

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2019**

**JÁN  
SOMORA**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

**Zjištění akomodační amplitudy u mladých dospělých osob**

**Examination of accommodative amplitude in young adults**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Ján Somora, DiS.**

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Přemysl Kučera



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Somora** Jméno: **Ján** Osobní číslo: **419088**  
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:

**Zjištění akomodační amplitudy u mladých dospělých osob**

Název bakalářské práce anglicky:

**Examination of accommodative amplitude in young adults**

Pokyny pro vypracování:

Student popíše anatomii dotčených struktur oka a představí teorie akomodačního mechanismu a jejich rozdílů. Dále představí akomodační poruchy a jejich řešení a možnosti stanovení adice. V textu uvede metody vyšetření akomodační šíře. V rámci praktické části student představí výsledky výzkumu mladých dospělých lidí, u kterých zjistí akomodační šíři za použití vhodné metody. Student porovná výsledky s jinými výzkumy a provede jejich analýzu s ohledem na typ ametropie a další faktory. Cílem práce je zjistit a porovnat velikost akomodační šíře u mladých dospělých osob.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BENJAMIN, W. J., Borish's Clinical Refraction, ed. 2., Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, 1694 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
- [2] DIETZE, H., Die optometrische Untersuchung, ed. 1., Georg Thieme Verlag, 2008, 307 s., ISBN 9783131422316
- [3] DOSHI, S., HARVEY, W., Eye Essentials: Assessment & Investigative Techniques, ed. 1., Elsevier, 2005, 186 s., ISBN 978-0-7506-8853-6
- [4] SCHEIMAN, M., WICK, B., Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders, ed. 4., Lippincott Williams & Wilkins, 2014, 752 s., ISBN 978-1-45117-525-7


Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Bc. Přemysl Kučera**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

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

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

**Název bakalářské práce:** Zjištění akomodační amplitudy u mladých dospělých osob

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá problematikou akomodace oka. Na začátku je popsána anatomie a fyziologie struktur očního aparátu, které se podílejí na procesu akomodace. Dále je v práci podrobně popsán mechanismus akomodace, faktory ovlivňující průběh a vývoj akomodace. Další část práce je věnována historii, kde jsou popsány hlavní teorie, které se tímto mechanismem zabývaly. Práce pokračuje klasifikací akomodace a vyjmenováním poruch akomodace, včetně jejich následného řešení. Pro další pokračování práce a její experimentální část je důležitá definice základních pojmů jako daleký bod, blízký bod, akomodační interval, akomodační amplituda a metody pro stanovení akomodační amplitudy. V poslední kapitole je přiblížené propojení mechanismů akomodace a konvergence. Experimentální část práce se zabývá zjišťováním akomodační amplitudy u 56 respondentů subjektivními metodami „push-up“, „push-down“ a metodou rozptylky a zkoumá několik faktorů, které jí mohou ovlivnit. Dále se práce zabývá statistickým zpracováním zjištěných dat a porovnáním s jinými výzkumy.

**Klíčová slova:**

akomodace, blízký bod, akomodační amplituda, teorie akomodace, poruchy akomodace, presbyopie

**Bachelor's Thesis title:** Examination of accommodative amplitude in young adults

**Abstract:**

The bachelor thesis deals with the issue of the accommodation of the eye. At the beginning, the anatomy and physiology of the structures of the ophthalmologist, which are involved in the accommodation process are described. Further, there is a detailed description of the accommodation mechanism, factors influencing the course and development of accommodation. Another part is devoted to the history, which describes the main theories that were dealt with by this mechanism. The work continues with the classification of accommodation and the inclusion of accommodation disorders, including their subsequent solution. For the continuation of the thesis and its experimental part it is important to define the basic concepts as far point, near point, an accommodation interval, an amplitude of accommodation and methods for determining an amplitude of accommodation. The last chapter describes the connection between accommodation and convergence mechanisms. The experimental part of the thesis deals with the detection of accommodative amplitude of 56 respondents using subjective methods of push-up, push-down and the minus lens to blur and examines several factors that can influence it. Then the work deals with statistical processing of the data and comparing with other research.

**Key words:**

accommodation, near point, amplitude of accommodation, theory of accommodation, disorders of accommodation, presbyopia

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Bc. Přemyslu Kučerovi za trpělivost, cenné rady a připomínky při vedení bakalářské práce. Rád bych poděkoval doc. MUDr. Jánovi Leštákovi, CSc. a celému kolektivu Oční optiky JL, s.r.o za možnost využití prostoru vyšetřovny. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Markovi Pioreckému za konzultaci a připomínky ke statistickému vyhodnocení zjištěných dat a také všem zúčastněným respondentům.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Zjišťování akomodační amplitudy u mladých dospělých osob*“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne .....

.....

podpis

# Obsah

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Úvod .....  | 1  |
| 2     | Anatomie a fyziologie struktur oka podílejících se na akomodaci oka ..... | 2  |
| 2.1   | Refrakční stav oka a popis optických medií .....                          | 2  |
| 2.2   | Oční čočka – lens crystallina .....                                       | 4  |
| 2.2.1 | Biochemie čočky .....   | 6  |
| 2.2.2 | Vodní a iontové hospodářství .....  | 6  |
| 2.2.3 | Vliv metabolických onemocnění na oční čočku .....                         | 7  |
| 2.3   | Závěsný aparát – zonula ciliaris .....                                    | 8  |
| 2.4   | Řasnaté těleso – corpus ciliare .....                                     | 8  |
| 3     | Akomodace oka .....   | 10 |
| 3.1   | Mechanismus akomodace (Akomodační triáda) .....                           | 10 |
| 3.2   | Biomechanické a anatomické změny v průběhu akomodace .....                | 11 |
| 3.3   | Faktory ovlivňující akomodaci oka .....                                   | 11 |
| 3.3.1 | Axiální refrakce .....  | 11 |
| 3.3.2 | Věk .....   | 11 |
| 3.3.3 | Hloubka ostrosti .....  | 12 |
| 3.3.4 | Akomodační mikroodchylky .....  | 12 |
| 3.3.5 | Vzdálenost objektu a akomodační deficit .....                             | 13 |
| 3.4   | Teorie akomodace .....  | 16 |
| 3.4.1 | Helmholtzova (kapsulární) teorie .....                                    | 16 |
| 3.4.2 | Tscheringova teorie .....   | 17 |
| 3.4.3 | Schacharova teorie .....  | 17 |
| 3.4.4 | Colemanova teorie .....   | 19 |
| 3.4.5 | Goldbergova teorie .....  | 19 |
| 3.5   | Klasifikace akomodace .....   | 19 |
| 3.5.1 | Reflexní akomodace .....  | 19 |
| 3.5.2 | Proximální akomodace .....  | 19 |
| 3.5.3 | Vergenční akomodace .....   | 20 |
| 3.5.4 | Tónická akomodace .....   | 20 |
| 3.6   | Poruchy akomodace .....   | 21 |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.6.1 | Akomodační exces.....                                      | 21 |
| 3.6.2 | Spasmus akomodace (křeč) .....                             | 21 |
| 3.6.3 | Insuficience (nedostatečnost) akomodace .....              | 22 |
| 3.6.4 | Obrna akomodace .....                                      | 22 |
| 3.6.5 | Presbyopie .....   | 23 |
| 3.7   | Definice základních pojmů týkajících se akomodace.....     | 23 |
| 3.7.1 | Daleký bod a blízký bod.....                               | 23 |
| 3.7.2 | Akomodační interval .....                                  | 24 |
| 3.7.3 | Akomodační amplituda .....                                 | 24 |
| 3.7.4 | Studie akomodační šíře (Donders a Duane) .....             | 26 |
| 4     | Vyšetřovací metody akomodace.....                          | 28 |
| 4.1   | Stanovení akomodační amplitudy.....                        | 28 |
| 4.1.3 | Subjektivní metody.....                                    | 28 |
| 4.1.4 | Objektivní metody .....                                    | 31 |
| 4.2   | Akomodační facilita.....                                   | 31 |
| 4.3   | Relativní akomodace.....                                   | 32 |
| 5     | Konvergence a akomodace.....                               | 33 |
| 5.1   | Klasifikace konvergence.....                               | 33 |
| 5.2   | AC/A poměr.....  | 34 |
| 5.3   | CA/C poměr.....  | 34 |
| 5.4   | Blízký bod konvergence (NPC).....                          | 35 |
| 6     | Experimentální část .....                                  | 36 |
| 6.1   | Úvod do problematiky .....                                 | 36 |
| 6.2   | Metodika výzkumu .....                                     | 36 |
| 6.3   | Vyšetření subjektivní refrakce a binokulárního vidění..... | 38 |
| 6.4   | Metody „push-up“ a „push-down“ .....                       | 39 |
| 6.5   | Metoda rozptylky .....                                     | 41 |
| 6.6   | Blízky bod konvergence (NPC).....                          | 42 |
| 6.7   | Předpoklady .....  | 42 |
| 6.8   | Výsledky .....   | 43 |
| 6.8.1 | Vzorek vyšetřovaných osob.....                             | 43 |
| 6.8.2 | Předpoklad 1 .....   | 45 |
| 6.8.3 | Předpoklad 2 .....   | 50 |

|                           |                    |    |
|---------------------------|--------------------|----|
| 6.8.4                     | Předpoklad 3 ..... | 53 |
| 6.8.5                     | Předpoklad 4 ..... | 56 |
| 6.9                       | Diskuze .....      | 57 |
| Závěr                     | .....              | 60 |
| Seznam použité literatury | .....              | 61 |
| Seznam symbolů a zkratk   | .....              | 66 |
| Seznam obrázků            | .....              | 67 |
| Seznam tabulek            | .....              | 69 |
| Seznam příloh             | .....              | 70 |

# 1 Úvod

Práce na střední vzdálenost, práce do blízka, práce na počítači, práce s mobilním telefonem a všemi dalšími digitálními zařízeními je v době dat a internetové komunikace jedním z hlavních znaků dnešního životního stylu. Lidský orgán, kterým vnímáme většinu informací přicházejících z okolního prostředí, je oko. V dnešní době člověk využívá akomodaci oka více, než tomu bylo v minulosti.

Zaostřování mezi dalekými a blízkými předměty neboli práci oka, zajišťuje mechanismus, který nazýváme, akomodace oka. Schopnost akomodovat je vyjádřena v dioptriích a mění se s věkem. Mezi prvními, kdo tuto závislost zkoumal, byl americký oftalmolog Alexander Duane. Na základě výsledků vytvořil graf, který je dodnes považovaný za normu v určení hodnoty akomodační šíře. [1]

V rámci vyšetření subjektivní refrakce by mělo být zjišťování akomodační šíře (amplitudy) samozřejmostí. Obzvlášť v době, kdy jsou nároky na vidění a akomodační úsilí tak vysoké. Zjištění odchylek akomodační amplitudy může vyšetřujícímu pomoci odhalit různé poruchy akomodačního systému a tím efektivněji vyřešit požadavky, resp. obtíže klienta.

V teoretické části této práce se budu věnovat popisu struktur oka přímo podílejících se na akomodaci, dále popíšu jejich anatomii a fyziologii a mechanismus akomodace. Představím teorie, které tento mechanismus vysvětlují. Také popíšu rozdělení akomodace a akomodační poruchy. Dále se budu v práci věnovat popisu akomodační amplitudy a metodám pro stanovení této hodnoty. V závěru přiblížím propojení mechanismů akomodace a konvergence.

Praktická část je věnována zjišťování akomodační amplitudy u mladých dospělých osob na dostatečném vzorku respondentů. Zjišťovat akomodační amplitudu budu pomocí 3 subjektivních metod. Další část je zaměřena na analýzu naměřených hodnot a jejímu statistickému zpracování.

Cílem bakalářské práce je přinést podrobný pohled na problematiku akomodační amplitudy, prostřednictvím zpracovaných zjištěných hodnot z experimentální části ověřit stanovené předpoklady.

## **2 Anatomie a fyziologie struktur oka podílejících se na akomodaci oka**

### **2.1 Refrakční stav oka a popis optických medií**

Hlavním smyslovým orgánem pro vnímání informací přicházejících z okolního prostředí je lidské oko. Spolu s nervovým systémem vytváří zrakový vjem. Jako skutečná adaptivní optická soustava umožňuje kontinuální změny fyzikálních a geometrických parametrů. [2]

Refrakce, jako fyzikální veličina, je ohyb světelných paprsků na rozhraní dvou optických prostředí. Charakterizuje ji Snellenův zákon refrakce, který popisuje lom světelných paprsků k normále (kolmice na rozhraní určená místem vstupu paprsku) při vstupu z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího prostředí, tím pádem vstupní úhel je větší než úhel refrakce. [6]

Lidské oko pokládáme za konvergentní optický systém zobrazující objekty na fotosenzitivní vrstvu obsahující receptory – sítnici. Refrakční status očního aparátu můžeme vztáhnout na místo v oku, kde se za minimálního akomodačního úsilí vytvoří ostrý obraz předmětu nacházejícího se v optickém nekonečnu. Mohou nastat dvě základní situace. Paralelní světelné paprsky procházející optickou soustavou se lámou a dopadají přímo na sítnici – emetropie. V opačném případě paprsky dopadají mimo sítnici – ametropie. Ametropií rozdělujeme dále podle místa, kde se vytvoří obrazové ohnisko pozorovaného předmětu. Refrakční stav oka, kdy světelné paprsky dopadají před sítnici, nazýváme myopie. V případě, kdy paprsky lomené optickou soustavou vytvoří ostrý obraz za sítnici, mluvíme o hypermetropii. [2, 3]

Optický systém oka je složen z několika elementů, které se podílejí na vytvoření obrazu. První struktura, kterou procházejí světelné paprsky z vnějšího prostředí je rohovka o indexu lomu 1,176. Na povrchu se vytváří pomocí očních víček vrstva slzného filmu. Rohovka má největší dioptrický podíl +41 dioptrií (dpt) co tvoří přibližně 70 % z celkové optické mohutnosti. Přibližně eliptický tvar je dán větším horizontálním průměrem 11,7 mm než vertikálním 10,6 mm. Průměrný poloměr zakřivení přední plochy je 7,7 mm a zadní plochy je 6,8 mm. Rohovka se oplošťuje směrem k limbu. Rozdíl těchto hodnot způsobuje rozdílnou tloušťku rohovky v centru 0,5-0,6 mm a v periferiích 1 mm. Prostor za zadní stěnou rohovky, nazýváme přední komora. Ta je vyplněna spolu se zadní komorou, komorovou tekutinou s indexem lomu 1,116. Komory rozděljuje duhovka. V ní se nachází otvor nazývaný zornice, která slouží jako clona pro korigování množství světla, dopadajícího na sítnici. [3, 4, 5, 6, 7]

Světlo dále přechází skrze kompaktní světlolomnou oční čočku složenou ze dvou částí, kortexu čočky o indexu lomu 1,162 a jádra čočky o indexu lomu 1,406. Dioptricky se čočka podílí na celkové optické mohutnosti asi +19 dpt, záleží na aktuálním vyklenutí. Je to důsledkem zakřivení jednotlivých ploch. V neakomodovaném stavu je zakřivení přední plochy 10 mm, a zadní plochy 5,18 mm. Podrobněji bude oční čočka popsána v kapitole 2.1. Mezi zadní plochou čočky a sítnicí se nachází sklivec, hmota tvořená hydratovanými dlouhými vlákny kyseliny hyaluronové. Obsahuje 99 % vody a udržuje čočku a sítnici ve stálé poloze. Nakonec světlo projde všemi vrstvami sítnice až k tyčinkám, čípkům a gangliovým buňkám. Dále pokračuje očním nervem přes chiasma k okcipitálnímu laloku. [2, 4, 5, 7]

## 2.2 Oční čočka – lens crystallina

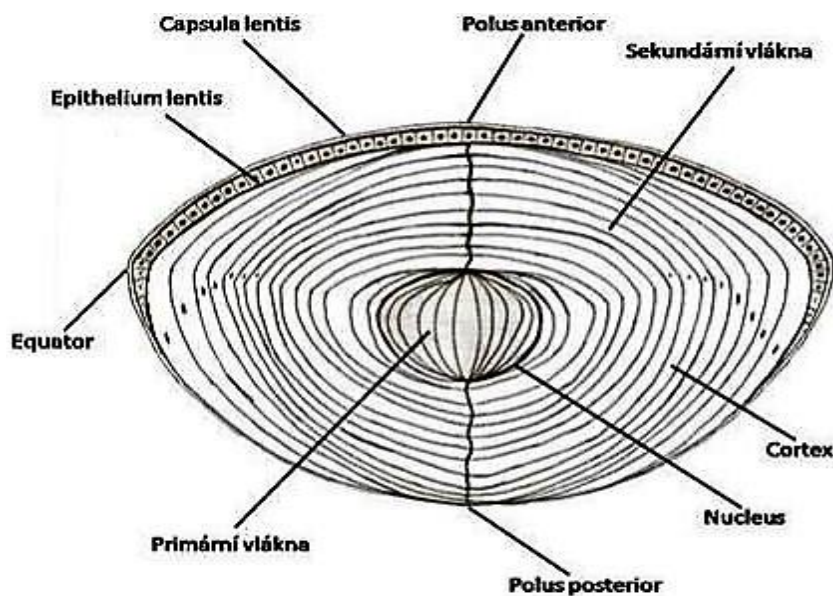
V době narození je hmotnost oční čočky přibližně 90 mg a s přibývajícím věkem roste a v dospělosti dosahuje 255 mg. Je to transparentní, avaskulární tkáň. Tvarem připomíná bikonvexní elipsoid s průměrem asi 9-10 mm a tloušťce asi 1,8 mm. Přední plocha (facies anterior lentis) má poloměr zakřivení 10 mm a zadní plocha čočky (facies posterior lentis) má parabolické zakřivení o poloměru 5 mm, hranice přední a zadní plochy po obvodu (equator lentis). Nachází se za pupilou v zadní komoře (camera oculi posteriori) uložena do nebuněčného pouzdra (capsula lentis). Je to transparentní sklovitá blána, která chrání čočku před komorovou vodou. V případě přímého kontaktu by mohlo dojít ke zkalení. Tloušťka pouzdra je větší na přední straně čočky než na zadní, největší při ekvátoru, z tohoto důvodu lze vlastní čočku od něj lehce odstranit. [5, 7, 8]

Přední plocha čočky, která je uložena pod pouzdrém je tvořena kubickým epitelem (epithelium lentis) ten je původním základem čočky (obr. 2.2). Na zadní straně se tento typ epitelu mění na prizmatická vlákna (fibrae lentis). Tato vlákna vyplňují dutinu čočky. Vlákna vznikají na povrchu starých vláken, postupně mizí jádra buněk a také hranice mezi vlákny. Tím vzniká jádro čočky (nucleus lentis) hluboká a tuhá část čočky. Vlákna čočky vznikají vždy na povrchu a upínají se na švy, a to tak, že vlákno je tím dál od středu švu na jedné ploše, čím blíže středu se uchycuje na rameno švu druhé plochy (obr. 2.1). Vrchní část nově vzniklých vláken je pravidelně uspořádána a díky vyššímu obsahu vody je pružnější a nazývá se kůra čočky (cortex lentis). Neustálé ukládání nových buněk na starším jádru vede v průběhu života ke vzrůstajícímu zpevňování čočkového materiálu a tím i ke kontinuálnímu snižování akomodační schopnosti oka, resp. čočky. Další změny, které doprovází růst čočky, jsou změna refrakce a postupné změlčování přední komory. Stoupá riziko zúžení komorového úhlu a tím i vznik glaukomu. [5, 9]

Na předním pólu (polus anterior) a zadním pólu (polus posteriori) jednovrstevný epitel mění na vlákna, která následně přecházejí do nitra čočky. Konce těchto vláken se spojují a vytváří švy ve tvaru „Y“ na přední straně, a na zadní straně obrácený tvar písmene „Y“ (obr. 2.1). [5, 7]



**Obrázek 2.1:** Schéma stavby oční čočky, žlutě jsou na přední a zadní ploše znázorněny švy ve tvaru "Y", dalšími barvami jsou znázorněny vlákna upínající se k nim a dále přecházející z přední strany na stranu zadní [5]



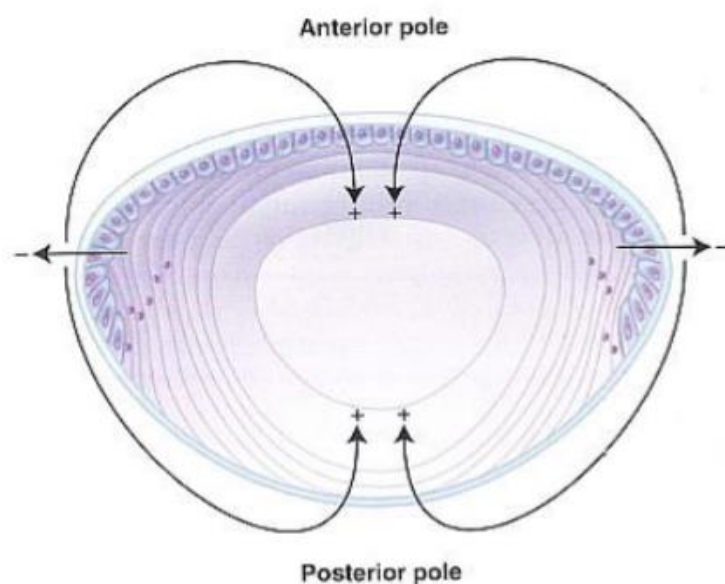
**Obrázek 2.2:** Řez oční čočkou [35]

### 2.2.1 Biochemie čočky

Metabolické potřeby oční čočky jsou zabezpečovány substráty z komorové vody, sklivce a také vlastními metabolickými procesy. V blízkosti oční čočky se nachází málo kyslíku, a proto téměř 70 % celkové metabolické produkce je z anaerobního metabolismu. V epiteliálních buňkách a v kortexu čočky, kde jsou nejmladší vlákna ekvatoriální oblasti, nalezneme vyšší aktivitu adenositriposfátu (ATP). V jádru je naopak nejmenší. [3, 10, 25]

### 2.2.2 Vodní a iontové hospodářství

Pouzdro oční čočky je pro většinu látek volně propustné, jedná se především o vodu, minerály a proteiny složené z malých molekul. Záporně nabitě bílkoviny, se snaží vyrovnat prostředí uvnitř čočky. Tím přitahují ionty K a Na, vnitřní prostředí čočky je tak hyperosmotické. Proudění vody je omezené negativním klidovým potenciálem membrán, a to z důvodu zamezení bobtnání čočky kvůli vyššímu množství vody. Voda do čočky proniká pasivně, extracelulárními předozadními prostory (obr. 2.3). [3, 10]



Obrázek 2.3: Schéma metabolismu oční čočky [10]



## **2.2.3 Vliv metabolických onemocnění na oční čočku**

### **Diabetes mellitus**

Cukrovka působí výrazně na metabolismus čočky, a to hned v několika důležitých ohledech. Mění index lomu, podporuje vznik katarakty a ovlivňuje schopnost akomodace. Čím vyšší je glykémie, tím vyšší je obsah glukózy v čočce. Dalším zpracováním vzniká látka sorbitol, způsobující difuzi vody do čočky a vyšší hydrataci. Důsledkem je myopizace oka a také nepoměr hodnot presbyopie k věku, z důvodu omezení akomodace. Různé epidemiologické studie dokazují, že se u diabetiků katarakta vyvíjí dříve a rychleji. [8]

### **Galaktosemie**

Galaktosemie je dědičná nemoc, kdy hromadění galaktózy v organismu souvisí s neschopností enzymaticky transformovat galaktózu na glukózu. V případě nedagnostikování onemocnění, může mít až 75 % nemocných dětí rozvinutou kataraktu už v prvních týdnech života z důvodu hydratace čočky při kumulaci galaktózy. K částečné regresi katarakty může dojít v časných stádiích díky vysazení mléka z potravy. [8]

### **Hypokalcemie**

Nižší obsah vápníku v krvi má za důsledek tvorbu malých tečkovitých zákalků, v přední a zadní kortikální vrstvě čočky. Jde o stacionární nález, nemá sklon k totálnímu zkalení čočky.

Dalšími důvody zkalení čočky mohou být poruchy výživy. Různé studie ukazují, že vyšší výskyt nukleární a kortikální katarakty, může souviset s vysokou hladinou riboflavinu, vitamínu C a E a karotenu. Také poukazují na zvýšený výskyt u kuřáků. [8]

## 2.3 Závěsný aparát – zonula ciliaris

Komplikovaný systém rovnoměrně a kruhovitě uspořádaných fibril. Ty jsou na periferii uchyceny pomocí zonulárního plexu do corona ciliaris. Na čočkové straně jsou napojena do pouzdra čočky, přímo na ekvátor a v těsné blízkosti před a za ním. Vlákná aparátu (fibrae zonulares) jsou tvořena elastinem a jsou více pružná než pouzdro čočky. Uspořádání těchto vláken, spleť zkřížených a nezkřížených vláken, zajišťuje její polohu a zároveň ovládání čočky tahem, tedy akomodaci. Postupem věku vlákna ztrácejí svoji elasticitu a ochabují. [4, 5, 11]

## 2.4 Řasnaté těleso – corpus ciliare

Řasnaté těleso se dělí na dvě části. Pars plicata tvoří vnitřní část tělesa a je spojena s duhovkou. Zde vystupují radiálně uspořádané řasy (processus ciliares) mají sekreční funkci. Tyto řasy produkují do zadní komory komorovou vodu (humor aquosus), která dál postupuje až do komory přední. K řasnatému tělesu se upínají mezi ciliárními výběžky vlákna závěsného aparátu čočky.

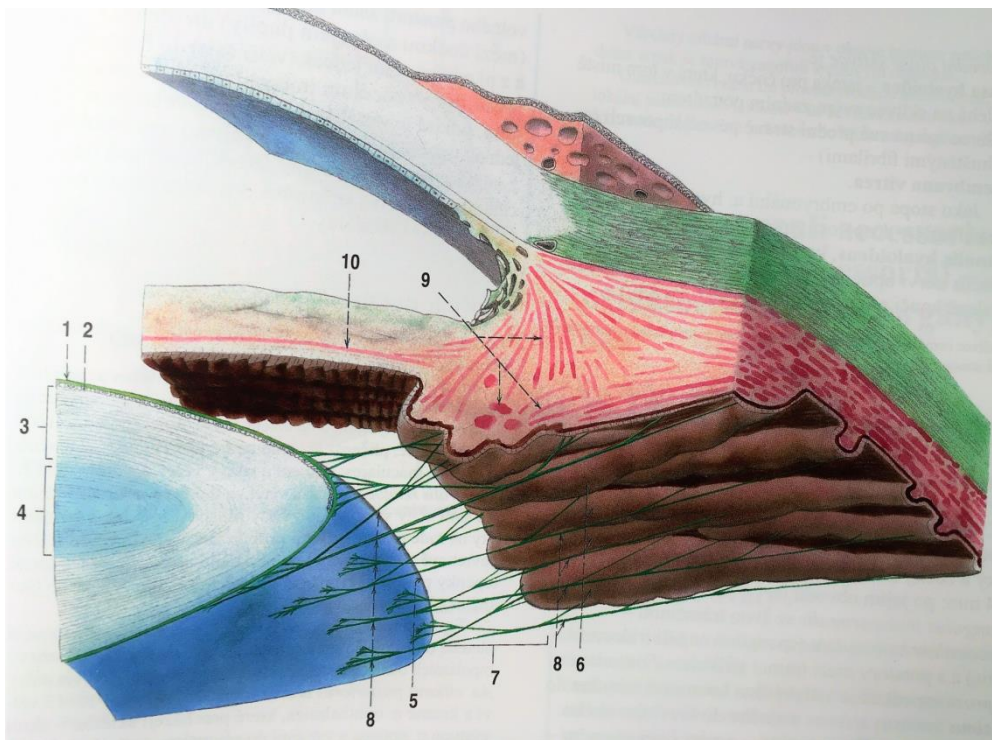
Zevně od řasnatého tělesa se nachází přechod dvou oblastí. Vlastní fotosenzitivní část oka (pars optica retinae) a dvouvrstevný epitel sítnice, který tvoří povrch řasnatého tělesa (pars ciliaris retinae). Tato oblast se nazývá ora serrata. V tomto místě přechází druhá část corpus ciliare (pars plana) v cévnatku.

Z větší části je řasnaté těleso tvořeno hladkým svalem (musculus ciliaris) a bohatou sítí krevních kapilár. Buňky ciliárního svalu jsou uspořádány radiálně, longitudinálně a cirkulárně a jsou inervovány parasymptickými vlákny z nervus oculomotorius. Vnitřní vrstva je bez neuronů a receptorů a tvoří jí také podpůrné buňky.

Kontrakcí m. ciliaris dojde k uvolnění závěsného aparátu čočky a jejímu vyklenutí. Čočka změní svoji optickou mohutnost, což je podstata akomodace. [5, 6, 7]



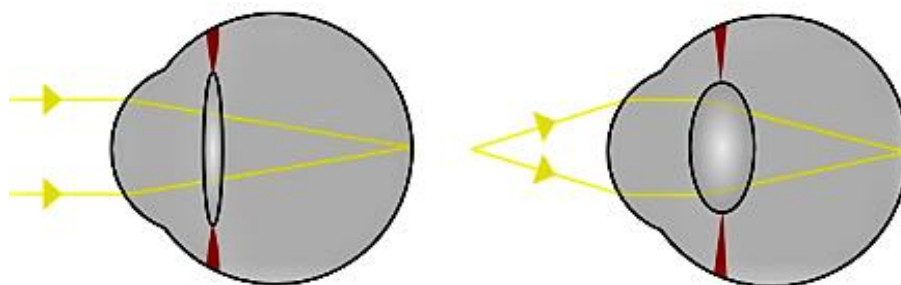
**Obrázek 2.5:** Struktury v oblasti corpus ciliare;  
 A pars plicata, B pars plana, C ora seratta, D retina, E, F výběžky řasnatého tělíska, G lineární strie směřující dopředu od zubatých výběžků přes pars plana, H, I periferní část duhovky [2]



**Obrázek 2.4:** Závěsný aparát oční čočky; 1 capsula lentis, 2 epithelium lentis, 3–4 substantia lentis, 3 cortex lentis, 4 nucleus lentis, 5 equator lentis, 6 processus ciliares, 7 zonula ciliaris, 8 fibrae zonulares, 9 musculus ciliaris, 10 m. dilatator pupillae [5]

### 3 Akomodace oka

Akomodace je schopnost oka změnit svojí refrakční sílu, pro zaostření různě vzdálených předmětů v prostoru tak aby se zobrazili na sítnici (obr. 3.1). Posouzení akomodační schopnosti v rámci optometristického vyšetření slouží k objasnění problémů s viděním na blízko a poruch binokulárního vidění. Je také součástí stanovení subjektivní refrakce v presbyopickém věku. [2, 9, 12]



Obrázek 3.1: Akomodace oka [16]

#### 3.1 Mechanismus akomodace (Akomodační triáda)

Akomodační aparát je složen z ciliárního tělesa, závěsného aparátu a čočky. Akomodace je způsobená kontrakcemi m. ciliaris. Vyvolányými parasymptickými vlákny III. hlavového nervu (nervus oculomotorius), které jsou jeho součástí jako vegetativní nervy vystupující z Edinger-Westphalova jádra s přepojením na ganglion ciliare. Kromě toho inervuje také sval pupilového svěrače a 4 okohybní svaly (horní přímý, dolní přímý, vnitřní přímý, dolní šikmý). Mimovolní nervové impulzy pro akomodaci, pupilu a oční svaly ve středním mozku vede při pohledu na blízky předmět ke kontrakci ciliárního tělesa, k zúžení pupily (mióze) a konvergenci očního páru. Tento trojitý stah se označuje jako akomodační triáda nebo akomodační trias. Při pohledu do blízka zajišťuje konvergence binokulární zobrazení sledovaných předmětů do foveální oblasti. Mióza způsobí zúžení kuželu dopadajících světelných paprsků do oka. Tím eliminuje projev sférické aberace optického systému oka a zlepši se podmínky pro ostré zobrazení pozorovaného předmětu na sítnici. Akomodační reflex můžeme popsat jako systém negativní zpětné vazby, přičemž dochází k optimalizaci sítnicového obrazu. Za účelem udržení jednoduchého binokulárního vidění dochází k vyvolání akomodace a konvergence očí při jakékoliv změně fixace. [2, 6, 9, 12, 36]

## 3.2 Biomechanické a anatomické změny v průběhu akomodace

Biomechanické a anatomické změny, které probíhají během akomodačního procesu lze jednoduše popsat v několika na sobě navazujících krocích. V první fázi dojde k nervovému podráždění ciliárního svalu, dojde ke kontrakci, přičemž se posune dopředu a dovnitř. Ciliární prstenec podél ciliárního svalu se posune asi o 0,5 mm. Následně se natáhnou zadní vlákna závěsného aparátu oční čočky spolu s cévnatkou asi o 0,5 mm. Z tohoto důvodu klesá napětí v přední části zonuly a vlákna se uvolní. Elasticita pouzdra čočky a elastické vlastnosti čočky způsobí, vyklenutí čočky a tím se zvýší její celková mohutnost. Celý proces je doprovázen změnami parametrů čočky. Zmenší se ekvatoriální průměr asi o 0,4 mm, zadní pól čočky se posune o 0,15 mm dozadu a přední pól o 0,1 mm, centrální část přední plochy změní svůj poloměr křivosti z 11 mm na 5,5 mm, zadní plocha z 5,18 mm na 5,05 mm. Tloušťka čočky se zvýší a v důsledku gravitace dojde i k poklesu čočky o 0,1 mm. [2, 15]

## 3.3 Faktory ovlivňující akomodaci oka

### 3.3.1 Axiální refrakce

Refrakce oka má zásadní vliv na akomodaci. V případě nekorigované hypermetropie dochází k akomodaci jak na dálku, tak i na blízké předměty – kde je nutno ještě vyšší akomodační úsilí. U nekorigované myopie hrozí postupná atrofie akomodačního aparátu, a to z důvodu, že akomodační úsilí není z pravidla nutné jak do dálky, tak i na blízko. Poloha hlavních rovin systému oko – brýlová čočka, která závisí od lomivosti brýlových čoček, vede k tomu, že blízký bod korigovaného myopického oka leží blíže oku než blízký bod korigovaného hypermetropického oka. U vyšších hodnot anizometropie (rozdílná hodnota refrakce mezi pravým a levým okem) může nastat rozdíl v hodnotě adice mezi pravým a levým okem. [2, 9, 12]

### 3.3.2 Věk

Největší vliv na akomodaci má věk. Z důvodu neustálého růstu čočky, ubývá akomodační schopnost. Tento proces začíná v dětství a projeví se kolem 40. roku života, kdy nastoupí stav presbyopie. Presbyopie je charakteristická vzdalováním blízkého bodu. Korekce je možná tzv. adicí, resp. předsazením plusových dioptrií před správnou korekcí na dálku. Presbyopie se věkem zvyšuje. Schopnost akomodovat je kolem 70. roku života téměř nulová. [9]

### **3.3.3 Hloubka ostrosti**

Hloubka ostrosti oka je subjektivní vnímání ostrosti jedince na posunutí objektu v prostoru, který je konjugovaný na sítnici za předpokladu konstantního akomodačního úsilí. Oblast hloubky ostrosti se zvětšuje s menším průměrem pupily. U starších osob je typický menší průměr pupil. Proto část ztráty akomodační schopnosti může být vyrovnávána právě hloubkou ostrosti. [9]

Existuje několik metod na měření hloubky ostrosti. Stanovení tyto hodnoty je ovlivněno subjektivním vnímáním vyšetřovaného. K vyšším hodnotám hloubky ostrosti dochází i v případě menší neostrosti, protože vyšetřovaný dokáže identifikovat znaky na základě zkušeností, resp. ze souvislosti daného textu. V praxi se usuzuje, že maximální akomodační úsilí u testování zrakové ostrosti na blízko je přeceňováno. Výsledky by mohli být spolehlivější, kdyby se vyšetřovaný zaměřil více na neostrosti textu, jako na čtení, resp. porozumění textu. [9]

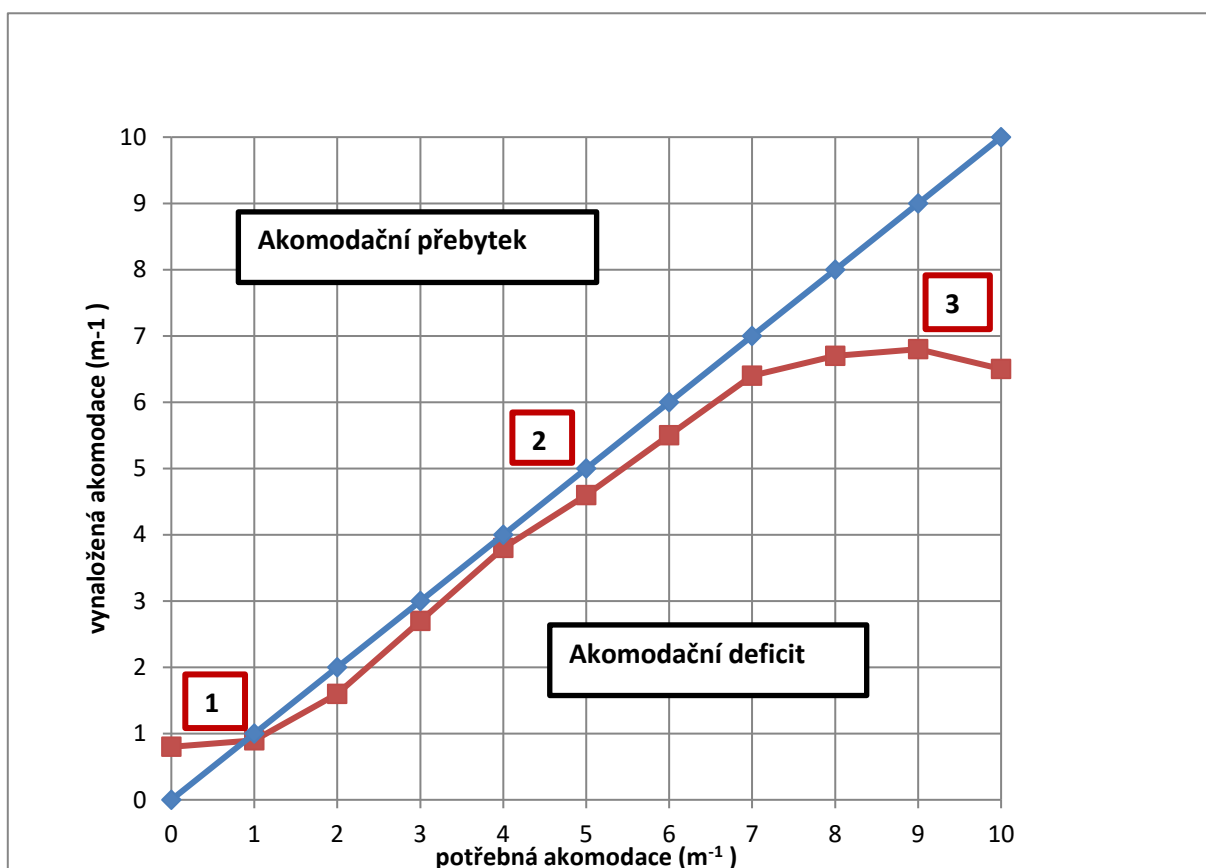
### **3.3.4 Akomodační mikroodchylky**

Od vynalezení elektronického refraktometru v 10. letech minulého století je známo, že hodnoty refrakce lidského oka při pozorování stacionárního předmětu se konstantně mění. Amplituda těchto odchylek je přibližně  $\pm 0,1$  dpt. Na tyto odchylky má vliv několik faktorů. Zejména vzdálenost pozorovaného předmětu, kdy amplituda roste se zmenšováním vzdálenosti předmětu. Průměr pupily, amplituda roste se zmenšováním průměru pupily. Dalšími faktory jsou světlost a kontrast objektu.

V praxi má znalost akomodační mikroodchylky význam u objektivního měření axiální refrakce. Pomocí autorefraktometru by mělo vždy proběhnout několik měření za sebou a výsledné průměrné hodnoty považovat jen za orientační. Refrakce by z pravidla měla být stanovená subjektivním vyšetřením. [9]

### 3.3.5 Vzdálenost objektu a akomodační deficit

Při pohledu na blízky předmět vynaloží lidské oko tolik akomodačního úsilí, aby se vytvořil dostatečně ostrý obraz na sítnici. Hodnota akomodačního úsilí a vzdálenost objektu jsou kompatibilnější, pokud je menší hloubka ostroty a jemnější a kontrastnější detaily předmětu. Rozdíl mezi vynaloženou akomodací a převrácenou hodnotou vzdálenosti objektu se označuje jako deficit akomodace, resp. akomodační přebytek (obr. 1.2). [9]



Obrázek 3.2: Graf závislosti vynaložené akomodace od vzdálenosti objektu [9], upraveno autorem

Z obrázku 3.2 je zřejmé, že při požadavku akomodace méně než 1 dpt, kdy je vzdálenost předmětu větší, než 1 m vzniká akomodační přebytek (1). V tomto případě, je míra akomodace ovlivněna tonickou složkou akomodace. Pokud je požadovaná míra akomodace více, než 1 dpt, vzdálenost objektu je menší než 1 m, vzniká akomodační deficit (2) Tady oko využívá přítomnou hloubku ostrosti. Při pohledu na blízké předměty se překročí požadavek na maximální možnou míru akomodace, proto vzniká akomodační deficit (1). Jestli překročí požadavek na akomodaci určitou hodnotu, narůstá ostrost zobrazení na sítnici a zapojuje se tónická složka akomodace. [9]

Akomodační deficit může být zjištěn skiaskopíí. Používají se i refraktometry, které umožňují sledování blízkého předmětu. Subjektivní metody na vyšetření akomodačního deficitu obsahují měření relativní akomodace. Zvýšený akomodační deficit ( $< -1,0$  dpt) poukazuje na malou hodnotu akomodace a vzniká akomodační insuficiencí (nedostatečností). Akomodační deficit ( $> -0,5$  dpt) poukazuje na příliš silnou míru akomodace, příčinou může být akomodační exces. [9]



Mezi další faktory ovlivňující akomodaci oka můžeme zařadit chromatickou vadu, léky a mandlovníkový efekt.

### **Chromatická aberace**

Chromatická aberace, barevná chyba zvětšení, má neméně důležitý vliv na řízení akomodace oka. V případě, že se krátkovlnné modré světlo zaostřuje na sítnici více než dlouhovlnné červené světlo, dojde k zvýšení akomodačního úsilí. Naopak snižování akomodačního úsilí dojde v případě, že dlouhovlnné červené světlo je zaostřeno více než krátkovlnné modré světlo. [2, 9]

### **Léky**

Akomodace může být navozena také farmakologicky. Lokální aplikace parasymptomimetik např. Pilocarpin způsobí kontrakci ciliárního svalu. Doprovodným efektem je také zúžení pupily. Je to z důvodu, že m. sphincter pupillae je inervován parasymptikem. [9]

### **Mandlovníkový efekt**

Mandlovníkový efekt vzniká, když se mezi pozorovatelem a vzdáleným předmětem nachází rušící transparentní předmět. Tento efekt můžeme pozorovat například při nočním řízení auta. Kdy znečistěná skla, spolu s noční myopií způsobí posun hodnot axiální refrakce. [9]

## 3.4 Teorie akomodace

Teorie akomodace je dodnes velmi diskutovaným tématem a její přesný princip dodnes není přesně vysvětlen. Již v 17. století byla Keplerova teorie o fungování akomodace vytvořena na základě předozadního pohybu čočky podobně, jak je tomu u ryb. V roce 1677 se koumáním akomodace zabýval také Descartes, jeho teorie byla založena na změně tvaru čočky, co způsobovali stahy ciliárního svalu. [13, 14]

Existuje několik hlavních teorií, které popisují akomodační procesy. Mezi ty nejvýznamnější patří: Helmholtzova a Gullstrandova teorie, teorie Schaharova, a teorie podle Tscherninga a Colemana.

### 3.4.1 Helmholtzova (kapsulární) teorie

Herman Ludwig Ferdinand von Helmholtz působil v 19. století. Zabýval se několika obory, především optikou a oftalmologií. Věnoval se experimentálnímu studiu sluchového a zrakového ústrojí, dokázal změřit rychlost nervového vzruchu. Pomocí oftalmoskopu, který sám sestrojil, dokázal podrobně zkoumat struktury uvnitř oka, čím výrazně přispěl do oboru očního lékařství. Dalším přístrojem co vytvořil je oftalmometr (keratometr), tím dokázal změřit zakřivení čočky. Díky tomuto měření zjistil, že při akomodaci se mění hodnoty zakřivení čočky, čím potvrdil Descartovu teorii. [16]

Kapsulární teorie je založena na předpokladu, že během akomodace dochází ke stahu ciliárního svalu. Důsledkem je jeho posun dopředu, tím se sníží tonus zonulárních vláken. Následně dojde důsledkem elasticity pouzdra čočky k vyklenutí přední plochy čočky a v ekvatoriální oblasti k uvolnění tahu. Zvýší se axiální tloušťka a zároveň se sníží průměr čočky a tím dojde i k navýšení optické mohutnosti. V opačném případě, tedy když je oko v klidovém tzv. desakomodovaném stavu, ciliární sval uvolní kontrakci a tím se vrátí do své původní polohy a velikosti. Zonulární vlákna zvýší své napětí a způsobí oploštění čočky.

V roce 1917 Fincham doplnil Helmholtzovu teorii, kde nebyl vysvětlen důvod vyklenování pouze přední plochy. Zjistil, že tloušťka kapsuly je v centrální oblasti zadní plochy nejtenčí a proto zadní plocha dosahuje svého maximálně možného vyklenutí již v klidovém stavu. [2, 3, 11, 13]

### 3.4.2 Tscheringova teorie

Marius Hans Erik Tschering působil 25 let na univerzitě Sorbona (dnes Pařížská univerzita), kde vedl katedru oftalmologie. Dále působil v Kodani, kde zkoumal Purkyňovy obrazce, etiologii myopie a pohyby oka. Ve své teorii o mechanismu akomodace vyjadřuje nesouhlas s Helmholtzem. [17]

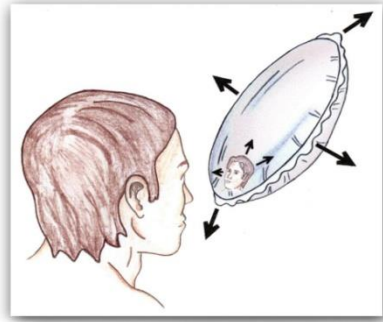
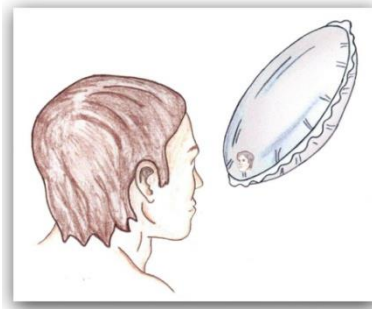
Jeho teorie z roku 1904 popisuje anatomii uchycení zonulárních vláken. Vysvětluje, že ne všechna vlákna jsou uchycena ve stejném místě na povrchu čočky. Podle Tscheringove teorie se na přední část ciliárního svalu upínají zonulární vlákna z ekvatoriální části, zatím co na zadní část ciliárního svalu se upínají přední a zadní zonulární vlákna. Akomodací se tedy zvýší zakřivení čočky v centrální části z důvodu většího tahu zonulárních vláken vycházejících z ekvátoru čočky. Naopak v periferii se čočka oplošťuje uvolněním zonulárních vláken uchycených na zadní části ciliárního svalu a tím se tlustší centrální část stává více lomivou. Akomodovaná čočka má v tomto momentě větší vertikální rozměr než čočka v klidovém stavu.

Tschering přikládá určitou roli v mechanismu akomodace také sklivci, který vytváří tlak na zadní plochu čočky a tím napomáhá celému procesu. [2, 3, 11]

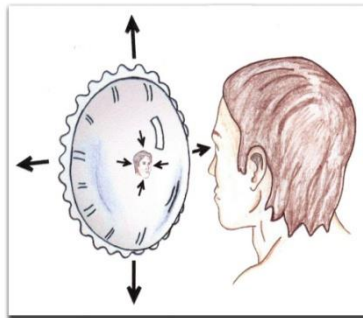
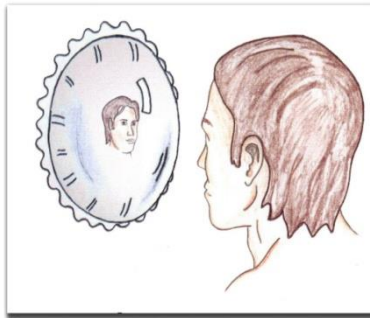
### 3.4.3 Schacharova teorie

Ronald Schachar ve své teorii z roku 1991 vychází z Tscheringovi teorie. Schachar předpokládá jiné místa napojení zonulárních vláken na oční čočku. Domníval se, že na přední část ciliárního svalu jsou upnuta ekvatoriální vlákna a na zadní část se upínají přední a zadní vlákna závěsného aparátu. Podle jeho teorie za stavu minimální optické mohutnosti čočky jsou vlákna na ekvátoru v minimálním napětí. Tedy při kontrakci ciliárního svalu největší sílu vyvinou ekvatoriální vlákna, přičemž zadní a přední vlákna jsou v klidovém stavu. Čočka se tedy v periferii oploští, prodlouží ve vertikálním směru a zvětší se předozadní délka. [2, 3, 11]

Demostrace Schacharovy teorie je možná pomocí předmětu, který bude vykazovat určitou míru odrazivosti a bude tvarovatelný. Tvar by měl připomínat čočku, tedy měl by mít bikonvexní tvar. Zatažením za ekvátor se periferie oploští a centrum se strane strmější a zároveň se změní i poloměr zakřivení. Změna pozorovaného odrazu (reflexu) v centrální části a periferii je znázorněna na další straně (obr. 3.3 a obr. 3.4). [18]



Obrázek 3.4: Reflex v periférii [18]



Obrázek 3.3: Centrální reflex [18]

### **3.4.4 Colemanova teorie**

Coleman ve své publikaci z roku 1986 popsal mechanismus akomodace a vytvořil tak další teorii. Tu postavil na základě, že k akomodaci dochází tlakovými změnami v oku. Tyto změny jsou vyvolané kontrakcí ciliárního svalu. Čočka spolu se závěsným aparátem a předním sklívcem tvoří „bariéru“ mezi sklívcovým prostorem a přední oční komorou. Zvýšením tlaku ve sklívci a snížením tlaku v přední komoře začne sklívec působit na zadní plochu čočky. Coleman se touto teorií pokusil ozřejmit fakt, že čočka během akomodace mění optickou mohutnost a tvar.[3]

### **3.4.5 Goldbergova teorie**

Nejnovější teorii akomodace je z roku 2011 od doktora Daniela D. Goldberga. Pomocí počítačové animace představil teorii o reciproké činnosti zonulárních vláken. K zvýšení optické mohutnosti dojde následkem uvolnění předních zonulárních vláken, napnutí zadních vláken co dál přenesou tlak na sklívcovou membránu a změní se zakřivení čočky, a zároveň kontrakce ciliárního svalu. [19, 20]

## **3.5 Klasifikace akomodace**

### **3.5.1 Reflexní akomodace**

Reflexní akomodace jako reakce optického aparátu na neostrý obraz je zřejmě nejdůležitější a největší složkou akomodace. Je přítomná v monokulárním i binokulárním vidění. Hlavním účelem této složky je v případě rozostření vstupní informace pomocí automatické úpravy refrakčního stavu udržení ostrého obrazu na sítnici. Hodnoty rozostření se pohybují kolem 2 dpt. Odhalit rozostření je snadné díky malým očním pohybům tzv. mikrosakádám. [2]

### **3.5.2 Proximální akomodace**

Proximální akomodace je aktivována při pozorování předmětu, který je ve vzdálenosti do 1 metru a také při odhadu vzdálenosti tohoto předmětu. Tato složka akomodace nemá samostatnou zpětnou vazbu založenou na podkladě retinálních obrazů, protože je podněcována percepčními stimuly. Proximální akomodace je velmi malou složkou celé akomodace a to z důvodu, že za normálních binokulárních podmínek dominuje vizuální zpětná vazba disparitně vergenčního a akomodačního systému. Projevuje se při objektivním měření refrakce a zapříčinuje přístrojovou myopii. [2]

### **3.5.3 Vergenční akomodace**

Vergenční akomodace je složka akomodačně-vergenční synkinézy, kdy je cílem zachovat geometrické, optické a fúzní podmínky ostrého obrazu předmětu, který se přibližuje. Proces, kdy dochází ke sbíhavým pohybům očního páru, se nazývá konvergence. Nejčastěji konvergence nastane při pohledu do blízka. AC/A poměr slouží pro vyhodnocení akomodačně-vergenční synkinézi. AC/A poměr bude více popsán v kapitole 5.2. [2, 9, 15]

### **3.5.4 Tónická akomodace**

Tónická složka akomodace je neustále aktivní a to bez potřeby stimulů. Její hodnota je mladém věku přibližně 1 dpt, rozmezí je od 0 – 2 dpt. Mění se věkem. V případě degradace sítnicového obrazu v monokulárních podmínkách a za předpokladu nepřítomnosti proximální složky nebo jen malých hodnot, tak právě tónická složka akomodace tvoří celkovou hodnotu akomodace. [2]

## 3.6 Poruchy akomodace

Poruchy akomodace vznikají z různých důvodů, můžeme je rozdělit dle příčiny vzniku na patologické a fyziologické. Akomodaci lze ovlivnit farmakologicky např. atropin způsobí hypermetropizaci a pilokarpin myopizaci. Dalšími faktory jsou onemocnění a trauma (glaukom, pohmoždění oka), infekce, systémové a nervové choroby, otravy organismu. Mezi patologické jevy řadíme exces, spasmus, insuficienci a obrnu. Věkem resp. stárnutím organismu se projeví fyziologické změny na čočce, vzniká stav presbyopie. [2]

### 3.6.1 Akomodační exces

Exces akomodace se projevuje kontinuálně zapojenou akomodací i bez stimulu, který by akomodaci vyvolal, a zvýšeným akomodačním úsilím na daný stimul a tímto je schopnost relaxace oslabena. Tato porucha se vyskytuje u mladých myopů a hypermetropů po namáhavé práci na blízko kdy je pracovní prostor nadměrně nebo naopak nedostatečně osvětlen. Dále exces u dospělých způsobují encefalitida, syfilis, neuralgie trigeminu a u dětí chřipka, meningitida, encefalitida. Může být spojen s astenopickými potížemi zejména fotofobií, bolesti hlavy v oblasti čelního laloku, rozmazané vidění, diplopie a také souvisí s excesem konvergence. Pomocí ergonomie práce, doporučením správné korekce, použitím cykloplegik hlavně u dětí při subjektivní refrakci, zvolením správné pracovní vzdálenosti může dojít k odstranění excesu. [2, 8, 9, 21, 22]

### 3.6.2 Spasmus akomodace (křeč)

Spasmus je vážný a vzácný stav, který vzniká u podkorigovaných nebo nekorigovaných hypermetropů, presbyopů a také po použití miotik, otravě oxidem uhelnatým a morfinem. U dětských pacientů může spasmus vyvolat i stres. Porucha se projevuje zvětšením pozorovaného předmětu (makropsií) a také tzv. tranzitotní (přechodnou) myopizací (až–10 dpt). Spasmus ve většině případů ustane do několika dnů, důležitá je přesná korekce. V opačném případě se aplikuje atropin (cykloplegie) po dobu 1 měsíce. [2, 12, 21, 23]

### **3.6.3 Insuficience (nedostatečnost) akomodace**

Snížená hodnota akomodační šíře dle norem vzhledem k věku pacienta je typickým znakem insuficience akomodace. Hodnoty akomodační amplitudy se pohybují přibližně kolem 2 dpt a méně. Způsobuje to nedostatečná schopnost kontrakce ciliárního svalu, což má za důsledek neefektivní akomodaci, a předčasný nástup presbyopie. Hlavními příznaky insuficience jsou astenopické potíže při práci na blízko hlavně diplopie, bolesti hlavy, rozmazané vidění. Počátečním stádiem insuficience akomodace může být akomodační únava, kdy jsou hodnoty akomodační šíře v normě, ale při namáhavé práci dojde k jejímu snížení. [2, 8, 9, 21]

### **3.6.4 Obrna akomodace**

Akomodační obrna je ojedinělý stav. U akomodační šíře rozlišujeme parézu, kdy jsou hodnoty akomodační šíře zmenšené, a v případě absence akomodační šíře mluvíme o paralýze. Nejčastěji k tomuto stavu dochází při poranění hlavy nebo u alkoholismu, diabetu, infekci CNS, otravě olovem. V malé míře zhoršuje vidění do blízka presbyopům po 60. roce života a také myopům z důvodu mydriázy, která je způsobena parasympatickými vlákny (inervace m. ciliaris). U emetropů se zhorší vidění do blízka, a u hypermetropů i do dálky s doprovodnými astenopickými potížemi. Při dlouhodobých problémech se předepisuje presbyopická korekce, v případě patologické mydriázy stenopeickou kontaktní čočkou nebo plastikou duhovky. [2, 8, 21]



### 3.6.5 Presbyopie

Presbyopie (vetchozrakost) je pomalý, fyziologický, věkem podmíněný proces, jehož znakem je redukce akomodační šíře. Dochází k oddalování blízkého bodu od oka resp. přibližování blízkého a dalekého bodu až nakonec i k jejich splynutí. Vetchozrakost je zapříčiněná biomechanickými, fyziologickými a chemickými vlivy. Hlavním vlivem je pokles elasticity oční čočky resp. čočkového pouzdra. Ke snížení účinnosti pouzdra vede také neustálý růst čočky a čočkové substance. Tento proces začíná v dětství a projeví se kolem 45. roku života. Nástup presbyopie je individuální v rozmezí mezi 38. a 48. rokem života. [2, 12, 15, 24]

Mezi projevy presbyopie patří prodlužující se čtecí vzdálenost, kterou je možné překonat pomocí vyššího akomodačního úsilí. Zvyšováním akomodačního úsilí může vzniknout spasmus akomodace a také diplopie. Dalšími příznaky jsou neostré vidění na blízko, únava. Posouváním textu dále od oka se ostrost zlepšuje, proto se potíže projeví později u osob vyššího růstu s delšíma rukama. [2,12,15]

Presbyopii korigujeme předsazením plusových dioptrických hodnot tzv. adicí (přídavek na blízko). Stanovení hodnoty adice předchází stanovení správné korekce do dálky. Existují tabulkové hodnoty, které podle věku určují hodnoty adice, avšak tyto hodnoty jsou pouze orientační. Hodnota adice by měla být přizpůsobena požadavkům klienta, čtecí vzdálenosti. Výsledná korekční hodnota by měla taková aby klient využíval přibližně 2/3 své akomodační šíře. [2, 12, 15]

## 3.7 Definice základních pojmů týkajících se akomodace

Pro další postup a popis akomodace a její kvantitativní hodnocení je potřebné definovat základní veličiny.

### 3.7.1 Daleký bod a blízký bod

Oblast, ve které je oko schopno zaostřit jednotlivé body se nazývá akomodační interval. Vymezuje jí dva body, daleký bod (punctum remotum) a blízký bod (punctum proximum, NPA, near point of accommodation). Daleký bod je nejvzdálenější bod, který dokáže lidské oko zobrazit na sítnici ostře při nulové akomodaci. Blízký bod se zobrazí na sítnici ostře při maximálním akomodačním úsilí. [2, 9, 12]

### 3.7.2 Akomodační interval

Jak už bylo výše zmíněno, oblast vymezená dalekým a blízkým bodem se nazývá akomodační interval. Rozsah ostrého vidění, který nám tato veličina charakterizuje je udáván v metrech. Míru využitelnosti akomodace nám udává akomodační oblast. Postupem věku se mění. Zmenšuje se úměrně se vzdalujícím se blízkým bodem. [2, 8, 25]

### 3.7.3 Akomodační amplituda

Akomodace mění lomivost tedy, stav optické mohutnosti oka. Při nulové akomodaci můžeme tento stav označit jako statická refrakce. Dynamická refrakce je stav, který charakterizuje nárůst optické mohutnosti vyvolaný akomodací. Akomodační amplituda (AA), která se uvádí i jako akomodační šíře, je udávána jako rozdíl statické a dynamické refrakce. Můžeme říct, že akomodační amplituda je rozdíl mezi minimální a maximální akomodací a můžeme být také chápána, jako maximální možný nárůst optické mohutnosti, který akomodace způsobí. Z toho vyplývá, že akomodační amplituda je vergence rozdílu vzdálenosti dalekého a blízkého bodu. Uvádíme jí v dioptriích a matematicky jí můžeme vyjádřit jako rozdíl vergencí dalekého a blízkého bodu následovně:

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

AA – akomodační amplituda [dpt]

$a_R$  – daleký bod [m]

$a_P$  – blízký bod [m]

V průběhu života míra akomodační amplitudy fyziologicky postupně klesá. Pokles začíná rychlostí asi 0,3 dpt za rok, přibližně v 5 letech, kdy hodnoty dosahují, až 15 dpt (Tabulka 1). Končí kolem 52. roku, kdy je hodnota prakticky nulová. Kromě věku má vliv na hodnotu akomodační amplitudy také refrakční vada. Emetropický pacienti a pacienti s nižší hypermetropií vykazují vyšší hodnoty akomodační amplitudy než pacienti myopický a silně hypermetropický. V porovnání s ostatními fyziologickými funkcemi je pokles akomodační amplitudy věkem rychlejší. Duanova křivka popsána níže charakterizuje pokles akomodační šíře s přibývajícím věkem. [2, 3, 8, 9, 12]

Zpravidla se při vyšetření akomodační amplitudy vychází z měření při binokulárním vidění, protože hodnoty naměřené monokulárně mohou být nižší přibližně o 0,5 dpt. Fyziologický rozdíl mezi pravým a levým okem je méně než 0,25 dpt. Na hodnoty akomodační šíře má také vliv i směr pohybu oka, při pohledu dolů má největší hodnoty a při pohledu nahoru nejmenší hodnoty a může vykazovat rozdíl až 1,5 dpt. [2, 15]

**Tabulka 1** Hodnoty AA a NPA v závislosti na věku [38]

| Věk | AA (dpt) | NPA (cm) |
|-----|----------|----------|
| 4   | 14,00    | 7,00     |
| 6   | 13,50    | 7,50     |
| 8   | 13,00    | 7,75     |
| 10  | 12,50    | 8,00     |
| 12  | 12,00    | 8,25     |
| 14  | 11,50    | 8,75     |
| 20  | 10,00    | 10,00    |
| 30  | 7,50     | 13,25    |
| 40  | 5,00     | 20       |
| 50  | 2,50     | 40       |

### 3.7.4 Studie akomodační šíře (Donders a Duane)

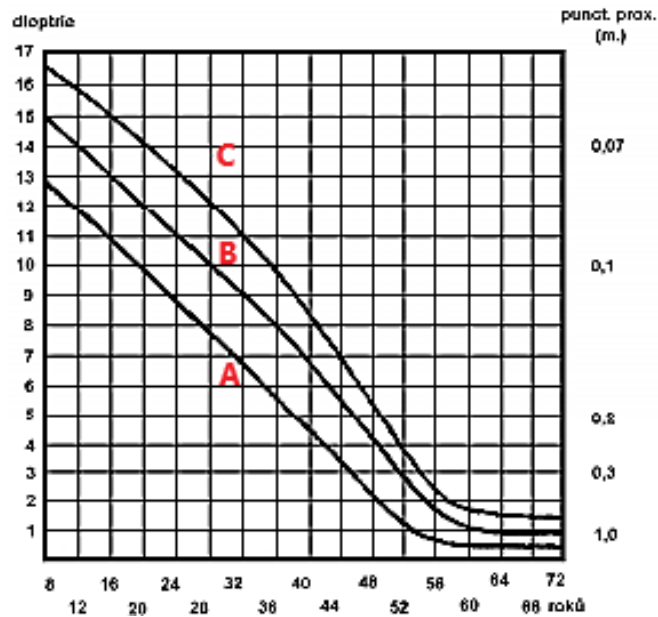
První zmínka o studii, resp. zjišťování akomodační šíře pochází z roku 1864. Dánský oftalmolog Franciscus Donders zkoumal hodnoty akomodační šíře u vzorku 130 osob ve věku od 10 až 80 let. Další podmínkou bylo, že respondenti byli pouze emetropové nebo měli nízkou refrakční vadu. Výzkumu se účastnili osoby, které se svojí výslednou korekcí dosáhli maximální zrakovou ostrost do dálky. Základem měření bylo sledování 5 tenkých drátků umístěných vedle sebe. Vyšetřovaný měl udat moment, kdy dojde k rozmazání. Měření probíhalo nejdřív monokulárně a následně byla stanovena akomodační šíře binokulárně. Z výsledných hodnot byla sestavena Dondersova křivka, která určuje závislost akomodační šíře na věku. [37]

Americký oftalmolog Alexander Duane, v roce 1922 publikoval studii, kde se zabýval akomodací. Zkoumal průběh akomodace za monokulárních a binokulárních podmínek a jejího dalšího využití. Ve své práci pozoroval závislost akomodační amplitudy a věku u více než 4000 očí. Věk vyšetřovaných osob byl v rozmezí od 8 do 70 let. Ze studie vyloučil osoby s vyšším astigmatismem, vysokou myopií, s nižší hodnotou zrakové ostrosti než 1,0, amblyopické pacienty a pacienty s různými očními nemocemi. Měření probíhalo s nejlepší korekcí na dálku, která byla u lidí do věku 48 let měřená v cykloplegii, nejdřív monokulárně pak binokulárně. Testová značka byla ve formě tenké linky o délce 3 mm a šířce 0,2 mm. Duane stanovoval akomodační amplitudu subjektivně, a to pomocí metody „push-up“. [1, 2]

V českém jazyce neexistuje přesný překlad pro označení metody „push-up“ a metody „push-down“ popsané níže, a proto budu tyto cizojazyčné slovní spojení používat i nadále v textu.

Podle Duana počet respondentů pro přesné určení maximálních hodnot a minimálních hodnot akomodační amplitudy nebyl pořádkem dostačující. Na základě výsledků dokázal vyvodit několik závěrů. Monokulární hodnota akomodace je vždy menší než binokulární, rozdíl může průměrně dosahovat 0,6 – 0,7 dpt. Akomodace žen a mužů je stejná. Také se domníval, že fyzická akomodace, tedy elasticita oční čočky, tak i fyziologická akomodace, tedy aktivita ciliárního svalu s věkem klesá. [1, 2]

Výsledkem studie je tzv. Duanova křivka, kde je graficky znázorněná tato závislost (obr. 3.5). [1]



**Obrázek 3.5:** Duanova křivka akomodační amplitudy – A minimální hodnoty, B střední hodnoty, C maximální hodnoty – upraveno autorem [26]

Akomodační amplitudu a její maximální, minimální a střední hodnotu vzhledem k věku lze pro klinické použití vypočítat pomocí rovnic, které vytvořil v roce 1944 H. W. Hofstetter. [29]

$$\text{Maximální AA} = 15 \text{ dpt} - 0,25 \times \text{věk}$$

$$\text{Minimální AA} = 18,5 \text{ dpt} - 0,3 \times \text{věk}$$

$$\text{Střední AA} = 25 \text{ dpt} - 0,4 \times \text{věk}$$

## 4 Vyšetřovací metody akomodace

### 4.1 Stanovení akomodační amplitudy

Akomodační amplitudu je možné měřit několika metodami. Objektivní metodou je měření Hartingerovým koincidenčním refraktometrem za pomoci rozptylných čoček a pilokarpinu. Mezi subjektivní metody, které jsou v praxi více využívány, patří metoda „push-up“, „push-down“ a metoda rozptylky. V českém jazyce není přesný překlad pro slovní spojení „push-down“ a proto v textu budu používat toto cizí slovní spojení. Tato kapitola bude věnována popisu výše zmíněných metod.

#### 4.1.3 Subjektivní metody

##### Metoda „push-up“

Cílem metody je nalezení blízkého bodu akomodace v nejmenší možné vzdálenosti před okem, kdy je ještě bod na sítnici ostrý. Tento bod určíme v momentě trvalého rozmazání textu. Rozdíl vzdáleností mezi trvalým rozmazáním textu a blízkého bodu akomodace je velmi malý, a proto je považujeme za ekvivalentní. [27, 30]

Vyšetřovaný s nasazenou optimální korekcí do dálky pozoruje text nebo testovou značku umístěnou do vzdálenosti 40 cm. Pomalým a plynulým pohybem přibližuje text k obličejí až do momentu prvního rozmazání. Pokud klient ještě dokáže zaostřit na značku, text přiblížíme víc, až do úplného rozmazání. Vzdálenost od vrcholu korekční čočky k testové značce je převrácená hodnota akomodační amplitudy. Měřit můžeme monokulárně i binokulárně. Při metodě „push-up“ dochází k mírnému nadhodnocení akomodační amplitudy (Tabulka 2). Důvodem je relativní zvětšení testové značky, které vzniká přibližováním textu. [21, 27, 28, 29]

##### Metoda „push-down“ („pull-away“)

Doplněním metody „push-up“ může být metoda „push-down“. Použitím této metody můžeme ověřit správnost výsledků předešlé metody. Použití této metody lze i samostatně, důležité je, aby měl vyšetřovaný správnou korekci do dálky. Testová značka je umístěna přímo před obličej a pacient značku oddaluje momentu, než se zaostří. Platí, že vzdálenost od vrcholu korekční čočky po značku je převrácenou hodnotou akomodační šíře, ta je u této metody mírně podhodnocena (Tabulka 2).

Výsledná hodnota akomodační amplitudy je určena jako průměr obou hodnot naměřených výše popsanými metodami. Testové značky by měli být dostatečně osvětlené. V případě nadměrného osvětlení by mohlo dojít k zúžení zornice a tím i k zvětšení hloubky ostrosti což vede ke zkreslení výsledků. [9, 27, 30]

U presbyopů postupujeme při metodách „push-up“ a „push-down“ podobně jako emetropů, resp. u korigovaných ametropů. Před optimální korekcí do dálky předsadíme adici. Hodnota by měla být přibližně +1 dpt, aby vyšetřovaný byl schopen rozpoznat bod prvního zaostření, resp. rozostření. U dětí, které mají velkou akomodační šíři, předkládáme rozptylky před optimální korekci do dálky, obvykle -1 dpt. Je to z důvodu oddálení blízkého bodu od oka. Při zpracování výsledků je potřeba předsazené hodnoty odečíst od hodnot akomodační šíře. [27, 30]

### **Metoda rozptylky**

Při metodě rozptylky se nemění testovací vzdálenost, tedy zůstává fixní 40 cm, a to odpovídá akomodačnímu stimulu 2,5 dpt. Vyšetřovaný má předsazenou optimální korekci do dálky případně i adicí. Metoda se provádí monokulárně i binokulárně. Před oko předsazujeme postupně rozptylné čočky po 0,25 dpt, dokud se vyšetřovanému testová značka nerozmaže. Absolutní akomodační amplituda se rovná součtuvergence vzdálenosti vyšetřované značky (2,5 dpt při 40 cm) a absolutní hodnotě poslední přidané rozptylky, která způsobila rozostření. [2, 27]

Pokud srovnáme metodu rozptylky a metodu „push-up“ zjistíme, že při měření je sítnicový obraz výrazně zvětšený, a tedy výsledek ovlivní výrazně stimulovaná proximální složka akomodace. To neplatí u metody rozptylky, kde se sítnicový obraz zmenšuje a za následek to má mírně menší naměřené hodnoty než u „push-up“ metody. Důvodem je, že vyšetřovaný udává rozostření obrazu dříve kvůli zmenšení obrazu. [2, 27]

**Tabulka 2:** Srovnání hodnot AA zjištěných různými metodami [39]

| Věk | Push-up (dpt) | Push-down (dpt) | Metoda rozptylky (dpt) |
|-----|---------------|-----------------|------------------------|
| 15  | 12,00         | 10,50           | 11,00                  |
| 20  | 11,00         | 9,50            | 9,00                   |
| 25  | 9,50          | 8,00            | 7,50                   |
| 30  | 8,50          | 6,50            | 6,50                   |
| 35  | 7,00          | 5,75            | 5,00                   |
| 40  | 6,00          | 4,50            | 3,75                   |
| 45  | 3,75          | 2,50            |                        |
| 50  | 2,00          | 1,50            |                        |
| 55  | 1,50          | 1,00            |                        |
| 60  | 1,25          | 0,75            |                        |



#### **4.1.4 Objektivní metody**

##### **Měření pomocí Hartingerova koincidenčního refraktometru za pomoci rozptylek**

Vyšetřování s korekcí na dálku sedí před refraktometrem. Jedním okem pozoruje optotyp ve vzdálenosti 6 m (např. pravé) a na druhém oku je měřená objektivní refrakce (levé). Před oko, které pozoruje optotyp, postupně předkládáme zkušební čočky o hodnotách +0,5 dpt, plan, -0,5 dpt, -1,0 dpt, -2,0 dpt atd. pro stimulaci akomodace, dokud tři rozptylky za sebou nezpůsobí změnu refrakce na oku před refraktometrem, nebo vyšetřovaný sám neudává rozostření optotypu. Akomodaci na levém oku můžeme měřit kvůli křížení parasympatické nervové dráhy. Výsledkem akomodační šíře je průměr třech po sobě jdoucích měření. Poslední rozptylka přidaná před oko je rovna absolutní hodnotě akomodační amplitudy. [29, 31]

##### **Měření pomocí Hartingerova koincidenčního refraktometru za pomoci pilokarpinu**

První krok u této objektivní metody je změření axiální refrakce obou očí Hartingerovým koincidenčním refraktometrem. Následuje aplikování farmak do obou očí. Do pravého oka se kápne kapka preparátu, který způsobí pouze dilataci zornice bez cykloplegie. Do levého oka se kápnou cykloplegika, které způsobí dilataci i cykloplegii. Po 10 minutách se opět změří refrakce obou očí. Dále se do pravého oka aplikuje kapka 6 % pilokarpinu a anestetikum pro lepší difuzi přes rohovku. Po této aplikaci farmak se změří refrakce na refraktometru třikrát po pěti minutách po dobu jedné hodiny. Pacient pozoruje optotyp okem, které se zrovna neměří. Hodnota akomodační šíře je vyjádřena rozdílem axiální refrakce naměřené na začátku a refrakcí oka naměřené po aplikaci pilokarpinu. [29, 31, 32]

## **4.2 Akomodační facilitita**

Akomodační facilitita je schopnost rychlé reakce akomodace na základě vnějšího akomodačního stimulu. Pro stanovení akomodační facility používáme test, kde vyšetřovaný sleduje testovou značku, obvykle tabulka do blízka s textem. Pacient sleduje ze vzdálenosti 40 cm velikost řádku o jednu větší, než je jeho binokulární zraková ostrost do blízka. Vyšetřovaný pacientovi předsazuje  $\pm 2$  dpt flipper, 2 spojné a 2 rozptylné čočky usazené v objímkách na rukojeti. Jako první předsadíme plusové hodnoty a vyčkáme, až nám pacient hlásí, zaostření obrazu. Následně předsadíme minusové hodnoty a opět čekáme na reakci pacienta. Sledujeme kolik výměn, resp. kolik cyklů zaznamenáme během 1 minuty. Udává se v cpm (cycle per minute). Měření začínáme monokulárně poté binokulárně. Normální hodnoty u dětí se pohybují kolem 3-5 cpm, u dospělých 8 cpm. [40, 41, 42, 43]

### 4.3 Relativní akomodace

Změnu akomodace a její hodnotu, při pohledu na určitou vzdálenost bez toho, aby došlo k rozostření obrazu, popisuje relativní akomodace. Dělí se na pozitivní akomodaci (PRA) a negativní akomodaci (NRA).

Pozitivní akomodaci PRA, a tedy i maximální schopnost akomodace zjistíme navozením akomodace, a tudíž předkládáním rozptylných čoček do momentu, než pacient hlásí rozmlženou testovou značku ve vzdálenosti 40 cm. Normální hodnoty se pohybují kolem -1,75 až -3,00 dpt. Test PRA pokládáme za test negativních fúzních rezerv, díky kterým během měření vergenční systém oka zůstává nezměněn.

Maximální schopnost uvolnění akomodace, aniž by došlo ke změně konvergence či divergence vyjadřuje negativní akomodace NRA. Pacient sleduje text ze vzdálenosti 40 cm. Předkládáním spojných čoček a postupným přidáváním uvolňujeme akomodační zátěž. Zamlžený obraz by měl nastat v rozmezí hodnot +1,50 – +2,00 dpt. U NRA mluvíme zase o testu pozitivních fúzních rezerv, protože u měření nedochází k divergenci, co je zapříčiněno pozitivními fúzními rezervami. [40, 41, 42, 43]

## 5 Konvergence a akomodace

Konvergence je dalším procesem, který je nedílnou součástí systému vidění. Úzce souvisí s akomodací. Podnět k fixaci se nachází blízko u oka, to vyvolá akomodaci oka. Proces akomodace navodí konvergenci a miózu pro to, aby se na sítnici vytvořil ostrý obraz.

Mechanismus konvergence je zajišťován okohybnými svaly, které vykonávají nesouhlasné (protisměrné) pohyby. Při pohledu do blízka, kdy se oční pár stáčí a pohledové osy se sbíhají, mluvíme o konvergenzi. Naopak když se osy vidění rozbíhají od sebe, mluvíme o divergenzi. [2, 44, 45]

### 5.1 Klasifikace konvergence

Konvergenci lze rozdělit dle polohy fixovaného předmětu na symetrickou, kdy fixovaný bod leží ve středové rovině. V opačném případě mluvíme o konvergenzi asymetrické.

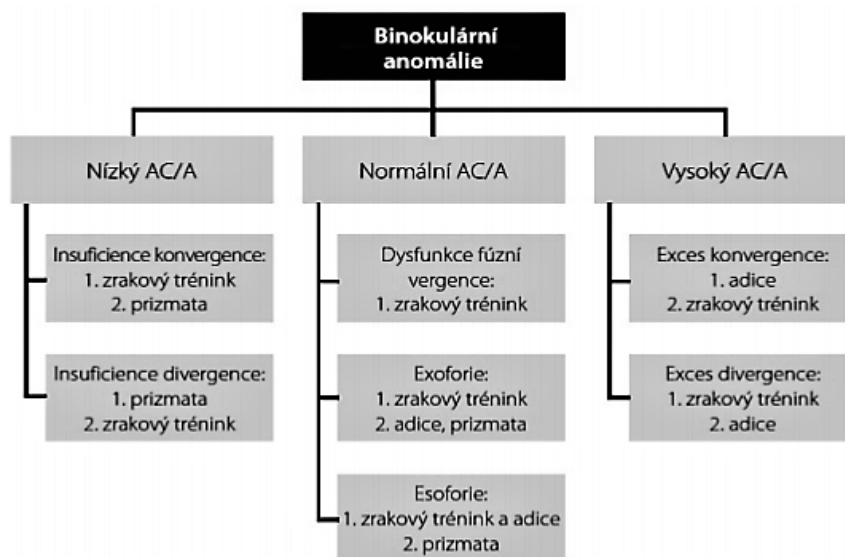
V případě, že mluvíme o konvergenzi ovládanou vůlí tak se jedná o volnou konvergenci. Konvergence řízená korovým motorickým centrem v oblasti týlního laloku, které řídí i akomodaci, a není vůlí ovladatelná, se nazývá reflexní konvergence. Tu dále dělíme na tónickou, fúzní, proximální a akomodační.

Tónická konvergence udržuje primární postavení očí v bdělém stavu, a také zachovává klidové postavení očí, které je dané tonem okohybných svalů. Fúzní konvergence zajišťuje jednoduché binokulární vidění a upravuje osy vidění a způsobuje tak fúzi. Diplopie až heterotropie může vznikat v případě dysfunkce této složky. Disparátní retinální obrazy považujeme za stimuly fúzní konvergence. Proximální složka je vrozená a nezávislá od akomodace, a je aktivována vědomím blízkého bodu. Častým projevem proximální konvergence je vyšetřování na přístrojích. Další složkou konvergence, která je vyvolána akomodací je akomodační konvergence. V momentě akomodace očního páru, je vyvolán impuls vergenčnímu systému a oči se stočí nasálně a tedy konvergují.

Propojení konvergence a akomodace charakterizují dvě veličiny a to  $AC/A$  poměr a  $CA/C$  poměr. [9, 12, 44, 47, 48, 49]

## 5.2 AC/A poměr

Jak už bylo zmíněno, konvergence a akomodace spolu úzce souvisí. Je prokázáno, že jakákoliv změna akomodace (A) sebou přináší i určitou změnu konvergence (AC). Z toho vyplývá, že AC/A poměr nám udává počet prizmatických dioptrií (pdpt), které pacient konverguje na hodnotu 1 dioptrie akomodace. Normální hodnoty AC/A poměru jsou 3:1 nebo 4:1 (pdpt:dpt). Tento poměr lze určovat jak do dálky, tak do blízka. Hodnoty jsou relativně konstantní do 45. roku života, kdy nastupuje presbyopie. Presbyopickým pacientům můžeme naměřit AC/A poměr až 14:1 (pdpt:dpt). Nízký nebo naopak vysoký AC/A poměr před nástupem presbyopie nám může dopomoci k odhalení různých dysfunkcí vergenčního systému, a tedy i poruch binokulárního vidění. [9, 22, 44]



Obrázek 5.1 : Poruchy binokulárního vidění a jejich řešení [50]

## 5.3 CA/C poměr

CA/C poměr nám pomáhá stanovit hodnotu konvergenční akomodace (CA) v dioptriích, která je navozena změnou konvergence (C) o 1 prizmatické dioptrii. V klinické praxi je CA/C poměr méně často využívaný, i přesto jeho znalost a následné využití nám může dopomoci k podrobné diagnostice binokulárních poruch. Dle dostupných zdrojů je přibližná optimální hodnota CA/C poměru u mladého člověka kolem 20 let 1:10 (dpt:pdpt). [2, 9, 22, 44, 47]

## 5.4 Blízky bod konvergence (NPC)

Blízky bod konvergence (NPC = near point of konvergence) je bod, kdy resp. kde se při jednoduchém binokulárním vidění optické oči sbíhají za největšího konvergenčního úsilí. Stanovení tohoto bodu je jednoduché. Můžeme použít hrot tužky nebo testovou značku. Pacient jí sleduje ze vzdálenosti 50 cm a udržuje jí ve výšce očí a plynule přibližuje k obličejí. První hodnotu, kterou si zaznamenáme, je bod rozdvojení nebo bod, kdy jedno z očí přestane konvergovat. Pokračování testu spočívá v oddalování testové značky případně hrotu od obličejí do momentu spojení tzv. bod spojení (recovery point). Vzdálenost opět změříme. Normální hodnoty by se měli pohybovat kolem 6/9 cm (bod rozdvojení/bod spojení). Další zdroje uvádí i hodnoty 5/8 cm. U dětí se může být hodnoty menší než 5 cm. Blízky bod konvergence není závislý na věku a tudíž u starších, presbyopických pacientů, naměříme blízky bod konvergence (NPC) menší než blízky bod akomodace (NPA). [9, 32, 38, 51]

## 6 Experimentální část

Experimentální část této práce je věnována zjišťování akomodační amplitudy u mladých dospělých osob. Získané parametry statisticky zpracuji, výsledky porovnam na základě několika faktorů a potvrdím či vyvrátím hypotézy, které určím na základě teoretických vědomostí a již publikovaných výzkumů.

### 6.1 Úvod do problematiky

Akomodace jako jeden z nejdůležitějších mechanismů lidského oka, který zabezpečuje ostrý obraz předmětu nacházejícího v různé vzdálenosti od oka, je dodnes zkoumán a podrobován různým výzkumům. V dnešní době jsou nároky na lidské smysly, především zrak, kterým vnímáme nejvíc informací, neustále stupňovány zdokonalováním a rozvojem informační technologie a komunikačních prostředků. Tento vývoj jistě přináší zjednodušení mnoha procesů, ale na druhé straně sebou přináší i vyšší nároky na zrak a tedy na akomodaci oka.

### 6.2 Metodika výzkumu

Získávání dat probíhalo ve vyšetřovací místnosti Oční optiky JL, která se nachází v hlavním městě v městské části Praha 13, v období od začátku března 2019 do konce dubna 2019. K vyšetření byl použit automatický foropter TOMEY TAP-2000, autorefraktokeratometr TOMEY RC-5000, LCD optotyp TOMEY TCP-2000P, brýlová zkušební skřín, zkušební obruba OCULUS a jednotka do blízka NV-100. Vyšetření probíhalo za stálého osvětlení. Uprostřed místnosti dosahovala intenzita osvětlení hodnoty 1350 lx, u optotypu 950 lx (luxů) a za foropterem u obličeje vyšetřovaného 350 lx. Hodnoty intenzity osvětlení při metodách „push-up“ a „push-down“ byly u jednotky na blízko 920 lx, a u „metody rozptylkou“ byla intenzita osvětlení za foropterem 370 lx a u tabulky umístěné před foropterem dosahovaly hodnoty intenzity osvětlení 460 lx.



**Obrázek 6.2:** Vyšetřovací místnost (vlastní fotodokumentace)



**Obrázek 6.1:** Autorefraktometr (vlastní fotodokumentace)

### 6.3 Vyšetření subjektivní refrakce a binokulárního vidění

Každý respondent byl na začátku informován o studii, jejím cílu, průběhu vyšetření, postupech a očekávání. Vyšetřované osoby jsem obeznámil o anonymitě výzkumu, a že žádné identifikační ani osobní údaje nebudou součástí této studie. Každý respondent podepsal informovaný souhlas (viz příloha 1).

Samotné vyšetření začalo podrobnou anamnézou, kde jsem ptal na poslední kontrolu zraku u oftalmologa nebo optometristy. Zda daná osoba má potíže s viděním do dálky, do blízka nebo při práci u počítače. Zajímalo jsem se o informace týkající se užívání léků, případných alergií. V neposlední řadě mě zajímalo povolání a jakým způsobem tráví vyšetřovaný svůj volný čas. Poznamenal jsem si průměrnou resp. odhadovanou denní dobu v hodinách strávenou u digitálních zařízení např. počítač, tablet, čtečka a mobilní telefon.

Další otázky směřovali k případné původní korekci zraku a to, brýlemi nebo kontaktními čočkami, a ke spokojenosti s nimi. V případě brýlové korekce byli hodnoty změřené na fokometru a zaznamenány v protokolu (viz příloha 2), u kontaktních čoček jsem zaznamenal hodnoty uvedené nositelem. Dále jsem zapsal maximální dosažený visus na dálku a na vzdálenost 40 cm monokulárně i binokulárně.

V případě, kdy pacient neměl původní korekci nebo žádnou korekci nikdy nenosil, tak jsem pokračoval zaznamenáním hodnot naturálního vízu monokulárně a binokulárně. Dále jsem přistoupil k objektivnímu měření refrakčního deficitu pomocí autorefraktometru.

Vyšetřování pokračovalo subjektivní refrakcí, kterou jsem stanovil pomocí automatického foropteru, nejdřív monokulárně a pak binokulárně. Při odkrytí okludovaného oka mě zajímalo komfort vyšetřovaného, případné deformace obrazu nebo diplopie. V případě potíží následovala kontrola monokulární korekce. Poté následovalo akomodační vyvážení na třířádkovém testu při zamlžení pravého i levého oka +0,50 dpt. Dále jsem zjišťoval binokulární funkce. Pomocí Worthových světél jsem zjišťoval fúzi na základě anaglyfí metody pro separaci obrazů pravého a levého oka. Přítomost heteroforie jsem zkoumal pomocí Schoberova testu, použitím červeného a zeleného filtru. Polarizační filtry k zjištění heteroforie jsem použil u K-testu bez a s fúzním podnětem. Polarizační filtry jsem použil i u testu na přítomnost stereopse (prostorového vidění).



Pro doladění refrakčního deficitu jsem zjištěné hodnoty vložil do zkušební obruby. Zkušební obrubu jsem vyšetřovanému anatomicky přizpůsobil, upravil jsem inklinaci a vzdálenost zkušební obruby od vrcholu rohovky (vertex distance) v rozmezí 12-14 mm. Sférické doladění jsem prováděl nejdřív ve vyšetřovací místnosti pomocí flipperu  $\pm 0,25$  dpt a Jacksonova zkříženého cylindru o hodnotě  $\pm 0,25$  dpt. Poté jsem se s vyšetřovaným přesunul ven z vyšetřovací místnosti, kde bylo možné při pohledu z okna zhodnotit komfort vidění do reálné dálky a kontrolu sférické hodnoty jsem udělal pomocí flipperu. S konečnou korekcí jsem nechal vyšetřovaného udělat pár kroků a dotázal jsem se na komfort. Dále jsme se přesunuli do vyšetřovny, kde jsem zaznamenal visus s konečnou korekcí do dálky a na vzdálenost 40 cm.

Do výzkumu byli zařazeni všichni respondenti, kteří dosáhli s konečnou korekcí do dálky i do blízka visus 1,0 a více, monokulárně i binokulárně. Další podmínkou bylo dosažení ortoforie při binokulárních testech, a přítomnost stereopse s optimální brýlovou korekcí.

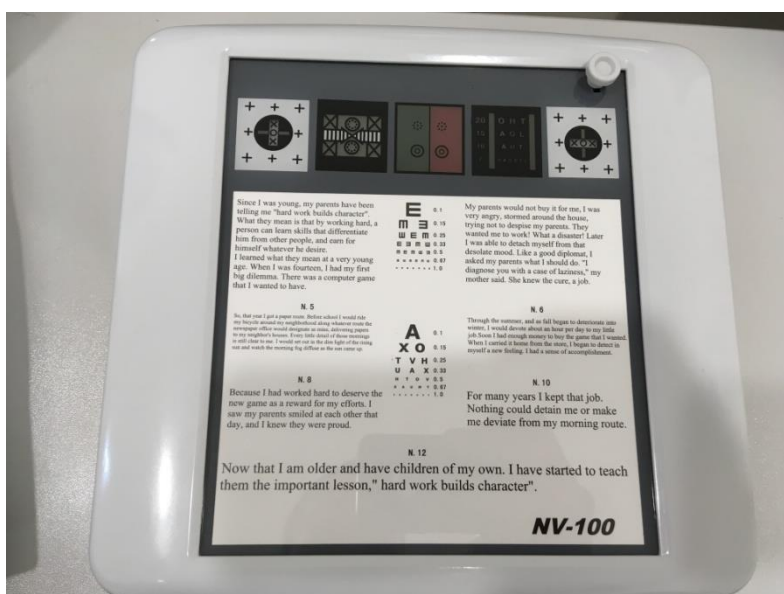
## **6.4 Metody „push-up“ a „push-down“**

Po stanovení konečné korekce, jsem přistoupil k měření akomodační amplitudy. Jako první jsem použil metodu „push-up“. Proband držel oběma rukama jednotku do blízka přímo před očima ve vzdálenosti přibližně 50 cm. Ve zkušební obrubě byla konečná korekce z předchozího měření. Vysvětlil jsem postup metody. Subjekt jsem vyzval, aby sledoval jedno slovo z nejmenšího odstavce, který odpovídal visusu 1,0 a při okluzi levého oka, plynulým pohybem přibližoval jednotku do blízka k obličejí až do momentu, kdy se slovo rozmaže. V případě, kdy nastal moment rozmlžení a subjekt byl schopný ještě slovo vůli zaostřit, byl subjekt vyzván k většímu přiblížení značky až do momentu úplného rozmlžení. V místě úplného rozmlžení jsem pomocí výsuvného metru ve vyšetřovací jednotce změřil hodnoty akomodační amplitudy v centimetrech. Ten samý postup následoval za okluze pravého oka a následně za binokulárního podmínek.

Jak jsem již uváděl v teoretické části, některé zdroje uvádí mírné nadhodnocení akomodační amplitudy měřené metodou „push-up“. Proto jsem se do výzkumu zahrnul i metodu „push-down“ u které jsou hodnoty akomodační amplitudy mírně podhodnocené a slouží jako doplnění metody „push-up“.

Vyšetřovaný držel jednotku do blízka v poloze přímo před sebou, ve zkušební obrubě měl optimální korekci do dálky. Počáteční poloha testové značky, v tomto případě písmena z posledního odstavce, který odpovídá visu 1,0 je co nejbliž u obličeje což je zpravidla u zkušební obruby. Vyšetřovaného jsem požádal, ať sleduje určené písmeno a za okluze levého oka plynule posouvá jednotku směrem od obličeje do momentu, kdy písmeno zaostří. Vzdálenost jsem změřil pomocí metru a zaznamenal do protokolu. Měření pokračovalo za okluze pravého oka a následně binokulárně.

V hodnocení výsledků pomocí těchto dvou metod v mojí práci pracuji jak s hodnotami naměřenými zvláště metodami „push-up“ a „push-down“, tak i s průměrnou hodnotou těchto dvou metod.



**Obrázek 6.3:** Jednotka do blízka (vlastní fotodokumentace)

## 6.5 Metoda rozptylky

U této metody, jsem pro zjednodušení provedení tohoto testu použil opět foropter. Do přístroje jsem nastavil vyšetřovanému jeho optimální korekci na dálku. Na přístroji jsem nastavil mód na vyšetření do blízka. Do otvoru na vrchní části jsem zasadil držák testové značky, kde se nachází soubor testů do blízka. Testovou značku jsem umístil do vzdálenosti 40 cm. V temporální části se rozsvítily diody, které osvítily testovou značku.

Subjekt byl dotázán jestli vnímá překážku při vidění - zda mu do zorného pole zasahuje obruba foropteru. Dále jsem požádal aby se proband soustředil jen na písmeno, které odpovídali visusu 1,0. Měření touto metodou pokračovalo okluzí levého oka a postupným předsazováním rozptylných čoček po krocích 0,25 dpt čím jsem navozoval stále větší akomodaci. Časová prodleva mezi výměnou čoček byla přibližně 3 sekundy. Subjekt jsem instruoval, že každou další předsazenou čočkou bude cítit větší námahu při zaostřování a požádal jsem ho o určení momentu, kdy už předsazená čočka způsobí trvalé rozostření testové značky resp. písmene. Dále jsem pokračoval stejným způsobem při okluzi pravého oka a následně za binokulárně. Do protokolu jsem zaznamenal hodnotu akomodační amplitudy, která je součtem akomodačního stimulu ve 40 cm (2,5 dpt) a absolutní hodnoty předsazené rozptylné čočky.



**Obrázek 6.4:** Jednotka do blízka [vlastní fotodokumentace]

## 6.6 Blízky bod konvergence (NPC)

Jako poslední údaj jsem zjišťoval blízký bod konvergence. Vyšetřovaného jsem požádal, ať hrot tužky přidržuje přibližně ve vzdálenosti 50 cm od obličeje v úrovni očního páru. Dále pokračovalo plynulé přibližování tužky směrem k obličejí za binokulárního vidění do momentu rozdvojení hrotu nebo ztráty fixace jednoho z očí. Pomocí centimetrového měřítka jsem změřil bod, kdy nastal bod rozdvojení. Poté jsem požádal, ať vyšetřovaný plynulým zpětným pohybem dosáhne bodu, kdy se hrot opět spojí. Vzdálenost jsem změřil centimetrového měřítka a zapsal.

## 6.7 Předpoklady

Jak už bylo zmíněno, problematikou akomodace oka a studováním jejího mechanismu se zabývalo už několik výzkumů. Na základě zkušeností z praxe a prostudované literatury. Jsem si stanovil následující předpoklady. [1, 2, 9, 29]

### Předpoklad 1

*Akomodační amplituda klesá s přibývajícím věkem.*

### Předpoklad 2

*Akomodační amplituda zjištěná metodou „push-up“ bude vykazovat vyšší hodnoty než akomodační amplituda zjištěná metodou „push-down“.*

*Nulová hypotéza: Hodnoty akomodační amplitudy zjištěné metodou „push-up“ se budou rovnat hodnotám zjištěným metodou „push-down“.*

*Alternativní hypotéza: Hodnoty akomodační amplitudy zjištěné metodou „push-up“ budou vyšší než hodnoty zjištěné metodou „push-down“.*

### Předpoklad 3

*Akomodační amplituda zjištěná metodou „push-up“ a „push-down“ myopů, hypermetropů a emetropů bude odlišná.*

### Předpoklad 4

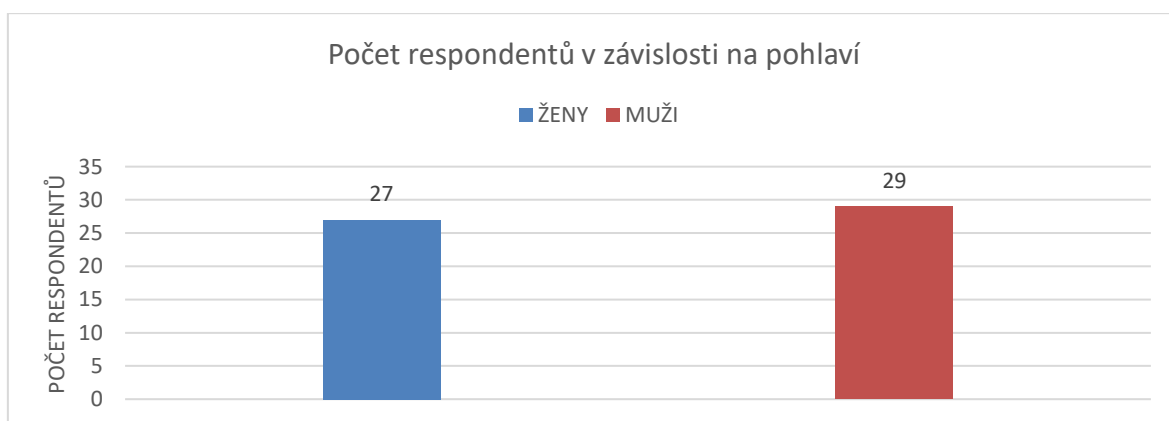
*Se snižujícími hodnotami NPC se zvyšují binokulární hodnoty akomodační amplitudy v dioptriích.*

## 6.8 Výsledky

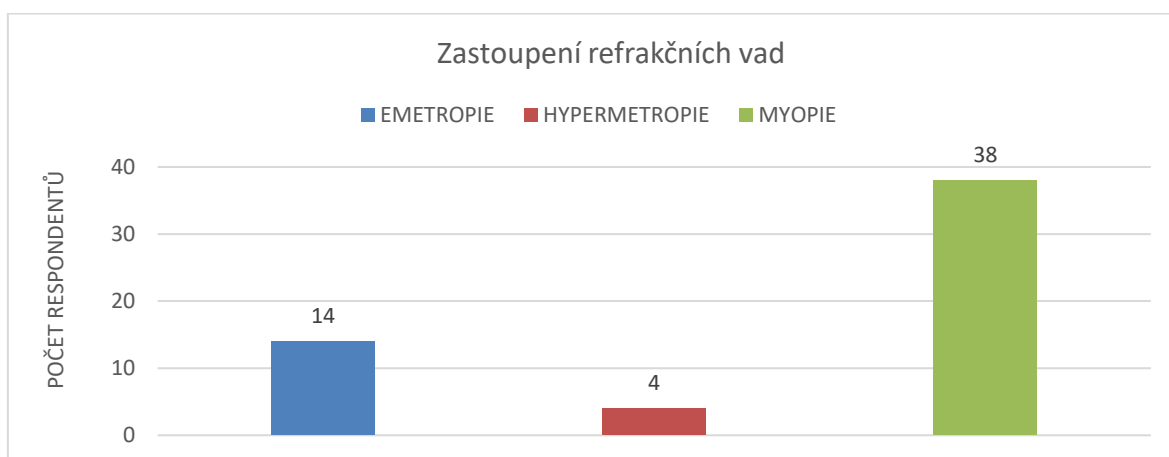
### 6.8.1 Vzorek vyšetřovaných osob

Respondenti, kteří se účastnili výzkumu, spadají do kategorie mladých dospělých, nacházejí se tedy ve věkovém rozmezí 20-30 let (včetně). [52]

Věk každého respondenta jsem stanovil ke dni začátku měření, tedy k 1. 3. 2019. Jedná se o náhodně zvolené osoby. Vyšetřených bylo celkem 57 osob, z toho 28 žen a 29 mužů (obr. 6.5). Z celkového počtu jsem vyřadil 1 osobu z důvodu, že respondent nebyl schopný přesně určit bod rozostření resp. zasotření u výše zmíněných metod. Statisticky jsem zpracoval měření 56 respondentů a tedy celkem 112 očí. Průměrný věk respondentů byl 27 let. Průměrná doba strávená u PC nebo jiného digitálního zařízení byla 7 hod./den. Maximální hodnota dosahovala 14 hod./den. Na zpracování, vizualizaci a analýzu dat jsem použil tabulkový kalkulátor Microsoft Excel 2016.



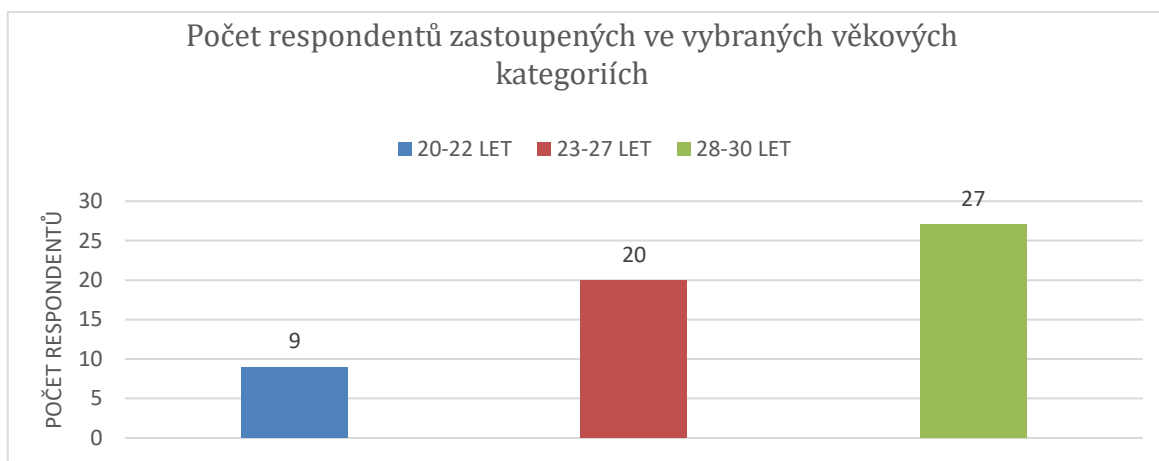
Obrázek 6.5: Rozdělení respondentů podle pohlaví



Obrázek 6.6: Zastoupení refrakčních vad ve vzorku vyšetřovaných

Refrakční vadu jsem u každého probanda určil pomocí sférického ekvivalentu (SE). Do skupiny emetropů jsem zařadil osoby, u kterých byl výsledný SE v rozmezí  $\pm 0,25$  dpt. Na obr 6.6. je znázorněno zastoupení jednotlivých refrakčních vad ve vzorku vyšetřovaných respondentů.

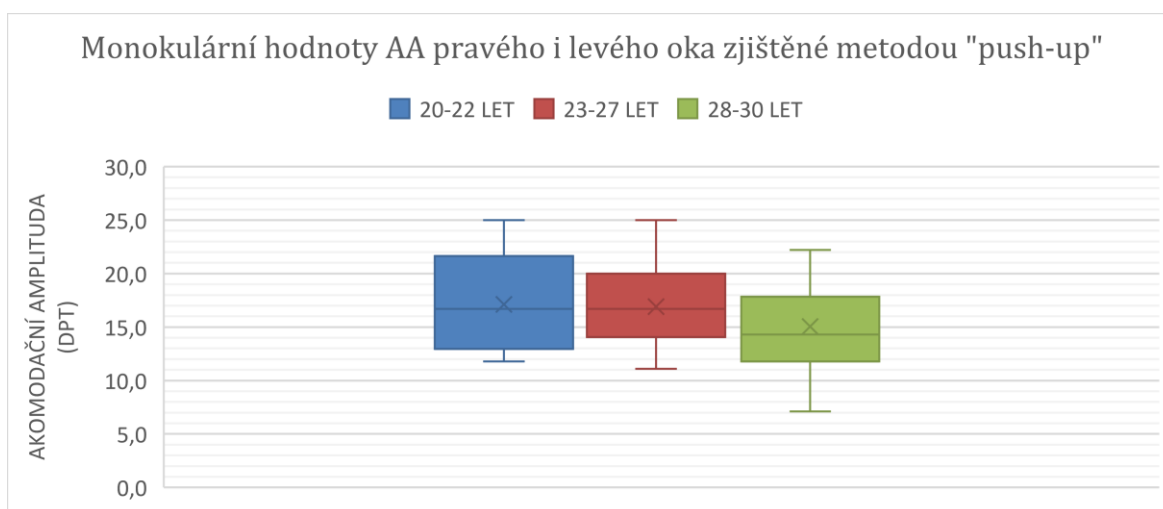
Dále jsem respondenty rozdělil do tří věkových kategorií v rozmezích 20-22, 23-27 a 28-30 let (obr. 6.7). Popsané věkové rozdělení jsem použil v rámci celé experimentální části.



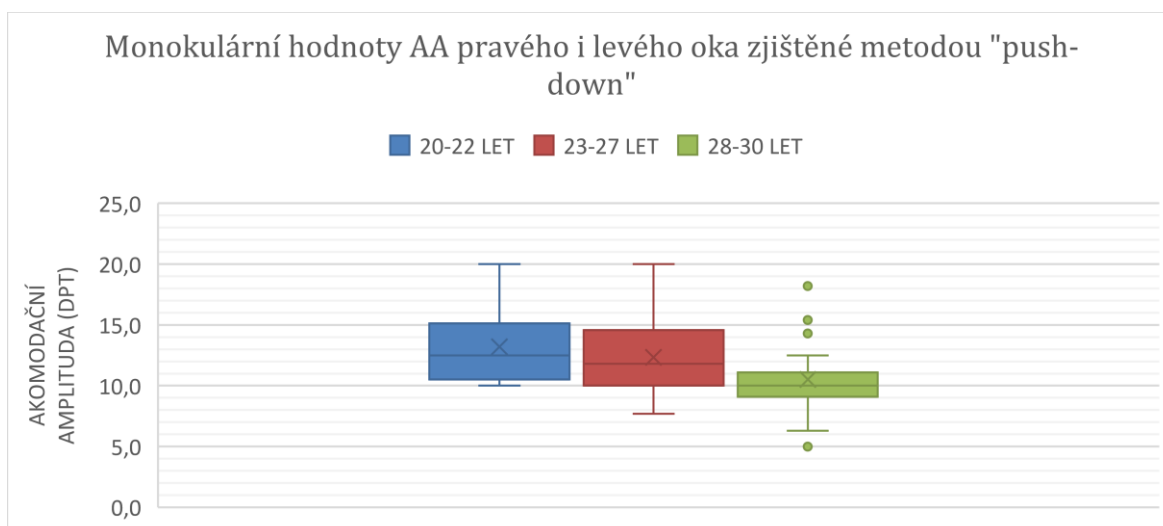
**Obrázek 6.7:** Rozdělení respondentů podle věkových kategorií

## 6.8.2 Předpoklad 1

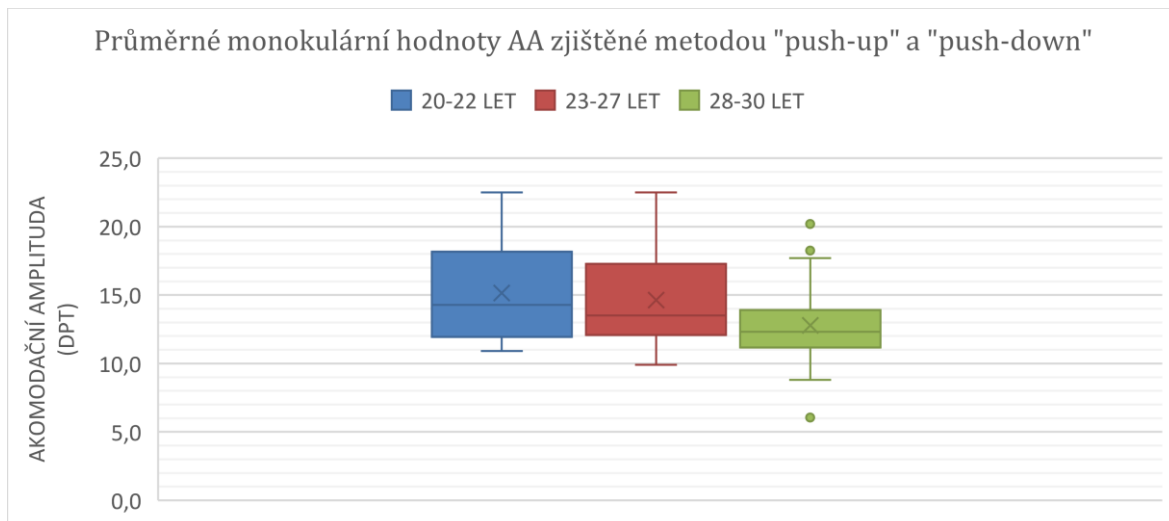
První předpoklad zní: Akomodační amplituda klesá s přibývajícím věkem. Pro ověření prvního předpokladu jsem použil hodnoty akomodační amplitudy zjištěné metodami „push-up“, „push-down“ a metodou rozptylky. Tyto hodnoty jsem zpracoval v tabulkovém kalkulátoru Excel prostřednictvím krabicových grafů. Díky krabicovým grafům jsem mohl porovnat střední hodnotu (aritmetický průměr, medián), maximum, minimum, 25% a 75% percentil a odlehlé hodnoty. Výsledné hodnoty AA jsem rozdělil do třech věkových kategorií. Pro přesnější hodnocení jsem použil jak monokulární tak i binokulární hodnoty AA.



**Obrázek 6.8:** Monokulární hodnoty AA pravého i levého oka zjištěné metodou "push-up" rozdělené do věkových kategorií



**Obrázek 6.9:** Monokulární hodnoty AA pravého i levého oka zjištěné metodou "push-down" rozdělené do věkových kategorií



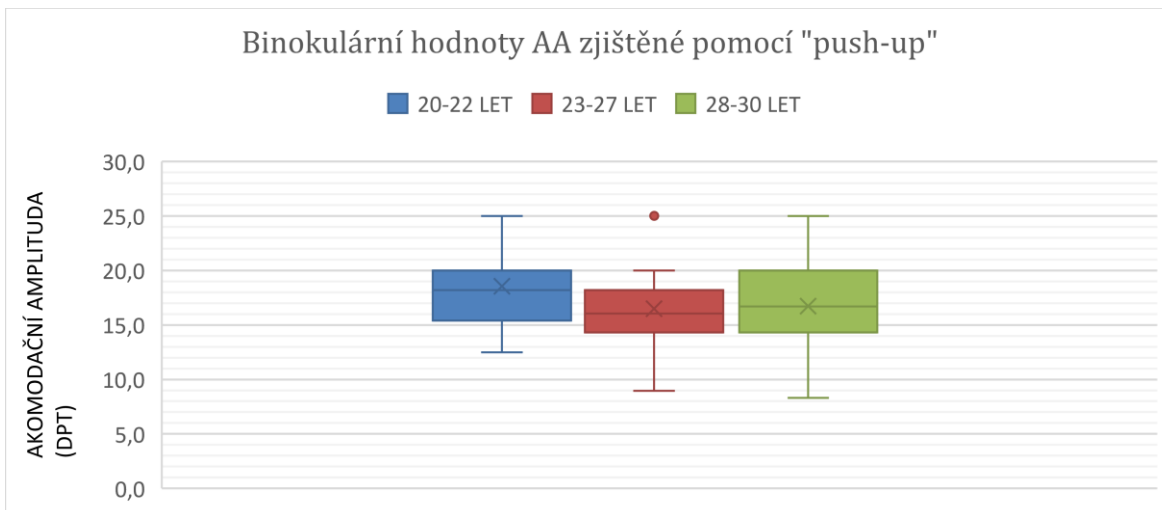
**Obrázek 6.10:** Průměrné monokulární hodnoty AA pravého i levého oka zjištěné metodou "push-up" a "push-down" rozdělené do věkových kategorií

Na obr. 6.8 jsou prezentovány monokulární hodnoty AA 112 očí měřené metodou „push-up“. Graf prezentuje pokles AA u věkové kategorie 28-30 let, kde je medián AA 15 dpt. U první a druhé kategorie pokles není patrný, hodnoty mediánů dosahují 17 D a rozdíl mezi kategoriemi je menší než 1 dpt. Graf na obr. 6.9, kde jsem hodnotil AA metodou „push-down“ u stejného vzorku vyšetřovaných, znázorňuje rozdíly mediánů a minim u jednotlivých kategorií s klesající tendencí.

Pro přesnější stanovení AA jsem hodnotil i průměrné monokulární hodnoty zjištěné „push-up“ a „push-down“ metodou u stejného vzorku, a to z důvodu mírného nadhodnocení resp. podhodnocení výsledných hodnot. Tyto hodnoty jsou prezentovány na obr. 6.10. Z obr. 6.10 je opět patrný pokles AA se zvyšujícím se věkem. Můžeme pozorovat klesající trend mezi věkovými kategoriemi jak v aritmetickém průměru a minimech tak i v mediánech, ze statistického hlediska je však nevýznamný.

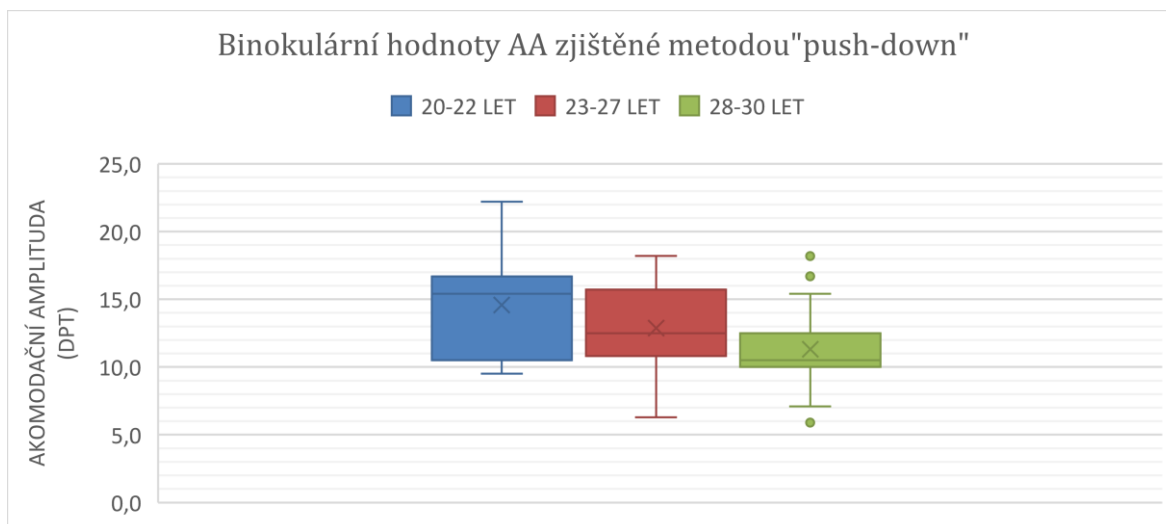
Na obr. 6.9 a obr. 6.10 můžeme u poslední kategorie 28-30 let pozorovat tzv. odlehlé body neboli extrémní hodnoty ležící mimo horní a dolní kvartil.





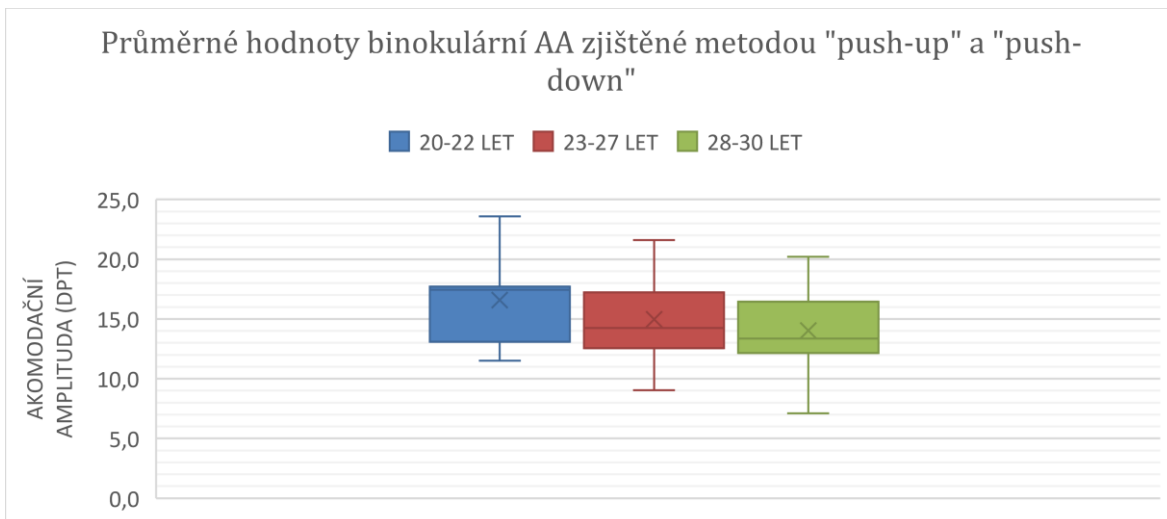
**Obrázek 6.11:** Binokulární hodnoty AA zjištěné metodou "push-up" rozdělené do věkových kategorií

Na obr. 6.11 je krabicový graf znázorňující binokulární hodnoty AA zjištěné metodou „push-up“ u 56 subjektů opět rozdělených do 3 věkových kategorií. Z grafu jsou patrné vyšší, ze statistického hlediska však nevýznamné, hodnoty mediánu AA u první věkové skupiny v porovnání s druhou a třetí skupinou. Mezi druhou a třetí skupinou výrazné rozdíly nejsou patrné.



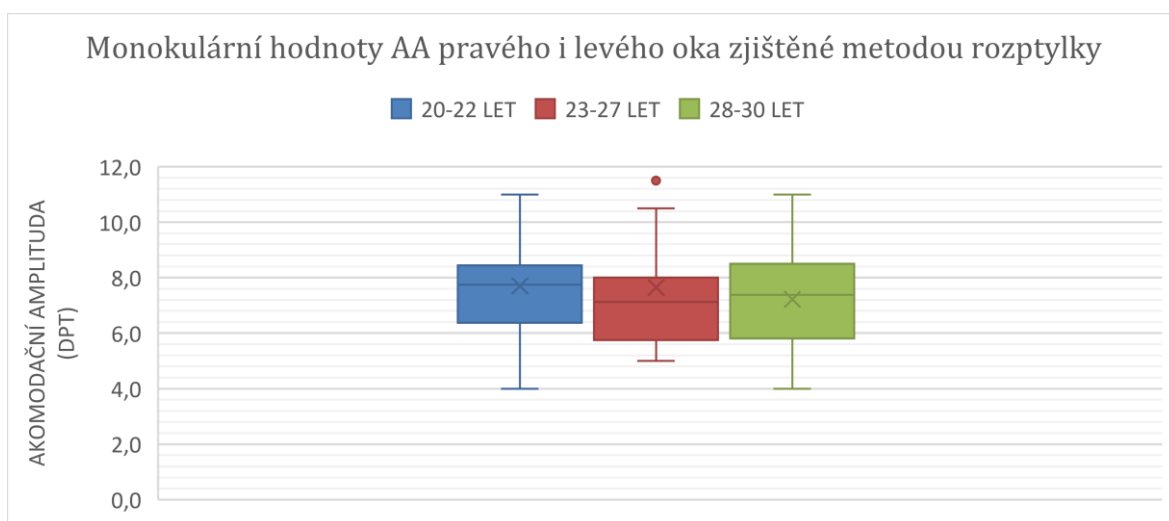
**Obrázek 6.12:** Binokulární hodnoty AA zjištěné metodou "push-down" rozdělené podle věku

Na obr. 6.12 je graf znázorňující binokulární hodnoty AA zjištěné metodou „push-down“. Můžeme pozorovat, že medián i aritmetický průměr hodnot AA se zvyšujícím věkem klesá.



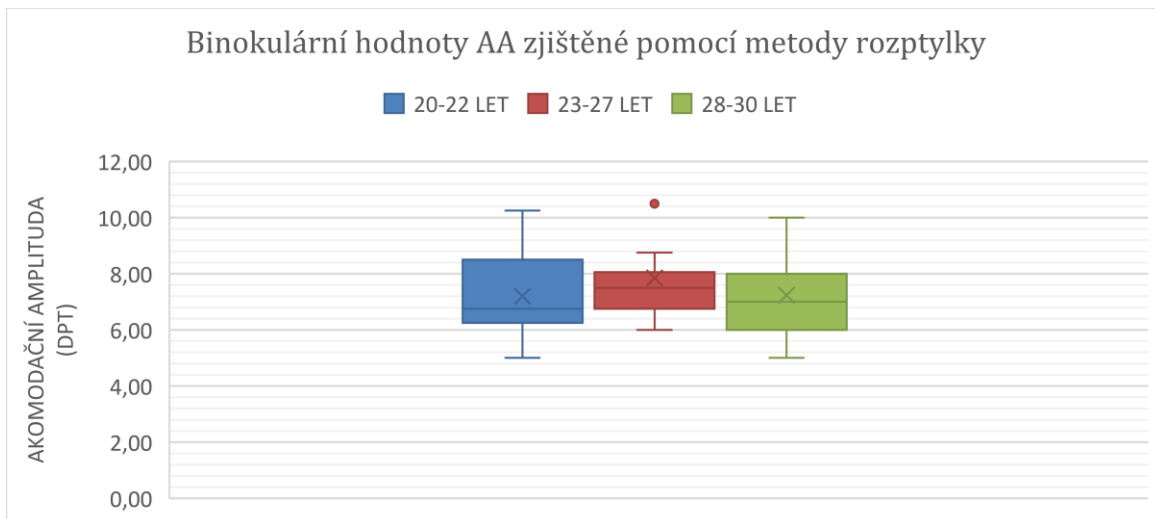
**Obrázek 6.13:** Průměrné hodnoty binokulární AA zjištěné metodou "push-up" a "push-down" rozdělené do věkových kategorií

Pro přesnější hodnocení AA prezentuji na obr. 6.13 i průměrné binokulární hodnoty metod „push-up“ a „push-down“. Z krabicového grafu je patrná klesající tendence všech hodnot (medián, aritmetický průměr, horní a dolní kvartil, percentily) AA s přibývajícím věkem.



**Obrázek 6.14:** Monokulární hodnoty AA pravého i levého oka zjištěné metodou rozptylky rozdělené podle věku

Krabicový graf na obr. 6.14 znázorňuje monokulární hodnoty AA měřené pomocí metody rozptylky (Minus lens to blur). Z grafu můžeme pozorovat pokles mediánu mezi první a druhou skupinou. Když porovnáme všechny tři skupiny tak nelze potvrdit, že AA s věkem výrazně klesá. Jediný parametr, který má klesající tendenci, a tedy toto tvrzení potvrzuje, je aritmetický průměr hodnot v jednotlivých kategoriích.



**Obrázek 6.15:** Binokulární hodnoty AA zjištěné metodou rozptylky rozdělené do věkových kategorií

Na obr. 6.15 se nachází graf znázorňující binokulární hodnoty AA zjištěné metodou rozptylky. Pokles hodnot AA mezi jednotlivými kategoriemi je z tohoto grafu patrný pouze v horním kvartilu ( $<0,5$  dpt). Z grafu není patrná jiná výrazná klesající tendence v žádném parametru, tedy nelze potvrdit předpoklad, že AA s přibývajícím věkem klesá.

### 6.8.3 Předpoklad 2

Druhý předpoklad zní: *Akomodační amplituda zjištěná metodou „push-up“ bude vykazovat vyšší hodnoty než akomodační amplituda zjištěná metodou „push-down“.*

Na základě tohoto předpokladu jsem stanovil nulovou a alternativní hypotézu.

*Nulová hypotéza: Hodnoty akomodační amplitudy zjištěné metodou „push-up“ se budou rovnat hodnotám zjištěným metodou „push-down“.*

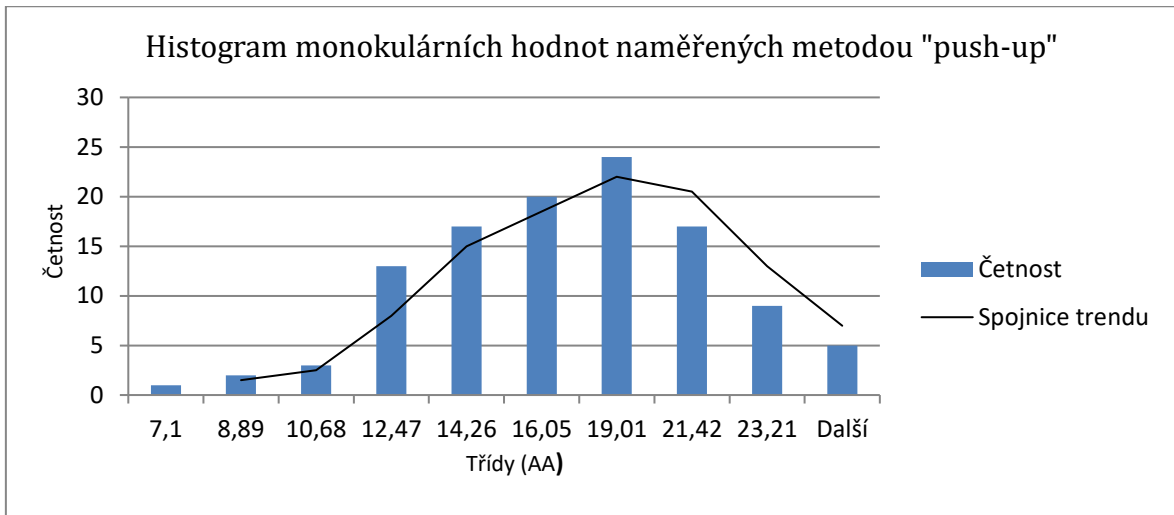
*Alternativní hypotéza: Hodnoty akomodační amplitudy zjištěné metodou „push-up“ budou vyšší než hodnoty zjištěné metodou „push-down“.*

Potvrzení neboli zamítnutí vlastních výše zmíněných hypotéz bylo potřeba provést statistickým testováním. Porovnával jsem soubor dat naměřených metodami „push-up“ a „push-down“ monokulárně (112 údajů) i binokulárně (56 údajů). K porovnání jsem použil dvouvýběrový párový t-test na střední hodnotu a histogram.

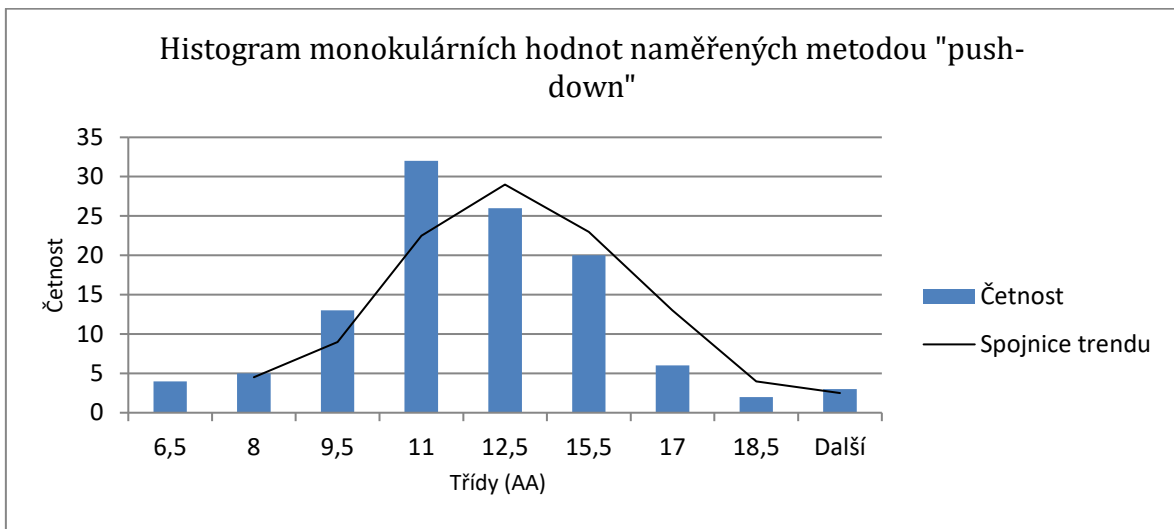
**Tabulka 3:** Střední hodnota a směrodatná odchylka u porovnávaných metod

| Metoda                  | Střední hodnota | Směrodatná odchylka | Hladina spolehlivosti (95,0 %) |
|-------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| „push-up“ monokulárně   | 16,0            | 4,13                | 0,77                           |
| „push-down“ monokulárně | 11,6            | 3,09                | 0,58                           |
| „push-up“ binokulárně   | 17,2            | 3,94                | 1,05                           |
| „push-up“ binokulárně   | 12,4            | 3,48                | 0,93                           |

Pomocí analýzy dat a popisné statistiky v softwaru Excel jsem vynesl do tabulky 3 údaje o porovnávaných metodách. Data splnili normální rozložení pravděpodobnosti. Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  výsledek T-testu pro porovnání monokulárních hodnot AA vyšel  $p = 5,14 \times 10^{-43}$  a tedy, je menší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Výsledek T-testu pro binokulární hodnoty AA vyšel  $p = 2,21 \times 10^{-22}$  a tedy je menší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Na základě těchto výsledků můžu zamítnout nulovou hypotézu o rovnosti hodnot AA naměřených metodami „push-up“ a „push-down“ na stejném vzorku respondentů a potvrdit alternativní hypotézu o jejich rozdílných hodnotách.

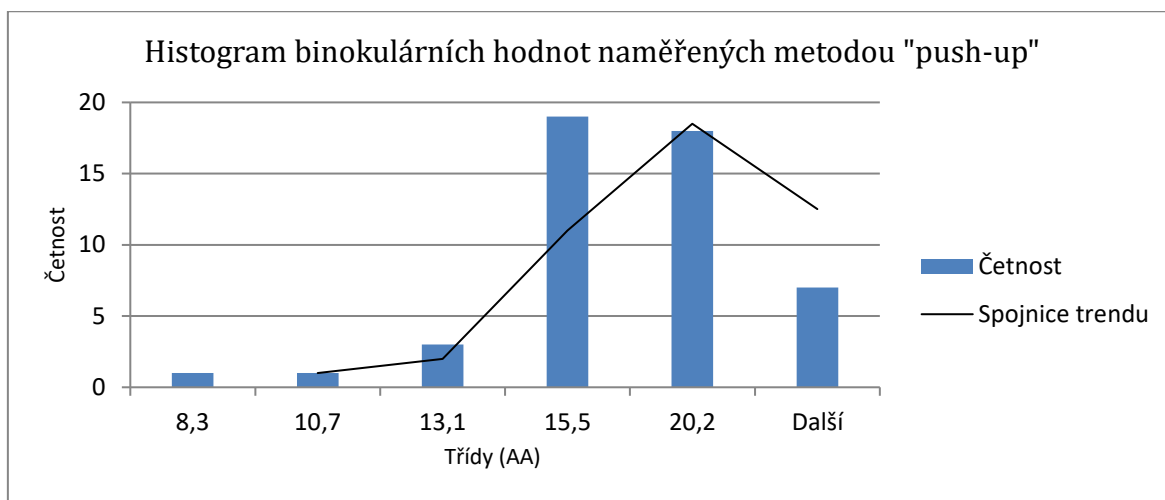


**Obrázek 6.16:** Rozložení monokulárních hodnot AA do tříd podle četností

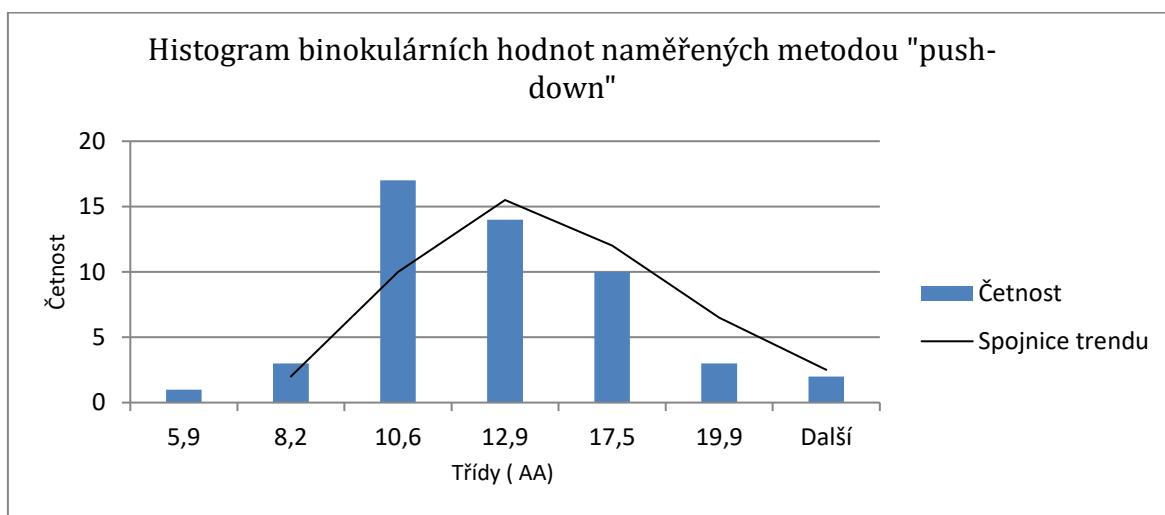


**Obrázek 6.17:** Rozložení monokulárních hodnot AA do tříd podle četností

Výše uvedeny histogramy znázorňují grafické rozložení monokulárních hodnot AA do jednotlivých tříd podle četností zjištěných metodou „push-up“ a „push-down“. Když porovnáme rozložení dat monokulárních hodnot AA u „push-up“ a „push-down“ metody (obr. 6.16 a obr. 6.17), je patrné, že body, kde četnosti dosahují svých maxim, se liší.



**Obrázek 6.18:** Rozložení binokulárních hodnot AA do tříd podle četností



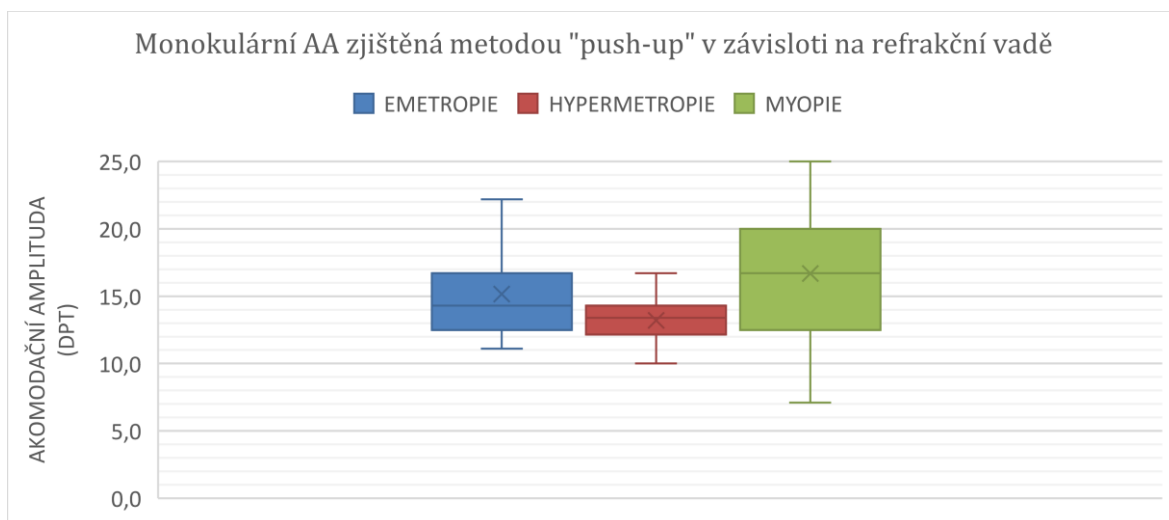
**Obrázek 6.19:** Rozložení binokulárních hodnot AA do tříd podle četností

Na obr. 6.18 a 6.19 jsou prezentovány histogramy znázorňující rozložení hodnot binokulární AA zjištěné metodou „push-up“ a „push-down“.

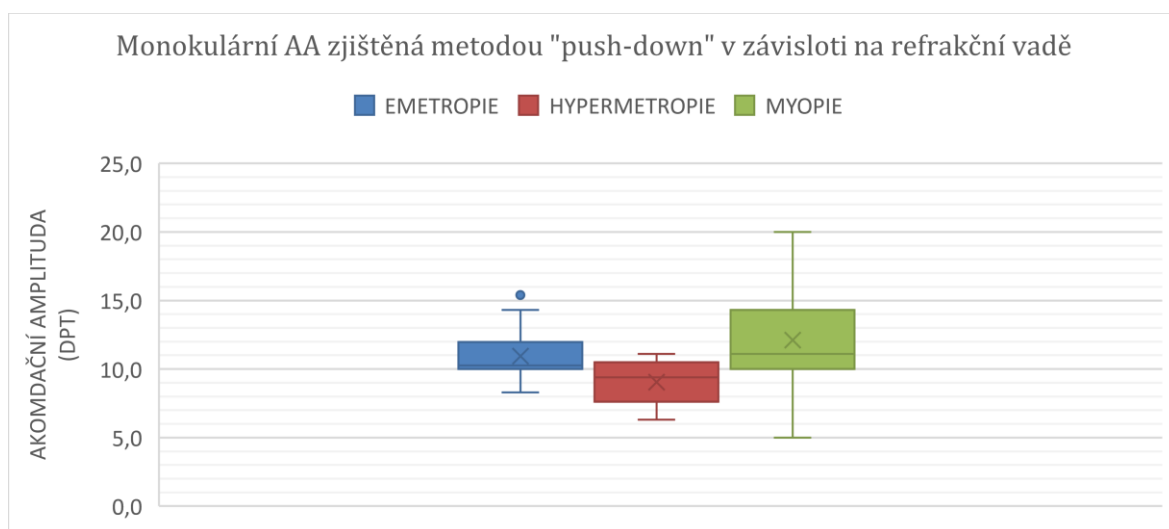
Z výše uvedených výstupů naměřených hodnot AA, je jasné, že hodnoty AA zjištěné metodou „push-up“ dosahují vyšších hodnot než hodnoty naměřené metodou „push-down“. Tím jsem potvrdil druhý předpoklad.

### 6.8.4 Předpoklad 3

Třetí předpoklad zní: *Akomodační amplituda zjištěná metodou „push-up“ a „push-down“ myopů, hypermetropů a emetropů bude odlišná.* Tento předpoklad jsem ověřil pomocí krabicových grafů vytvořených v tabulkovém softwaru Excel. Zjištěné monokulární a binokulární hodnoty AA jsem rozdělil podle druhu refrakční vady do 3 kategorií.

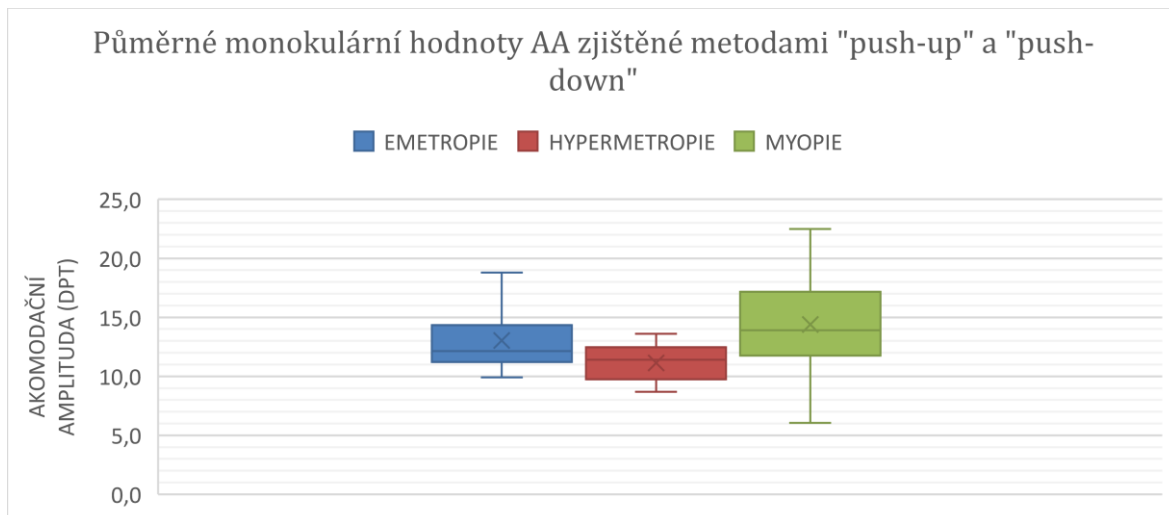


**Obrázek 6.20:** Porovnání monokulárních hodnot AA zjištěné metodou "push-up" v závislosti na refrakční vadě



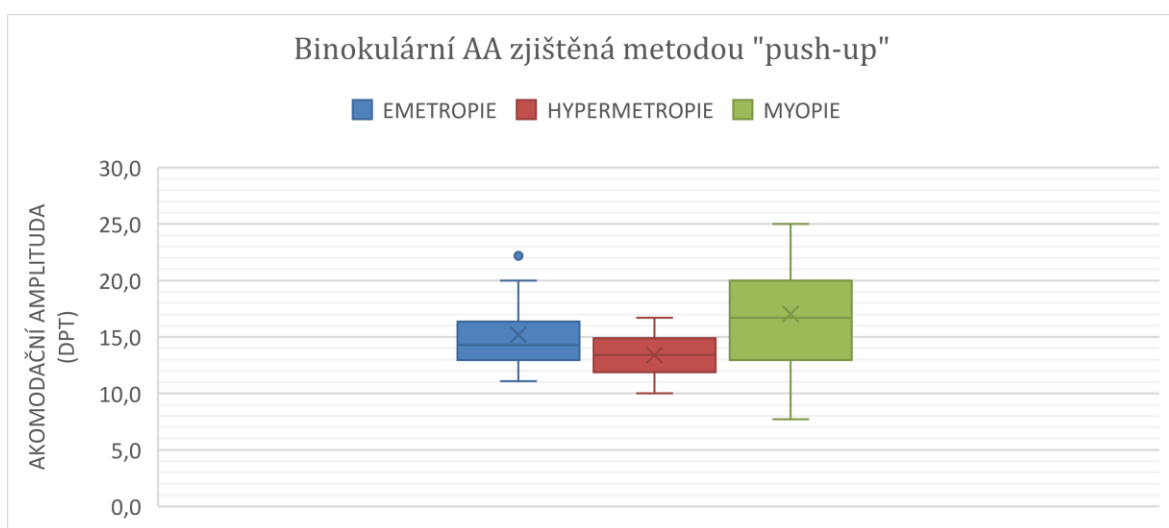
**Obrázek 6.21:** Porovnání monokulární AA zjištěné metodou "push-down" v závislosti na refrakční vadě

Krabicový graf na obr. 6.20 a 6.21 prezentuje monokulární hodnoty AA zjištěné metodami „push-up“ a „push-down“. V obou případech jsou nejvyšší mediány i aritmetické průměry hodnot AA u myopických očí. Dále je z grafů patrný pokles hodnot AA u emetropických očí v porovnání s myopickými. Nejnižší hodnoty AA vykazují oči hypermetropické.



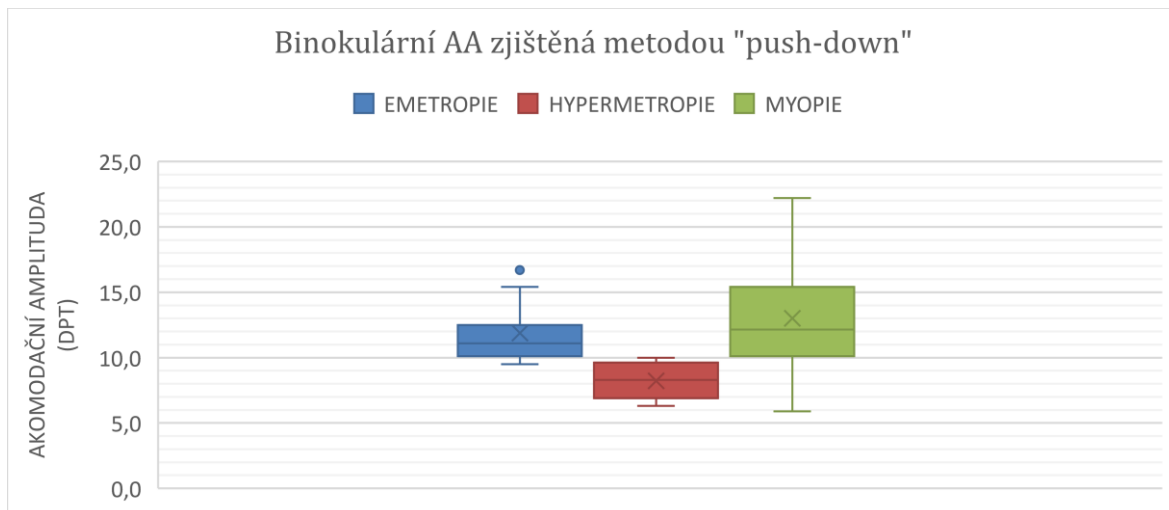
**Obrázek 6.22:** Porovnání průměrných hodnot AA zjištěné metodou "push-up" a „push-down“ v závislosti na refrakční vadě

Pro přesnější porovnání jsem vyhodnotil i průměrné hodnoty AA zjištěné metodami „push-up“ a „push-down“. Na obr. 6.22 jsou prezentované průměrné hodnoty AA a rozdělení podle refrakční vady. Při pohledu na hodnoty mediánů a aritmetických průměrů lze zhodnotit, že myopické oči vykazují nejvyšší hodnoty AA, naopak nejnižší hodnoty vykazují oči hypermetropické.



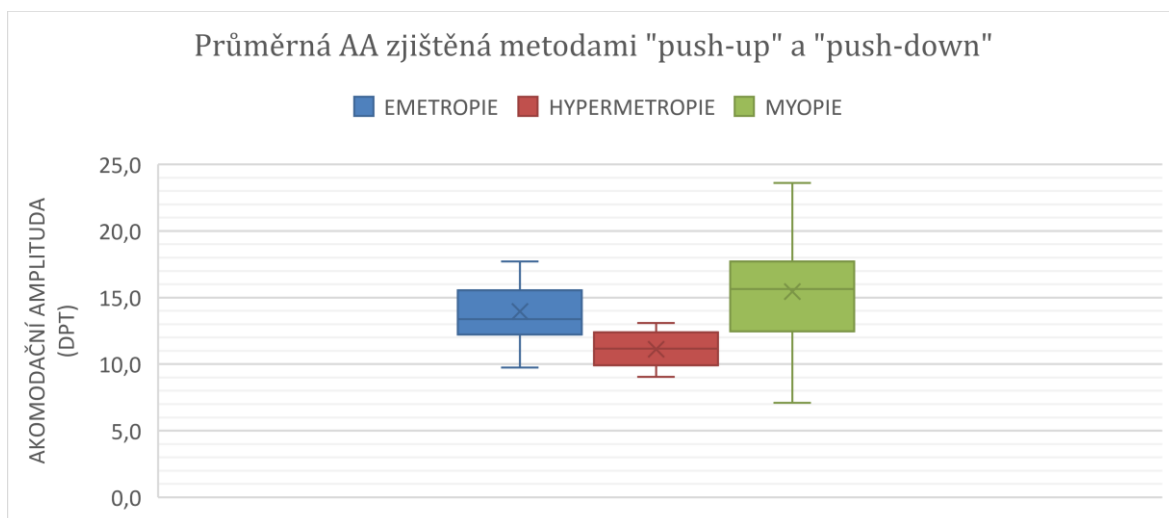
**Obrázek 6.23:** Porovnání binokulární AA zjištěné metodou "push-up" v závislosti na refrakční vadě





**Obrázek 6.24:** Porovnání binokulární AA zjištěné metodou "push-down" v závislosti na refrakční vadě

Krabicové grafy na obr. 6.23 a 6.24 prezentují binokulární hodnoty AA rozdělené do 3 skupin podle refrakční vady. Při porovnání mediánů a aritmetických průměrů u myopie, jsou hodnoty AA nejvyšší, nejnižší pozorujeme u hypermetropie.



**Obrázek 6.25:** Porovnání průměrné AA zjištěné metodami "push-up" a "push-down" v závislosti na refrakční vadě

Na obr. 6.25 je krabicový graf prezentující průměrné binokulární hodnoty AA zjištěné metodami „push-up“ a „push-down“. U myopických osob dosahuje AA nejvyšších hodnot zatím co u hypermetropů dosahují nejnižších hodnot. Pro porovnání AA jednotlivých refrakčních vad pozorujeme mediány a aritmetické průměry těchto hodnot. Na základě výše zmíněných údajů, lze potvrdit, že akomodační amplituda emetropů, hypermetropů a myopů je odlišná, a tím jsem i potvrdil předpoklad.

### 6.8.5 Předpoklad 4

Předpoklad 4 zní: *Se snižujícími hodnotami NPC se zvyšují binokulární hodnoty akomodační amplitudy v dioptriích.* Pro ověření korelace NPC a akomodační amplitudy, jsem zkoumal korelaci mezi průměrnou hodnotou NPC a průměrnými binokulárními hodnotami AA zjištěnými metodami „push-up“ a „push-down“. Průměrnou hodnotu NPC jsem stanovil ze vzdálenosti bodu rozdvojení a bodu spojení (viz kapitola 6.6).

K zjištění korelace mezi průměrnou hodnotou NPC a průměrnou binokulární AA, jsem použil software Excel a funkci CORREL, která pomocí korelačního koeficientu určí vztah mezi hodnotami. U této funkce mohou nastat tři případy. Koeficient kolem hodnoty 1 poukazuje na silnou přímou závislost dvou hodnot, kolem hodnoty -1 poukazuje na silnou nepřímou závislost, a koeficient hodnoty 0 poukazuje na slabou nebo téměř žádnou závislost dvou hodnot.

Korelační koeficient vyšel  $-0,499$ , z čeho je vyplývá, že mezi průměrnými hodnotami NPC a binokulární AA je určitá nepřímá závislost. Na základě tohoto zjištění nelze jednoznačně potvrdit předpoklad.

## 6.9 Diskuze

Předpoklady, které jsem si stanovil na základě prostudované literatury a zkušeností z praxe, byly až na jeden případ potvrzené. Výsledky jsem statisticky zpracoval v tabulkovém softwaru Excel 2016.

V prvním předpokladu jsem ověřil aktuálnost Duanovy křivky a jedno z tvrzení, které z jeho výzkumu vyplývá, tedy že AA s přibývajícím věkem klesá. Na rozdíl od Duana, který pro svůj výzkum použil pouze metodu „push-up“, jsem pro zjišťování AA použil 3 subjektivní metody („push-up“, „push-down“ a metodu rozptylky) popsané v experimentální části. AA jsem zkoumal u mladých dospělých ve věku 20-30 let (včetně). Tento vzorek jsem rozdělil do tří věkových skupin (20-22 let, 23-27 let, 28-30 let), abych mohl zkoumat případný pokles AA v rámci vzorku vyšetřovaných. Monokulární a binokulární hodnoty AA zjištěné metodami „push-up“ a „push-down“ jsem zprůměroval pro přesnější výpovědní hodnotu nezkreslenou nadhodnocením, resp. podhodnocením výsledků. Medián monokulárních hodnot AA u první věkové skupiny byl 14,3 dpt, u druhé 13,5 dpt a u třetí 12,3 dpt. Medián binokulárních hodnot AA u stejných věkových skupin byl 17,5 dpt, 14,3 dpt a 13,4 dpt. Z výsledků lze tedy vyvodit závěr, že AA s přibývajícím věkem klesá. [1, 2]

Vyšší hodnoty AA v porovnání s Duanovým grafem (obr. 3.5) mohly být způsobené lidským faktorem. Důvodem mohlo být, že vyšetřovaná osoba nepochopila zadání testu, a tedy moment rozostření resp., zaostření neoznačila správně, což mohlo být způsobeno nedostatečným zdůrazněním důležitosti přesných odpovědí a reakcí probanda. Dalším faktorem, který mohl ovlivnit výsledné hodnoty, je nadměrné osvětlení ve vyšetřovací místnosti, což mohlo způsobit menší průměr pupily a tím větší hloubku ostrosti.

Metodou rozptylky jsem také zjišťoval monokulární a binokulární hodnoty AA. Medián monokulárních hodnot u první věkové skupiny byl 7,75 dpt a medián binokulárních hodnot 6,75 dpt. U druhé věkové skupiny vyšel medián monokulární AA 7,00 dpt, a binokulárních hodnot 7,5 dpt, u třetí skupiny byly hodnoty 7,38 dpt a 7,0 dpt. Klesající tendence AA z těchto výsledků není zřejmá jak u předchozích metod.

Odchyly od tabulkových hodnot AA naměřených metodou rozptylky mohly v tomto případě nastat z důvodu, že vyšetřovaný nedokázal určit moment rozmazání testové značky, což bylo pravděpodobně způsobené jejím zmenšením.

Na základě druhého předpokladu jsem očekával, jak uvádí zdroje (Dietze 2008, Rosenfield 2009), že hodnoty AA naměřené metodou „push-up“ budou vyšší než hodnoty naměřené metodou „push-down“. Toto očekávání jsem ověřil porovnáním dvou hodnot naměřených u stejného vzorku vyšetřovaných probandů pomocí dvouvýběrového párového t-testu na střední hodnotu a histogramu. Monokulární hodnoty AA u „push-up“ metody se pohybovaly v rozmezí 16-19 dpt, u „push-down“ 11-12,5 dpt. U binokulárních hodnot bylo rozmezí 15-20 dpt u metody „push-up“ a 10-13 dpt u „push-down“ metody. Rozložení hodnot podle četností jsem získal pomocí histogramu. Výsledek t-testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  vyšel u monokulárních hodnot  $p = 5,14 \times 10^{-43}$  a u binokulárních hodnot  $p = 2,21 \times 10^{-22}$ . Z těchto výsledků jsem tedy zamítl nulovou hypotézu a potvrdil alternativní hypotézu. [9, 29]

Vyšší hodnoty AA byly pravděpodobně způsobené lidským faktorem a vyšší intenzitou osvětlení ve vyšetřovací místnosti.

Ve třetím předpokladu jsem očekával, že refrakční vada má vliv na hodnoty akomodační amplitudy, jak uvádí zdroje (Dietze 2008, Rosenfield 2009). Hodnocení výsledků jsem provedl pomocí krabicových grafů v softwaru Excel. Respondenty jsem rozdělil podle typu refrakční vady do kategorií emetropů, hypermetropů a myopů. Z optimální korekce na dálku jsem určil SE a tím stanovil typ refrakční vady. Získané hodnoty AA „push-up“ a „push-down“ jsem zprůměroval z důvodů uvedených v kapitole 4.1. Porovnával jsem jak monokulární, tak binokulární AA. Nejvyšších hodnot AA dosahovali respondenti ze skupiny myopů. Medián monokulárních hodnot u myopů byl 13,9 dpt, u emetropů 12,2 dpt a u hypermetropů 11,4 dpt. Binokulární AA dosahovala opět nejvyšších hodnot u myopů. Medián těchto hodnot byl 15,7 dpt. U emetropů byl medián binokulárních hodnot 13,4 dpt a u hypermetropů 11,2 dpt. Tímto jsem potvrdil předpoklad, že typ refrakční vady ovlivňuje AA. [2, 9]

Po přezkoumání těchto výsledků jsem opět dospěl k závěru, že vyšší hodnoty AA byly způsobené lidským faktorem a vyšší intenzitou osvětlení ve vyšetřovací místnosti. Pro větší objektivitu případných dalších výzkumů bych navrhnul zahrnout více emetropů a hypermetropů, tedy aby zastoupení osob v každé kategorii refrakční vady bylo vyrovnané.

Čtvrtý předpoklad jsem si stanovil na základě vlastních zkušeností z vyšetření subjektivní refrakce a binokulárního vidění a také z důvodu, že jsem byl neúspěšný při hledání zdroje, resp. výzkumu, který by se této problematice podrobněji věnoval. Cílem bylo ověřit závislost AA a NPC. V této práci jsem zjišťoval závislost průměrných hodnot AA získaných metodami „push-up“ a „push-down“, a dále průměru vzdálenosti bodu rozmazání a bodu opětovného spojení (viz kapitola 6.6). Ukázalo se, že vynesemím hodnot průměrné NPC na osu x a průměrné AA na osu y, nemá žádnou výpovědní hodnotu, resp. výsledný graf byl statisticky nevýznamný. Z tohoto důvodu jsem použil funkci softwaru Excel s názvem „CORREL“. Test prokázal nepřímou částečnou závislost těchto dvou veličin, avšak na potvrzení předpokladu je výsledek nedostatečný. Důvodem může být i fakt, že v průběhu života se hodnoty NPC tak výrazně nemění v porovnání s hodnotami AA.

Závěrem bych rád shrnul faktory, které mohly ovlivnit výsledky experimentální části, a navrhnul další možná řešení pro budoucí výzkumy. Hodnoty AA ve výzkumu vyšly oproti očekávaným hodnotám vyšší. Příčinou mohla být vyšší intenzita osvětlení vyšetřovací místnosti, a tedy i jednotky do blízka, kde se nacházela testová značka. Je předpoklad, že vyšší intenzita osvětlení způsobí zúžení zornic a tím zvětší hloubku ostrosti, což vede ke zkreslení výsledků. Dalším významným faktorem, který mohl ovlivnit výsledky, je ten lidský. Nepochopení zadání probandem nebo špatné vysvětlení ze strany vyšetřujícího se také mohlo podepsat na výsledcích. Do příštích experimentů bych zahrnul vzorek respondentů, ve kterém se bude nacházet přibližně stejný počet zástupců refrakčních vad a také vyrovnanější počet osob různých věkových skupin. Intenzita osvětlení vyšetřovací místnosti by měla dosahovat maximálně 1000 lx, a při měření na blízko, tedy např. při zjišťování NPA, by se intenzita osvětlení měla pohybovat kolem hodnot 500 lx. Výběr testové značky může také značně ovlivnit naměřené hodnoty AA. Ve svém výzkumu jsem zvolil písmeno z určitého slova ve větě. To se však ukázalo jako jedna z možných příčin vyšších naměřených hodnot, kdy vyšetřovaný nedokázal přesně určit bod rozmlžení, jelikož kolem testové značky (písmene) bylo mnoho dalších písmen, které mohly respondenta rozptýlit. Pro určení bodu akomodace bych doporučil zvolit testovou značku, která nebude součástí souvislého textu, tedy samostatná písmena pro určení hodnoty vízu do blízka. Dále bych kladl větší důraz při vysvětlování testu klientovi. Pomoci by mohlo předvedení testu. Pro ověření výsledku by také mohlo pomoci opakování testů a jednotlivých měření, což je ale v praxi časově náročné. Ideální doba na měření AA by mohla být v dopoledních hodinách a krátce po poledni, kdy je menší pravděpodobnost vyčerpání z pracovních nebo studijních povinností.

# Závěr

Smyslem této bakalářské práce je nabídnout čtenáři komplexní pohled na mechanismus akomodace oka a poskytnout nástroj k pochopení problematiky akomodační amplitudy. První kapitola je věnována anatomii a fyziologii dotčených struktur oka podílejících se na akomodaci oka. Dále je popsán mechanismus akomodace oka, biomechanické a anatomické změny, které ho doprovází. Pro detailní pochopení bylo nutné vysvětlit faktory ovlivňující akomodaci, její klasifikaci, a teorie, které akomodaci popisují. Poslední kapitoly jsou věnovány akomodační amplitudě a metodám, kterými jí lze stanovit, a také vysvětlení propojení mechanismů akomodace a konvergence.

Optometrista, pro kterého je řešení problémů, požadavků klienta a následné určení optimální korekce každodenní pracovní náplní, by měl dbát na správnost této korekce a její přesnost. Z práce je zřejmé, že znalost mechanismu akomodace je nezbytná pro stanovení refrakce a korekce presbyopie, kde nám nejvíc pomohou hodnoty akomodační amplitudy. U každé subjektivní refrakce by měly být zohledněny požadavky klienta, zaměstnaní, pracovní vzdálenost a k jejímu měření přistupovat individuálně.

Cílem experimentální části této bakalářské práce bylo zjištění akomodační amplitudy u mladých dospělých různými metodami. Na základě získaných hodnot u 56 respondentů ve věku od 20 do 30 let byly stanovené čtyři předpoklady. Tři předpoklady se pomocí statistické analýzy potvrdily a lze tedy konstatovat, že akomodační amplituda s přibývajícím věkem klesá, hodnoty zjištěné metodou „push-up“ jsou vyšší než hodnoty zjištěné metodou „push-down“, a také můžeme konstatovat, že refrakční vada má vliv na akomodační amplitudu. Ve čtvrtém předpokladu se závislost NPC a akomodační amplitudy nepotvrdila.

Zjišťování akomodační amplitudy metodami „push-up“ a „push-down“ bych doporučil zahrnout do rutiny vyšetření subjektivní refrakce a binokulárního vidění v optometristické praxi, a to zejména vzhledem k dnešním nárokům na akomodaci. Zaměřením dalších výzkumů by mohlo být podrobnější sledování závislosti akomodační amplitudy a NPC, a zda se při současném životním stylu společnosti akomodační amplituda vyvíjí.

## Seznam použité literatury

- [1] NCBI. *Alexander Duane: Studies in Monocular and Binocular Accommodation, with Their Clinical Application* [online]. 1922 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1318318/?page=1>.
- [2] BENJAMIN, W. J.; BORISH M. I. *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006., 1712 p. ISBN 0750675241.
- [3] KUCHYNKA, P. *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, a.s. 2007, 812 s. ISBN 978-80-247-1161-8.
- [4] KAUFMAN, P. L; ADLER, F. H. *Adler's Physiology of the Eye*. Elsevier Health Sciences, 2011, 820s., ISBN: 9780121057141.
- [5] ČIHÁK, R. *Anatomie: Třetí, upravené a doplněné vydání. 3. vydání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 9788024795522.
- [6] HEISSIGEROVÁ, J. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. Praha: Maxdorf, [2018]. Jessenius. ISBN 978-80-7145-580-4.
- [7] GRIM, M.; DRUGA, R. *Základy anatomie. 2., přeprac. vyd.* Praha: Galén, c2014. ISBN 978-80-7492-156-8.
- [8] KRAUS, H. *Kompéndium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [9] DIETZE, H. *Die optometrische Untersuchung*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 2008., 107 s., ISBN 978-1-11-142111-6.
- [10] REMINGTON, L. A. *Clinical anatomy and physiology of the visual system*. 1rd ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Butterworth Heinemann, c2012. ISBN 9781417719260.
- [11] TSUBOTA, K. *Hyperopia and presbyopia*. New York: Marcel Dekker, c2001. ISBN 0824741072.
- [12] AUTRATA, R.; VANČUROVÁ J. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.

- [14] AGARWAL, S.; CHARLES S. Foreword Steve. Textbook of ophthalmology. New Delhi: Jaypee brothers, 2002. ISBN 81-717-9884-5.
- [15] BERKE, A.; VOGEL W. H. Brief History of Vision and Ocular Medicine. Amsterdam, Nizozemsko: Kugler Publications, 2009, 262 s. ISBN 9789062992101.
- [16] ANTON, M. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. Vyd. 1., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7011-402-X.
- [17] Wikipedia. *Wikipedia: Marius Tscherning* [online]. 2017 [cit.2019-01-07]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marius\\_Tscherning](https://en.wikipedia.org/wiki/Marius_Tscherning).
- [18] ACADEMIC. *Academic Dictionaries and Encyclopedias: Marius Tscherning* [online]. c2000-2019 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/7605711>.
- [19] AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY. *New, Consolidated Accommodation Theory May Change Future of Surgical Presbyopia Correction* [online]. 2019 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.aao.org/current-insight/new-consolidated-accommodation-theory-may-change-f>.
- [20] Dovepress. Computer-animated model of accommodation and theory of reciprocal zonular action [online]. 2019 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.dovepress.com/computer-animated-model-of-accommodation-and-theory-of-reciprocal-zonu-peer-reviewed-article-OPHTH>.
- [21] NCBI. *Computer-animated model of accommodation and theory of reciprocal zonular action* [online]. 2011 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3218165/>.
- [22] SCHEIMAN, M.; WICK, B. Clinical Management of Binocular Vision.Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders. 4th edition. Wolters Kluwer. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, 2014, 752 s. ISBN 978-1-4511-7525-7.
- [23] KOTRNCOVÁ, J. Akomodační a vergenční facilita s brýlovou korekcí a s korekcí kontaktními čočkami. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2014, 55 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Mgr. Lucie Machýčková.



- [25] ROZSÍVAL, P. Oční lékařství. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-726-2404-0.
- [26] BASHARSE, J.; DARTT, D. A. Encyclopedia of the Eye, Four-Volume Set. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2010, 2144 s. ISBN 978-012-1742-012.
- [27] POLÁŠEK, J. et al. Technický sborník oční optiky. Praha: SNTL, 1975, 580 s.
- [28] Diplomová práce. *Metody stanovení presbyopické adice* [online]. 2012 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/92rqz7/Mikanov\\_2012\\_diplomov\\_prce\\_Metody\\_stanoven\\_presbyopick\\_ad.pdf](https://theses.cz/id/92rqz7/Mikanov_2012_diplomov_prce_Metody_stanoven_presbyopick_ad.pdf).
- [29] ROSENFELD, M.; LOGAN, N.; EDWARDS, K. H. Optometry: Science, Techniques and Clinical Management. Oxford: Elsevier, 2009, 555 s. ISBN 978-0-7506-8778-2.
- [30] SEVERA, D.; VESELÝ, P.; BENEŠ, P. Základy metod korekce refrakčních vad. 1. vydání. Brno: Masarykova univerzita, 2016. ISBN 978-80-210-8289-2.
- [31] SPURNÁ, G. Ověření aktuálních hodnot Duanovy křivky akomodační šíře. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2015, 81 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Mgr. Petr Veselý, Dis., Ph.D.
- [32] ELLIOTT, D. B. Clinical procedures in primary eye care. 4th ed. Philadelphia: Saunders, 2014. ISBN 978-0-7020-5194-4.
- [33] OSTRIN, L; GLASSER, A. Accommodation measurements in a prepresbyopic and presbyopic population. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2004, vol. 10, s.1415-1444.
- [34] KUŽELOVÁ, H. Metodika stanovení hodnoty optimální akomodační šíře, ověření závislosti naměřených hodnot na refrakčním stavu oka. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2015, 89 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Mgr. Radek Anderle, Ph.D.
- [35] Wikiskripta. *Lens* [online]. 2017 [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Lens>.
- [36] Wikiskripta. *Nervus oculomotorius* [online]. 2018 [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Nervus\\_oculomotorius](https://www.wikiskripta.eu/w/Nervus_oculomotorius).
- [37] OLÁH, Z. Očné lékařstvo. Martin: OSVETA, 1998, 255 s. ISBN 80-88824-74-5.

- [38] EVANS, B. J. W. Pickwell's binocular vision anomalies. 5th ed. Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [39] SEVERA, D.; BENEŠ, P.; BRAMBOŘOVÁ, S. Je libo PUSHUP?. Česká oční optika. 2013, 54(4), 22-24. ISSN 1211-233X.
- [40] EVANS, B. J. W. Eye Essentials: Binocular Vision. 1e. Edinburgh: ButterworthHeinemann, 2005. ISBN 0750688505.
- [41] ELLIOTT, D. B. Clinical Procedures in Primary Eye Care, 3rd edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. ISBN 13: 9780750688963.
- [42] EPERJESI, F.; RUNDSTROM M. M. Practical Binocular Vision Assessment. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 0750650109.
- [43] PLUHÁČEK, F. Základní vyšetření BV a akomodace – výukové materiály k předmětu Korekce zraku II, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2009.
- [44] EFRON, N. Optometry A-Z. 1st edition. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2007. ISBN-13: 978-0-7506-4913-1.
- [45] KUČHYNKA, P. Oční lékařství. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [46] DOSHI, S.; EVANS B. J. W. Binocular vision and orthoptics: investigation and management. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0750647132.
- [47] HROMÁDKOVÁ, L. Šilhání. 3. vydání. Brno: NCO NZO, 2011. ISBN 978-80-70135-30-3.
- [48] VON NOORDEN, G. K.; CAMPOS E. C.. Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2002. ISBN 0323011292.
- [49] ANTON, M. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.

- [50] BRŮNOVÁ, B. Poruchy binokulárního vidění: Pohled do angloamerické praxe 2. část. Česká oční optika. 2012, 53(1), 20-22. ISSN 1211-233X.
- [51] VYMYSLICKÝ, I. Vizuální optometrie 5. část. Česká oční optika. 2008, 49(3), 34-35. ISSN 1211-233X.
- [52] LANGMEIER, J.; KREJČÍŘOVÁ D. Vývojová psychologie. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2006. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1284-0.

# Seznam symbolů a zkratek

AA – akomodační amplituda

cm – centimetr

CNS – centrální nervová soustava

cpm – cycle per minute (cyklů za minutu)

dpt – dioptrie

lx – lux, jednotka intenzity osvětlení

m – metr

mg – miligram

mm – milimetr

NPA – near point of accommodation (blízký bod akomodace)

NPC – near point of convergence (blízký bod konvergence)

pD – prizmatická dioptrie

SE – sférický ekvivalent

# Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| OBRÁZEK 2.1: SCHÉMA STAVBY OČNÍ ČOČKY, ŽLUTĚ JSOU NA PŘEDNÍ A ZADNÍ PLOŠE ZNÁZORNĚNY ŠVY VE TVARU "Y", DALŠÍMI BARVAMI JSOU ZNÁZORNĚNY VLÁKNA UPÍNAJÍCÍ SE K NIM A DÁLE PŘECHÁZEJÍCÍ Z PŘEDNÍ STRANY NA STRANU ZADNÍ [5] .....   | 5  |
| OBRÁZEK 2.2: ŘEZ OČNÍ ČOČKOU[35] .....   | 5  |
| OBRÁZEK 2.3: SCHÉMA METABOLISMU OČNÍ ČOČKY[10] .....   | 6  |
| OBRÁZEK 2.4: ZÁVĚSNÝ APARÁT OČNÍ ČOČKY; 1 CAPSULA LENTIS, 2 EPITHELIUM LENTIS, 3 - 4 SUBTANTIA LENTIS, 3 CORTEX LENTIS, 4 NUCLEUS LENTIS, 5 EQUATOR LENTIS, 6 PROCESSUS CILIARES, 7 ZONULA CILIARIS, 8 FIBRAE ZONULARES, 9 MUSCULUS CILIARIS, 10 M. DILATATOR PUPILLAE [5] ..... | 9  |
| OBRÁZEK 2.5: STRUKTURY V OBLASTI CORPUS CILIARE; A PARS Plicata, B PARS PLANA, C ORA SERATTA, D RETINA, E, F VÝBĚŽKY ŘASNATÉHO TĚLÍSKA, G LINEÁRNÍ STRIE SMĚŘUJÍCÍ DOPŘEDU OD ZUBATÝCH VÝBĚŽKŮ PŘES PARS PLANA, H, I PERIFERNÍ ČÁST DUHOVKY [2] .....                            | 9  |
| OBRÁZEK 3.1: AKOMODACE OKA [16] .....  | 10 |
| OBRÁZEK 3.2: GRAF ZÁVISLOSTI VYNALOŽENÉ AKOMODACE OD VZDÁLENOSTI OBJEKTU [9], UPRAVENO AUTOREM .....   | 13 |
| OBRÁZEK 3.3: CENTRÁLNÍ REFLEX [18] .....   | 18 |
| OBRÁZEK 3.4: REFLEX V PERIFERII [18] .....   | 18 |
| OBRÁZEK 3.5: DUANOVA KŘIVKA AKOMODAČNÍ AMPLITUDY – A MINIMÁLNÍ HODNOTY, B STŘEDNÍ HODNOTY, C MAXIMÁLNÍ HODNOTY – UPRAVENO AUTOREM [26] .....   | 27 |
| OBRÁZEK 5.1 : PORUCHY BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ A JEJICH ŘEŠENÍ [50] .....  | 34 |
| OBRÁZEK 6.1: AUTOREFRAKTOMETR (VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE) .....  | 37 |
| OBRÁZEK 6.2: VYŠETŘOVACÍ MÍSTNOST (VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE).....   | 37 |
| OBRÁZEK 6.3: JEDNOTKA DO BLÍZKA (VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE) .....  | 40 |
| OBRÁZEK 6.4: JEDNOTKA DO BLÍZKA [VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE].....   | 41 |
| OBRÁZEK 6.5: ROZDĚLENÍ RESPONDENTŮ PODLE POHLAVÍ.....  | 43 |
| OBRÁZEK 6.6: ZASTOUPENÍ REFRAKČNÍCH VAD VE VZORKU VYŠETŘOVANÝCH.....   | 43 |
| OBRÁZEK 6.7: ROZDĚLENÍ RESPONDENTŮ PODLE VĚKOVÝCH KATEGORIÍ .....  | 44 |
| OBRÁZEK 6.8: MONOKULÁRNÍ HODNOTY AA PRAVÉHO I LEVÉHO OKA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ.....   | 45 |
| OBRÁZEK 6.9: MONOKULÁRNÍ HODNOTY AA PRAVÉHO I LEVÉHO OKA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-DOWN" ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ.....   | 45 |
| OBRÁZEK 6.10: PRŮMĚRNÉ MONOKULÁRNÍ HODNOTY AA PRAVÉHO I LEVÉHO OKA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" A "PUSH-DOWN" ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ.....   | 46 |
| OBRÁZEK 6.11: BINOKULÁRNÍ HODNOTY AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ .....  | 47 |
| OBRÁZEK 6.12: BINOKULÁRNÍ HODNOTY AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-DOWN" ROZDĚLENÉ PODLE VĚKU....   | 47 |
| OBRÁZEK 6.13: PRŮMĚRNÉ HODNOTY BINOKULÁRNÍ AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" A "PUSH-DOWN" ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ.....  | 48 |
| OBRÁZEK 6.14: MONOKULÁRNÍ HODNOTY AA PRAVÉHO I LEVÉHO OKA ZJIŠTĚNÉ METODOU ROZPTYLKY ROZDĚLENÉ PODLE VĚKU .....  | 48 |
| OBRÁZEK 6.15: BINOKULÁRNÍ HODNOTY AA ZJIŠTĚNÉ METODOU ROZPTYLKY ROZDĚLENÉ DO VĚKOVÝCH KATEGORIÍ .....  | 49 |
| OBRÁZEK 6.16: ROZLOŽENÍ MONOKULÁRNÍCH HODNOT AA DO TŘÍD PODLE ČETNOSTÍ .....   | 51 |
| OBRÁZEK 6.17: ROZLOŽENÍ MONOKULÁRNÍCH HODNOT AA DO TŘÍD PODLE ČETNOSTÍ .....   | 51 |
| OBRÁZEK 6.18: ROZLOŽENÍ BINOKULÁRNÍCH HODNOT AA DO TŘÍD PODLE ČETNOSTÍ .....   | 52 |
| OBRÁZEK 6.19: ROZLOŽENÍ BINOKULÁRNÍCH HODNOT AA DO TŘÍD PODLE ČETNOSTÍ .....   | 52 |
| OBRÁZEK 6.20: POROVNÁNÍ MONOKULÁRNÍCH HODNOT AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ .....  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| OBRÁZEK 6.21: POROVNÁNÍ MONOKULÁRNÍ AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-DOWN" V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ .....                   | 53 |
| OBRÁZEK 6.22: POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH HODNOT AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" A „PUSH-DOWN“ V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ ..... | 54 |
| OBRÁZEK 6.23: POROVNÁNÍ BINOKULÁRNÍ AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-UP" V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ .....                     | 54 |
| OBRÁZEK 6.24: POROVNÁNÍ BINOKULÁRNÍ AA ZJIŠTĚNÉ METODOU "PUSH-DOWN" V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ .....                   | 55 |
| OBRÁZEK 6.25: POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÉ AA ZJIŠTĚNÉ METODAMI "PUSH-UP" A "PUSH-DOWN" V ZÁVISLOSTI NA REFRAKČNÍ VADĚ .....         | 55 |

# Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| TABULKA 1 HODNOTY AA A NPA V ZÁVISLOSTI NA VĚKU [38] .....                   | 25 |
| TABULKA 2: SROVNÁNÍ HODNOT AA ZJIŠTĚNÝCH RŮZNÝMI METODAMI [39] .....         | 30 |
| TABULKA 3: STŘEDNÍ HODNOTA A SMĚRODATNÁ ODCHYLKA U POROVNÁVANÝCH METOD ..... | 50 |

# Seznam příloh

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| PŘÍLOHA 1: INFORMOVANÝ SOUHLAS..... | 71 |
| PŘÍLOHA 2: PROTOKOL.....            | 72 |



## Příloha 1: Informovaný souhlas

### Informovaný souhlas

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností.
3. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Pro výzkumné a vědecké účely mohou být zjištěná data poskytnuta pouze bez identifikačních údajů (anonymní data).
5. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno ani jiné identifikační údaje se nebudou vyskytovat ve výstupech této studie. Souhlasím s použitím výsledků této studie.

Podpis účastníka:

Podpis studenta:

Datum:

Datum:



