

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra přírodovědných oborů**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Květen 2017

Hana Stojaspalová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

**Epidemiologické rozložení refrakčních vad na akademické půdě ČVUT -
FBMI**

Occurrence of refraction defects at the CTU - FBME

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Hana Stojaspalová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

Kladno, Květen 2017

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Hana Stojaspalová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Epidemiologické rozložení refrakčních vad na akademické půdě ČVUT - FBMI**
Téma anglicky: Occurrence of refraction defects at the CTU - FBME

Zásady pro vypracování:

Student vypracuje bakalářskou práci, který se zabývá problematikou refrakčních vad. V úvodních kapitolách rozdělí a popíše jednotlivé refrakční vady a jejich řešení. Popíše postup získávání informací pro vyústění kvalitně zpracované refrakce tzn. anamnéza, objektivní refrakce, subjektivní refrakce epidemiologie a návrh řešení. Dále zpracuje anatomii oka včetně základních modelů lidského oka. Následně student provede průzkum, kde zpracuje výsledky samostatných měření refrakčních vad studentů a zaměstnanců Fakulty biomedicínského inženýrství a porovná s průměrem výskytu refrakčních vad v České republice.

Seznam odborné literatury:

- [1] ELLIOTT D. B., *Clinical Procedures in Primary Eye Care*, ed. 3, Butterworth-Heinemann, 2007, ISBN 978-0750688963
- [2] ANTON, Milan, *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, ed. 3, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004, ISBN 80-7013-402-X
- [3] BENJAMIN, W. J., BORISH, I. M., *Borish's Clinical Refraction*, ed. 2, Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2006, 1255 s., ISBN 978-0-7506-7524-6

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Mgr. Jakub Král



vedoucí katedry / pracoviště



děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce: Epidemiologické rozložení refrakčních vad na akademické půdě ČVUT - FBMI

Abstrakt:

Tato práce se zabývá problematikou refrakčních vad. V teoretické části je zmíněna stručná anatomie oka a základní optické modely lidského oka. Dále jsou zde rozebrány sférické a asférické refrakční vady oka – myopie (krátkozrakost), hypermetropie (dalekozrakost), astigmatismus a také presbyopie, včetně jejich rozdělení a korekce. Práce obsahuje také část, která se věnuje objektivním a subjektivním metodám řešení refrakčních vad. Závěrečná část je věnována epidemiologickému výskytu refrakčních vad.

Ve výzkumné části je popsáno vyšetření refrakce u studentů a zaměstnanců Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT, kde jsou zároveň vyhodnocena získaná data.

Klíčová slova:

Refrakční vady, refrakce, hypermetropie, myopie, astigmatismus

Bachelor's Thesis title: Occurrence of refraction defects at the CTU - FBME

Abstract:

This thesis aims to present problematics of refractive defects. In the theoretical part the anatomy of the human eye and its optical models are presented. In this part refractive errors of the human eye myopia, hypermetropia, astigmatism and also presbiopia are laid out including their categorization and correction. Next part of this thesis contains objective and subjective methods of repairing these refractive defects. The final part is dedicated to the epidemiological occurrence of these refractive defects.

In the investigatory part examination of refractive defects conducted on students and employees of faculty of Biomedical engineering (CTU) is described and gained data is evaluated.

Key words:

Refractive defects, refraction, hyperopia, myopia, astigmatism

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu Mgr. Jakubu Královi za cenné rady, připomínky, trpělivost a ochotu při psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se zúčastnili výzkumu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Epidemiologické rozložení refrakčních vad na akademické půdě ČVUT - FBMI*“ 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).

V dne

.....

podpis

Obsah

Úvod.....	1
Teoretická část	2
1. Anatomie oka.....	2
1.1 Rohovka – cornea.....	2
1.2 Komorová voda.....	4
1.3 Duhovka – iris	4
1.4 Čočka – lens	4
1.5 Sklivec – corpus vitreum.....	4
1.6 Sítnice – retina.....	5
2. Refrakce oka	6
2.1 Vývoj refrakce oka.....	6
2.2 Optické modely lidského oka.....	6
2.2.1 Gullstrandovo schématické oko.....	7
2.2.2 Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schématického oka.....	8
2.2.3 Redukované oko	9
3. Emetropie.....	10
3.1 Daleký bod	10
3.2 Blízký bod	10
3.3 Akomodační šíře	10
4. Refrakční vady oka (ametropie)	12
4.1 Sférické ametropie	12
4.2 Hypermetropie (dalekozrakost).....	12
4.2.1 Příčiny hypermetropie.....	13
4.2.2 Příznaky hypermetropie	13
4.2.3 Rozdělení hypermetropie	13
4.2.4 Korekce hypermetropie.....	14
4.3 Myopie (krátkozrakost).....	15
4.3.1 Příčiny myopie	15
4.3.2 Příznaky myopie	15
4.3.3 Rozdělení myopie	16

4.3.4	Korekce myopie	16
4.4	Astigmatismus.....	18
4.4.1	Příčiny astigmatismu.....	18
4.4.2	Příznaky astigmatismu	18
4.4.3	Rozdělení astigmatismu	19
4.4.4	Korekce astigmatismu.....	20
4.5	Presbyopie	20
4.5.1	Příznaky presbyopie.....	20
4.5.2	Korekce presbyopie	21
5.	Vyšetření refrakčního stavu	22
5.1	Anamnéza.....	22
6.	Objektivní refrakce	23
6.1	Skioskopie	23
6.1.1	Průběh vyšetření	23
6.1.2	Druhy skioskopů	25
6.1.3	Přesnost měření.....	25
6.2	Oční refraktometry	25
6.2.1	Hardy-Astronův oční refraktometr	26
6.2.2	Rodenstockův oční refraktometr.....	26
6.2.3	Hartingerův koincidenční refraktometr	26
6.2.4	Automatické oční refraktometry	27
7.	Subjektivní refrakce	28
7.1	Zraková ostrost – vizus	28
7.2	Vyšetření subjektivní refrakce	29
7.2.1	Foropter.....	29
7.2.2	Optotypy	29
7.2.3	Stanovení nejlepší sféry	30
7.2.4	Stanovení cylindru	31
7.2.5	Binokulární akomodační vyvážení	33
7.2.6	Stanovení korekce do blízka	33
8.	Výskyt refrakčních vad	34
	Experimentální část.....	36
9.	Výběr probandů a metodika.....	36
10.	Výsledky	39

10.1	Rozložení myopie	40
10.2	Rozložení hypermetropie.....	42
10.3	Rozložení astigmatismu.....	44
10.4	Rozložení anizometropie	45
Závěr		47
Seznam použité literatury		48
Seznam symbolů a zkratk		51
Seznam obrázků.....		52
Seznam tabulek		53

Úvod

Smysly, kterými lidský organismus disponuje, jsou nepostradatelné pro lidský život. Jedním z těchto pěti smyslů je zrak, kterým vnímáme většinu (až 80 %) podnětů z okolního světa. Lidské oko je orgán, který poskytuje organismu jako celku největší přehled o okolí. Refrakce oka je dána lomivostí rohovky, lomivostí čočky, hloubkou přední komory, délkou oka, kvalitou slzného filmu a sklivce. V závislosti na těchto parametrech se refrakce oka během života mění. Refrakce oka je vyjádřena poměrem mezi délkou oka a optickou mohutností jeho lomivých prostředí. Pokud dochází k nepochybnému poměru mezi lomivostí optických prostředí oka a jeho délkou, vznikají refrakční vady.

Motivací k výběru zvoleného tématu a k následnému sepsání této bakalářské práce mi byla myšlenka, proč už nejsem, stejně jako ve školce, jediná s brýlemi v mém okolí. Nosí lidé brýle jako módní doplněk nebo korekční pomůcku? V jednu chvíli jsem si začala všimnout, že v dopravním prostředku z 10 lidí pouze dva nemají brýle. Stejně tomu bylo i ve škole, kdy většina studentů v přednáškové místnosti měla brýle nebo čočky. Má doopravdy tolik lidí refrakční vadu?

Cílem teoretické části práce je seznámit čtenáře s refrakčními vadami, jejich fyzikální korekcí a možnostmi využití objektivních a subjektivních metod k jejich zjišťování a diagnostice.

Praktická část má za úkol vyhodnotit výskyt refrakčních vad u studentů a vyučujících na akademické půdě Univerzity Českého vysokého učení technického, Fakulty biomedicínského inženýrství. Dalším cílem práce je porovnat naměřené hodnoty s hodnotami, které byly na Fakultě biomedicínského inženýrství naměřeny v minulých letech.

Teoretická část

1. Anatomie oka

Zrakové ústrojí se skládá z části periferní, zrakové dráhy a zrakového ústředí. Periferní část zahrnuje oční bulby a jejich přídatné orgány (víčka, spojivka, slzné ústrojí, okoohybné svaly).

Oční bulbus má přibližně kulovitý tvar a je uložen v kostěném prostoru zvaném očnice (orbita). Na oku rozlišujeme přední a zadní pól. Rozdělujeme ho na přední a zadní segment, za dělicí čáru považujeme oblast duhovky (iris). Stěnu oka tvoří tři vrstvy: povrchová (vazivová), střední (cévnatá) a vnitřní (nervová). [1]

1.1 Rohovka – cornea

Rohovka spolu s bělimou (sclerou) tvoří pevný obal oka. Tento obal oko chrání a udržuje jeho tvar. Z optického systému oka vykazuje největší lomivost právě rohovka. Její refrakce kolísá mezi +40 až +45 D. Větší vliv rohovky na celkové refrakci je dán větším rozdílem indexu lomu mezi vzduchem a komorovou vodou. Z toho můžeme odvodit, že je-li oko ponořené ve vodě, která má přibližně stejný index lomu jako komorová voda, ostrost vidění se sníží. Rohovka má asférický tvar, v periferii je plošší než centrálně. Díky zornici je užívána pro vidění jen centrální část, proto je rohovka považována za sféru s poloměrem zakřivení přibližně 8 mm. Rohovka se začíná vyvíjet ve druhém měsíci embryonálního vývoje a svůj růst dokončuje v šestém měsíci života. Při patologických změnách se mění její průhlednost a fyziologická tloušťka. U rohovky měříme její průměr, který je horizontálně 11,5-12 mm, vertikálně 10,5-11 mm. Vlákná ukotvená v horní a dolní části rohovky jsou důvodem její nesouměrnosti. [2, 3, 4]

Rohovka je bezcévná, bezbarvá, zcela průhledná oční tkáň skládající se z pěti vrstev. Přední plocha rohovky, epitel, hraničí se vzduchem, za ním následuje Bowmannova membrána, stroma, Descementova membrána a endotel, který je zadní plochou rohovky, hraničící s komorovou vodou. Rohovka má tvar horizontálně uložené elipsy. Je vyživována především z komorové vody, prostřednictvím slz a limbálními cévními kličkami. [4, 5]

Rohovka je bohatá na volná nervová zakončení, díky čemuž je považována za nejcitlivější zevně přístupnou část lidského těla. Po průchodu rohovkou se nervová vlákna rozvětvují, spojují a následně vytvářejí hustou nervovou pletěň v nejsvrchnější vrstvě

stromatu. Volné nervové zakončení vláken je mezi buňkami epitelu, kam se dostávají jemnými větvičkami. [4, 6]

Epitel

Epitel tvoří přibližně 10 % z celkové tloušťky rohovky. Je ektodermálního původu, ostatní vrstvy jsou původu mezodermálního. Skládá se z 5-6 vrstev buněk. Povrch epitelu tvoří mikroklyky, důležité k přilnutí vnitřní vrstvy slzného filmu (mucinu), který vyrovnává jemné nerovnosti mezi buňkami a tím vytváří dokonale hladký povrch rohovky. Pro epitel je charakteristická jeho rychlá regenerační schopnost, takže v průměru je celý epitel obnovován každých sedm dní. Neporušenost epitelu je nutnou podmínkou pro zabránění možnosti vniknutí infekce k rohovce. [4, 6]

Bowmanova membrána

Bowmanova membrána tvoří přechodnou vrstvu mezi epitelem a stromatem rohovky. Tvoří ji především kolagenní vlákna, přičemž její tloušťka činí 8-12 μm . Tato vrstva je produkována bazálními buňkami epitelu, které nejsou schopny regenerace. Bowmanova membrána proto není schopna regenerace a poškození jsou zhojena vždy do jizvy. [4, 6]

Rohovkové stroma

Stroma představuje o něco méně než 90 % tloušťky rohovky, je ohraničeno dvěma membránami, Bowmanovou a Descementovou, které zajišťují dostatečné zásobení vodou. Normální obsah vody je přibližně 80 %. Pokud dojde k navýšení, vzniká zbobtnáním mukopolysacharidů rohovkový edém. Uspořádání kolagenních fibril, kterými je rohovkové stroma tvořeno, má vliv na průhlednost rohovky. [4, 6]

Descementova membrána

Descementova membrána se skládá z mřížky kolagenních fibril a je velmi bohatá na glykoproteiny, pomoci kterých je přilnuta k endotelu. Membrána zabraňuje průniku leukocytů do stromy rohovky a je velmi odolná vůči infekcím a poraněním. Při narození je její tloušťka 3 μm , v dospělosti kolem 8-12 μm . Tvoří ji buňky endotelu a je schopna regenerace. [4, 6]

Endotel

Endotel kryje zadní povrch rohovky. Je tvořen pravidelnými polygonálními buňkami, které jsou řídce rozprostřeny. Vrstva těchto buněk řídí průtok komorové vody a tím zajišťuje optimální hydrataci stromatu. Buňky endotelu nemají regenerační schopnost, díky tomu průměrná hustota buněk endotelu s věkem klesá. Nahrazování poškozené tkáně je zajišťováno zvětšováním buněk stávajících. [4, 5, 7]

1.2 Komorová voda

Komorová voda je bezbarvá, čirá oční tekutina s indexem lomu 1,336. Vytváří fyziologické prostředí pro oční čočku. Nachází se tedy mezi zadní plochou rohovky a přední plochou čočky. Jejím hlavním úkolem je výživa čočky a rohovky. Z 98,8 % je tvořena vodou, dále se skládá z aminokyselin, minerálů, bílkovin, iontů draslíku, sodíku a vápníku, obsahuje také kyselinu mléčnou a askorbovou. Je produkována výběžky řasnatého tělíska, uloženého za duhovkou. Komorová voda proudí pupilou ze zadní komory do přední, kde v důsledku teplotního rozdílu mezi rohovkou a duhovkou dochází k cirkulaci. Poté odtéká duhovko-rohovkovým úhlem do Schlemmova kanálu. [4]

1.3 Duhovka – iris

Duhovka tvoří přechod mezi předním a zadním segmentem oka. Na duhovce je rozeznávána část pupilární, která ohraničuje zornici, a část ciliární, přecházející v řasnaté těleso. Lidská duhovka obsahuje cévy, nervy a svalová vlákna. Vlákna hladkého svalstva duhovky jsou uspořádána tak, že jsou schopná stahovat a roztahovat pupilu vlivem světla i v procesu akomodace. [4, 6]

1.4 Čočka – lens

Čočka je umístěna v zadní komoře za duhovkou v prohloubenině sklivce, kde je upevněna vlákny závěsného aparátu, které vedou z řasnatého tělíska. Sklivec a komorová voda mají přibližně stejný index lomu jako čočka. Díky tomu je lomivost čočky zhruba poloviční, než je tomu u lomivosti rohovky. Po narození je avaskulární, bez vlastní inervace a její metabolismus je závislý na komorové vodě. Během života mění čočka svůj objem, tvar a tím i své optické vlastnosti. Optická mohutnost čočky je asi +15 až +20 D. Její základní funkcí je akomodace, refrakce a udržování vlastní transparentnosti.

Čočka se skládá z pouzdra, epitelu a čočkového stromatu. Nemá homogenní strukturu a je tvořena mnoha vrstvami. [2, 4]

1.5 Sklivec – corpus vitreum

Sklivec vyplňuje prostor mezi čočkou, řasnatým tělískem a sítnicí. Jedná se o bezbarvou, čirou, rosolovitou hmotu tvořenou převážně vodou (přibližně 98 %). Objem sklivce je asi 4 ml, což tvoří zhruba 80 % nitroočního prostoru. Tlakem, který vykonává na oční obaly, udržuje tvar bulbu. Od komorové vody se liší především svojí viskozitou, která je

způsobena bílkovinou vitreín, mukoproteidy a kyselinou hyaluronovou. Ve sklivci se nenachází žádná nervová zakončení ani cévní zásobení. Sklivce se tvoří pouze v embryonálním období a neregeneruje. Dojde-li k jeho porušení, je nahrazen komorovou vodou. Hlavní funkcí sklivce je udržování nitroočního tlaku a hladkého povrchu sítnice. [4, 6]

1.6 Sítnice – retina

Sítnice je průhledná blanka tvořící vnitřní vrstvu stěny oka. Je spojena s mozkiem zrakovou dráhou. Vnější plocha sítnice sousedí s cévnatkou, vnitřní se sklivcem. V její optické části rozlišujeme deset vrstev, které jsou vzájemně spojené nervovými buňkami. Jednou z nejdůležitějších je vrstva světločivných buněk (tyčinek a čípků), při jejichž podráždění začíná proces vidění. Na sítnici máme necelých 130 milionů tyčinek a asi 7 milionů čípků. Rozložení světločivných buněk je nerovnoměrné, čípky jsou převážně nakupeny v oblasti zadního pólu oka v místě nejostřejšího vidění, nazývaného žlutá skvrna (macula lutea). Pomocí čípků vidíme ostře za denního světla a rozlišujeme jimi barvy. Směrem k periférii čípků ubývá. Nalézáme zde jen tyčinky, kterými rozeznáváme světlo a tmu. Slouží k vidění za šera a v noci. [1, 5]

2. Refrakce oka

Refrakcí oka rozumíme ohyb světelného paprsku na rozhraní dvou optických prostředí. Refrakci popisuje vztah mezi optickou mohutností lomivých prostředí a předozadní délkou oka v optické ose. Refrakce je určována variabilními hodnotami – lomivostí rohovky, lomivostí čočky, hloubkou přední komory, délkou oka, kvalitou slzného filmu a sklivce.

Světelný paprsek probíhající k sítnici prochází přes slzný film, přední plochu rohovky, rohovkovou tkáň, zadní plochu rohovky, komorovou vodu, přes přední plochu čočky, nitroočkovými strukturami, zadní plochou čočky a sklivcem. Pokud paralelní paprsky probíhající optickou soustavou jsou zalomeny tak, že se sbíhají přesně na sítnici, jedná se o ideální stav, který je nazýván emetropie. Jestliže se paprsky sbíhají mimo sítnici, jedná se o ametropii, oko vykazuje refrakční vadu. [2, 5, 3]

2.1 Vývoj refrakce oka

Zrak na rozdíl od ostatních smyslů neslouží plně ihned po narození. Refrakce oka se mění v závislosti na změnách růstu oka. Novorozenec se zdravým okem se rodí pouze se světlocitem, rozlišuje světlo a tmu. Vývoj vidění je složitý proces, skládá se ze dvou fází, z první fáze, která je zajišťována díky stálému přísunu podnětů ze vnějšího prostředí a fáze druhé, kterou uskutečňuje vytvoření pozorovaného předmětu na sítnici. [2, 4, 6]

Refrakční stav je během života dynamický. Vývoj oka ovlivňují vnější i vnitřní faktory, a může se jednat o fyziologické procesy nebo o patologie. Fyziologicky se tedy oko během života myopizuje a hypermetropizuje. [4, 6]

Při narození není vývoj ukončen funkčně, ale ani anatomicky. Člověk se rodí s hypermetropickým, krátkým okem. Během růstu těla narůstá i oko a klesá dalekozrakost. Předozadní délka osy oka je přibližně 18 mm, ve třech letech je 23 mm. O délku 0,1 mm za rok činí přírůstek oka ve věku od tří do čtrnácti let. Vývojem očního bulbu by se všechny oči měly stát emetropické, ale není tomu tak. [2, 8]

2.2 Optické modely lidského oka

Pro možnost rozboru průchodu optických paprsků okem a pro teoretické výpočty zobrazení optickou soustavou oka je zapotřebí znalost parametrů očního dioptrického systému. Jelikož je každý zrakový orgán jedinečný, byly do praxe zavedeny optické modely. Mezi běžně užívané optické modely popsané níže patří: Gullstrandovo schematické oko,

Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka a standardní redukované oko. Všechny tyto modely předpokládají kulové a centrované lomivé plochy. Modely mají vzhledem k různému stupni zjednodušení i různý stupeň uplatnění. [6]

2.2.1 Gullstrandovo schématické oko

Jedná se o nejpodrobnější a dosud užívaný optický model, který je založený na anatomii oka. Tento model vyhovuje díky šesti optickým plochám i pro přesné teoretické optické výpočty. Model je navržen ve dvou modifikacích, a to pro oko relaxované a pro oko maximálně akomodující. Tento model se využívá především pro výpočet optické mohutnosti umělé nitrooční čočky (IOL). Jako předmětové prostředí je uvažován vzduch s indexem lomu 1. Rohovku Gullstrandova oka vymezuje její přední a zadní lomivá plocha. Čočku tvoří periferní oblast (kortex) a jádro, které jsou ohraničeny čtyřmi lomivými plochami. Shodný index lomu má v modelu komorová voda a sklivce. Celková optická mohutnost Gullstrandova schematického oka je +58,64 D při uvolněné akomodaci a +70,57 D při akomodaci maximální. [6]

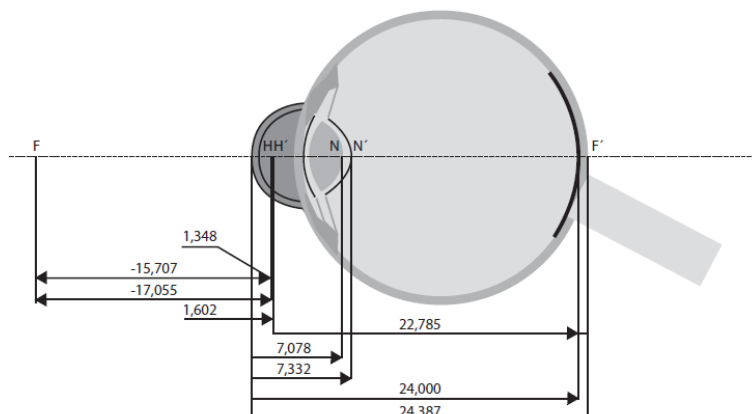
Při výpočtech pracujeme s následujícími hodnotami:

Tabulka 1: Parametry Gullstrandova schematického oka. Hodnoty maximální akomodace oka jsou uvedeny v závorkách, ostatní hodnoty odpovídají oku v neakomodovaném stavu. Pokud údaj v závorce chybí, při akomodaci se nemění. [6]

Oční struktura	Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	Poloměr zakřivení (mm)
Přední plocha rohovky	0,000	7,700
Zadní plocha rohovky	0,500	6,800
Přední plocha čočky	3,6 (3,2)	10,000 (5,33)
Přední plocha jádra čočky	4,146 (3,8725)	7,911 (2,655)
Zadní plocha jádra čočky	6,665 (6,5275)	-5,760 (-2,655)
Zadní plocha čočky	7,200	-6,000 (-5,330)
Předmětové ohnisko	-15,707 (-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 (5,633)	-
Obrazový uzlový bod	7,332 (5,997)	-
Poloha sítnice	24,000	-

Tabulka 2: Indexy lomu očních struktur podle Gullstrandova schematického oka [6]

Oční struktura	Index lomu
Rohovka	1,376
Komorová voda	1,336
Periferie čočky	1,386
Jádro čočky	1,406
Sklivec	1,336



Obrázek 1: Gullstrandovo schematické oko v neakomodovaném stavu [6]

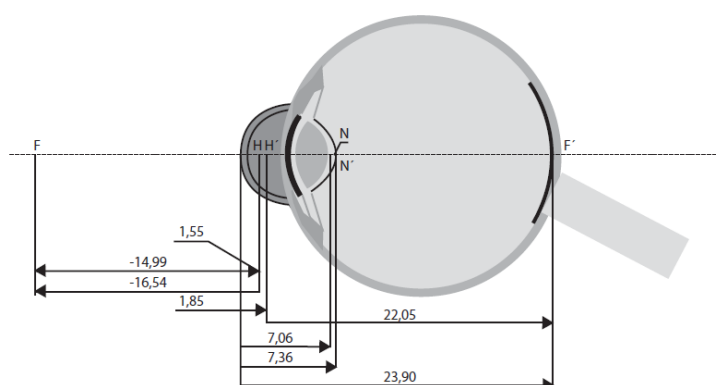
2.2.2 Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schématického oka

Pro praktické použití navrhl Gullstrand zjednodušený model. Jedná se o tzv. zjednodušené Gullstrandovo schématické oko, které obsahuje celkem tři lámavé optické plochy. Model oka je emetropický a neakomodující. Rohovku reprezentuje jedna, zatímco čočku dvě lámavé plochy. U tohoto modelu leží obrazové ohnisko přesně na sítnici a jeho celková optická mohutnost je $+60,48$ D. Předmětová a obrazová ohnisková vzdálenost jsou $-16,54$ mm a $+22,05$ mm. Tyto hodnoty dostačují pro většinu praktických výpočtů. [6]

Tabulka 3: Hodnoty Emsleyovy-Graffovy modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka při uvolněné akomodaci [6]

Oční struktura	Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	Poloměr zakřivení (mm)	Index lomu
Plocha rohovky	0,000	7,8	-
Komorová voda	-	-	4/3
Přední plocha čočky	3,6	10	-
Čočka	-	-	1,416
Zadní plocha čočky	7,2	-6,0	-

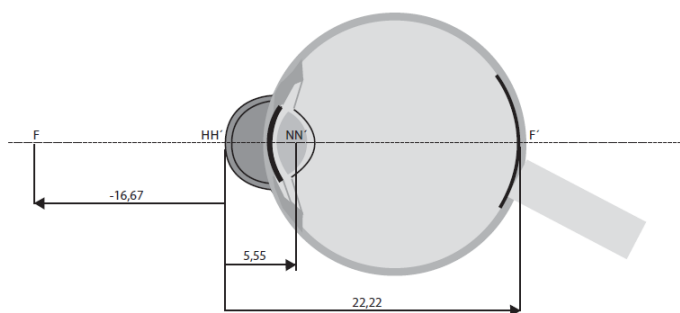
Sklivec	-	-	4/3
Předmětové ohnisko	-14,99	-	-
Obrazové ohnisko	23,90	-	-
Předmětový hlavní bod	1,55	-	-
Obrazový hlavní bod	1,85	-	-
Předmětový uzlový bod	7,06	-	-
Obrazový uzlový bod	7,36	-	-
Poloha sítnice	23,90	-	-



Obrázek 2: Emsleyova-Graffova modifikace Gullstrandova oka [6]

2.2.3 Redukované oko

Nejjednodušší a zároveň méně přesným modelem je tzv. Redukované oko. Je to systém s jediným lámavým povrchem o poloměru zakřivení $r = +5,55$ mm, s indexem lomu $n = 4/3$ a o axiální délce $a'_R = +22,22$ mm. Obrazová a předmětová ohnisková vzdálenost f a f' jsou $-16,67$ mm a $+22,22$ mm. Standardní redukované oko je emetropické. [6]



Obrázek 3: Model neakomodujícího redukovaného oka [6]

3. Emetropie

Pokud se paralelní paprsky přicházející z nekonečna sbíhají a vytvářejí v akomodačním klidu ohnisko na sítnici oka v oblasti fovey, jedná se o emetropa. Tento stav je dokonalou vyvážeností optického systému oka. Aby bylo možno dosáhnout emetropie, je třeba splnit fyzikální principy souladem těchto částí: optické mohutnosti rohovky, optické mohutnosti čočky a délky oka. Tyto tři složky se kombinují tak, že nevzniká refrakční vada. [8]

3.1 Daleký bod

Daleký bod R neboli punctum remotum, je nejvzdálenější bod na optické ose, který je viděn ostře při minimální akomodaci oka. To znamená, že obraz předmětu umístěného ve vzdálenosti dalekého bodu R se vytvoří na sítnici. Vzdálenost dalekého bodu R od předmětové hlavní roviny oka se značí a_R a je měřena v metrech. Pokud roste optická mohutnost soustavy oka, daleký bod se k oku přibližuje. Naopak, pokud optická mohutnost soustavy oka klesá, daleký bod se přibližuje z konečné vzdálenosti za okem. Převrácená hodnota jeho vzdálenosti v metrech udává refrakční stav oka. U emetropického oka je daleký bod R při minimální akomodaci v nekonečnu před okem. U myopického oka leží bod daleký R v konečné vzdálenosti před okem, u hypermetropického oka leží daleký bod při zcela uvolněné akomodaci za okem. [9, 10]

3.2 Blízký bod

Blízký bod P neboli punctum proximum, je nejbližší bod na optické ose, který je viděn ostře při maximální akomodaci oka. Vzdálenost blízkého bodu P od předmětové hlavní roviny oka se označuje a_P a je měřena v metrech. Blízký bod P spolu s dalekým bodem R ohraničuje akomodační interval. [9, 10]

3.3 Akomodační šíře

Daleký a blízký bod ohraničuje rozmezí, ve kterém oko vidí jednotlivé body ostře. Akomodační šíře je rozdíl klidové (statické) a maximální (dynamické) refrakce, vyjadřujeme ji v dioptriích. Akomodační šíře je rozdíl reciproké hodnoty předmětové vzdálenosti dalekého a blízkého bodu R a P. Jedná se tedy o největší možný nárůst refrakční síly oka dosažitelný akomodací.

S přibývajícím věkem akomodační šíře klesá, blízký bod P se oddaluje od oka a přibližuje se k dalekému bodu R. Nejvyšší hodnoty je dosaženo v dětství, naopak ve stáří je téměř nulová.

Vzorec pro výpočet akomodační šíře:

$$A_{\xi} = A_R - A_P$$

(1)

A_{ξ} - akomodační šíře (D)

A_R - převrácená hodnota dalekého bodu (D)

A_P - převrácená hodnota blízkého bodu (D) [9, 10]

4. Refrakční vady oka (ametropie)

Jakákoliv odchylka od emetropie se nazývá ametropie. Ametropie je stav oka zatížený refrakční vadou. Ametropie mohou být lomivé (ametropie lomivá) nebo osová (ametropie osová). U ametropie lomivé je lomivost optického systému příliš silná nebo příliš slabá vzhledem k normální délce oka. Naopak u ametropie osová, je při normální síle optického systému délka bulbu v optické ose příliš dlouhá nebo příliš krátká. Dále můžeme dělit ametropie na sférické a astigmatické, které jsou popsány níže. [11]

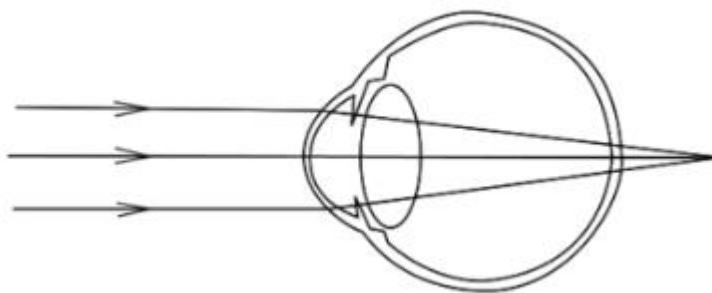
4.1 Sférické ametropie

Je-li optická mohutnost rohovky i čočky ve všech meridiánech stejná, hovoří se o sférické ametropii. Je korigována sférickými korekčními pomůckami. [3]

Podle pozice dalekého bodu R vzhledem k oku nebo podle umístění ohniska vzhledem k sítnici, se sférické ametropie dělí na myopii a hypermetropii. [6]

4.2 Hypermetropie (dalekozrakost)

Hypermetropie neboli dalekozrakost, je sférická refrakční vada, při níž se paralelní paprsky procházející optickým systémem oka, které je v akomodačním klidu, sbíhají v ohnisku za sítnicí. V důsledku sbíhavosti paprsků za sítnicí, se na sítnici vytváří neostrý obraz pozorovaného předmětu. Čím vyšší hodnota dioptrie, tím více se daleký bod R z nekonečna přibližuje k oku. Při maximální akomodaci může být blízký bod P před okem, v nekonečnu nebo za okem. Poloha závisí na stupni vady a akomodační šíři daného hypermetropa. Akomodační interval se posouvá dále od oka, díky tomu je hypermetrop nucen akomodovat více na všechny vzdálenosti než emetrop nebo myop. [6, 8, 10]



Obrázek 4: Zobrazení obrazu hypermetropickým okem [12]

4.2.1 Příčiny hypermetropie

Zpravidla se hypermetropie vyskytuje už při narození a její příčina není přesně objasněna. Pokud je ohnisko vytvořené za sítnicí, hypermetropické oko v porovnání s okem emetropickým je příliš krátké, nedovyvinuté, což znamená, že je kratší než 24 mm. Může se jednat o plošší rohovku, nedostatečnou lomivost a tloušťku čočky, o vrozené malé oko, nebo kratší předozadní délku oka. Hypermetropie může nastat také vlivem některých léků, očních vad (nádor, odchlípení sítnice, aj.) nebo celkových onemocnění klienta. [2, 6]

4.2.2 Příznaky hypermetropie

U mladších jedinců probíhá nízký stupeň hypermetropie zpravidla nepozorovaně díky velké akomodační šíři refrakční síly oka. Akomodační rezerva je dostatečně velká a vadu jsou mladší jedinci schopni vykorigovat vlastním akomodačním úsilím. [6, 8]

S vyšším stupněm hypermetropie už není ciliární sval schopný dokonalé kontrakce, akomodační šíře se zkracuje. Dochází k astenopickým potížím při delším čtení, které se projevují nepohodlným viděním, slzením, únavou až bolestí očí, vedoucí k bolesti hlavy a celkové únavě. Pokud dochází k přetěžování ciliárního svalu dlouhodobě, může docházet až k excesu akomodace a křeči ciliárního svalu. [6, 8]

4.2.3 Rozdělení hypermetropie

Podle anatomické struktury dělíme hypermetropii na osovou (axiální) a systémovou (lomivostní). [3, 6]

Axiální a lomivostní hypermetropie

Osová hypermetropie vzniká v důsledku nesprávné neboli nedostatečné axiální délky oka. Jedná se o nejčastější typ hypermetropie. Oko je kratší, než je potřeba k dopadu paralelních paprsků přesně na sítnici a k následnému vytvoření dokonalého obrazu. Délka oka je kratší než 24 mm, avšak optická mohutnost oka je fyziologická +58,64 D. Většinou tento typ vady nepřesahuje +6 D.

Pokud je předozadní délka oka rovna 24 mm, ale optická mohutnost oka má menší hodnotu, než je dáno fyziologicky hovoříme o systémové hypermetropii. [3, 6]

Latentní a manifestní hypermetropie

Podle toho, jak je oko schopné akomodací kompenzovat hypermetropii, je dělena na latentní a manifestní. [2, 3, 6]

Latentní (skrytá) hypermetropie je neustále kompenzována napětím akomodačního aparátu oka. Člověk si ji neuvědomuje, protože nezpůsobuje obtíže. Velikost latentní hypermetropie bývá kolem +1,00 D a vyskytuje se především u mladších hypermetropů, dokud je čočka dostatečně elastická. Obecně lze konstatovat, že latentní hypermetropie je kompenzována fyziologickým napětím ciliárního svalu a nelze ji odhalit bez použití očních farmak cykloplegik. Po jejich aplikaci dojde k přerušení činnosti ciliárního svalu. [2, 8]

Hypermetropie manifestní neboli zjevná, je charakteristická svými projevy astenopických potíží. Skládá se z fakultativní a absolutní hypermetropie. Fakultativní složka hypermetropie je zvládnutelná zvýšenou aktivitou ciliárního svalu a je dána rozdílem mezi nejslabší a nejsilnější spojkou, který ještě umožňuje ostré vidění do dálky. Absolutní hypermetropii není možné vykompenzovat ani maximální akomodací, což je příčinou špatného vidění do dálky. [2, 8]

Součtem latentní a manifestní hypermetropie je dána hypermetropie totální. Zjistit ji lze pouze po aplikaci cykloplegik po navození cykloplegie, kdy je dočasně paralyzován ciliární sval. [2, 3]

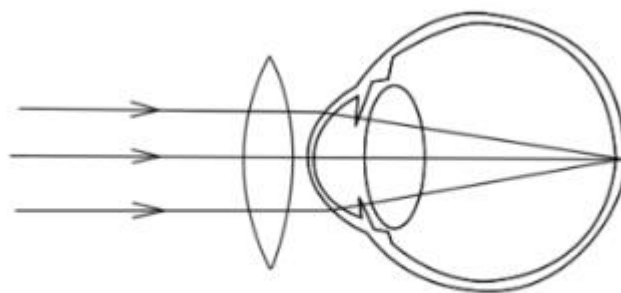
Dělení dle stupně hypermetropie (velikosti kompenzační sférické pomůcky)

- hypermetropie nízká (low): do +3,00 D
- hypermetropie střední (medium): od +3,25 D do +5,00 D
- hypermetropie vysoká (high): nad +5,00 D [13]

Dále lze dalekozrakost dělit na indexovou, křivkovou a komorovou. U indexové hypermetropie není jeden nebo více indexů lomu optických prostředí v normě. Pro křivkovou hypermetropii je charakteristické, že zvětšení poloměrů zakřivení jedné nebo více refrakčních ploch rohovky nebo čočky způsobuje snížení lomivosti soustavy. U komorové hypermetropie se snižuje se zmenšující se hloubkou přední komory refrakční schopnost oka. [2, 3, 6]

4.2.4 Korekce hypermetropie

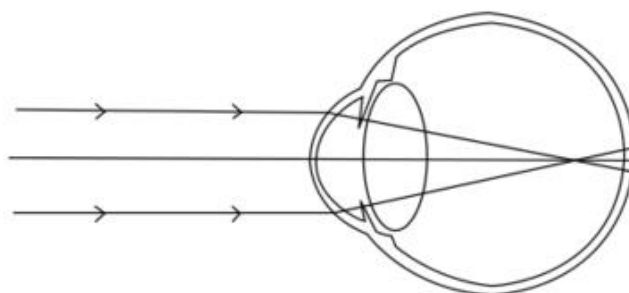
Hypermetropie je korigována spojnými (plusovými, konvexními) čočkami. Díky těmto čočkám mají paprsky vstupující do oka bez akomodace konvergentní směr a dojde k jejich sbíhavosti na sítnici. Klientovi s hypermetropií je předepisována nejsilnější spojka, s níž dosahuje nejlepšího vizu. [8, 9, 13]



Obrázek 5: Korekce hypermetropie spojnou čočkou [12]

4.3 Myopie (krátkozrakost)

Myopie neboli krátkozrakost je sférická refrakční vada, při níž se paralelní paprsky procházející optickým systémem oka, které je v akomodačním klidu, sbíhají v ohnisku před sítnicí. V důsledku sbíhavosti paprsků před sítnicí se vytváří na sítnici neostrý obraz pozorovaného předmětu. Myopické oko nemá daleký bod v nekonečnu, ale nachází se mezi nekonečnem a přední plochou rohovky. Blízký bod je umístěný stejně jako vzdálený v konečné vzdálenosti před okem. Při pozorování předmětu ležícího mezi dalekým bodem a okem je potřeba nižší akomodace než u emetropického oka. Ve srovnání s emetropem nekorigovaný myop akomodaci používá méně, což může vést k oslabení akomodace. [6]



Obrázek 6: Zobrazení obrazu myopickým okem [14]

4.3.1 Příčiny myopie

Nejčastější příčinou myopie je prodloužení předozadní délky osy oka (osová, axilární myopie). Jako vzácnější příčina je uváděna vyšší lomivost optických prostředí oka. [2]

4.3.2 Příznaky myopie

Nejvýznamnější příznak myopie je (neostré) mlhavé vidění do dálky, které klient do určité míry koriguje mhouřením očí, čímž docílí tzv. stenopeického vidění. Lze říct, že

myopové vidí dobře do blízka, a naopak do dálky vidí neostře. Někteří myopové nemusí subjektivně pociťovat obtíže s viděním. [3]

4.3.3 Rozdělení myopie

Myopii dělíme podle několika hledisek následovně.

Podle příčiny vzniku

Podle příčiny vzniku myopii dělíme na osovou (axiální) a systémovou (dioptrickou).

Axiální myopii charakterizuje větší předozadní délka oka, než je běžná délka kolem 24 mm, s větší předozadní délkou oka se následně pojí nedostatečná lomivost celého optického systému oka. Hlavní příčinou axiální myopie je nadměrný růst oka. Prodloužení o pouhý 1 mm může způsobit refrakční vadu přibližně -3,00 D. [3, 6]

Systémovou myopii charakterizuje optická mohutnost oka větší než +58,64 D. U této myopie je předozadní délka oka fyziologická. Zvýšená optická lomivost oka, může být následkem neúměrně zvýšenému lomu jednotlivých očních prostředí (indexová myopie), nebo jsou zmenšené poloměry křivosti jednotlivých opticky účinných ploch (radiusová myopie). Při keratokonu je více zakřivená rohovka, při lenticonu je naopak více zakřivena přední nebo zadní plocha čočky. Indexová myopie se může vyskytovat u diabetes mellitus a při šedém zákalu. [3, 6]

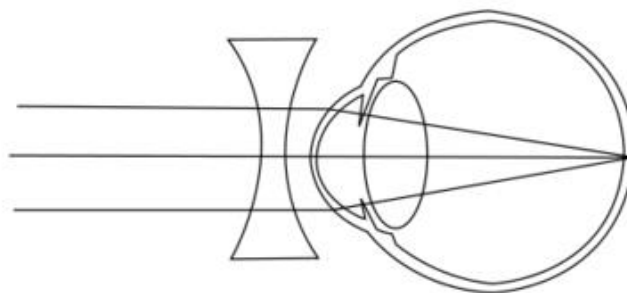
Podle hodnoty refrakce

- Myopie lehká (myopia simplex): od -0,25 D do -3,00 D
- Myopie střední (myopia modica): od -3,25 D do -6,00 D
- Myopie vysoká (myopia gravis): od -6,25 D do -10,00 D
- Myopie těžká: vyšší než -10,00 D (progresivní, s patologickými změnami na sítnici a ve sklivci, nebo vrozené formy myopie)

Lehká až střední myopie není doprovázena degenerativními změnami očního pozadí a řadí se do myopie fyziologické (myopia physiologica). [3, 6]

4.3.4 Korekce myopie

Myopii korigujeme rozptylnými (minusovými, konkávními) čočkami, které zajistí u paprsků vstupujících do oka divergentní směr tak, že dojde k jejich dopadu na místo nejostřejšího vidění – žlutou skvrnu (makula). [8, 9, 10]



Obrázek 7: Korekce myopie rozptylnou čočkou [14]

Klient nesmí být překorigován, aby nedošlo k navození akomodace. Z tohoto důvodu je klientovi s myopií předepsána nejslabší rozptylná čočka, s níž dosahuje nejlepší zrakové ostrosti. Pokud by došlo k překorigování, byl by navozen stav hypermetropie a oko by bylo nucené neustále akomodovat. U lehké až střední myopie je předepsána plná korekce, čímž je předejito akomodačnímu ochabnutí při práci na kratší vzdálenost. U vysokých myopií nemusí být plná korekce ze strany pacienta vždy tolerována. [8, 10]

Myopii lze korigovat brýlemi, kontaktními čočkami nebo chirurgickým zákrokem. Pokud je myopie korigována kontaktními čočkami, je třeba si uvědomit, že kontaktní čočka je umístěna přímo na rohovce. Hodnoty pro korekci brýlemi se z tohoto důvodu neshodují s hodnotami pro korekci kontaktními čočkami, takže je nutné výslednou korekci přepočítat. Pro přepočet z brýlové korekce na korekci kontaktními čočkami můžeme použít přepočtové tabulky, které jsou dodávány od výrobců kontaktních čoček. Další možností je využití přepočtového softwaru nebo přepočítání hodnoty podle přepočtového vzorce. [15]

$$S = \frac{S'}{1 - (\pm \Delta d) * S'}$$

(2)

S	-	vrcholová lámavost korekce v upravené vzdálenosti (D)
S'	-	vrcholová lámavost původní korekce (D)
$\pm \Delta d$	-	rozdíl obou poloh (m)
+	-	při přibližování čočky k oku
-	-	při oddalování čočky od oka [9]

4.4 Astigmatismus

Astigmatismus je na rozdíl od hypermetropie a myopie asférická refrakční vada oka, kdy jeho optický aparát nemá ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost. Rovnoběžné paprsky s optickou osou po průchodu optickými prostředími netvoří ohnisko v jedné rovině, hovoříme o dvou rovinách, ve kterých dochází k maximální a minimální lomivosti paprsku. Vzdálenost těchto dvou optických ohnisek nazýváme fokální interval a jeho délka je měřítkem stupně astigmatismu. Obraz vzniká na spojnici dvou fokálních linií, respektive na spojnici fokálního intervalu. Refrakce proto není stejná ve všech meridiánech. [1, 2, 8, 13]

4.4.1 Příčiny astigmatismu

Astigmatismus může být vrozený nebo získaný. Nejčastější příčinou očního astigmatismu je zejména asféricnost (nekulovost) lomivých ploch rohovky a čočky, nebo jejich decentrace. Vrozený astigmatismus může způsobovat vada zakřivení, nesprávná centrace či index lomu optických prostředí oka. Nesprávné zakřivení nejčastěji postihuje rohovku a bývá vrozené. Získané nesprávné zakřivení rohovky může být způsobeno úrazy nebo onemocněním. [2, 6]

Astigmatismus je ve většině případů vrozen a zpravidla nedochází k jeho progresi. Avšak není možno vyloučit, že se během života nebude vyvíjet. Změny jsou obvykle minimální. [16]

Vzácnější čočkový astigmatismus způsobuje zvětšené vyklenutí zadního či předního pólu čočky, subluxe čočky a změna indexu lomu čočky. Subluxace čočky, latinsky subluxation lentis, je pouze mírné vychýlení čočky mimo osu oka. Subluxace může vzniknout při poranění nebo při operačním výkonu, nebo je symptomem některých onemocnění. [2, 6]

4.4.2 Příznaky astigmatismu

Klienti s takovou mírou astigmatismu, kterou jsou schopni částečně vykorigovat akomodací, uvádí mezi příznaky astenopické potíže, jež mohou být zrakové, oční nebo přídatné. Při zrakových astenopických obtížích je ovlivněna kvalita vidění, může se projevovat mlhavým, neostrým nebo dvojitým viděním. Mezi oční astenopické potíže patří pálení, řezání, pocit cizího tělíska v oku, překrvená spojivka. Pro přídatné astenopické potíže je charakteristická bolest hlavy, nevolnost, závratě, nauzea. V důsledku šikmého astigmatismu může vzniknout šikmé kompenzační postavení hlavy. [2, 3]

4.4.3 Rozdělení astigmatismu

Astigmatismus je dělen podle vzájemné polohy dvou hlavních řezů (meridiánů) na pravidelný (regularis) a nepravidelný (irregularis).

Při pravidelném astigmatismu vykazuje oko maximální a minimální lomivost ve dvou na sebe kolmých meridiánech (v tzv. hlavních řezech). Lomivost oka se mezi těmito směry mění symetricky vzhledem k optické ose. V opačném případě se jedná o astigmatismus nepravidelný, který nejčastěji způsobuje nepravidelnost rohovky. Nepravidelnosti rohovky mohou být v podobě jizev, po zánětu nebo způsobeny vlivem keratokonu. Malý stupeň této vady je fyziologický a je dán rozdíly indexu lomu v čočce. [3, 13]

Rozdělení pravidelného astigmatismu podle **polohy hlavních řezů**:

- Astigmatismus přímý – podle pravidla: vertikální meridián je více lomivý než horizontální (vodorovný), většinou se jedná o astigmatismus rohovkový. To znamená, že vertikální poloměr křivosti je strmější než horizontální, který je mezi 160° a 20° . Vzájemná poloha hlavních meridiánů je v 0° a 90° .
- Astigmatismus nepřímý – proti pravidlu: horizontální meridián je více lomivý než vertikální, většinou se jedná o astigmatismus čočkový. Méně lomivý vertikální meridián je v intervalu mezi 70° a 110° . Vzájemná poloha hlavních meridiánů je stejně jako u přímého astigmatismu v 0° a 90° .
- Astigmatismus šikmý – obligus: nelze určit, který meridián je horizontální a který vertikální, osy hlavních meridiánů nejsou v horizontální a vertikální rovině, hlavní řezy svírají úhel 45° a 135° . Řezy s nižší lomivostí se nacházejí v intervalu mezi 20° a 70° nebo mezi 110 a 160° . [2, 13]

Pravidelný astigmatismus dále dělíme **v závislosti na sférické refrakční vadě**:

- Astigmatismu jednoduchý (simplex) – jeden meridián je emetropický a druhý je buď hypermetropický nebo myopický.
- Astigmatismus složený (compositus) – pro který je charakteristické, že oba meridiány jsou hypermetropické nebo myopické.
- Astigmatismus smíšený (mixtus) – jeden meridián je hypermetropický a druhý myopický. [2, 3, 6]

4.4.4 Korekce astigmatismu

Optický aparát oka je zčásti schopen akomodací kompenzovat sférickou složku refrakční vady, ale není schopen vykompenzovat cylindrickou složku vady. Kombinaci sférické a cylindrické čočky používáme pro korekci pravidelného astigmatismu. Cylindrická složka korekce je nutná pro úpravu rozdílné refrakce oka v obou hlavních řezech. U cylindrické (torické) čočky je zjišťována síla a její osa. [6, 10]

Při korekci je zapotřebí individuální přístup ke klientovi a korekci vyzkoušet. U dětí je předepisována plná korekce, u dospělého se přístup individualizuje. Při korekci vyšší hodnoty astigmatismu se rozvíjí meridionální aniseikonie neboli nestejná velikost obrazu. Zpravidla je u klientů lépe snášena korekce v horizontále či vertikále než v šikmých osách. U korekce se testuje binokulární snášenlivost, dosavadní korekce je brána v úvahu. [13]

Astigmatismus se koriguje jak brýlemi, tak kontaktními čočkami nebo operací. U dětí je předepsána plná korekce, u dospělých je vyzkoušena plná korekce a podle subjektivního vnímání se upravuje. Pokud není korekce pacientem dobře snášena, minimalizuje se vzdálenost korekční čočky od oka, natočí se osy cylindru k 90° nebo 180° nebo je hodnota cylindru snížena. [2]

4.5 Presbyopie

Presbyopie neboli vetchozrakost vzniká stárnutím čočky, kdy se díky postupné ztrátě elasticity a plasticity snižuje schopnost akomodace. Presbyopie je fyziologický úbytek akomodace. Stárnutím čočky dochází k fyziologickému poklesu akomodační šíře. Je charakterizována jako pomalá, fyziologická, na věku závislá ireverzibilní změna. Obvykle se začíná projevovat po 40. roce, ale v závislosti na různých faktorech může být prvně diagnostikována mezi 38. až 48. rokem. [2]

4.5.1 Příznaky presbyopie

Presbyopie se projevuje obvykle při čtení, kdy si presbyop pomáhá prodlužováním čtecí vzdálenosti v podobě oddalování textu nebo zakláněním hlavy. Při delší pracovní vzdálenosti nemusí zapojovat plnou akomodaci.

Presbyopové upřednostňují jasné osvětlení, kdy mají zornice úzké, dostatečně míozované. Poté paprsky vstupující do oka vytváří při stejném refrakčním stavu oka méně neostrý sítnicový obraz pozorovaného předmětu. Dříve se u presbyopů dostavuje únava a bolest očí, výjimkou není ani bolest hlavy, která může vést až k nevolnosti. Spojivky

a okraje víček bývají u presbyopů často chronicky překrvené. Díky ciliárním spazmům, které narušují vidění do dálky, patří mezi příznaky také zamlžené vidění při pohledu z blízka do dálky. [3]

4.5.2 Korekce presbyopie

Presbyopie je korigována přidáním plusových dioptrií ke stávající korekci na dálku. Presbyopům na blízko je předepisována tzv. adice (add). Adice je přidaná hodnota a liší se podle vzdálenosti, na kterou je určena. Korekce se provádí pomocí brýlových čoček jednoohniskových nebo multifokálních. Mezi další možnosti korekce patří metoda monovision nebo implantace progresivní nitrooční čočky. [15]

Korekce je prováděna individuálně. Zbytková akomodace u jednotlivců se liší. V zájmu udržení souladu mezi akomodací a konvergencí jsou předepisovány nejslabší dioptrie, které jsou klientem dobře snášeny, vidění musí být pohodlné. [2]

5. Vyšetření refrakčního stavu

K vyšetření refrakčního stavu oka je využíváno objektivní a subjektivní refrakce. Vyšetřování refrakce zpravidla předchází zjišťování anamnestických údajů od klienta. [2, 17]

5.1 Anamnéza

Anamnéza by měla obsahovat informace jak o současných, tak i předchozích očních onemocnění klienta, popř. přímých rodinných příslušníků. Rozhovor neboli anamnéza se zahajuje získáváním základních informací, věku, pohlaví a dalších identifikačních údajů včetně kontaktu. Po úvodu je vhodné získat informaci o tom, proč klient přišel a tím se dostat k důvodu návštěvy. Věnovaná pozornost anamnéze se určitě vyplatí, jelikož může podstatně zkrátit další vyšetření. [3, 6, 17]

Oční anamnéza

Oční specialista v rámci oční anamnézy pátrá po dalších nejčastějších nálezech (strabismus, amblyopie, katarakta, glaukom, aj.) a možných doprovodných obtížích, prodělaných úrazech a operacích očí, hlavy a krční páteře. Je vhodné si zaznamenat informaci o poslední návštěvě optometristy či oftalmologa a o věku, kdy měl klient první korekci. [17]

Osobní anamnéza

Z osobní anamnézy jsou v optometrii důležité informace o celkovém zdraví, tzn. hodnoty krevního tlaku, hladina glykémie (hypoglykémie, hyperglykémie, normoglykémie, diabetes mellitus), neurologické poruchy a poruchy štítné žlázy, psychické onemocnění, ischemické choroby, nádorová onemocnění, popř. další celková onemocnění doplněné klientem. U žen se zapisuje nedávné či probíhající těhotenství. Určitě se nesmí opomenout na lékovou anamnézu (farmakologické postupy léčby, pravidelné užívání farmakoterapie). [17]

Rodinná anamnéza

V rodinné anamnéze je u přímých rodinných příslušníků zkoumán výskyt a vývoj očních i celkových onemocnění, převážně dědičných chorob. [17]

Obecně by očního specialistu měla zajímat délka zmíněných obtíží, doba vzniku, pravidelnost výskytu, způsob řešení v minulosti a v současnosti. Během sběru informací pro anamnézu není nechána bez povšimnutí ani pohyblivost a postavení očí, pozornost je kladena i na celkový vzhled obličeje. Optometrista by se během rozhovoru měl vyvarovat sugestivních otázek. Následně je přistoupeno k objektivnímu vyšetření refrakce a poté k subjektivnímu vyšetření refrakce. [2, 6]

6. Objektivní refrakce

K rychlému měření refrakčních vad se využívá objektivní refrakce. Monokulární refrakční hodnoty jsou získány bez zpětné vazby klienta. U pacientů, především dětí, kteří nejsou schopni při vyšetření spolupracovat (komunikovat) je často objektivní měření jediná možná metoda pro získání informací o refrakčním stavu oka. Pacientova spolupráce je potřeba většinou pouze při fixaci hlavy a fixování bodu během vyšetřování. Pokud je využito objektivní měření, výrazně se může zkrátit doba vyšetření, avšak samotné hodnoty zjištěné touto metodou nelze předepsat jako finální hodnotu pro zhotovení korekční pomůcky. K objektivnímu měření se využívá skiaskopie, refraktometrie a je možné využití keratometrie. [18, 19]

6.1 Skiaskopie

Skiaskopie, jinými slovy retinoskopie, je jedna z nejstarších metod ke zjišťování objektivní refrakce oka. Tato technika umožňuje stanovení refrakčního stavu oka pomocí červeného očního reflexu, zkušebních brýlových čoček, nebo skiaskopických lišt a bodového zdroje světla. V lepším případě za pomoci bodového nebo pásového skiaskopu. Mezi její klady patří jednoduchost, rychlost a relativně nízká pořizovací cena oproti jiným přístrojům určeným k objektivní refrakci. Další její výhodou je vysoká přesnost, které lze docílit dostatečnými zkušenostmi vyšetřujícího. Vyšetření lze s výhodou použít u všech pacientů před vyšetřením subjektivní refrakce. Kromě refrakčního stavu toto vyšetření udává informace o prostupnosti (průhlednosti) optických prostředí. [13, 18, 20]

6.1.1 Průběh vyšetření

Skiaskop obsahuje světelný zdroj. Intenzitu světla tohoto světelného zdroje je možné měnit. Pro stanovení refrakční vady se zpravidla užívá divergentní svazek paprsků. Vyšetřující svítí paprskem skiaskopu do pacientova oka (zornice) na vzdálenost 50 až 100 cm. Při skiaskopii je zapotřebí vyřadit akomodaci, což je docíleno tím, že pacient fixuje optotypový znak ve vzdálenosti 5 nebo 6 m, čímž dojde k uvolnění akomodace. Vyšetření probíhá v tmavé místnosti, aby vyšetřující viděl červený reflex co nejvíce kontrastně. V tmavém prostředí se navíc zornice rozšíří a vyšetřující lépe červený reflex uvidí. Reflex vzniká odrazem světla od sítnice, konkrétně od cévnatky. Podmínkou jeho zobrazení je absence patologických stavů oka a čirost optických očních medií. [17, 20]

Skiaskopem je natáčeno tak, aby světlo osvětlovalo oko pod různými úhly. Vzhledem k pohybu skiaskopu se odraz světla pohybuje stejným směrem jako skiaskop, nebo ve směru opačném. Refrakční vada udává směr, rychlost a jas odrazu světla. Čím jasnější je odraz světla a čím je jeho rychlost větší, tím menší je refrakční vada. [17, 20]

Vyšetřující se snaží zjistit, kterým směrem se červený reflex pohybuje, zda se jedná o stejný směr jako je pohyb světelného paprsku, nebo se jedná o pohyb opačný oproti pohybu světelného paprsku. [2, 13, 20]

Oko hypermetropické je měřeno tehdy, když se odraz pohybuje stejným směrem jako pohyb světelného paprsku. V tomto případě daleký bod leží za skiaskopem. Pokud je pohyb odrazu proti směru pohybu paprsku, potom je měřené oko myopické, daleký bod leží mezi skiaskopem a okem pacienta. [13]

Podle směru pohybu je předsazována příslušná skiaskopická lišta a dioptrie jsou zvyšovány do té doby, než dojde k odstranění pohybu červeného reflexu. Dioptrie naměřená pomocí vyšetřovací lišty není výslednou korekcí. Je třeba ještě vzít v úvahu vzdálenost, ze které se vyšetřuje a přičíst ji k finální předsazené čočce. Při vyšetřovací vzdálenosti 50 cm je přičtena hodnota -2,00 D a pro vzdálenost 1 m se přičte -1,00 D. [13, 18]

Hodnota, která se přičítá, je vypočtena podle vzorce:

$$D = \frac{1}{V}$$

(3)

D - dioptrie, která je přičtena

V - vzdálenost, která je dosazena (m) [18]

Při vyšetření astigmatického oka je postup obdobný, jako kdyby bylo oko bez vady astigmatické. Širokým světelným pruhem je posvíceno do zornice a pokud je oko astigmatické, je možné vidět odraz, který není rovnoběžný se směrem paprsku skiaskopu. Pruh paprsku je směřován tak, aby byl rovnoběžný s odrazem. Dále se pokračuje stejně jako u měření sférické refrakční vady. Následně je otočeno skiaskopem o 90° a je určena hodnota i v tomto řezu. Měřením je získán cylindricko-cylindrický zápis. [13]

Nejběžnější využívanou retinoskopií je statická (stabilní) retinoskopie, při níž vyšetřující dodržuje konstantní vzdálenost mezi skiaskopem a pacientem. V takovém případě je převedena vzdálenost na dioptrie podle vzorce číslo tři (3). Při labilní skiaskopii se mění vyšetřovací vzdálenost. Po vymizení pohybu červeného reflexu je změřena vyšetřovací

vzdálenost a její vergencí je určena velikost refrakční vady oka. Tato metoda je vhodná při měření myopického oka, u kterého se nachází daleký bod R mezi skiaskopem a okem. [2, 18]

6.1.2 Druhy skiaskopů

Pro měření je využíváno dvou hlavních typů skiaskopů – pásového a bodového. Liší se podle tvaru světelného paprsku vyslaného skiaskopem. Bodový skiaskop vysílá paprsek v podobě světelného pruhu, na rozdíl od kruhového skiaskopu, který vysílá kruhový světelný paprsek. [18]



Obrázek 8: Retinoskop [12]

6.1.3 Přesnost měření

Při měření si vyšetřující musí dát především pozor na dodržování vyšetřovací vzdálenosti, protože přiblížení nebo oddálení o 7 cm bude mít za následek změnu refrakce o 0,25 D. Oko vyšetřovaného a vyšetřujícího by mělo být ve stejné výšce, obě oči by měl mít pacient otevřené a nevyšetřovaným okem by měl pozorovat znaky optotypu vzdáleného nejméně 5 m. Pokud pacient nebude správně fixovat předmět v optickém nekonečnu, může nastat chyba vlivem akomodace. [2, 18]

6.2 Oční refraktometry

Pomocí refraktometrů je možné zjistit polohu dalekého bodu R a současně promítnout světelný a kontrolní test. Tyto dva testy musí současně splýnout. Hlavním cílem očních refraktometrů je zabránit vzájemnému prolínání pozorovacího a osvětlovacího svazku paprsků. Tím dojde k odstranění rušivých reflexních obrazů, které se zpravidla objevují na rohovce. [18]

6.2.1 Hardy-Astronův oční refraktometr

Jedním z prvních refraktometrů založených na principu bezreflexního pozorování byl Hardy-Astronův. Přístroj vychází ze systému posuvného testu s oftalmologickou čočkou a zařízením na vyhodnocení výsledků. Pro měření je použit svazek paprsků odrážejících se v zrcadle s kruhovým otvorem, který je určen pro chod paprsků, pozorování a vyhodnocení situace na sítnici. V současnosti se tento typ refraktometrů nepoužívá. [18]

6.2.2 Rodenstockův oční refraktometr

Tento přístroj pracující na principu zaostřovacího testu, který je promítán na sítnici, byl dříve řazen mezi nejrozšířenější, dnes je nahrazován autorefraktometry. Zabudovaný optický klín (prisma) zajišťuje pevnou testovací značku. Nulové postavení zkušebního testu vytváří obraz v nekonečnu. Pokud je ve stejném postavení zobrazen obraz na sítnici, jedná se o emetrii. Při zaměření obrazu před nebo za sítnicí, je hodnota ametropie měřena posouváním měřícího hranolu. Pomocí tohoto přístroje je možné přesně stanovit parametry u astigmatismu. Prizma použité pro konstrukci refraktometru zkracuje jeho stavební délku. [18]

6.2.3 Hartingerův koincidenční refraktometr

Hartingerův refraktometr je založen na Scheinerově pokusu, který zjistil, že si oko všimne snáze nepatrné difference v koincidenci než rozostření. Jedná se o rozeznání dvou úseček, jejichž převrácené konce jsou v těsné blízkosti a leží na stejné myšlené přímce či na dvou rovnoběžných přímkách nepatrně od sebe vzdálených. Tohoto jevu je využito u koincidenčního refraktometru, jen namísto jedné úsečky je použita trojice úseček. Úsečky jsou na sítnici vyšetřovaného zobrazeny jako dvě kratší trojice poloúseček, které nejsou v koincidenci, pokud značka není opticky konjugována se sítnicí vyšetřovaného oka. Optický systém přístroje se musí nastavit tak, aby značka byla opticky konjugována se sítnicí vyšetřovaného a tím, že se zobrazí na sítnici ostře, nastane koincidence. [18, 21]

Úsečky jsou pozorovány vyšetřujícím pomocí pozorovacího systému refraktometru. Refrakční vada je odečítána na rysce se stupnicí, která je spojena s nastavením osvětlovacího systému. Výsledná vada je dána dosažením koincidence. [18]

Při stanovení astigmatismu se nejdříve určí osy hlavních řezů a následně jejich hodnota. Pokud se obě trojice úseček přerývají nebo naopak k sobě nedosahují, jedná se

o astigmatismus. Přístrojem je otáčeno kolem optické osy systému tak dlouho, dokud nezmizí tato výšková úchylka obou trojic poloušek. [18, 21]

6.2.4 Automatické oční refraktometry

Pro objektivní měření vad jsou dnes nejvíce využívány autorefraktometry. Výrazně zkracují dobu měření, jsou jednoduše ovladatelné a úkony jsou automatizované. Poskytují pouze předběžné orientační hodnoty monokulární refrakce, které je nutné následně ověřit, popřípadě upravit subjektivním monokulárním a dále binokulárním měřením. [21, 22]

U těchto přístrojů je oddělen pozorovací a měřící světelný svazek. Pozorovací světlo je k tomu, aby pacient sledoval fixační značku, která umožňuje uvolnit pacientovu refrakci a nastavit tak stav tzv. statické refrakce. Základní princip automatických refraktometrů vychází obvykle ze základních optometrických metod (skiaskopie, oftalmoskopie). U většiny z nich je pro vlastní měření použito infračervené záření, které není zaznamenáno lidským okem. Poté, co je paprsek odrazen od sítnice a dvakrát prochází okem (při vstupu a výstupu), zachytí senzor obraz paprsku, který je následně zpracován počítačovým programem a je vypočtena hodnota refrakce oka. [20, 21]

Pouze vyšetření na autorefraktometru není dostačující k určení pacientovi refrakce. Pokud je to možné, mělo by být doplněno o subjektivní vyšetření. [20]

7. Subjektivní refrakce

Po ukončeném objektivním měření refrakce jsou ověřovány získané hodnoty pomocí subjektivního měření. Subjektivní měření není použitelné u malých dětí a batolat. U pacientů s neurologickými poruchami není subjektivní refrakce spolehlivá. Nejdříve je stanovena zraková ostrost monokulárně a poté binokulárně. [2]

7.1 Zraková ostrost – vizus

Základním očním vyšetřením pro hodnocení kvality zraku je zjištění zrakové ostrosti (vizu). Tímto vyšetřením prováděným na denním světle se testuje funkce sítnice v oblasti centrální krajiny. Závažnost refrakční vady určuje často pokles zrakové ostrosti. Zraková ostrost je dána stavem optického systému oka, sítnice, zrakové dráhy a mozkových center. [6, 21]

Východiskem pro určování zrakové ostrosti je určení rozlišovací schopnosti oka. Ta označuje schopnost oka odlišit od sebe dva oddělené body jako dva (minimum separabile). Předpokladem je, aby obraz těchto dvou bodů byl na sítnici oddělen alespoň jedním čípkem, na který je promítnuta mezera mezi těmito objekty. Průměr čípku v centrální oblasti sítnice je asi 0,005 mm a vzdálenost sítnice od obrazového uzlového bodu oka je asi 17 mm. Díky této znalosti můžeme vypočítat úhlovou vzdálenost obou rozlišených bodů: [18]

$$\psi = \frac{0,005}{17} = 0,0003 \text{ [rad]} \quad (4)$$

ψ - rozlišovací mez

Přepočet na stupně:

$$\psi = 0,0003 \cdot \frac{180}{\pi} \approx 1 \text{ [']}$$

Lidské oko je schopno rozeznat dva body jako oddělené, pokud paprsky přicházející k oku svírají úhel alespoň jedné minuty. Jednotkou zrakové ostrosti je úhel jedné minuty. [2, 3]

Od centra sítnice k periférii zraková ostrost klesá, je ovlivněna faktory fyzikálními (vadami optického systému), fyziologickými (adaptace, rozložení smyslových elementů) a psychologickými (kontrast, pozornost). [21]

7.2 Vyšetření subjektivní refrakce

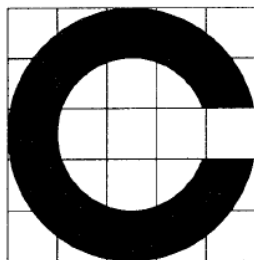
Subjektivní měření probíhá ve vzájemné spolupráci s pacientem následovně. Pacientovi je nasazena zkušební obruba, u které je individuálně přizpůsobena pupilární distance, opěrka nosníku, délka stranic a inklinace brýlového středu. Zpravidla se začíná vyšetřením pravého oka, před levé oko je vložena okluzní clona. Pacientovi je před vyšetřované oko předložena nejprve spojná čočka a následovně čočka rozptylná. Optometrista se při předsazení spojně čočky táže, zda je obraz stejný nebo horší. Pokud pacient odpoví stejný, jde o hypermetropické oko. Při odpovědi horší se jedná oko emetropické nebo myopické. Když je předsazena čočka rozptylná, otázka zní, jestli je obraz lepší nebo stejný. Pokud pacient odpoví lepší, jde o oko myopické. Při odpovědi stejný nebo dokonce horší, jde o oko emetropické nebo hypermetropické. [13]

7.2.1 Forofter

Subjektivní refrakci je možné měřit pomocí forofteru. Jeho levnější variantou je měření se sadou zkušebních čoček, Jacksonovým zkříženým cylindrem a astigmatickou obrubou. Ve srovnání se zkušební sadou čoček má forofter výhodu, že se jedná o kompaktní přístroj se zabudovanými sadami čoček, manipulace s nimi je velmi jednoduchá a rychlá. Jako nevýhoda může být uvedeno stabilní upevnění forofteru před obličejem klienta, což neumožňuje pohyby s hlavou spolu s nasazenou zkušební korekcí. Výsledné korekční hodnoty je proto nutné vložit ještě do univerzální zkušební obruby, nechat budoucího uživatele rozhlédnout a projít se. [22]

7.2.2 Optotypy

Pro vyšetřování zrakové ostrosti je využívána sada znaků (písmena, číslice, obrazce), optotypy, konstruované na základě jednoduchého principu. Při vyšetřování zrakové ostrosti do dálky jsou stále běžně používány Snellenovy optotypy. Do čtvercové sítě o velikosti 5 x 5 jednotek je zakreslen celý optotyp, přičemž tloušťka čar a šířka mezi znaky se rovná jedné jednotce. Znaky jsou seřazeny od největších po nejmenší. Optotypy mohou mít různá provedení, odstupňování znaků a také mohou být konstruovány pro různou vyšetřovací vzdálenost. Běžnou vyšetřovací vzdáleností je 6, případně 5 metrů. [2, 18, 19]



Obrázek 9: Konstrukce optotypu pomocí čtvercové sítě [3]

Jak je již zmíněno, konstrukční provedení optotypů může být různé. Tištěné optotypy jsou nejlevnější a nejjednodušší ze všech optotypů. Důležité je, aby papír (karton) na kterém je optotyp vytištěn nebyl zažloutlý. Dalším možným typem je optotyp světelný, projekční nebo LCD optotyp. Dnes se do popředí dostávají LCD monitory s velkým rozsahem testů.



Obrázek 10: LCD monitor [23]

7.2.3 Stanovení nejlepší sféry

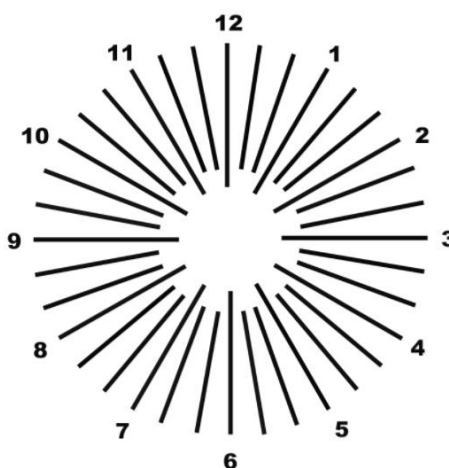
Nejlepší metodou pro vyšetření sférické ametropie je zamlžovací metoda, při níž je vyřazena akomodace oka. Při zamlžovací metodě je pomocí předsazené spojné čočky posunuto ohnisko dopadajících paprsků před sítnici. Je předložena taková spojná čočka, se kterou je dosaženo zamlžení na optotypu 0,2 až 0,16. Je nutné si dát pozor, aby předsazená spojná čočka posunula před sítnici všechna ohniska. U oka myopického nebo se složeným myopickým astigmatismem se ohniska střetávají před sítnicí. V dalším kroku se postupně odmlžuje po $-0,25$ D, dokud není dosaženo nejlepšího možného vizu. [13]

Pro kontrolu monokulární sférické korekce může být použit červeno-zelený test. Pacient sledující tabuli s černými znaky umístěnými v červeném a zeleném poli porovná černost těchto znaků. Pokud vidí černější znaky v červeném poli, je předsazena rozptylná čočka po $-0,25$ D do doby, dokud nejsou znaky stejně černé. Pokud jsou černější znaky v zeleném poli,

před stávající korekcí je předloženo $+0,25$ D. Jestliže jsou znaky v obou polích stejně ostré, korekce je pokládána za správnou. [20]

7.2.4 Stanovení cylindru

Jakmile je vyšetřena nejlepší sférická hodnota korekce, je přistoupeno k vyšetření astigmatismu. Pro korekci astigmatismu může být využita zamlžovací metoda, pro kterou se používá astigmatický vějíř (růžice, poloviční vějíř), nebo metoda zkříženého cylindru. [13, 18]



Obrázek 11: Astigmatický vějíř [24]

Zamlžovací metoda

Při zamlžovací metodě je do obruby vložena spojná čočka tak, aby se myopická ohniska posunula před sítnici a tím došlo k vytvoření astigmatismu myopického. Postupně jsou předkládány rozptylné čočky (snížení hodnoty zamlžení), a to do doby, než pacient s astigmatismem vidí jednu z čar vějíře ostřeji. Kolmo k ostřeji viděné čáře je do obruby předsazena rozptylná cylindrická čočka. Hodnota cylindrické čočky je navyšována do té doby, dokud nejsou všechna ramena vějíře viděna stejně ostře. [13]

Jacksonův zkřížený cylindr

Jde o dvě navzájem kolmé plan-cylindrické čočky vložené do objímky s držadlem. Na optické části Jacksonova cylindru je znaménko plus, představující osu kladného cylindru a znaménko minus, představující osu záporného cylindru. Osy mohou být označeny také tečkami nebo čárkami, minusová osa je zaznamenána v červené barvě. Dostupný je v několika provedeních ($\pm 0,25$ D, $\pm 0,50$ D, $\pm 0,75$ D a $\pm 1,00$ D). [13, 18]



Obrázek 12: Jacksonův zkřížený cylindr [25]

Metoda zkřížených cylindrů se využívá s bodovým testem. Začíná se určením osy cylindru a postupuje se k určení síly cylindru. Zkřížený cylindr je předložen zápornou hodnotou do osy 180° , po otočení cylindru mezi prsty je předložení v 90° . Při samotném předkládání pacientovi je kladen dotaz, zda je lepší možnost (obraz) číslo jedna (první předsazení) nebo možnost číslo dvě (druhé předsazení). V dalším kroku předsazujeme záporný cylindr do 45° a otočením mezi prsty do 135° . Výsledná osa cylindru se nalézá mezi osami, které klient označil jako lepší. Cylindrická čočka o síle $-0,25$ D je vložena do zkušební obruby mezi označené (předběžné) osy, možnosti, které byly při předsazení lepší. V dalším kroku je zkřížený cylindr předložen před cylindrickou čočku tak, aby rukojeť zkříženého cylindru prodlužovala osu cylindru v obrubě. Zkřížený cylindr je protočen opět mezi prsty (předložení ve dvou osách). Otázka ke klientovi je stejná, je lepší obraz číslo jedna nebo obraz číslo dvě. Cylindrickou čočkou je v obrubě pootočeno ve směru záporného cylindru, ve kterém se vzniklý obraz jevil klientovi lepší než druhý. Osa cylindru je měněna do té doby, dokud se oba obrazy nejeví pacientovi jako stejné. Nejdříve je vhodné při dokorigování osy cylindru, pootočit cylindrem v obrubě o 10 stupňů a následně o stupňů pět. [13, 20]

Po určení osy cylindru je přistoupeno ke zjištění optické mohutnosti cylindru. Zkřížený cylindr je předložen do osy cylindrické čočky a znovu se přetočí mezi prsty. Otázka ke klientovi je stejná, je lepší obraz číslo jedna nebo obraz číslo dvě. Pokud je lepší obraz se zápornou osou zkříženého cylindru, zvyšuje se hodnota cylindrické čočky. Při lepším obrazu po předložení zkříženého cylindru s kladnou osou, snižuje se hodnota cylindru. S každou předloženou cylindrickou čočkou o hodnotě $-0,50$ D je přidáno $+0,25$ D ke sférické čočce. [13, 20]

Po stanovení optické mohutnosti cylindru znovu zkontrolujeme sférickou korekci s +0,25 D a s -0,25 D čočkou. Kontrola je prováděna pro každé oko zvlášť k potvrzení, že naměřená optická mohutnost odpovídá nejsilnější spojně a nejslabší rozptylně čočce. [13, 20]

7.2.5 Binokulární akomodační vyvážení

K binokulárnímu vyvážení se přistupuje po stanovení sférické a cylindrické refrakce pro každé oko zvlášť. Binokulární testy na optotypu pacient pozoruje oběma očima zároveň. Některé testy je možné uskutečnit se standardním vybavením sady brýlových čoček, u jiných jsou potřeba polarizační předsádky a polarizační optotyp.

Principem testování na polarizačních testech je oddělení vjemu oka pravého od oka levého. Znak, který je na optotypu nepolarizovaný, je vidět oběma očima. Na tomto principu je koncipován třířádkový test, kdy prostřední řádek je vidět oběma očima, řádek spodní a řádek horní je vnímán každým okem zvlášť. [13]

Další možností pro binokulárnímu vyvážení je Humphrissova metoda. Aby došlo k zamlžení nevyšetřovaného oka, je před něj předložena sférická čočka +0,75 D. Před druhé oko (vyšetřované) je předložena sférická spojná čočka +0,25 D a otázka ke klientovi zní, zda je vidění horší nebo stejné. Pokud je odpověď stejné, čočka je umístěna do zkušební obruby. Při zhoršení se čočka nepřikládá k výsledné korekci. To stejné je provedeno pro sférickou rozptylnou čočku -0,25 D. Otázka je, jestli je vidění lepší nebo stejné. Při lepším vidění je čočka přidaná ke stávající korekci. Naopak je tomu při stejném vidění, čočka není předsazena. Stejný postup je proveden i pro druhé oko. [26]

7.2.6 Stanovení korekce do blízka

K vyšetření korekce do blízka jsou využívány Jägerovy tabulky, zpravidla jsou ve vzdálenosti 40 cm. Korekce do blízka je prováděna binokulárně. Pacientovi je předložena tabulka a je vyzván, aby si ji dal do své pracovní vzdálenosti na blízko. Do astigmatické obruby s korekcí na dálku jsou přikládány spojně zkušební čočky. Obecně platí, že ztrátě akomodace na 33 cm ve věku 40 let nejčastěji vyhovuje +0,75 D, 45 let +1,50 D, 50 let +2,00 D, 55 let +2,50 D, 60 let +3,00 D a v 70 letech a více +3,50 D. [2, 18]

8. Výskyt refrakčních vad

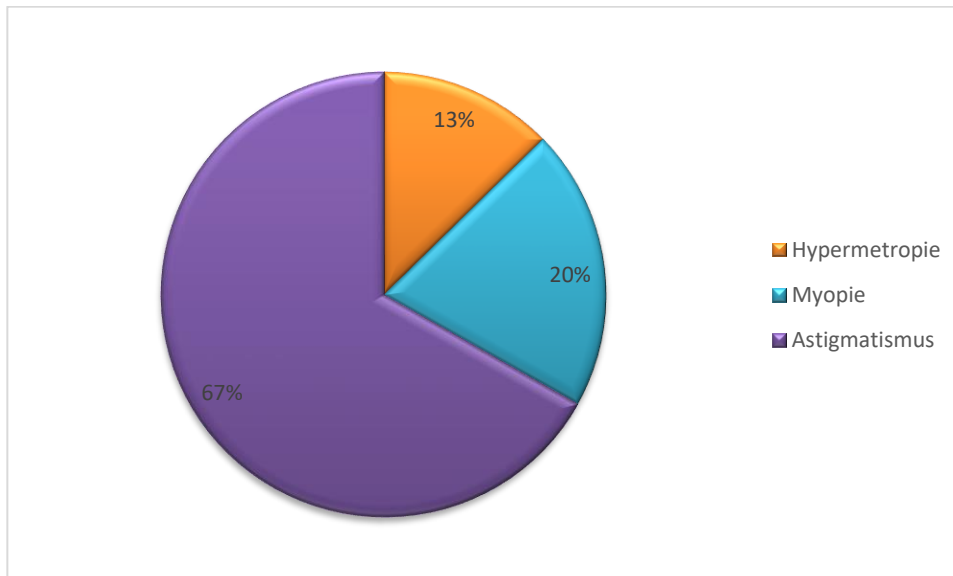
Byla provedena studie, která shromažďuje data z 33 studií s údaji od přibližně 124 000 osob převážně z velké části severní a západní Evropy. Tato studie nakonec mezi výsledky souhrnné studie zařadila 15 studií s celkovým počtem 61 946 osob. Jednalo se o respondenty zejména ve středním věku. Měření jednotlivých studií se zaměřovala na refrakční vady v letech 1990 až 2013. Do studie byli zahrnuti jen ti účastníci, kteří nebyli po operaci katarakty, refrakční chirurgii nebo jiné operaci, která by ovlivnila lom paprsků procházejících okem. Všechny studie měřily bez využití cykloplegik. Jako technika měření byla zvolena subjektivní refrakce, autorefrakce, subjektivní refrakce po autorefrakci nebo fokometrie. Výsledkem studie je 30,6 % myopických očí, 25,2 % hypermetropických očí a 23,9 % očí astigmatických. [27]

Nejvyšší odhady prevalence myopie jsou u mladých dospělých ve východní Asii, přičemž u některých urbanizovaných a vysoce vzdělaných populací se odhaduje až 90 %. Podle shromážděných studií byla u dospělých ve věku nad 40 let hrubá prevalence myopie v USA 25,4 %, v západní Evropě 26,6 % a 16,4 % v Austrálii. Vyšší výskyt než u jiných etnických skupin u dospělých ve věku nad 40 let byl zjištěn ve východní Asii. Je třeba uvést, že v mnoha studiích byli účastníci často vyloučeni z refrakčních analýz z důvodu sníženého vizu. Údaje z populačních studií u dospělých neuvádějí vyšší prevalenci myopie v závislosti na pohlaví. Ve věku nad 40 let postihuje vysoká myopie 1-4 % osob, je však vyšší v některých studiích dospělých osob z východoasijských zemí. Podle Segovia Eye Study z roku 2009 ze Španělska, je prevalence myopie 25,4 %. Studie se zúčastnili probandi ve věku 40-49 let. [28]

V jedné z českých studií je porovnáváno zhodnocení subjektivní a objektivní refrakce. Do výzkumu bylo zařazeno 615 pacientů (1230 očí). Ke zjištění objektivní refrakce byl použit autorefraktometr s Placidovým kotoučem. Subjektivní refrakce byla vyšetřována za pomoci projekčního optotypu na vzdálenost 5 m se sadou brýlových čoček. Při této studii bylo zjištěno, že hodnoty naměřené při objektivní refrakci byly vyšší než při vyšetření subjektivním. Touto studií byla zároveň potvrzena hypotéza, která říkala, že v populaci převažuje astigmatismus přímý v rozmezí $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$. [29]

V roce 2014 byla na Fakultě biomedicínského inženýrství studentkou Martinou Černou vypracována bakalářská práce, ve které se zabývala výskytem refrakčních vad na FBMI-ČVUT. K účelům této práce bylo naměřeno 378 očí, z toho 362 (96 %) očí bylo s ametropií. V tomto výzkumu bylo 33 % (120) očí se sférickou vadou. Astigmatismus byl naměřen u 242

(67 %). Při rozdělení sférických vad na hypermetropii a myopii bylo zjištěno, že myopie převažovala nad hypermetropií o 7 %. Myopie byla zastoupena u 74 (20 %) očí a hypermetropie 46 (13 %) očí. Při tomto výzkumu bylo nejvíce očí v rozsahu -2,00 D až +2,00 D. [30, 31]



Obrázek 13: Výskyt refrakčních vad na FBMI ČVUT podle Bc. Černé [30]

Experimentální část

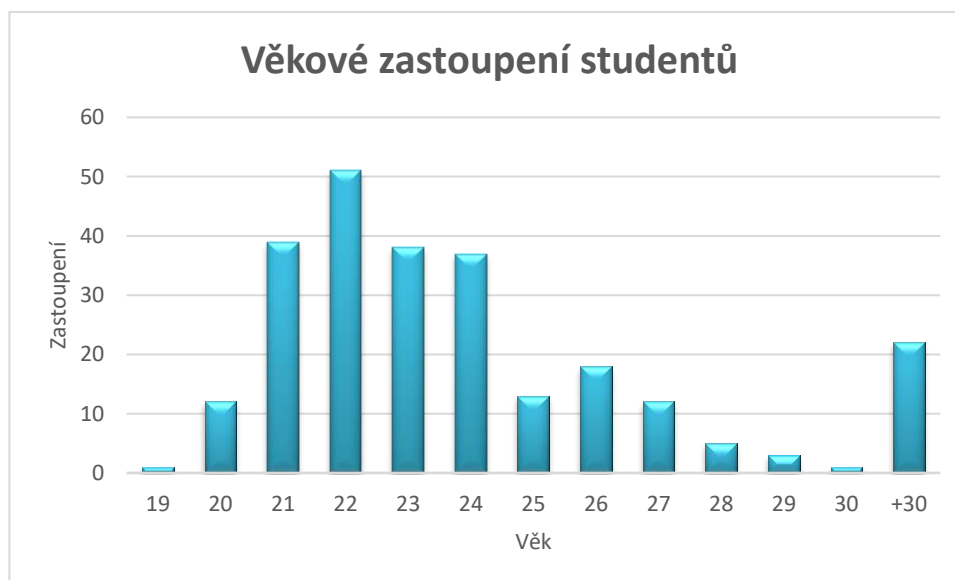
V experimentální části je popsána samostatná metodika práce a následně zpracovány naměřené hodnoty včetně grafického znázornění.

9. Výběr probandů a metodika

Zpracovaná data byla získána měřením probandů na fakultní akci Den zraku ve dnech 26.3.2015, 9.11.2016 a 30.3.2017. Několik málo dat bylo získáno ze školní optiky za dobu její působnosti od 2016. Následná samostatná měření byla získána individuálně mou osobou od listopadu 2016 do května 2017. Dny zraku se odehrávaly ve vestibulu a prostorách optometristických laboratoří Univerzity Českého vysokého učení technického, Fakulty biomedicínského inženýrství náměstí Sítná v Kladně. Následná měření zaměstnanců a studentů do této práce probíhalo na stejném místě pouze ve specializované laboratoři.

Dohromady bylo naměřeno 280 probandů, celkem bylo změřeno 560 očí. Z 280 probandů bylo 28 probandů z řad zaměstnanců a 252 z řad studentů. Jelikož množství naměřených zaměstnanců by v konečném hodnocení výskytu refrakčních vad nebylo relevantní, jsou hodnoty pro studenty i zaměstnance zpracované dohromady.

Z 252 studentů bylo 209 ve věku od 19 do 26 let, nad 26 let bylo změřeno 43 studentů.



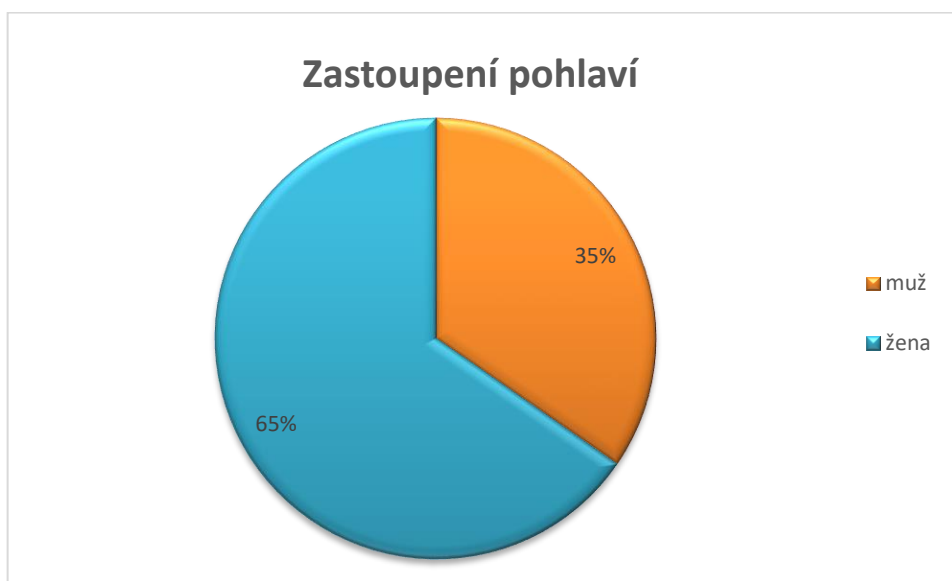
Obrázek 14: Věkové zastoupení studentů

Věkové zastoupení zaměstnanců je znázorněno v histogramu na obrázku 15. Nejvíce vyšetřovaných zaměstnanců bylo ve věku 26-30 let. Nejstarším měřeným zaměstnancem byl jeden zaměstnanec ve věku od 86-90 let.



Obrázek 15: Věkové zastoupení zaměstnanců

Z celkového počtu 280 probandů bylo 183 (65 %) žen a 97 (35 %) mužů.



Obrázek 16: Procentuální zastoupení pohlaví

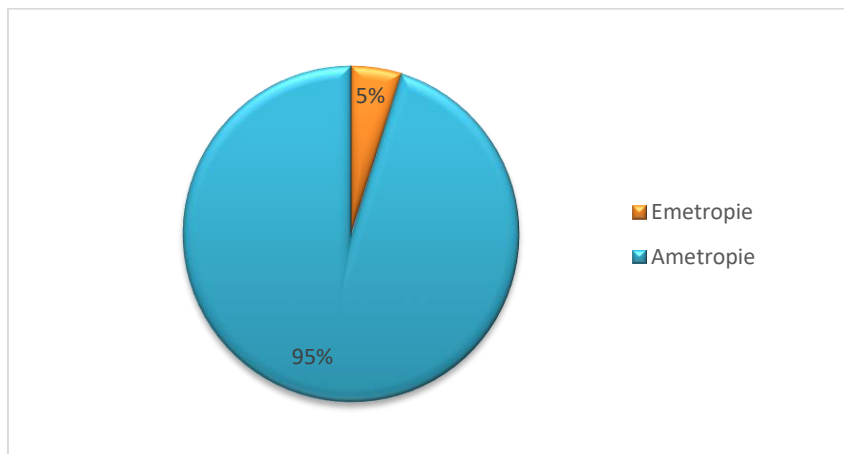
Průběh měření byl prováděn striktně podle následujícího postupu. Měření bylo uskutečněno na akademické půdě Univerzity Českého vysokého učení technického, Fakulty biomedicínského inženýrství náměstí Sítňá v Kladně v místnosti optometristických laboratoří. Místnost poskytuje dostatečnou vyšetřovací vzdálenost 6 metrů. Osvětlení je zajištěno stropním osvětlením, které bylo vždy rozsvíceno. Dalším zdrojem světla je venkovní okno, které je situované za zády vyšetřovaného. Pokud bylo ostré světlo, byly rolety zataženy pro zajištění neoslňení LCD optotypu venkovním světlem. Po úvodní konverzaci byl zaznamenán vztah vyšetřovaného k fakultě, zda je zaměstnanec či student, dále byly zapsány základní

údaje, tj. jméno, datum narození a byla sepsána zběžná anamnéza. Následovalo měření objektivní refrakce na autorefraktometru Topcon TRK-1P. Pokud měl vyšetřovaný svoji vlastní korekci s sebou, byla taktéž zaznamenána do formuláře. Následně po změření naturálního vizu na LCD optotypu Topcon CC-100XP s pomocí Snellenových optotypů, byla vyšetřovanému nasazena zkušební obruba a vloženy upravené hodnoty z autorefraktometru nebo původní korekce klienta. U každého probanda byla nejprve změřena sférická hodnota oka pravého (OP) dle rutinního postupu na optotypu. Poté byla změřena hodnota cylindru na bodovém optotypu za pomoci metodiky Jacksonova zkříženého cylindru. Pokud byla zjištěna odlišnost o více než 0,5 D v cylindrické (sférické) hodnotě, byla zkontrolována sférická (cylindrická) hodnota. Po korekci OP se stejným způsobem postupovalo u oka levého (OL). Binokulárně-akomodační vyvážení bylo využito za pomoci Humphrissovi metody. Pro kontrolu byl využit náhodně vybraný alternativní test, a to buď Ostenbergův polarizační test nebo tří řádkový polarizační test. Screeningově byl proveden binokulární status na Worthových světlech pro vyloučení patologie binokulárního vidění a následovala kontrola vidění do blízka na Jaegerových tabulkách. Následně zjištěné informace byly zapsány a to: hodnoty visu bez korekce a s nejlepší korekcí, dioptrické hodnoty binokulární status.

Ve výjimečných případech nebyla možnost měřit v optometristických laboratořích. V takovém případě byli probandi změřeni ve školní optice na akademické půdě Univerzity Českého vysokého učení technického, Fakulty biomedicínského inženýrství náměstí Sítňá v Kladně. V této místnosti je vyšetřovací vzdálenost 6 metrů, stejně jako v optometristických laboratořích, s tím rozdílem, že za zády vyšetřovaného není venkovní okno. Venkovní okno se nachází na pravé straně místnosti. Místnost je osvětlována stropním osvětlením, které bylo vždy rozsvícené. Zde byl použit pro změření objektivní refrakce autorefraktometr Essilor ARK 400 a pro měření vizu a subjektivní refrakce byl použit optotyp Essilor CS pola 600.

10. Výsledky

Z 560 očí výrazně převažovala ametropie, kdy ametropických očí bylo změřeno 533, jedná se o 95 %. Emetropických očí bylo pouhých 27, tedy 5 %.



Obrázek 17: Procentuální zastoupení emetropie a ametropie

Tabulka 4: Rozložení ametropie a emetropie

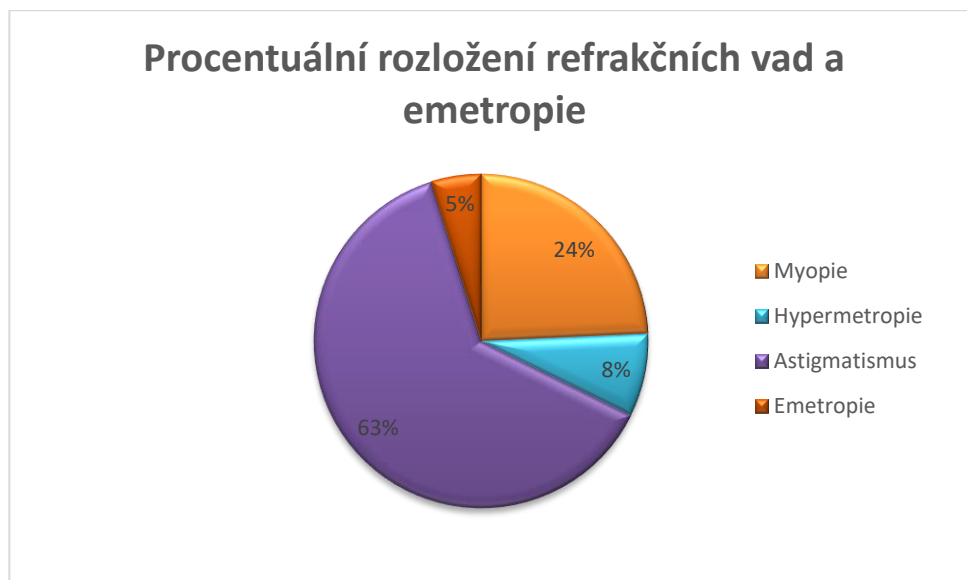
Refrakční vada	OP	OL	Celkem očí
Emetropie	11	16	27
Ametropie	269	264	533

Refrakční vady dělíme na sférické a asférické. Tohle rozdělení je znázorněno na obrázku číslo 18. Sférickou vadu mělo celkem 181 (34 %) očí a asférickou refrakční vadu mělo 352 (66 %) očí. Dohromady se jedná o již zmíněných 533 očí s refrakční vadou.



Obrázek 18: Procentuální rozložení refrakčních vad

Na následujícím obrázku je znázorněno procentuální rozložení jednotlivých refrakčních vad a emetropie u celkového počtu měřených probandů. Jak již bylo zmíněno, emetropických očí bylo pouhých 27 (5 %). Z refrakčních vad byl nejvíce zastoupen astigmatismus, který byl naměřen u 352 (63 %) očí. Myopie převažovala nad hypermetropií, myopických očí bylo 137 (24 %), hypermetropických očí bylo 44 (8 %).



Obrázek 19: Procentuální zastoupení refrakčních vad a emetropie

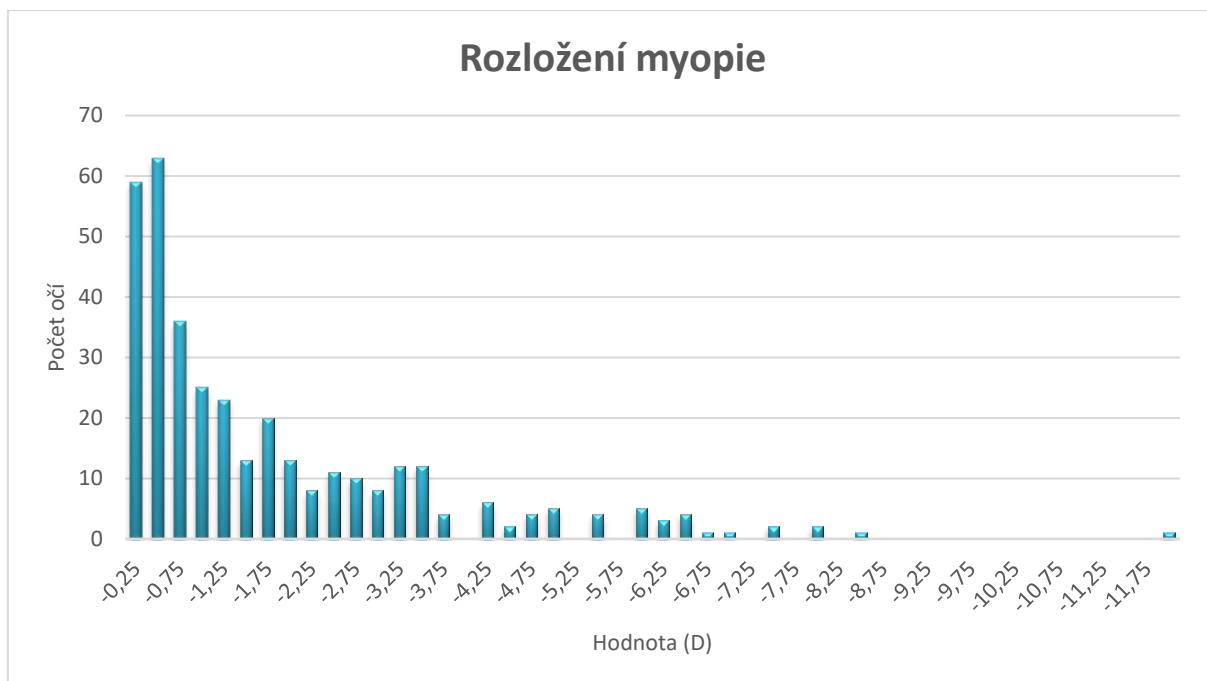
Tabulka 5: Rozložení refrakčních vad

Refrakční vada	OP	OL	Celkem očí
Myopie	70	67	137
Hypermetropie	30	14	44
Astigmatismus	169	183	352

10.1 Rozložení myopie

Pokud bylo oko astigmatické, byla sférická a cylindrická složka přepočítána na sférický ekvivalent. Celkem bylo myopických 364 očí, jak v kombinaci s astigmatismem, tak i bez astigmatismu. Pokud bylo oko astigmatické, byla sférická a cylindrická složka přepočítána na sférický ekvivalent.

Rozložení myopie je znázorněno v následujícím histogramu, ze kterého je zřejmé, že nejvíce očí mělo -0,50 D, kdy tuto hodnotu mělo 63 očí. Nejvyšší minusovou dioptrií byla hodnota -12 D, kterou mělo jedno oko. Hodnoty od -8,75 D do -11,75 D nebyly zjištěny u žádného oka. Obě myopické očí mělo zároveň 165 lidí.

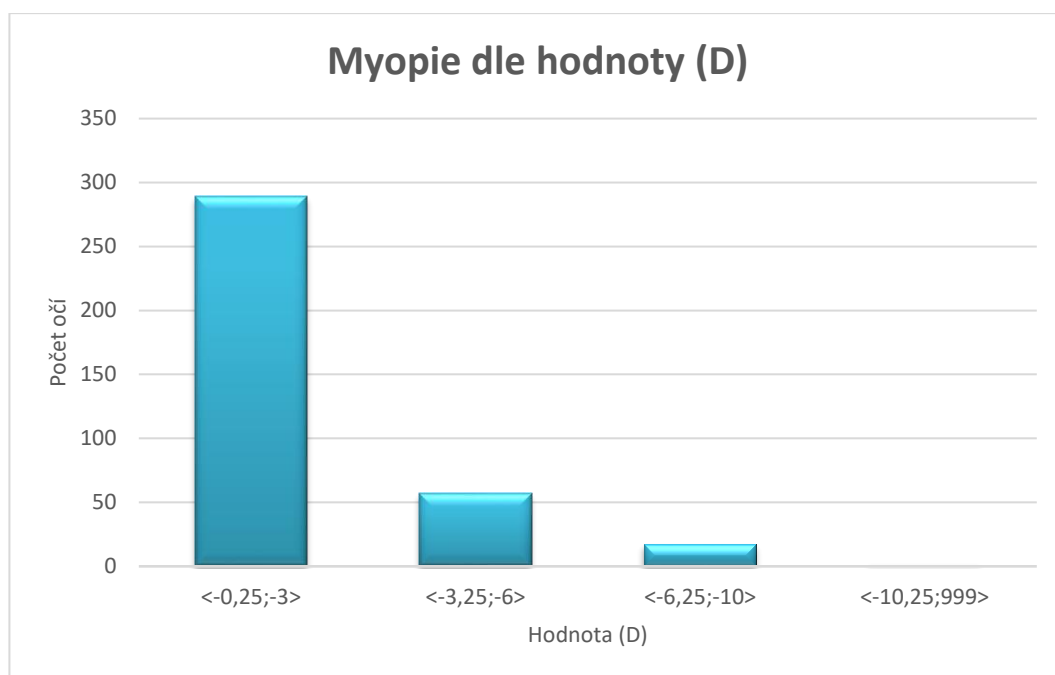


Obrázek 20: Rozložení myopie

Tabulka 6: Rozložení myopie pro OP a OL

Refrakční vada	OP	OL	Celkem očí
Myopie bez astigmatismu	70	67	137
Myopie s astigmatismem po přepočítání cylindru na SE	112	115	227

Myopie dle hodnoty refrakce je dělena na myopii lehkou, střední, vysokou a těžkou. Z těchto čtyř kategorií bylo nejvíce očí lehce myopických. Lehkou myopii mělo dohromady 289 očí. Střední myopie byla změřena u 57 očí a vysoká myopie byla u 17 očí. Těžkou myopii mělo pouze 1 oko z 364 očí myopických.



Obrázek 21: Rozložení myopie dle hodnoty refrakce

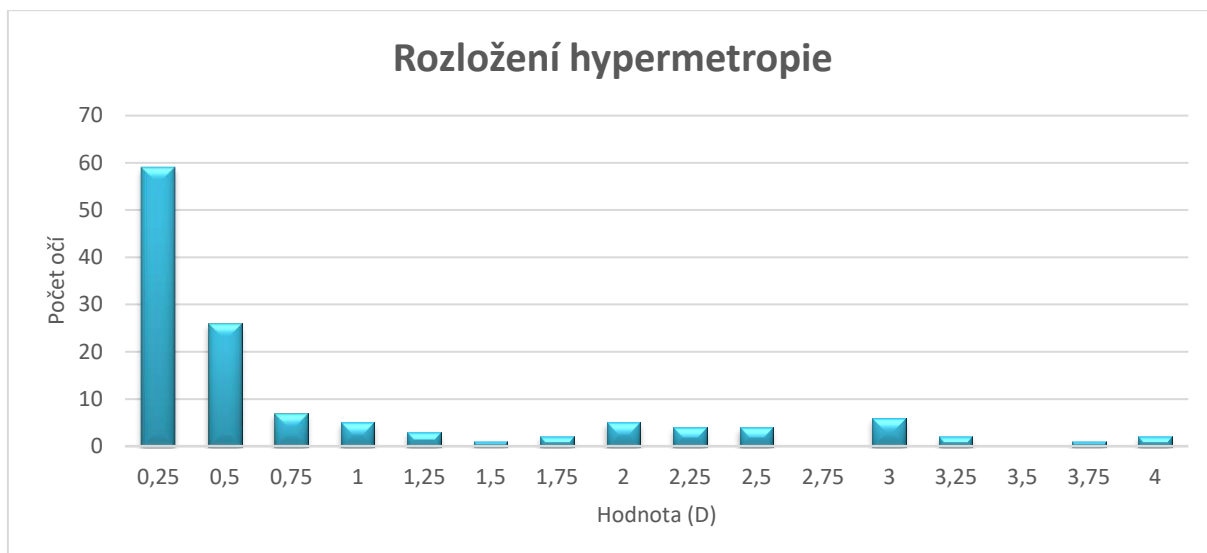
Tabulka 7: Rozložení myopie v závislosti na hodnotě refrakce

Hodnota (D)	OP	OL	Celkem očí
-0,25 až -3,00	143	146	289
-3,25 až -6,00	30	27	57
-6,25 až -10,00	9	8	17
-10,25 a více	0	1	1

10.2 Rozložení hypermetropie

Hypermetropie byla zjištěna celkem u 127 očí, jedná se o hypermetropii s astigmatismem i bez astigmatismu. Pokud bylo oko astigmatické, byla sférická a cylindrická složka přepočítána na sférický ekvivalent.

Nejvíce byla zastoupena hodnota +0,25 D. Nejvyšší hypermetropii vykazovaly dvě oči s hodnotou +4,00 D. Histogram na obrázku 22. znázorňuje rozložení hypermetropie. Obě hypermetropické oči zároveň mělo 51 lidí.



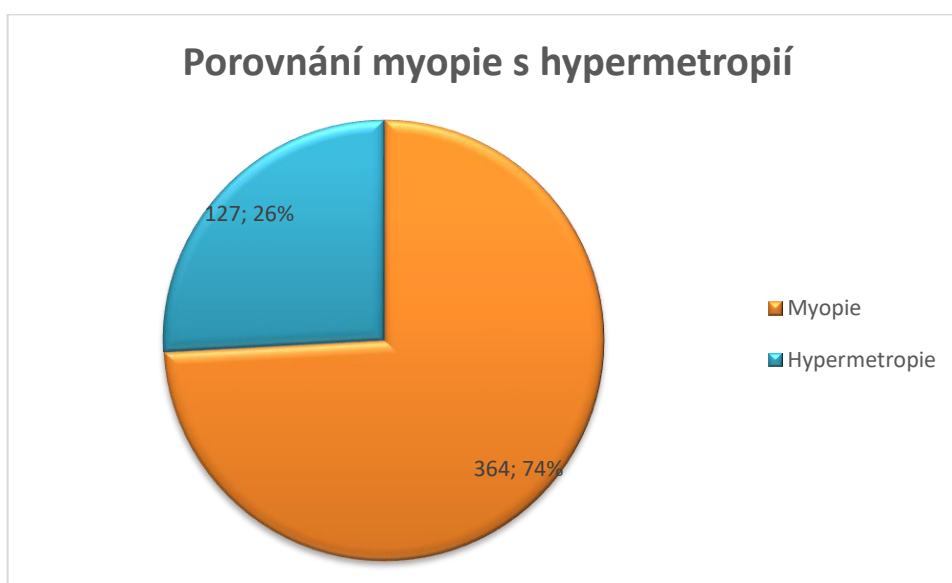
Obrázek 22: Rozložení hypermetropie

Tabulka 8: Rozložení hypermetropie pro OP a OL

Refrakční vada	OP	OL	Celkem očí
Hypermetropie	30	14	44
Hypermetropie po přepočítání cylindru na SE	38	45	83

Tabulka 9: Rozložení hypermetropie v závislosti na hodnotě refrakce

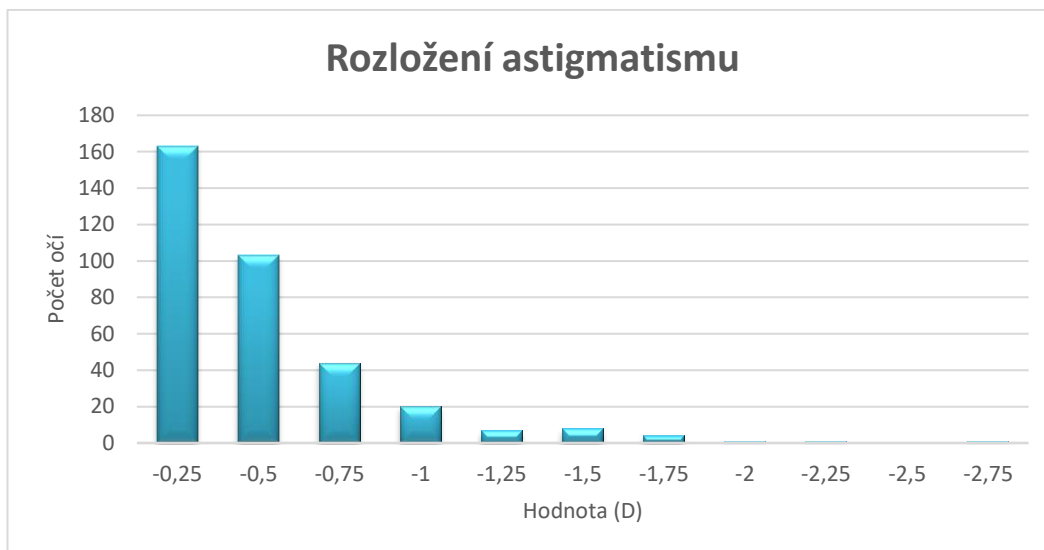
Hodnota (D)	OP	OL	Celkem očí
+0,25 až +3,00	66	56	122
+3,25 až + 5,00	2	3	5
+5,00 a více	0	0	0



Obrázek 23: Procentuální vyjádření krátkozrakosti a dalekozrakosti

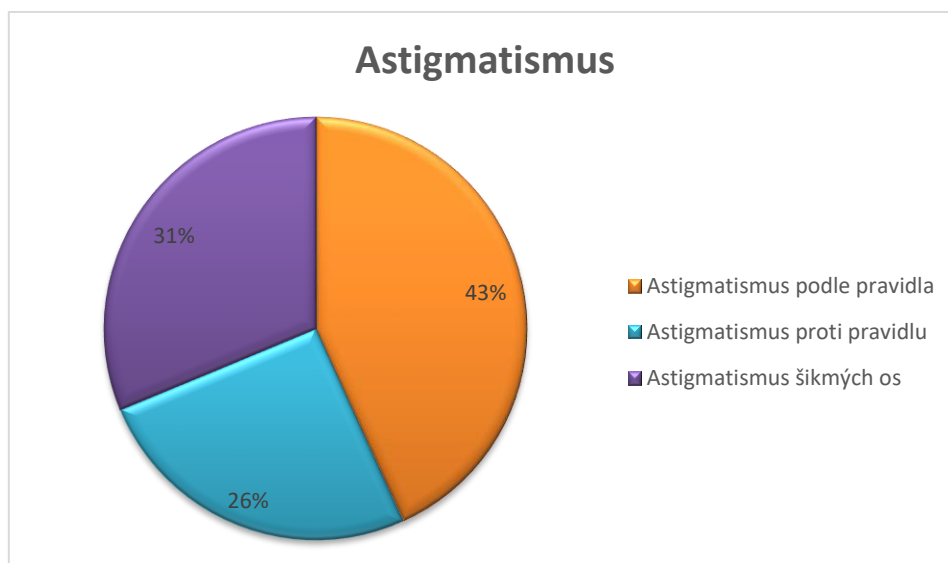
10.3 Rozložení astigmatismu

Astigmatismus je nejvíce zastoupenou refrakční vadou. Na oku pravém byl cylindr naměřen 169 lidem a na oku levém byl u 183 lidí. Dohromady se astigmatismus vyskytl u 352 očí. Nejvíce byla zastoupena hodnota $-0,25$ D, jak na OP, tak na OL. Nejvyšší naměřenou hodnotou u astigmatismu je $-2,75$ D u jednoho oka. Stejná hodnota cylindru byla zjištěna u 143 lidí.



Obrázek 24: Rozložení astigmatismu

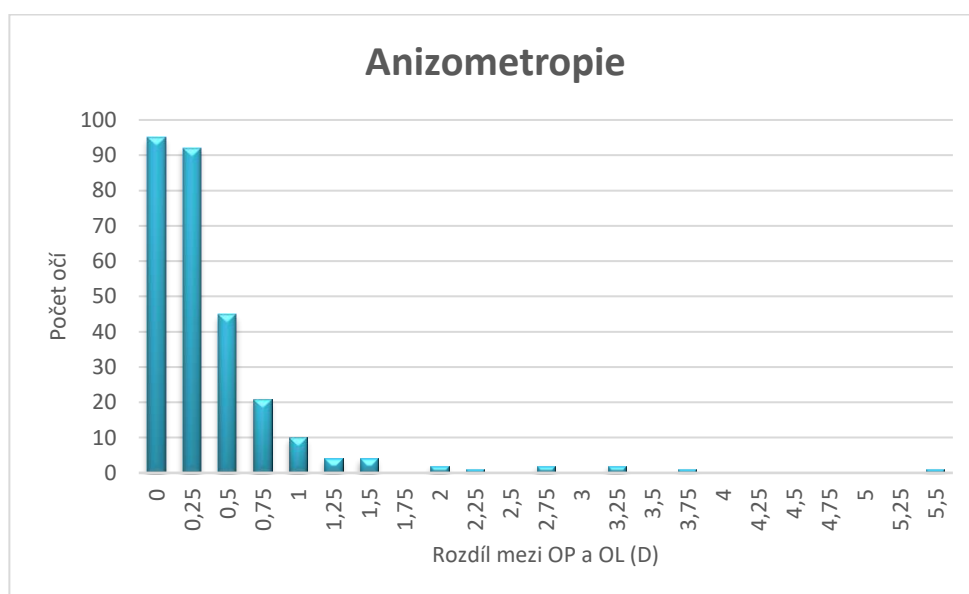
Z 352 očí má 152 (43%) očí hlavní řez v ose $180^{\circ} \pm 22,5^{\circ}$ (astigmatismus podle pravidla), 90 (26 %) očí má hlavní řez cylindru v $90^{\circ} \pm 22,5^{\circ}$ (astigmatismus proti pravidlu). Nižší zastoupení je u os šikmých $45^{\circ} \pm 22,5^{\circ}$ a $135^{\circ} \pm 22,5^{\circ}$ (astigmatismus šikmých os), dohromady se jedná o 110 lidí (31 %) s hlavním řezem cylindru v šikmých osách.



Obrázek 25: Rozložení astigmatismu v závislosti na poloze hlavních řezů

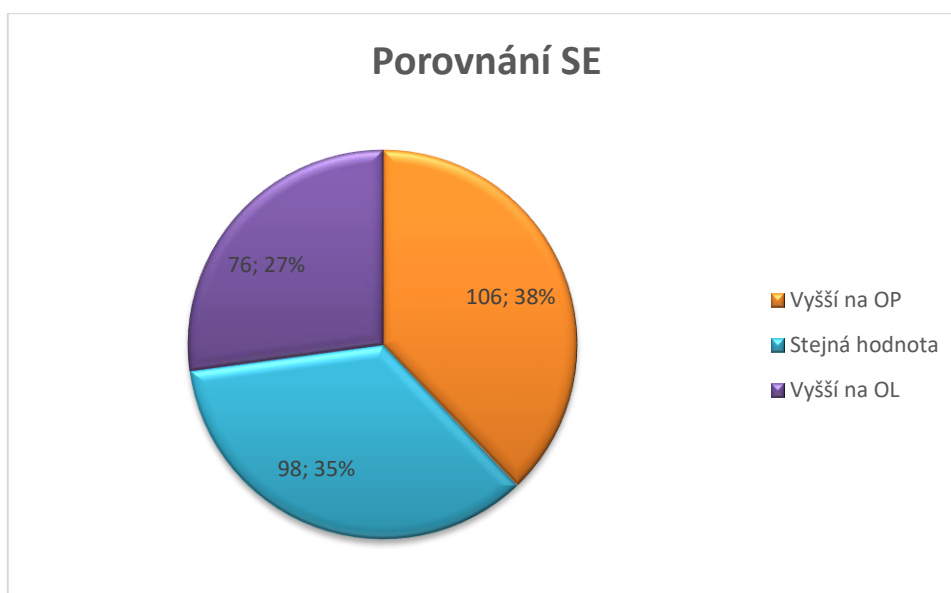
10.4 Rozložení anizometropie

Pokud jsou porovnány hodnoty pravého a levého oka u sférické korekce, je zjištěno, že nejsou vždy stejné. Shodnou hodnotu pravého a levého oka mělo pouze 95 lidí, zbytek očí byl anizometropických. Nejvíce zastoupeným rozdílem je 0,25 D, tento rozdíl byl naměřen u 92 lidí. Rozdíl mezi očima v hodnotě 0,50 D mělo 45 lidí. Nejvyšším rozdílem mezi OP a OL byla hodnota 5,5 D, kdy na OP bylo naměřeno -6,50 D a na OL -12,00 D. Následující histogram na obrázku číslo 26 znázorňuje rozložení rozdílu sférické korekce mezi okem pravým a okem levým. Hodnoty jsou statisticky zpracovány po přepočtu sféro-cylindrické korekce na sférický ekvivalent.



Obrázek 26: Rozložení anizometropie

Při porovnání sférického ekvivalentu (SE) pro OP a OL vychází, že OP mělo vyšší hodnotu dioptrie než OL u 106 (38 %) respondentů. 98 (35 %) lidí mělo stejnou hodnotu dioptrie dle SE na OP i OL. Nižší dioptrickou hodnotu korekce mělo oko pravé u 76 (27 %) lidí. Hodnoty sférického ekvivalentu jsou porovnávány v absolutní hodnotě. To znamená, že pokud jedno oko mělo sférický ekvivalent -0,50 D a druhé +0,50 D, je bráno, že hodnota dioptrie byla stejná. Nejedná se tedy o porovnávání myopie a hypermetropie.



Obrázek 27: Porovnání sférického ekvivalentu OP a OL

Závěr

Práce byla zaměřená na problematiku refrakčních vad. V úvodu teoretické části přibližuji anatomii lidského oka. Dále v práci uvádím jednotlivé refrakční vady, jejich dělení a korekci. Nezaměnitelnou částí mého tématu je vyšetření refrakce objektivními a subjektivními metodami.

V samotné experimentální části jsem se snažila postupovat od nejjednoduššího statistického rozčlenění po důkladnější analýzu naměřených dat. Statistické členění, které je v práci obsaženo zpravidla zahrnuje početní a procentuální členění.

Jako první sledovaný údaj jsem zvolila procentuální rozložení ametropie a emetropie, kdy pouze 5 % očí bylo emetropických. Toto pro mě překvapivé zjištění se ovšem shoduje s výsledky bakalářské práce Bc. Černé sepsané roku 2014, která naměřila 4 % emetropických očí. Tento jednoprocentní rozdíl může být způsoben rozdílným počtem měřených probandů. Dalším téměř shodným údajem s výsledky bakalářské práce Bc. Černé sepsané roku 2014 je rozložení sférických a asférických refrakčních vad. Rozdíl činí opět jedno procento. Stejný jednoprocentní rozdíl byl zjištěn i u výskytu astigmatismu, ovšem rozložení myopických a hypermetropických očí se liší o 6 %. V mém vzorku probandů bylo nejvíce zastoupeno věkové rozmezí od 19 do 30 let, které je znázorněno na obrázcích číslo 14 a 15, stejně tomu bylo i v práci Bc. Martiny Černé. Ovšem myopie v zastoupení u refrakčních vad v počtu 26 % se blíží hodnotám ze studie studie Sherwin, Justin C a David A. Mackey, kdy pro západní Evropu byla prevalence myopie 26,6 % a pro Španělsko 25,4 %. I v mém měření je potvrzena hypotéza, že nejvíce astigmatismu se vyskytuje v přímých osách tj. 90° a 180°.

Existuje mnoho studií na výskyt refrakčních vad, ovšem žádná z nich není uceleně zaměřená na Českou republiku a tato práce by mohla v budoucnu sloužit jako dílčí část pro statistické zpracování výskytu refrakčních vad v České republice.

Seznam použité literatury

- [1] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, 226 s. ISBN 80-701-3362-7.
- [2] ANTON, M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. 3rd ed. 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [3] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [4] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [5] *Visual Fields via the Visual Pathway* [online]. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2006 [cit. 2017-05-13]. ISBN 9780470759271.
- [6] KUCHYŇKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, 768 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [7] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [8] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1213-5.
- [9] BAŠTECKÝ, Richard. *Praktická brylová optika*. Praha. R H Optik, 1997, 83s.
- [10] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [11] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [12] Hyperopia. In: *Psychology Wiki* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://psychology.wikia.com/wiki/Hyperopia>
- [13] BENJAMIN, William J. a Irvin M. BORISH. *Borish's clinical refraction*. Philadelphia: W.B. Saunders Company, c1998. ISBN 0-7216-5688-9.
- [14] Myopia. In: *Wikia.org* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://psychology.wikia.com/wiki/Myopia>

- [15] MICHAEL BASS, editor-in-chief, Jay M. Enoch, associate editor JAY M. ENOCH, ASSOCIATE EDITOR a associate editor. VASUDEVAN LAKSHMINARAYANAN. *Handbook of optics*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 9780071629287.
- [16] Co je to astigmatismus? In: *Videni.cz* [online]. Bratislava: SWAMI, 2009 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.videni.cz/refrakcni-vady/>
- [17] SEVERA, David, Petr VESELÝ a Pavel BENEŠ. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2016 [cit. 2017-01-06]. ISBN 978-80-210-8289-2. ISSN 1802-128X. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/index.html
- [18] RUTRLE, Miloš. *Brylová optika*. 2. přeprac. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. Učební text pro střední zdravotnické školy. ISBN 80-7013-145-4.
- [19] HORNOVÁ, Jara. *Oční propedeutika*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [20] MESLIN, Dominique. *Praktická refrakce* [online]. Paříž: ESSILOR ACADEMY EUROPE, 2008 [cit. 2017-01-06]. ISBN 979-10-90678-22-4. Dostupné z: <http://www.zkcoo.cz/files/Cahier-Practical-Refracton-CZ.pdf>
- [21] KRŮŽ, Pavel. *Zraková ostrost* [online]. Brno, 2007 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/176794/lf_b/Bakalarka-Zrak.Ostrost.txt. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Jan Richter.
- [22] NAJMAN, Ladislav. Oblíbené omyly v oční optice. Česká oční optika [online]. 2013, 2013(1) [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: http://www.4oci.cz/oblibene-omyly-v-ocni-optice_4c633
- [23] *Topcon LCD charts CC-100* [online]. Topcon, 2015 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://www.topcon-medical.eu/eu/products/87-cc-100-lcd-chart.html>
- [24] Vision-training. In: *Vision-training* [online]. Leo Angart, 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.vision-training.com/Mobile/en/index.html>
- [25] Cross cylinder Oculus. In: *Heinz Optikbedarf* [online]. Austria, 2009 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://www.heinz-optik.at/>
- [26] GROSVENOR, Theodore P. *Primary care optometry*. 5th ed. St. Louis, Mo.: Butterworth-Heinemann/Elsevier, c2007. ISBN 9780750675758.

- [27] WILLIAMS, Katie M., Virginie J. M. VERHOEVEN, Phillippa CUMBERLAND, et al. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E3) Consortium. *European Journal of Epidemiology* [online]. 2015, **30**(4), 305-315 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1007/s10654-015-0010-0. ISSN 0393-2990. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10654-015-0010-0>
- [28] SHERWIN, Justin C a David A MACKEY. Epidemiology of Myopia: Refraction Across the Lifespan. *Expert Rev Ophthalmology* [online]. 2013, 8(1), 4 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.medscape.com/viewarticle/779114>
- [29] BENEŠ, P., S. SYNEK, S. PETROVÁ, J. SOKOLOVÁ ŠIDLOVÁ, L. FORÝTKOVÁ a Z. HOLOUBKOVÁ. Výskyt refrakčních vad s následnou volbou korekční pomůcky. *ČESKÁ A SLOVENSKÁ OFTALMOLOGIE* [online]. 2012, 68(1), 11-16 [cit. 2017-05-16]. ISSN 1805-4447. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/>
- [30] ČERNÁ, Martina. Výskyt refrakčních vad. *Česká oční optika. Společenstvo českých optiků a optometristů*, 2014, 55(4), 22-24.
- [31] ČERNÁ, Martina. *Výskyt zrakových vad v souboru studentů a zaměstnanců FBMI ČVUT*. Kladno, 2014. Bakalářská práce. FBMI. Vedoucí práce Markéta Žáková.

Seznam symbolů a zkratk

D	Dioptrie
S	Sféra
C	Cylindr
Add	Adice
OP	Oko pravé
OL	Oko levé
SE	Sférický ekvivalent

Seznam obrázků

Obrázek 1: Gullstrandovo schematické oko v neakomodovaném stavu [6]	8
Obrázek 2: Emsleyova-Graffova modifikace Gullstrandova oka [6]	9
Obrázek 3: Model neakomodujícího redukovaného oka [6]	9
Obrázek 4: Zobrazení obrazu hypermetropickým okem [12]	12
Obrázek 5: Korekce hypermetropie spojnou čočkou [12].....	15
Obrázek 6: Zobrazení obrazu myopickým okem [14].....	15
Obrázek 7: Korekce myopie rozptylnou čočkou [14]	17
Obrázek 8: Retinoskop [12].....	25
Obrázek 9: Konstrukce optotypu pomocí čtvercové sítě [3]	30
Obrázek 10: LCD monitor [23]	30
Obrázek 11: Astigmatický vějíř [24]	31
Obrázek 12: Jacksonův zkřížený cylindr [25]	32
Obrázek 13: Výskyt refrakčních vad na FBMI ČVUT podle Bc. Černé [30].....	35
Obrázek 14: Věkové zastoupení studentů	36
Obrázek 15: Věkové zastoupení zaměstnanců	37
Obrázek 16: Procentuální zastoupení pohlaví	37
Obrázek 17: Procentuální zastoupení emetropie a ametropie	39
Obrázek 18: Procentuální rozložení refrakčních vad	39
Obrázek 19: Procentuální zastoupení refrakčních vad a emetropie	40
Obrázek 20: Rozložení myopie	41
Obrázek 21: Rozložení myopie dle hodnoty refrakce	42
Obrázek 22: Rozložení hypermetropie	43
Obrázek 23: Procentuální vyjádření krátkozrakosti a dalekozrakosti	43
Obrázek 24: Rozložení astigmatismu	44
Obrázek 25: Rozložení astigmatismu v závislosti na poloze hlavních řezů.....	44
Obrázek 26: Rozložení anizometropie	45
Obrázek 27: Porovnání sférického ekvivalentu OP a OL	46

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry Gullstrandova schematickeho oka. Hodnoty maximální akomodace oka jsou uvedeny v závorkách, ostatní hodnoty odpovídají oku v neakomodovaném stavu. Pokud údaj v závorce chybí, při akomodaci se nemění. [6]	7
Tabulka 2: Indexy lomu očních struktur podle Gullstrandova schematickeho oka [6].....	8
Tabulka 3: Hodnoty Emsleyovy-Graffovy modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematickeho oka při uvolněné akomodaci [6]	8
Tabulka 4: Rozložení ametropie a emetropie	39
Tabulka 5: Rozložení refrakčních vad	40
Tabulka 6: Rozložení myopie pro OP a OL	41
Tabulka 7: Rozložení myopie v závislosti na hodnotě refrakce	42
Tabulka 8: Rozložení hypermetropie pro OP a OL	43
Tabulka 9: Rozložení hypermetropie v závislosti na hodnotě refrakce.....	43

