



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Porovnání AC/A poměru stanoveného vyšetřením a výpočtem

Assessment of AC/A ratio examination and calculation

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Thao Luongová

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Přemysl Kučera

Kladno, Květen 2017

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2016/2017

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

Student: **Thao Luongová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Porovnání AC/A poměru stanoveného vyšetřením a výpočtem**
Téma anglicky: Assessment of AC/A ratio examination and calculation

Zásady pro vypracování:

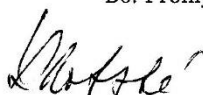
Studentka popíše akomodaci, konvergenci a jejich vzájemný vztah. Dále představí poruchy akomodace a konvergence. Studentka se zaměří na různé metody vyšetření AC/A poměru a na možnost stanovit AC/A poměr výpočtem. Část textu bude věnována také CA/C poměru. Pro porovnání stanovení AC/A poměru výpočtem a pomocí vyšetření zvolí vhodné metody a vypracuje protokol pro zadávání dat. Popíše metodiku měření a statisticky zpracuje a porovná výsledky.

Seznam odborné literatury:

- [1] BENJAMIN, W. J., *Borish's Clinical Refraction, ed. 2.*, Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, 1694 s., ISBN 978-0-7506-7524-6
[2] EVANS, B.J.W., *Picwell's binocular vision anomalies, ed. 5.*, Elsevier, 2007, 454 s., ISBN 0-7506-8897-1
[3] DOSHI, S., HARVEY, W., *Eye Essentials: Assessment & Investigative Techniques, ed. 1.*, Elsevier, 2005, 186 s., ISBN 978-0-7506-8853-6

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Bc. Přemysl Kučera



vedoucí katedry / pracoviště



děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce: Porovnání AC/A poměru stanoveného vyšetřením a výpočtem

Abstrakt:

Tato bakalářská práce s názvem AC/A poměr se zabývá akomodací, konvergencí a jejich vztahem. Práce popíše mechanismus akomodace, její rozdělení, poruchy a metody měření. Dále je zaměřena na konvergenci a její mechanismus. Část textu je také věnována poruchám a metodám měření konvergence. Stěžejní část tohoto projektu se zabývá metodami měření akomodačně konvergenčního poměru. Vysvětlí vliv binokulárních poruch na kvocient AC/A. Také představí význam tohoto poměru ve výběru optimální kompenzační možnosti a diagnostice heteroforie. Dále představí poměr konvergenční akomodace ke konvergenci. Experimentální část práce se zabývá vyšetřením AC/A poměru na 40 probandech dvěma zvolenými metodami a následným statistickým zpracováním a porovnáváním naměřených dat.

Klíčová slova:

AC/A poměr, CA/C poměr, vergence a akomodace, oční synkineze

Bachelor's Thesis title: Assessment of AC/A ratio examination and calculation

Abstract:

This bachelor's thesis named AC/A ratio writes about accommodation, convergence and their relationship. The work describes the mechanism, classification, anomalies and methods of measuring the accommodation. Furthermore, it is focused on convergence and its mechanism of working. Part of the text is dedicated to anomalies and methods of measuring convergence. The important part of this project writes about methods of measuring the ratio of accommodative convergence to accommodation. It explains the influence of binocular anomalies on AC/A ratio. Also, it introduces the importance of this ratio in diagnostics and selecting the optimal compensation choice for heterophoria. Then it introduces the convergence accommodation to convergence ratio. The experimental part of this thesis deals with measuring the AC/A ratio on 40 subjects by two chosen methods following statistical processing and assessment of measured data.

Key words:

AC/A ratio, CA/C ratio, vergence and accommodation, eye synkinesis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Bc. Přemyslu Kučerovi za trpělivost, cenné rady a připomínky. Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Písaříkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování výsledků. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří mi byli oporou při psaní této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Porovnání AC/A poměru stanoveného vyšetřením a výpočtem*“ vypracoval(a) samostatně a použil(a) k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V dne

.....

podpis

Obsah

Úvod.....	1
1 Akomodace	2
1.1 Mechanismus akomodace	2
1.2 Teorie akomodace.....	3
1.2.1 Teorie Helmholtzova	3
1.2.2 Teorie podle Schachara a Tcherninga.....	4
1.2.3 Teorie Colemanova.....	4
1.2.4 Teorie Goldbergova	5
1.3 Klasifikace akomodace	5
1.4 Poruchy akomodace	6
1.5 Akomodační oblast a akomodační amplituda.....	8
1.6 Metody vyšetření akomodace	9
1.6.1 Akomodační šíře	10
1.6.2 Akomodační facilitita (schopnost, flexibilita)	12
1.6.3 Relativní akomodace.....	13
2 Konvergence	14
2.1 Mechanismus konvergence	15
2.2 Klasifikace konvergence	18
2.3 Poruchyvergence.....	19
2.4 Metody vyšetření konvergence	20
2.4.1 Blízký bod konvergence (NPC).....	21
2.4.2 Vergenční facilitita.....	21
2.4.3 Fúzní rezervy	22
3 Akomodační triáda.....	24
4 AC/A poměr.....	25
4.1 Klasifikace AC/A poměru	25
4.1.1 Nízký AC/A poměr	26
4.1.2 Normální AC/A poměr	27
4.1.3 Vysoký AC/A poměr	27
4.2 Metody měření AC/A poměru	27
4.2.1 Početní metoda.....	28
4.2.2 Gradientní metoda.....	30

4.2.3 Metoda fixační disparity	32
4.2.4 Grafická metoda.....	33
4.3 Význam AC/A poměru	34
5 CA/C poměr.....	36
6 Praktická část	37
6.1 Hypotézy	37
6.2 Metodika práce	38
6.2.1 Vyšetřované osoby.....	39
6.2.2 Objektivní a subjektivní refrakce.....	39
6.2.3 Vyšetření AC/A poměru	40
6.3 Výsledky měření	42
6.3.1 Obecné údaje.....	42
6.3.2 Hypotéza 1	44
6.3.3 Hypotéza 2	45
6.3.4 Hypotéza 3	46
6.4 Diskuze	47
Závěr	49
Seznam použité literatury	50
Seznam symbolů a zkratk	54
Seznam obrázků.....	55
Seznam tabulek	56
Seznam příloh	57

Úvod

V současné době je stále více lidí trpících binokulárními poruchami. Velmi častými poruchami jsou heteroforie či heterotropie, což znamená, že oči nejsou v paralelním postavení. Pokud je heteroforie kompenzovaná, pacient nemá žádné obtíže. Dekompenzovaná forie může způsobovat potíže při práci do blízka, astenopii, zamlžení, dvojité vidění atp. Jedním z faktorů vedoucích k této dekompenzované forii může být nesprávný poměr AC/A neboli poměr akomodační konvergence k akomodaci.

Kvocient AC/A jsem si vybrala jako téma mé bakalářské práce, abych se více dozvěděla o této problematice. V české optometrii se tento poměr málokdy stanovuje a v české literatuře není tolik probíraný. Z tohoto důvodu budu spíše vyhledávat zahraniční zdroje, kde se AC/A poměr běžně určuje. V anglicky mluvících zemích je stanovení AC/A poměru součástí vyšetření binokulárního vidění.

V teoretické části této práce se budu zabývat poměrem akomodační konvergence k akomodaci a jeho významu v diagnostice binokulárních anomálií. Určením tohoto kvocientu lze následně vybrat optimální řešení ke kompenzaci skrytého šilhání. Ke stanovení AC/A poměru slouží různé metody, mezi které patří gradientní, početní, grafická metoda a metoda fixační disparity. Ty budou rozebírány v kapitole čtyři.

V první kapitole se budu zabývat mechanismem akomodace a jejími poruchami. Také zde nastíním teorie mechanismu akomodace a část textu věnuji metodám vyšetření akomodace. Další kapitola vysvětluje mechanismus konvergence, její rozdělení a poruchy. Stejně jako v první kapitole i zde budu probírat možnosti měření konvergence. Poté stručně popíši složky podílející se na oční synkinéze a vysvětlím poměr konvergenční akomodace ke konvergenci, CA/C.

V experimentální části bakalářské práce budu měřit AC/A poměr na dostatečném množství probandů dvěma zvolenými metodami. Také popíši použité přístroje a metodiku vyšetření AC/A poměru. V další kapitole se budu podrobně zabývat analýzou a porovnáváním výsledků měření.

Cílem bakalářské práce je tedy shrnout možnosti vyšetření a výpočtů poměru akomodační konvergence k akomodaci. Mým úkolem je také vypracovat protokol pro zadávání dat, statisticky zpracovat výsledky a ověřit stanovené hypotézy.

1 Akomodace

Pojem akomodace zavedl Burow až v roce 1841, do té doby se používalo slovo adaptace [3]. Akomodace je schopnost lidského oka vidět ostře předměty na různou vzdálenost. Spočívá ve změně optické mohutnosti oční čočky, která způsobí zobrazení předmětu na sítnici. [1, 2]

Jestliže se díváme na blízké objekty, vyžadujeme větší zakřivení čočky (zvyšuje se míra akomodace) a označujeme ji jako pozitivní akomodaci. Naopak při vnímání vzdálených podnětů stačí malé zakřivení čočky, akomodace oka je menší a označuje se jako negativní akomodace. [1, 4, 6]

Tato schopnost se vyvíjí už od narození, ale do čtyř měsíců ještě není prakticky možná kvůli nedokončenému vývoji řasnatého tělesa. Ze začátku dokáže dítě zaostřit na bližší i vzdálenější předměty v rozsahu od 20 cm do 75 cm [11]. [5, 25]

1.1 Mechanismus akomodace

Vlastní akomodace se skládá z aktivní složky (činnosti ciliárního svalu) a složky pasivní (účasti čočky a závěsného aparátu). Ciliární sval se skládá z cirkulárních vláken (Müllerův sval), ovládaných parasymptikem, a meridionálních vláken (Brückeův sval). Ty jsou inervovány vlákny sympatiku.

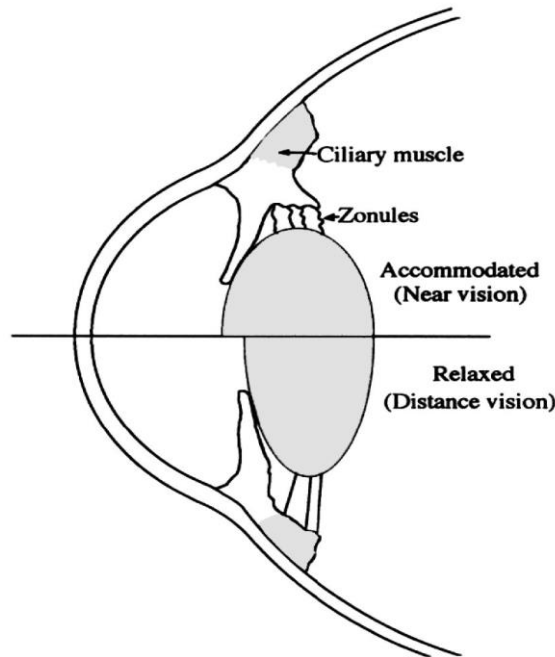
Při akomodaci se stáhnou cirkulární vlákna ciliárního svalu, tím se uvolní napětí závěsného (zonulárního) aparátu a čočka změni svůj tvar a polohu (viz obr. 1). Tyto změny jsou umožněny elasticitou pouzdra a plasticitou čočkové substance. Díky tomu se lentikulární tvar čočky změni v téměř kónický tvar. Poloměr zakřivení přední plochy klesá z 10 mm na 6 mm a zvětšuje se předozadní průměr. [7, 8]

Při pohledu do dálky relaxují ciliární vlákna a aktivují se meridionální, které pomáhají zvýšit napětí zonulárních vláken. Síla tahu způsobí oploštění lomivých ploch čočky. [8]

Čočka v relaxovaném stavu má přibližně optickou mohutnost 19 dpt. V akomodovaném stavu, při zaostření na nějaký objekt může čočka nabývat až 30 dpt. [9]

Na účinnost akomodace mají vliv dva faktory. Jedním z nich je schopnost čočky měnit tvar a dalším je síla ciliárního svalu. Fyzikální deformace čočky měřitelná v dioptriích se

nazývá fyzikální akomodace. Kontrakční síla ciliárního svalu, která je nutná ke změně refrakčního stavu oka o 1 dioptrii se označuje jako fyziologická akomodace. [8]



Obr. 1: Čočka v akomodovaném a relaxovaném stavu [10]

1.2 Teorie akomodace

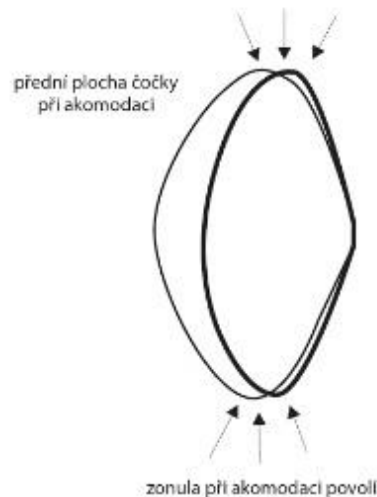
V minulosti se vytvořilo mnoho teorií o mechanismu akomodace, z nichž nejznámější jsou Helmholtzova, dle Schachara a Tscherninga a Colemanova.

1.2.1 Teorie Helmholtzova

Helmholtzova nebo také kapsulární teorie akomodace říká, že při pohledu do dálky se uvolňuje ciliární sval a zonulární vlákna jsou v napětí. Napětí vláken udržuje čočku v relativně plochém stavu.

Při akomodaci se kontrahuje a zároveň zmenší ciliární sval, což způsobí uvolnění závěsného aparátu. Dojde k rozšíření předozadní centrální části čočky. Povolněním napětí zonulárních vláken mezi ekvátorem čočky a ciliárním svalem dojde k vyklenutí čočky a zvýšení její optické mohutnosti. Během zaostřování se tedy ekvatoriální část čočky pohybuje směrem od skléry a zpět ke sklěře, když akomodace pomíjí. Teorie se spoléhá na pasivní uvolnění zonulárních vláken.

Později k této teorii přispěl Fincham vysvětlující vyklenutí přední plochy čočky (viz obr. 2). To spočívá ve větší tloušťce pouzdra v oblasti úponu závěsného aparátu, kde čočka nejméně mění svůj tvar. Čočkové pouzdro je nejtenčí v centrální části vpředu i vzadu. Vpředu se vyklenuje nejvíce, ale vzadu ne. Tam je totiž čočka už maximálně vyklenuta při uvolněné akomodaci. [3, 12]



Obr. 2: Princip Helmholtzovy teorie akomodace [3]

1.2.2 Teorie podle Schachara a Tcherninga

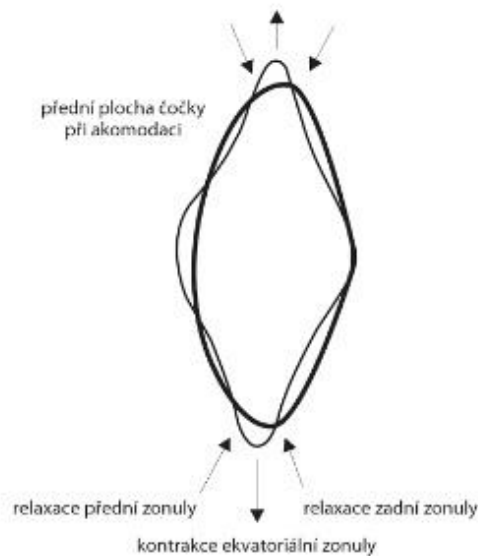
Schachar, podobně jako Tcherning, vysvětlil mechanismus akomodace založený na jiném anatomickém umístění úponu ciliárních vláken. Při kontrakci se ciliární sval dostane směrem ke sklěře a kořeni duhovky. Tento pohyb vyvolá napnutí ekvatoriálního zonulu a zároveň se uvolní zadní a přední zonula. Výsledkem je prodloužení čočky ve vertikálním směru, ztenčení periferní oblasti čočky a rozšíření centrální čočky (viz obr. 3).

Jediným rozdílem mezi teoriemi Schachara a Tcherninga byl ten, že Tcherning předpokládal u akomodace ještě účast sklivce.

Tato teorie se liší od kapsulární tím, že předpokládá aktivní spolupráci mezi řasnatým svalem a závěsným aparátem. Také počítá s přiblížením ekvátoru čočky ke sklěře. [3]

1.2.3 Teorie Colemanova

Colemanova teorie předpokládá, že čočka, závěsný aparát spolu s předním sklivcem tvoří diafragmu mezi sklivcovým prostorem a přední komorou. Kontrakce ciliárního svalu způsobí zvýšení tlaku ve sklivcovém prostoru s následným snížením tlaku v přední komoře. Sklivec tak tlačí na zadní plochu čočky a posouvá ji směrem do přední komory. [13, 14]



Obr. 3: Princip teorie akomodace dle Schachara a Tcherninga [3]

1.2.4 Teorie Goldbergova

V roce 2011 doktor Goldberg přišel s nejnovejší teorií akomodace, která zahrnuje reciprokou zonulární činnost. Při akomodaci, kdy se ciliární sval kontrahuje, se přední zonulární vlákna uvolní, zatímco zadní zonulární vlákna se napnou. Ty způsobí zvýšení lomivosti čočky.

Při relaxaci ciliárního svalu se zadní zonulární vlákna uvolní a napnou se přední zonulární vlákna. Silou přední zonuly se zploští čočka. [48]

1.3 Klasifikace akomodace

Akomodaci lze dle Heath (1956) rozdělit do čtyř složek. [2] Ty zahrnují reflexní, vergenční, proximální a tonickou akomodaci. [15]

Reflexní akomodace

Reflexní akomodace je nejdůležitější složkou akomodace při monokulárním a binokulárním vidění. Zajišťuje ostrého zobrazení pozorovaného předmětu na sítnici. Nedá se ovlivnit vůlí.

Funguje do dvou dioptrií. Při přesáhnutí těchto hodnot nastupuje akomodace volní, která lze ovládat vůlí a není závislá na přítomnosti stimulu rozmazaného obrazu. [15, 16]

Konvergenční akomodace

Tvoří druhou nejdůležitější složku akomodačního procesu. Akomodace je navozena konvergencí při pohledu na blízký objekt. Do 24 let akomodace vždy následuje konvergenci. U starších osob už to tak není a stimulus konvergence k akomodaci postupně mizí. Více viz kapitola 5. [2, 6]

Proximální akomodace

Akomodace indukovaná vědomím jedince o blízkosti předmětu. Je příčinou přístrojové myopie, která způsobuje chybné objektivní měření refrakční vady, např. u autorefraktometrů. Přístroj pak udává mylné vyšší hodnoty myopie nebo nižší hodnoty hypermetropie. [6]

Tonická akomodace

Reprezentuje klidový stav akomodačního procesu, kdy není žádný stimul blízkého objektu či jakéhokoliv podnětu. Tonická akomodace nabývá nejnižší dioptrické hodnoty a bývá příčinou noční myopie. [15, 16, 47]

Dá se měřit mnoha způsoby, všechny však zahrnují potlačení zbývajících tří komponent akomodace za tmy. Za takových podmínek se tonická akomodace rovná přibližně 1 dpt u mladých jedinců, ale může se lišit od 0 do 2 dpt. S postupem času se tyto hodnoty snižují kvůli biomechanickým limitům krystalické čočky. [15]

1.4 Poruchy akomodace

K anomáliím akomodace patří exces (nadměrná) akomodace, spasmus (křeč), insuficience (nedostatečnost) a obrna. Někdy se k těmto základním poruchám akomodace přidává i akomodační ochablost a únava.

U dětí těmito poruchami často trpí jedinci s Downovým syndromem (68%) a s mozkovou obrnou (58%). [17]

Exces akomodace

Vzniká spíše u mladých lidí při dlouhodobém čtení nebo jemné práci na blízko s nedostatečným nebo příliš intenzivním osvětlením. Další příčinou může být nevyhovující korekce refrakční vady. [2, 8, 18]

Klinicky se tato porucha projevuje nadměrnou konvergencí, myopizací oka a astenopickými obtížemi. Dotyčný má potíže s uvolnění akomodace, což může následně vést k akomodačnímu spasmu. Léčba spočívá v předpisu správné korekce, poučení o ergonomii práce do blízka a aplikaci cykloplegik, užívá se atropin po několik týdnů. [2, 15]

Spasmus akomodace

Nejčastěji postihuje pacienty s nekorigovanou a podkorigovanou hypermetropií či presbyopií nebo po aplikaci myotik. Příčinami mohou být také lokální infekce, iridocyklitidy, intoxikace (morfinem, oxidem uhelnatým) a některé léky u neurotiků.

Projevuje se myopizací oka (dosahuje až -10 dpt [18]) a makropsií. Člověk trpící makropsií vidí blízké předměty větší než ve skutečnosti, jelikož vynakládá minimální akomodační úsilí. Dále je pro spasmus akomodace typický exces akomodace, exces konvergence, mióza.

Spasmus se uvolňuje spontánně, jinak se léčí dlouhodobou atropinizací (min. 4 týdny), správnou korekcí a kontrolou celkového zdravotního stavu. [2, 8, 18]

Insuficience akomodace

Postihuje nejčastěji pacienty s myopií či emetropií před 40. rokem věku. Trpí tzv. předčasnou presbyopií vzniklou patologickými změnami čočky. Insuficience může také být způsobena nedostatečnou činností ciliárního svalu, poruchou svalové rovnováhy, oslabením zdravotního stavu, fokální infekcí. Vyznačuje se snížením akomodační amplitudy o 2 a více dpt než odpovídá věku [15]. [2, 18]

Pacient trpí unavenými očima a astenopickými potížemi při práci do blízka. Neefektivní akomodace také způsobuje exces konvergence, jež se musí řešit prizmatickou korekcí. Dlouhodobá insuficience se kompenzuje presbyopickou korekcí. Zlepšení může pacient dosáhnout aktivním cvičením akomodace přibližováním zkušebních tabulek. [2, 8]

Obrna akomodace

Vede ke zhoršení zrakové ostrosti do blízka, u člověka s hypermetropií i do dálky. Nemocní s myopií nebo presbyopií tuto poruchu vidění do blízka nezaznamenají. Příčinou obrny bývá aplikace mydriatik, přímý úraz oka, infekce nebo trauma CNS, dlouhodobý alkoholismus, diabetes, botulismus, záškrt atd. Při záškrtu vzniká obrna akomodace náhle. U botulismu nastupuje vždy oboustranná obrna akomodace i obrna zornic, která způsobí

mydriázu charakteristickou pro obrnu akomodace. Typickým příznakem je i mikropsie. Pacient vidí předměty menší a bližší než ve skutečnosti. [2, 8]

Terapie spočívá ve vyléčení základní choroby. Při trvalých obtížích je nutné předepisovat presbyopickou korekci. Mydriáza zornic se odstraňuje stenopeickou kontaktní čočkou nebo plastikou duhovky. [8, 18]

Akomodační únava (fatigue)

Pacient se značným úsilím akomoduje, ale postupem času ji už nedokáže udržet. Považuje se za první stádium akomodační nedostatečnosti, má i stejné příznaky. [15]

Akomodační ochablost (infacility)

Nemocný má potíže se změnami vzdálenosti z dálky do blízka, často z nepoužívání akomodace. Postihuje to především lidi s myopií. Jejich akomodační schopnost je pomalá a musí vynaložit snahu na zaostření. Pacient trpí rozmazaným viděním, astenopií. Léčba se zaměřuje na cvičení akomodační facility a předepsání plusové korekce. [15, 19, 20]

1.5 Akomodační oblast a akomodační amplituda

Akomodační oblast je vzdálenost mezi dalekým a blízkým bodem. Daleký bod neboli punctum remotum označuje nejvzdálenější bod, které je oko schopno vidět ostře v uvolněné akomodaci. Nejbližší bod, který se ostře zobrazí na sítnici při maximální akomodaci, se nazývá blízký bod nebo také punctum proximum. [8, 25]

Lomivost neakomodujícího oka nazýváme statickou refrakcí. Jako dynamickou refrakci označujeme lomivost oka s přírůstkem optické mohutnosti podmíněnou akomodací. [8, 25]

Akomodační amplituda (AA) popisuje rozdíl maximální dynamické refrakce a refrakce statické. Statická refrakce označuje stav oka v akomodačním klidu. Dynamická refrakce je lomivost oka s přírůstkem podmíněným akomodací. Akomodační šíře vyjadřuje největší možný přírůstek optické mohutnosti oka dosažitelnou akomodací. [1, 8, 25]

AA se udává v dioptriích a může se spočítat dle vzorce (1) [1],

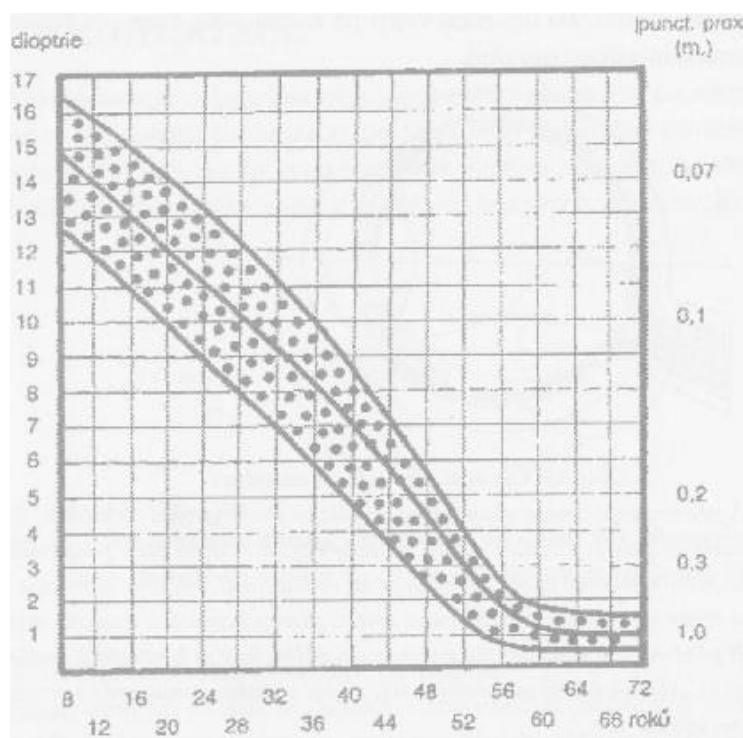
$$AA = \frac{1}{PP} - \frac{1}{PR} \quad (1)$$

kde

PP – punctum proximum, blízký bod (m)

PR – punctum remotum, daleký bod (m)

U lidí s emetropií a nižší hypermetropií je AA velká, u jedinců s myopií a vyšší hypermetropií je akomodační šíře malá [8]. AA se snižuje s narůstajícím věkem, od 5 do 52 let věku progresivně klesá o 0,30 dpt za rok [15]. V 12 letech průměrná akomodační šíře nabývá 14 dpt, ale v 52 letech dosahuje až 1 dpt [23]. Obrázek 4 představuje průměrné a krajní hodnoty akomodační amplitudy a blízkého bodu (punct. prox.) v závislosti na věku.



Obr. 4: Dondersova křivka (závislost AA [dpt] a blízkého bodu [m] (punct. prox.) na věku [roky]) [23]

1.6 Metody vyšetření akomodace

Mezi základní hodnocení akomodačního stavu oka patří měření akomodační šíře, akomodační facility (schopnosti, snadnosti) a relativní akomodace.

1.6.1 Akomodační šíře

K měření akomodační šíře se používá test blízkého bodu akomodace (NPA = near point of accommodation), metoda push up a push out, metoda minus lens to blur.

Test blízkého bodu akomodace (NPA)

Test se provádí monokulárně i binokulárně. Pacient pozoruje optotyp s nejmenším písmem, které ještě přečte. Optotyp se pomalu posouvá směrem k očím, až pacient zahlásí rozmazané vidění. Text se poté oddálí tak, aby ho viděl ostře, a střed mezi těmito hraničními body se nazývá blízký bod akomodace. Pravítkem poté změříme vzdálenost blízkého bodu a převrácená hodnota blízkého bodu v metrech nám udává akomodační amplitudu. [11, 26] Tabulka 1 zobrazuje předpokládané hodnoty AA (v dpt a cm) v závislosti na věku.

Minimální a očekávanou hodnotu akomodační amplitudy pro daný věk lze také spočítat pomocí Hofstetterových vzorců (2) a (3) [11]:

$$\text{Minimální amplituda (dpt)} = 15,0 - (0,25 \cdot \text{věk}) \quad (2)$$

$$\text{Očekávaná amplituda (dpt)} = 18,5 - (0,3 \cdot \text{věk}) \quad (3)$$

Tabulka 1: Tabulka předpokládaných hodnot AA (v dpt a cm) v závislosti na věku [11]

Věk (roky)	Akomodační amplituda (dpt)	Akomodační amplituda (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	20,00
50	2,50	40,00

Metoda „push up“

Test se provádí monokulárně i binokulárně s optimální korekcí do dálky. Tato metoda se používá spíše pro dobře spolupracující klienty. Vyšetřovaný s testovou tabulkou v ruce pozoruje nejmenší možné písmo a posouvá si ho k sobě. Začíná se obvykle z 50 cm a dotyčný

si pomalu přibližuje optotyp, dokud se mu nerozmaže. Vyšetřující si změří vzdálenost a její převrácená hodnota v metrech je akomodační amplituda.

Pro kontrolu lze spočítat předpokládané hodnoty AA pomocí vztahu (2) a (3). [6, 27]

Metoda „push out (pull away)“

Funguje podobně jako metoda „push up“. Spočívá v uvolňování akomodace, což je příjemnější pro některé osoby. Užívá se jako alternativa „push up“ metoda, kdy vyšetřovaný není schopen určit bod rozostření.

Klient si optotyp pomalu oddaluje od oka, dokud ho neuvidí ostře. Převrácená hodnota naměřené vzdálenosti v metrech je akomodační amplituda (šíře).

Studie z roku 2010 [27] zjistily z výsledků měření, že tato metoda „pull away“ vykazuje nižší hodnoty akomodační šíře než ostatní metody (viz tab. 2). [27, 28]

Tabulka 2: Srovnání měřených hodnot AA (dpt) dle metod [27]

<i>Věk (roky)</i>	<i>Push-up (dpt)</i>	<i>Push-down/Pull away (dpt)</i>	<i>Metoda rozptylky (dpt)</i>
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	

Metoda „minus lens to blur“ (metoda rozptylky)

Funguje na principu předsazování minusových čoček před oko v krocích po -0,25 dpt až do okamžiku, kdy se zamlží vidění. Probíhá za monokulárních podmínek, aby se nezatěžoval vergenční systém.

Nejdříve musí být vyšetřovaný vykorigován na dálku a poté pozoruje čtecí optotyp na blízko ve vzdálenosti 40 cm. Převrácená hodnota čtecí vzdálenosti v metrech se musí přičíst k hodnotě poslední přidané rozptylky, abychom získali akomodační amplitudu oka. [27]

U starších pacientů je občas zapotřebí přidat plusovou sféru k zajištění ostrého vidění. Tento přírůstek se musí odečíst od celkové hodnoty akomodační amplitudy. [6]

1.6.2 Akomodační facilitita (schopnost, flexibilita)

Vyšetřuje se tím schopnost rychlé reakce na změny akomodace za monokulárních i binokulárních podmínek. Principem tohoto testu je cyklus střídavého předsazování plusových a minusových čoček (viz obr. 5). Běžně se užívají flippery s hodnotou $\pm 2,00$ dpt, ale mohou se použít i $\pm 1,50$ dpt nebo $\pm 1,00$ dpt [29]. Pacient sedí a drží čtecí optotyp ve vzdálenosti 40 cm.

Vyšetřující předsazuje nejdřív $+2,00$ dpt a čeká, až klient uvidí ostře text. Poté předsadí $-2,00$ dpt a opět čeká na signál. Tento cyklus předkládání obou hodnot se opakuje do uplynutí jedné minuty. Zároveň se zaznamenává, kolik cyklů do té doby proběhlo. [26]

U dětí a dospělých nad 30 let se běžné hodnoty pohybují pod 11 cyklů za minutu (cpm) za monokulárních podmínek a za binokulárních se naměří pod 8 cpm [26]. Tabulka 3 obsahuje normální hodnoty v závislosti na věku.



Obr. 5: Průběh vyšetření akomodační facility užívající flippery [11]

Optotyp může být jakýkoli, ale doporučuje se Malettův vertikální OXO test na vyšetřovací jednotce do blízka. Zjišťuje se tím případná suprese nebo další binokulární problémy, které mají větší vliv na měření akomodační schopnosti. [11]

Tabulka 3: Normy pro posouzení výsledků měření akomodační facility (cpm = cyklů za minutu) [30]

Věk	Norma	Povolená odchylka
6 let	3 cpm	$\pm 2,5$ cpm
7 let	3,5 cpm	$\pm 2,5$ cpm
8 - 12 let	5 cpm	$\pm 2,5$ cpm
dospělý	8 cpm	$\pm 2,5$ cpm

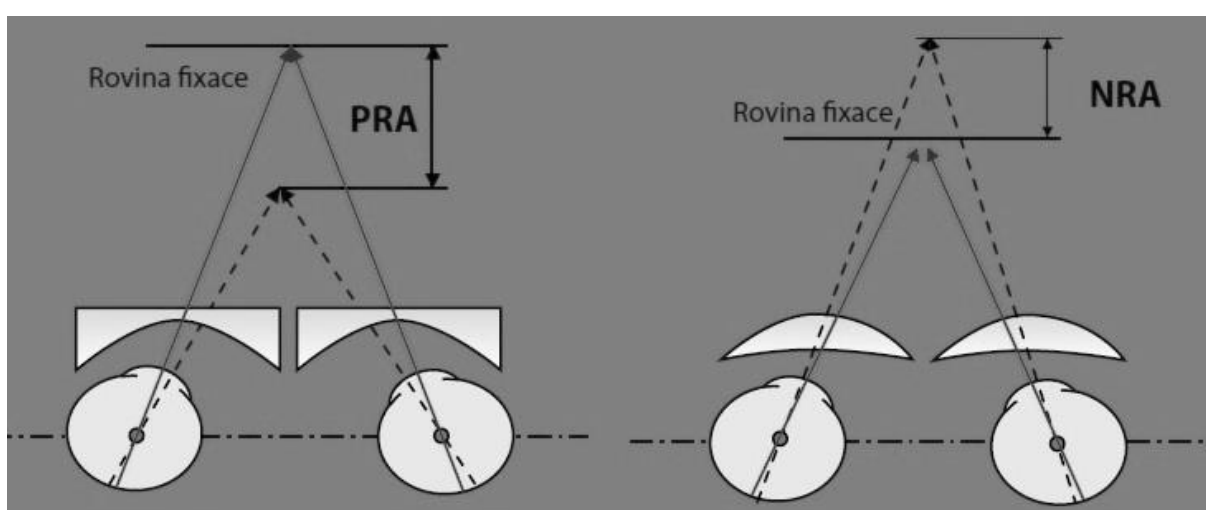
1.6.3 Relativní akomodace

Tento test slouží ke zjištění maximální schopnosti akomodace, kdy zůstává vergenční systém nezměněn. Měří se binokulárně. Relativní akomodace se dělí na pozitivní relativní akomodaci (PRA) a negativní relativní akomodaci (NRA).

Pozitivní relativní akomodace označuje maximální schopnost akomodace při nezměněné konvergenci nebo divergenci. Při tomto testu zvyšujeme a zatěžujeme akomodaci pomocí minusových čoček. Vyšetření probíhá na vzdálenost 40 cm [26] a přidáváme rozptylky, dokud nám klient neohlásí rozmlžené vidění. Nejlépe se toto měření provádí na foropteru, zkušební obruby jsou nekomfortní pro klienta a nepraktické pro vyšetřujícího. Očekávané hodnoty u dobrého funkčního systému jsou 1,50 – 2,00 dpt [30]. [26, 30]

NRA vyjadřuje maximální schopnost uvolnění akomodace při nezměněné konvergenci či divergenci (viz obr. 6). Při testu snižujeme akomodační zátěž pomocí plusových čoček. Měření provádíme na vzdálenost 40 cm [26] a přidáváme spojky, dokud se klientovi nezamlží vidění. Normální hodnoty se pohybují v rozmezí 1,50 – 2,00 dpt [30]. [26, 30]

Test PRA se považuje za test negativních fúzních rezerv. Při měření by oko mělo konvergovat, ale díky negativním fúzním rezervám zůstává vergenční systém nezměněn. K rozmlženému vidění dochází, pokud klient už nemá žádné další fúzní rezervy. U měření negativní relativní akomodace nedochází k divergenci díky pozitivním fúzním rezervám. Proto můžeme test NRA považovat za test pozitivních fúzních rezerv. [31]



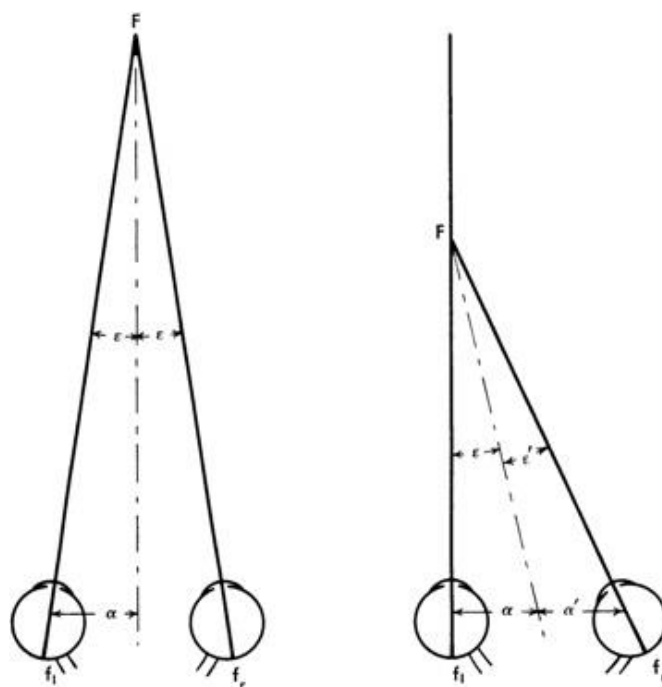
Obr. 6: Podstata pozitivní relativní akomodace (vlevo) a negativní relativní akomodace (vpravo) [30]

2 Konvergence

Patří do skupiny vergenčních nebo také disjungovaných pohybů. To označuje pohyby protisměrné (nesouhlasné), kdy se optické osy bulbů stáčíjí dovnitř při pohledu do blízka. Pokud se osy vidění při pohledu do dálky rozbíhají od sebe, hovoří se o divergenci. Pokud jde jedno oko nahoru (sursumvergence, supravergence) a druhé dolů (deorsumvergence, sinfravergence), jedná se o vertikální divergenci. Ta se dělí na pozitivní, kdy se uchyluje pravé oko nahoru, a negativní, pravé oko jde dolů. Vertikální vergence pomáhá při pohybech hlavy do stran zachovat jednoduché binokulární vidění. Jestliže oči provádějí torzní pohyb, jde o cyklovergenci. [3, 5]

Konvergence se začíná rozvíjet ve třech měsících života a v šesti měsících už bývá stálá. [5] Některé literatury [11] píší, že tonická, proximální a akomodační vergence je přítomna už od narození. Jen fúzní konvergence se rozvíjí později, ve čtyřech měsících.

Dle polohy fixovaného předmětu dělíme konvergenci na symetrickou a asymetrickou (viz obr. 7). Symetrická konvergence nastává, pokud leží fixovaný předmět ve střední rovině mezi osami vidění. Asymetrická konvergence nastává, jestliže fixovaný předmět leží mimo střední rovinu. [21]



Obr. 7: Symetrická konvergence (vlevo) a asymetrická konvergence (vpravo) [21]

2.1 Mechanismus konvergence

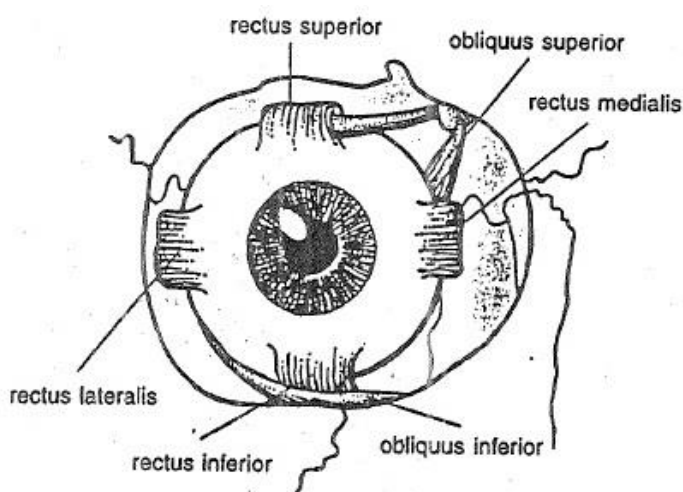
Konvergenci zajišťuje souhra okohybných svalů. Dochází k oboustranné oční addukci. [34]

Okohybné svaly

Na každém oku je celkem šest okohybných svalů – čtyři přímé a dva šikmé (viz obrázek 8). Mezi šikmé svaly patří dolní šikmý a horní šikmý (musculus obliquus inferior, superior). Mezi přímé svaly se řadí horní, dolní, vnitřní a zevní (m. rectus superior, inferior, medialis, lateralis). [18]

Čtyři přímé svaly začínají ve hrotu očnice a pokračují směrem dopředu, kde se rozestupují a tvoří svalový konus. Upínají se před ekvátorem bulbu nestejně daleko od limbu rohovky. Ekvátor bulbu značí pomyslnou linii na největším obvodu oka. Její rovina prochází středem oka a dělí oko na přední a zadní polovinu. Nejbliže limbu se upíná m. rectus medialis. Všechny přímé svaly jsou dlouhé okolo 4 cm a šíře jejich úponu je 1 cm [25]. Nejdelším okohybným svalem je m. obliquus superior, který měří 6 cm [25].

Horní šikmý sval začíná ve hrotu očnice a jde dopředu mezi horním a vnitřním přímým svalem. Poté se mění ve šlachu na nosní kůstce neboli kladce. Ta pokračuje pod horním přímým svalem a upíná se na horním zevním kvadrantu oka. Dolní šikmý sval má svůj začátek na dolní vnitřní části orbitu, postupuje zevně a dozadu. Nakonec se upíná na dolním zevním kvadrantu bulbu za ekvátorem. [5, 25]

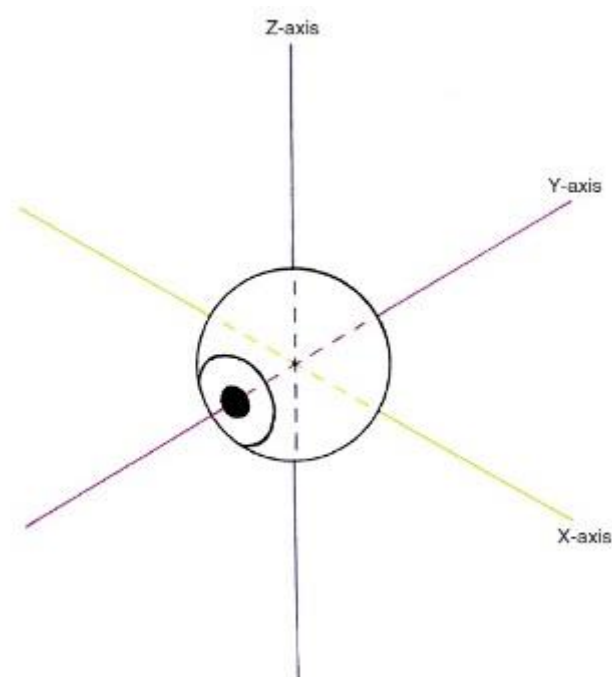


Obr. 8: Okohybné svaly [18]

Okohybné svaly jsou inervovány třemi hlavovými nervy nacházející se na dně IV. mozkové komory. Čtvrtý hlavový nerv (n. trochlearis, kladkový) inervuje m. obliquus superior. Šestý hlavový nerv (n. abducens, odtahovací) inervuje m. rectus lateralis. Třetí hlavový nerv (n. oculomotorius, okohybný) inervuje všechny ostatní okohybné svaly. [8, 25]

Motilita oka

Veškeré pohyby oka se dějí okolo bodu otáčení bulbu. Tento otočný bod je průsečíkem tří hlavních os rotace, které označujeme jako Fickovy osy (viz obr. 9). Těmi jsou osy horizontální (x), vertikální (z) a předozadní (y). [5]



Obr. 9: Fickovy osy [37]

Horizontální svaly (vnitřní a zevní přímý) mají jen primární funkci, vykonávají pohyby oka v jednom směru. Ostatní okulomotorické svaly mají i sekundární funkci, mohou ovlivnit pohyb oka v různých směrech. Přehled funkcí jednotlivých svalů je zanesen v tabulce 4. [18]

Pohyby jednoho oka se nazývají dukce. Vzhledem k vertikální ose provádějí svaly addukci (pohyb oka dovnitř) a abdukci (pohyb oka ven). Co se týče horizontální osy, vykonávají svaly pohyby nahoru (sursumdukce nebo elevace) a dolů (deorsumdukce nebo deprese). Kolem předozadní (sagitální) osy je torze (intorze či extorze).

Kromě výše zmíněných disjungovaných pohybů očí vykonávají ještě konjugované, stejnosměrné. Označujeme je jako verze. [8]

Párové pohyby očí se řídí dle dvou zákonů. První, Heringův zákon říká, že každý sval vykonávající verzi dostane stejně silný nervový impulz. Druhý zákon o reciproké inervaci antagonistů (Sheringtonův zákon) říká, pokud agonistům přijdou zvýšené inervační impulzy, pak ve stejný okamžik je utlumena inervační činnost antagonistů. [18]

Tabulka 4: Inervace a funkce okulomotorických svalů [8]

<i>Sval</i>	<i>Inervace</i>	<i>Hlavní funkce</i>	<i>Vedlejší funkce</i>
m. rectus med.	n. III.	addukce	
m. rectus lat.	n. VI.	abdukce	
m. rectus sup.	n. III.	elevace	addukce, intorze
m. rectus inf.	n. III.	deprese	addukce, extorze
m. obliquus sup.	n. IV.	intorze	deprese, abdukce
m. obliquus inf.	n. III.	extorze	elevace, abdukce

Svalová rovnováha

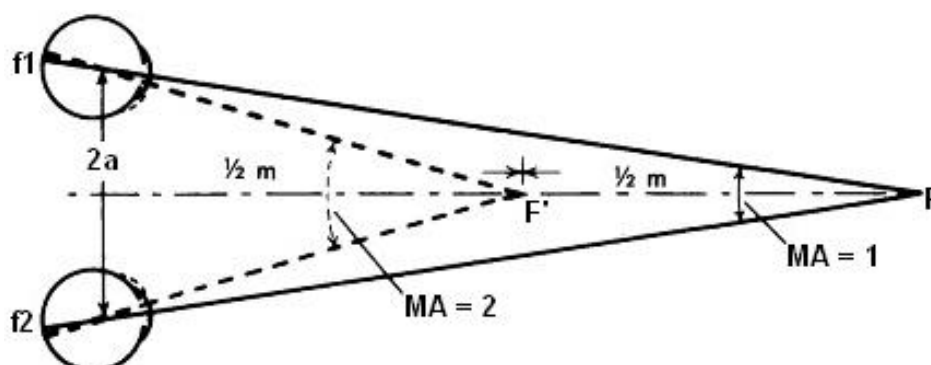
Pokud při pohledu do dálky jsou osy vidění rovnoběžné a obraz předmětu dopadá na žlutou skvrnu, hovoříme o ortoforii. Ta nastává jen při správném fungování okohybných svalů a jejich inervaci. Pokud se oční osy udržují rovnoběžné zvýšeným úsilím některých svalů, jedná se o heteroforii. Pro ni je typické uchýlení jedné osy oka při poruše binokulárního vidění. Heterotropie nastává, když oči při pohledu do dálky nejsou v rovnovážném postavení.

V horizontální rovině dochází při heteroforii (-tropii) k esoforii (esotropii) nebo exoforii (exotropii). V takovém případě jedno oko fixuje, zatímco druhé je v konvergenci (eso-) nebo divergenci (exo-). [5, 7]

Metrový úhel

Metrový úhel (obr. 10) reprezentuje jednotku konvergence zavedený Nagelem [21]. Je to úhel, který svírají osy vidění při fixaci předmětu. Pokud je fixovaný předmět ve vzdálenosti 1m, akomoduje se 1 dpt a konverguje se na 1 metrový úhel. Jestliže je předmět v 0,5 m, akomodace nabývá 2 dpt a konvergence 2 metrových úhlů [5].

Konvergence se může také měřit v prizmatických dioptriích. Jedna prizmatická dioptrie odkloní paprsek o 1 cm na vzdálenost 1 m. [6]



Obr. 10: Metrový úhel (MA) [21]

2.2 Klasifikace konvergence

Konvergenci lze rozdělit na volní a reflexní. Volní konvergence není vyvolána vnějším podnětem a můžeme ji ovládat vůlí. Reflexní konvergence nelze ovládat vůlí a je řízena korovým motorickým centrem v týlním laloku, které řídí i reflex akomodace. Dělí se na tonickou, akomodační, fúzní a proximální konvergenci. [25, 32]

Tonická konvergence

Zachovává klidové postavení očí dané základním tonem okohybných svalů, hlavně vnitřních přímých. Je nutná k udržení primárního postavení očí v bdělém stavu, protože ve spánku se oči stáčí zevně a nahoru. Postupem času s přibývajícím věkem se snižuje tonus okohybných svalů a oči mají tendenci divergovat. [2, 32]

Akomodační konvergence

Akomodační konvergence je vyvolaná akomodací. Vztah mezi akomodační konvergencí a akomodací vyjadřuje AC/A poměr. Míra konvergence vyvolaná akomodací o 1dpt se liší u každého člověka, ale nemění se. Více je popsáno ve 4. kapitole. [23, 33]

Fúzní konvergence

Tato část konvergence upravuje osy vidění a umožňuje tak fúzi. Zajišťuje komfortní jednoduché binokulární vidění. Stimulem pro fúzní konvergenci jsou disparátní retinální

obrazy. Fúzní konvergence vyvolává konvergenční (pozitivní), divergenční (negativní) nebo vertikálně vergenční pohyby. Pokud tato složka neplní řádně svoji funkci, může nastat diplopie a následně heterotropie. V těchto případech může pomoci zrakový trénink na fúzní konvergenci. [2, 23, 32]

Fúzní konvergence do dálky nabývá hodnot 10 až 25 pdpt, do blízka 15 až 30 pdpt a u vertikální vergence dosahuje hodnot 3 až 6 pdpt. [2]

Proximální konvergence

Nebo také psychická konvergence. Aktivuje se vědomím blízkého předmětu. To může být objekt v blízké vzdálenosti nebo objekt situován do blízka, ale opticky umístěn v nekonečnu. Tato složka konvergence se projevuje často při vyšetřování na přístrojích, hlavně na troposkopu. Je vrozená a nezávislá na akomodaci. Dá se změřit při pozorování blízkého objektu s takovou korekcí, která vyřadí akomodaci. Obvykle připadá 1 dpt na 1,5 pdpt [2]. [21, 23, 32]

2.3 Poruchy vergence

Do poruch vergence lze zařadit insuficienci (nedostatečnost) konvergence, exces (nadměrnost) konvergence, insuficienci divergence a exces divergence.

Insuficience konvergence

Nedostatečná konvergence se vyznačuje exoforií na blízko a ortoforií nebo malou exoforií na dálku. Blízký bod konvergence se nachází ve větší vzdálenosti než 8 cm. Dotyčný má malé množství akomodační konvergence. Pokud má nemocný dostatečné množství fúzní konvergence, pak nepocítuje žádné obtíže. [23]

Vyskytuje se obvykle v předškolním věku, ale může vzniknout v kterékoliv době života. Poslední dobou se tato porucha týká více dospělých ve věku 30 – 40 let, kteří tráví většinu času u počítače. Příčinou mohou být binokulární potíže, heteroforie, nekorigovaná oční vada, některé závažné celkové choroby atd. Pacient pocítuje bolesti hlavy, očí a vidí dvojité.

Terapie spočívá v pravidelném cvičení konvergence pomocí tužky či malé hračky. Někteří pacienti docházejí na ortoptická cvičení, která se provádí na konvergentním synoptoforu, troposkopu, stereoskopu nebo se používají prizmata. [34]

Exces konvergence

Charakterizuje se ortoforií do dálky a esofoří do blízka. Nejčastěji touto poruchou trpí malý děti, nekorigovaní hypermetropové, překorigovaní myopové, počínající presbyopové a po cykloplegikách. Pacienti si stěžují na bolesti hlavy, protože musí neustále využívat svou negativní fúzní vergenci. Obvyklá je tendence ke konvergenci u miminek, která je mylně považována za šilhání. Pokud po správném vykorigování stále přetrvává esoforie, pak se jedná o neakomodační typ excesu konvergence. Exces konvergence se dá zmírnit plusovými čočkami do blízka. [5, 23]

Insuficience divergence

Dělí se na primární a sekundární. Pro primární insuficienci divergence je typická velká esoforie na dálku a malá do blízka. Jestliže má dotyčný dostatečnou fúzní divergenci, neobjevují se potíže a vidí dobře. Při nedostatečné fúzní divergenci má pacient astenopické potíže a ohrožené binokulární vidění.

Sekundární insuficience divergence se vyznačuje větší esoforie do blízka než do dálky. Postižený potřebuje fúzní divergenci nejen do dálky, ale i na blízkou vzdálenost, což obvykle nemá. Pro kompenzaci této poruchy je nutné plně vykorigovat hypermetropa a případně předepsat prizmata bází ven. [23, 31]

Exces divergence

Pacient trpí větší exoforií do dálky než blízka. Vidí občas rozmazaně do dálky při řízení nebo dívání se na televizi. Léčba spočívá ve předepsání rozptylek na dálku nebo překorigování myopa a podkorigování hypermetropa. Dále se kompenzuje prizmaty bází dovnitř do blízka. [23, 31]

2.4 Metody vyšetření konvergence

K vyšetření konvergence se používá test blízkého bodu konvergence (NPC – near point convergence), měření vergenční facility (schopnosti) a fúzních rezerv.

2.4.1 Blízký bod konvergence (NPC)

NPC je bod, kde se optické osy protínají za největšího konvergenčního úsilí a zároveň je zachováno jednoduché binokulární vidění. Spočívá v pomalém přibližování testové značky nebo hrotu tužky ze vzdálenosti 50 cm. Pacient si přibližuje značku, dokud neohlásí rozdvojené vidění nebo vyšetřující nezpozoruje, že jedno oko přestalo konvergovat. Vyšetřující změří vzdálenost tohoto blízkého bodu a pokračuje s měřením. Oddaluje testovou značku nebo hrot tužky a ptá se, kdy se mu spojí obraz. Poté opět změří vzdálenost tzv. recovery bodu (bodu spojení). [11, 28]

Běžné naměřené hodnoty se pohybují okolo 6/9 cm (bod rozdvojení/bod spojení). Objektivní hodnoty jsou nižší, okolo 5/8 cm [28]. 85% dětí ve věku od 5 do 11 let mají blízký bod konvergence menší než 6 cm. Další studie prokázaly, že děti mladší 7 let mají NPC menší než 5 cm [11]. Většina starších pacientů mají blízký bod konvergence blíž k očím než blízký bod akomodace. NPC je totiž nezávislý na věku. [11, 35]

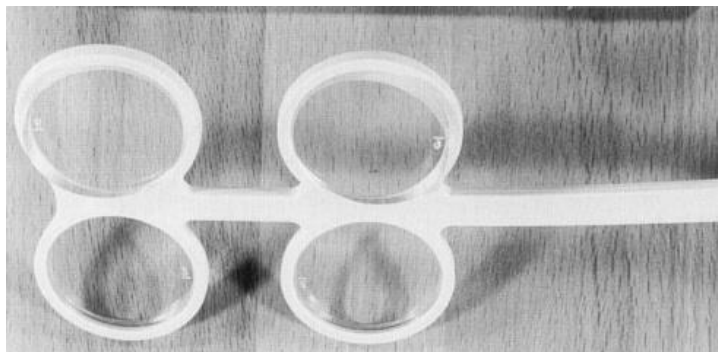
2.4.2 Vergenční facilita

Někdy také se označuje jako konvergenční flexibilita. Tento test zjišťuje schopnost vergenčního systému rychle a přesně reagovat na změny vergence pomocí prizmatických čoček. Přičemž akomodace by měla zůstat nezměněna. [11, 26]

Používají se prizmatické flippery (na obr. 11). Kvůli vyšší schopnosti oka konvergovat než divergovat mají prizmata ve flipperech 12 pdpt bází ven (out) a 3 pdpt bází dovnitř (in). Prizma bází ven nutí oči do konvergence a bází dovnitř nutí oči do divergence. [11]

Pacient pozoruje písmeno nebo řádek na čtecím optotypu ve vzdálenosti 40 cm. Binokulárně se nejdříve předsadí flipper s 12 pdpt bází out (na každé oko 6 pdpt). Jakmile se pacientovi zaostří vidění, přehodí se flipper na 3 pdpt bází in (na každé oko 1,5 pdpt). Vyšetřující čeká, až klient zaostří na text a znovu opakuje tento cyklus střídavého předsazování prizmatických čoček do jedné minuty. [28]

Norma pro hodnocení výsledků je 15 cpm (cyklů za minutu). Hodnoty pohybující se okolo 9 – 15 cpm jsou ještě přijatelné. Jestliže se hodnoty pohybují pod 9 cpm, jedná se o nestabilní vergenční systém. Ten se projevuje potížemi při změně pozorovaného objektu nebo při nižší intenzitě světla. [35]



Obr. 11: Flipper s prizmatickými čočkami [26]

2.4.3 Fúzní rezervy

Fúzní rezervy (FR) reprezentují maximální schopnost konvergence či divergence, než dojde k poruše jednoduchého binokulárního vidění a navození diplopie či neostrého vidění. Při dostatečných fúzních rezervách dotyčný nemá symptomy heteroforie. Na základě vyšetření se také mohou vybírat vhodná řešení pro kompenzaci heteroforie. [11, 28]

Zjišťuje se plynulým předsazováním prizmatických čoček. K tomu se nejčastěji používá foropter nebo prizmatická lišta (viz obr. 12). Nevýhodou foropteru je jeho velikost. Přes něj nemůžeme vidět do pacientových očí k objektivnímu hodnocení. Mezi výhody patří plynulost a přesnost. Více se využívá prizmatická lišta, přes kterou můžeme vidět do pacientových očí. Jsou rychlejší a dobře na ní reagují děti. [28]

Měří se do dálky na vzdálenost 5 – 6 metrů a do blízka na vzdálenost 33 – 40 cm [36]. Zjišťuje se nejdříve bod rozostření (blur point), což je okamžik, kdy se pozorovaný obraz poprvé rozmaže. Potom se změří bod rozdvojení (break point). Dochází k němu, protože vergenční systém už není schopen fúzovat fixovaný předmět. Nastává diplopie. Následně se určí bod spojení (recovery point), kdy se snižuje hodnota prizmatu k opětovnému spojení obrazu. Obvykle k tomuto bodu dojde při snížení o 2 – 4 pdpt [36]. [35, 36]

U fúzních rezerv se stanovuje pozitivní (PFR), negativní fúzní rezerva (NFR) a vertikální fúzní rezerva. Při měření PFR oči konvergují, používají se prizmata bází out. U PFR můžeme určit všechny body – bod rozostření, rozdvojení a spojení při měření do dálky i do blízka.

Jiné je to u NFR, kde do blízka se určí všechny tři body, ale do dálky jen body rozdvojení a spojení. Při vyšetření NFR dáváme prizmata bází in a nutíme tak oči do divergence. U vertikálních fúzních rezerv do dálky i do blízka se naměří také jen body

rozdvojení a spojení. Zde dáváme prizmata bází nahoru na jednom oku a dolů na druhém oku. [36]

Normální hodnoty u vertikální fúzní rezervy se pohybují okolo 2 – 4 pdpt [11]. Co se týče pozitivních a negativních fúzních rezerv, hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 5.



Obr. 12: Vyšetření PFR s prizmatickou lištou [11]

Tabulka 5: Norma hodnot pro PFR a NFR (převzato z [28])

	Dálka (pdpt)	Blízko (pdpt)
Pozitivní fúzní rezervy		
Bod rozostření	8 – 12	16 – 22
Bod rozdvojení	15 – 22	20 – 28
Bod spojení	8 – 12	16 – 22
Negativní fúzní rezervy		
Bod rozostření	X	10 – 16
Bod rozdvojení	6 – 10	16 – 24
Bod spojení	4 – 8	8 – 14

3 Akomodační triáda

Při pohledu do blízka nastává akomodace, zúžení zornice (mioza) a konvergence bulbů. Konvergence umožňuje zachovat binokulární zobrazení předmětu do foveolární oblasti. Mioza zužuje kužel přicházejících paprsků, čímž napomáhá vytvoření ostrého retinálního obrazu. [8, 37]

Někdy se tato triáda označuje jako akomodační reflex, reflex pohledu na blízko či oční synkinéze. Akomodační reflex inervují parasymptická vlákna třetího kraniálního nervu pocházejícího z Edingerova-Westphalova jádra. Má latenci 0,37 sekund. Oko lépe zaostřuje na polychromatické světlo. Při použití monochromatického světla nastává porucha reflexu do blízka. [22, 37, 38]

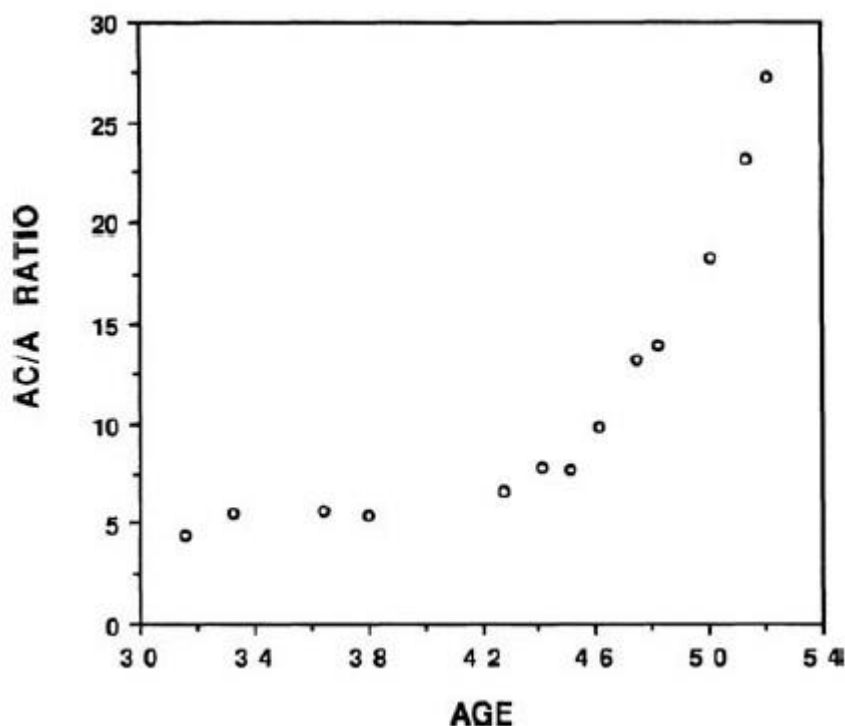
Některé studie píší, že zúžení pupil při pohledu do blízka téměř chybí u většiny jedinců předškolního věku. To má degradující efekt na vytvoření sítnicového obrazu. [38]

Souhra akomodace a konvergence se vyvíjí do 6. měsíce. Akomodace totiž začíná už ve 4. měsíci a konvergence ve třetím. Do prvního roku věku se postupně upevňuje tato synkinéze a ve druhém roce už je utužena. Poté do šesti let se jednotlivé reflexy stávají nepodmíněnými a už je nelze ovlivnit. [3, 5]

4 AC/A poměr

Fry (1937), Hofstetter (1945) [31] a další vědci prokázali, že každá změna akomodace (A) je doprovázena změnou konvergence (AC). Znamená to, že tento kvocient porovnává, kolik prizmatických dioptrií člověk konverguje na jednu dioptrii akomodace. Zatěžováním akomodace se indukují konvergence. A uvolňování akomodace se oči stáčí do divergence.

AC/A poměry, které jsou abnormálně vysoké nebo nízké, mohou vést k potížím s jednoduchým binokulárním viděním, k dekompenzované heteroforii. Tento poměr zůstává relativně konstantní do začátku presbyopie. Po 45. roce života má vyšetření AC/A poměru malý význam. Na obrázku 13 vidíme, že dospělí ve věku od 30 do 42 let mají okolo 5/1 (pdpt/dpt). Poté v presbyopickém věku se hodnota AC/A poměru postupně zvyšuje, v 50 letech může mít jedinec až 14/1 (pdpt/dpt). [28, 43]



Obr. 13: Závislost AC/A poměru (osa y) na věku (osa x) [40]

4.1 Klasifikace AC/A poměru

Kvocient AC/A je ovlivněn poruchami vergenčního systému. Podle naměřených hodnot AC/A poměru můžeme zjistit, o jaký typ vergenční dysfunkce se jedná.

Existuje devět možných diagnóz binokulárních anomálií (v horizontální rovině), které můžeme rozdělit do tří hlavních kategorií na základě AC/A poměru (viz tab. 6). Určujeme nízký, normální a vysoký kvocient AC/A. [40]

Tabulka 6: Rozdělení horizontálních binokulárních anomálií [vlastní zpracování dle 40]

<i>AC/A poměr</i>			
	<i>Nízký</i>	<i>Normální</i>	<i>Vysoký</i>
<i>Ortoforie do dálky</i>	Insuficience konvergence	Fúzní vergenční dysfunkce	Exces konvergence
<i>Exofovie do dálky</i>	Insuficience konvergence	Základní exofovie	Exces divergence
<i>Esofovie do dálky</i>	Insuficience divergence	Základní esofovie	Exces konvergence

4.1.1 Nízký AC/A poměr

Binokulární anomálie s nízkým AC/A poměrem jsou označovány jako insuficience (nedostatečnost).

Pacient mající ortoforii do dálky a exoforii do blízka trpí konvergenční nedostatečností. Při práci do blízka ho postihují bolesti hlavy, diplopie. Je neschopný udržet koncentraci, čte pomalu a jeho symptomy se zhoršují na konci dne. Při vyšetření u něho naměříme snížené hodnoty pozitivních fúzních rezerv a vergenční facility do blízka s prizmaty bází out a ustupuje blízký bod konvergence. Pacient nereaguje na vyšetření binokulární akomodační facility s plusovou čočkou a má nízké hodnoty negativní relativní akomodace.

Další typ insuficience konvergence se charakterizuje větší exoforií do blízka než do dálky (malá tonická konvergence). Trpí stejnými potížemi do blízka (i do dálky) jako u předchozího typu konvergenční nedostatečnosti. U takového člověka naměříme nízké PFR a vergenční facilitu do dálky i do blízka.

Insuficience divergence se projevuje esoforií do dálky (velká tonická konvergence) a ortoforii do blízka. Pacient má malé negativní fúzní rezervy do dálky a vergenční facilitu do dálky u prizmat bází in. [39, 40]

4.1.2 Normální AC/A poměr

Fúzní vergenční dysfunkce se vyznačuje ortoforií do dálky i do blízka. Rozsah fúznívergence je snížený ve směru konvergentním i divergentním. Při vyšetření pacientovi naměříme nízké hodnoty NFR a PFR do dálky i do blízka, vergenční facility (u prizmat bází in a out), PRA a NRA. Má však normální hodnoty monokulární akomodační facility (binokulárně nelze vyšetřit).

Člověk se základní exoforií má do dálky a do blízka přibližně stejnou odchylku. Vyznačuje se nízkou NRA, PFR do dálky i do blízka a vergenční facilitou u prizmat bází out do dálky i do blízka.

Základní esoforie se charakterizuje velkou tonickou konvergencí. Do dálky má přibližně stejnou odchylku jako do blízka. Dotyčný s esoforií dosahuje nízkých hodnot PRA, NFR (do dálky i do blízka), vergenční facility u prizmat bází in (do dálky i do blízka). [40, 46]

4.1.3 Vysoký AC/A poměr

Dva typy poruch binokulárního vidění zde nastávají, exces konvergence a exces divergence. Exces konvergence spojený s ortoforií do dálky a esoforií do blízka má sníženou NFR, PRA a vergenční facilitu u prizmat bází in do blízka.

Další druh excesu konvergence spojený s větší esoforií do blízka než do dálky doprovází astenopické potíže, občasné dvojité vidění a časté rozostření obrazu. Mezi typické znaky této poruchy patří nízké hodnoty NFR do dálky a do blízka, vergenční facility (u prizmat bází in) a PRA.

Exces divergence se vyznačuje větší exoforií do dálky než do blízka. Charakterizuje se supesí do dálky, normálními hodnotami NPC a PFR. Pacient si stěžuje na bolesti hlavy při pohledu do blízka. Postižení děti při oslnění zavírají jedno oko. [39, 40]

4.2 Metody měření AC/A poměru

K vyšetření AC/A poměru se využívá gradientní metoda, početní (heteroforická), grafická metoda a metoda fixační disparity.

Z těchto čtyř metod se nejvíce používá klinicky významnější gradientní metoda, která se také považuje za nejpřesnější ze všech metod pro zjištění AC/A poměru. Gradientní metoda umožňuje rychlé a spolehlivé zjištění akomodačně konvergenčního poměru za použití standardního vybavení.

Druhou, hojně využívanou metodou, je početní. Ta využívá informace zjištěných z běžného vyšetření heteroforie do dálky a do blízka. Výsledky měření početní metodou bývají obvykle vyšší než hodnoty měření gradientní metodou. Způsobuje to fakt, že proximální konvergence se objevuje při zjišťování heteroforie do blízka, ale do dálky ne. Není tedy stálá proximální konvergence. Tento problém vyřešila gradientní metoda, jež využívá fixní vzdálenosti.

V minulosti se někteří badatelé domnívali, že heteroforická metoda dosahuje přesnějších výsledků. Jenže je ovlivněna proximální složkou konvergence, a to může udávat méně přesné výsledky. Gradientní metoda je vhodnější pro zjišťování efektu refrakční korekce na odchytku v dané vzdálenosti. [11, 32]

Co se týče normálních hodnot kvocientu AC/A, v uvedené literatuře [21] bylo statisticky dokázáno, že 40% lidí při vyšetření dosahuje 3/1 až 4/1 (pdpt/dpt).

4.2.1 Početní metoda

Také heteroforická metoda. Podstatou této metody je změna akomodace a tím i konvergence při změně vyšetřovací vzdálenosti. Při ní se porovnává heteroforie na dálku a na blízko.

Definuje se jako změna konvergence z dálky do blízka děleno změna vzdálenosti v dioptriích. Celková změna konvergence musí počítat i s pupilární distancí a heteroforií. Změna vzdálenosti v dioptriích je například přibližně 3 dpt při změně z 6 m do 0,3 m. Je to v podstatě převrácená hodnota fixační vzdálenosti na blízko v metrech. [11, 21, 39]

Normální hodnoty se pohybují v rozmezí od 4/1 (pdpt/dpt) do 7/1 (pdpt/dpt). [33]

Výše zmíněnou definici lze vyjádřit vztahem (4) [11],

$$\frac{AC}{A} = PD - \frac{Forie_D - Forie_B}{F} \quad (4)$$

kde

PD = pupilární distance, vzdálenost (cm)

$Forie_D$ = heteroforie na dálku (pdpt)

$Forie_B$ = heteroforie na blízko (pdpt)

F = fixační vzdálenost na blízko (dpt)

Pokud se diagnostikuje esoforie (konvergentní ohybka), dosazuje se kladná hodnota do vztahu (4). Jestliže se zjistí exoforie (divergentní), dosazuje se záporná hodnota do vzorce. [32]

Příklad 1: pacient s pupilární distancí 60 mm trpí exoforií ($\Delta = 2$ pdpt) na dálku a exoforií ($\Delta = 10$ pdpt) do blízka na 40 cm.

$PD = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$

$Forie_D = -2 \text{ pdpt}$

$Forie_B = -10 \text{ pdpt}$

$F = 2,5 \text{ dpt} \left(F = \frac{1}{0,4 \text{ m}} \right)$

$$\frac{AC}{A} = 6 - \frac{-2 - (-10)}{2,5} = 2,8 \text{ pdpt/dpt}$$

Výsledek říká, že jedna sférická dioptrie způsobí změnu konvergence o 2,8 pdpt. Pacient má nízký AC/A poměr.

Na výpočet AC/A poměru lze použít i vzorec (5) [40],

$$\frac{AC}{A} = PD + NFD \cdot (Forie_B - Forie_D) \quad (5)$$

kde

NFD = fixační vzdálenost do blízka (m)

Pomocí tohoto vztahu (5) dosáhneme stejných výsledků jako se vztahem (4). Dokážeme si to na příkladě 1.

$$\frac{AC}{A} = 6 + 0,4 \cdot (-10 - (-2)) = 2,8 \text{ pdpt/dpt}$$

I bez použití vzorců (5) nebo (6) se dá zjistit, jestli se jedná o normální AC/A poměr nebo ne. Stačí porovnat naměřené heteroforie do dálky a do blízka. Pokud má pacient větší exoforii do blízka než do dálky, trpí nízkým kvocientem AC/A. Podobně je to i u esoforie. Naměříme-li větší esoforii do blízka než do dálky, tak to značí vysoký kvocient AC/A nebo nekorigovaného hypermetropa s vysokou refrakční vadou. [28]

4.2.2 Gradientní metoda

Další metodou ke zjištění AC/A poměru je gradientní metoda. Pracuje na principu změny akomodace předsazováním sférických čoček při konstantní vyšetřovací vzdálenosti. [39]

Při dané fixní vzdálenosti předsazená minusová čočka zvyšuje akomodační zátěž a plusová čočka ji uvolňuje. Předpokládá se, že akomodační změna je lineárně závislá na dioptrické hodnotě předsazené čočky. Protože čočka o -1dpt je ekvivalentem akomodační změny o 1 dpt a zároveň čočka o +1dpt uvolňuje akomodaci o 1dpt. [21]

Vyšetřování se provádí jak do dálky (6 m), tak i do blízka (40 cm). Do dálky se mohou použít jen minusové čočky. Do blízka se předsazují minusové i plusové čočky. Výsledné hodnoty mohou být rozdílné. Důvodem může být akomodační facilita jedince. [11, 33]

Zahrnuje více měření laterální forie (tropie) změnou akomodace použitím různě dioptrických čoček. Výsledky pak porovnáваме mezi sebou. Nejčastěji se předsazují čočky -2, -1 nebo +1, +2 dpt. Přidáváním minusových čoček do obruby dosahujeme snížení odchylky exoforie (resp. zvýšení esoforie). Je to dáno tím, že vlivem čoček musí oko akomodovat a zároveň konvergovat. Předsazováním plusových čoček se uvolňuje akomodace a s tím i akomodační konvergence. Zmenšuje esoforie (resp. zvětšuje exoforie). [31, 41]

Měření AC/A poměru do blízka

Toto měření se aplikuje převážně do blízka, ale je možné to použít i do dálky. Nejdříve se určí horizontální heteroforie (heterotropie) do blízka použitím disociačního testu (např. Maddoxův kříž, Von Graefe). Pacient nosí optimální nebo jeho obvyklou korekci. Poté

předsadíme plusovou nebo minusovou sféru před obě oči. AC/A poměr získáme posouzením změny konvergence před a po předsazení sféry (viz obr. 14). [11, 39]

K takovému posouzení slouží vztah (6) [21, 28],

$$\frac{AC}{A} = \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{D} \quad (6)$$

kde

Δ_0 = původní odchylnka, forie bez předsazené čočky (pdpt)

Δ_1 = odchylnkou s čočkou, forie s předsazenou čočkou (pdpt)

D = absolutní hodnota předsazené čočky (dpt)

I v tomto vzorci (6) se bere esoforie jako kladná hodnota a exoforie jako záporná hodnota.

Například máme pacienta s exoforií o 2pdpt, kterému po předsazení -2 dpt indukuje esoforii o 8 pdpt.

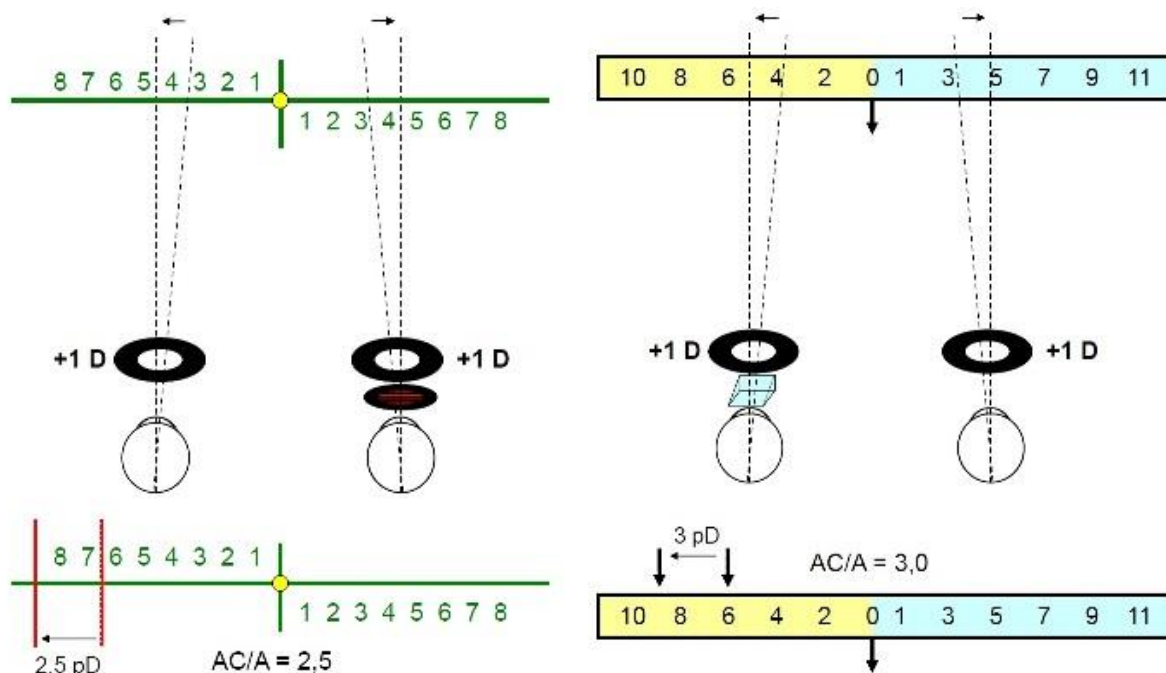
$\Delta_0 = -2$ pdpt

$\Delta_1 = 8$ pdpt

D = |-2|dpt = 2dpt

$$\frac{AC}{A} = \frac{8 - (-2)}{2} = \frac{10}{2} = 5pdpt/dpt$$

Normální hodnoty se pohybují v rozmezí od 2/1 (pdpt/dpt) do 3/1 (pdpt/dpt) [41]. Jiná literatura [6, 28] uvádí normální hodnoty v rozmezí od 3/1 (pdpt/dpt) do 5/1 (pdpt/dpt).



Obr. 14: Ukázka měření gradientní metody pomocí Maddoxova cylindru (vlevo) a Von Graefeho (vpravo)[41]

Měření AC/A poměru do dálky

K vyšetření kvocientu AC/A je potřeba nejdříve vykompenzovat heteroforii pomocí disociačních testů (křížový test, Schoberův test atd.). Zároveň pacient musí být správně vykorigován do dálky.

Jelikož k měření gradientní metodou do dálky se používají jen minusové čočky, předsadíme -1 dpt. Vlivem akomodace se změní konvergence očí. Pokud vyšetřovaný vidí na optotypu esoforii, snažíme se prizmaty bází out navodit ortoforii. Vložený prizmatická hodnota odpovídá AC/A poměru. Jestliže jsme vložili prizmata o 2 pdpt, AC/A poměr je roven 2/1 (pdpt/dpt). Naměříme-li prizma o 4 pdpt, kvocient AC/A odpovídá 4/1 (pdpt/dpt).

Potíže mohou nastat u presbyopa, který má malou akomodační šíři. U něho se měří AC/A poměr jen do blízka. [42]

4.2.3 Metoda fixační disparity

Často využívána Oglem a jeho spolupracovníky. AC/A poměr je nepřímo odvozen z této techniky. Považuje se za relativně spolehlivou metodu, protože se měří za binokulárních podmínek. Ale pro její složitost se skoro nevyužívá v běžné klinické praxi.

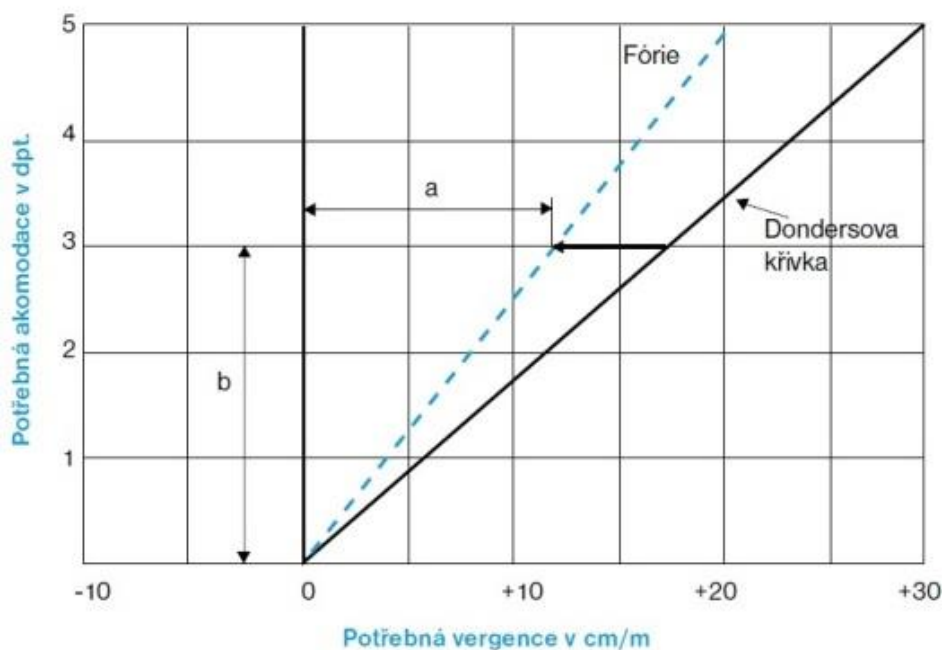
Skládá se ze dvou množin naměřených dat. První množina dat obsahuje změny fixační disparity indukované konvergencí, která je uměle navozená prizmatickými čočkami. Druhá množina dat zahrnuje závislost změn fixační disparity na akomodaci navozenou předkládáním čoček.

Poté se porovnají tyto dvě množiny dat. Zajímají nás jen naměřené hodnoty akomodace a konvergence způsobující stejné změny fixační disparity. Tu vyloučíme a tím zjistíme AC/A poměr. Tato technika vykazuje podobné výsledky jako u ostatních metod. [21]

4.2.4 Grafická metoda

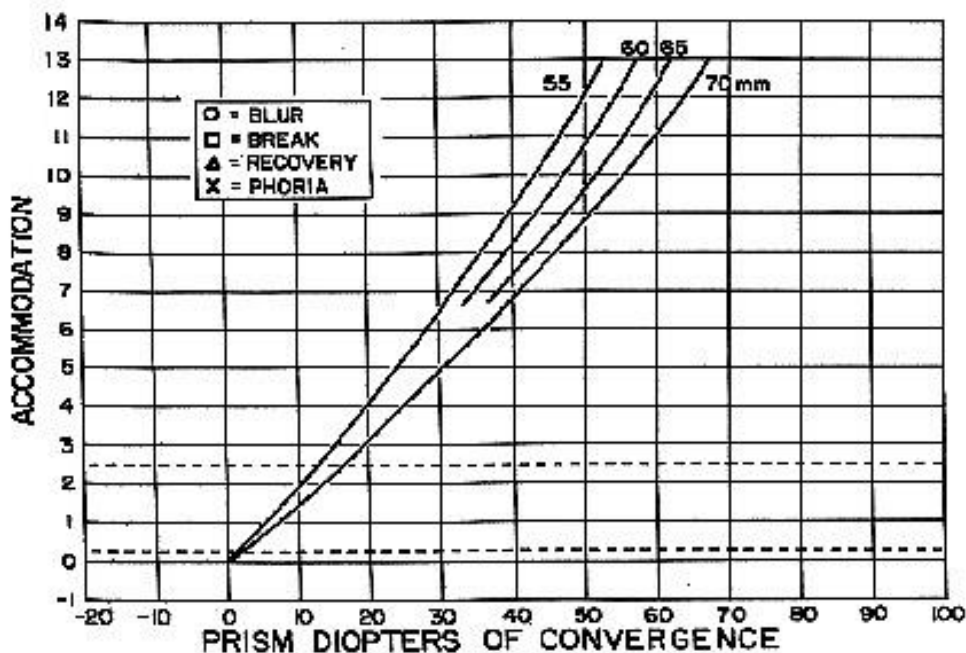
AC/A poměr lze zobrazit i do grafu (obrázek 21 a 22). Konvergence v prizmatických dioptriích je vynesena na ose x. Akomodace v dpt je vynesena na ose y. Výsledná křivka reprezentuje AC/A poměr.

Obrázek 15 ukazuje, že když předsadíme -1 dpt před oči, konvergence se změní o 3 pdpt u člověka s forií. Normálně by se měla změnit o 6 pdpt.



Obr. 15: Akomodace a konvergence [43]

Obrázek 16 značí závislost konvergence a akomodace na pupilární vzdálenosti. Ukazuje, že po předložení -2 dpt, oči konvergují 10 pdpt u člověka s PD 55 mm. Jedinec s PD 70 mm konverguje přibližně 14 pdpt. AC/A poměr u PD 55 mm je 5/1 (pdpt/dpt) a u PD 70 mm je 7/1 (pdpt/dpt).



Obr. 16: Závislost akomodace a konvergence na PD [44]

4.3 Význam AC/A poměru

Určení typu AC/A poměru je důležité, protože pomáhá v diagnostice poruch binokulárního vidění. Jestliže víme AC/A poměr pacienta, můžeme následně zvolit vhodnou léčbu (viz obrázek 17). Ta zahrnuje prizmatickou korekci, zrakový trénink nebo úpravu sférické korekce (adice). [40]

Na adici dobře reagují binokulární poruchy s vysokým kvocientem AC/A. To znamená, že i při nízké hodnotě adice se docílí velké změny ve vergenci. Při nízkém AC/A poměru adice ovlivní vergenci jen málo. Při normálním AC/A poměru není adice tolik úspěšná.

Exces konvergence a divergence může být díky vysokému AC/A poměru ovlivněn adicí. Ta se dělí na negativní (tzv. antikorekce) a pozitivní. Negativní adice znamená podkorigování plusové korekce nebo překorigování minusové korekce u člověka s exo-odchylkou. Pozitivní adice znamená překorigování plusové korekce a podkorigování minusové korekce u jedince s eso-odchylkou. Aby byly úpravy s minusovou sférou úspěšné, musí mít pacient dobrou akomodační facilitu a amplitudu.

Léčba pozitivní adice je primární volbou u excesu konvergence a akomodační insuficience. Způsobuje snížení exoforie do blízka, redukci negativní relativní akomodace a zvýšení pozitivní relativní akomodace. Dále snižuje konvergenci do blízka, zlepšuje akomodační facilitu.

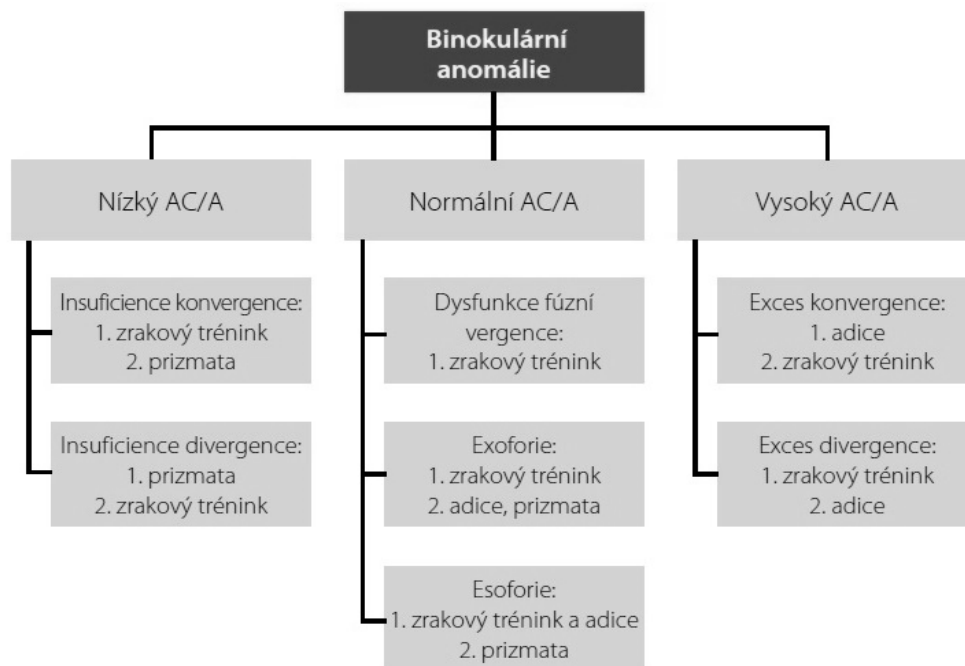
Ke stanovení hodnoty pozitivní adice je třeba znát hodnoty z měření relativní akomodace. Viz vzorec (8) [45],

$$Adice = \frac{Negativní\ relativní\ akomodace + Pozitivní\ relativní\ akomodace}{2} \quad (7)$$

Například pacient, u kterého naměříme NRA +2,25 dpt a PRA -0,75 dpt, odpovídá adice +0,75 dpt.

$$Adice = \frac{2,25 + (-0,75)}{2} = 0,75 \text{ dpt} \quad (7)$$

Kromě adice se mohou použít i prizmatické čočky. Na prizmata bází out dobře reaguje insuficience divergence. Na druhou stranu prizma bází in má malý vliv na léčbu insuficience konvergence. V tomto případě nám pomůže zrakový trénink. Zrakový trénink má větší vliv při terapii na exoforii než na esoforii. Cílem takového tréninku je zvýšení akomodační schopnosti a fúzní konvergence. [11, 45]



Obr. 17: Možnosti řešení poruch binokulárního vidění (jako první je uvedena primární volba terapie) [45]

5 CA/C poměr

Změna konvergence je doprovázena změnou akomodace. CA/C poměr nám určuje velikost změny akomodace (konvergenční akomodace – CA) v dioptriích, která je indukovaná změnou konvergence (C) o jedné prizmatické dioptrii. Tento kvocient CA/C se běžně neurčuje v klinické praxi, ale jeho zjištění může pomoci při diagnostice binokulárních anomálií.

Zatím není žádná obecně uznávaná metoda k vyšetření CA/C poměru. Může se však určit pomocí nezamlžovací testové značky (blur-free target) nebo malé dírky, přes které se dívá pacient. [40]

Předpokládané hodnoty kvocientu CA/C jsou 1/10 (dpt/pdpt) u mladého dvacetiletého člověka [15].

6 Praktická část

Náplní experimentální části bakalářské práce je vytvořit vlastní refrakční kartu pro zadávání dat a změřit dostatečné množství probandů. Dále je předmětem tohoto výzkumu statisticky zpracovat a porovnat výsledky pro potvrzení či vyvrácení hypotéz, jež stanovím na základě teoretických znalostí a publikovaných literatur.

6.1 Hypotézy

Cílem práce je zvolit vhodné metody ke zjištění AC/A poměru a porovnat naměřená data. Pro zjištění kvocientu AC/A jsem vybrala tyto dvě metody, gradientní a početní. Jejich postup měření byl vysvětlen v kapitolách 4.2.1 a 4.2.2.

Na základě několika zahraničních zdrojů [11, 21, 28, 31, 32] a teoretickém podkladě popsaném v kapitole 4.2 mohu stanovit první hypotézu. Ta předpokládá, že výsledky měření AC/A poměru zjištěné gradientní metodou jsou nižší než početně stanovené.

Další dvě hypotézy byly stanoveny na základě publikací [11, 28, 40] a znalostí uvedených v kapitolách 4.1.1 a 4.1.3, které pojednávají o tom, že vysoký AC/A poměr má závislost s vyššími hodnotami esoforie a nižšími hodnotami exofovie do blízka. Naopak nízký AC/A poměr má závislost s nižšími hodnotami esoforie a vyššími hodnotami exofovie do blízka. V hypotézách tedy očekávám, že probandi trpící esoforií budou vykazovat vyšší hodnoty kvocientu AC/A, než lidé s exofovií.

Celkem jsem stanovila tři hypotézy, u kterých nejdříve potvrdím nebo zamítnu platnost nulových hypotéz. Ty předpokládají, že se dvě porovnávané hodnoty rovnají.

Hypotéza H1:

Gradientní metoda vykazuje nižší hodnoty než početní metoda.

Hypotéza H2:

Probandi s prokázanou esofovií vykazují při měření gradientní metodou vyšší hodnoty než probandi s exofovií.

Hypotéza H3:

Probandi s prokázanou esofoří vykazují vyšší hodnoty zjištěné početní metodou než probandi s exofoří.

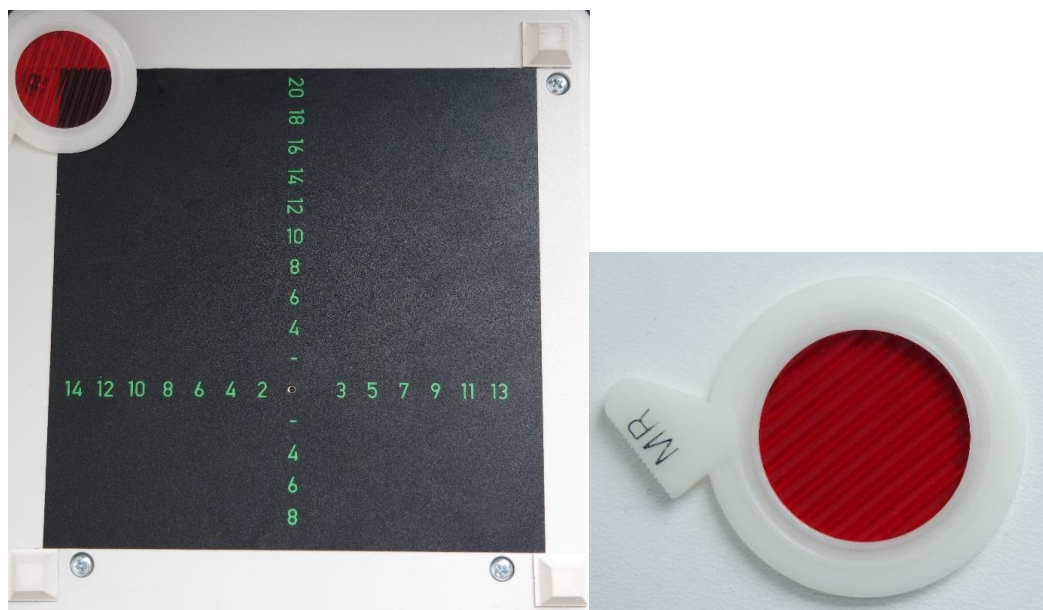
6.2 Metodika práce

Analýza měření probíhala v období od začátku března do konce dubna 2017 ve vyšetřovací místnosti nacházející se v Kladně, na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT. K testování byl použit projekční optotyp HUVITZ CCP-3100, brýlová zkušební skříň, zkušební obruba a autorefraktokeratotonometr značky Topcon TRK-1P (viz obrázek 18).



Obr. 18: Autorefraktokeratotonometr Topcon TRK-1P [vlastní zpracování]

K vyšetření AC/A poměru byl využit Maddoxův cylindr (MC) spolu s modifikovaným Thoringtonovým testem nacházející se na vyšetřovací jednotce do blízka od společnosti Oculus (viz obrázek 19). Vyšetřovací křeslo se nacházelo ve vzdálenosti 6 metrů od optotypu.



Obr. 19: Thoringtonův test spolu s Maddoxovým cylindrem na vyšetřovací jednotce do blízka Oculus (vlevo) a samotný červený Maddoxův cylindr (vpravo) [vlastní zpracování]

6.2.1 Vyšetřované osoby

Výzkumu se účastnili náhodně vybraní studenti ČVUT, Fakulty biomedicínského inženýrství v Kladně, ve věku od 20 do 30 let. Celkem jsem změřila 43 osob, ze kterých jsem vyřadila 3 osoby mající supresi oka. Podmínkou tedy bylo funkční binokulární vidění. Do výzkumu bylo nakonec zahrnuto 30 žen a 10 mužů.

6.2.2 Objektivní a subjektivní refrakce

Pro správné stanovení AC/A poměru bylo nejdříve potřeba provést plnou korekci refrakční vady. Začalo se podrobnou anamnézou se zaměřením na vidění do blízka, kde jsem kladla dotazy týkající se obtíží při práci do blízka. Ptala jsem se, zda se setkává s dvojitým, rozmazaným viděním nebo má nějaké astenopické potíže při práci na počítači či při čtení textu.

Co se týče oční anamnézy, důležité pro mě byly informace týkající se posledního vyšetření zraku a jeho korekce v brýlích, pokud nějakou používal. Dále, jestli v dětství nosil okluzor či prodělal operaci očí. Další otázky se zaměřovaly na celkovou a pracovní anamnézu, kde jsem zjišťovala onemocnění vyskytující se v rodině, jeho pracovní návyky a mimopracovní aktivity.

Poté jsem se přesunula k samotnému měření. Objektivní refrakce byla provedena pomocí již výše zmíněného autorefraktokeratotonometru (viz obrázek 18). Hodnoty naměřené tímto přístrojem jsem využila jako orientační pro subjektivní refrakci.

Před subjektivním měřením bylo zapotřebí upravit inklinaci, pupilární vzdálenost a další parametry na zkušební obrubě. Poté dle čteného řádku byl stanoven monokulární a binokulární visus naturalis. V případě vlastních brýlí byl zaznamenán monokulární i binokulární visus s původní korekcí.

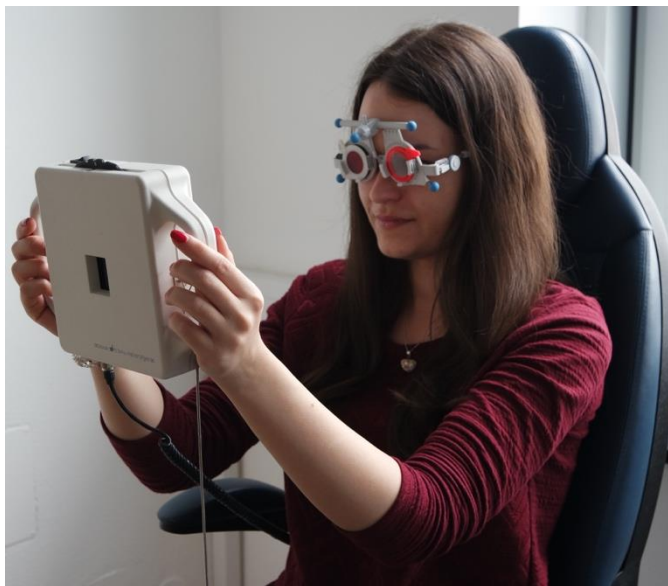
Měření dále pokračovalo určením nejlepší sférické korekce na projekčním optotypu a korekcí astigmatismu pomocí Jacksonova zkříženého cylindru na bodovém testu. Po monokulární korekci pravého a levého oka jsem odkryla okludované oko a ptala se na komfort vidění s oběma očima. Binokulární akomodační vyvážení se provádělo za pomoci Humphrissovy techniky, kdy se před jedno oko předsazuje spojná čočka o hodnotě +0,75 dpt a druhé oko se dokoriguje pomocí spojně a rozptylné čočky o hodnotě $\pm 0,25$ dpt.

Fúzi jsem zjišťovala Worthovými světly využívající anaglyfní metodu pro separaci obrazu. Pokud dotyčný viděl jen zelené nebo jen červené znaky, potvrdila se u něj suprese. Takový člověk byl vyřazen z výzkumu. Jestliže měl fúzi v pořádku, pokračovala jsem dalším testem pro detekci a případnou kompenzaci heteroforie. Pomocí Maddoxova kříže a Thoringtonova testu s Maddoxovým cylindrem a prizmatické lišty byla rychlým způsobem zjištěna prizmatická dioptrie do dálky i do blízka. Naměřená data jsem zaznamenala do vlastní refrakční karty (viz příloha 1).

6.2.3 Vyšetření AC/A poměru

Po subjektivní refrakci do dálky i do blízka jsem probanda požádala, aby držel vyšetřovací jednotku do blízka (viz obrázek 19) ve vzdálenosti 40 cm. Důležité bylo, aby subjekt nehýbal hlavou a dodržoval požadovanou fixační vzdálenost pro přesné vyšetření kvocientu AC/A gradientní metodou.

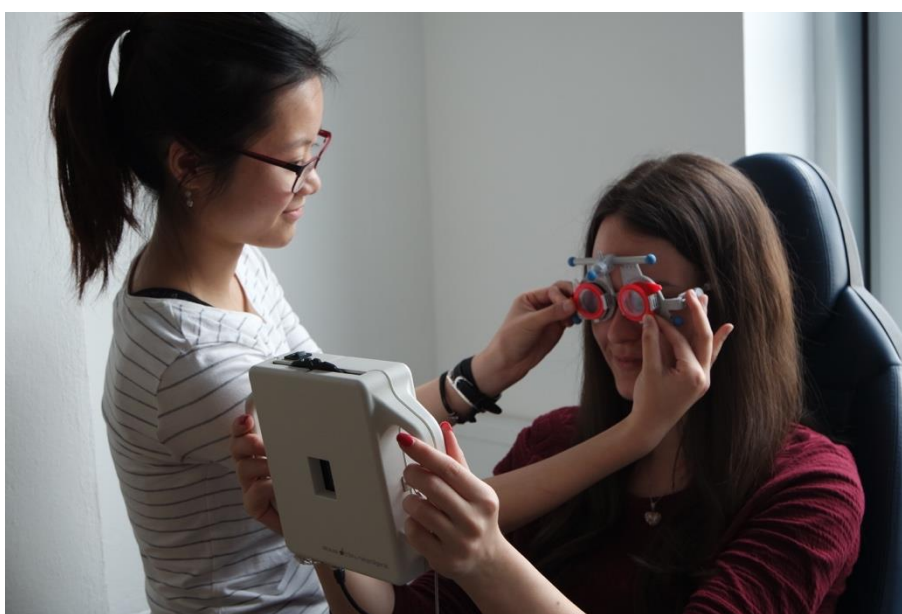
Do zkušební obruby jsem předsadila Maddoxův cylindr, který má za úkol vyřadit kompenzující fúzní rezervu a separovat obraz zvlášť pro pravé a levé oko. Subjekt se zároveň díval na Thoringtonův test, v jehož středu byl zabudován bodový zdroj světla. Po vložení MC do zkušební obruby, do osy 180° se z bodového zdroje světla stal svislý paprsek pro hodnocení změny vergence při zjišťování AC/A poměru. Viz obrázek 20.



Obr. 20: Předsazený Maddoxův cylindr ve zkušební obručě [vlastní zpracování]

Poté jsem přistoupila k samotnému měření kvocientu AC/A. Jelikož měli všichni probandi normální hodnoty akomodační amplitudy v závislosti na věku, rozhodla jsem se předsazovat rozptylné čočky o hodnotě -1,00 dpt a -2,00 dpt.

Nejprve jsem předsadila čočku o hodnotě -1,00 dpt před obě oči k navození akomodace. Změna konvergence v pdpt byla odečtena na číselné stupnici modifikovaného Thoringtonova testu, na vyšetřovací jednotce do blízka (viz obrázek 21). Stejně jsem postupovala po předsazení čočky o hodnotě -2,00 dpt. Veškerá naměřená data jsem zapsala do vlastní refrakční karty.



Obr. 21: Vyšetření AC/A poměru gradientní metodou [vlastní zpracování]

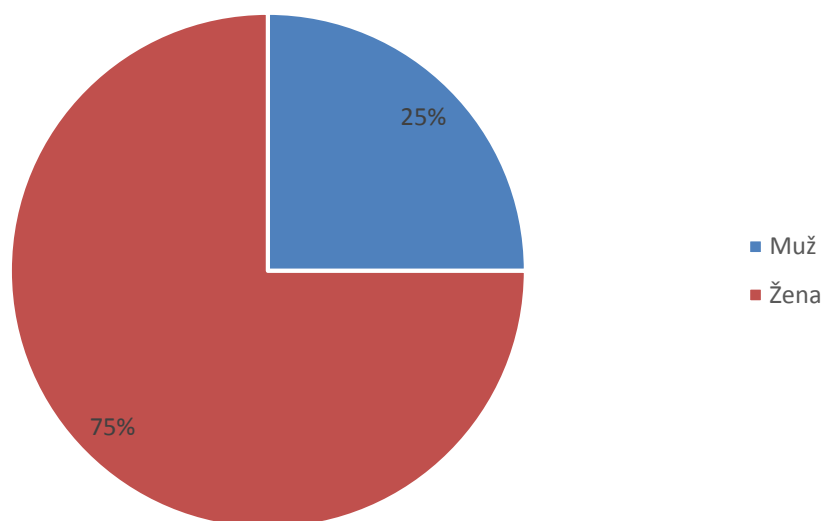
Pro stanovení AC/A poměru početní metodou jsem naměřená data (hodnotu forie, pupilární vzdálenosti a fixační vzdálenosti) dosadila do vzorce (5) a vypočítala. Výsledek jsem zapsala do vlastní refrakční karty.

6.3 Výsledky měření

Ke statistickému zpracování naměřených dat jsem použila software Microsoft Excel, verzi 2016 od společnosti Microsoft. V tomto softwaru jsem využila dvojvýběrového párového a nepárového t-testu k porovnání dvou naměřených souborů dat. Na stanovené hladině významnosti $\alpha = 0,05$ buď zamítnu nebo potvrdím vlastní hypotézy.

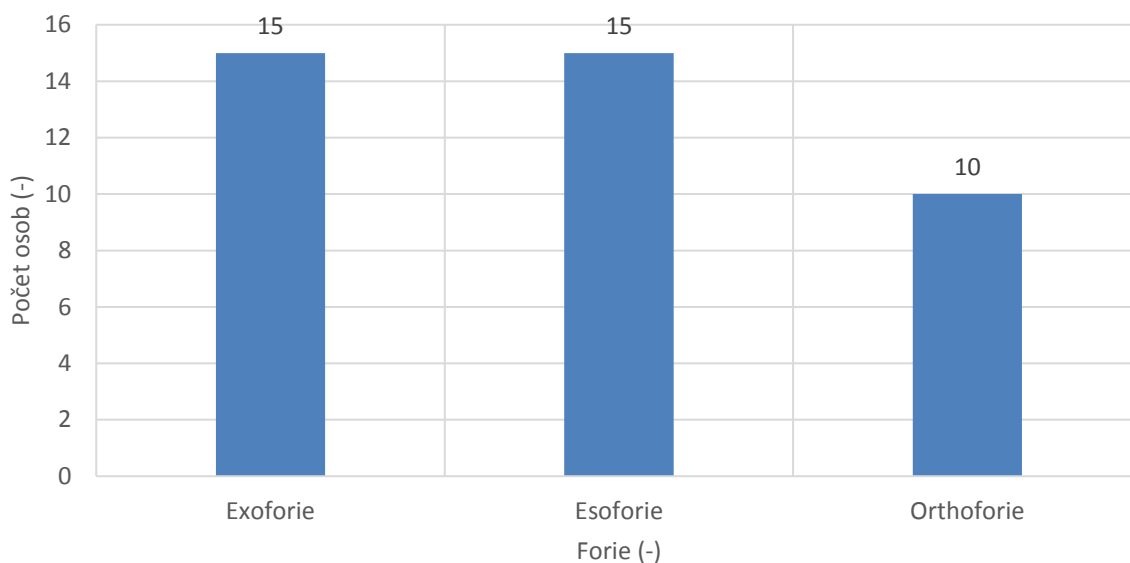
6.3.1 Obecné údaje

Experimentální části bakalářské práce se účastnilo ze 40 naměřených osob jen 10 mužů a zbytek tvořili ženy. Ty představovaly 75% z celkového počtu osob, muži představovali jen 25%. Na obrázku 22 je červeně a modře znázorněno procentuální zastoupení žen a mužů.



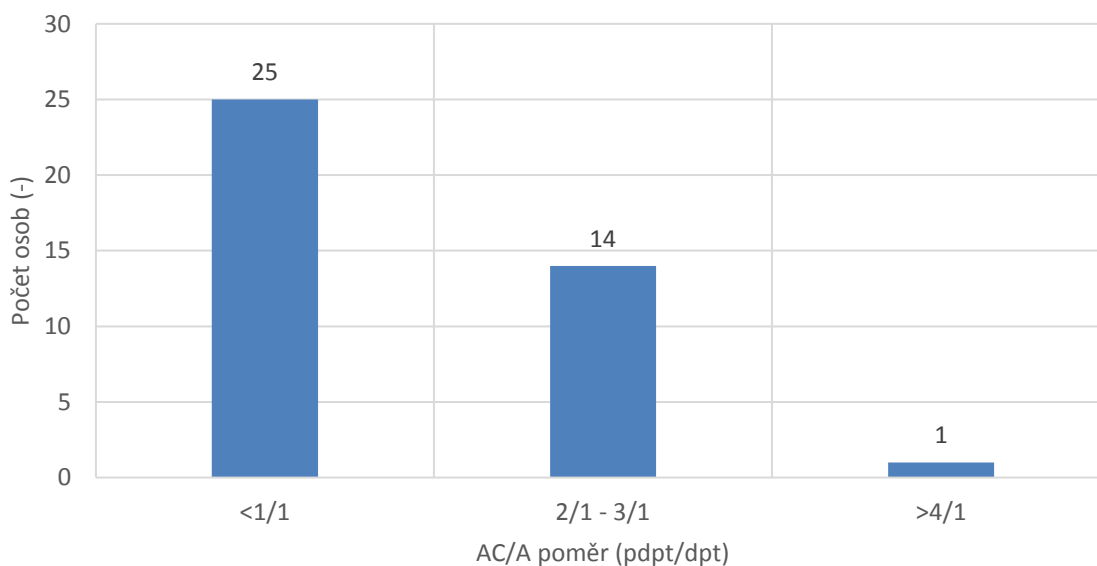
Obr. 22: Procentuální zastoupení jednotlivých pohlaví [vlastní zpracování]

Na obrázku 23 je zobrazena četnost jednotlivých typů forií (exoforie, esoforie a orthoforie). Ze 40 probandů byla zjištěna exoforie u 15 osob, u dalších 15 osob se jednalo o esoforii a jen 10 subjektů mělo oči v rovnovážném postavení, orthoforii.



Obr. 23: Rozložení četnosti jednotlivých typů forií [vlastní zpracování]

Na obrázku 24 jsou uvedeny hodnoty měření AC/A poměru gradientní metodou. V grafu jsou rozdělena data do tří skupin, do nízkého, normální a vysokého AC/A poměru. Do nízkého AC/A poměru jsou zařazeni lidé, jejichž kvocient AC/A dosahoval až 1/1 (pdpt/dpt). Do této skupiny bylo zařazeno 25 lidí. Normálních hodnot dosahovalo 14 osob. Jako norma byly zvoleny hodnoty od 2/1 do 3/1 (pdpt/dpt) na základě publikací [28, 40, 41]. Vysokého AC/A poměru dosáhl jen jeden člověk, u kterého bylo naměřeno 4,5/1 (pdpt/dpt).



Obr. 24: Rozložení četnosti výsledků měření AC/A poměru gradientní metodou [vlastní zpracování]

6.3.2 Hypotéza 1

Cílem první hypotézy bylo porovnat dva soubory dat naměřených na jedné skupině vzorků, tedy 40 probandů. V tabulce 7 je ukázka hodnot kvocientu AC/A stanovených gradientní a početní metodou. Hodnoty v prizmatických dioptriích se vztahují k jedné dioptrii sférické. Celá tabulka obsahující všechny údaje se nachází v příloze 2.

Tabulka 7: Hodnoty měření AC/A poměru gradientní a početní metodou [vlastní zpracování]

	Gradientní metoda (pdpt)	Početní metoda (pdpt)
1	1,75	5,20
2	2,75	9,80
3	2,50	5,30
4	2,75	5,10
5	2,75	6,30
6	0,50	4,00
7	0,63	4,70
8	2,00	0,00
9	1,00	5,60
10	4,50	7,20

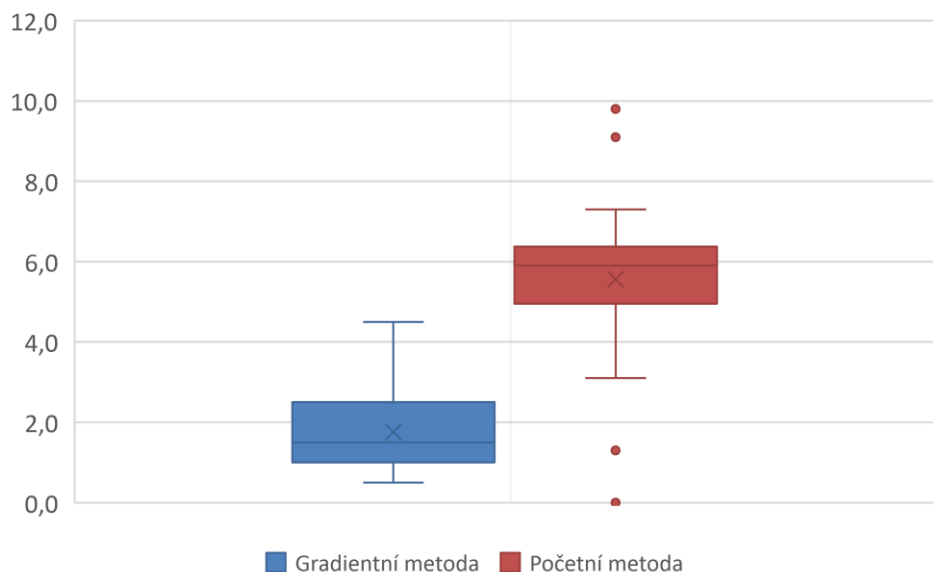
Ke statistickému zpracování dat pro potvrzení či zamítnutí vlastních hypotéz byl použit software Microsoft Excel, který mi pomocí funkce Průměr a Smodch vypočítal průměrné hodnoty a směrodatné odchylky měření gradientní a početní metodou. Ty jsou zaneseny do tabulky 8, kde se hodnoty v pdpt vztahují k jedné sférické dioptrii.

Tabulka 8: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro gradientní a početní metodu

	Průměr (pdpt)	Směrodatná odchylka
Gradientní metoda	1,76	0,95
Početní metoda	5,56	1,81

Poté ve stejném softwaru jsem dvojitým párovým t-testem určila hodnotu $p = 2,99 \cdot 10^{-16}$. Na základě hladiny významnosti $\alpha = 0,05$, pokud nastane $p < 0,05$, znamená to, že mezi průměrem měření gradientní a početní metodou byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Jinak řečeno to znamená, že nulová hypotéza o shodnosti porovnávaných dat se zamítá a přijímá se alternativní hypotéza H1.

Obrázek 25 prezentuje porovnání nejen středních hodnot (aritmetického průměru, mediánu), ale i minima, maxima, 25% a 75% percentilu. Dále lze na obrázku 25 vidět odlehle (extrémní) body.



Obr. 25: Porovnání středních hodnot mezi gradientní a počební metodou [vlastní zpracování]

6.3.3 Hypotéza 2

Cílem druhé hypotézy je porovnat, zda hodnoty naměřené gradientní metodou budou vyšší pro esofozii. Z celkově naměřených 40 lidí jsem rozdělila vzorek vyšetřovaných do dvou kategorií podle typu forie. Jedna kategorie obsahovala 15 osob s diagnostikovanou esofozií a druhá zahrnovala 15 osob s exofozií. Tyto dvě kategorie jsem mezi sebou porovnávala.

Opět pomocí Microsoft Excel jsem spočítala průměrné hodnoty a směrodatné odchylky měření gradientní metodou zvlášť pro exofozii a pro esofozii. Viz tabulka 9, kde jsou hodnoty v pdpt vztaženy na jednu sférickou dpt.

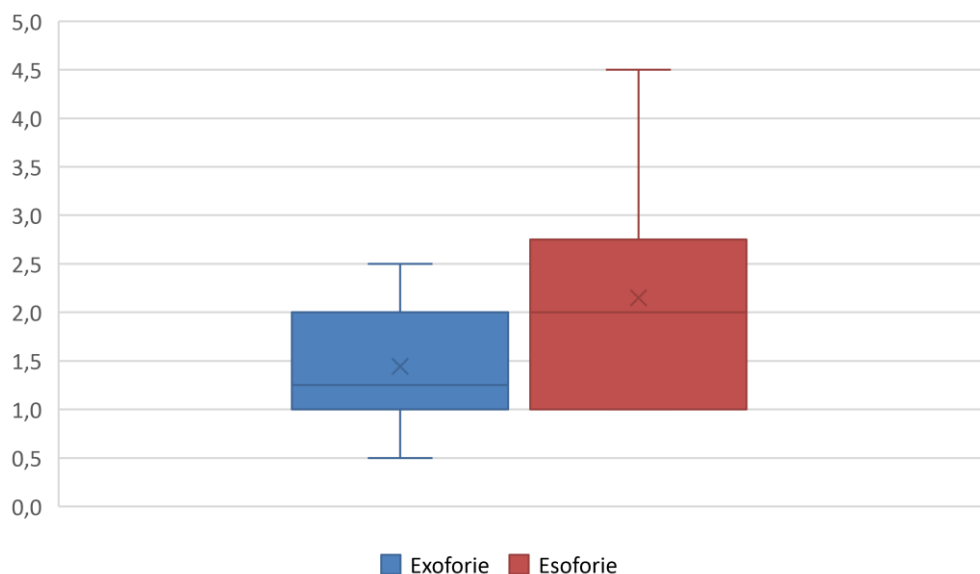
Tabulka 9: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro exofozii a esofozii [vlastní zpracování]

	Průměr (pdpt)	Směrodatná odchylka
Exofozie	1,44	0,60
Esofozie	2,15	1,10

Pro potvrzení či zamítnutí vlastní hypotézy bylo potřeba provést statistické testování naměřených hodnot. Jelikož jsem zde porovnávala soubor dat měřený na dvou skupinách vzorků, nemohla jsem použít párový t-test. Pro nepárový t-test bylo potřeba nejdříve zjistit hodnotu F-testu k testování rozdílu rozptylů mezi dvěma soubory dat. Výsledek F-testu $p = 3,13 \cdot 10^{-2}$ vyšel menší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$). To znamená, že byl mezi rozptyly zjištěn statisticky významný rozdíl, tudíž mohu zamítnout nulovou

hypotézu o shodě rozptylů. Poté jsem dvojitým nepárovým t-testem s nerovností rozptylů zjistila hodnotu $p = 2,00 \cdot 10^{-2}$, která je menší než $\alpha = 0,05$. Na základě toho byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi dvěma průměry a mohu tedy přijmout alternativní hypotézu H2.

Krabicový graf na obrázku 26 znázorňuje výsledek hypotézy a střední hodnoty (aritmetický průměr, medián) porovnávaných dat.



Obr. 26: Porovnání středních hodnot gradientní metody pro exoforii a esofozii [vlastní zpracování]

6.3.4 Hypotéza 3

Cílem třetí hypotézy je porovnat, zda výsledky stanovené početní metodou jsou vyšší pro esofozii než pro exoforii. Pomocí softwaru pro zpracování dat jsem opět u početní metody určila průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro exoforii a esofozii. Viz tabulka 10, kde jsou výsledky v pdpt vztažené k jedné sférické dpt.

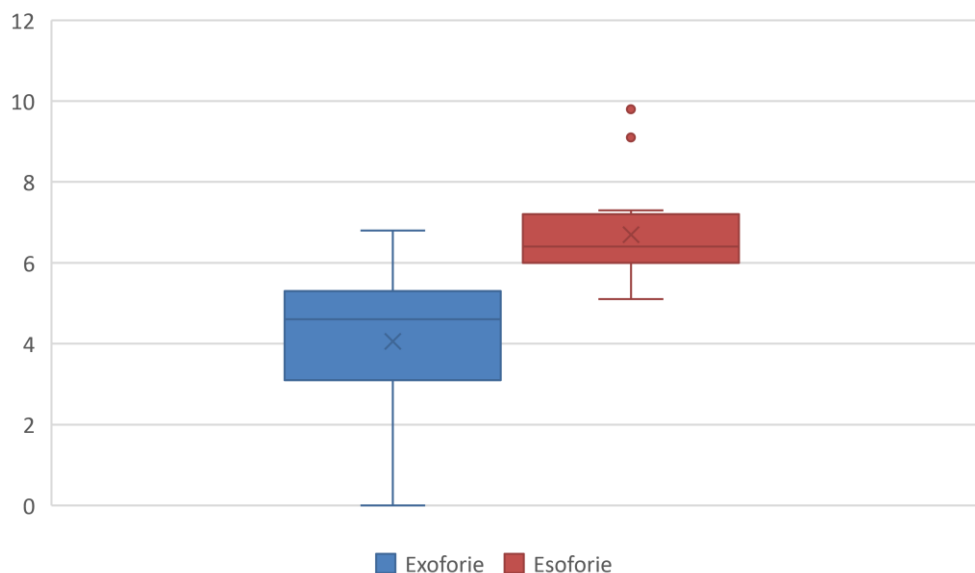
Tabulka 10: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro exoforii a esofozii [vlastní zpracování]

	Průměr (pdpt)	Směrodatná odchylka
Exoforie	4,06	1,86
Esofovie	6,69	1,26

Pro statistické testování souborů dat jsem použila nepárový t-test, kde jsem nejdříve určila hodnotu F-testu, $p = 0,16$. Výsledek F-testu je vyšší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$ ($p > 0,05$). Mezi rozptyly byl zjištěn statisticky nevýznamný rozdíl, proto přijímám nulovou hypotézu o shodě rozptylů. Dále jsem dvojitým nepárovým t-testem se shodným

rozptylem stanovila hodnotu $p = 4,78 \cdot 10^{-5}$, který je menší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$). To znamená, že byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi oběma průměry a mohu potvrdit alternativní hypotézu H3.

Krabicový graf na obrázku 27 zobrazuje porovnávané střední hodnoty (aritmetický průměr, medián) pro exoforii a esoforii.



Obr. 27: Porovnání středních hodnot početní metody pro exoforii a esoforii [vlastní zpracování]

6.4 Diskuze

Dle výsledků experimentální části byly potvrzeny stanovené hypotézy na základě statistického testování pomocí softwaru Microsoft Excel. První hypotéza H1 předpokládala nižší hodnoty měření AC/A poměru gradientní metodou než početní metodou. Průměrná hodnota měření gradientní metodou činila $1,76 \pm 0,95$ pdpt (vztaženo k jedné sférické dioptrii). U početní metody průměrná hodnota dosahovala $5,56 \pm 1,81$ pdpt. Na základě hodnoty $p = 2,99 \cdot 10^{-16}$ a zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsem zjistila, že rozdíl mezi oběma průměry je statisticky významný. Tímto jsem mohla zamítnout nulovou hypotézu o shodnosti porovnávaných dat a přijala jsem alternativní hypotézu H1.

Několik zahraničních zdrojů [11, 28, 32] uvádí, že důvodem nižších výsledků měření gradientní metodou může být fakt, že tato metoda není ovlivněna proximální konvergencí. Využívá totiž fixní vzdálenosti pro vyšetření AC/A poměru. Naopak početní metoda je

ovlivněna proximální konvergencí, která se objevuje při zjišťování heteroforie do blízka, ale do dálky ne. Nevyužívá tedy konstantní vzdálenosti.

Druhá hypotéza H2 předpokládala vyšší hodnoty měření gradientní metodou u pacientů s esoforií, než s exofoří. Průměrné hodnoty vycházející z měření AC/A poměru u lidí s exofoří činily $1,44 \pm 0,60$ pdpt (vztaženo k jedné sférické dioptrii). Osoby s esofoří dosahovali průměrných hodnot $2,15 \pm 1,10$ pdpt. Dále na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pomocí F-testu a následně nepárovým t-testem s různými rozptyly vyšla hodnota $p = 2,00 \cdot 10^{-2}$. Dle těchto výsledků jsem zjistila statisticky významný rozdíl mezi oběma průměry, což znamená, že jsem zamítla nulovou hypotézu o jejich shodnosti a přijala alternativní.

Třetí hypotéza H3 předpokládala vyšší hodnoty stanovené početní metodou u osob s esofoří, než s exofoří. Probandi s exofoří průměrně dosahovali $4,06 \pm 1,86$ pdpt (vztaženo k jedné dpt). Dále lidé s esofoří průměrně dosahovali $6,69 \pm 1,26$ pdpt (vztaženo k dpt). K potvrzení či vyvrácení stanovené hypotézy jsem použila nejdříve F-test pro určení shodnosti rozptylu v nepárovém t-testu. Dle výsledku t-testu se shodným rozptylem, $p = 4,78 \cdot 10^{-5}$, na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsem zjistila statisticky významný rozdíl mezi vypočtenými průměry obou souborů dat. Na základě toho jsem zamítla nulovou hypotézu a přijala alternativní.

Důvodem vyšších výsledků stanovených gradientní či početní metodou u klientů s esofoří může být závislost mezi AC/A poměrem a heterofoří do blízka, kdy vysoký AC/A poměr může být následkem vyšší hodnoty esoforie do blízka. Naopak nízký AC/A poměr může být následkem vyšší hodnoty exoforie do blízka.

Kromě těchto hypotéz jsem také statisticky zpracovala do grafu na obrázku 24 četnosti jednotlivých hodnot AC/A poměru měřené gradientní metodou. Hodnoty jsem rozdělila do tří skupin, do nízkého, normálního a vysokého AC/A poměru. Zajímavé je, že v 62,5% případů jsem naměřila nízký AC/A poměr. Normální kvocient AC/A jsem naměřila ve 35% případů a pouze u 1 člověka, který tvoří 2,5% z celkových dat, jsem naměřila vysoký AC/A poměr. Naměřená data jsem takto zpracovala jen u gradientní metody, protože výsledky zjištěné početní metodou jsou velice diskutabilní. Jelikož hodnoty závisí na pupilární distanci člověka a na prizmatické dioptrii kompenzující jeho heterofoří, tak tato početní metoda může vykazovat nepřesné výsledky.

Závěr

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo shrnout možnosti měření poměru akomodační konvergence k akomodaci. Ten se dá stanovit gradientní, početní, grafickou metodou a metodou fixační disparity. Z těchto čtyř technik patří mezi nejznámější gradientní a početní metoda. Početní metoda využívá informací získaných při běžném subjektivním měření. Gradientní metoda pracuje na principu změny akomodace a tím i konvergence předsazováním sférických čoček.

Dále bylo předmětem teoretické části práce představení významu vyšetření akomodace, konvergence a jejich vztahu. Stanovením akomodační šíře se může zjistit, zda při vergenční poruše dotyčný toleruje předepsanou korekci. Pomocí relativní akomodace a akomodační snadnosti lze rozpoznat, o jaký typ vergenční poruchy se jedná. Mezi ně patří insuficience konvergence, exces konvergence, insuficience divergence a exces divergence. Typ dysfunkce se může také poznat měřením konvergence. Zjištěním nízkých hodnot fúzních rezerv, vergenční facility a blízkého bodu konvergence mohou například diagnostikovat insuficienci konvergence. Při diagnostice pomáhá také stanovení kvocientu akomodační konvergence k akomodaci, který se rozděluje na nízký, normální a vysoký. Tento kvocient je také důležitý ve výběru optimální korekční možnosti, kdy se překoriguje nebo podkoriguje pacientova sférická korekce.

Cílem experimentální části práce bylo porovnat výsledky měřené gradientní a početní metodou. Dále bylo předmětem práce ověření stanovených hypotéz. Výzkumu se účastnilo celkem 40 probandů. Statistickým testováním dat jsem potvrdila všechny tři hypotézy, které byly stanoveny na začátku měření. Na základě hypotéz lze konstatovat, že vyšetření AC/A poměru gradientní metodou opravdu vykazuje nižší hodnoty než početně stanovené výsledky. Dále bylo potvrzeno, že jedinci s diagnostikovanou esofovií vykazují vyšší hodnoty kvocientu AC/A stanovené oběma metodami.

Na závěr bych chtěla dodat, že vyšetření AC/A poměru pomáhá stanovit správnou diagnózu a zvolit vhodné řešení pro zlepšení potíží při binokulárních anomáliích. Podle získaných poznatků popsaných ve čtvrté kapitole a výsledků z experimentálního měření bych pro stanovení AC/A poměru doporučovala gradientní metodu, protože udává přesnější hodnoty. Početní metoda je totiž ovlivněna proximální konvergencí, což má za následek nepřesné výsledky.

Seznam použité literatury

- [1] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [2] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [3] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [4] ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [5] DIVIŠOVÁ, Gabriela. *Strabismus*. 2. upravené vydání. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1979. ISBN 80-201-0037-7.
- [6] TUNNACLIFFE, Alan H. *Introduction to visual optics*. 4th ed. London: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0-900099-28-3.
- [7] POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [8] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [9] ATCHISON, David. a George SMITH. *Optics of the human eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 0-7506-3775-7.
- [10] SMITH, George a David ATCHISON. *The eye and visual optical instruments*. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press, 1997. ISBN 978-0-521-47820-5.
- [11] EVANS, Bruce J. W. *Pickwell's binocular vision anomalies*. 5th ed. Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [12] Theories of accommodation - American Academy of Ophthalmology, 2016 [online]. [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <<https://www.aao.org/bcscsnippetdetail.aspx?id=f5f61688-98cd-4e30-84c0-b9acf775950c>>
- [13] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.

- [14] Mechanismus akomodace a presbyopie – 4oci, 2016 [online]. [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: < http://www.4oci.cz/mechanismus-akomodace-a-presbyopie_4c179>
- [15] BENJAMIN, William J., Borish's Clinical Refraction, ed. 2., Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, ISBN: 978-0-7506-7524-6.
- [16] KEIRL, Andrew. a Caroline. CHRISTIE. *Clinical optics and refraction: a guide for optometrists, contact lens opticians, and dispensing opticians*. New York: Baillière Tindall Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 0750688890.
- [17] ANTON, Milan. Korekce refrakčních vad u dětí. *Česká oční optika*. 2007, **48**(4), 18. ISSN 1211-233X.
- [18] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [19] Accommodative infacility – The Free Dictionary, 2016 [online]. [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: < <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/accommodative+infacility>>
- [20] PŘEMYSL, Kučera. *Subjektivní refrakce*. Přednáška ČVUT FBMI. 2015. [cit. 2016-12-26]
- [21] VON NOORDEN, Gunter K. a Emilio. C. CAMPOS. *Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus*. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2002. ISBN 0323011292.
- [22] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., doplněné a přepracované vydání. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [23] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [24] NOVÁKOVÁ, Martina. Korekce presbyopie metodou monovision. *Česká oční optika*. 2006, **47**(4), 18. ISSN 1211-233X.
- [25] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 3., nezměn. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-530-3.
- [26] EPERJESI, Frank a Michelle M. RUNDSTROM. *Practical Binocular Vision Assessment*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 0750650109.
- [27] SEVERA, David, Pavel BENEŠ a Simona BRAMBOROVÁ. Je libo PUSH-UP?. *Česká oční optika*. 2013, **54**(4), 22-24. ISSN 1211-233X.

- [28] ELLIOTT, David B. *Clinical procedures in primary eye care*. 4th ed. Philadelphia: Saunders, 2014. ISBN 978-0-7020-5194-4.
- [29] EVANS, Bruce J. W. *Eye Essentials: Binocular Vision*. 1e. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 0750688505.
- [30] VYMYSLICKÝ, Ivan. Vizuální optometrie 4. část. *Česká oční optika*. 2008, **49**(2), 28. ISSN 1211-233X.
- [31] GROSVENOR, Theodore: *Primary care optometry*. 5th ed. St. Louis: Butterworth - Heinemann, 2007. 510 s. ISBN 9780750675758.
- [32] EFRON, Nathan, ed. *Optometry A-Z*. 1st pub. Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-4913-1.
- [33] DOSHI, Sandip. a Bruce J. W. EVANS. *Binocular vision and orthoptics: investigation and management*. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0750647132.
- [34] JEŘÁBKOVÁ, Andrea. Insuficience konvergence. *Česká oční optika*. 2013, **54**(3), 32-33. ISSN 1211-233X.
- [35] VYMYSLICKÝ, Ivan. Vizuální optometrie 5. část. *Česká oční optika*. 2008, **49**(3), 34-35. ISSN 1211-233X.
- [36] KRÍŽ, Pavel. Fúzní rezervy. *Česká oční optika*. 2016, **57**(1), 14-17. ISSN 1211-233X.
- [37] REMINGTON, Lee Ann. *Clinical Anatomy of the Visual System*. 2nd ed. St. Louis: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 9780750674904.
- [38] CHARMAN, W Neil. The eye in focus: accommodation and presbyopia. *Clinical and Experimental Optometry*. 2008, **91**(3), 207-225. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x. ISSN 0816-4622. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x>
- [39] BRŮNOVÁ, Blanka. Poruchy binokulárního vidění: Pohled do angloamerické praxe - 1. část. *Česká oční optika*. 2011, **52**(4), 18-21. ISSN 1211-233X.
- [40] SCHEIMAN, Mitchell a Bruce WICK. *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2014. ISBN 978-1-4511-7525-7.
- [41] PLUHÁČEK, František a kol. *Měření AC/A poměru gradientní metodou*. Brno: Optika optometrie, 2012 [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <<http://www.optometry.cz/obsah/materialy/ACA.pdf>>

- [42] FALHAR, Martin a kol. *21 kroků vyšetření binokulárního vidění*. 2016. Dostupné také z: <<http://www.optikarium.cz/21VBV.pdf>>
- [43] VYMYSLICKÝ, Ivan. Vizuální optometrie 2. část. *Česká oční optika*. 2007, **48**(4), 32-33. ISSN 1211-233X.
- [44] Graphical Analysis of Accommodation and Convergence [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://schorlab.berkeley.edu/passpro/oculomotor/html/chapter_22.html>
- [45] BRŮNOVÁ, Blanka. Poruchy binokulárního vidění: Pohled do angloamerické praxe 2. část. *Česká oční optika*. 2012, **53**(1), 20-22. ISSN 1211-233X.
- [46] Jeffrey S. Cooper, M.S., O.D. et al.: Care of the patient with Accommodative and vergence dysfunction. Optometric clinical practice guideline. St. Louis: American Optometric Association. 2006.
- [47] Accommodation: maddox components and accuracy - Indiana University School of Optometry, 2004 [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD_Version/CH17/CH17.HTM>
- [48] GOLDBERG, Daniel. Computer-animated model of accommodation and theory of reciprocal zonular action. *Clinical Ophthalmology*. 2011, 1559-1566. DOI: 10.2147/OPHTH.S25983. ISSN 1177-5483. Dostupné také z: <http://www.dovepress.com/computer-animated-model-of-accommodation-and-theory-of-reciprocal-zonu-peer-reviewed-article-OPHTH>

Seznam symbolů a zkratk

AA	Akomodační amplituda (šíře)
CNS	Centrální nervová soustava
MC	Maddoxův cylindr
NFR	Negativní fúzní rezervy
NPA	Blízký bod akomodace
NPC	Blízký bod konvergence
NRA	Negativní relativní akomodace
PFR	Pozitivní fúzní rezervy
PRA	Pozitivní relativní akomodace

Seznam obrázků

Obr. 1: Čočka v akomodovaném a relaxovaném stavu [10].....	3
Obr. 2: Princip Helmholtzovy teorie akomodace [3]	4
Obr. 3: Princip teorie akomodace dle Schachara a Tcherninga [3]	5
Obr. 4: Dondersova křivka (závislost AA [dpt] a blízkého bodu [m] (punct. prox.) na věku [roky]) [23]	9
Obr. 5: Průběh vyšetření akomodační facility užívající flippery [11].....	12
Obr. 6: Podstata pozitivní relativní akomodace (vlevo) a negativní relativní akomodace (vpravo) [30].....	13
Obr. 7: Symetrická konvergence (vlevo) a asymetrická konvergence (vpravo) [21].....	14
Obr. 8: Okohybné svaly [18]	15
Obr. 9: Fickovy osy [37]	16
Obr. 10: Metrový úhel (MA) [21]	18
Obr. 11: Flipper s prizmatickými čočkami [26]	22
Obr. 12: Vyšetření PFR s prizmatickou lištou [11]	23
Obr. 13: Závislost AC/A poměru (osa y) na věku (osa x) [40]	25
Obr. 14: Ukázka měření gradientní metody pomocí Maddoxova cylindru (vlevo) a Von Graefeho (vpravo)[41]	32
Obr. 15: Akomodace a konvergence [43].....	33
Obr. 16: Závislost akomodace a konvergence na PD [44]	34
Obr. 17: Možnosti řešení poruch binokulárního vidění (jako první je uvedena primární volba terapie) [45]	35
Obr. 18: Autorefraktokeratotonometr Topcon TRK-1P [vlastní zpracování]	38
Obr. 19: Thoringtonův test spolu s Maddoxovým cylindrem na vyšetřovací jednotce do blízka Oculus (vlevo) a samotný červený Maddoxův cylindr (vpravo) [vlastní zpracování]	39
Obr. 20: Předsazený Maddoxův cylindr ve zkušební obrubě [vlastní zpracování]	41
Obr. 21: Vyšetření AC/A poměru gradientní metodou [vlastní zpracování]	41
Obr. 22: Procentuální zastoupení jednotlivých pohlaví [vlastní zpracování].....	42
Obr. 23: Rozložení četnosti jednotlivých typů forií [vlastní zpracování]	43
Obr. 24: Rozložení četnosti výsledků měření AC/A poměru gradientní metodou [vlastní zpracování]	43
Obr. 25: Porovnání středních hodnot mezi gradientní a početní metodou [vlastní zpracování]	45
Obr. 26: Porovnání středních hodnot gradientní metody pro exoforii a esoforii [vlastní zpracování]	46
Obr. 27: Porovnání středních hodnot početní metody pro exoforii a esoforii [vlastní zpracování]	47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka předpokládaných hodnot AA (v dpt a cm) v závislosti na věku [11].....	10
Tabulka 2: Srovnání měřených hodnot AA (dpt) dle metod [27].....	11
Tabulka 3: Normy pro posouzení výsledků měření akomodační facility (cpm = cyklů za minutu) [30].....	12
Tabulka 4: Inervace a funkce okulomotorických svalů [8]	17
Tabulka 5: Norma hodnot pro PFR a NFR (převzato z [28]).....	23
Tabulka 6: Rozdělení horizontálních binokulárních anomálií [vlastní zpracování dle 40].....	26
Tabulka 7: Hodnoty měření AC/A poměru gradientní a početní metodou [vlastní zpracování]	44
Tabulka 8: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro gradientní a početní metodu...	44
Tabulka 9: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro exoforii a esofozii [vlastní zpracování]	45
Tabulka 10: Průměrná hodnota se směrodatnou odchylkou pro exoforii a esofozii [vlastní zpracování]	46

Seznam příloh

Příloha 1: Protokol AC/A poměr	58
Příloha 2: Tabulka hodnot AC/A poměru stanovené gradientní a početní metodou.....	60

Příloha 1: Protokol AC/A poměr

Datum	
Jméno	
Kontakt (mail, tel.)	
Rok nar.	

Anamnéza

<p>Poslední vyšetření zraku (oftalmolog/optometrista)</p> <p>Původní korekce</p> <p>Oční anamnéza (okluze, diplopie)</p> <p>Práce do blízka (potíže, doba)</p> <p>Celková a rodinná anamnéza</p> <p>Pracovní anamnéza</p> <p>PC (hod)</p> <p>Řidič: ano – ne</p> <p>Léky:</p>

P.D.	Visus naturalis			Visus s původní korekcí		
	P:	L:	Bino:	P:	L:	Bino:

Monokulární korekce				Vis _{mon}	Vis _{bin}	adice
P	sph	cyl	osa			
L	sph	cyl	osa			

Binokulární korekce			Vis _{mon}	Vis _{bin}	adice
P	sph	cyl	osa		
L	sph	cyl	osa		

Fúze (Worthova světla)	ANO / NE
------------------------	----------

HTF (Maddox)	Dálka 6 m	
	hor. / pD	vert. / pD
P		
L		

HTF (Maddox)	Blízko 0,4 m	
	hor. / pD	vert. / pD
P		
L		

AC/A POMĚR GRADIENTNÍ METODA – MADDOX (minusová sféra)

Blízko: AC/A =/1 AC/A =/2

POČETNÍ METODA

Forie_D:

Forie_B:

Fix. vzdálenost (m): 0,4

PD (cm):

$$\frac{AC}{A} = PD + NFD \cdot (Forie_B - Forie_D)$$

AC/A =/.....

Souhlasím se zpracováním dat k bakalářské práci

Podpis:

Příloha 2: Tabulka hodnot AC/A poměru stanovené gradientní a početní metodou

	Gradientní metoda (pdpt)	Početní metoda (pdpt)
1	1,75	5,20
2	2,75	9,80
3	2,50	5,30
4	2,75	5,10
5	2,75	6,30
6	0,50	4,00
7	0,63	4,70
8	2,00	0,00
9	1,00	5,60
10	4,50	7,20
11	1,00	5,30
12	2,25	1,30
13	1,25	5,70
14	1,00	3,10
15	1,00	4,60
16	3,50	6,30
17	3,25	7,30
18	1,00	6,30
19	1,50	6,80
20	2,25	4,10
21	1,50	6,40
22	1,75	6,00
23	0,75	5,80
24	0,75	6,20
25	1,00	6,20
26	2,75	5,80
27	2,50	6,70
28	2,00	6,50
29	1,50	6,20
30	1,00	6,10
31	1,75	5,50
32	0,75	6,50
33	1,00	6,00
34	1,00	5,80
35	1,00	6,40
36	3,50	9,10
37	1,50	1,40
38	1,25	4,90
39	1,25	4,50
40	2,75	6,30