém. Větší hodnoty jsou u 51 % očí na levém oku, zatímco u oka pravého má 40 % párů očí vyšší hodnoty. Modus je +0,13 D, medián +0,38 D, směrodatná odchylka činí $\pm 0,792$ D.



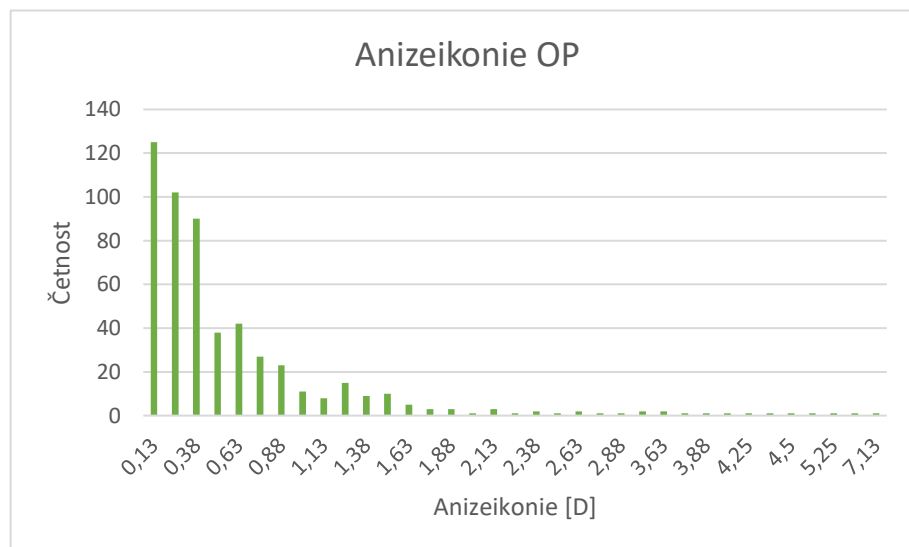
Obr. 26: Graf rozložení anizeikonie

V grafu číslo 27 jsou vyobrazeny hodnoty anizeikonie oka levého. Nejpočetnější je hodnota 0,25 D s počtem 145 párů očí. Nejméně početné hodnoty jdou od 2 D do 7,38 D. Modus je +0,25 D, medián +0,38 D, směrodatná odchylka má hodnotu $\pm 0,801$ D.



Obr. 27: Graf anizeikonie oka levého

Na grafu číslo 28 je znázorněna anizeikonie oka pravého. Lze z něj vyvodit, že nejvíce je zastoupena hodnota +0,13 D s počtem 125 párů očí. Od +1,88 D je velmi malá četnost s větší anizeikonii. Modus je +0,13 D, medián +0,38 D a směrodatná odchylka $\pm 0,813$ D.



Obr. 28: Graf anizeikonie oka pravého

8 Diskuse

Výsledky praktické části této bakalářské práce bude porovnáváno s výsledky studií, které jsou popsány v teoretické části (kapitola 6: Dosavadní výzkumy prevalence refrakčních vad).

8.1 Srovnání výsledků s tuzemskou studií

Výsledky výzkumu pana docenta Mgr. Pavla Beneše, PhD., vycházejí jak z objektivní, tak i ze subjektivní refrakce. Jelikož je v tomto výzkumu použita pouze objektivní metoda, mohou být výsledky zkreslené především akomodací, kterou u objektivní metody nelze zcela vyloučit. V rámci testování byl použit autorefraktometr s infračerveným paprskem. Pavel Beneš, využil ke své objektivní refrakci autorefraktometr s Placidovými kruhy. Bylo zahrnuto ve výzkumu 615 respondentů, v této studii jich je více než dvojnásobek, a to 1 330.

U skupiny I, složené z myopů, ve své studii pan docent Pavel Beneš ve výsledcích zaznamenal 636 očí s minimální hodnotou $-0,25$ D a maximální hodnotou $-20,5$ D. Tato skupina je nejpočetnější, zatímco v této studii je to druhá nejpočetnější skupina s 1 035 očima.

Ve skupině II, jež zahrnovala osoby s hypermetropií, uvádí Pavel Beneš 348 očí ve výsledku $0,0$ D – $+19,0$ D. V této práci byl počet 1 415 hypermetropických očí, což je více než polovina a je zde nejčetnější skupinou.

U skupiny III, kterou tvoří emetropové, se nemohou výsledky porovnat, jelikož za emetropa Pavel Beneš považoval respondenta, který mu vyšel vizus 1,0, ale mohl mít jakoukoliv dioptrickou hodnotu naměřenou pomocí objektivní refrakce.

8.2 Porovnání výsledků se studií prevalencí refrakčních vad na Středním východě

U této studie byla použita metoda ke stanovení refrakce jak objektivní, tak i subjektivní refrakce. Jako výsledek byl použit sférický ekvivalent. Pro myopii byl stanoven sférický ekvivalent $-0,5$ D a nižší hodnota, pro hypermetropii byl stanoven $+2,0$ D a vyšší hodnota. U astigmatismu se brala hodnota cylindrické složky vyšší než $-0,75$ D. Pokud se nebudou zahrnovat mladší probandi než 15 let, převažovala více myopie (s 30 %) než hypermetropie (s 21 %). V této studii převládá hypermetropie, jelikož jsou zahrnuty hodnoty od sférické složky $+0,25$ D a více. Pokud se stanoví stejná kritéria u obou studií. Výsledkem hypermetropie je 307 očí, výsledkem myopie pak 1 115 očí, vlivem změny kritérií začne převažovat myopie.

8.3 Porovnání výsledků s evropskou studií

U studie prevalence refrakčních vad v Evropě se hodnoty zjišťovaly pomocí subjektivní metody, objektivní metody, případně jejich kombinací, přičemž není specifikováno jaká z metod se použila. Výslednou hodnotou byl zvolen sférický ekvivalent. U této studie je zahrnuta věková standardizace. Zde byla po věkové standardizaci vyšší procentuální hodnota u myopie (30,6 %) než u hypermetropie (25,2 %). Před věkovou standardizací převládala hypermetropie nad myopií, takové výsledky vycházely i u této studie.

8.4 Shrnutí výsledků

V této praktické části vychází, že se více vyskytuje hypermetropie než myopie. V literatuře se uvádí pravý opak. Může to být způsobeno tím, že jsou data změřena pouze objektivně a subjektivně nejsou zkontrolována. Hodnoty mohou být více zkreslené do krátkozrakosti. Hodnota cylindru z autorefraktometru TOMEY TR 4000 v praxi vychází podobně se subjektivní refrakcí. Osy cylindru jsou u nízkých hodnot cylindru ovlivněny slzením, sezonními faktory, jako jsou alergie a chřipkové období. U vyšších hodnot cylindru jsou osy přesné. Dále to může být způsobeno nastavenými kritérii pro danou refrakční vadu. U hypermetropie je nastavena hodnota $\leq +0,25$ D, přičemž v literatuře a studiích se udává od vyšší hodnoty ($\leq +0,75$ D) a hodnoty vycházející ze sférického ekvivalentu.

9 Závěr

V teoretické části jsou popsány modely oka. Podrobně jsou zde vyobrazeny vady, jako jsou myopie, hypermetropie, astigmatismus a presbyopie. Dále je popsána objektivní refrakce a subjektivní refrakce. Pozornost je věnována i studii prevalence refrakčních vad, která pro území České republiky existuje pouze jedna a to od pana docenta Beneše (22), který ji prováděl v roce 2012. Je zde i studie rozložení refrakčních vad v Evropě. Také je popsána studie u dětí, kde je rozdíl mezi vadami podle toho, jestli dané dítě vyrůstá na venkově nebo ve městě.

Ve stěžejní kapitole praktické části se především porovnávají dosavadní studie s výslednými hodnotami této práce, a to především rozložení hypermetropie a myopie. Z této studie vyplývá, že převládá hypermetropie s 53 %, zatímco u všech studií je více myopů. Může to být způsobeno zadanou nejnižší hranicí, která zde činí +0,25 D. U ostatních studií se pohybuje až okolo +0,75 D. Může to být způsobeno tím, že se použily pouze výsledné objektivní hodnoty, které nebyly kontrolovány se subjektivní refrakcí a tak by mohly vycházet jiné výsledky.

V této studii měla emetropie stanovenou hodnotou 0 D. Takovýchto zcela emetropických očí vyšlo 204, což je z celkového souboru 8 %. U astigmatismu je nejčastější hodnota $-0,5$ D s počtem 595 očí. Procentuální hodnota očí s astigmatismem je 91 % a bez něj je 9 %. Osa minusové cylindrické hodnoty astigmatismu je podle literatury nejčastější ve 180° neboli podle pravidla. U této studie vyšly hodnoty jak u osy podle pravidla v 0° tak i u osy proti pravidlu v 90° s minusovou cylindrickou hodnotou stejně, a to 35 % celkového počtu, když jsou započítány ještě šikmé osy ve 45° a 135° .

Výsledkem této práce je, že ve vybraném vzorku populace byla zastoupena více hypermetropická vada než myopická. Nejvíce zastoupená hodnota cylindru je $-0,5$ D a nejčastější osa je 90° .

10 Seznam literatury

- (1) KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3068-4.
- (2) KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- (3) ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3., přeprac. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- (4) ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přeprac. vyd. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- (5) BENJAMIN, William. *Borish's Clinical Refraction*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2006. ISBN 9780750675246.
- (6) MESLIN, Dominique. *Listy očních optiků: Praktická refrakce*. Paris: ESSILOR ACADEMY EUROPE, 2008. ISBN 979-10-90678-22-4.
- (7) KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- (8) BAŠTECKÝ, Richard. *Praktická brýlová optika*. Praha: R+H Optik, 1997.
- (9) KHURANA, Ak, Aruj KHURANA a Bhawna KHURANA. *Review of ophthalmology: quick text review & MCQ's*. 6th ed. London: Jaypee Brothers Medical Pub, 2015. ISBN 978-93-5152-657-5.
- (10) KOLÍN, Jan. *Oftalmologie praktického lékaře*. Praha: Karolinum, 1994. ISBN 807066861x.
- (11) HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Maxdorf, 2021. ISBN 978-80-7345-704-4.
- (12) AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- (13) ASIMELLIS, George. *Visual optics*. Bellingham: SPIE Press, 2022. ISBN 9781510622616.
- (14) In: *Optik Skrbková* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.optikskrbkova.cz/upload/images/Astigmatizmus%20-%20nekorigovan%c3%bd.jpg>

- (15) MAZAL, Zdeněk a Petr HERLE, ed. *Oftalmologie pro všeobecné praktické lékaře*. Praha: Raabe, 2011. ISBN 978-80-86307-89-3.
- (16) In: *Optik Skrbková* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.optikskrbkova.cz/upload/images/Astigmatizmus%20-%20korigovan%c3%bd.jpg>
- (17) ÚVN. Léčba keratokonu. *Uvn.cz* [online]. © 2022 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.uvn.cz/cs/refrakcni-a-laserove-centrum/lecba-keratokonu>
- (18) HLOŽÁNEK, Martin a Blanka BRŮNOVÁ. *Přístrojová technika v oftalmologii*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902160-9-9.
- (19) KURODA, Tehurito et al. Wavefront analysis of higher-order aberrations in patients with cataract. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [online]. 2002, 28(3), 438–444 [cit. 2022-11-28]. DOI: 10.1016/s0886-3350(01)01176-2. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(01\)01176-2](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(01)01176-2)
- (20) Wavefront Analýza. *EyeWiki*. In: *EyeWiki* [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: https://eyewiki.aao.org/w/images/1/a/a7/WF_fig_1.jpg
- (21) VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ. *Vyšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada, 2019. ISBN 978-80-271-2071-0.
- (22) BENEŠ, Pavel et al. Výskyt refrakčních vad s následnou volbou korekční pomůcky. *Česká a slovenská oftalmologie*. 2012, 68(1), 11–16. ISSN 1211-9059.
- (23) WILLIAMS, M. K. et al. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E3) Consortium. *European Journal of Epidemiology* [online]. 2015, 30, 305–315 [cit. 2022-12-31]. DOI: 10.1007/s10654-015-0010-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0010-0>
- (24) MORGAN, G. I. et al. Refractive Error Study in Children Survey Group. *Acta Ophthalmologica* [online]. 2010, 88(8), 877–884 [cit. 2023-03-09]. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2009.01800.x. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2009.01800.x>
- (25) KHOSHHAL, F. et al. The prevalence of refractive errors in the Middle East: a systematic review and meta-analysis. *International Ophthalmology* [online]. 2020, 40(6), 1571–1586 [cit. 2023-03-09]. ISSN 0165-5701. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01316-5>

- (26) NEOVIZE. Jaké jsou oční vady a onemocnění. In: *Neovize.cz* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.neovize.cz/jake-jsou-ocni-vady-a-onemocneni/>

11 Seznamy obrázků a tabulek

Obr. 1: Gullstrandův model oka (2).....	9
Obr. 2: Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova oka (2)	11
Obr. 3: Standardní redukované oko (2)	11
Obr. 4: Emetropie (9).....	13
Obr. 5: Hypermetropie (9).....	14
Obr. 6: Hypermetropické oko po předsazení spojné čočky (9).....	16
Obr. 7: Myopie (9).....	17
Obr. 8: Myopické oko po předložení rozptylné čočky (9)	19
Obr. 9: Astigmatismus (14)	19
Obr. 10: Rozdělení pravidelného astigmatismu (9).....	21
Obr. 11: Astigmatismus s korekcí (16).....	22
Obr. 12: Wavefront-analýza (20).....	25
Obr. 13: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: jižní Indie, venkov (24)....	31
Obr. 14: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: Nové Dillí, město (24)	32
Obr. 15: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: okres Shunyi, Čína (poloovenkov) (24)	32
Obr. 16: Graf prevalence refrakčních vad podle věku u dětí: Guangzhou, Čína (město) (24)	33
Obr. 17: Graf rozložení refrakčních vad.....	36
Obr. 18: Graf rozložení refrakčních vad podle dioptrií	36
Obr. 19: Graf rozložení myopie podle dioptrií	37
Obr. 20: Graf rozložení hypermetropie podle dioptrií.....	37
Obr. 21: Graf rozložení očí s astigmatismem a bez něho	38
Obr. 22: Graf rozložení velikosti cylindru	38
Obr. 23: Graf rozložení os cylindru.....	39
Obr. 24: Graf orientace osy cylindru	39
Obr. 25: Graf rozložení pupilární distance	40
Obr. 26: Graf rozložení anizeikonie	40
Obr. 27: Graf anizeikonie oka levého.....	41
Obr. 28: Graf anizeikonie oka pravého	41

Tab. 1: Gullstrandův model oka (2).....	10
Tab. 2: Porovnání subjektivní a objektivní refrakce (22).....	29
Tab. 3: Věkově standardizovaná prevalence refrakčních vad pro Evropu (23)	31
Tab. 4: Prevalence refrakčních vad podle věku a pohlaví (25)	34