

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2020**

**BARBORA  
VAŇKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

**Parametry individuální čtecí vzdálenosti**

**Requirements of individual read distance**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Barbora Vaňková**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vaňková** Jméno: **Barbora** Osobní číslo: **465450**  
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:

**Parametry individuální čtecí vzdálenosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Requirements of individual read distance**

Pokyny pro vypracování:

Student vypracuje bakalářskou práci na téma parametry individuální čtecí vzdálenosti. V úvodních kapitolách popíše princip akomodace a vznik stařecké vetchozrakosti. Možnosti korekce vetchozrakosti pomocí brýlových čoček, kontaktních čoček popřípadě operací. Stěžejní kapitolou bude metodika stanovení správného přířavku na blízko a popsání jednotlivých testů pro měření adice. V praktické části student vypracuje jednotlivé parametry zajišťující individuální čtecí vzdálenosti a ověří na probandech teoretické znalosti.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KRAUS, H. a kol., Kompendium očního lékařství, ed. 1, Grada Publishing, 1997, 341 s., ISBN 80-7169-079-1
- [2] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [3] ELLIOTT, D.B., Clinical Procedures in Primary Eye Care, ed. 4., Bradford, United Kingdom: Elsevier Saunders, 2014, ISBN 978-0-7020-5194-4

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Jakub Král**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

  
doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.  
podpis vedoucí(ho) katedry

  
prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.  
podpis děkana(ky)

**Název bakalářské práce:** Parametry individuální čtecí vzdálenosti**Abstrakt:**

Práce poukazuje na závislost mezi tělesnou výškou a čtecí vzdáleností tištěného textu (Jaegerova tabulka) a mobilního telefonu. Výzkumu se zúčastnilo celkem 88 osob ve věku 16 - 82 let. Probandi byli rozděleni podle pohlaví na 55 žen a 33 mužů. Výsledky byly zpracovány jak pro celý soubor, tak i samostatně pro jednotlivé kategorie. U osob, které potřebovaly korekci do blízka, byla změřena adice. K tomu byla použita stejná Jaegerova tabulka pro všechny probandy. U mladších osob, které nepotřebovaly adici, byly pouze změřeny vzdálenosti, ve kterých sledovali mobilní telefon a tištěný text. První hypotézou bylo porovnání tělesné výšky a obou čtecích vzdáleností. Dále měl být potvrzen vzájemný vztah čtecích vzdáleností. Jako třetí se z uvedeného souboru měla potvrdit závislost adice a věku. Bylo zjištěno, že z poskytnutého vzorku probandů vyšší lidé čtou dále než věkově menší. Potvrdilo se, že většina naměřených probandů (75 z 88) drží mobilní telefon blíže než čtený text. Závislost adice na věku byla také potvrzena.

**Klíčová slova:**

čtecí vzdálenost, presbyopie, akomodace, schematické modely oka, Allvar Gullstrand

**Bachelor's Thesis title:** Requirements of individual read distance**Abstract:**

The work points out the dependence between body height and reading distance of printed text (Jaeger's table) and mobile phone. A total of 88 people aged 16-82 participated in the research. Probandes were divided by gender into 55 women and 33 men. The results were processed both for the whole set and separately for individual categories. Addition was measured in individuals who needed close-up correction. The same Jaeger table was used for all probands. For younger people who did not need an addition, only the distances in which they watched the mobile phone and printed text were measured. The first hypothesis was a comparison of body height and both reading distances. Furthermore, the mutual relationship of reading distances was to be confirmed. The dependence of addition and age on the third set was to be confirmed. It was found that from the provided sample of probands, taller people read further than smaller ones. It was confirmed that most of the measured probands (75 out of 88) hold the mobile phone closer than the read text. The dependence of the addition on age was also confirmed.

**Key words:**

reading distance, presbyopia, eye accommodation, eye schematic models, Allvar Gullstrand

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, Mgr. Jakubu Králi, za trpělivost, vstřícné jednání a za jeho odborné rady v oblasti optometrie. Také bych ráda touto cestou poděkovala Mgr. Davidu Přikrylovi za ochotnou pomoc a konzultace.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Parametry individuální čtecí vzdálenosti*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V *Kladně* dne .....

.....

podpis

## Obsah

1	Úvod .....	10
1.1	Hypotéza .....	10
2	Světlo a světelné aberace .....	11
2.1	Významné body optické soustavy .....	11
2.2	Charakteristika optické soustavy .....	12
2.3	Vady zobrazení optickou soustavou, aberace .....	13
2.3.1	Otvorová vada .....	14
2.3.2	Zkreslení (distorze).....	15
2.3.3	Zklenutí a astigmatismus .....	15
3	Obecný přehled parametrů lidského oka .....	17
3.1	Optický systém oka.....	17
3.2	Optické modely oka .....	18
3.2.1	Redukované schéma .....	18
3.2.2	Gullstrandův model oka .....	18
3.2.3	Emsley-Graffův model .....	19
4	Oční čočka a akomodace .....	20
4.1	Anatomie oční čočky a přídatných aparátů.....	20
4.2	Optické vlastnosti čočky .....	21
4.3	Akomodace .....	21
4.4	Akomodační šíře .....	21
4.5	Proces akomodace.....	22
4.6	Teorie akomodace .....	22
4.6.1	Helmholtzova teorie .....	22
4.6.2	Schacharova a Tscherningova teorie .....	22
4.6.3	Colemanova teorie .....	23
5	Refrakční vady.....	24
5.1	Emetropie.....	25
5.2	Myopie (krátkozrakost).....	25
5.3	Hypermetropie (dalekozrakost) .....	25
5.4	Astigmatismus .....	26
6	Presbyopie .....	28
6.1	Přídavek do blízka .....	29



---

6.2	Testy pro vyšetření korekce do blízka .....	29
6.2.1	Jaegerova tabulka .....	30
6.2.2	Zkřížený cylindr .....	30
6.2.3	Červeno-zelený test .....	31
6.2.4	Kontrola adice.....	32
7	Korekce refrakčních vad a presbyopie .....	33
7.1	Brýlové čočky .....	33
7.2	Kontaktní čočky .....	35
7.3	Nitrooční čočky.....	35
8	Praktická část.....	37
8.1	Postup vyšetřování .....	38
8.2	Zpracování dat .....	40
9	Diskuze .....	42
10	Závěr.....	43
11	Seznam použité literatury .....	44
12	Seznam symbolů a zkratek .....	47
13	Seznam obrázků.....	48
14	Seznam tabulek.....	48

# 1 Úvod

Stejně tak jako stárne každá buňka v těle, stárne i oko a mění se jeho vlastnosti. Ať je oko mladé nebo již věkem unavené, neustále potřebuje pracovat a zaostřovat na různě vzdálené předměty. Tomu napomáhá spousta procesů, nejvíc akomodace. Její velikost se určuje pomocí akomodační šíře, která s přibývajícím věkem klesá od cca 20 dpt (předškolní věk) až téměř k nule [15]. Z toho vyplývá, že člověk, který se nachází ve věkové kategorii 40+ let, nedokáže tak dobře zaostřit blízké předměty a potřebuje pomoc korekční pomůckou. Tito lidé proto vyhledávají pomoc oftalmologa či optometristy.

V této práci je popsáno, jak akomodace funguje, které aparáty oka se podílí na akomodačním úsilí, jak se projeví vada zvaná presbyopie (vetchozrakost) a také jak ji korigovat. Této vadě je věnována samostatná kapitola vzhledem k tomu, že je úzce spjata se čtecí vzdáleností. Pouhých 10 cm může při měření refrakčního stavu oka do blízka způsobit změnu výsledné korekce a s tím následně spojené problémy. Primárně se jedná o bolest hlavy a očí, pálení a řezání očí, nevolnost nebo neschopnost nosit korekci delší dobu. [15]

Pro vyšetření refrakčních vad oka a presbyopie jsou v praxi používány různé testy, které budou popsány. Jeden ze základních a nejpoužívanějších se nazývá Jaegerova tabulka. Jedná se o několik odstavců souvislého textu, jejichž písmo se postupně zmenšuje. Dále se používá metoda zkříženého cylindru do blízka nebo červeno-zelený test pro kontrolu měření.

V samostatné kapitole jsou ukázány způsoby korekce refrakčních vad a presbyopie. Ať se jedná o čočky brýlové, kontaktní anebo nitrooční.

## 1.1 Hypotéza

Na začátku práce byly zvoleny tři oblasti, na které se práce zaměřuje a které jsou podrobněji rozpracované v praktické části této práce. Hypotézy byly následující:

1. Bude se zvětšovat čtecí vzdálenost společně s tělesnou výškou?
2. Čtou lidé v různé vzdálenosti tištěný text v porovnání s mobilním telefonem?
3. Ověřit na použitém souboru probandů závislost adice na věku

## 2 Světlo a světelné aberace

Tato část byla do práce zařazena pro pochopení jednotlivých fyzikálních pojmů, které v následujících kapitolách popisují parametry lidského oka.

### 2.1 Významné body optické soustavy

V rámci optické soustavy jsou rozeznávány dvě základní roviny – předměťová (místo, kde leží předmět) a obrazová (kde se nachází vytvořený obraz). [11]

Nejllepší zobrazovací vlastnosti má optická soustava ve chvíli, kdy se dopadající paprsek nachází v tzv. paraxiálním prostoru. V tomto případě dochází k nejmenším aberacím a vadám zobrazování (viz kapitola 2.3). Je to takový prostor, ve kterém dopadající paprsek svírá s optickou osou malý úhel (do  $5^\circ$ ). [11]

Jednotlivé body v rámci optické soustavy se označují velkým písmenem, vzdálenosti pak malým. Jsou definované pro předměťovou i obrazovou rovinu. Některé body se vyskytují samostatně (např. střed křivosti), jiné jako opticky sdružené (např. uzlové body). Procházející paprsek je zobrazen jako přímka a zaznamenává se většinou zleva doprava. [11]

Předměťové ohnisko  $F$  je bod na optické ose, jehož paraxiální obraz se po průchodu optickou soustavou zobrazí v nekonečnu. Pokud paprsky do optické soustavy vstupují rovnoběžně s optickou osou, tj. z nekonečna, potom se po průchodu zobrazí v obrazovém ohnisku  $F'$ . Ohniska nejsou opticky sdružené body. Jsou sdružené s nekonečnem. [11]

Hlavní body  $H$ ,  $H'$  jsou opticky sdružené body na optické ose, které určují polohu hlavních rovin (obrazové a předměťové). Jsou to pouze teoretické vypočítané body, které jsou určené pro popis optické soustavy. Pokud předmět leží přesně v hlavní předměťové rovině, potom jeho obraz leží v hlavní obrazové rovině, má stejnou orientaci a je stejně velký. Z toho vyplývá, že příčné zvětšení je rovno jedné ( $\beta = 1$ ). [11]

Uzlové body  $N$ ,  $N'$  jsou opticky sdružené body, v nichž úhlové zvětšení je rovno jedné ( $\gamma = 1$ ). Pokud dopadá paprsek do předměťového uzlového bodu pod určitým úhlem, potom vychází z obrazového uzlového bodu pod stejným úhlem. Obdobně jako hlavní body optické soustavy jsou uzlové body pouze vypočítané teoretické body. [11]

Ohniskové vzdálenosti  $f$ ,  $f'$  určují polohy ohnisek. Měří se směrem od hlavních bodů k příslušnému ohnisku. [11]

Poloměr křivosti je důležitým ukazatelem pro lomivost dané plochy. Velmi ovlivňuje celkový účinek optické soustavy. Vyznačuje se směrem od plochy ke středu křivosti. [11]

## 2.2 Charakteristika optické soustavy

Primárně je tato kapitola zaměřena na optickou mohutnost a index lomu. Tyto dvě veličiny jsou nejčastěji používány pro popis jednotlivých prostředí soustavy oka.

Velmi často se pletou dva základní pojmy, a to optická mohutnost a vrcholová lámavost. První z nich, optická mohutnost  $D$ , se definuje jako vergence (převrácená hodnota) obrazové ohniskové vzdálenosti. Vypočítá se ze vztahu [11]:

$$D_c = \frac{n'}{f'} \quad (2.1)$$

kde  $n'$  je index lomu obrazového prostoru a  $f'$  je poloha obrazového ohniska. Je to vypočítaná hodnota, protože hlavní body jsou pouze teoretické body optické soustavy. Nelze ji změřit, pouze vypočítat. [11]

Vrcholová lámavost  $S'_B$  je veličina, která se využívá v přístrojové optice a měří se fokometrem. Definuje se jako vergence sečné obrazové ohniskové vzdálenosti (tj. vzdálenost od obrazového vrcholu čočky k příslušnému ohnisku). [11]

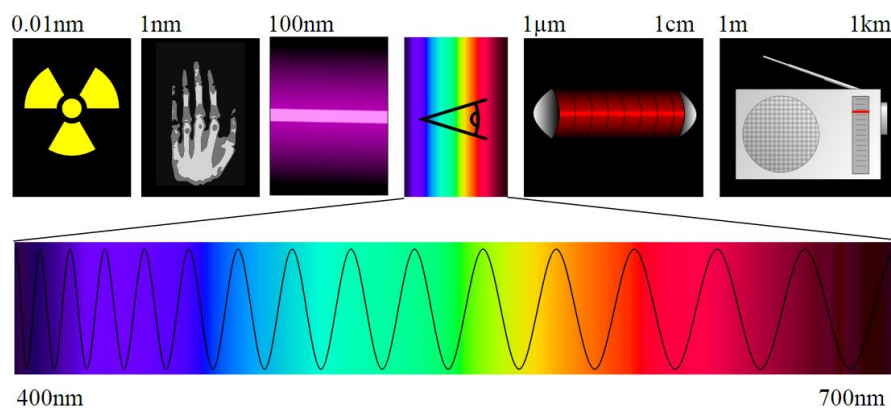
Pro charakteristiku optického prostředí byla zavedena veličina index lomu  $n$ . Je to bezrozměrná veličina. Vypočítá se jako poměr rychlostí světla a udává, kolikrát pomaleji se šíří světlo v optickém prostředí oproti referenčnímu prostředí (např. při průchodu paprsku z vody do skla, ze skla do vzduchu apod.). [11]

Pro výpočet indexu lomu se nejčastěji používá vzorec [11]:

$$n_{\lambda 12} = \frac{v_2}{v_1} \quad (2.2)$$

kde  $n_{\lambda 12}$  je index lomu 1. prostředí vzhledem ke 2. prostředí,  $v_1$  a  $v_2$  vyjadřuje rychlost světla určité vlnové délky v 1. a 2. prostředí. [11]

Index lomu závisí i na vlnové délce světla. Nejčastěji se počítá s hodnotou  $\lambda=589,3$  nm, což odpovídá žlutému sodíkovému světlu, na které je oko nejvíce citlivé. Bílé světlo se skládá z vlnových délek v rozsahu přibližně 390 – 760 nm (v každé literatuře se čísla mírně odlišují). Nelze přesně specifikovat jednotlivé vlnové délky, protože se jedná o spojitě spektrum, tudíž bez přesně vymezeného ohraničení. [16].



Obr. 2.1: Elektromagnetické spektrum vlnových délek [28]

Každá jednotlivá vlnová délka světla má v různých optických prostředích jinou rychlost. Pouze ve vakuu se všechny šíří stejnou rychlostí, a to  $c = 299\,792,458 \text{ km/s} \approx 300\,000 \text{ km/s}$ . V některých případech můžeme pozorovat disperzi. Je to jev, ke kterému dochází po průchodu světla optickým prostředím. Bílé světlo se rozloží na jednotlivé barvy. Vzhledem k různé rychlosti jednotlivých vlnových délek viditelného světla se každá láme do různé vzdálenosti od optického prostředí. Nejméně se lomí červená (nejdelší) a nejvíc fialová (nejkratší). Takto se bílé světlo rozloží na jednotlivé barvy a je viditelné barevné spektrum neboli duha. [16]



Obr. 2.2: disperze na optickém hranolu [32]

Disperze je v optické soustavě nežádoucí efekt, proto se koriguje soustavou vhodných čoček. Oko není výjimkou. Je to nedokonalá optická soustava, ale tato chromatická vada (viz. kap. 2.3) je korigována primárně rozptylnou rohovkou a spojnou oční čočkou. [16]

### 2.3 Vady zobrazení optickou soustavou, aberace

Pokud se uvažuje ideální optická soustava, všechny prošlé paprsky se setkají v jednom bodě nebo prochází soustavou v nezměněné podobě. V praxi se objevují vady optického zobrazení, které je potřeba korigovat, zmenšit na minimum či úplně odstranit. Budou popsány pouze ty vady, které jsou nejméně žádoucí a nejčastěji se korigují.

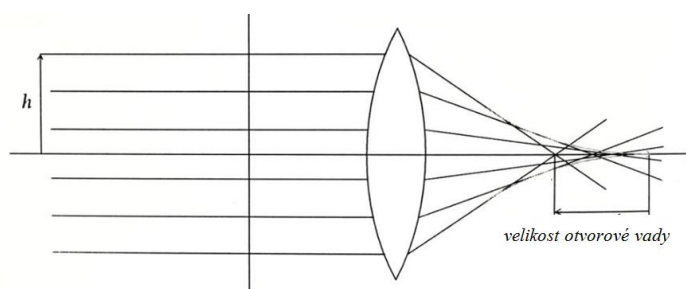
Primárně se tyto aberace dělí na chromatické (barevné) a monochromatické. Do optické soustavy může vstupovat buď světlo jedné vlnové délky (monochromatické, např. laser) nebo složené (např. bílé světlo). Další dělení je přehledně zobrazeno na obr. 2.3. [11]



Obr. 2.3: Rozdělení vad zobrazování optickou soustavou [11]

### 2.3.1 Otvorová vada

Tato vada je jinak nazývána sférická aberace. Jedná se o jednu z nejčastějších vad optického zobrazení. Dochází k ní při zobrazování širokým svazkem paprsků jedné vlnové délky. Paprsky, které vstupují do optické soustavy dále od optické osy, se lámou více, než paprsky, které jsou blíže k optické ose. Výsledný jev je zobrazen na obr. 2.4. Prošlé paprsky se neprotínají v jednom bodě. Se zvětšující se dopadovou výškou  $h$  se zároveň zvětšuje i velikost otvorové vady. [11]



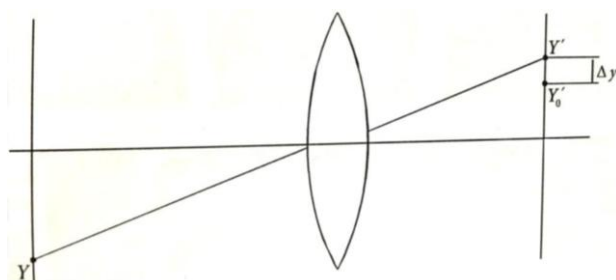
Obr. 2.4: Otvorová vada [11]

Sférickou aberaci lze eliminovat zmenšením šířky svazku paprsků, zacloněním nebo správnou kombinací spojných a rozptylných čoček. V praxi způsobuje neostrý obraz. [11]

V oční optice je tato vada velmi nežádoucí, ale oko se s ní dokáže vypořádat samo. Jednak díky kombinaci rohovky a oční čočky, ale také za velké pomoci adaptivní duhovky, která tvoří zornici a odcloní krajní paprsky. Vidění se tím zostří. [15]

### 2.3.2 Zkreslení (distorze)

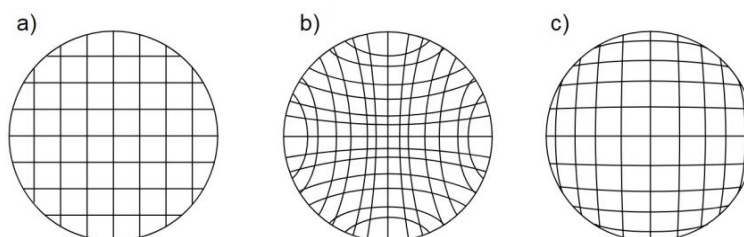
Tato vada zobrazení se vztahuje především k mimoosovým bodům ( $Y$ ), které jsou zobrazeny monochromatickým světlem. Po průchodu optickou soustavou paprsek neprotne ideální obrazový bod ( $Y_0'$ ). Mezi skutečným bodem ( $Y'$ ) a ideálním bodem ( $Y_0'$ ) vzniká odchylka ( $\Delta y$ ). Příčinou je rozdílná velikost příčného zvětšení v obrazovém prostoru. Čím dále od optické osy je položen předmětový mimoosový bod, tím je odchylka větší a společně s tím i zkreslení. [11]



Obr. 2.5: Zkreslení obrazu [11]

V praxi se rozeznávají dva základní typy zkreslení [11]:

- poduškové – zvětšení větší na okrajích
- soudkovité – zvětšení větší uprostřed



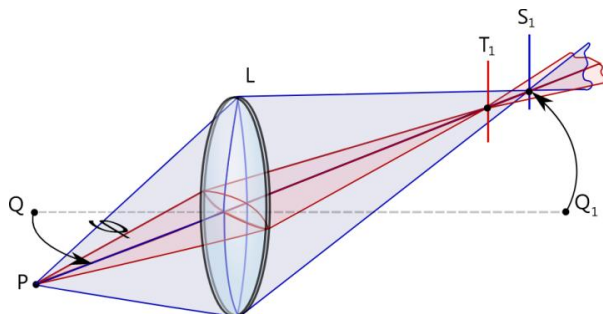
Obr. 2.6: Druhy distorze obrazu. Bez zkreslení (a), poduškové (b) a soudkové (c) zkreslení [34]

### 2.3.3 Zklenutí a astigmatismus

Zklenutí obrazu a astigmatismus spolu velice úzce souvisí. Důvodem zkreslení je n esférická lámavá plocha nebo zobrazování pod velkým úhlem. [11, 34]

Astigmatismus se projevuje na n esférické lámavé ploše. Té se říká cylindrická (válnová) nebo torická. Vyznačuje se dvěma meridiány s největší a nejmenší lomivostí, které jsou na sebe kolmé, tj. svírají úhel  $90^\circ$ . V tomto případě se jedná o astigmatismus pravidelný. Rozdíl mezi těmito maximy se nazývá cylindr nebo astigmatický rozdíl. Je udáván v dioptriích. Nepravidelný astigmatismus se projeví ve chvíli, kdy meridiány n esvírají úhel  $90^\circ$ . [11, 34]

Po průchodu paprsku torickou plochou se vytvoří dvě obrazová ohniska v podobě tzv. fokál. Jsou to přímky, které jsou na sebe kolmé. Čím větší je vzájemná vzdálenost fokál, tím je větší hodnota astigmatismu. Bod se zobrazí jako tzv. rozptylový kroužek. [11, 34]



Obr. 2.7: Astigmatismus [34]

Pokud je rovinná plocha zobrazena do zakřivené, poté se této vadě říká zklenutí pole. Výsledný obraz je na různých místech různě ostrý a deformovaný. Tyto vady jsou velice nežádoucí například při fotografování. [11, 34]



### 3 Obecný přehled parametrů lidského oka

V této kapitole jsou popsány schematické modely lidského oka. Nejlépe shromažďují důležité parametry. Každý z následujících tří modelů má svá specifika, výhody i nevýhody.

#### 3.1 Optický systém oka

Základními prvky optické soustavy oka jsou rohovka, komorová voda, čočka a sklivec. Jako clona funguje adaptivní zornice. Oko je fyziologicky schopno měnit své vlastnosti. [15]

V následujících dvou tabulkách jsou popsány parametry emetropického oka podle A. Gullstranda. Z nich vyplývá, že při akomodaci pracuje pouze oční čočka.

Tab. 3.1: Porovnání poloměrů křivosti a indexů lomu oka pro různá prostředí [6, 7]

Prostředí	Bez akomodace		S akomodací	
	poloměr zakřivení (mm)	index lomu za plochou (-)	poloměr zakřivení (mm)	index lomu za plochou (-)
<b>ROHOVKA</b>				
1.plocha	7,7	1,376	7,7	1,376
2. plocha	6,8	1,336	6,8	1,336
<b>ČOČKA</b>				
1. plocha	5,333	1,386	10	1,386
2. plocha	2,655	1,406	7,911	1,406
3. plocha	-2,655	1,386	-5,76	1,386
4. plocha	-5,333	1,336	-6	1,336

Tab. 3.2: Porovnání optické mohutnosti a tloušťky jednotlivých prostředí oka [5, 7]

Prostředí	Bez akomodace	S akomodací
<b>ROHOVKA</b>		
optická mohutnost (dpt)	43,05	43,05
tloušťka (mm)	0,5	0,5
<b>ČOČKA</b>		
optická mohutnost (dpt)	19,11	33,06
tloušťka (mm)	3,6	4
<b>OKO</b>		
optická mohutnost (dpt)	58,64	70,57
předozadní délka (mm)	24,385	24,385

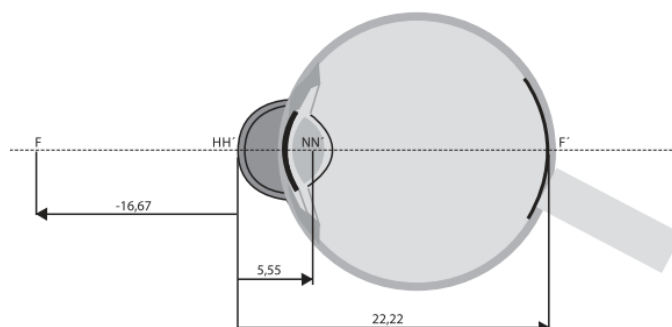
## 3.2 Optické modely oka

Oko je velice složitý systém. Pro jeho snadnější popis bylo vytvořeno několik schematických modelů. Základem je předpoklad, že se jedná o centrované optické soustavy (středů křivosti leží na optické ose) a lámavé plochy jsou dokonale sférické. [11, 15]

Poloměry zakřivení se ve schemech značí směrem od vrcholu lámavé plochy ke středu křivosti. Chod paprsku je většinou zleva doprava a je kladný, v opačném směru pak záporný. Vzdálenosti se vyznačují směrem od vrcholu lámavé plochy nebo od hlavních bodů. [11, 15]

### 3.2.1 Redukované schéma

Nejméně přesným je velmi redukované schéma lidského oka. Ukazuje oko pouze s jednou lámavou plochou, a to rohovkou. Byl vytvořen spíše pro orientační výpočty a ilustraci oka. Celková optická mohutnost v tomto případě je vypočítaná na +60 dpt. Díky jedné lámavé ploše hlavní body splývají a leží na optické ose ve vrcholu rohovky, stejně jako uzlové body. Obrazové ohnisko se nachází ve foveole (místo nejostřejšího vidění). [15]

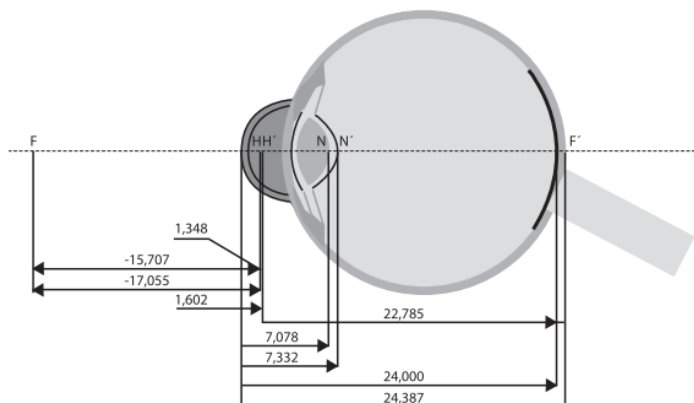


Obr. 3.1: Redukované schéma lidského oka [15]

U standardního modelu oka je nutné přičíst ve výpočtu ještě 1,68 mm, tj. rozdíl mezi polohou obrazového ohniska a foveolou. [15]

### 3.2.2 Gullstrandův model oka

Allvar Gullstrand, švédský oftalmolog, popsal systém oka v uvolněném i akomodovaném stavu. Jeho model sestává celkem ze šesti lámavých ploch - přední a zadní lámavé plochy rohovky, dvě lámavé plochy kortexu a další dvě okolo jádra oční čočky. Spočítal poloměry křivosti jednotlivých lámavých ploch, polohy ohnisek F a F', hlavních bodů H a H' i uzlových bodů N a N'. Celková optická mohutnost Gullstrandova modelu lidského oka při minimální akomodaci je +58,64 dpt. Při maximální akomodaci hodnota vzroste na +70,57 dpt. [15]

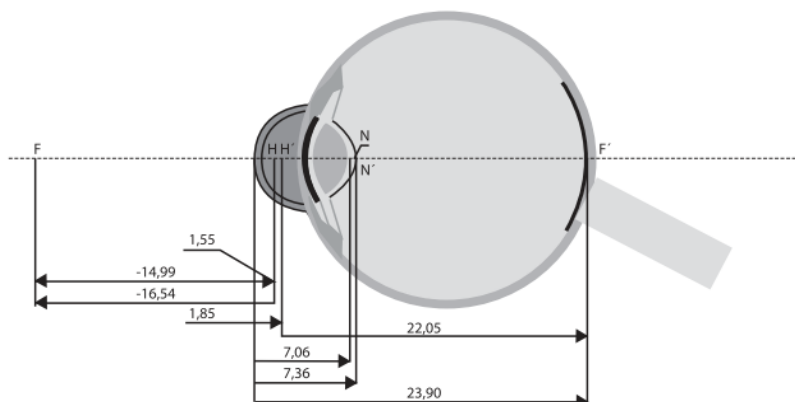


Obr. 3.2: Gullstrandův model pro neakomodované oko [15]

Gullstrandův model oka je dodnes považován za jeden z nejpřesnějších a nejdrobnějších. Stále se z něj vychází při důležitých výpočtech. [15]

### 3.2.3 Emsley-Graffův model

Allvar Gullstrand upravil svůj model oka a zjednodušil ho na tři lámavé plochy (oční čočka měla pouze dvě lámavé plochy místo původních čtyř). Následně ho upravili Emsley a Graff podle novějších výpočtů. [15]



Obr. 3.3: Emsley-Graffova úprava Gullstrandova modelu oka [15]

## 4 Oční čočka a akomodace

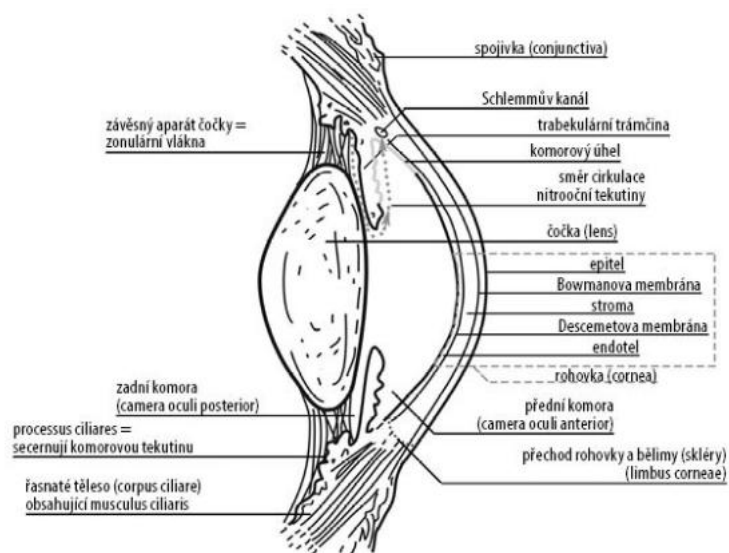
Tato kapitola popisuje anatomii oční čočky a přídatných aparátů, které napomáhají akomodaci. Těmi jsou závesný aparát a jeho zonulární vlákna, dále řasnaté těleso společně s ciliárním svaelem. Není jednoznačně známo, jak k akomodaci dochází, jak vzniká a pomíjí. Existuje několik teorií, které budou v této kapitole vysvětlené. [13, 15]

### 4.1 Anatomie oční čočky a přídatných aparátů

Oční čočka je pružný, transparentní, avaskulární systém v oku, který se dělí na čtyři základní části - pouzdro, epitel, kortex a jádro. V uvolněném stavu je zaostřená na vzdálenost přibližně 2 m. Toto způsobují radiální a cirkulární vlákna ciliárního svalu, která vůči sobě pracují jako antagonisté. [13, 15]

Pouzdro čočky je průhledná, pružná membrána čočkového epitelu tvořená bílkovinami (krystaliny). Díky své elasticitě může čočka měnit svůj tvar a tím zaostřovat na různé vzdálenosti. [13, 15]

Jádro a kortex jsou u mladších osob nerozlišitelné. Ale u starších lidí, vlivem různých fyziologických procesů v oku, se může podařit jednotlivé části rozeznat. Hlavní obsah čočky tvoří primárně fibrilární buňky s krystaliny. [13, 15]



Obr. 4.1: Anatomie předního segmentu oka [13]

Oční čočka je zavěšená na zonulárních vláknkách. Jsou to jemná vlákna závesného aparátu. Vycházejí z těla řasnatého tělesa a upínají se na pouzdro čočky [35]. Tato vlákna mají dvě hlavní funkce, a to udržet čočku v optické ose a umožnit akomodaci. Tahem za

vlákna se čočka oplošťuje, zmenšuje svou optickou mohutnost a je tak uzpůsobena pohledu do dálky. Při povolení vláken se více vyklene a vrátí do svého původního tvaru. [13, 15]

Řasnaté těleso (*corpus ciliare*) je tvořeno řasami, mezi které se upínají vlákna závěsného aparátu. Součástí je i sval (*musculus ciliare*), který se aktivně zapojuje při akomodaci. Je tvořen z cirkulárních a radiálních vláken hladké svaloviny. Řasnaté těleso má i další funkci. Tvoří se v něm nitrooční tekutina, která je vylučovaná do zadní komory. [13, 15]

## 4.2 Optické vlastnosti čočky

Oční čočka má bikonvexní tvar. Jejím úkolem je spojit obraz vzniklý rozptýlnou rohovkou tak, aby dopadl na sítnici. Pokud oko není zatíženo refrakční vadou (viz kapitola 5), potom se vytvoří ostrý obraz na sítnici ve fovea centralis (místo nejostřejšího vidění). Kvůli tomu, že oční čočka má jádro a pouzdro, kde každá část má jiný index lomu, dochází k další refrakci i na těchto částech oka. [13, 15]

## 4.3 Akomodace

Akomodace je schopnost oka měnit optickou mohutnost svého systému, tudíž je schopno vidět ostře předměty v různé vzdálenosti. Aby byl obraz ostrý, musí dopadnout přesně do makuly (fovea centralis). Pokud se tak nestane, je obraz neostrý. Když je čočka zaostřená do dálky, oploští se a zmenší tím svou optickou mohutnost. Pokud akomoduje na blízké předměty, vyklene se a optická mohutnost systému je větší. [13, 15, 26]

## 4.4 Akomodační šíře

Akomodační šíře ( $A_s$ ) udává rozdíl akomodační schopnosti do dálky ( $A_R$ ) a do blízka ( $A_P$ ), resp. minimální a maximální akomodací. Je měřená v dioptriích. Jiným způsobem se může vypočítat jako převrácené hodnoty polohy dalekého ( $a_R$ ) a blízkého ( $a_P$ ) bodu. Akomodační šíři můžeme vypočítat ze vzorce: [26]

$$A_s = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P} = A_R - A_P \quad (4.1)$$

S rostoucím věkem se akomodační schopnost postupně snižuje. Je to dáno primárně fyziologickými procesy, které budou podrobněji popsány v kapitole 6 (presbyopie). [5]

## 4.5 Proces akomodace

Akomodace se dělí na dvě složky - aktivní a pasivní. V aktivní složce se nejvíce zapojuje ciliární sval. Na pasivní složce se podílí oční čočka a její závěsný aparát. Při procesu akomodace se čočka vyklene a mírně posune dopředu. [13, 26]

Účinnost akomodace ovlivňuje především síla ciliárního svalu a elasticita čočky. Při pohledu do blízka se stáhne ciliární sval, čímž se uvolní závěs čočky, ta se díky pružnosti vyklene a zvýší svou optickou mohutnost. Čočka postupně svou schopnost elasticity ztrácí, až vymizí úplně. Tento stav oka nazýváme vetchozrakostí neboli presbyopie. [13, 26]

## 4.6 Teorie akomodace

Dosud není jednoznačně určeno, jak proces akomodace probíhá. Na toto téma je zformulováno několik teorií. Některé se navzájem vylučují, některé prolínají nebo na sebe navazují a doplňují se. Jedny z nejvýznamnějších jsou teorie Helmholtzova, Schacharova, Tscherningova a Colemanova. V následujících kapitolách budou jednotlivé teorie popsány a vysvětlené. [10, 15]

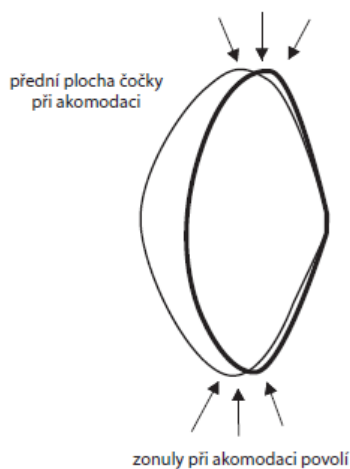
### 4.6.1 Helmholtzova teorie

Hermann von Helmholtz zjistil, že centrální část čočky se během akomodace předozadně rozšiřuje. Když se ciliární sval stáhne, povolí se napětí zonulárních vláken. Díky své elasticitě se čočka vyklene, tím se zvýší její optická mohutnost. To znamená, že proces akomodace spočívá v kontrakci, a tím zmenšení ciliárního svalu a uvolnění závěsného aparátu (viz obr. 4.2). Po ukončení procesu akomodace se ciliární sval uvolní a vrátí se do své původní velikosti. Napětí zonulárních vláken se opět zvýší a čočka se oploští. [15]

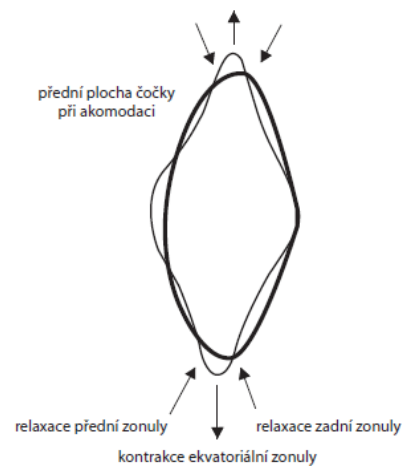
### 4.6.2 Schacharova a Tscherningova teorie

Pánové Schachar a Tscherning nezávisle na sobě navrhli mechanismus akomodace založený na odlišném anatomickém umístění úponů ciliárních vláken. Popisují rozdělení zonul na tři části. Zonuly, které se nachází uprostřed, se upínají do přední části ciliárního svalu, přední a zadní část zonul se upíná do jeho zadní části. Při kontrakci ciliárního svalu se jeho přední část posune směrem k bělimě. Tento pohyb řasnatého tělíska napne centrální a uvolní zadní a přední zonuly. Na konci procesu je čočka zformovaná tak, že centrální část je rozšířená a periferní část je ztenčená (viz obr. 4.3). Základní rozdíl v obou teoriích je v tom,

že Schacharův model počítá s aktivní spoluprací mezi ciliárním svalem a závěsným aparátem. Tscherning předpokládal u akomodace ještě účast sklivce. [15]



Obr. 4.2: Princip Helmholtzovy teorie akomodace [15]



Obr. 4.3: Princip Schacharovy a Tscherningovy teorie akomodace [15]

### 4.6.3 Colemanova teorie

D. J. Coleman publikoval svoji teorii akomodace, kde popisuje, že čočka, závěsný aparát a přední část sklivce tvoří membránu mezi přední komorou a sklivcovým prostorem. Při kontrakci ciliární sval způsobí tlak mezi sklivcem a přední komorou. Snížením tlaku v přední komoře a zvýšením tlaku ve sklivci se čočka posouvá směrem dopředu k rohovce. Jejím posunem se mění poloha ohniska a tím i schopnost zaostřit na různou vzdálenost. [15]

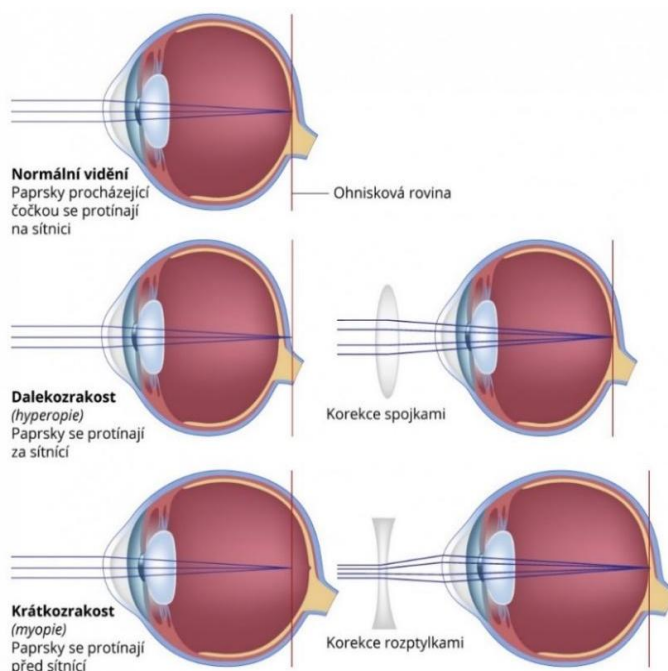
## 5 Refrakční vady

Refrakční vada je stav oka, který neodpovídá modelu emetropického oka (např. Gullstrandův). Tím je myšleno, že rovnoběžné paprsky přicházející do oka z nekonečna, se střetnou v ohnisku na sítnici [14]. Díky fyziologickým a patologickým změnám se refrakce pomalu mění. Vada se může jak zhoršovat, tak i zlepšovat. Velmi často hraje roli předozadní délka oka způsobená růstem. U dětí se častěji projeví hypermetropie, protože mají ještě „krátké“ oči. Tato vada se ale postupně může zmenšovat nebo vymizí úplně díky růstu. Pouhý 1 mm v délce oka způsobí refrakční vadu o velikosti přibližně 3 dpt. Tento výsledek je za předpokladu, že ostatní parametry nejsou žádným způsobem změněné. Oko, které má jiné parametry, se nazývá ametropické. [1, 13]

Na výsledné refrakci oka se nejvíce podílí rohovka (asi ze 2/3), dále oční čočka a poté ostatní optická prostředí. V případě čočky a rohovky se jedná nejčastěji o změnu zakřivení nebo tloušťky. U komorové vody a sklivce se jedná spíše o indexové změny. [1, 15]

Sférické ametropie (myopie, hypermetropie) lze dále dělit na [15]:

- Osová (axiální) – jsou způsobené změnou v délce oka
- Indexové (lomivostní) – způsobuje je jiný index lomu optických prostředí
- Radiusové – jsou způsobené nesprávným zakřivením jednotlivých lámavých ploch optické soustavy oka



Obr. 5.1: Sférické refrakční vady [9]



## 5.1 Emetropie

Emetropické oko je takové, které není zatíženo refrakční vadou. Jeho parametry, konkrétně axiální délka, indexy lomu a zakřivení, jsou v rovnováze. Paprsky, které přichází do oka z nekonečna, se lomí do ohniska ležícího na sítnici. Emetrop vidí ostře na všechny vzdálenosti. Nepocítuje žádné subjektivní potíže. [1, 19]

## 5.2 Myopie (krátkozrakost)

Myopie je sférická ametropie, kdy se ostrý obraz pozorovaného předmětu vytvoří před sítnicí. Tato vada postihuje přibližně 30 % obyvatel [9]. Může být způsobená větší délkou oka nebo větší lomivostí systému. Člověk blízké předměty vidí dobře, ale vzdálené rozmazaně. Protože paprsky jsou krátké vůči délce oka, musí se prodloužit rozptylnou čočkou (viz obr. 5.1). Tím se posune obrazové ohnisko na sítnici. [13, 15]

Myop může popisovat nejen již zmíněné rozmazané vidění, ale i bolest očí díky tomu, že oči mhouří. Tento fakt způsobí zmenšení oční štěrbin, zúžení prostoru vstupu paprsků a odstranění nežádoucích aberací. Oko tedy následně vidí lépe. Do blízka mladí myopové problémy nemají. Dostatek akomodační šíře jim zajistí, že předměty zakomodují. Starší presbyopičtí myopové nemusí mít problémy do blízka. Ve chvíli, kdy se jim jejich korekce do dálky a adice vyrovnají, nepotřebují korekci na čtení, tudíž nemusí používat brýle. [1, 13]

Zvláštním případem je noční myopie. Nejedná se přímo o refrakční vadu, ale o uměle vyvolané posunutí dioptrií směrem k záporným hodnotám kvůli zhoršeným světelným podmínkám. Viditelné spektrum (vlnové délky přibližně 390 nm - 760 nm) se ve tmě posouvá více ke kratším vlnovým délkám. Z fyzikálního hlediska při lomu světla se kratší vlnové délky lámou více, tím pádem se obraz vytvoří před sítnicí. V tomto případě může i emetrop popisovat problémy spojené s myopií nebo naopak hypermetrop vidět lépe. [13, 21, 35]

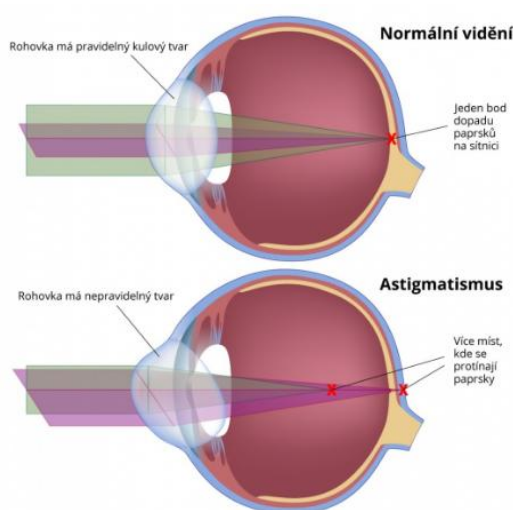
## 5.3 Hypermetropie (dalekozrakost)

Hypermetropie je typ sférické ametropie, kdy prošlé paprsky do oka se protnou až za sítnicí. Příčinou může být nízká lomivost systému oka nebo malá předozadní délka oka. Dalekozrakost se koriguje spojnými čočkami (viz obr. 5.1), aby se paprsky zkrátily a dopadly na makulu. Nekorigovaný hypermetrop musí neustále akomodovat, aby ostrý obraz sám posunul na sítnici. Pokud je vada malá, mladý dalekozraký člověk může vidět ostře, ale přesto popisovat bolesti hlavy a očí nebo větší únavu. Toto jsou nejčastější příznaky nekorigované

hypermetropie. Avšak často jsou popisovány i problémy s rozmazaným viděním. S přibývajícím věkem akomodační šíře ubývá a už nestačí k vlastnímu zaostření ani do dálky, ani do blízka. Následně je nutná korekce na čtení. [1, 13]

## 5.4 Astigmatismus

Jedná se o jedinou refrakční vadu, která není sférická. Definicí astigmatismu je fakt, že lomivost oka není ve všech meridiánech stejná. Tudíž lámavé plochy nejsou kulové. Dalším důvodem pro vznik astigmatismu je decentrace optických prostředí nebo patologie na oku (např. keratokonus). [13, 15, 22]



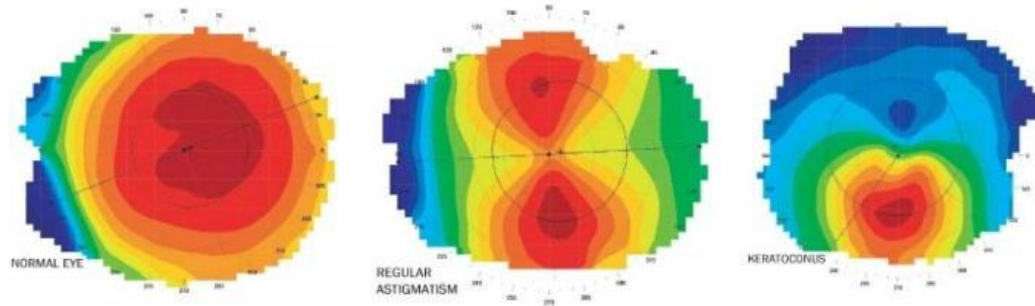
Obr. 5.2: Rohovkový astigmatismus [8]

Primárně se astigmatismus rozděluje na pravidelný a nepravidelný. Určuje se podle toho, zda meridiány s největší a nejmenší lomivostí jsou vůči sobě kolmé či nikoliv. Rozdíl refrakce v těchto dvou řezech se nazývá cylindr. Vždy je nutné určit nejen sílu cylindru, ale také osu, ve které se nachází. [13, 15]

Pravidelný astigmatismus se vyskytuje nejčastěji a dá se korigovat běžnou torickou čočkou, ať brýlovou nebo kontaktní. Jakým způsobem prochází paprsek a jaký je účinek optické soustavy, bylo již popsáno v kapitole 2.3.3, která se zaměřuje na astigmatismus a zklenutí jako vadu zobrazení. [13, 15, 22]

Nepravidelný astigmatismus je hůře korigovatelný, v některých případech je to nemožné. Vzniká v důsledku patologie na rohovce nebo po úrazu. Jednou z největších pomcí je aplikace kontaktní čočky. Díky slznému filmu se vidění zlepšuje. Toto řešení ale není ideální a může být klientovi nepříjemné. [15]

Astigmatismus se rozděluje na další dva typy – rohovkový a čočkový. Jsou označeny podle toho, kterého optického prostředí se vada týká. Nejčastější je rohovkový, který může být způsobený i např. tlakem víček. V některých případech se mohou čočkový a rohovkový astigmatismus vykompenzovat a klient nepocítuje subjektivně žádné obtíže. S věkem se velikost astigmatismu výrazně nemění. [15, 22]

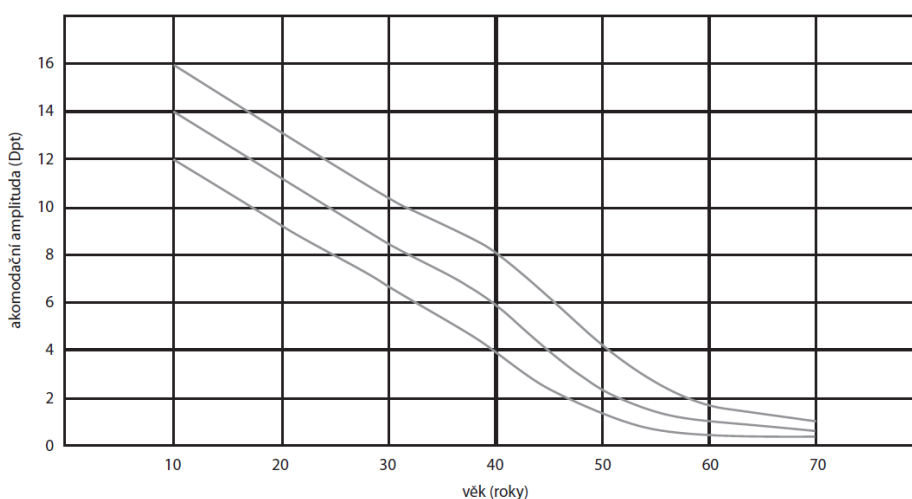


Obr. 5.3: Porovnání rohovkové mapy (topografie), fyziologická rohovka (vlevo), pravidelný astigmatismus (uprostřed) a nepravidelný astigmatismus - keratokonus (vpravo) [27]

## 6 Presbyopie

Jedná se o pokles akomodační šíře vlivem fyziologických procesů – tuhnutí a stárnutí oční čočky a přidatných aparátů a neschopnost zaostřovat blízké předměty. Z toho vyplývá, že se nejedná o refrakční vadu, ale o přirozené procesy spojené s věkem. [13, 14]

Schopnost akomodace a akomodační šíře postupem věku klesá. Dítě školního věku může mít akomodační schopnost až 16 dpt. Ve 40 letech je už jen přibližně 4 dpt a kolem 60. roku života klesá až k pouhé 1 dpt (viz graf 6.1). Tato ztráta se musí nahradit presbyopickou korekcí a to tzv. přidavkem do blízka neboli adicí. [13, 14, 15]



Obr. 6.1: Graf závislosti akomodační amplitudy na věku [15]

První příznaky se objevují kolem 40. roku života, kdy člověk oddaluje text. Je to způsobeno posunem blízkého bodu směrem od oka. Můžou se dostavit i bolesti očí nebo hlavy při čtení nebo při vykonávání činnosti na krátkou vzdálenost. [13, 14]

Signály pro odhalení presbyopie mohou být např.: [1]

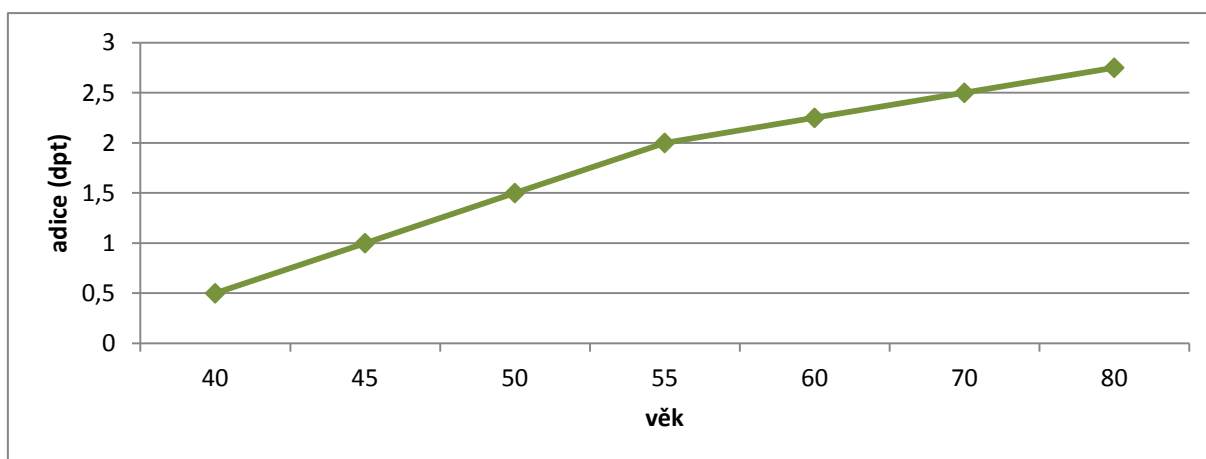
- oddalování textu
- potřeba většího osvětlení
- snížená schopnost nebo úplná neschopnost zaostřit blízké předměty
- mhouření očí
- zvětšování textu na mobilních zařízeních
- rychlejší únava při monotónní práci do blízka

Nejvíce se vetchozrakost projeví u hypermetropů a emetropů. U myopa s nižší vadou je počátečním příznakem to, že nepotřebuje korekci do blízka (jeho mínusová korekce a plusová adice se vykompenzují). [14]

## 6.1 Přídavek do blízka

Přídavek do blízka (adice) se definuje jako rozdíl mezi refrakčním stavem oka do dálky a do blízka. Nabývá vždy kladných hodnot. K jeho vyšetřování se přechází až po zjištění nejlepší vyhovující korekce do dálky. [1, 3]

Adice je vyšetřována na čtecí vzdálenost, která se udává přibližně 30 - 40 cm. Ve většině případů je binokulárně adice naměřena stejná, ve výjimečných případech může být rozdíl refrakce 0,25 dpt – 0,5 dpt. [1]



Obr. 6.2: Graf závislosti adice na věku [4]

Se stoupajícím věkem přibývá i velikost vady. V tomto případě je čtecí vzdálenost velmi důležitým parametrem. Nejen, že subjektivně každý člověk čte text jinak daleko, ale s vyšším věkem a neschopností zaostřování je nutné korigovat vadu s větší přesností. Při porovnání korekce např. na počítač (cca 50 cm) a na čtení (cca 30 cm) se hodnoty adice mohou měnit. [1, 3, 12]

## 6.2 Testy pro vyšetření korekce do blízka

Testy do blízka jsou určeny pro vyšetření zrakové ostrosti na čtení. Na začátku vyšetření musí mít vyšetřovaný nasazenou správnou korekci do dálky.

Nejvíce využívaným testem je Jaegerova tabulka. Hodnota adice, která se vloží do zkušební obruby, může být orientačně odhadnuta podle věku klienta nebo velikosti řádku, který přečte. Náročnějším testem je použití metody se zkříženým cylindrem. Ke kontrole

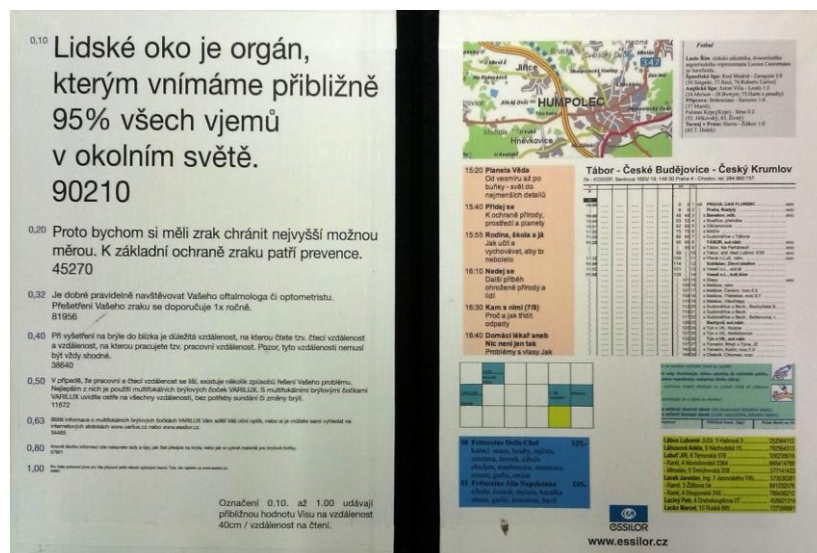
může sloužit červeno-zelený test do blízka nebo určení blízkého a dalekého bodu s korekcí na čtení. Nejdůležitějším ukazatelem pro vyšetřujícího vždy musí být spokojenost klienta. [1]

### 6.2.1 Jaegerova tabulka

Mezi nejčastěji používaný test do blízka je řazena Jaegerova tabulka. Je to souvislý text, který je uzpůsobený na průměrnou čtecí vzdálenost 30 - 40 cm. V každém odstavci se daný text zmenšuje. Klient má při tomto vyšetření nasazenou korekci do dálky a je potřeba dostatečného osvětlení testu. [13, 21]

Vyšetřovaný je vyzván, aby přečetl nejmenší řádek, který zvládne s korekcí do dálky. Čím menší přečte, tím menší adice bude potřebovat. Binokulárně jsou předkládány spojné čočky. Ve chvíli, kdy klient přečte pohodlně nejmenší řádek, který mu fyziologie jeho očí dovolí, předloží se čočka s hodnotou =0,25 dpt. Pokud se vidění rozmaže, značí to, že korekce je správná. Pokud se vidění zlepší nebo je stejně, adice se musí snížit. [13, 21]

Tímto způsobem se adice může měřit binokulárně i monokulárně. Při zakrývání očí je nutné dodržet stále stejnou čtecí vzdálenost. V opačném případě by každé oko bylo vykorigované na jinou vzdálenost a výsledná korekce by nevyhovovala. [13, 21]

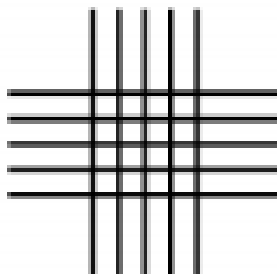


Obr. 6.3: Jaegerova čtecí tabulka do blízka [23]

### 6.2.2 Zkřížený cylindr

K použití této metody je potřeba testovací znak o 5 horizontálních a 5 vertikálních čarách do tvaru kříže. Klient drží test ve vzdálenosti 40 cm. Vyšetřuje se pomocí Jacksonova zkříženého cylindru. Ten se běžně používá ke stanovení velikosti astigmatismu. Klientovi je

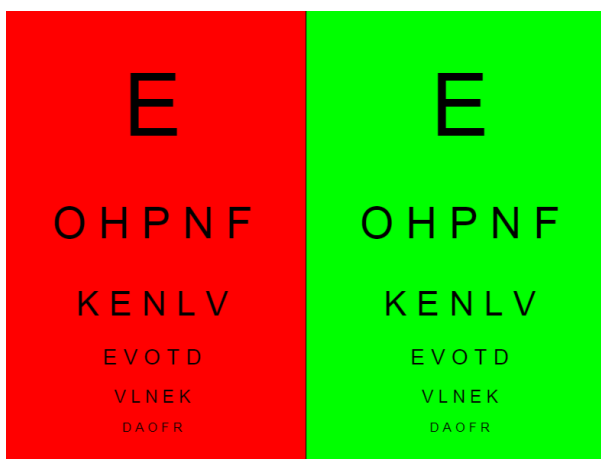
nabízena možnost, kdy cylindr je ve stejné ose, jako jsou čáry, tzn. v ose  $90^\circ$  a  $180^\circ$ . Pozoruje, zda jsou horizontální a vertikální čáry stejně ostré. Pokud je jeden ze směrů ostřejší, musí se přidat nebo ubrat sférická korekce podle toho, která hodnota s danou osou koresponduje. Naměřené hodnoty je nutné vyzkoušet na textu (Jaegerově tabulce). [25]



Obr. 6.4: Vyšetřovací znak pro metodu zkříženého cylindru [25]

### 6.2.3 Červeno-zelený test

Orientačně může být také použit test, který je konstruován jako optotyp v červeno-zeleném poli. Používá se spíše ke kontrole již naměřené adice. Červená barva se láme méně, tudíž se její ohnisko bude nacházet za sítnicí. Zelená se láme více a bude před sítnicí. V případě, že vyšetřovaný lépe vidí text v zeleném poli, je ještě korekce nedostačující a přidá se silnější spojná čočka. Pokud je výraznější text v červeném poli, je vyšetřovaný překorigovaný a upravuje se rozptylkou. V ideálním případě uvidí obě poloviny stejně kontrastně a stejně ostře. [25]



Obr. 6.5: Červeno-zelený test [21]

#### **6.2.4 Kontrola adice**

Na konci měření do blízka se musí zkontrolovat, jakou oblast bude mít klient pokrytou s novou korekcí.

Klient sleduje nejmenší řádek, který přečte ostře, a přibližuje ho k sobě, dokud se řádek nerozmaže. Tímto se určí blízký bod. Při oddalování se text může rozmazat, ale nemusí. To záleží na velikosti adice a akomodační schopnosti klienta. Daleký bod tedy leží v nejvzdálenějším místě, kde klient přečte řádek ještě ostře s korekcí na čtení. Bod, ve kterém se klientovi čte nejlépe, se musí nacházet uprostřed nebo blíže k oku. [24, 25]



## 7 Korekce refrakčních vad a presbyopie

Hypermetropii, myopii a stařeckou vetchozrakost je možné korigovat více způsoby. Vše záleží primárně na velikosti vady a na požadavcích klienta. Nejčastější možností jsou brýle, dále kontaktní čočky a nejrizikovější možností korigování vady je refrakční operace.

Většina presbyopických klientů řeší problém s viděním brýlemi na čtení z důvodu jednoduché manipulace a cenové dostupnosti. Brýlové čočky mohou být jednoohniskové (pouze na jednu vzdálenost), bifokální (na dvě vzdálenosti) nebo multifokální (na více vzdáleností). Další možností korekce zrakových vad jsou kontaktní čočky. Běžně se pro presbyopy používají dva způsoby, a to tzv. multifokální čočky a metoda MonoVision. [2]

### 7.1 Brýlové čočky

Jednoohniskovou korekcí jsou nazývány takové brýlové čočky, které mají pouze jeden optický střed a jen jednu hodnotu vrcholové lámavosti. Tyto čočky jsou používány primárně pro korekci základních refrakčních vad, a to myopie a hypermetropie. Fungují pouze na jednu vzdálenost. Ze všech brýlových čoček, které se používají ke korekci presbyopie, poskytují jednoohniskové největší zorné pole s nejmenším zkreslením. [25, 33]

Brýlové čočky, které korigují zrak na více vzdáleností, jsou nazývány víceohniskové. K tomuto typu brýlových čoček se řadí bifokální a progresivní. [25]

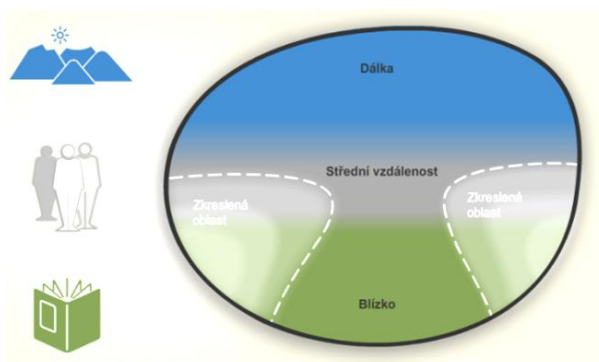
Bifokální čočka je konstruována tak, aby pomohla nositeli vidět do blízka i do dálky. Část na čtení je nejčastěji ve tvaru písmene D, vyrábí se ale i jiné tvary a velikosti segmentu. Takové typy bifokálních čoček jsou určeny především pro presbyopy, speciálně potom pro šilhající děti z léčebných důvodů. [25]



Obr. 7.1: Bifokální brýlové čočky, segmenty tvarů písmen „D“ (vlevo) a „C“ (vpravo) [30]

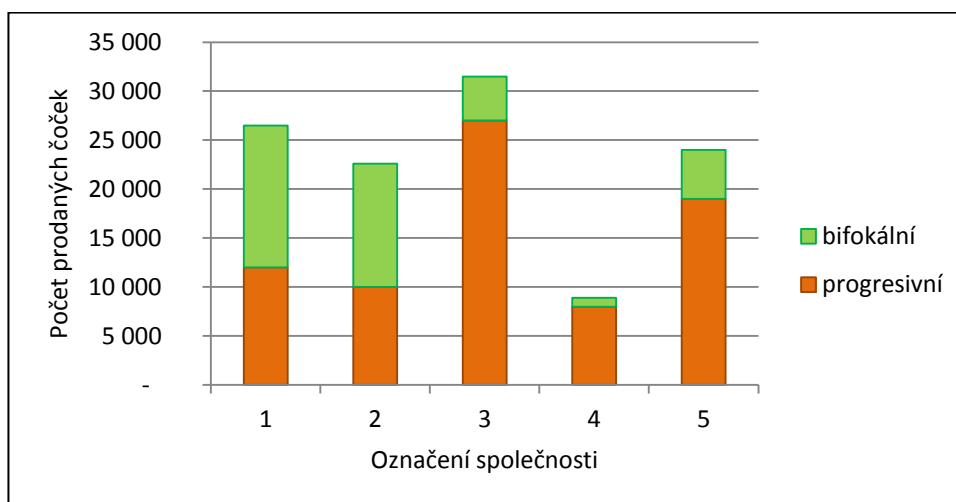
Moderním řešením presbyopie je progresivní brýlová čočka, nesprávně laicky nazývána multifokální. Progresivní korekce klientovi pomůže vidět ostře na všechny vzdálenosti, které potřebuje. Hodnoty vrcholové lámavosti se postupně zvyšují od dioptrií do dálky až po

dioptrie do blízka, dle naměřené adice. Nevýhodou je zúžené zorné pole, zkreslení v periférii a těžší návyk na novou korekci. [25, 33]



Obr. 7.2: Konstrukce progresivní brýlové čočky [29]

Po spolupráci s pěti dodavateli brýlových čoček na český trh byl vytvořen přehled prodeje progresivních a bifokálních čoček za rok 2019. Čísla jsou zaokrouhlena na celé stovky. Společnosti nechtěly být konkrétně jmenovány, protože data obsahují citlivé informace. [36]



Obr. 7.3: Graf porovnání prodejů brýlových čoček za rok 2019 [36]

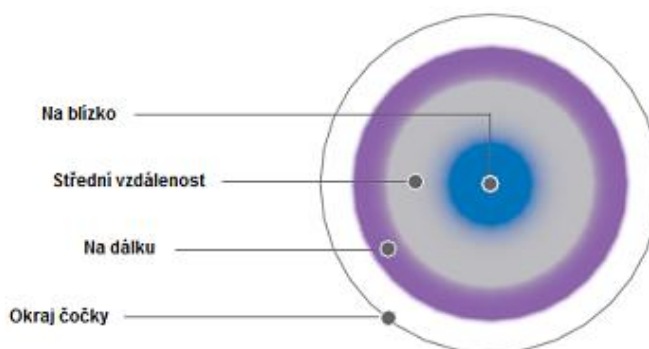
Z grafu je patrné, že společnosti 1 a 2 měly prodeje obou typů čoček vyrovnané, společnosti 3 – 5 prodaly více progresivních čoček. Společnosti 1, 2, 3 a 5 prodaly podobný počet čoček bez rozdílu druhu, zatímco společnost 4 prodala přibližně 2,5 – 3,5x méně čoček oproti ostatním za sledované období. Celkový objem prodaných čoček byl 37 500 ks pro bifokální čočky a 76 000 ks pro progresivní. [36]

## 7.2 Kontaktní čočky

Metoda s názvem monovision je dnes používána pro korekci presbyopie kontaktními čočkami. Postupně ji ale nahrazuje modernější řešení, multifokální kontaktní čočky. Monovision spočívá v korekci jednoho oka do dálky a druhého do blízka. Pro nositele může tato metoda být za začátku nepříjemná. Problémy mohou nastat při řízení, vyskytují se problémy s prostorovým viděním nebo přechodem pohledu z blízka do dálky a naopak. [6]

Vetchozrakost může být korigována i modernější metodou, a to multifokálními kontaktními čočkami. Tyto čočky mohou být konstruovány dvěma způsoby - uprostřed potřebná korekce do dálky, která postupně roste směrem k periferii až k refrakci na blízkou vzdálenost. Druhá možnost, kdy je centrální část korigována čtecí vzdálenost a dioptrie postupně klesají periferně až k refrakci na dálku. [6]

Podle výzkumu z prosince 2018 od nejmenované společnosti, používá přibližně 3,7 % všech nositelů kontaktních čoček multifokální korekci. Celkově 9,5 % nových aplikací bylo provedeno ve věkové kategorii 40 a víc. [36]

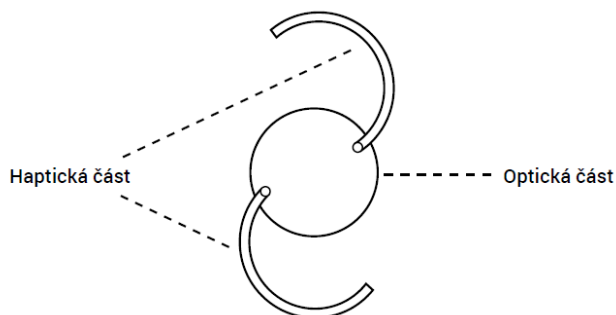


Obr. 7.4: Multifokální kontaktní čočka [31]

## 7.3 Nitrooční čočky

Nejvíce rizikovou korekcí stařecké vetchozrakosti je implantace nitrooční čočky (IOL = intraocular lens). Tato metoda vyžaduje chirurgický zásah do oka, biometrie oka se musí vypočítat s přesností na setiny jednotek a lékař musí vybrat vhodnou nitrooční čočku. Většinou se IOL implantuje pacientům při operaci šedého zákalu. [15, 18]

IOL má část haptickou a optickou. Haptická část slouží k fixaci čočky a optická nahrazuje funkci odstraněné vlastní čočky. [15, 18]

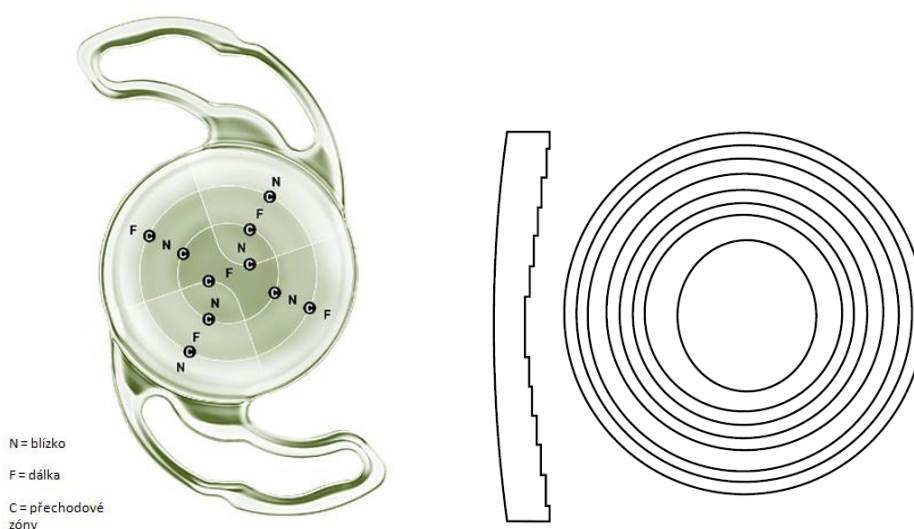


Obr. 7.5: Schéma jednoohniskové nitrooční čočky [18]

V současnosti se ke korekci používají nitrooční čočky monofokální (jednoohniskové) nebo multifokální (víceohniskové). Umělá IOL nedokáže akomodovat. Proto pacienti většinou po operaci nosí přídavnou korekci do dálky nebo do blízka. [15, 18]

Používají se dva typy multifokálních nitroočních čoček, a to refrakční a difrakční. Jsou nazvané podle toho, jakým způsobem mění procházející paprsek světla. [15, 18]

V multifokálních refrakčních IOL se střídají jednotlivé zóny pro blízko a dálku a každá z nich má jinou optickou mohutnost. Tím tvoří čočka dvě nebo více ohnisek. [15, 17, 18]



Obr. 7.6: Refrakční (vlevo) [17] a difrakční (vpravo) nitrooční čočka [18]

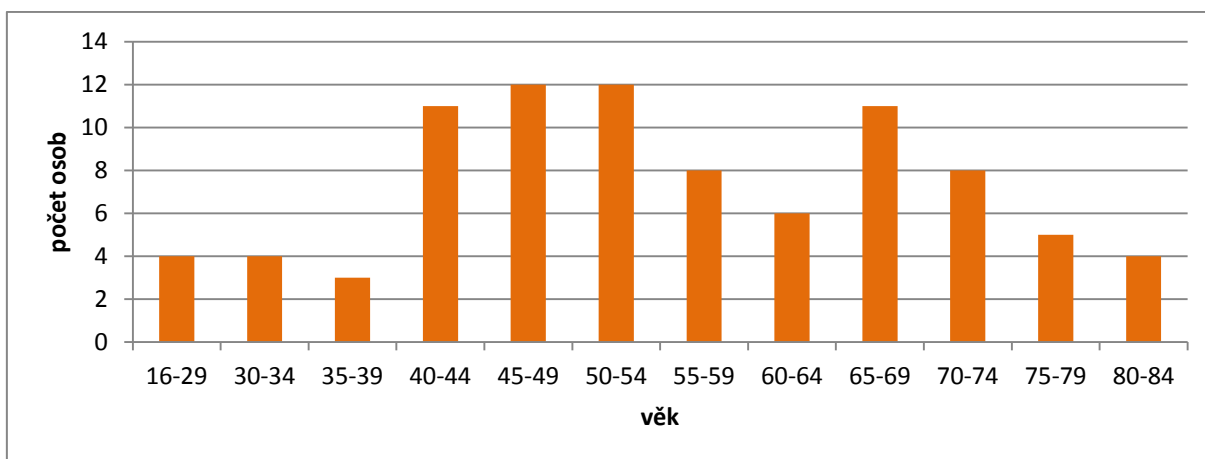
Oproti tomu na difrakčních IOL je na jedné ploše čočky vytvořen povrch, který vypadá jako schody o výšce přibližně jednoho mikronu. Vzdálenost a výška těchto schodů je na základě biometrických výpočtů oka určena tak, aby se obrazy jednotlivých zón spojily a vytvořily dva obrazy na sítnici. Jeden pro předměty umístěný v blízké vzdálenosti a druhý pro vzdálenější předměty. [15, 18]

## 8 Praktická část

Praktická část této práce se zaměřuje na problematiku čtení, rozdíl čtecí vzdálenosti pro tištěný text a mobilní telefon, jejím vztahu k tělesné výšce a vztah mezi sebou navzájem. Dále je zaměřena na potvrzení vztahu velikosti adice na věku.

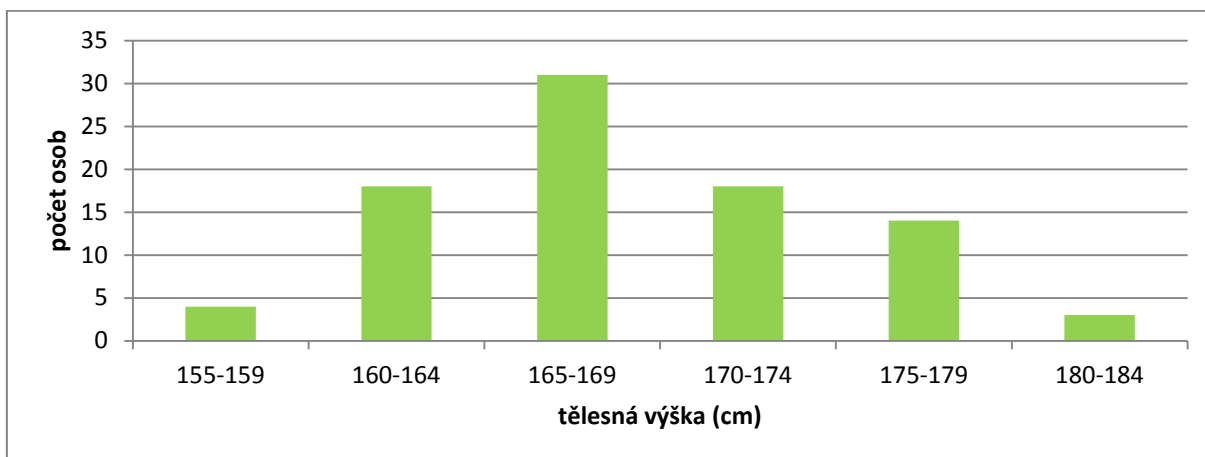
Z celkového počtu 122 měřených probandů bylo vybráno 88, kteří odpovídali kritériu pro zařazení do výzkumu. Jednalo se primárně o zrakovou anamnézu, tzn. oko bez patologie, tzn. šedý (katarakta) nebo zelený (glaukom) zákal, makulární degenerace, tupozrakost (amblyopie), diplopie (rozdvojené vidění). Dále byli do výzkumu vybráni pouze probandi, kteří neabsolvovali žádnou operaci očí (katarakta, sítnice, refrakční laserová operace) a také ti, u kterých nebyla diagnostikována cukrovka a onemocnění štítné žlázy.

Všichni probandi byli klienti kladenské oční optiky a přišli se záměrem pořídit si nové brýle. Vyšetřování probíhalo ve stejných podmínkách a se stejným postupem popsáním níže.



Obr. 8.1: Graf rozložení probandů dle věku

Výzkumu se zúčastnily osoby ve věkovém rozmezí 16-82 let. Nejvíce probandů se nacházelo v rozmezí 40-54 let a 65-69 let.



Obr. 8.2: Graf rozložení tělesné výšky

Ve výzkumu převažovaly ženy (55 žen a 33 mužů). Nejvíce měřených probandů bylo vysokých právě 168 cm. Ve výškové kategorii 164-169 cm se nacházela většina měřených (31 osob) a poté v kategoriích 160-164 cm a 170-174 cm.

## 8.1 Postup vyšetřování

Úplným začátkem všech vyšetření byla anamnéza. Zjistit potřeby klienta co se týče vzdálenosti, na jakou brýle potřebuje, dále informace v rozsahu rok narození, poslední návštěva oftalmologa, zdravotní stav oka (šedý nebo zelený zákal, zvýšený nitrooční tlak, makulární degenerace, tupozrakost), celkový zdravotní stav (štítná žláza, cukrovka, vysoký nebo nízký krevní tlak) a počet hodin strávených u obrazovky (mobilní telefon, počítač).

Pro vyšetření do dálky byl použit počítačový program s názvem OptivisionChart. Vyšetřovací znak na řádku 1,0 má výšku 8 mm. Typ písma byl použit arial. Monitor optotypu byl umístěn ve vzdálenosti 5,1 m od vyšetřovaného. Úhlopříčka obrazovky byla 54,5 cm.

Pokud klient nevyžadoval měření zraku do dálky, bylo jeho přání respektováno a měřily se hodnoty dioptrií pouze do blízka. V opačném případně vyšetření refrakce do dálky probíhalo následovně. Byla do zkušební obruby vložena původní vlastní korekce a zjištěn binokulární i monokulární visus. Jako nejmenší řádek byl uznán takový, kde klient přečetl alespoň polovinu znaků správně. Pokud klient ještě žádnou korekci neměl, byl zjištěn naturální visus binokulárně a monokulárně. Nejprve bylo zakryto levé oko a kontrolovalo se pravé. Předsazením +0,5 dpt bylo zjištěno, zda je vyšetřovaný hypermetrop či myop (hypermetropie se prokázala, pokud se vidění s čočkou +0,5 dpt zlepšilo nebo bylo stejné, myopie naopak pokud se vidění zhoršilo). V případě zjištění hypermetropie se postupovalo zamlžovací metodou.

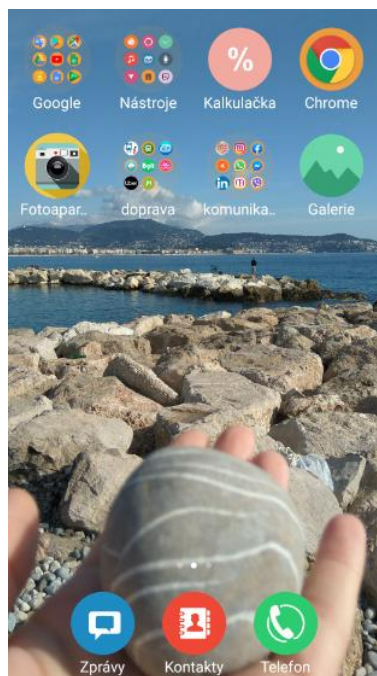
Pokud byl visus (naturální či s vlastní korekcí) horší než 0,1 byla předsazována čočka s hodnotou  $\pm 1,0$  dpt, s visem horším než 0,6 bylo přidáváno po  $\pm 0,75$  až  $\pm 0,5$  dpt a nakonec od visu 0,7 a lepší se postupovalo po  $\pm 0,25$  dpt. Nejprve byla zjištěna nejlepší sféra. Pokud se visus již nezlepšoval, byl vyšetřen astigmatismus metodou Jacksonova zkříženého cylindru. K tomu byl použit vyšetřovací znak v podobě bodů. Po kontrole astigmatismu byla nová korekce opět vyzkoušena na písmenech. V ideálním případě se po předsazení  $+0,25$  dpt visus měl zhoršit a po předsazení  $=0,25$  dpt se vidění nemělo zlepšit. Stejně se pokračovalo při měření levého oka. Následně byly obě oči odkryty. Klient byl požádán, aby se s novou korekcí prošel, aby vyšel před optiku a podíval se do velké vzdálenosti (pěší zóna). Byl proveden test na pravé nekonečno. Primárně byl kladen důraz na to, zda je vyšetřovaný řidič z povolání a zda potřebuje korekci do velké vzdálenosti. Pokud ne a visus se na pravé nekonečno výrazně nezlepšil, zůstala původně naměřená korekce.

Po zjištění a vyzkoušení nové korekce do dálky byl klient znovu usazen a byla mu podána čtecí tabulka (obr. 6.3). Byl požádán, aby ji držel v takové vzdálenosti, na kterou bude výsledné brýle používat a nehýbal s ní. Tato vzdálenost byla změřena pravítkem. Buď byla adice změřena z původních vlastních brýlí, nebo odhadnuta podle řádku, který proband pohodlně přečetl. Spojné čočky byly nejprve předkládány binokulárně. Při visu, který byl horší než 0,32, bylo přidáno  $+1,0$  dpt. V případě visu do 0,5 bylo přidáno  $+0,5$  dpt a od řádku číslo 0,63 bylo přidáváno po  $+0,25$  dpt. S novou korekcí se měl visus vždy zlepšit.

Pokud se visus dál nezlepšoval, byla kontrolována korekce do blízka monokulárně. Po zakrytí levého oka bylo vyzkoušeno, zda  $+0,25$  dpt na pravém oku viděnílepší. Pokud bylo vidění pohodlnější, silnější korekce se nechala ve zkušební obrubě a znovu bylo předsazeno  $+0,25$  dpt. Pokud bylo vidění již stejné nebo se zhoršilo, byla tato čočka odebrána. Při předložení možnosti s čočkou  $=0,25$  dpt se vidění mělo zhoršit a korekce se v obrubě nenechala. Stejným způsobem bylo vyšetřeno i levé oko. Po odkrytí obou očí text nesměl být rozdvojený, zkreslený nebo rozmazaný. Pro poslední kontrolu byla binokulárně nabídnuta varianta  $=0,25$  dpt a vidění se mělo zhoršit.

Klient byl požádán, aby se zaměřil na nejmenší dobře čitelný řádek a text si oddaloval do rozmazání. Poté zpět, kde se text četl příjemně, a byla změřena vzdálenost. Dále byl klient požádán, aby si text přibližoval do rozmazání a následně vrátil zpět do příjemné čtecí vzdálenosti a naposledy bylo změřeno. Stejným způsobem byly změřeny tři vzdálenosti při sledování mobilního telefonu. Tělesná výška byla sdělena klientem.

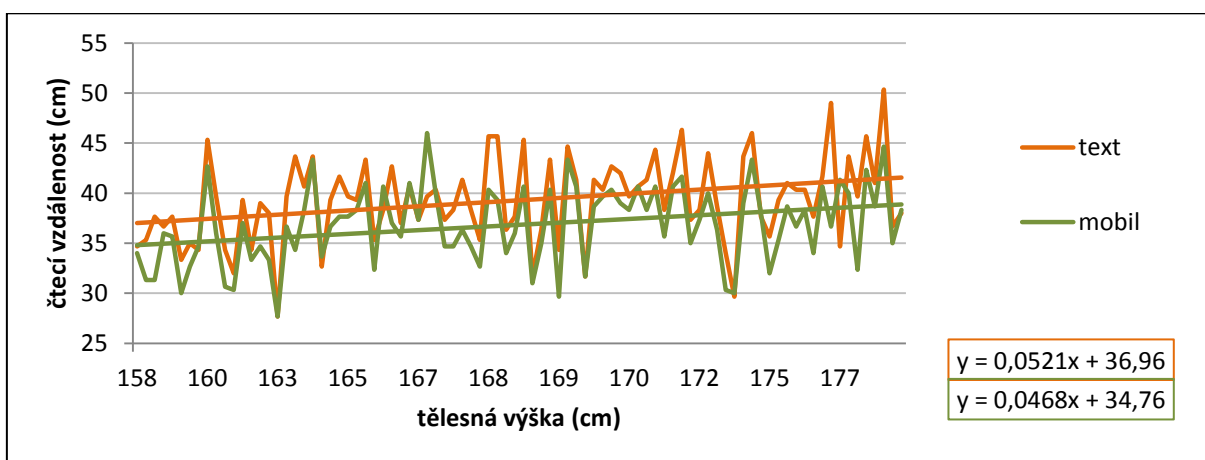
Obrazovka mobilního telefonu, na kterém byla měřena čtecí vzdálenost, obsahovala obrázek i text. Rozměry obrazovky byly 12,1 x 6,8 cm, velikost písma 2 mm x 1,5 mm. Jas byl nastaven na maximum a nebyl měněn.



Obr. 8.3: Snímek obrazovky mobilního telefonu

## 8.2 Zpracování dat

Dle postupu popsaného výše byly získány tři hodnoty čtecích vzdáleností pro tištěný text a mobilní telefon v souboru 88 probandů. Z těch byl vypočítán aritmetický průměr. Porovnání výsledků závislosti na tělesné výšce bylo zaneseno do grafu 8.4.

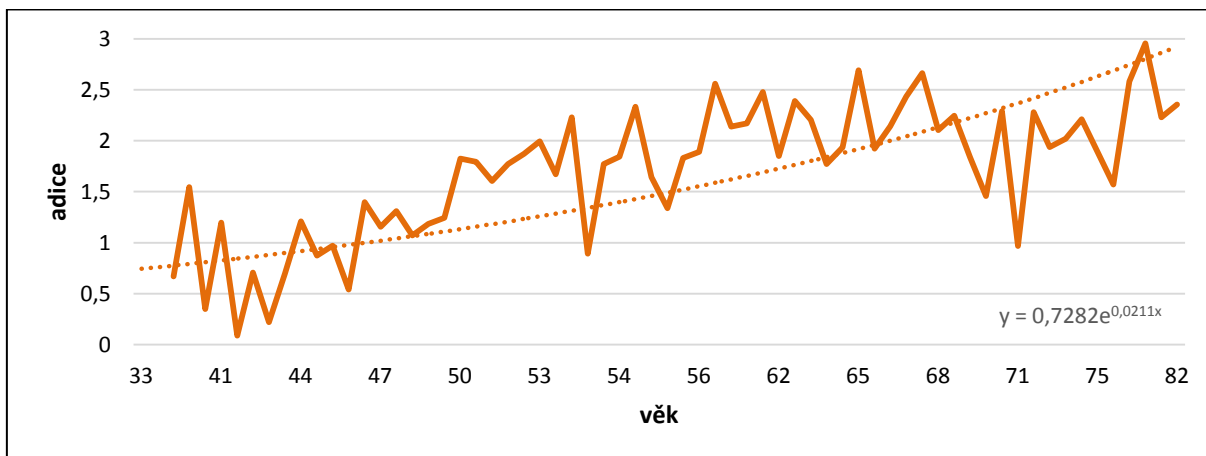


Obr. 8.4: Graf závislosti čtecí vzdálenosti na tělesné výšce

U většiny respondentů (75) byla čtecí vzdálenost tištěného textu větší než u mobilního zařízení (13).

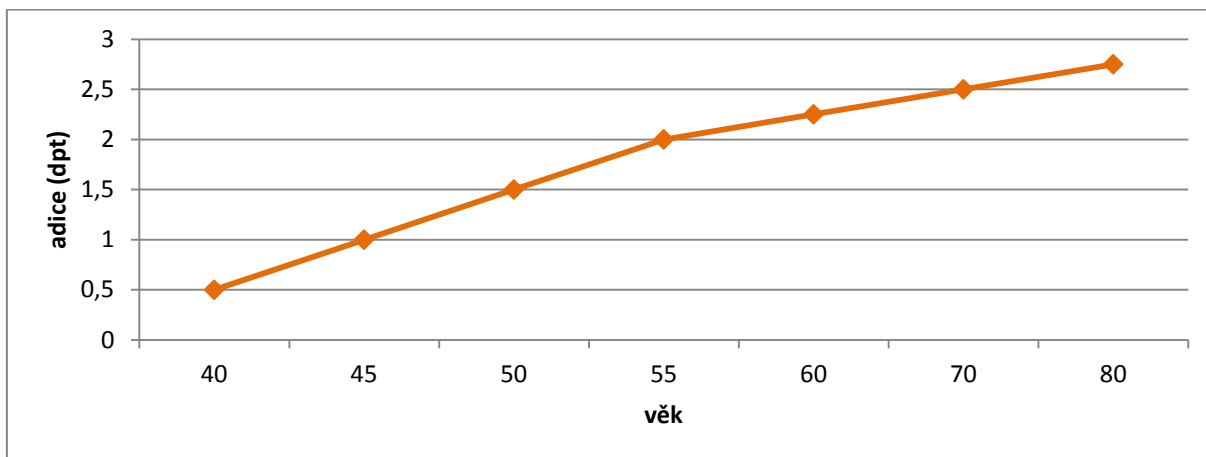


Adice byla změřena pro 75 % probandů (66 osob), následně tato data přepočítána na jednotnou čtecí vzdálenost 40 cm a zanesena do grafu 8.5. Pro tištěný text byla spočítána směrodatná odchylka 4,38 cm a pro mobilní telefon 3,97 cm.



Obr. 8.5: Graf závislosti adice na věku

Stejný výzkum prováděl optometrista David B. Elliott. Svým výzkumem potvrdil závislost adice na věku. Pro porovnání byl vložen graf s daty, která získal. V případě obou grafů je patrný stoupající trend.



Obr. 8.6: Graf závislosti adice na věku dle Davida B. Elliotta [4]

## 9 Diskuze

Presbyopie velice úzce souvisí s věkem. Čím je oko starší, tím více ztrácí svou schopnost akomodace, až se dostane do bodu, kdy není schopno samo zaostřit na blízké předměty. V takovém případě je potřeba zajistit korekci do blízka. Společně s věkem stoupá i velikost adice (obr. 8.5, 8.6). Mladší lidé většinou neřeší nízkou adici do +0,75 dpt, ale oddálí si text, který potřebují přečíst. Kolem 40. roku života je ale okolnosti donutí nechat si vyrobit brýle do blízka nebo na počítač.

Bylo potvrzeno, že se zvyšujícím se věkem stoupá hodnota adice. Ačkoliv změřená data kolísají, stoupající trend je viditelný (viz graf 8.5).

Z dat byly vypočítány různé statistické údaje, tj. modus, medián, maximum, minimum a aritmetický průměr (viz tab. 9.1).

Tab. 9.1: Porovnání naměřených dat čtecích vzdáleností pro jednotlivá pohlaví a pro celý soubor probandů (čísla jsou uvedena v centimetrech)

	ženy		muži		celkem	
	text	telefon	text	telefon	text	telefon
<b>maximum</b>	46	46	50	37	50	46
<b>minimum</b>	28	28	32	30	28	28
<b>průměr</b>	39	36	41	38	39	37
<b>modus</b>	40	35	37	41	40	41
<b>medián</b>	39	36	41	39	39	37

Vyšetřovaní drželi text dle změřených dat v rozmezí 28 – 50 cm. Ideální čtecí vzdálenost se v literatuře uvádí 30 - 40 cm [1, 3, 4].

Data byla přepočtena na jednotnou vzdálenost 40 cm, aby mezi sebou mohla být relevantně porovnána. Bylo potvrzeno, že s rostoucí tělesnou výškou se prodlužuje i čtecí vzdálenost. Tento vztah byl prokázán pro mobilní telefon i tištěný text (viz graf 8.4).

Bylo potvrzeno pro každé pohlaví zvlášť, že čtecí vzdálenost pro mobilní telefon je menší než čtecí vzdálenost pro tištěný text. Pro celkový soubor probandů byly výsledky totožné (viz tab. 9.1).

V roce 2015 byl zveřejněn výzkum, který potvrdil závislost mezi velikostí displeje a čtecí vzdáleností. Čím menší byla obrazovka, tím blíže probandi zařízení drželi. [20]

## 10 Závěr

Práce by měla osvětlit problematiku presbyopie, její vznik, progresi, korekci a v neposlední řadě dopad na běžný život. V práci jsou také popsány postupy, kterými vetchozrakost zjistit a korigovat.

Technologie výroby pokročily i v oboru oční optiky. Neustále se vylepšují různé druhy brýlových čoček. Proto dodavatelé brýlových čoček postupně přechází od bifokálních k progresivním sklům. Zaměřují se na jejich propagaci a podporu prodeje (obr. 7.3). Pozornost se upírá především na zrakové pohodlí klienta a individualizaci korekční pomůcky.

Praktická část této práce dokazuje první hypotézu, a to vztah mezi čtecí vzdáleností a tělesnou výškou. Pro čtení z tištěného textu byla zjištěna vzdálenost větší oproti mobilnímu telefonu. Společně s přibývajícím výškou se zvětšovaly i jednotlivé čtecí vzdálenosti (graf 8.4).

Zároveň byla potvrzena i druhá hypotéza, která se zabývala porovnáním čtecích vzdáleností tištěného textu a mobilního telefonu mezi sebou navzájem. Jak se předpokládalo, u většiny respondentů byla čtecí vzdálenost tištěného textu větší než u mobilního zařízení.

Třetí hypotéza, porovnání závislosti adice na věku, byla zpracována graficky. Tímto způsobem byl vztah ověřen na souboru 66 probandů.

## 11 Seznam použité literatury

- [1] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-x.
- [2] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [3] EFRON, Nathan. *Optometry A-Z*. 1. Oxford, 2007. ISBN 978-0-7506-4913-1.
- [4] ELLIOTT, David B. *Clinical procedures in primary eye care*. Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8896-3.
- [5] ESTEVE-TABOADA, José J., Robert MONTÉS-MICÓ a Teresa FERRER-BLASCO. *Systematic eye models to mimic the behavior of the accommodated human eye*. Journal of Cataract & Refractive Surgery [online]. Wolters Kluwer Health, 2018, 1.5.2018, **44**(5), 627-641 [cit. 28-02-2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.02.024>
- [6] FERNANDES, Paulo, Ana AMORIM-DE-SOUSA, António QUEIRÓS, Santiago ESCANDÓN-GARCIA, Colm MCALINDEN a José Manuel GONZÁLEZ-MEIJOME. *Light disturbance with multifocal contact lens and monovision for presbyopia*. Contactlens & anterior eye [online]. 2018, 22.3.2018, **41**(4), 393-399 [cit. 08-01-2020]. DOI: 10.1016. Dostupné z: [https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484\(17\)30409-5/fulltext](https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484(17)30409-5/fulltext)
- [7] HLAVÁČKOVÁ, Eva. *Počítačová simulace zobrazení na modelech lidského oka*. Bakalářská práce, Masarykova univerzita Brno, duben 2014.
- [8] HOLMANNOVÁ, Drahomíra. *Astigmatismus*. Web: Symptomy [online]. ©2009-2020 [cit. 09-04-2020]. Dostupné z: <https://www.symptomy.cz/nemoc/astigmatismus>
- [9] HOLMANNOVÁ, Drahomíra. *Krátkozrakost*. Web: Symptomy [online]. ©2009-2020 [cit. 09-04-2020]. Dostupné z: <https://www.symptomy.cz/nemoc/astigmatismus>
- [10] JACOB, Soosan. *Theories of Accommodation*. Eurotimes [online]. 30.3.2016 [cit. 12-04-2020]. Dostupné z: <https://www.eurotimes.org/theories-of-accommodation/>
- [11] JEXOVÁ, Soňa. *Geometrická optika*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. ISBN 978-80-7013-521-1.

- [12] JUNGOVÁ Irena. *Vliv presbyopie při používání současných mobilních zařízení*. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Brno, duben 2018.
- [13] KOLARČÍK, Lukáš, Václav DEDEK a Michal PTÁČEK. *Průručka pro sestry v oftalmologii*. Praha: Grada Publishing, 2016. Sestra (Grada). ISBN 9788024754581.
- [14] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1
- [15] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [16] LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy II*. 4., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2012. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 978-80-7196-429-2.
- [17] MESA, Ramón Ruiz a Tiago MONTEIRO. Continuous Transitional Focus (CTF): A New Concept in Ophthalmic Surgery. *Ophthalmology and Therapy* [online]. 2018, 18.6.2018, 7(12), 223-231 [cit. 05-03-2020]. DOI: 10.1007. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40123-018-0134-x>
- [18] OČADLÍKOVÁ, Petra. *Multifokální nitrooční čočky*. Česká oční optika. 2018, (1), 14-16.
- [19] OUHELOVÁ, Tereza. *Akomodačně vergenční vlastnosti vizuálního systému*. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Brno, duben 2015.
- [20] PAILLÉ, Damien. *Impact of new digital technologies on posture*. *Points de Vue: International Review of Ophthalmic Optics* [online]. 2015 [cit. 20-04-2020]. Dostupné z: <https://www.pointsdevue.com/article/impact-new-digital-technologies-posture>
- [21] PLUHÁČEK, František. *Korekce zraku I., II.*, studijní materiály UP [online]. [cit 12-03-2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6991118-F-pluhacek-frantisek-pluhacek-katedra-optiky-prf-up-v-olomouci.html>
- [22] POLICAR Jan. *Astigmatismus a cyklovergence*. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Kladno 2015.
- [23] REZLEROVÁ, Pavlína. *Vyšetření dynamické zrakové ostrosti u zdravých jedinců*. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha 2017.
- [24] STEVENS, Sue. *How to prescribe spectacles for near vision*. *Community Eye Health Journal* [online]. 17.12.2019, 32(107) [cit. 25-04-2020]. Dostupné z: <http://europepmc.org/article/MED/32123471>

- [25] ŠEBESTOVÁ, Michaela. *Současné trendy korekce presbyopie, srovnání výhod jednotlivých typů korekčních pomůcek*. Diplomová práce, Masarykova univerzita Brno 2013.
- [26] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [27] *Corneal Topography Introduction*. Web: Premium Vision: Surgical Centres [online]. [cit. 2020-4-9]. Dostupné z: <http://www.premiumvisionsc.com/corneal-topography/>
- [28] *Elektromagnetické spektrum*. Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. 8.4.2020 [cit. 11-04-2020]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_spektrum](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum)
- [29] *Progresivní brýlové čočky*. Eyes optik [online]. ©2020, 2.3.2015 [cit. 11-04-2020]. Dostupné z: <https://eyesoptik.cz/progresivni-brylove-cocky/>
- [30] *Bifokální čočky*. Web: Konvenční a free-form technologie výroby brýlových čoček [online]. Masarykova univerzita, 2012 [cit. 12-11-2019]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba\\_cocek/web/pages/02-4\\_vyroba.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba_cocek/web/pages/02-4_vyroba.html)
- [31] *Multifokální kontaktní čočky*. Web: Čočkyshop [online]. [cit. 10-12-2019]. Dostupné z: <https://www.cockyshop.cz/slovník-pojmu/multifokalni-kontaktني-cocky>
- [32] *Optický hranol*. Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. 23.4.2019 [cit. 28-03-2020]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%BD\\_hranol](https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%BD_hranol)
- [33] *Vetchozrakost*. Optik Skrbková [online]. ©2018 [cit. 10-12-2019]. Dostupné z: <https://www.optikskrbkova.cz/uzitecne-informace/ocni-vady/vetchozrakost-presbyopie>
- [34] *Vady optických soustav*. WikiSkripta [online]. 28.6.2018 [cit. 11-04-2020]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Vady\\_optick%C3%BDch\\_soustav](https://www.wikiskripta.eu/w/Vady_optick%C3%BDch_soustav)
- [35] *Zonulární vlákna*. Velký lékařský slovník [online]. [cit. 12-03-2020]. Dostupné z: <http://lekarske.slovníky.cz/pojem/zonularni-vlakna>
- [36] Dodavatelé brýlových a kontaktních čoček nechtějí být jmenováni. Zdroj obsahuje citlivé informace.

## 12 Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
<i>dpt</i>	$m^{-1}$	dioptrie
<i>m</i>	m	metr
<i>cm</i>	cm	centimetr
<i>nm</i>	nm	nanometr

### Seznam zkratk

Zkratka	Význam
dpt	dioptrie
IOL	Nitrooční čočka (intaocular lens)
Atd.	A tak dále
Např.	například
Tzv.	Tak zvaně
Tj.	To je

## 13 Seznam obrázků

Obr. 2.1: Elektromagnetické spektrum vlnových délek [28].....	13
Obr. 2.2: disperze na optickém hranolu [32].....	13
Obr. 2.3: Rozdělení vad zobrazování optickou soustavou [11].....	14
Obr. 2.4: Otvorová vada [11] .....	14
Obr. 2.5: Zkreslení obrazu [11] .....	15
Obr. 2.6: Druhy distorze obrazu. Bez zkreslení (a), poduškové (b) a soudkové (c) zkreslení [34] .....	15
Obr. 2.7: Astigmatismus [34] .....	16
Obr. 3.1: Redukované schéma lidského oka [15].....	18
Obr. 3.2: Gullstrandův model pro neakomodované oko [15].....	19
Obr. 3.3: Emsley-Graffova úprava Gullstrandova modelu oka [15] .....	19
Obr. 4.1: Anatomie předního segmentu oka [13] .....	20
Obr. 4.2: Princip Helmholtzovy teorie akomodace [15] .....	23
Obr. 4.3: Princip Schacharovy a Tscherningovy teorie akomodace [15] .....	23
Obr. 5.1: Sférické refrakční vady [9].....	24
Obr. 5.2: Rohovkový astigmatismus [8].....	26
Obr. 5.3: Porovnání rohovkové mapy (topografie), fyziologická rohovka (vlevo), pravidelný astigmatismus (uprostřed) a nepravidelný astigmatismus - keratokonus (vpravo) [27].....	27
Obr. 6.1: Graf závislosti akomodační amplitudy na věku [15] .....	28
Obr. 6.2: Graf závislosti adice na věku [4].....	29
Obr. 6.3: Jaegerova čtecí tabulka do blízka [23] .....	30
Obr. 6.4: Vyšetřovací znak pro metodu zkříženého cylindru [25] .....	31
Obr. 6.5: Červeno-zelený test [21] .....	31
Obr. 7.1: Bifokální brýlové čočky, segmenty tvarů písmen „D“ (vlevo) a „C“ (vpravo) [30] .....	33
Obr. 7.2: Konstrukce progresivní brýlové čočky [29].....	34
Obr. 7.3: Graf porovnání prodejů brýlových čoček za rok 2019 [36].....	34
Obr. 7.4: Multifokální kontaktní čočka [31] .....	35
Obr. 7.5: Schéma jednoohniskové nitrooční čočky [18] .....	36
Obr. 7.6: Refrakční (vlevo) [17] a difrakční (vpravo) nitrooční čočka [18] .....	36
Obr. 8.1: Graf rozložení probandů dle věku .....	37
Obr. 8.2: Graf rozložení tělesné výšky .....	38
Obr. 8.3: Snímek obrazovky mobilního telefonu .....	40
Obr. 8.4: Graf závislosti čtecí vzdálenosti na tělesné výšce.....	40
Obr. 8.5: Graf závislosti adice na věku .....	41
Obr. 8.6: Graf závislosti adice na věku dle Davida B. Elliotta [4].....	41

## 14 Seznam tabulek

Tab. 3.1: Porovnání poloměrů křivosti a indexů lomu oka pro různá prostředí [6, 7] .....	17
Tab. 3.2: Porovnání optické mohutnosti a tloušťky jednotlivých prostředí oka [5, 7].....	17
Tab. 9.1: Porovnání naměřených dat čtecích vzdáleností pro jednotlivá pohlaví a pro celý soubor probandů (čísla jsou uvedena v centimetrech).....	42