

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2021**

**RADKA  
STAŇKOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů**

**Měření akomodační šíře a její závislost na věku pacienta**

**Measurement of accommodation width and it's dependence  
on the patient's age**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Radka Staňková, DiS.**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Markéta Žáková, Ph.D.

---

**Kladno 2021**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Staňková** Jméno: **Radka** Osobní číslo: **487419**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Měření akomodační šíře a její závislost na věku pacienta**

Název bakalářské práce anglicky:

**Measurement of accommodation width and its dependence on the patient's age**

Pokyny pro vypracování:

Studentka popíše vznik a princip akomodace, mechanismy související s akomodací, vysvětlí akomodační šíři a její vztah k věku klienta. Vypracuje rešerši na téma vyšetření a výpočet akomodační šíře nejen z české, ale i zahraniční literatury. Zjistí metodiku optimálního vyšetření a tu pak použije pro praktickou část. V praktické části zjistí na vzorku probandů akomodační amplitudu metodou push up a porovná s dostupnými tabulkami předpokládaných akomodačních amplitud vzhledem k věku probanda.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] SYNEK, S., SKORKOVSKÁ, Š., Fyziologie oka a vidění, ed. 2, Praha: Grada, 2014, ISBN 978-80-247-3992-2
- [3] SCHEIMAN, M., WICK, B., Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, ed. 4th, Philadelphia: Wolters Kluwer, 2014, ISBN 978-1-4511-7525-7

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Markéta Žáková**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2022**

  
prof. RNDr. MUDr. Petr Maršátek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) katedry

  
prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
podpis děkana(ky)

## **Název bakalářské práce:** Měření akomodační šíře a její závislost na věku pacienta

### **Abstrakt:**

Tato práce se zabývá problematikou akomodační šíře ovlivněné věkem pacienta. V teoretické části je zmíněna stručná anatomie struktur oka, které souvisejí s akomodací. Jedná se především o oční čočku, řasnaté tělísko s ciliárním svalem a závěsný aparát čočky. Dále je zde definována akomodace, její vývoj, teorie, principy a mechanismy. Důraz je kladen na vysvětlení akomodační šíře, jejího vztahu k věku pacienta a pojmů, které s ní úzce souvisejí. Jedná se zejména o blízký a daleký bod akomodace, které se využívají k výpočtům teoretických hodnot akomodační amplitudy. Práce obsahuje také část, která se věnuje měření akomodace. Tato část je zaměřena na metody používané pro stanovení hodnot akomodační šíře, akomodační facility, relativní akomodace a akomodační odezvy. Nejpodrobněji jsou zde popsány metody pro vyšetření akomodační šíře jako je push-up metoda, push-down metoda a metoda rozptylné čočky. Experimentální část práce se zabývá měřením akomodační šíře push-up metodou a porovnáním naměřených dat s předchozími studiemi. Dále se práce věnuje naměřeným datům adice, která jsou taktéž porovnávána s předchozími studiemi. Cílem práce je potvrzení závislosti jak akomodační šíře, tak adice na věku pacienta.

### **Klíčová slova:**

Akomodace, akomodační šíře, konvergence, oční čočka, presbyopie, push-up metoda

**Bachelor's Thesis title:** Measurement of accommodation width and its dependence on the patient's age

**Abstract:**

This work deals with the problematics of accommodation width influenced by the patient's age. The theoretical part describes a brief anatomy of the parts of the eye that are related to accommodation. These are mainly the eye lens, the ciliary body with the ciliary muscle and the suspensory ligaments of the lens. In this project are also defined accommodation, its development, theories, principles and mechanisms. Emphasis is placed on explaining the width of accommodation, its relationship to the patient's age and concepts that are closely related to accommodation amplitude. It's especially the near and remote point of accommodation, which are used to calculate the theoretical values of accommodation amplitude. This project also contains a part that deals with the measurement of accommodation. This part focuses on the methods used to determine the values of accommodation width, accommodation facility, relative accommodation and accommodation response. Methods for examining accommodation width, such as the push-up method, the push-down method, and the minus lens method, are described most detailed. The experimental part of the work deals with measuring the accommodation width by push-up method and comparing the measured data with previous studies. The work deals with the measured data of addition, which are also compared with the previous studies. The purpose of the work is to confirm the dependence of accommodation width and addition on the patient's age.

**Key words:**

Accommodation, accommodation width, convergence, eye lens, presbyopia, push-up method

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala Mgr. Markétě Žákové, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za cenné rady, materiály a připomínky, které mi v průběhu psaní pomohly ke zpracování projektu.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Měření akomodační šíře a její závislost na věku pacienta*“ 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 .....	7
2. Akomodace .....	9
2.1 Anatomie struktur oka podílející se na akomodaci .....	9
2.1.1 Oční čočka .....	9
2.1.2 Řasnaté těleso .....	11
2.1.3 Závěsný aparát .....	12
3. Vývoj akomodačního procesu .....	13
3.1 Teorie akomodace .....	13
3.1.1 Helmholtzova teorie .....	14
3.1.2 Teorie podle Schachara a Tscherninga .....	15
3.1.3 Colemanova teorie .....	16
3.2 Mechanismus akomodace .....	16
3.3 Akomodační šíře .....	17
3.4 Konvergence .....	21
4. Poruchy akomodace .....	23
4.1 Fyziologické změny akomodace .....	23
4.1.1 Presbyopie .....	23
4.2 Patologické změny akomodace .....	26
4.2.1 Akomodační exces .....	26
4.2.2 Spazmus akomodace .....	27
4.2.3 Insuficience akomodace .....	28
4.2.4 Obrna akomodace .....	29
5. Metody pro vyšetření akomodace .....	31
5.1 Metody pro vyšetření akomodační šíře .....	31
5.1.1 Push-up metoda .....	31
5.1.2 Push-down metoda .....	32



---

5.1.3	Metoda rozptylné čočky .....	32
5.2	Měření akomodační facility .....	33
5.3	Měření relativní akomodace .....	34
5.3.1	PRA (Pozitivní relativní akomodace).....	34
5.3.2	NRA (Negativní relativní akomodace).....	34
5.4	Měření akomodační odezvy.....	35
5.4.1	MEM (monocular estimate method).....	35
5.4.2	Nottova metoda.....	36
6.	Experimentální část .....	37
6.1	Úvod do problematiky .....	37
6.2	Cíle a pracovní hypotézy .....	39
6.3	Metodika výzkumu .....	39
6.4	Výsledky .....	42
6.4.1	Výsledky závislosti akomodační šíře na věku.....	42
6.4.2	Výsledky závislosti adice na věku.....	46
7.	Diskuse .....	48
8.	Shrnutí .....	50
9.	Závěr.....	51
	Seznam použité literatury .....	52
	Seznam symbolů a zkratk .....	59
	Seznam obrázků.....	60
	Seznam tabulek.....	62

# 1. Úvod

V práci je nastíněno současné chápání anatomie částí oka související s akomodací, funkce a výkon akomodačního systému lidského oka. Většina současných modelů akomodačního mechanismu je založena na původních Helmholtzových myšlenkách, ale navzdory rostoucímu objemu souvisejících výzkumů přetrvává nejistota ohledně relativních příspěvků různých mechanismů akomodace. Častou diskuzí jsou změny akomodační šíře s narůstajícím věkem pacienta. Amplituda akomodace se od pozdějšího dětství stabilně snižuje až do věku kolem 40-ti let. Po dosažení hranice právě 40-ti let amplituda zpravidla klesne pod hranici potřebnou pro běžnou práci na blízko. Přehled současných výzkumů o změnách pružnosti čočky a jejího pouzdra, změnách schopnosti kontrakce ciliárního svalu řasnatého tělíska a dalších příslušných struktur podílejících se na akomodaci potvrzují, že geometrické a viskoelastické lentikulární změny hrají roli v postupném úbytku akomodační šíře.

Bakalářská práce se zabývá právě problematikou úbytku akomodační šíře snižující se v závislosti na věku pacienta. V práci jsou popsány jednotlivé mechanismy akomodace. Jedná se především o definici akomodace, její vývoj, základní teorie a principy akomodace. Hlavním tématem je akomodační šíře, její závislost na věku pacienta, výpočet teoretických hodnot amplitudy a především metody využitelné v praxi pro měření velikosti akomodační šíře. Nejvíce používaným způsobem je push-up metoda, zaměřená na získání blízkého bodu akomodace. Dále push-down metoda s obdobným principem a metoda rozptylné čočky, založená na předkládání minusových čoček. Tyto metody se využívají nejen pro zjištění hodnot akomodační šíře, ale dají se aplikovat u presbyopických pacientů k zjištění teoretických hodnot velikosti adice.

Cílem experimentální práce je potvrdit závislost akomodační šíře a adice na věku pacienta. V první části je měřena akomodační amplituda push-up metodou za binokulárních podmínek. Metoda je založená na subjektivním pocitu pacienta, kdy se mu daný text přibližováním optotypu do blízka rozmaže. Takto získáme blízký bod akomodace, jehož vergence značí právě potřebnou velikost AA. Naměřená data jsou porovnávána s předchozími studii jako například výzkum dle Donderse (1864), Duana (1912) a Hofstettera (1988). U presbyopických pacientů je obtížné stanovit přesný blízký bod akomodace, z důvodu oddalování NPA s narůstajícím věkem směrem od obličeje. Proto se práce v druhé části zabývá porovnáváním naměřených hodnot adice s předchozími studii. Adice je vyšetřována na optotypu do blízka ve vzdálenosti cca 40 cm. Vhodnou korekci rozhodne sám pacient podle subjektivního pocitu

pohodlného čtení s danou adicí. Závěrem práce je určení závislosti jak akomodační šíře, tak adice na věku pacienta.

Výsledná data z bakalářské práce mohou být použita při běžném vyšetření v optometrické praxi. Odchytky naměřených hodnot akomodační šíře u pacientů lišící se od většinových standardů mohou poukázat na poruchu akomodace. Naopak hodnoty blízké tomuto standardu mohou potvrdit fakt, že je u pacienta vše v pořádku. U presbyopických pacientů při vyšetření zraku do blízka lze tabulku velikosti hodnot adice využít k orientačnímu předkládání adice podle věku pacienta a také může posloužit jako kontrola předešlé korekce do dálky.

## 2. Akomodace

Akomodace je schopnost oka, která zajišťuje ostré vidění na různě vzdálené předměty vlivem změny optické mohutnosti optického systému oka. Jedná se o dynamický proces, při kterém se mění dioptrická hodnota z důvodu vyklenutí oční čočky za pomoci kontrakce a následného uvolňování ciliárního svalu v řasnatém tělisku. V závislosti se změnou optické mohutnosti dochází ke změně zakřivení lomných ploch čočky, které způsobují změnu refrakčního stavu oka. Z praktického hlediska pozorovaný předmět se díky změně optické mohutnosti promítne na sítnici a vytvoří zde ostrý obraz. [1; 2]

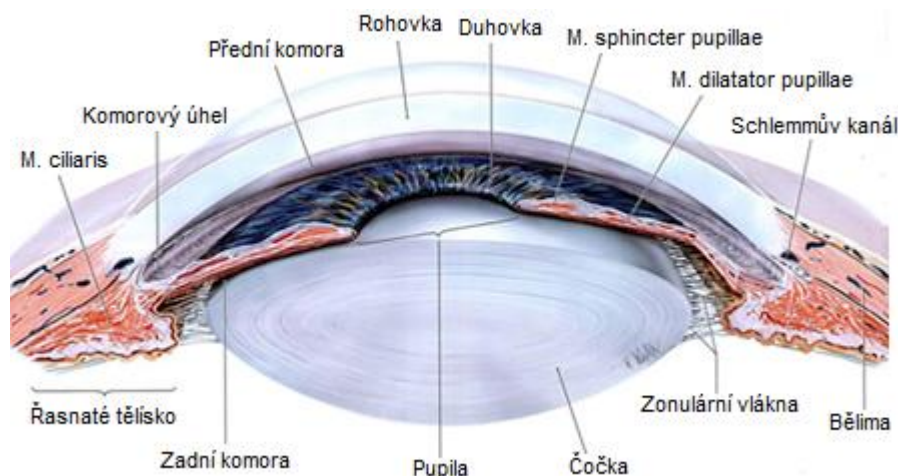
### 2.1 Anatomie struktur oka podílející se na akomodaci

#### 2.1.1 Oční čočka

Oční čočka, latinsky lens cristallina, je transparentní struktura převážně bílkovinné povahy, který má tři základní funkce:

- podílí se na akomodaci s dalšími strukturami oka
- ovlivňuje refrakční stav oka svou optickou mohutností
- udržuje transparentnost své vlastní tkáně [1; 3]

Po narození je čočka avaskulární a její výživa je zcela závislá na komorové vodě. Zdravá čočka je průhledná, s přibývajícím věkem žloutne a její průhlednost se snižuje. Je uložena za duhovkou (iris) a před přední membránou sklivce (corpus vitreum). Je zde upevněná pomocí zonulárních vláken závěsného aparátu (fibrae zonulares), které jí připevňují k řasnatému tělisku (corpus ciliare) viz obrázek 2.1.



**Obrázek 2.1:** Umístění čočky v oku [4]

Vlivem ciliárního svalu v řasnatém tělísku se přenáší tah na vlákna závěsného aparátu, která mění optickou mohutnost čočky důležitou při akomodačním procesu. Průměrná optická mohutnost čočky se udává kolem +21,7 dioptrií podle Gullstrandova modelu oka. S přibývajícím věkem se pružnost čočky snižuje. Udává se přibližná hranice ve věku 40-ti let, kdy klesá optická mohutnost až na polovinu své původní hodnoty, ve stáří se tato schopnost čím dál více vytrácí. Tento stav nazýváme presbyopie. [1; 3; 5; 6]

Oční čočka má tvar bikonvexní spojné čočky. Její plochy nemají stejný poloměr zakřivení. Přední plocha (facies anterior) spojné čočky má poloměr zakřivení 9-10 mm oproti zadní ploše (facies posterior), která je více vyklenutá a má poloměr křivosti 5-6 mm. V průběhu života se oční čočka stále mění a s ní se mění také její optické vlastnosti. Celý život roste, zvětšuje se a přibývá na hmotnosti (u narozených dětí má hmotnost asi 90 mg, je dlouhá 6,4 mm a předozadní průměr je 3,5 mm, v dospělosti má hmotnost průměrně 255 mg, délku 9 mm a průměr 5 mm). Vlivem stárnutí také dochází ke zvětšování kortikální části oční čočky, tím dochází ke změně poloměru zakřivení a ke změně tvaru. Čočka se věkem zaobluje a mění tak své refrakční vlastnosti. Stavbu čočky můžeme rozdělit na:

- pouzdro čočky (capsula lentis)
- epitel čočky (epithelium lentis)
- kortex a jádro čočky (cortex a nukleus lentis) [1; 3; 5; 7; 8]

Na povrchu čočky se nachází pružné transparentní pouzdro. Jedná se o tenkou ale zároveň pevnou bazální membránu, která není spojená s hlubšími vrstvami čočky, a proto ji lze snadno oddělit při chirurgických zákrocích. Pod pouzdrům přední plochy čočky jsou uloženy epitelální buňky v jedné vrstvě. V oblasti ekvátoru se buňky prodlužují a vlivem mitotické aktivity se mění na krátká a dlouhá čočková vlákna (fibrae lentis). V povrchové části jsou vlákna měkká a tvoří kůru čočky, uprostřed se vlákna zahušťují a tvoří jádro čočky viz obrázek 2.2. [1; 3; 9]



**Obrázek 2.2:** Struktura čočky [10]

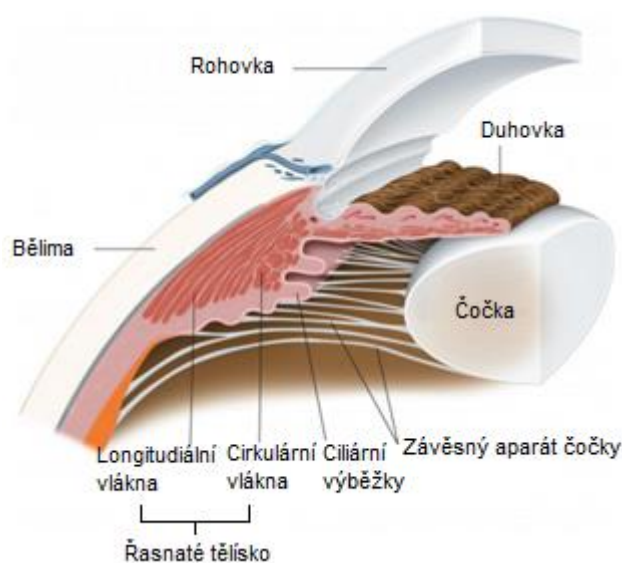
## 2.1.2 Řasnaté těleso

Řasnaté těleso, latinsky corpus ciliare, je část prostřední vrstvy oka (tunica vasculosa bulbi) neboli živnatky (uvea). Má dvě základní funkce:

- produkuje komorovou vodu
- podílí se na akomodaci vlivem stahů ciliárního svalu [9; 11]

Corpus ciliare má prstencovitý tvar a na průřezu se připodobňuje k pravoúhlému trojúhelníku. Řasnaté těleso můžeme rozdělit na dvě části: přední část (pars plicata) a zadní část (pars plana). V přední části se ztlušťuje a spojuje se s duhovkou (iris), naopak v zadní části se okraj řasnatého tělesa ztenčuje a plynule přechází do cévnatky (choroidea). Končí v místě ora serrata, které odděluje optickou část od slepé části sítnice. [1; 3; 9]

Vnitřní plocha řasnatého tělesa je tvořena četnými radiálně uspořádanými řasami (processus ciliares). Výběžky jsou bohatě prokrvené a jejich hlavní funkcí je sekrece komorové nitrooční tekutiny (humor aquosus). Dále slouží k upevnění zonulárních vláken závěsného aparátu oční čočky. Podkladem řasnatého tělesa je vazivové stroma, ve kterém se nachází svalové buňky tvořící musculus ciliaris. Hladká svalová vlákna musculus ciliaris jsou uspořádána radiálně, longitudinálně a cirkulárně viz obrázek 2.3. Při kontrakci ciliárního svalu dochází k uvolnění závěsného aparátu čočky, což má za následek změnu tvaru a optické mohutnosti oční čočky. Tímto principem se podílí na akomodaci oka. [1; 3; 9; 11; 12]



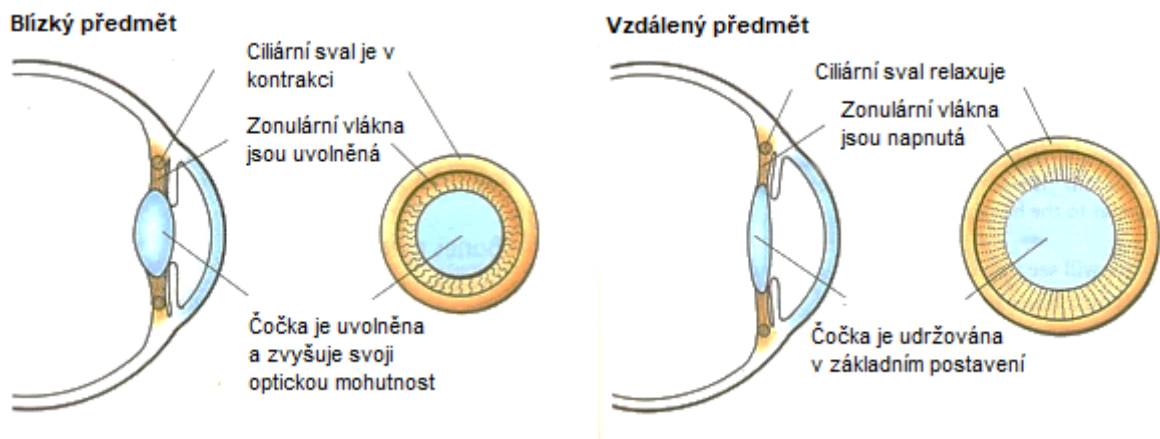
**Obrázek 2.3:** Schéma řasnatého tělíska [13]

### 2.1.3 Závěsný aparát

Závěsný aparát čočky (zonulae ciliaris Zinni) tvoří zonulární vlákna (fibrae zonulares), která se upínají na čočku v oblasti ekvátoru. Závěsný aparát má dvě základní funkce:

- přenáší na oční čočku účinky ciliárního svalu řasnatého tělíska a tím ovlivňuje akomodaci oka
- udržuje čočku ve správné poloze ke sklivci, k duhovce a řasnatému tělísku [3; 9; 11]

Na oční čočku je přes zonulární vlákna přenášěn tah řasnatého tělíska. Při kontrakci cirkulárně orientované části ciliárního svalu se tah zmenší a pružná čočka se vyklene viz obrázek 2.4. Tento princip umožňuje změnu optické mohutnosti, čočka akomoduje a přizpůsobuje vidění na blízké předměty. Naopak při aktivaci radiálně uspořádané složky musculus ciliaris se zonulární vlákna napnou a čočka se oploští viz obrázek 2.5. S oploštěním klesá optická mohutnost a oko se přizpůsobuje na pohled do dálky. Tento proces, který je ovlivněn čočkou, závěsným aparátem a řasnatým tělískem, se nazývá akomodací. [3; 11]



**Obrázek 2.4:** Uvolněná zonulární vlákna [14]

**Obrázek 2.5:** Napnutá zonulární vlákna [14]

### 3. Vývoj akomodačního procesu

Člověk se nenarodí hned se zcela vyvinutým zrakem. U novorozence se objevuje pupilární reflex, který slouží k rozeznávání světla a tmy. Jedná se o takzvané skotopické vidění. Tento stav se označuje jako hypotalamické vidění, kdy oči nejsou schopné fixovat a vykonávají pouze nekoordinované pohyby. Zpočátku děti získávají vjem za pomoci periferní sítnice, protože makulární oblast není vyztřálá. Ve 2. až 4. měsíci se postupným dozríváním zvyšuje zraková ostrost, ale stále převažuje periferní část zorného pole. V tomto období se vyvíjí monokulární fixační reflex a dítě začíná sledovat okolí. [2; 15]

Ve 3. měsíci začínají oči využívat schopnost konvergence a divergence, dítě zvládá sledovat bližší i vzdálenější předměty. Ve 4. měsíci se vyvíjí reflex akomodace, který je závislý na vývoji ciliárního svalu v řasnatém tělísku a umožňuje dítěti ostré vidění blízkých i vzdálených předmětů. Během 4. až 6. měsíce se ukončuje vývoj makulární oblasti, kdy dítě začíná fixovat centrálně. Ze začátku zde převládá alternativní vidění, kdy dítě sleduje předměty střídavě levým a pravým okem. [2; 15]

V 6. měsíci se vyvíjí fúze, kdy děti získávají schopnost spojit obrazy obou očí v jeden smyslový vjem. V 12. měsíci jsou procesy akomodace a konvergence vyvinuté tak, že umožňují fúzi a stereopsi (prostorové vidění) obrazů, díky které zvládají odhadovat vzdálenosti a velikosti předmětů. Kolem 4. roku se centrální vizus (zraková ostrost) blíží k hodnotám dospělého člověka. Do 5. až 6. roku se upevňuje celkové binokulární vidění. Pokud však do normálního vývoje oka zasáhne nějaké porucha, vývoj se přerušuje a pokračuje patologicky. Vzniká tak například strabismus, amblyopie a anomální retinální korespondence. [2; 15]

#### 3.1 Teorie akomodace

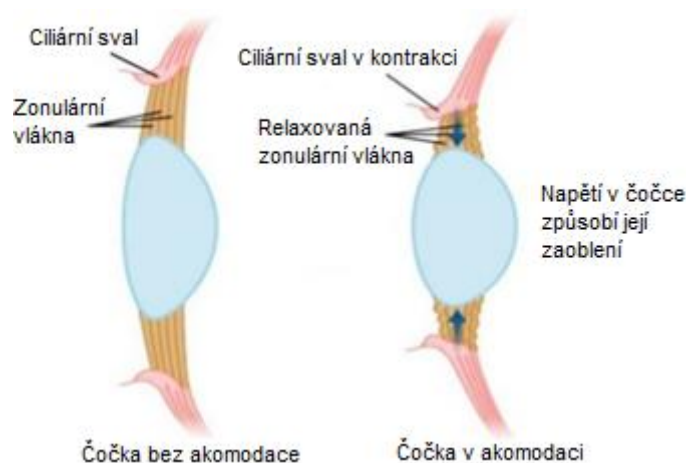
Akomodační proces je hlavním tématem několika výzkumů, ale dosud neexistuje jednotný názor na vztah mezi účinkem kontrakce ciliárního svalu řasnatého tělíska a napětím zonulárních vláken připevněných na oční čočce. Pojem akomodace jako první zavedl Burow v roce 1841. Dříve se používal termín adaptace, který má v dnešní době jiný význam. Existují tři nejznámější teorie popisující akomodaci:

- Helmholtzova teorie
- teorie podle Schachara a Tscherninga
- teorie Colemanova [1; 3; 16]



### 3.1.1 Helmholtzova teorie

Helmholtzova hypotéza je známá i pod názvem kapsulární teorie. Helmholtz si všiml, že při akomodaci dochází k rozšíření centrální části oční čočky. Při kontrakci ciliárního svalu řasnatého tělíska dochází k pohybu směrem dopředu a dovnitř. Díky tomuto pohybu se zonulární vlákna mezi čočkou a řasnatým tělískem uvolní. Čočka je povolena z napětí vláken a díky své elasticitě se vyklene viz obrázek 3.1. Přední a zadní plocha čočky zvětší své zakřivení a čočka nabyde na své optické mohutnosti, čímž se zvýší její dioptrická hodnota. Proces akomodace závisí tedy na kontrakci ciliárního svalu, na jeho zmenšení a na uvolnění závěsného aparátu. [1; 16; 17; 18; 19]



**Obrázek 3.1:** Helmholtzova teorie [20]

Když oko přestane akomodovat, kontrakce ciliárního svalu se uvolní, nabyde své původní velikosti a vrátí se do základní polohy. Uvolnění ciliárního svalu způsobí opětovné napětí zonulárních vláken, které vyklenutou čočku vrátí do svého relativně plochého tvaru, čímž se zakřivení přední a zadní plochy čočky zmenší a zmenší se tak i optická mohutnost a dioptrická hodnota čočky. Při akomodaci se tedy ekvatoriální část čočky pohybuje při kontrakci ciliárního svalu a uvolnění zonulárních vláken směrem dopředu od skléry a při relaxaci svalu a napnutí závěsného aparátu se čočka pohybuje směrem dozadu ke sklěře. [1; 16; 17]

Helmholtzova teorie ale neobjasňovala později prokázané vyklenutí pouze přední plochy oční čočky. Tento fakt vysvětlil pan Fincham v roce 1937 studií změny tloušťky pouzdra v určitých oblastech čočky. K pouzdru v přední a zadní periférii se připínají zonulární vlákna závěsného aparátu, proto je zde pouzdro čočky nejtlustší. Předpokládá se, že čočka je zde pevná a mění svůj tvar minimálně. Naopak v přední části čočky je pouzdro tenčí, proto zde dochází k největšímu vyklenutí. Na zadní ploše čočky se nachází nejtencí a nejslabší vrstva pouzdra.

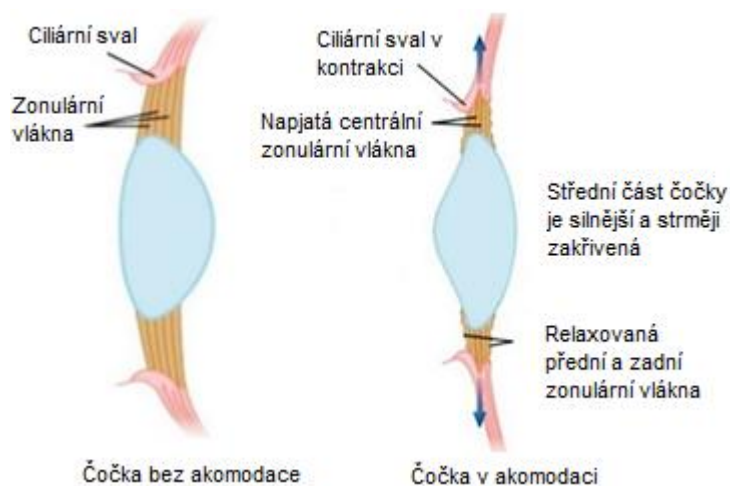
Z důvodu slabé vrstvy se čočka nemá kam vyklenout, proto zůstává stejně klenutá před akomodací i po akomodaci. [1; 18; 21]

Nervové zásobení při procesu akomodace zajišťují nervová vlákna parasymptiku, která vystupují z třetího nervového jádra v mozkovém kmeni. Parasymptická stimulace ovlivňuje kontrakci ciliárního svalu při akomodaci. Při přibližování předmětu směrem k oku čočka začne akomodovat a snaží se vytvořit ostrý obraz na sítnici. Aby odraz zůstal stále zaostřený, musí být sval v neustálé kontrakci, což vyžaduje častější parasymptické impulzy. Naopak sympatická inervace způsobuje relaxaci ciliárního svalu, proto můžeme říct, že při akomodaci nehraje žádnou roli. [1]

### 3.1.2 Teorie podle Schachara a Tscherninga

Schachar roku 1993 navrhl alternativní akomodační teorii, která je podobná původní teorii publikované Tscherningem v roce 1904. Princip této teorie spočívá v jiném anatomickém umístění úponů ciliárních vláken. Schachar předpokládal, že ekvatoriální část ciliárních zonulárních vláken je připevněna k přední části ciliárního svalu, naopak přední a zadní část zonulárních vláken se upíná do jeho zadní části. Tento popis výkladu je v rozporu s důkazy získanými z lidské tkáně za pomoci skenovací elektronové mikroskopie, která nevykazuje žádnou přítomnost upnutých zonulárních vláken v přední oblasti ciliárního svalu. [1; 17; 19]

Podle Schacharovy teorie se při kontrakci ciliárního svalu přední část stáhne směrem ke sklěře a ke kořenu duhovky. Tento pohyb řasnatého tělíska zvyšuje napětí ekvatoriálních zonulárních vláken a uvolňuje napětí na předních a zadních zonulárních vláčknech. Výsledkem tohoto procesu je elongace neboli prodloužení vertikálního průměru čočky, přičemž je periferní část čočky zúžená a centrální část rozšířená viz obrázek 3.2. [1; 16; 17]



Obrázek 3.2: Schacharova teorie [20]

Z teoretického hlediska by bylo možné, že vlivem tahu za ekvátor čočky můžeme způsobit hyperbolické zakřivení předního pouzdra v závislosti na viskoelastických vlastnostech čočky. Schachar předpokládá spolupráci mezi ciliárním svalem a závěsným aparátem a předpokládá přiblížení ekvátoru ke sklěře. Kontrakce ciliárního svalu má přímý účinek na napětí zonulárních vláken, která způsobují nárůst zakřivení čočky. Narozdíl Helmholtzova teorie spočívá v pasivním uvolnění zonulárních vláken, přičemž se ekvátor naopak od skléry vzdaluje. Rozdíl mezi Schacharovou a Tscherningovou teorií je, že pan Tschechinger počítal s účastí na akomodaci ještě se sklivcem. [1; 17]

### 3.1.3 Colemanova teorie

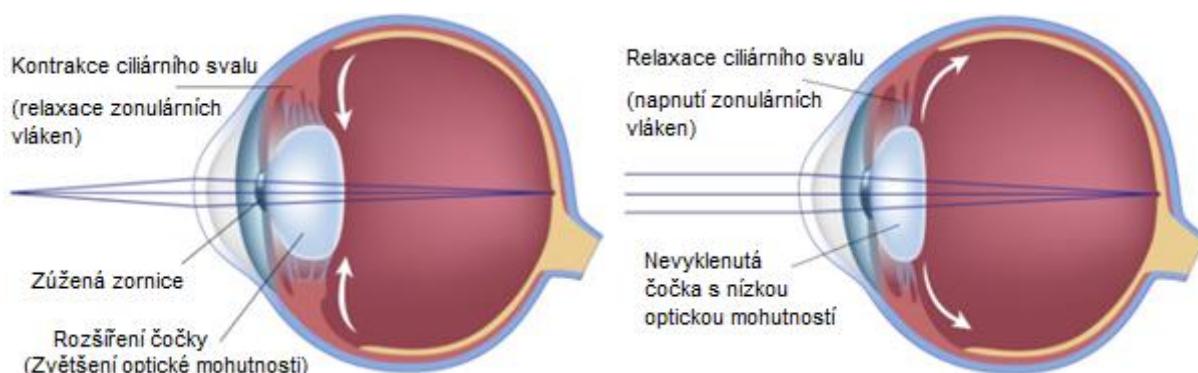
Americký oftalmolog D. J. Coleman tvrdí, že kompletní akomodační proces nelze vysvětlit pouze Helmholtzovou a Schacharovou teorií. Důvodem jeho tvrzení je námitka týkající se okamžité a přesně opakovatelné změny ve tvaru čočky. Coleman svou teorii akomodace publikoval v roce 1986. Předpokládal, že oční čočka, závěsný aparát a přední sklivce tvoří jakousi diafragmu mezi přední komorou a sklivcovým prostorem. Coleman dále uvádí, že kontrakce ciliárního svalu způsobuje tlakový gradient (nárůst) během počáteční akomodační fáze mezi přední komorou a předním sklivcem. Z tohoto důvodu se tlak ve sklivcovém prostoru zvýší a v přední komoře naopak sníží, v důsledku předpokládané kontrakce ciliárního svalu, která rozšíří trámčinu. Tlak sklivce směrem na zadní čočkové pouzdro vytvoří tato diafragma, na bočním řezu obraz podobný síťové houpačce vyklenuté směrem do přední komory. Tyto přechodné změny byly v modelu zanedbány, protože existuje příliš málo informací o vlastnostech viskoelastického materiálu lidské čočky. [1; 22]

## 3.2 Mechanismus akomodace

Součástí mechanismu akomodace je ciliární sval, který se skládá z cirkulárních a meridionálních vláken. Cirkulární vlákna se také nazývají jako Müllerův sval a jsou inervované parasymptikem. Naopak meridionální vlákna neboli také Bruckeův sval je inervovaný vlákny sympatika. Při kontrakci cirkulárních vláken dochází k zúžení prstence ciliárního svalu a k uvolnění napětí zonulárních vláken závěsného aparátu, což umožňuje pohled do blízka. Oproti tomu meridionální vlákna se aktivují při pohledu do dálky a pomáhají zvýšit napětí zonulárních vláken. [2; 7]

Změna tvaru oční čočky je dána elasticitou čočkového pouzdra a plasticitou čočkové substance (hmoty). Vlivem elastického cirkulárního ekvatoriálního tlaku elastického pouzdra

na čočkovou substanci dochází k uvolnění zonulárních vláken při pohledu do blízka viz obrázek 3.3. Díky plasticitě pouzdra oční čočka zvládá měnit svůj tvar z lentikulární čočky na čočku více sférickou. Při akomodaci poloměr zakřivení přední plochy čočky klesá z 10 mm na 6 mm. Předozadní průměr čočky se zvětšuje a přední plocha čočky nabývá až téměř kónický tvar. Naopak při relaxaci ciliární svaly dochází k napnutí závěsného aparátu při pohledu do dálky viz obrázek 3.4. Síla tahu zonulárních vláken působí proti směru elastických sil čočkového pouzdra a zakřivené plochy čočky se oplošťují. Zvyšujícím se věkem klesá elasticita čočkového pouzdra a snižuje se i plasticita hmoty čočky. Schopnost změny tvaru se stále snižuje a po 65. roce života se tvar čočky při relaxaci ciliárního svalu zpravidla již vůbec nemění. [2; 7; 18]



Obrázek 3.3: Pohled do blízka [23]

Obrázek 3.4: Pohled do dálky [23]

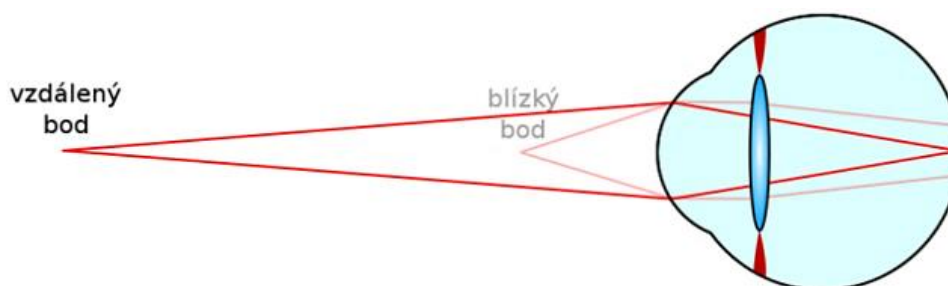
### 3.3 Akomodační šíře

Akomodační šíře může být také označována jako akomodační amplituda. Akomodační šíře je definována jako největší možný nárůst optické mohutnosti oka způsobené akomodací. Jedná se o rozdíl mezi optickou mohutností soustavy oka při uvolněné a maximální akomodaci. Tato amplituda s narůstajícím věkem klesá. [2; 7; 24]

Akomodační amplituda je brána jako rozdíl mezi statickou a dynamickou akomodací. Statická akomodace představuje klidovou akomodaci, při které dochází k lomivosti paprsků bez použití akomodace. Dynamická akomodace naopak k lomivosti využívá akomodaci. Akomodační šíře je také definovaná jako prostor, ve kterém oko vidí jednotlivé předměty ostře. Tento prostor je vymezen nejvzdálenějším bodem a nejbližším bodem, který oko vidí ještě ostře. Vzdálený bod oka se nazývá jako daleký bod (punctum remotum) a nejbližší ostrý bod se označuje jako blízký bod (punctum proximum). [2; 7; 24]

### Daleký bod

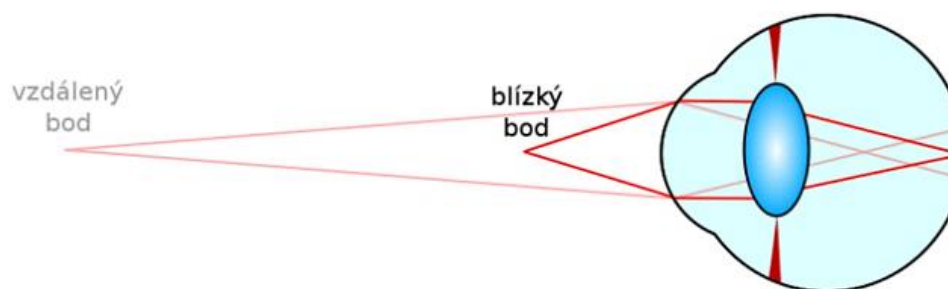
Daleký bod neboli punctum remotum se označuje velkým písmenem R. Jedná se o nejvzdálenější bod, který se ostře zobrazí na sítnici bez zapojení akomodace viz obrázek 3.5. U emetropického oka se tento bod nachází v nekonečnu, proto se rovnoběžně jdoucí paprsky dopadající na rohovku lámou na sítnici a předmět se zobrazí ostře. Z teoretického hlediska tento bod leží v nekonečnu, ale z praxe víme, že daleký bod leží ve vzdálenosti větší než 5-6 m. Pokud bereme v potaz emetropické oko, pozorovaný předmět ve vzdálenosti 5 m a více se zobrazí ostře na sítnici bez použití akomodace. Naopak předměty, které se nachází blíže před okem ve vzdálenosti menší než 5 m, vstupují do oka rozbíhavě. Aby oko spojilo paprsky na sítnici, musí zapojit proces akomodace. [25]



Obrázek 3.5: Vzdálený bod zaostřen [26]

### Blízký bod

Blízký bod neboli punctum proximum se označuje písmenem P. Jedná se o nejmenší vzdálenost, na kterou je oko schopné akomodovat viz obrázek 3.6. Oko vlivem akomodace způsobí maximální zakřivení oční čočky, díky čemuž se bod promítne ostře na sítnici. Pro tento bod je typické, že se s narůstajícím věkem vzdaluje směrem od oka. U menší dětí se punctum proximum nachází ve vzdálenosti cca do 10 cm, s nabývajícím věkem se v dospělosti posouvá až do vzdálenosti kolem 25 cm. Vzdálenost 25 cm je brána jako konvekční zraková vzdálenost pro čtení. Pokud blízký bod překročí tuto hranici 25 cm, fyziologická změna se začne projevovat jako presbyopie, která se obvykle objevuje kolem 40. roku života. [25]



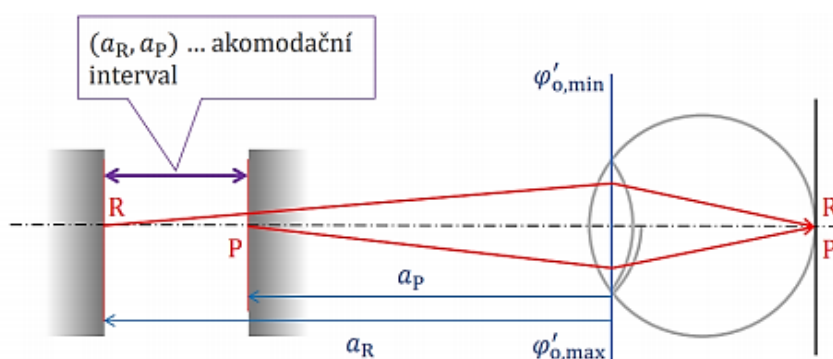
Obrázek 3.6: Blízký bod zaostřen [26]

Vzdálenost dalekého bodu od hlavního předmětového bodu oka H se značí jako  $a_R$  a vzdálenost blízkého bodu od H se značí jako  $a_P$ . U vzdáleností obou bodů je důležité hodnotám přiřazovat správná znaménka v závislosti na konvergenci. Rozdíl hodnot blízkého a dalekého bodu určuje akomodační interval. [1; 24]

$$\Delta a = a_P - a_R$$

K výpočtu akomodační šíře se využívá rozdíl převrácených hodnot blízkého a dalekého bodu neboli jejichvergence viz obrázek 3.7. Do vzorce se tyto hodnoty dosazují v metrech a výsledná hodnota se udává v dioptriích. [1; 24]

$$AA = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P}$$



**Obrázek 3.7:** Schéma charakteristických veličin akomodace [27]

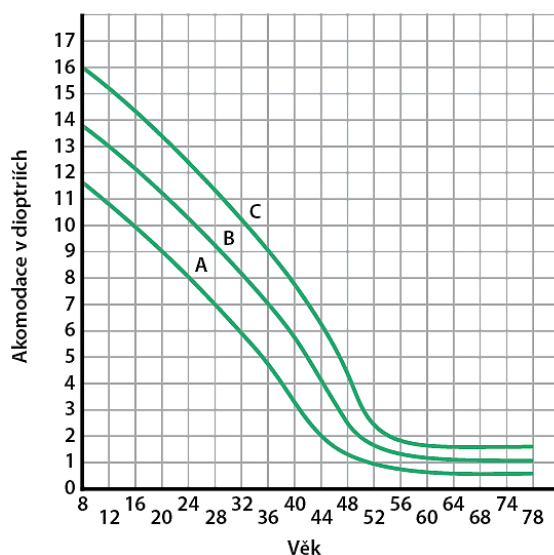
$\varphi'_{o, \min}$  – optická mohutnost oka při minimální akomodaci,  $\varphi'_{o, \max}$  – optická mohutnost oka při maximální akomodaci,  $a_R$  – vzdálenost dalekého bodu R od hlavního předmětového bodu,  $a_P$  – vzdálenost blízkého bodu P od hlavního předmětového bodu, R' a P' – obrazy dalekého a blízkého bodu

Obě veličiny numericky popisují akomodaci a jsou důležité pro její pochopení a stanovení hodnoty. Při dlouhodobém zapojení akomodace je oko schopné využívat zhruba 2/3 akomodační amplitudy. Při překročení této hranice dochází ke vzniku astenopických potíží, které zahrnují pálení a slzení očí, zčervenání očí, bolest očí, rozmazané případně i dvojitě vidění, zvýšenou únavu, bolesti hlavy, nevolnosti. Pro zjištění akomodačního požadavku na určitou vzdálenost  $a$  lze k výpočtu využít rozdíl převrácených hodnot vzdálenosti  $a$  a vzdálenosti dalekého bodu  $a_R$ . Obě vzdálenosti je nutné dosadit opět v metrech a výslednou hodnotu získáváme v dioptriích. [1]

$$A = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a}$$

Akomodační šíře je závislá na věku a zhruba od 5-ti let progresivně klesá, udává se úbytek o 0,3 D za rok. To znamená, že v 10-ti letech se pohybuje kolem hodnoty 15 D a blízký bod se

nachází zhruba 7 cm před okem. Kolem 20-ti let se blízký bod posune od oka asi do 10 cm a velikost akomodační amplitudy odpovídá 10 D. Ve 40-ti letech blízký bod dosahuje vzdálenosti kolem 25 cm, což odpovídá amplitudě cca 4 D. V 60-ti letech akomodační šíře klesá na hodnotu pouze 1 D a blízký bod je od oka vzdálen 1 m. Kolem 70. roku čočka ztrácí schopnost akomodovat a akomodační šíře se rovná 0. Úbytek akomodace je podle závislosti na věku znázorněný na obrázku 3.8. Z tohoto grafu lze jednoduše předvídat hodnoty adice v závislosti právě na věku pacienta viz tabulka 3.1. [2; 24; 28]



**Obrázek 3.8:** Křivka hodnot dle Donderse a Duana [29]

A – linie minimální akomodace, B – linie průměrné akomodace, C – linie maximální akomodace

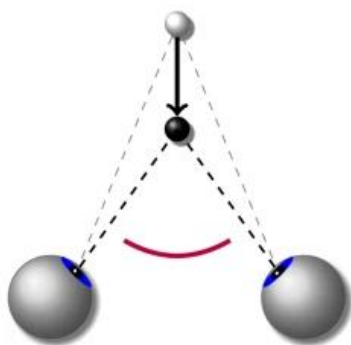
**Tabulka 3.1:** Hodnoty adice v závislosti na věku [30]

Věk	Adice (D)
40	0,75
44	1,00
47	1,25
49	1,50
51	1,75
54	2,00
58	2,25
63	2,50
67	2,75
70	3,00
75	3,25
80	3,50

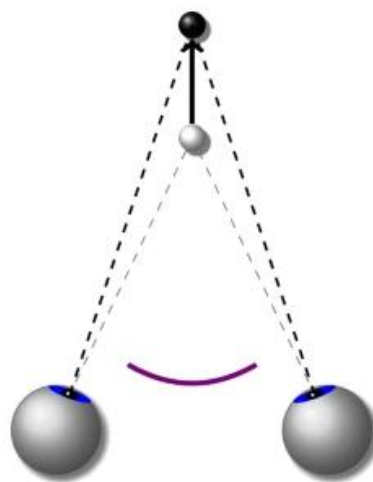


### 3.4 Konvergence

Aby se oči mohly podívat na předmět, který se přibližuje k obličejí, musí se stočit směrem dovnitř neboli směrem k objektu. V takovém případě se jedná o proces konvergence viz obrázek 3.9. Naopak při pohledu na vzdálený předmět se oči rozcházejí a pohybují se směrem ven k uším. Tento pohyb se nazývá divergence viz obrázek 3.10. Konvergence a divergence se řadí mezi vergenční neboli disjungované pohyby očí, což znamená, že se oči nepohybují stejným směrem. [1; 31]



Obrázek 3.9: Konvergence [32]



Obrázek 3.10: Divergence [32]

Konvergence je úzce spjatá s akomodací, protože současně s akomodací je zapojená právě konvergence a také mióza. Proces konvergence je definován jako rotace očí směrem dovnitř při pohledu na blízký předmět. Tento proces oči provádějí nevědomě a reflexně, ale cvikem lze dosáhnout určitého stupně vědomé konvergence. Díky konvergenci se osy očí stáčí tak, že paprsky, dopadající na rohovku, se sbíhají na obou očích v místě nejostřejšího vidění. Pokud pozorovaný předmět leží na optické ose a promítne se v místě žluté skvrny, mluvíme o symetrické konvergenci, ale pokud předmět leží mimo tuto osu, jedná se o konvergenci asymetrickou. Podle dalších aspektů dělíme konvergenci na:

- volní
- reflexní [2; 24]

Volní konvergence je definovaná jako konvergence, kterou dokážeme vyvolat volním úsilím. U reflexní konvergence z funkčního hlediska rozlišujeme 4 základní složky:

- proximální
- tónickou



- akomodační
- fúzní [2; 24; 33]

Proximální konvergence se také nazývá jako psychická. Její účinek je způsoben vnímáním a odhadem vzdálenosti předmětů. Tato část konvergence se projevuje zejména při pozorování blízkých předmětů a tvoří zhruba 70 % celkové konvergence.

Tónická konvergence je ovlivněna pohybem zejména vnitřních přímých svalů očí a je charakterizována jako konvergence v bdělém stavu při rovnoběžném klidovém postavení očí bez stimulu. [2; 24; 33]

Akomodační konvergence je taková konvergence, která je navozená procesem akomodace. Tato část konvergence se značí jako zkratka AC. Vztah mezi akomodací a akomodační konvergencí je označován jako AC/A poměr, který je důležitý při vyšetření binokulární souhry očí. S danou akomodací koresponduje určitá míra konvergence, která odpovídá poměru 1:3 za normálních podmínek. Průměrně se udává, že na akomodaci o hodnotě 1 D připadá 3,5 až 4 pD konvergence. Tento vztah se u jednotlivců liší. Není známo, co ho ovlivňuje, ale zpravidla AC/A poměr bývá u myopů vyšší a u hypermetropů nižší. Dále porucha AC/A poměru bývá způsobena akomodačním strabismem. [24; 33]

Fúzní konvergence je zbývající část celkové konvergence, která zajišťuje nastavení očních os tak, aby směřovaly do místa nejostřejšího vidění a aby byla možná fúze obrazů. Jinými slovy dorovnáva osy očí do ideální pozice a tím kompenzuje heteroforii. Fúzní konvergenci můžeme rozdělit na pozitivní konvergenci a negativní divergenci. Pozitivní fúzní konvergence je označována zkratkou PFV a kompenzuje exoforii. Naopak negativní fúzní divergence se označuje jako NFV a kompenzuje esoforii. [2; 24]

Pro určení hodnoty konvergence rozeznáváme takzvaný blízký bod konvergence. Jedná se o nejmenší vzdálenost před okem, na kterou jsou oči schopné konvergovat a vidí pozorovaný předmět jednoduše. Blízký bod konvergence nemusí být srovnatelný s blízkým bodem akomodace, protože přibližováním předmětu k obličejí se zpravidla předmět nejprve rozmaže, což značí blízký bod akomodace a poté se až rozdvojí, což označujeme právě jako blízký bod konvergence. U dětí se tento bod nachází zpravidla ve vzdálenosti 5 cm. Vzdálenost bodu se s narůstajícím věkem vzdaluje a ve 20 letech se pohybuje kolem 5,4 cm, ve 30 letech kolem 7 cm a ve 40 letech okolo 8 cm. Pokud se tato hodnota liší a vzdálenost je větší než 8 cm jedná se o insuficienci konvergence. Vzdálenost mezi blízkým a dalekým bodem konvergence se nazývá konvergenční šíře, oblast nebo amplituda. [2; 24; 33]

## 4. Poruchy akomodace

Akomodaci oka můžeme brát ze dvou pohledů. Tím prvním je akomodace, která způsobuje fyzikální deformaci čočky měřitelnou v dioptriích. Jedná se o fyzikální akomodaci. Druhá možnost je fyziologická akomodace, která vyjadřuje velikost kontrakce ciliárního svalu řasnatého tělíska nutnou ke změně refrakčního stavu oka o 1 D. Účinnost fyzikální i fyziologické akomodace ovlivňují dva faktory:

- schopnost čočky měnit tvar a optickou mohutnost
- síla kontrakce ciliárního svalu řasnatého tělíska [2]

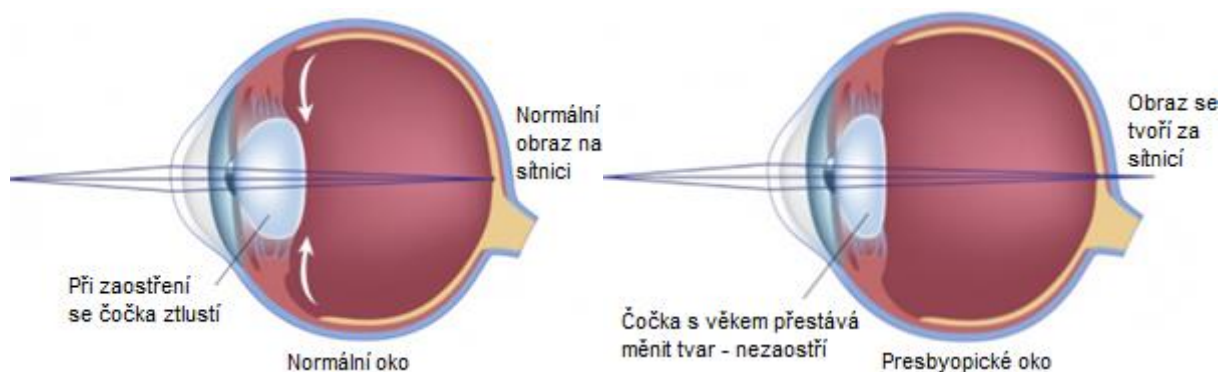
Při presbyopii je narušena hlavně fyzikální akomodace. Naopak u pacientů s obrnou, nekorigovanou myopií a juvenilním diabetem bývá postižena akomodace fyziologická. [2; 7]

Poruchy akomodace mohou být způsobené fyziologickými nebo patologickými změnami akomodace. Fyziologické změny jsou podmíněné stárnutím, kdy dochází k úbytku akomodace, který je označován jako presbyopie. U patologických změn je typický náhlý začátek, v některých případech je doprovázen změnami v šířce a v reakcích zornic, někdy je také přítomna anomálie konvergence. Mezi patologické změny patří akomodační exces, spasmus akomodace, insuficience akomodace a obrna akomodace. [2]

### 4.1 Fyziologické změny akomodace

#### 4.1.1 Presbyopie

Presbyopie se označuje také jako vetchozrakost. Jedná se o věkem podmíněnou ztrátu akomodace, která vede k neschopnosti zaostřit na krátké vzdálenosti na rozdíl od normálního oka viz obrázek 4.1. Presbyopie je definována jako fyziologická změna, při které dochází zvyšujícím se věkem k poklesu akomodační šíře. Typická hranice pro začínající presbyopii se udává kolem 40. roku života. Ve staří se snižuje schopnost ciliárního svalu řasnatého tělíska a také se snižuje elasticita a plasticita oční čočky. Všechny tyto faktory vedou ke snížené schopnosti akomodace, což způsobuje posunutí blízkého bodu akomodace směrem od oka. Kolem 40. roku se blízký bod zpravidla posune do vzdálenosti 20 cm a akomodační šíře klesá pod hranici 5 D. [2; 7; 34]



**Obrázek 4.1:** Porovnání zaostření obrazu normálního a presbyopického oka [35]

Pro fyziologické změny akomodace je typické, že akomodační šíře s narůstajícím věkem plynule klesá. U dětí v předškolním věku akomodační šíře dosahuje hodnot až 14 D. Což znamená, že jejich blízký bod se nachází ve vzdálenosti 7 cm. Podle několika výzkumů se udává, že velikost akomodační šíře klesá lineárně. Dosáhnutím 45. roku života se hodnota pohybuje kolem 4 D a blízký bod se nachází v 0,25 m a v 60 letech už akomodační šíře nabývá hodnot pouze 1 D a blízký bod se posouvá do vzdálenosti 1 m. [2; 7; 36]

Běžné činnosti jako je čtení, psaní a další drobné práce obvykle vykonáváme v pracovní vzdálenosti, která se udává v průměru u většiny lidí ve 25 až 35 cm. Pokud vezmeme v úvahu emetropického pacienta, tak k dosažení ostrého vidění na tuto pracovní vzdálenost využije 3 až 4 D zbývající akomodace. Ale pokud vezmeme presbyopického pacienta, je potřebný limit k zaostření na pracovní vzdálenost dosažen kolem 45. roku věku. To znamená, že presbyop při pohledu do blízka využívá veškerou svoji akomodaci. Dlouhodobé setrvávání v tomto stavu nebývá tolerováno a většinou se to projeví těžkými astenopickými příznaky. Abychom byli schopni tolerance při akomodaci do blízka, musí z akomodační šíře zůstat minimálně 1/3 nevyužita, což značí akomodační rezervu. Presbyopové tuto rezervu již nemají, proto u nich dochází k astenopickým potížím. Hranicí pro ztrátu akomodační rezervy je posunutí blízkého bodu za hranici 40 cm. [2; 7]

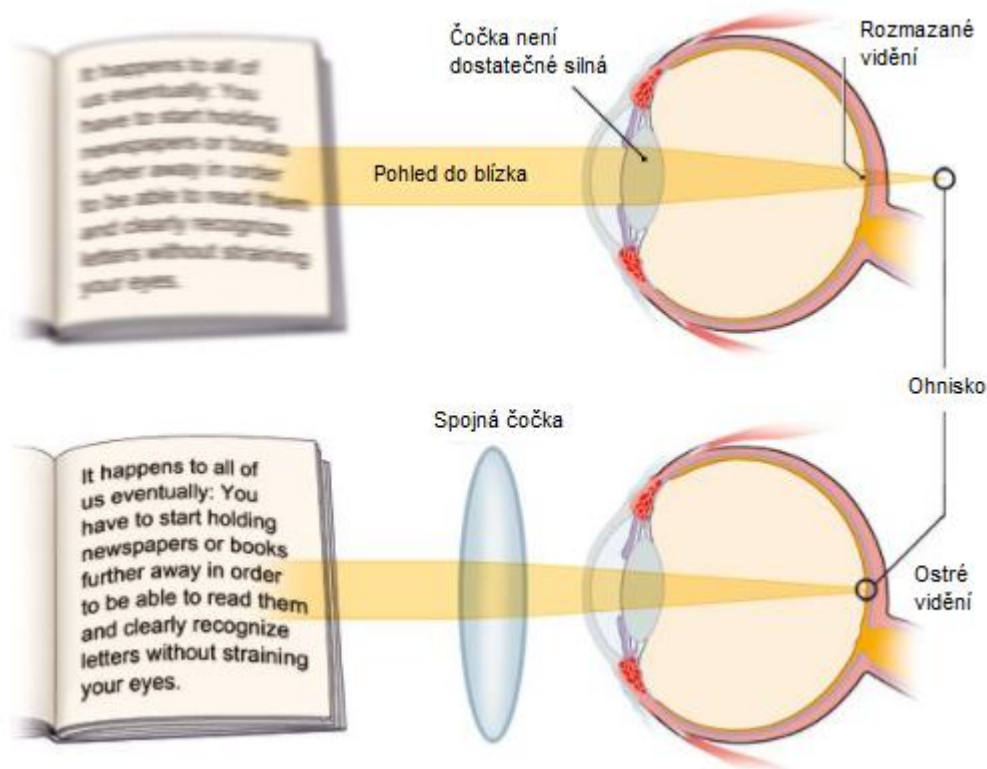
Presbyopie je relativní pojem. Můžeme říct, že doba jejího vzniku závisí na několika rizikových faktorech jako je pracovní vzdálenost, fyzikální a fyziologický stav akomodace a refrakční vada oka. Pro hypermetropického pacienta je typické, že využívá část své akomodace na korekci své refrakční vady na dálku. Proto mají hypermetropové menší akomodační rezervy, a proto se u nich presbyopie projeví dříve, než je běžné. Naopak u myopického pacienta se presbyopie projeví později nebo se neprojeví vůbec, což platí zpravidla u refrakčních vad nad -4 D. [2; 24]

Presbyopické obtíže se začínou obvykle projevovat kolem 40. roku života, kdy se akomodační rezerva sníží natolik, že nedosahuje ani polovičních hodnot potřebné akomodační šíře. Typickým příznakem je oddálení blízkého bodu akomodace směrem od oka, kdy pacient přestává vidět ostře na pracovní vzdálenost. Dále je charakteristický pokles vízu do blízka při nedostatečném osvětlení, kdy pacient vyhledává dostatečně intenzivní osvětlení, které mu navodí miózu. Presbyopové si při čtení dávají text dále od očí, proto se potíže často dostaví, až když pacientům nestačí délka jejich ruky. Neschopnost zaostřit na krátkou vzdálenost se mnohdy projeví u běžně prováděných činností jako je například neschopnost navléct nit do jehly. [1; 7; 24; 37]

Zvýšené akomodační úsilí a dilatace zornice vlivem nižšího osvětlení způsobují stupňování potíží během celého dne. Neustálá akomodační námaha může také způsobit akomodační spazmus, který se projeví jako zamlžené vidění do dálky při přestřování z blízkého objektu na objekt vzdálený. Při spojení problémů excessu akomodace a konvergence, může nastat přechodná diplopie. Obecně mezi primární problémy patří vizuální potíže, ale při neřešení těchto problémů později nastává pocit unavených očí, bolest hlavy, bolest očí a celková únava. [7; 24]

Při korekci presbyopie se snažíme předepsat takovou korekci, která posílí refrakční soustavu oka a tím zajistí dostatečnou akomodační rezervu tak, aby při pohledu do blízka byla zachovaná aspoň polovina akomodační šíře. Z teoretického hlediska bychom měli zjistit blízký bod akomodace a vypočítat refrakční šíři a určit optickou mohutnost, která odpovídá určené pracovní vzdálenosti. Z celkové optické mohutnosti bychom odečtením poloviny akomodační šíře získali správnou hodnotu korekční brýlové čočky. V praxi se korekce presbyopie výrazně liší od teoretických výpočtů. Zpravidla stačí stanovit statickou refrakci, určit pohodlnou pracovní nebo čtecí vzdálenost individuální pro každého pacienta a započítat vliv věku. [2; 7]

Korekce presbyopie musí být prováděna individuálně, aby nedošlo k porušení souhry akomodace a konvergence. Při korekci na blízko se využívá adice. Značí se zkratkou add a je definována jako plusový přídavek na blízko viz obrázek 4.2. Adice se stanovuje na základě tabulky, která zahrnuje hodnoty adice v závislosti na věku pacienta viz tabulka 3.1 v kapitole akomodační šíře. Tato tabulka je pouze odhadová, proto je vždy nezbytné provést subjektivní vyšetření pacienta. V posledních letech se nabízí i možnost chirurgické léčby presbyopie za pomoci laserové operace, implantace multifokálních a akomodativních typů nitroočních čoček a SRP (Surgical Reversal of Presbyopia). [7; 24]



Obrázek 4.2: Princip korekce presbyopie [38]

## 4.2 Patologické změny akomodace

### 4.2.1 Akomodační exces

Akomodační exces můžeme jinými slovy vyjádřit jako akomodační přebytek. Jedná se o stav, při kterém má pacient potíže se všemi úkony, které vyžadují uvolnění akomodace. Při pojmenování tohoto stavu dochází k zaměňování významu a k používání slovních spojení jako například ciliární křeč, akomodační křeč, křeč blízkého reflexu a pseudomyopie. Výše uvedený popis a většina studií považují definici akomodační křeče za příliš omezující. Akomodační křeč nebo křeč blízkého reflexu je definovaná spíše jako těžká forma akomodačního excesu a samotný akomodační exces je spíše mírnější stav, který se popisuje právě jako akomodační nadbytek. [39; 40]

Vědci Rutstein, Daum a Amos vedli výzkum na své klinice po dobu čtyř let. Mezi pacienty na celé klinice diagnostikovali akomodační exces pouze u 17 pacientů, proto dospěli k závěru, že se tento stav v populaci vyskytuje vzácně. Na základě svých zkušeností akomodační přebytek definovali jako stav, ve kterém akomodační odpověď převyšuje akomodační stimul. Z jejich výzkumu bylo patrné, že ve své práci popisují spíše akomodační křeč. Naopak v pozdějším výzkumu podle restriktivní definice se Scheiman a kolektiv zabývali mírnější

formou akomodačního přebytku a zjistili, že se akomodační exces vyskytuje v populaci častěji, než se uvádělo dříve. Diagnóza spočívala v získávání dat měřením akomodační amplitudy, NRA a PRA, MEM retinoskopie. [39]

U akomodačního excesu mají pacienti tendenci soustředit svoji akomodaci blíže než na pozorovaný předmět například na čtenou stránku. To znamená, že jednotlivec bude zaostřovat knihu blíže, než ve skutečnosti je. Akomodační přebytek snižuje vizuální výdrž a může ovlivnit binokulární vidění. Nadměrná akomodace bývá často přítomná při dlouhodobé práci na blízko. Toto riziko se zpravidla zvyšuje při nedostatečném osvětlení nebo s příliš intenzivním osvětlením a při špatné korekci refrakční vady. Proto můžeme říct, že se riziko vyskytuje častěji u nadměrně pracujících osob, které mají sklony k přepracování. Mnohdy bývá přítomna u dětí ve školním věku, kdy akomodační přebytek snižuje vizuální soustředění a zpomaluje schopnost přeostrvení na daleké a blízké předměty. [2; 7; 40]

Většina příznaků je spojena se čtením nebo s jemnou prací na blízko. Mezi běžné symptomy patří rozmazané vidění, únava očí, bolest hlavy a fotofobie. Pacienti mají často potíže se soustředit na text při čtení, kdy může být přítomna i diplopie obrazu. V některých případech může být příznak rozmazaného vidění spojen s úkony na blízko i na dálku. Pacienti mají problémy s přeostrváváním na různě vzdálené předměty například u studenta při pohledu na tabuli a při zpětném zaostření do sešitu nebo na počítač, dále u sledování televize nebo řízení dopravního prostředku. Rozmazané vidění spojené s akomodačním přebytkem je často variabilní v průběhu celého dne, ale zpravidla dochází ke zhoršení k večeru. [39; 40]

Léčba spočívá v podání cykloplegik, které potlačují funkci ciliárního svalu řasnatého tělíska a tím inhibují akomodaci. Dále je důležitá správná korekce refrakční vady a poučení pacienta o optimalizaci pracovního prostředí při práci na blízko. [2]

#### **4.2.2 Spasmus akomodace**

Spasmus akomodace neboli křeč akomodace je vzácný stav charakterizovaný náhlým a trvalým vývojem nadměrné krátkozrakosti bez jakéhokoli akomodačního stimulu. Křeč akomodace způsobuje vysokou pseudomyopii s hodnotami až 10 D, jedná se akomodační neúčelnou reakci, která způsobuje myopizaci oka, blízký bod se posune směrem k bulbu a zhorší se zrak do dálky. Je často spojována s miózou a nadměrnou konvergencí, jinými slovy se označuje jako křeč blízkého reflexu. [41; 42; 43]

Oči při akomodační křeči neustále zaostřují na blízké předměty, proto nejčastěji k tomuto stavu dochází například po čtení. Při čtení se oko zaměřuje na text v blízkosti obličej. Po

ukončení této činnosti by oko při pohledu do dálky mělo přestat zaostřovat, ale při akomodačním spasmu oko stále udržuje oční čočku v akomodovaném stavu a tím způsobuje akomodační křeč. Výsledkem je rozmazané vidění na jiné vzdálenosti než při pohledu do blízka. [44]

Etiologie není přesně stanovena, ale obvykle má funkční původ například při čtení z velmi blízké vzdálenosti. Dále může být tento stav přičítán psychogenním faktorům vyvolanými úzkostí, depresí a emoční nestabilitě. Také byly popsány organické příčiny související s nemocemi neurologického systému ovlivňující mozkový kmen, jedná se o roztroušenou sklerózu, metabolická encefalopatie nebo úrazy hlavy. Příčinou mohou být ale také intoxikace, fokální infekce, iridocyklitida a určité druhy léků léky s vlivem na nervový systém. [24; 42; 43]

Mezi typické příznaky spasmu akomodace patří makropsie. To znamená, že pozorované předměty se zdají být větší, než ve skutečnosti jsou. Makropsie se projevuje vlivem malého akomodačního úsilí pro ostré vidění blízkých předmětů a způsobuje klamné představy o velikosti pozorovaných objektů. U akomodační křeče bývají často přítomné i jiné potíže jako exces akomodace, exces konvergence, mióza a trias. Mezi další typické klinické příznaky patří rozmazané vidění do dálky, bolest hlavy ve frontálním úseku, fotofobie a diplopie. [24]

V některých případech jako například u krátkodobé nebo u arteficiální křeče akomodace není nutná žádná léčba, protože křeč se může spontánně zlepšit. Ve zbylých případech bývá řešením správná korekce refrakční vady oka, atropinizace (terapie intoxikace) po dobu 4 i více dnů a zrakový trénink. Důležitá je také kontrola celkového zdravotního stavu pacienta. [2; 44]

### 4.2.3 Insuficience akomodace

Akomodační insuficience se také označuje jako akomodační nedostatečnost. Jedná se o stav, při kterém má pacient potíže se stimulací akomodace, což bývá způsobeno nedostatečnou činností ciliárního svalu. Dále je charakterizována jako anomálie zrakového systému, která je definovaná jako neschopnost zaostřit nebo udržet zaostření na blízko. Klinickým důkazem je nízká akomodační amplituda, která nedosahuje očekávaných hodnot v závislosti na věku pacienta. Ačkoliv má běžně nepatologický původ, může se vyskytovat v souvislosti s lézemi narušujícími parasympatickou cestu k ciliárnímu svalu, systémovými nemocemi, neurologickými chorobami a s jinými patologickými stavy oka. [39; 45; 46; 47]

Příznaky akomodační insuficience bývají spojeny se čtením nebo s jinou prací na blízko. Řada vědců uvádí vztah mezi akomodační nedostatečností a akademickým vývojem. Je běžné, že se děti ve školním věku setkávají s prací u stolu, s používáním počítačů, se zmenšováním

velikosti písma v učebních textech a podobně. Nadbytek této práce může mít za následek právě akomodační nedostatečnost. Mezi nejčastější symptomy patří rozmazané vidění, bolest hlavy, únava očí, dvojité vidění, problémy se čtením, celková únava, potíže se změnou zaostření z jedné vzdálenosti na druhou a citlivost na světlo. Pacienti si také mohou stěžovat na neschopnost soustředit se, ztrátu pozornosti a na pohyb textu při čtení. [39; 47]

Termínem akomodační nedostatečnost také označujeme presbyopické obtíže, které vzniknou u pacienta ještě před 40. rokem života. Klinickým příznakem jsou patologické změny na čočce nebo na ciliárním svalu. Nedostatečné akomodační úsilí bývá často doprovázeno excesem konvergence, což znamená, že konvergence je větší, než jaká by odpovídala potřebné akomodaci. [2; 7]

I malý stupeň refrakční vady může být příčinou insuficience akomodace, proto prvotním řešením je korekce refrakční vady. Předepsáním této plné korekce pacienti subjektivně často pociťují okamžitou úlevu od příznaků. Trvalá insuficience se řeší presbyopickou korekcí a za přítomnosti excesu konvergence bývá nezbytná i prizmatická korekce. Dalším řešením je zrakový trénink, kdy pacient může dosáhnout zlepšení aktivním cvičením akomodace. [2; 7]

#### 4.2.4 Obrna akomodace

Obrna akomodace se také nazývá jako paralýza akomodace. U obrny akomodace se setkáváme s prvními příznaky jako je zhoršení vízu do blízka a u hypermetropie může dojít i ke zhoršení vízu do dálky. Jinými slovy můžeme říct, že tato porucha způsobuje jistý druh hypermetropizace oka nebo neočekávaně vzniklou presbyopii, neboť blízký bod akomodace se náhle vzdálí od oka. Charakteristickým příznakem obrny akomodace je mikropsie. Pro dosažení ostrého vidění musí oko vyvinout velké akomodační úsilí, proto se pozorované objekty zdají být v bližší vzdálenosti k oku a zároveň velikostně menší, než ve skutečnosti jsou. [2; 24]

Izolovaná paralýza akomodace bez spolupostížení zornice je vzácná. Častěji bývá spojená právě s mydriázou zornic z důvodu obrny třetího hlavového nervu, pupilotonie nebo Adieho syndromu. Častou formou obrny je takzvaná farmakologická obrna, která může vzniknout působením mydriatik jako je atropin, skopolamin, homatropin a syntetických cykloplegik, které se využívají při vyšetření ve strabologii. Patologické příčiny mohou způsobit postdifterickou obrnu akomodace. Tento druh obrny zpravidla vzniká několik týdnů po onemocnění, obrna akomodace je přítomna na obou očích bez spoluúčasti zornic. Často ale bývá spojená s obrnou měkkého patra a ojediněle i s parézou dolních končetin. Při botulismu a encefalitidě může být



obrna jedním z prvních příznaků otravy nebo onemocnění a trvá několik týdnů až měsíců. Obrna akomodace může vzniknout i v ojedinělých případech při systémových onemocněních jako diabetes mellitus, myastenia gravis, oběhové poruchy a demyelinizaci, dále u infekčních onemocnění, úrazů oka a při traumatu centrálního nervového systému. [2; 41]

Při léčbě je důležité najít příčinu obrny akomodace a primárně řešit právě to, co obrnu způsobilo. Při dlouhodobém přetrvávání oka v tomto stavu se obrna řeší presbyopickou korekcí. Přidružená obrna zornic se následně řeší plastikou duhovky nebo aplikací stenopeické kontaktní čočky. [2]

## 5. Metody pro vyšetření akomodace

Klinické hodnocení akomodace závisí na několika faktorech, protože schopnost akomodace popisuje několik veličin. Mezi základní veličiny určující akomodaci patří:

- akomodační amplituda
- akomodační facilita
- relativní akomodace
- akomodační odezva [48]

### 5.1 Metody pro vyšetření akomodační šíře

#### 5.1.1 Push-up metoda

Push-up metoda se řadí mezi nejjednodušší a nejběžněji používané metody pro zjišťování akomodační amplitudy. Nazývá se také Dondersova metoda, protože ji poprvé popsal nizozemský oftalmolog Donders v roce 1864. [49; 50; 51]

U této metody je důležité nejprve pacientovi správně dokorigovat refrakční vadu při pohledu do dálky. Poté přibližujeme optotyp směrem k pacientovi do takové vzdálenosti, až se čtený text rozmlží. Rozmlžením obrazu získáme blízký bod akomodace, kdy se převrácená hodnota této vzdálenosti v metrech rovná hodnotě akomodační šíře. Získaná výsledná hodnota nám uvádí velikost akomodační amplitudy v dioptriích. Když vezmeme náhodného pacienta, kterému se pozorovaný obraz při přibližování k obličejí rozmaže ve vzdálenosti 0,2 m, hodnota jeho akomodační šíře bude rovna 5 D. [49; 50; 51]

K této metodě se často využívá nástroj zvaný RAF Rule viz obrázek 5.1. Jedná se o rutinně používaný nástroj v oftalmologii a optometrické praxi pro měření právě blízkého bodu akomodace (NPA) a blízkého bodu konvergence (NPC). [49]



Obrázek 5.1: RAF Rule [52]

Push-up metoda se může měřit jak monokulárně, tak binokulárně. Častěji se ale setkáváme s binokulárním měřením, protože při měření právě za binokulárních podmínek nám výsledná hodnota udává maximální akomodační schopnost podpořenou konvergencí. [49]

### 5.1.2 Push-down metoda

Metoda push-down se také nazývá jinými slovy jako metoda pull-away. Tuto metodu lze považovat za variantu push-up testu, protože funguje na stejném principu, ale liší se v provedení. [49; 50]

Push-down metoda se provádí s plnou korekcí refrakční vady pacienta stejně jako u metody push-up. Rozdíl je v pohybu optotypu, který je naopak umístěn v těsné blízkosti před pacientem a je pomalu oddalován směrem od obličeje. Pacient sleduje optotyp a hlásí, kdy se mu pozorovaný text poprvé zaostří. Převrácená hodnota vzdálenosti v metrech, udává hodnotu akomodační šíře v dioptriích. Metodu lze použít monokulárně pro každé oko zvlášť i binokulárně za podpory konvergence. [49; 50]

### 5.1.3 Metoda rozptylné čočky

Metoda rozptylné čočky neboli metoda minus lens se provádí zamlžením minusovou čočkou. Metodou minus lens jsou zpravidla získávány nižší naměřené hodnoty než u metody push-up. Důvodem může být subjektivní pocit pacienta. [53]

Tuto metodu můžeme použít na pacientovi, který je předem správně vykorigovaný na dálku. Optotyp je umístěn do čtecí vzdálenosti, která je průměrně stanovena ve 40 cm a pacient se soustředí na řádek s vizem 1.0 nebo nejlepší, který přečte. Dokud je pacient schopen číst text na optotypu, přidáváme minusové čočky po -0,25 D, než se čtený text rozostří. Pokud pacient nepřečte text umístěný na optotypu, jedná se zpravidla o presbyopa, přidáváme naopak plusové čočky, až se pacientovi text zaostří. [49; 50]

Akomodační amplitudu získáme výpočtem z převrácené hodnoty čtecí vzdálenosti v metrech a odečtením předsazené dioptrické čočky do rozmazání nebo zaostření obrazu.

$$AA = \frac{1}{0,4} - (\text{dosazená hodnota})$$

Příkladem může být pacient, který text ve vzdálenosti 40 cm začne číst po předsazení plusové čočky + 1 D. Akomodační šíře je pak rovna  $2,5 - (+ 1) = 1,5$  D. [54]

Pokud bereme v úvahu to, že komfortní čtení nastává při využívání maximálně 2/3 akomodační šíře, u presbyopických pacientů je nutné předepsat adici neboli plusový přírůstek na blízko. Adici stanovíme tak, že odečteme právě 2/3 akomodační amplitudy od převrácené hodnoty čtecí vzdálenosti v metrech.

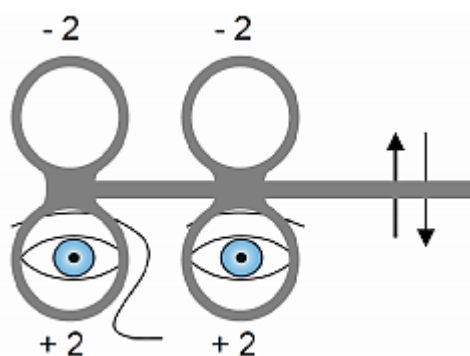
$$Add = \frac{1}{0,4} - \frac{2}{3} AA$$

Když se vrátíme k příkladu našeho pacienta s akomodační šíří 1,5 D, hodnota adice v tomto případě bude rovna  $2,5 - \frac{2}{3} * 1,5 = 1,5$  D. [54]

## 5.2 Měření akomodační facility

Akomodační facilitu můžeme jinými slovy popsat také jako akomodační pružnost, snadnost a podobně. Jedná se o schopnost oka akomodačně reagovat na sférické změny akomodačního požadavku. [48; 54]

Pacient se soustředí na čtený text optotypu, který je umístěn zpravidla ve vzdálenosti 40 cm. Předsazováním střídavě plusových a minusových čoček, nejčastěji za použití  $\pm 2$  flipru viz obrázek 5.2, se pacientovy text rozmáže a on musí znovu zaostřit. Jeden cyklus je dán doostřením obou předsazených hodnot. Hodnotí se počet cyklů, než se vidění znovu zaostří po dobu 1 min. [48; 54]

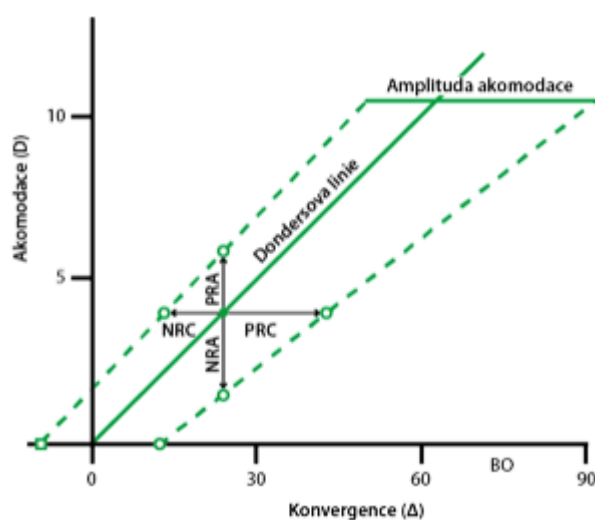


Obrázek 5.2: Flipr  $\pm 2$  D [48]

Akomodační facilitu se měří pouze u mladších pacientů, protože u presbyopů by byly výsledky neprůkazné z důvodu snížené akomodační pružnosti vlivem věku pacienta. Měření může být prováděno monokulárně i binokulárně. Normální hodnoty ve 40 cm v dospělosti se uvádí okolo 12 cpm (cykly za minutu). Hodnoty, které jsou nižší než 8 cpm, již mohou být známkou špatné akomodační facility. [48; 54]

### 5.3 Měření relativní akomodace

Relativní akomodace je definována jako celkové množství akomodace, které lze vyvinout při konvergenci na určitou vzdálenost. Říká nám, o kolik můžeme snížit nebo zvýšit akomodaci při konvergenci na danou vzdálenost, aniž by se narušilo jednoduché binokulární vidění. U relativní akomodace rozlišujeme pozitivní (PRA) a negativní (NRA) relativní akomodaci. Oba dva testy mohou pomoci s nepřímým hodnocením fúznívergence viz obrázek 5.3. Znalost jejich hodnot z průměrné populace pomáhá detekovat akomodační a vergenční poruchy. [54; 55]



Obrázek 5.3: Diagram hodnot PRA a NRA [29]

#### 5.3.1 PRA (Pozitivní relativní akomodace)

U pozitivní relativní akomodace zvyšujeme akomodační zátěž předkládáním minusových čoček a tím stimulujeme akomodaci. Jak již bylo zmíněno, k měření pozitivní relativní akomodace se předkládají rozptylky a tím zvyšujeme akomodaci. Zvýšením akomodace dochází ke zvýšení akomodační konvergence (AC), kterou kompenzuje negativní fúznívergence. V momentě, kdy se pozitivní relativní akomodace vyčerpá, dojde k rozmazání až rozdvojení obrazu. [54; 55]

Měření pozitivní relativní akomodace se provádí zpravidla u nepresbyopů na vzdálenost 40 cm. Normální stav PRA se udává mezi hodnotami  $-2,0$  až  $-3,0$  D. [54; 55]

#### 5.3.2 NRA (Negativní relativní akomodace)

U negativní relativní akomodace naopak snižujeme akomodační zátěž předsažením plusových čoček a tím uvolňujeme akomodaci. Čím více se akomodace uvolní, tím více se

uvolní i konvergence (AC), kterou kompenzuje pozitivní fúzní vergence. Zvyšováním plusové hodnoty čočky, oči více divergují, až nastane rozdvojené vidění. [54; 55]

Měření negativní relativní akomodace se opět provádí zpravidla u nepresbyopů ve vzdálenost 40 cm. Norma u NRA se uvádí okolo + 2,0 D. [54; 55]

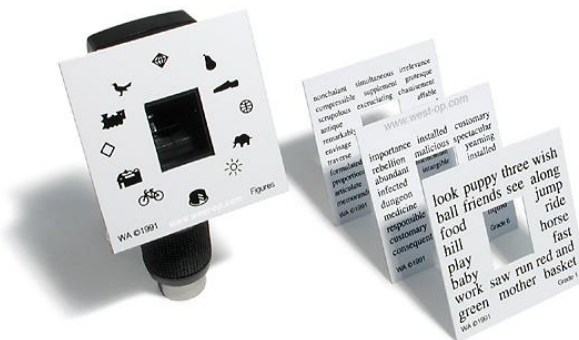
## 5.4 Měření akomodační odezvy

Akomodační odezva je reakce oka na stimul z vnějšího prostředí. Měřením akomodační odezvy se snažíme zjistit, zda je akomodace menší či větší, než bychom na danou vzdálenost očekávali. Mezi objektivní metody měření akomodační odezvy patří dynamická retinoskopie, což je skiaskopie se zapojenou akomodací. Mezi subjektivní metody patří metoda zkřížených cylindrů. [48; 56; 57]

### 5.4.1 MEM (monocular estimate method)

MEM je metoda monokulárního odhadu. Zakladatelem je Dr. Harold Haynes. Jedná se o metodu dynamické retinoskopie při zapojené akomodaci. Objektivně testuje akomodační odpověď pacienta na krátkou pracovní vzdálenost obvykle 40 cm. Tato metoda je důležitá při diagnostice binokulárních anomálií nebo při predikci podezření na případy vergence a nebo akomodační dysfunkce. Test se doporučuje používat u dospělých jedinců v mladším věku mimo presbyopy a zejména pak u pacientů, kteří mají potíže jako astenopie, diplopie, rozmazané vidění a podezření na akomodační problémy (latentní hypermetropie, akomodační křeč a jiné). [48; 56; 57]

Při vyšetření je test umístěn do vzdálenosti 40 cm a pacient sleduje obrazovku binokulárně. U dětí se často používá takzvaná Harmonova vzdálenost (vzdálenost od loktu k zápěstí). Zkouška se provádí za normálního osvětlení místnosti a pacient je buď vykorigovaný na dálku, na blízko nebo je bez korekce. Čtený optotyp je umístěn přímo na retinoskopu viz obrázek 5.4. Pacient čte písmena na optotypu. Vyšetřující použije retinoskop s nastaveným vertikálním proužkem světla a snaží se nalézt souhlasný pohyb červeného reflexu oka. S použitím spojných čoček hledáme bod neutralizace ve vertikálním meridiánu a poté i v horizontálním meridiánu. [57; 58]



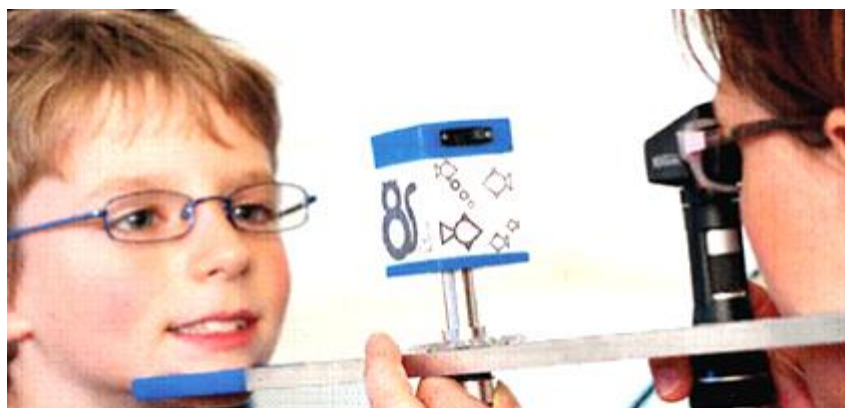
**Obrázek 5.4:** Retinoskop s optotypem [59]

Normální hodnoty MEM retinoskopie se udávají  $+0,5$  až  $+0,75$  D. U hodnot menších než  $+0,5$  D (kladných i záporných) se může vyskytovat akomodační spasmus. Naopak u hodnot vyšších než  $+0,75$  D (pouze kladných) mluvíme o akomodační insuficienci. [57; 58]

### 5.4.2 Nottova metoda

Jedná se o objektivní metodu dynamické retinoskopie. Tuto metodu vynalezl I. S. Nott v roce 1920. Princip je téměř totožný s MEM retinoskopií. [56; 58]

Pacient vidí cíl binokulárně. Vedle pozorovaného optotypu je umístěn Retinoskop, kterým pozorujeme pohyb reflexu. Na rozdíl od MEM retinoskopie a použití korekčních brýlových čoček se s retinoskopem a optotypem pohybuje dopředu a dozadu viz obrázek 5.5, dokud nedosáhneme bodu neutralizace. Vzdálenosti mezi neutrálním bodem a pozorovaným optotypem je převedena na dioptrie. Rozdíl při vergenci na optotyp umístěný ve 40 cm se rovná  $+2,5$  D a retinoskopu v 50 cm se rovná  $+2$  D, což odpovídá akomodačnímu nedostatku  $+0,5$  D. [56; 58]



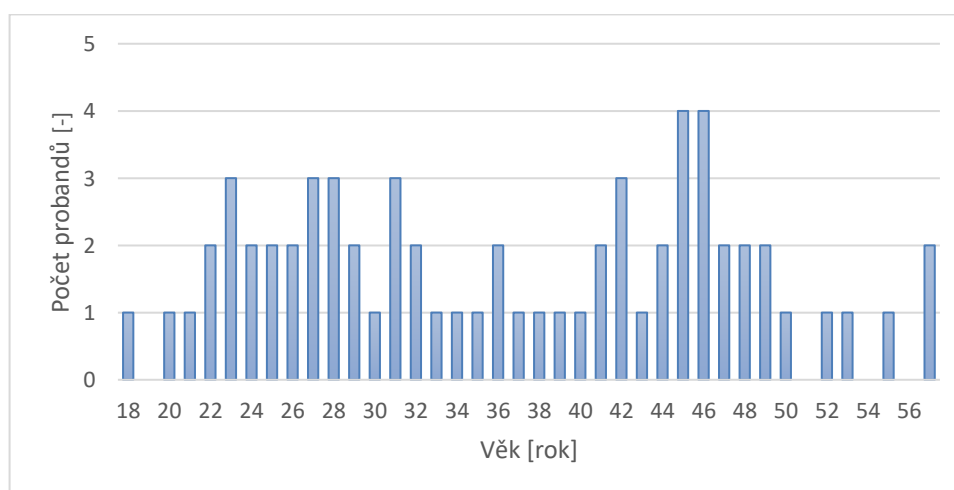
**Obrázek 5.5:** Nottova retinoskopie [56]

## 6. Experimentální část

### 6.1 Úvod do problematiky

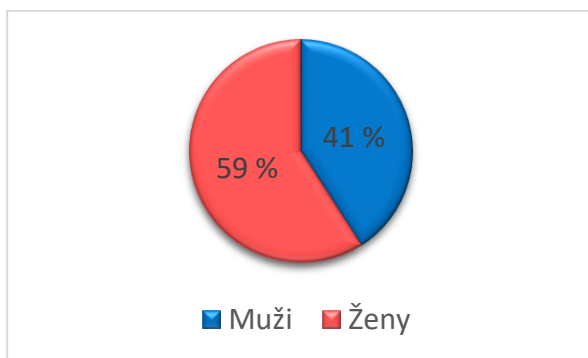
Schopnost akomodace oka patří mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňují kvalitu vidění. Tato práce se snaží akomodaci vyjádřit pomocí akomodační šíře. Praktická experimentální část této práce je zaměřena na samostatném měření akomodační amplitudy aplikované na pacientech, vyhodnocení hodnot a porovnání výsledků s předešlými výzkumy zabývajícími se touto tematikou. K naměření dat akomodační šíře jsem použila metodu push-up, kdy princip aplikace je podrobně popsán v teoretické části práce. Výzkum jsem prováděla na pracovišti GrandOptical v Jihlavě od prosince roku 2020 až března roku 2021.

Do výzkumu akomodační šíře jsem zahrnula reprezentativní vzorek 66 pacientů v rozmezí věku od 17 do 57 let viz obrázek 6.1, z nichž bylo 39 žen a 27 mužů viz obrázek 6.2, dále pak 23 hypermetropů a 43 myopů viz obrázek 6.3. Výsledky jsem zaznamenala na základě subjektivního pocitu pacientů, kdy sám pacient určil hranici, kdy se písmena na optotypu rozmazou. Z průměrných naměřených hodnot blízkého bodu jsem vypočítala velikost akomodační amplitudy. V této práci se snažím potvrdit závislost akomodační šíře na věku pacienta, kdy se s věkem akomodační amplituda snižuje a blízký bod se od oka vzdaluje, proto u starších lidí nad 50 let je obtížné měřit blízký bod a hodnota AA může být změřena s většími odchylkami. Proto se snažím u presbyopických pacientů závislost s věkem vyjádřit velikostí naměřené adice.

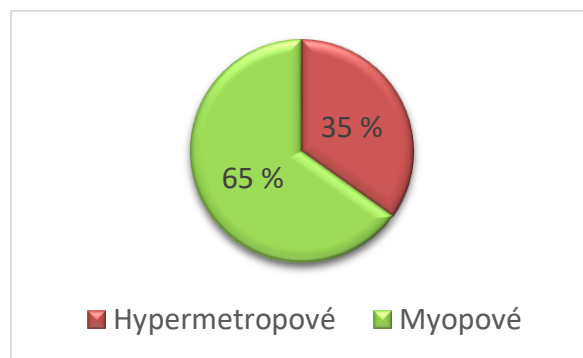


**Obrázek 6.1:** Četnost zastoupení věkových kategorií u AA



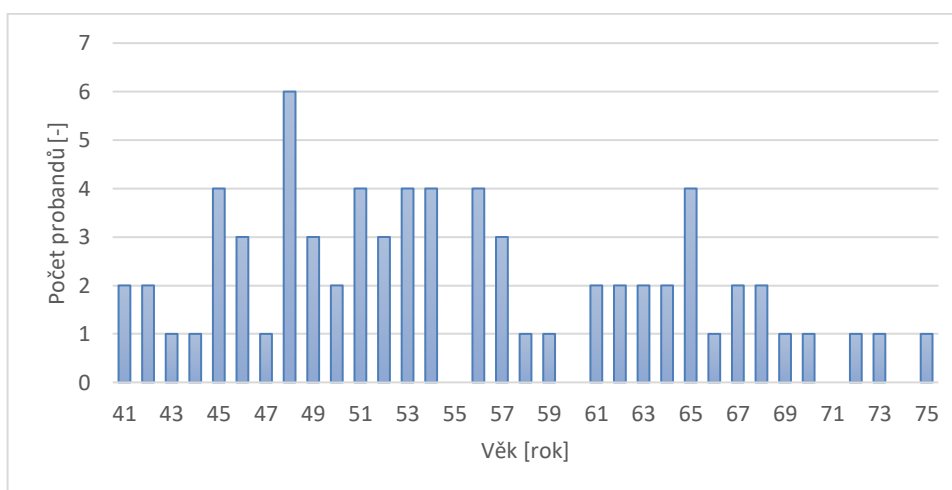


Obrázek 6.2: Četnost pohlaví u AA

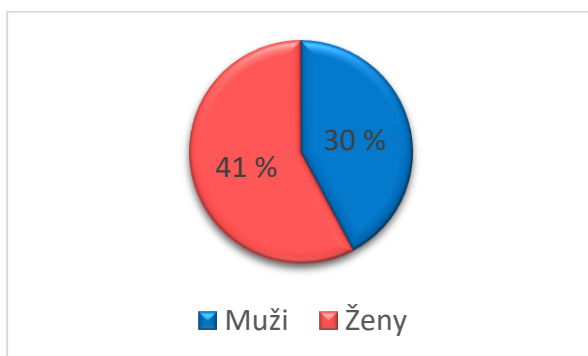


Obrázek 6.3: Četnost refrakčních vad u AA

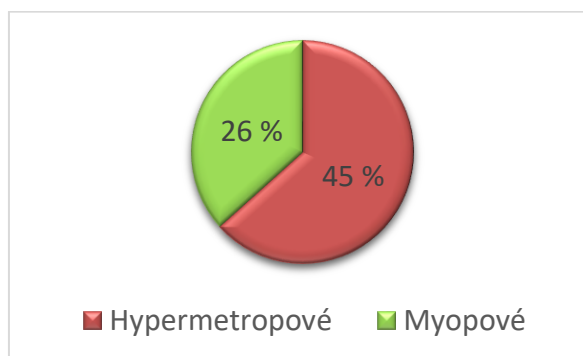
Druhá část výzkumu s hodnotami adice zahrnuje výsledky získané od 71 pacientů v rozmezí věku od 41 do 75 let viz obrázek, z nichž bylo 22 žen a 17 mužů, dále pak 35 hypermetropů a 15 myopů. Výsledky jsem zaznamenala při vyšetření pacientů na optotypu do blízka, kdy pacienti byli schopni přečíst pohodlně nejmenší řádek s vizem 1.0. V tomto případě kladu důraz na závislost naměřených hodnot s věkem pacienta a snažím se taktéž potvrdit tuto závislost.



Obrázek 6.4: Četnost zastoupení věkových kategorií u Add



Obrázek 6.5: Četnost pohlaví u Add



Obrázek 6.6: Četnost refrakčních vad u Add

Původním záměrem práce pro získání co nejpřesnějších dat výzkumu bylo zpracování výsledků od co největšího počtu pacientů vzhledem k zaměření širokého spektra lidí v rámci věkové kategorie. Z důvodu zvláštních vládních opatření proti šíření onemocnění Covid 19 se podařilo získat pouze hodnoty od 66 pacientů pro výpočet akomodační amplitudy a od 71 pacientů naměřené adice.

## 6.2 Cíle a pracovní hypotézy

Cílem praktické části bakalářské práce je stanovení akomodační šíře z naměřených hodnot blízkého bodu ve zvoleném rozsahu populace. Blízký bod akomodace je měřen předem zvolenou push-up metodou. Výsledky akomodační amplitudy budou dále porovnány s věkem pacienta a s předešlými výzkumy zabývající se touto tematikou. Dále se práce bude zabývat velikostí naměřené adice u presbyopických pacientů a zhodnocení její závislosti taktéž na věku pacienta. Výsledky naměřených hodnot akomodační šíře i adice budou porovnány za pomoci přehledných tabulek a grafů.

Z předem určených cílů byly stanoveny tyto hypotézy:

H1: Akomodační šíře je závislá na věku pacienta.

H2: Velikost adice je závislá na věku pacienta.

## 6.3 Metodika výzkumu

V první části výzkumu jsem zjišťovala akomodační šíři u jednotlivých probandů. Pro získání hodnot jsem měřila velikost blízkého bodu akomodace předem vybranou push-up metodou. Od pacienta jsem získala anamnézu a poté stanovila optimální korekci. Korekci na dálku jsem ponechala v brýlové obrubě a použila k vyšetření blízkého bodu metodu push-up.

Celé měření probíhalo za binokulárních podmínek. Každý pacient byl podrobně informován o průběhu metody, která spočívá v přibližování textu na optotypu směrem k obličejí, kdy pacient podle svého subjektivního pocitu zastaví optotyp ve vzdálenosti, ve které se mu čtený text rozmaže. Následně jsem vzdálenost změřila od vnějšího koutku oka k optotypu, kdy změřená vzdálenost odpovídá blízkému bodu akomodace daného jedince.

Metoda push-up je založena na subjektivním pocitu pacienta, kdy se mu daný text rozmaže. Proto jsem k dosažení přesnějších hodnot opakovala měření třikrát a konečný výsledek jsem zjistila z jejich průměru. Velikost akomodační šíře jsem získala z teoretického výpočtu převrácenou hodnotou NPA v metrech. Vše jsem zaznamenala do tabulky číslo 6.1.

**Tabulka 6.1:** Naměřené hodnoty NPC a vypočtené AA

	Věk [rok]	Naměřené hodnoty NPA [cm]			NPA [cm]	AA [D]
		1.	2.	3.	Ø	
1.	17	9,5	10,0	9,5	9,67	10,34
2.	18	10,0	10,0	10,0	10,00	10,00
3.	20	9,5	10,0	10,5	10,00	10,00
4.	21	10,0	10,5	10,0	10,17	9,84
5.	22	10,0	10,0	10,0	10,00	10,00
6.	22	9,5	10,0	10,0	9,83	10,17
7.	23	11,0	11,5	11,0	11,17	8,96
8.	23	10,0	11,0	11,5	10,83	9,23
9.	23	12,0	11,0	11,0	11,33	8,82
10.	24	10,5	11,0	11,0	10,83	9,23
11.	24	11,0	11,0	11,0	11,00	9,09
12.	25	12,0	11,5	12,0	11,83	8,45
13.	25	12,0	12,0	12,5	12,17	8,22
14.	26	12,0	12,5	12,5	12,33	8,11
15.	26	12,0	12,0	12,0	12,00	8,33
16.	27	12,0	13,0	12,5	12,50	8,00
17.	27	13,0	13,5	13,5	13,33	7,50
18.	27	14,0	13,5	13,0	13,50	7,41
19.	28	13,0	14,0	13,5	13,50	7,41
20.	28	14,0	14,5	14,0	14,17	7,06
21.	28	14,0	14,5	14,0	14,17	7,06
22.	29	12,0	13,0	13,0	12,67	7,89
23.	29	15,0	14,0	14,0	14,33	6,98
24.	30	13,5	14,0	14,0	13,83	7,23
25.	31	14,5	15,0	14,5	14,67	6,82
26.	31	15,0	14,0	15,5	14,83	6,74
27.	31	15,0	15,5	15,0	15,17	6,59
28.	32	14,0	14,5	14,5	14,33	6,98
29.	32	17,0	17,5	17,0	17,17	5,83
30.	33	18,0	19,0	18,0	18,33	5,45
31.	34	17,0	18,0	18,0	17,67	5,66
32.	35	16,0	17,0	16,5	16,50	6,06
33.	36	17,0	16,5	17,0	16,83	5,94
34.	36	18,0	18,5	18,5	18,33	5,45
35.	37	18,0	19,0	18,5	18,50	5,41
36.	38	18,0	19,0	19,0	18,67	5,36
37.	39	21,0	21,5	22,0	21,50	4,65
38.	40	22,0	22,5	22,5	22,33	4,48
39.	41	23,0	22,0	23,0	22,67	4,41
40.	41	24,0	23,5	24,5	24,00	4,17
41.	42	24,0	25,0	25,0	24,67	4,05

42.	<b>42</b>	24,0	24,5	25,0	24,50	<b>4,08</b>
43.	<b>42</b>	24,5	24,5	24,0	24,33	<b>4,11</b>
44.	<b>43</b>	23,0	22,0	22,0	22,33	<b>4,48</b>
45.	<b>44</b>	22,0	21,0	23,0	22,00	<b>4,55</b>
46.	<b>44</b>	29,0	29,5	29,5	29,33	<b>3,41</b>
47.	<b>45</b>	30,0	32,0	32,0	31,33	<b>3,19</b>
48.	<b>45</b>	28,0	29,0	28,0	28,33	<b>3,53</b>
49.	<b>45</b>	26,0	26,5	27,0	26,50	<b>3,77</b>
50.	<b>45</b>	25,0	24,0	25,0	24,67	<b>4,05</b>
51.	<b>46</b>	30,0	30,5	30,0	30,17	<b>3,31</b>
52.	<b>46</b>	30,5	30,0	30,5	30,33	<b>3,30</b>
53.	<b>46</b>	31,0	30,5	31,0	30,83	<b>3,24</b>
54.	<b>46</b>	30,0	31,0	30,0	30,33	<b>3,30</b>
55.	<b>47</b>	31,0	32,0	32,0	31,67	<b>3,16</b>
56.	<b>47</b>	45,0	46,0	46,0	45,67	<b>2,19</b>
57.	<b>48</b>	30,0	31,0	31,0	30,67	<b>3,26</b>
58.	<b>48</b>	36,0	36,0	36,0	36,00	<b>2,78</b>
59.	<b>49</b>	40,0	41,0	40,0	40,33	<b>2,48</b>
60.	<b>49</b>	41,0	41,5	41,0	41,17	<b>2,43</b>
61.	<b>50</b>	42,0	42,0	42,0	42,00	<b>2,38</b>
62.	<b>52</b>	42,0	43,0	42,5	42,50	<b>2,35</b>
63.	<b>53</b>	43,0	44,0	43,5	43,50	<b>2,30</b>
64.	<b>55</b>	58,0	57,0	59,0	58,00	<b>1,72</b>
65.	<b>57</b>	97,0	100,0	98,0	98,33	<b>1,02</b>
66.	<b>57</b>	99,0	102,0	100,0	100,33	<b>1,00</b>

U pacientů ve věku 55 let a výš jsem s měřením začala mít problém v tom, že presbyopům často nestačila vzdálenost jeho ruky na přibližování optotypu. Tito pacienti subjektivně hůře rozeznávali vzdálenost, ve které se text rozmaže popřípadě, kdy je ostrý. Z tohoto důvodu u těchto lidí, musíme počítat s určitou odchylkou v přesnosti měření. Proto se také snažím ve druhé fázi výzkumu měřit u presbyopických pacientů adici, kdy by opět měla platit závislost na věku pacienta.

V druhé části výzkumu jsem zjišťovala velikost adice u jednotlivých pacientů. Jedná se o presbyopické pacienty, kteří mají problém zaostřit na blízké předměty, a kteří tento nekomfort pocítují zejména u čtení nebo při práci do blízka. Nejprve jsem opět začala zjišťováním anamnézy pacienta, poté jsem přešla na samotné měření. Před vyšetřením do blízka jsem každého pacienta vykorigovala do dálky dosazením vhodných dioptrií. Dále jsem každému probandovi dala do ruky optotyp do blízka do vzdálenosti 40 cm. Předsazováním plusových dioptrií jsem pokračovala do té doby, než pacient přečetl nejlepší řádek s vizem 1.0. Důležitá

informace pro mě byla, že pacient tento nejmenší řádek četl ostře a hlavně pohodlně. Hodnotu adice jsem si poznamenala do tabulky číslo 6.2.

**Tabulka 6.2:** Naměřené hodnoty Adice

	Věk [rok]	Add [D]
1.	41	0,75
2.	41	0,75
3.	42	0,75
4.	42	0,75
5.	43	0,75
6.	44	0,75
7.	45	1,00
8.	45	1,00
9.	45	1,25
10.	45	1,25
11.	46	1,00
12.	46	1,25
13.	46	1,25
14.	47	1,00
15.	48	1,25
16.	48	1,25
17.	48	1,25
18.	48	1,50
19.	48	1,50
20.	48	1,50
21.	49	1,50
22.	49	1,75
23.	49	1,75
24.	50	1,50

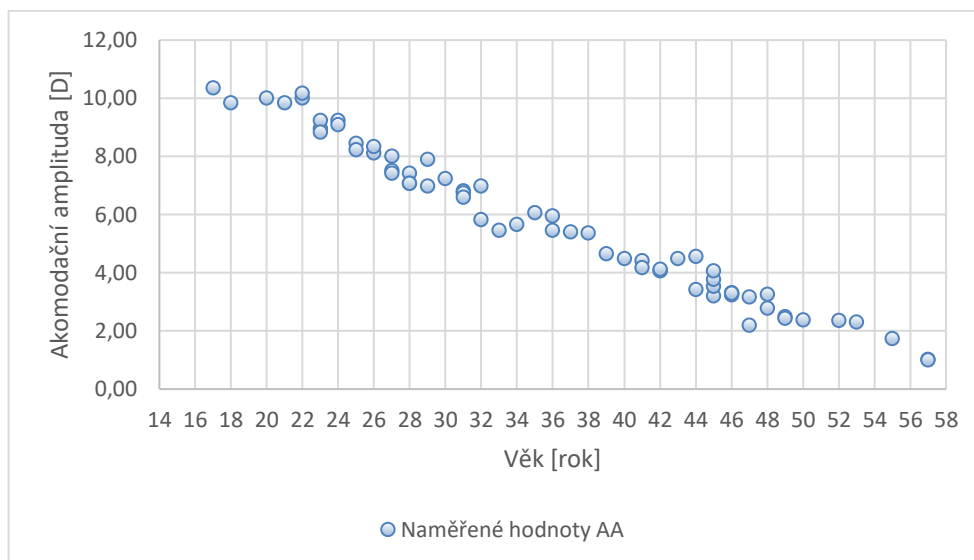
	Věk [rok]	Add [D]
25.	50	1,75
26.	51	1,50
27.	51	1,75
28.	51	1,75
29.	51	1,75
30.	52	1,75
31.	52	2,00
32.	52	2,00
33.	53	1,75
34.	53	1,75
35.	53	2,00
36.	53	2,00
37.	54	1,75
38.	54	1,75
39.	54	2,00
40.	54	2,00
41.	56	2,00
42.	56	2,00
43.	56	2,25
44.	56	2,25
45.	57	2,00
46.	57	2,25
47.	57	2,25
48.	58	2,25

	Věk [rok]	Add [D]
49.	59	2,50
50.	61	2,50
51.	61	2,50
52.	62	2,25
53.	62	2,50
54.	63	2,25
55.	63	2,50
56.	64	2,50
57.	64	2,50
58.	65	2,50
59.	65	2,50
60.	65	2,50
61.	65	2,50
62.	66	2,75
63.	67	2,50
64.	67	2,75
65.	68	2,75
66.	68	2,75
67.	69	2,75
68.	70	3,00
69.	72	3,00
70.	73	3,00
71.	75	3,25

## 6.4 Výsledky

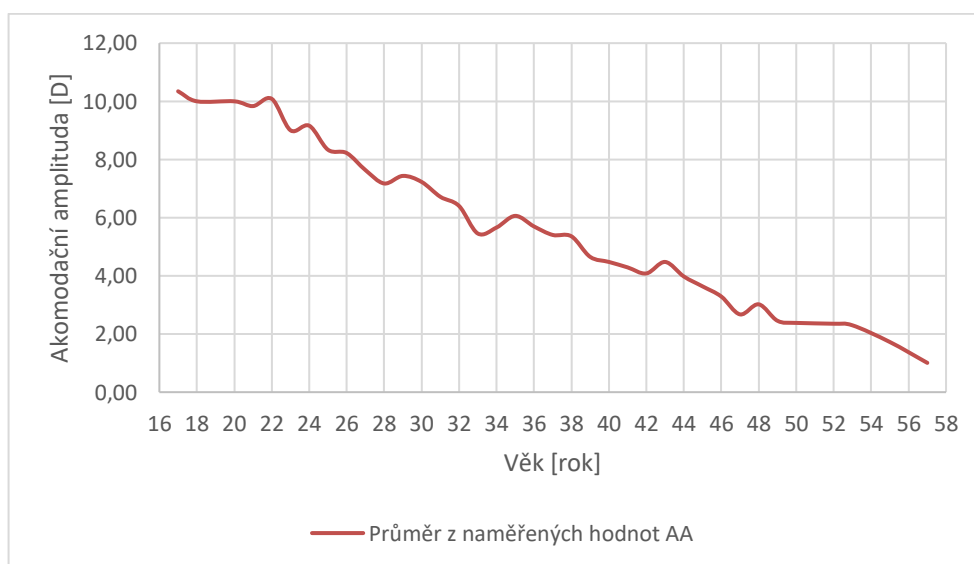
### 6.4.1 Výsledky závislosti akomodační šíře na věku

Z tabulky číslo 6.1 jsem tři naměřené hodnoty blízkého bodu akomodace u každého pacienta zprůměrovala a zjistila výslednou hodnotu NPA. Díky teoretickému vzorci převrácené hodnoty NPA jsem získala potřebnou hodnotu akomodační šíře. Pokud porovnáme velikost akomodační amplitudy a věk u každého pacienta získáme grafické znázornění viz obrázek 6.7 a na obrázku 6.8 je znázorněna křivka získaná z průměrných hodnot AA.



**Obrázek 6.7:** Naměřená data akomodační šíře

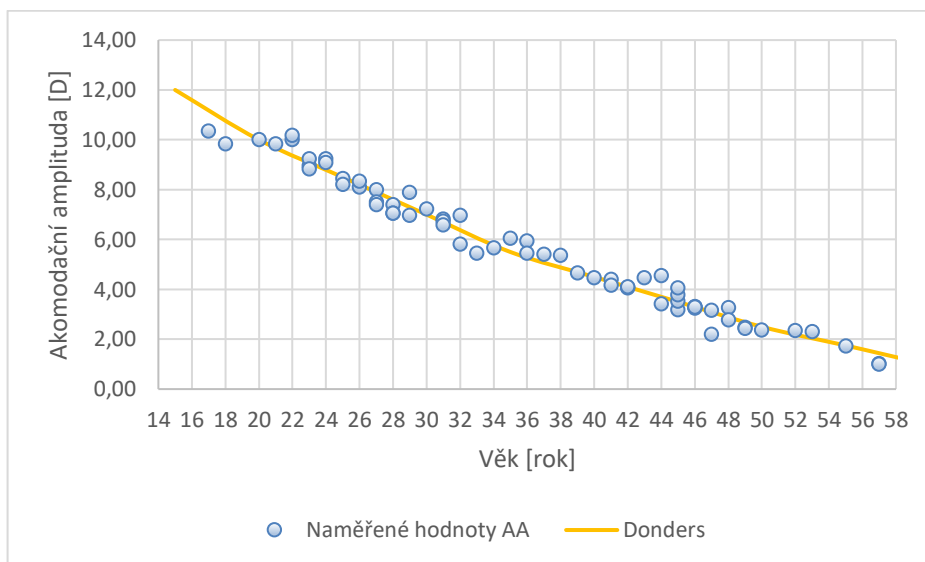
Při zprůměrování získaných dat jsem dostala jednu výslednou křivku viz obrázek 6.8. Z této křivky je již teď možné vidět jakousi závislost akomodační šíře na věku pacienta, kdy velikost AA se s věkem snižuje. Datová křivka v tomto případě nepředstavuje hladkou čáru, ale kostrbatou křivku. Pro tyto odchylky měření musíme brát v úvahu četnost měření pro určitou věkovou kategorii a chybu měření ovlivněnou přesností měření a subjektivní pocit bodu rozostření každého pacienta.



**Obrázek 6.8:** Křivka průměru z naměřených hodnot AA

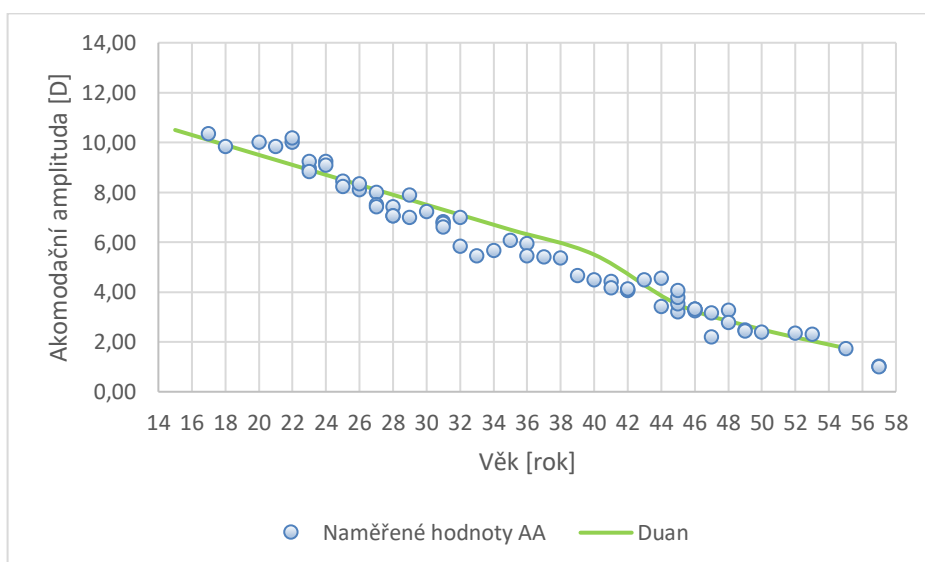
Existuje několik dalších studií zabývajících se podobnou nebo dokonce stejnou problematikou. Pokles akomodační šíře s věkem byl velmi dobře zdokumentován už Dondersem roku 1864 a Duanem roku 1912, oba dva ve svých studiích uvedli, že dochází ke snížení akomodační amplitudy přibližně o 0,3 D za rok. [39]

Tabulky hodnot AA v závislosti s věkem podle Donderse a Duana jsem popsala v teoretické části této práce. Jako první jsem porovнала mnou naměřené hodnoty akomodační šíře s výzkumem dle Donderse. Výsledek porovnání je zřejmý z grafického vyjádření viz obrázek 6.9. Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty se pohybují okolo Dondersovy křivky, z čehož je patrná podobnost s touto teorií.



**Obrázek 6.9:** Závislost podle Donderse

Při porovnání naměřených dat s teorií podle Duana viz obrázek 6.10, očekávané výsledky nejsou tak přesné jako u výzkumu Donderse. Naměřená akomodační šíře také kopíruje směr Duanovy křivky, ale s trochu většími odchylkami než u předešlé teorie. Stále ale můžeme z grafického znázornění shledat určitou podobnost v závislosti s věkem.



**Obrázek 6.10:** Závislost podle Duana

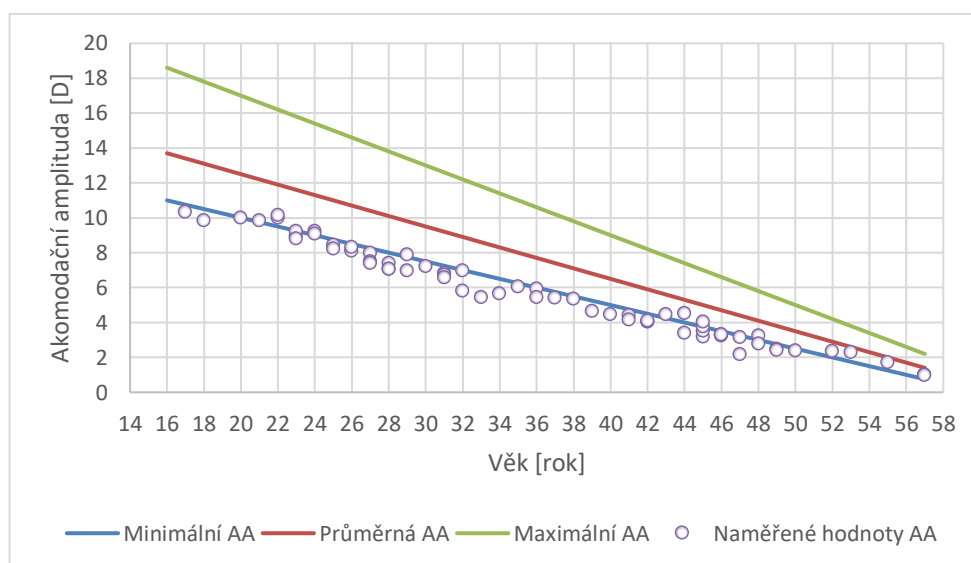
Dále pak Hofstetter roku 1988 sestavil tři rovnice, podle nichž se dá vypočítat minimum, maximum a průměr očekávané akomodační amplitudy pro daný věk:

$$\text{Minimum} = 15 - 0,25 \times \text{věk (v letech)}$$

$$\text{Průměr} = 18,5 - 0,3 \times \text{věk}$$

$$\text{Maximum} = 25 - 0,4 \times \text{věk [39]}$$

Tyto rovnice jsou hodně teoretické a dají se využít spíše jen orientačně. Po dosažení věku do jednotlivých vzorců jsem získala 3 hodnoty v podobě minima, průměru a maxima AA u každé hodnoty věku. Spojením těchto dat jsem vytvořila graf viz obrázek 6.11. Při porovnání s naměřenými hodnotami jsem zjistila podobnost s křivkou odpovídající minimu velikosti akomodační šíře. Téměř žádné mnou naměřené hodnot se neblíží průměru a už vůbec ne maximum závislosti dle Hofstettera. Přesto lze z grafu vyčíst podobnost se závislostí na věku.

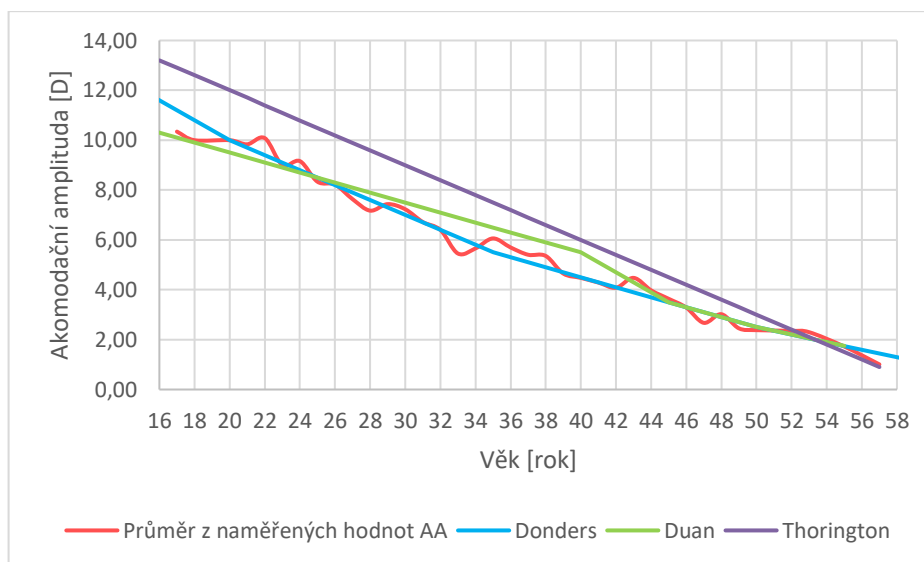


**Obrázek 6.11:** Závislost podle Hofstettera

Při porovnání všech tří studií jsem nejbližší podobnost shledala u výzkumu Donderse, kdy většina hodnot odpovídala teoretickým poznatkům Dondersovy teorie. U výzkumu závislosti dle Duana byl průběh hodnot také celkem odpovídající Duanově křivce, avšak viditelná odchylka byla o trochu větší než v případě předchozí studie. Při porovnání třetí teorie dle Hofstettera byla odchylka naměřených hodnot největší v porovnání s průměrnými hodnotami velikosti akomodační amplitudy, protože naměřená data se shodovala spíše s daty odpovídající minimu získaného výpočtem. U všech tří výzkumů je ale patrné, že i přes rozdíly jednotlivých hodnot AA, datová křivka vždy klesá s věkem pacienta. Toto tvrzení je patrné i z naměřených



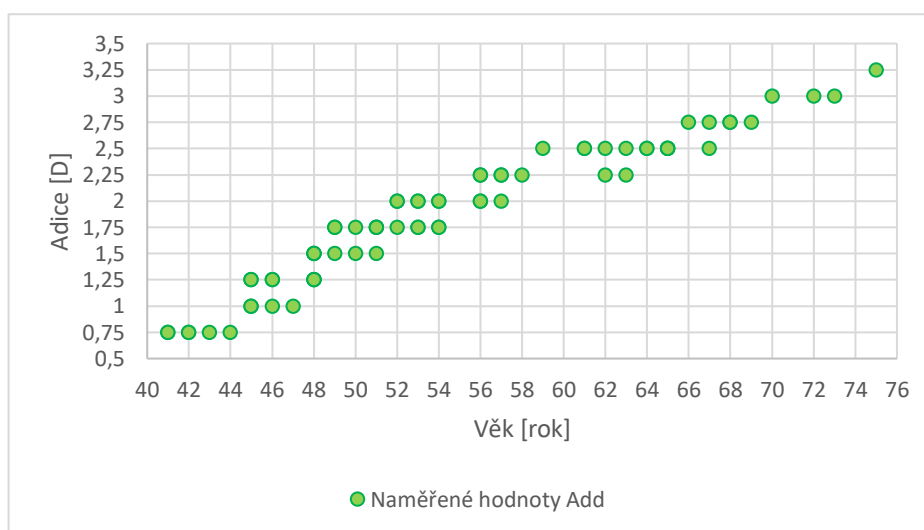
hodnot této práce viz obrázek 6.12, na kterém jsem porovнала podobnost všech studií dle Dondersa, Duana, Hofstetra a včetně té mé.



Obrázek 6.12: Porovnání výzkumů závislosti

#### 6.4.2 Výsledky závislosti adice na věku

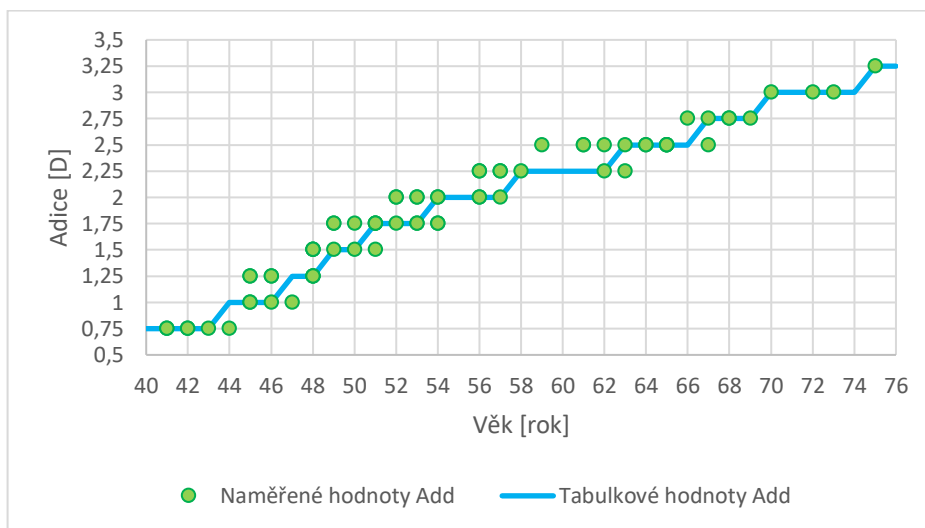
V tabulce 6.2 jsou zaznamenány hodnoty, které jsem naměřila u pacientů v různém věku od 40 let a výš. Pro lepší orientaci jsem získaná data zaznamenala v grafickém obrázku 6.13 v souvislosti s věkem jednotlivých pacientů. Na grafu již teď můžeme vidět určitou závislost velikosti adice na věku pacienta, kdy adice se věkem zvyšuje.



Obrázek 6.13: Naměřená data adice

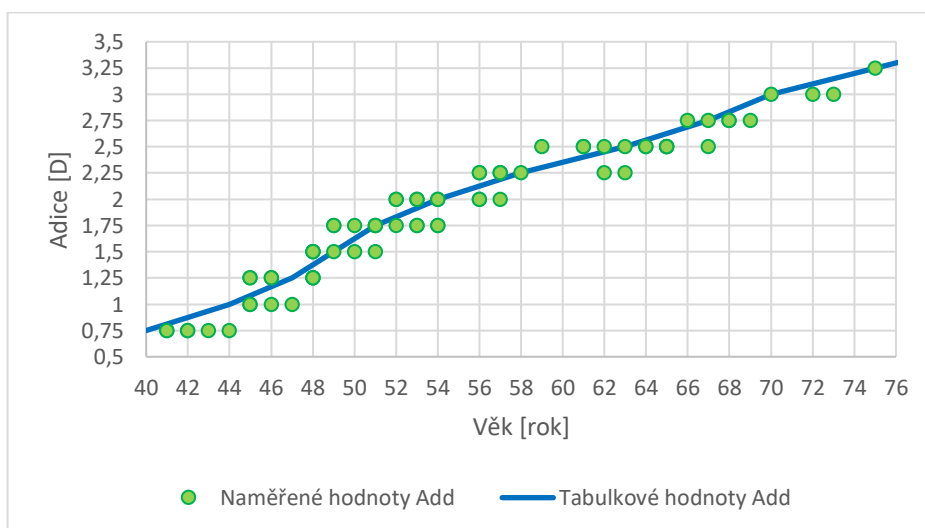
Na základě dřívějších výzkumů byla vypracována tabulka teoretických hodnot velikosti adice pro určitý věk. Tabulka by měla sloužit pouze orientačně při vyšetření zraku presbyopických pacientů do blízka. Tyto hodnoty jsem uvedla již v teoretické části viz tabulka

3.1. Porovnání teoretických dat s mnou naměřenými hodnotami je zaznamenáno na grafu viz obrázek 6.14, kde můžeme pozorovat jistou podobnost výzkumů. Při vyšetření do blízka jsem dbala na subjektivní pocit pacienta, tak aby mu čtení s předloženou adicí bylo pohodlné. Jak je z grafu patrné, naměřené hodnoty se od těch tabulkových téměř neliší, až na pár výjimek s odchylkou  $\pm 0,25$  D. Jelikož dioptrické hodnoty se udávají pouze po čtvrt dioptriích, je linie znázorňující tabulkové hodnoty adice schodovitá s nárůstem vždy právě o  $+ 0,25$  D.



**Obrázek 6.14:** Porovnání naměřené adice s tabulkovými hodnotami

Pro lepší orientaci a přehlednost jsem zhotovila ještě další graf se stejnými daty viz obrázek 6.15, ve kterém je linie tvořena zprůměrovanými tabulkovými hodnotami. Při porovnání obou grafů je obrázek 6.15 více přehlednější, ale obrázek 6.14 je přesnější. Každopádně z obou grafických znázornění můžeme pozorovat závislost velikosti adice na věku pacienta. Oba grafy zřetelně zaznamenávají nárůst Add s narůstajícím věkem.



**Obrázek 6.15:** Porovnání naměřené Add s průměrnými tabulkovými hodnotami

## 7. Diskuse

Experimentální část bakalářské práce se v první části zabývá stanovením optimální hodnoty akomodační šíře u každého pacienta. Věkové rozmezí měřených pacientů se pohybovalo od 17 do 57 let. K získání hodnot jsem použila push-up metodu, díky které jsem zjistila blízký bod akomodace, jehož převrácená hodnota nám udává právě potřebnou velikost akomodační amplitudy. Měření jsem opakovala třikrát a pro získání přesnějších dat jsem využila průměr naměřených hodnot. Tyto hodnoty jsem dále zaznamenala do grafů 6.7 a 6.8 a porovнала s předchozími výzkumy zabývajícími se podobnou problematikou podle Donderse (1864) viz obrázek 6.9, Duana (1912) viz obrázek 6.10 a Hofstettera (1988) viz obrázek 6.11.

Při porovnání všech tří studií s naměřenými daty jsem nejbližší podobnost shledala u výzkumu dle Donderse, kdy většina hodnot odpovídala teoretickým poznatkům Dondersovy teorie a odchylky zde byly minimální. Při porovnání výzkumu podle Duana linie hodnot také odpovídala průběhu Duanovy křivky, avšak viditelná odchylka byla o něco větší než v případě předchozí studie. U porovnání třetí studie dle Hofstettera byla odchylka naměřených hodnot největší. Získaná data kopírují spíše linii minimální velikosti akomodační amplitudy a zdaleka nedosahují průměrných hodnot vypočtených z teoretických vzorců dle Hofstettera.

Pro odchylky vzniklé při měření musíme brát v úvahu četnost měření pro určitou věkovou kategorii, chybu měření ovlivněnou přesností měření a subjektivní pocit bodu rozostření každého pacienta. I přes odchylky měření a rozdíly hodnot AA je u všech čtyř výzkumů včetně toho mého patrné, že datová křivka vždy klesá s věkem pacienta viz obrázek 6.12. Takto lze potvrdit předem stanovenou hypotézu H1 (H1: Akomodační šíře je závislá na věku pacienta.).

V druhé části výzkumu se bakalářská práce zabývá zjištěním velikosti adice při měření na optotypu do blízka u presbyopických pacientů v rozmezí od 41 do 71 let. Hodnoty jsem získala při korekci pacientů do blízka na cca 40 cm předsazováním plusových dioptrií po předchozí korekci do dálky. U pacientů byl důležitý subjektivní pocit pohodlného čtení s plusovou dioptrií nejmenšího textu s vizem 1.0. Naměřené hodnoty jsem zaznamenala do grafu viz obrázek 6.13 a porovнала s teoretickými hodnotami předchozích výzkumů uvedených v teoretické části této práce viz obrázky 6.14 a 6.15.

Při porovnání naměřených dat s teoretickými tabulkovými daty byly výsledky téměř srovnatelné až na malé odchylky, které mohly vzniknout chybou při měření, četností měření, různou vzdáleností umístěného optotypu a subjektivním pocitem pacienta. Vzniklá odchylka

nabývá hodnot  $\pm 0,25$  D a celková hodnota adice se pohybuje v rozmezí + 0,75 až + 3,25 D. I přes drobné odchylky u některých pacientů je z grafů patrné, že s narůstajícím věkem narůstá i hodnota adice. Z tohoto důvodu je možné potvrdit druhou předem stanovenou hypotézu H2 (H2: Velikost adice je závislá na věku pacienta.).

## 8. Shrnutí

Akomodace se vyvíjí kolem 4. měsíce života jedince a její schopnost je zachována až do nástupu presbyopie ve věku kolem 40-ti let. Zatímco několik výzkumů zůstává kontroverzních, většina dostupných důkazů podporuje tradiční názor, že lentikulární růst a související změny v jeho viskoelastických vlastnostech dominují v rozvoji presbyopie.

V projektu je podrobně popsána anatomie struktur oka podílejících se na akomodaci. Dále také akomodace, která je definována svým vývojem, teoriemi, principy a mechanismy. Nalezneme zde i podrobný popis akomodační šíře a pojmů, které ji charakterizují. Akomodační amplituda je definována a popsána v závislosti na věku pacienta. Tato závislost je uvedena teoreticky a také je přehledně znázorněná za pomoci Dondersovy a Duanovy křivky demonstrující právě tuto závislost. Ze získaných hodnot je také možno určit potřebnou korekci u presbyopů. Jedná se o takzvanou adici, která je nutná jako plusový přídavek u presbyopů pro práci do blízka. Následně jsou zde popsány metody pro měření akomodace, kdy je kladen důraz zejména na vyšetření akomodační šíře. Vybrané metody byly zvoleny ke zjištění hodnot akomodační šíře a adice. Naměřena data jsou v práci graficky znázorněna a porovnána s předchozími studii. Z grafů lze potvrdit cíle této práce, čímž je potvrzení závislosti akomodační šíře a adice na věku pacienta.

## 9. Závěr

Velikost akomodační šíře může být ovlivněna několika faktory. Předpokládáme, že jedním z faktorů je věk pacienta, který může mít vliv na úbytek akomodační amplitudy. Lidé si často v běžném životě neuvědomují schopnost akomodace oka, ale s nástupem presbyopie, která se dostaví obvykle ve věku 40-ti let, začnou lidé vnímat tento stav jako rozmazané vidění blízkých předmětů při různých činnostech, zejména pak při čtení. Jedná se o velmi důležitý fakt, a proto jsem si tuto problematiku vybrala jako téma pro svoji bakalářskou práci.

V optometrické praxi je vhodné zjistit velikost akomodační šíře, přičemž nám naměřené hodnoty mohou objasnit nebo potvrdit poruchy akomodace. U presbyopických pacientů můžeme využít závislosti akomodační amplitudy na věku pacienta a získat předběžnou hodnotu adice vhodnou pro korekci presbyopie.

Cílem bakalářské práce bylo shrnutí teoretických znalostí o procesu akomodace, popsání akomodační šíře a systémů které s ní úzce souvisejí. Byly zde uvedeny teoretické výpočty hodnot akomodační šíře i metody vhodné pro její vyšetření. Jedná se především o metodu push-up, která byla využita k zjištění blízkého bodu akomodace u jednotlivých pacientů. Vergence tohoto bodu udává hodnotu vyšetřované akomodační amplitudy. Hlavním cílem této práce bylo porovnání naměřených hodnot s dřívějšími studii a zjištění závislosti akomodační šíře na věku pacienta. Práce také zahrnuje zjištění hodnot adice při vyšetření do blízka u presbyopických pacientů, u kterých je hodnota blízkého bodu zkreslenější kvůli narůstající vzdálenosti NPC směrem od oka a horším subjektivním rozeznání rozmazaného nebo zaostřeného textu při vyšetření pacienta. Dalším cílem bylo porovnání velikosti adice s tabulkovými hodnotami předešlých studií a potvrzení závislosti adice na věku pacienta.

Naměřené hodnoty akomodační šíře byly porovnávány se studii dle Donderse (1864), Duana (1912) a Hofstettera (1988). Při zhodnocení všech tří studií s naměřenými daty byla shledána nejbližší podobnost u výzkumu Donderse. I přes určité odchylky hodnot se u porovnání všech tří studií i této studie potvrdila závislost akomodační šíře na věku pacienta. Z grafů je patrné, že blízký bod s věkem vzdaluje od obličeje a AA klesá.

Naměřená data adice byla porovnávána s tabulkovými hodnotami předešlých výzkumů. Až na malé odchylky  $\pm 0,25$  D velikost adice odpovídala teoretickým hodnotám a při porovnání získaných dat z grafického znázornění je viditelná závislost adice na věku pacienta s tím, že s narůstajícím věkem roste velikost adice.

## Seznam použité literatury

- [1] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [2] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-701-3362-7.
- [3] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [4] Ophthalmologische Komplikationen nach Gabe dentaler Lokalanästhetika – Eine Bestandsaufnahme der Literatur. In: *ResearchGate* [online]. 2014 [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: [www.researchgate.net/publication/261362805\\_Ophthalmologische\\_Komplikationen\\_nach\\_Gabe\\_dentaler\\_Lokalanasthetika\\_\\_Eine\\_Bestandsaufnahme\\_der\\_Literatur](http://www.researchgate.net/publication/261362805_Ophthalmologische_Komplikationen_nach_Gabe_dentaler_Lokalanasthetika__Eine_Bestandsaufnahme_der_Literatur)
- [5] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství*. 2., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [6] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2014. ISBN 978-3-527-41068-2.
- [7] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. 2. Vydání. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-716-9079-1.
- [8] BENEŠ, Pavel a Martin VRUBEL. *Oftalmologie pro speciální pedagogy*. Brno: Paido, 2017. ISBN 978-80-7315-264-2.
- [9] HORNOVÁ, Jara. *Oční propedeutika*. Praha: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [10] Lens. In: *WikiSkripta* [online]. 2017 [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Lens>

- 
- [11] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Druhé, přepracované vydání. Praha: Galén, 2017. ISBN ISBN:978-80-7492-316-6.
- [12] MAŠEK, Petr, Dalibor CHOLEVÍK a Jan NĚMČANSKÝ. *Oftalmologie a diagnostické metody a přístroje v oftalmologii: studijní opora*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014. ISBN ISBN978-80-7464-569-3.
- [13] Ultrasound Ciliary Plasty. In: *Webeye clinic: your home for better vision* [online]. © 2019 Webeyeclinic., 2016 [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: [www.webeyeclinic.com/glaucoma/ultrasound-ciliary-plasty](http://www.webeyeclinic.com/glaucoma/ultrasound-ciliary-plasty)
- [14] # 90 Accommodation - focusing on objects far and near. *Biology Notes for IGCSE 2014* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [www.igbiology.blogspot.com/2014/03/89-accommodation-focusing-on-objects.html](http://www.igbiology.blogspot.com/2014/03/89-accommodation-focusing-on-objects.html)
- [15] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 2., dopl. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-701-3207-8.
- [16] Theories of Accommodation. *American academy of ophthalmology* [online]. San Francisco, CA 94109: © American Academy of Ophthalmology 2020, 2020 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.aao.org/bcscsnippetdetail.aspx?id=f5f61688-98cd-4e30-84c0-b9acf775950c>
- [17] The mechanism of accommodation in primates. *American academy of ophthalmology* [online]. San Francisco, CA 94109: © American Academy of Ophthalmology 2020, 1999 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: [https://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(99\)00502-3/fulltext](https://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(99)00502-3/fulltext)
- [18] Accommodation: Mechanism and Measurement. In: *Ophthalmology Clinics of North America* [online]. Houston, 2006 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <http://www.adrianglasser.com/publications/G%20OCNA%202006.pdf>
- [19] The mechanism of presbyopia. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2005, 2004(24), 379-393. Dostupné z: [doi.org/10.1016/j.preteyeres.2004.11.001](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2004.11.001)
- [20] Presbyopia. *Slideshare* [online]. 2014 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [www.pt.slideshare.net/sivatejachalla/presbyopia-39020252/15](http://www.pt.slideshare.net/sivatejachalla/presbyopia-39020252/15)



- [21] J. W. NORDENSON. SOME REMARKS ON FINCHAM'S CAPSULAR THEORY OF ACCOMMODATION. In: *The British journal of ophthalmology* [online]. U.S. National Library of Medicine, 1943 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC510320/pdf/brjopthal00707-0031.pdf>
- [22] Comparison of the accommodation theories of Coleman and of Helmholtz by finite element simulations. In: *ScienceDirect* [online]. Copyright © 2020 Elsevier B.V., 2005 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698905003354?via%3Dihub>
- [23] KLABOCHOVÁ, Lenka. Akomodace oka. *Symptomy* [online]. © 2009–2020 symptomy.cz, 2019 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [www.symptomy.cz/akomodace-oka](http://www.symptomy.cz/akomodace-oka)
- [24] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-701-3402-X.
- [25] ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.
- [26] Akomodace. *Blog o čočkách* [online]. 2015 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [www.blogocockach.cz/akomodace/#more-1343](http://www.blogocockach.cz/akomodace/#more-1343)
- [27] KOSTKOVÁ, Bc. Kateřina. *DIFERENTNÍ AKOMODACE*. Brno, 2020. Diplomová práce. Masarykova univerzita Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Pavel Kříž, Ph.D.
- [28] NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika. 2., zcela přepracované a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-0209-9.
- [29] SEVERA, David, Petr VESELÝ a Pavel BENEŠ. Stanovení a ověření přídávku na blízko u presbyopie. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Lékařská fakulta Masarykovi univerzity: © 2016 Masarykova univerzita, 2016 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [www.is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni\\_vady/web/pages/10-presbyopie.html](http://www.is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/pages/10-presbyopie.html)
- [30] VARILUX® Tipy na přizpůsobení pro odborníky: Návod na přizpůsobení multifokálních skel varilux. In: *Varilux university* [online]. © Copyright Essilor International [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [www.docplayer.cz/334338-Www-varilux-university-org.html](http://www.docplayer.cz/334338-Www-varilux-university-org.html)

- [31] Convergence and Divergence. *Vivid Vision* [online]. © All Rights Reserved, Vivid Vision, Inc., 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: [https://www.seevividly.com/info/Binocular\\_Vision/Visual\\_Skills/Convergence\\_and\\_Divergence](https://www.seevividly.com/info/Binocular_Vision/Visual_Skills/Convergence_and_Divergence)
- [32] GIESEL, Martin, Alexandra YAKOVLEVA a Marina BLOJ. Relative contributions to vergence eye movements of two binocular cues for motion-in-depth. *Scientific Reports*. © 2020 Springer Nature Limited, 2019(17412). Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-019-53902-y>
- [33] JEŘÁBKOVÁ, Andrea. Insuficience konvergence. *Česká oční optika* [online]. 2013, 2013(3) [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: [https://www.4oci.cz/insuficience-konvergence\\_4c661](https://www.4oci.cz/insuficience-konvergence_4c661)
- [34] Presbytie et chirurgie réfractive. *Journal Français d'Ophtalmologie*. Paris, France: Copyright © 2020 Elsevier Masson SAS., 2019, 2018(42), 790-798. ISSN 0181-5512. Dostupné z: doi:[doi.org/10.1016/j.jfo.2018.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jfo.2018.08.009)
- [35] HOLMANNOVÁ, Drahomíra. Vetchozrakost. *Symptomy* [online]. © 2009–2020 symptomy.cz [cit. 2020-12-30]. ISSN ISSN: 2336-6540. Dostupné z: [www.symptomy.cz/nemoc/vetchozrakost](http://www.symptomy.cz/nemoc/vetchozrakost)
- [36] CHARMAN, Neil. The eye in focus: accommodation and presbyopia. *Clinical and Experimental Optometry*. © Optometry Australia, 2008, 2008(93), 207-225. ISSN 1444-0938. Dostupné z: doi:[doi.org/10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x](https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x)
- [37] WEST, Sheila K a Ilesh PATEL. Presbyopia: prevalence, impact, and interventions. *Community Eye Health Journal*. 2020, 2007(63), 40-41.
- [38] Presbyopia Directory: - Eye-Health - 2020. *Medicineh: zdravotní řeči* [online]. 2020 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: [www.cs.medicineh.com/29-presbyopia-directory-47812](http://www.cs.medicineh.com/29-presbyopia-directory-47812)
- [39] WICK, O.D., PH.D., Bruce a Bruce WICK, O.D., PH.D., Barbara STEINMAN. *Clinical management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders*. 4. vydání. © 2014 by LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, a WOLTERS KLUWER business, 2015. ISBN ISBN 978-1-4511-7525-7.

- 
- [40] ACCOMMODATIVE EXCESS. *VISION WEST* [online]. Copyright 2020, 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.visionwest.com.au/eye-disorder-treatment/accommodative-excess>
- [41] OTRADOVEC, Jiří. *Klinická neurooftalmologie*. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0280-0.
- [42] CHAN, R. V., Paul MD a Jonathan D. MD TROBE. Spasm of Accommodation Associated with Closed Head Trauma. *Journal of Neuro-Ophthalmology*. © 2002 Lippincott Williams & Wilkins, Inc., 2002, 2002(22), 15-17. ISSN 1070-8022.
- [43] MELIKE GEDAR TOTUK, Ozgun a Umit AYKAN. A new treatment option for the resistant spasm of accommodation: clear lens extraction and multifocal intraocular lens implantation. *International Journal of Ophthalmology*. 2018, 2018(11), 172–174. Dostupné z: doi:10.18240/ijo.2018.01.28
- [44] Ophthalmology - Accommodative Spasm. *Texas Children's Hospital* [online]. © 1998-2020 Texas Children's Hospital, 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.texaschildrens.org/departments/ophthalmology/conditions-we-treat/accommodative-spasm>
- [45] EYE DISORDERS & TREATMENTS. *VISION WEST* [online]. Copyright 2020 Vision West [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.visionwest.com.au/eye-disorders-treatments>
- [46] HUSSAINDEEN JR a MURALI A. Accommodative Insufficiency: Prevalence, Impact and Treatment Options. *Dovepress: open access to scientific and medical research*. 2020, 2020, 135149. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.2147/OPTO.S224216>
- [47] Accommodative Insufficiency. *Vivid Vision* [online]. 2020 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: [https://www.seevividly.com/info/Lazy\\_Eye/Accommodation\\_Disorders/Accommodative\\_Insufficiency](https://www.seevividly.com/info/Lazy_Eye/Accommodation_Disorders/Accommodative_Insufficiency)
- [48] PLUHÁČEK, František a Lenka MUSILOVÁ. Akomodace a vergence. In: *Optometrie: Katedra optiky* [online]. Olomouc: Katedra optiky PřF UP v Olomouci [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: [www.optometry.cz/materialy.php](http://www.optometry.cz/materialy.php)

- 
- [49] BURNS, David, Peter M ELLEN a Bruce JW EVANS. Clinical measurement of amplitude of accommodation: a review. *Optometry in Practice 2014* [online]. © 2014 The College of Optometrists, 2014, 4(15), 75-86 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/266205974>
- [50] Comparison of the amplitude of accommodation determined subjectively and objectively in South African university students. *African Vision and Eye Health (AVEH)*. © 2018. The Author(s). Licensee: AOSIS., 2018, 2018(77). Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.4102/aveh.v77i1.437>
- [51] ARBLASTER, Gemma. A comparison of conventional and modified push-up methods of measuring the near point of accommodation. *British & Irish Orthoptic Journal*. 2017, 2016(13), 35-39. Dostupné z: doi:[10.22599/bioj.100](https://doi.org/10.22599/bioj.100)
- [52] RAF (Royal Air Force Rule) Convergence Rule. *BERNELL* [online]. © 2020 Bernell Corporation [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: [www.bernell.com/product/RAFCR1/Measurement\\_Devices](http://www.bernell.com/product/RAFCR1/Measurement_Devices)
- [53] Accommodative amplitude using the minus lens at different near distances. *Indian Journal of Ophthalmology* [online]. 2018, 2017(65), 223-227 [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: doi:[10.4103/ijo.IJO\\_545\\_16](https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_545_16)
- [54] KUČERA, Přemysl. *Binokulární vidění, základy ortoptiky: Akomodační šíře*. FBMI ČVUT Kladno, 2020.
- [55] The distribution of negative and positive relative accommodation and their relationship with binocular and refractive indices in a young population. *Journal of CURRENT OPHTHALMOLOGY*. 2017, 29(3), 204-209. ISSN PMID: 28913512. Dostupné z: doi:[10.1016/j.joco.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.joco.2017.01.001)
- [56] Dynamic Retinoscopy Methods. *Optometry Zone: An insight into optometry* [online]. © 2020 Optometry Zone, 2016, 2016 [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <http://optometryzone.com/2016/12/10/dynamic-retinoscopy-methods>
- [57] MEM Retinoscopy. *Smart Optometry* [online]. SLOVENIA: © Smart Optometry, 2020 [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: [www.smart-optometry.com/mem-retinoscopy](http://www.smart-optometry.com/mem-retinoscopy)

- [58] VESELÝ, Petr a Lucie PATOČKOVÁ. PŘEHLED METOD: statické a dynamické retinoskopie. *4oci: Česká oční optika*. EXPO DATA spol. s r.o., 2019, 60(1), 18-34. ISSN ISSN 1211-233X.
- [59] Welch Allyn Fixation Retinoscopy Card Set (Genuine). *Western Ophthalmics: Corporation* [online]. © 2019 Western Ophthalmics Corporation, 2019 [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: [www.west-op.com/welchallyn1825.html](http://www.west-op.com/welchallyn1825.html)

## Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$a_P$	m	Vzdálenost blízkého bodu od H
$a_R$	m	Vzdálenost dalekého bodu od H
$H$	-	Hlavní předmětový bod oka
$P$	m; D	Punctum proximum (blízký bod)
$R$	m; D	Punctum remotum (daleký bod)
$\Delta a$	D	Akomodační interval

### Seznam zkratk

Zkratka	Význam
AA	Akomodační amplituda
AC	Akomodační konvergence
AC/A	Poměr akomodační konvergence a akomodace
add	Adice
D, dpt	Dioptrie
pD	Prizmatická dioptrie
PFV	Pozitivní fúzní vergence
NFV	Negativní fúzní vergence
NPA	Blízký bod akomodace
NPC	Blízký bod konvergence
NRA	Negativní relativní akomodace
PRA	Pozitivní relativní akomodace
MEM	Monocular estimate method (metoda monokulárního odhadu)
RAF Rule	Nástroj v oftalmologii pro měření NPA a NPC
cpm	Cykly za minutu

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Umístění čočky v oku [4].....	9
Obrázek 2.2: Struktura čočky [10] .....	10
Obrázek 2.3: Schéma řasnatého tělíska [13] .....	11
Obrázek 2.4: Uvolněná zonulární vlákna [14].....	12
Obrázek 2.5: Napnutá zonulární vlákna [14].....	12
Obrázek 3.1: Helmholtzova teorie [20] .....	14
Obrázek 3.2: Schacharova teorie [20] .....	15
Obrázek 3.3: Pohled do blízka [23] .....	17
Obrázek 3.4: Pohled do dálky [23].....	17
Obrázek 3.5: Vzdálený bod zaostřen [26] .....	18
Obrázek 3.6: Blízký bod zaostřen [26].....	18
Obrázek 3.7: Schéma charakteristických veličin akomodace [27].....	19
Obrázek 3.8: Křivka hodnot dle Donderse a Duana [29] .....	20
Obrázek 3.9: Konvergence [32].....	21
Obrázek 3.10: Divergence [32] .....	21
Obrázek 4.1: Porovnání zaostření obrazu normálního a presbyopického oka [35].....	24
Obrázek 4.2: Princip korekce presbyopie [38] .....	26
Obrázek 5.1: RAF Rule [52].....	31
Obrázek 5.2: Flípr $\pm 2 D$ [48].....	33
Obrázek 5.3: Diagram hodnot PRA a NRA [29].....	34
Obrázek 5.4: Retinoskop s optotypem [59] .....	36
Obrázek 5.5: Nottova retinoskopie [56] .....	36
Obrázek 6.1: Četnost zastoupení věkových kategorií u AA.....	37
Obrázek 6.2: Četnost pohlaví u AA.....	38
Obrázek 6.3: Četnost refrakčních vad u AA.....	38
Obrázek 6.4: Četnost zastoupení věkových kategorií u Add.....	38
Obrázek 6.5: Četnost pohlaví u Add .....	38
Obrázek 6.6: Četnost refrakčních vad u Add .....	38
Obrázek 6.7: Naměřená data Akomodační šíře .....	43
Obrázek 6.8: Křivka průměru z naměřených hodnot AA.....	43
Obrázek 6.9: Závislost podle Donderse.....	44

---

Obrázek 6.10: Závislost podle Duana.....	44
Obrázek 6.11: Závislost podle Hofstetra .....	45
Obrázek 6.12: Porovnání výzkumů závislosti .....	46
Obrázek 6.13: Naměřená data adice .....	46
Obrázek 6.14: Porovnání naměřené Add s tabulkovými hodnotami.....	47
Obrázek 6.15: Porovnání naměřené Add s průměrnými tabulkovými hodnotami .....	47



## Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Hodnoty adice v závislosti na věku [30] .....	20
Tabulka 6.1: Naměřené hodnoty NPC a vypočtené AA.....	40
Tabulka 6.2: Naměřené hodnoty Adice .....	42