

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

VERGENCE A AKOMODACE

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Markéta Přehnalová

Obor: 5345 R08269 OPTOMETRIE

studijní rok 2010/2011

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D., za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 25. 4. 2011

.....

Touto cestou bych chtěla poděkovat RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce za cenné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní poskytl. Také bych ráda poděkovala Michalu Horákovi (překladateli a korektorovi) Janu Zemkovi (fotografovi) a Josefu Nešporovi (grafikovi) za jejich čas a ochotu.

Obsah

ÚVOD	6
1 VERGENCE	7
1.1 VERGENČNÍ APARÁT	7
1.1.1 Okohybné svaly	7
1.1.2 Funkce okohybných svalů	8
1.1.3 Druhy binokulárních očních pohybů	9
1.1.4 Svaly pracující při binokulárním pohybu	10
1.2 POPIS VERGENCE	11
1.2.1 Důležité pojmy související s očními pohyby	11
1.2.2 Číselný popis vergence	14
1.2.3 Popis horizontální vergence	15
1.3 SLOŽKY VERGENCE	16
1.3.1 Tonická konvergence	16
1.3.2 Akomodační konvergence	16
1.3.3 Proximální konvergence	17
1.3.4 Fúzní konvergence	17
1.4 ZÁKLADNÍ VELIČINY VERGENCE A JEJICH MĚŘENÍ	17
1.4.1 Objektivní a subjektivní odchylka	18
1.4.2 Blízký bod konvergence (NPC).....	23
1.4.3 Fúzní rezervy (FR).....	23
1.4.4 Vergenční facilita (VF).....	25
2 AKOMODACE	26
2.1 AKOMODAČNÍ APARÁT	26
2.2 TEORIE AKOMODACE	27
2.3 SLOŽKY AKOMODACE.....	30
2.3.1 Tonická akomodace	30
2.3.2 Vergenční akomodace.....	30
2.3.3 Proximální akomodace	30
2.3.4 Reflexní akomodace	30
2.4 ZÁKLADNÍ VELIČINY AKOMODACE A JEJICH MĚŘENÍ	31
2.4.1 Amplituda akomodace.....	31
2.4.2 Relativní akomodace.....	33
2.4.3 Akomodační facilita	33
2.4.4 Akomodační odezva	34
3 VZTAH AKOMODACE A VERGENCE	35
3.1 AKOMODAČNÍ KONVERGENCE	35
3.1.1 AC/A poměr.....	35
3.1.2 Metody měření AC/A poměru	36
3.2 KONVERGENČNÍ AKOMODACE	40
3.2.1 CA/C poměr	40

3.3	VLIV AC/A POMĚRU NA VERGENČNÍ DYSFUNKCE	40
3.3.1	<i>Typy vergenčních dysfunkcí při nízkém AC/A poměru</i>	<i>41</i>
3.3.2	<i>Typy vergenčních dysfunkcí při vysokém AC/A poměru.....</i>	<i>41</i>
3.3.3	<i>Typy vergenčních dysfunkcí při normálním AC/A poměru.....</i>	<i>42</i>
3.3.4	<i>Využití AC/A poměru při řešení vergenčních dysfunkcí</i>	<i>42</i>
3.4	REFRAKČNÍ VADY.....	43
3.5	EXPERIMENTÁLNÍ SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TECHNIK VYŠETŘOVÁNÍ GRADIENTNÍHO AC/A POMĚRU	44
3.5.1	<i>Cíle studie</i>	<i>44</i>
3.5.2	<i>Metodika a vyšetřované osoby.....</i>	<i>45</i>
3.5.3	<i>Výsledky a diskuze</i>	<i>46</i>
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM LITERATURY	50
	PŘÍLOHY	52

Úvod

Díky schopnosti jednoduchého binokulární vidění (JBV) můžeme spojit dva rozdílné obrazy (obou očí) v jeden výsledný prostorový vjem. Pro kvalitní zrakové vnímání musí být zachovány podmínky JBV. Jednou z nich je spolupráce optické a motorické složky, kterou zajišťuje vzájemný vztahvergence a akomodace. Při poruše tohoto vztahu dochází ke snížení kvality JBV a následným komplikacím.

Akomodace spadá do optické složky JBV. Je to fyziologický proces, kterého se účastní několik očních struktur. Ty zajišťují vytvoření ostrého obrazu pozorovaného předmětu ležícího v prostoru na sítnici. Spolu s akomodací probíhají vergenční pohyby, které zastupují motorickou složku JBV. Vergence tedy vyrovnává postavení obou očí tak, aby se pozorovaný předmět zobrazil do místa nejostřejšího vidění, tj. do makuly. Vzájemný vztah akomodace avergence, resp. konvergence vyjádřený AC/A poměrem využívá klinická praxe pro stanovení přídavné adice do blízka nebo k diagnostice jednotlivých binokulárních disfunkcí. Proto má tato hodnota v klinické praxi nezastupitelné místo. Z hlediska poskytnutí kvalitních služeb v rámci optometrie je důležité znát jak metody měření AC/A poměru, tak jeho normální hodnoty.

Cílem práce je shrnutí problematiky akomodace avergence. Těžištěm je analýza jejich vzájemného vztahu a jeho vliv na další zrakové funkce. Teoretický rozbor je doplněn praktickou studií zaměřenou na vyšetřování AC/A poměru různými metodami a jejich zhodnocení. Věřím, že tato studie poukáže na praktické využití méně známých metod měření, zejména při vyšetření AC/A poměru na Mallettově testu.

1 Vergence

Aby nastalo účinné jednoduché binokulární vidění (JBV), retinální obrazy obou očí musí být dobře zaostřené, podobné velikostí a tvarem. Navíc oči musí být schopné seřadit se takovým způsobem, aby retinální obrazy fixovaného objektu mohly být jednoduše umístěny a udržovány na foveách obou očí. [1]

Při diskuzi o normálním binokulárním vidění se předpokládá, že oči nemají žádné refrakční odchylky a binokulární vidění i všechny senzorycké a motorické dráhy podporující vidění jsou bez poškození.

Jednoduché binokulární vidění se skládá ze tří složek. Ze složky *optické*, *motorické* a *senzorycké*. *Optická složka* zajišťuje vytvoření ostrého obrazu pozorovaného předmětu na sítnici. *Motorická složka* zajišťuje takové postavení očí, aby obraz dopadl do fovey každého oka. *Senzorycká složka* převádí podráždění sítnice do korových center. [2]

Vergence, patřící mezi základní binokulární oční pohyby, je součástí motorické složky JBV. Jsou to disjunktní souhyby, při kterých se mění jak fixační vzdálenost, tak pozorovací úhel rychlostí asi 10 °/s. [2]

1.1 Vergenční aparát

Základní funkcí okohybného aparátu je zajistit fixaci pohledu při zachování JBV. Fixuje se v různých pohledových směrech, vzdálenostech, v klidu i pohybu pozorovaného předmětu i pozorovatele. [3]

Disjunktní pohyby provádějí okohybné svaly. Při poruše svalové rovnováhy není zachováno JBV a dochází k šilhání. V této podkapitole se zaměříme na popis a funkci okohybných svalů, druhy binokulárních očních pohybů a na svaly, které při nich působí.

1.1.1 Okohybné svaly

Okohybné svaly (*m. bulbi*) zajišťují pohyblivost bulbu. Podle průběhu svalových snopců je dělíme na čtyři svaly přímé (*m. recti*) a dva svaly šikmé (*m. obliqui*). Kromě *m. obliquus inferior* mají okohybné svaly společný začátek ve vazivovém prstenci (*anulus tendineus communis*) umístěném v hrotu orbity.

Přímé svaly

Svaly z *anulus tendineus communis* směřují dopředu a upínají se na bulbus před jeho ekvátorem v různé vzdálenosti od limbu. Jejich úpony tvoří tzv. Tillauxovu spirálu. Nejbližše limbu se upíná vnitřní přímý sval (*m. rectus medialis*). Délka všech přímých svalů je asi 4 cm.

Třetí hlavový nerv (*n. oculomotorius*) zajišťuje inervaci všem přímým svalům, s výjimkou *m. rectus lateralis*, který již inervuje *n. abducens*. [4]

Šikmé svaly

Horní šikmý sval (*m. obliquus superior*) je nejdelší (asi 6 cm) a začíná rovněž ve hrotu orbity, směřuje dopředu k hornímu vnitřnímu okraji očnice a u tzv. kladky se mění ve šlachu. Ta zahýbá zevně a dozadu, jde pod horním přímým svalem a upíná se na horním zevním kvadrantu oka za ekvátorem. Dolní šikmý sval (*m. obliquus inferior*) začíná na dolní vnitřní části očnice, probíhá zevně a dozadu, poté se upíná na dolním zevním kvadrantu oka rovněž za ekvátorem.

Horní šikmý sval je zásoben IV. hlavovým nervem (*n. trochlearis*) a dolní šikmý sval inervuje III. hlavový nerv (*n. oculomotorius*). [4]

1.1.2 Funkce okohybných svalů

Oči se pohybují kolem tří hlavních os rotace (zvané Fickovy osy): horizontální osa zajišťuje pohyb nahoru – *elevace* nebo dolů – *deprese*, vertikální osa umožňuje pohyb dovnitř – *addukce* nebo zevně – *abdukce* a předozadní osa (sagitální) stáčí oko dovnitř – *intorze* nebo ven – *extorze*. Pohyb oka pouze jedním směrem (hlavní účinek) vykonává vnitřní a zevní přímý sval. Ostatní okohybné svaly umožňují pohyb různými směry, mají jak hlavní, tak vedlejší účinek. [5] Schematický přehled funkcí okohybných svalů a jejich inervace poskytuje tab. 1 a obr. 1.

Svalová rovnováha

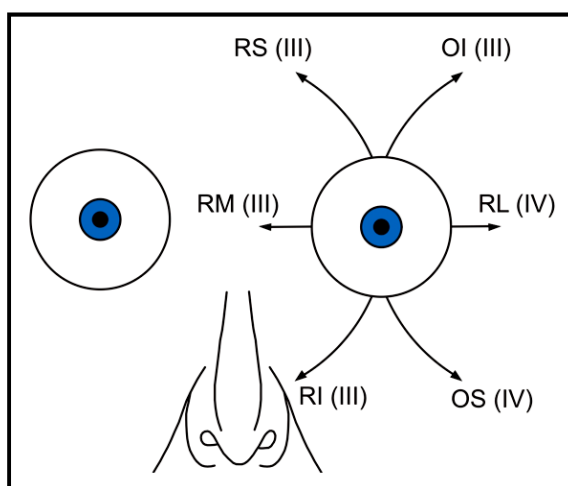
Svalová rovnováha je vyvážená funkce všech okohybných svalů, nazýváme ji *ortoforie*. Při poruše svalové rovnováhy dochází k šilhání. *Heterotropie* (zjevné šilhání) není kompenzována činností okohybných svalů a projeví se zjevnou odchylkou oka. *Heteroforie* (skryté šilhání) je za normálních podmínek kompenzována zvýšeným úsilím okohybných svalů. [2]

Tab. 1: Funkce okoohybných svalů a jejich inervace

Svaly	Inervace	Hlavní účinek	Vedlejší účinek
horní přímý sval (<i>m. rectus superior</i>)	III. <i>n. oculomotorius</i>	elevace	addukce, intorze
dolní přímý sval (<i>m. rectus inferior</i>)	III. <i>n. oculomotorius</i>	deprese	addukce, extorze
vnitřní přímý sval (<i>m. rectus medialis</i>)	III. <i>n. oculomotorius</i>	addukce	-
zevní přímý sval (<i>m. rectus lateralis</i>)	VI. <i>n. abducens</i>	abdukce	-
horní šikmý sval (<i>m. obliquus superior</i>)	IV. <i>n. trochlearis</i>	intorze	deprese, abdukce
dolní šikmý sval (<i>m. obliquus inferior</i>)	III. <i>n. oculomotorius</i>	extorze	elevace, abdukce

(převzato a upraveno z [4], s. 28)

Obr. 1: Schéma funkce okoohybných svalů a jejich inervace



(převzato z [6])

1.1.3 Druhy binokulárních očních pohybů

Rozlišujeme dva druhy binokulárních očních pohybů, resp. souhybů. První z nich jsou pohyby konjunkční neboli *verze*, při kterých se obě oči pohybují ve stejném směru (napravo, nalevo, nahoru, dolů). Druhé jsou pohyby disjunkční neboli *vergence*, při nichž se oči v horizontální ose hýbou k sobě (konvergence) nebo od sebe (divergence). Vergenční pohyby mohou také vykonávat vertikální či rotační pohyb. Oční pohyby zahrnují jak konjunkční tak disjunkční součásti, například při změně fixace ze vzdáleného předmětu přímo vepředu na blízký objekt umístěný na straně (užití

asymetrické konvergence). V následujícím odstavci se budeme zabývat pouze vergenčními pohyby.

Podle pohybů zrakových os rozlišujeme vergenci na *horizontální*, *vertikální* a *cyklovergenci*. Horizontální vergence je řízena vůlí a mění se v závislosti na změně pozorovací vzdálenosti. Vertikální vergence a cyklovergence se nemusí měnit v závislosti na pozorovací vzdálenosti (zvláště mezi pozorovací vzdáleností a cyklovergencí je slabá vazba). Jejich odpovědi nejsou pod volní kontrolou. Změny u vertikální vergence a cyklovergence závisí na fixaci pozorovaného předmětu. [7]

V tab. 2 je shrnuté názvosloví, které se používá pro popis vergenčního pohybu.

Tab. 2: Názvy a typy vergenčních pohybů

Názvy vergenčních pohybů	Typy vergenčních pohybů
Horizontální vergence <i>Konvergence</i> <i>Divergence</i>	Protilehlá horizontální rotace <i>Paralelní posun zrakových os dovnitř.</i> <i>Paralelní posun zrakových os ven.</i>
Vertikální vergence <i>Pravá supravergence (levá infravergence)</i> <i>Levá supravergence (pravá infravergence)</i>	Protilehlá vertikální rotace <i>Pravá osa vidění jde nahoru, levá osa dolů.</i> <i>Levá osa vidění jde nahoru, pravá osa dolů.</i>
Cyklovergence <i>Incyklovergence</i> <i>Excyclovergence</i>	Protilehlá torzní rotace <i>Vertikální vrcholy se točí dovnitř.</i> <i>Vertikální vrcholy se točí ven.</i>

(převzato a upraveno z [7], s. 381)

1.1.4 Svaly pracující při binokulárním pohybu

Na binokulárním pohybu se podílí více svalů. Jednotlivé svaly se mohou při binokulárních pohybech ve svém účinku podporovat, nebo naopak mohou působit proti sobě. Rozlišujeme tzv. agonisty a antagonisty. *Agonista (synergista)* je sval, který působí vůči danému svalu ve stejném směru. *Antagonista* je sval, který působí vůči danému svalu v opačném směru. Každý sval má svého stejnostranného (na témže oku) i druhostranného (na druhém oku) *antagonistu* a druhostranného *agonistu*. [8]

1.2 Popis vergence

Vergenční pohyby se uskutečňují skrze motorickou fúzi. Tímto termínem rozumíme takové pohyby očí, které vedou k zaměření zrakových os obou očí na sledovaný objekt. Mají za následek získání nebo udržení obrazů na korespondujících retinálních bodech tak, že může nastat senzorická fúze. [2]

Senzorická fúze pak umožňuje sloučit dva stejné nebo téměř stejné sítnicové obrazy do jednoho binokulárního vjemu.

1.2.1 Důležité pojmy související s očními pohyby

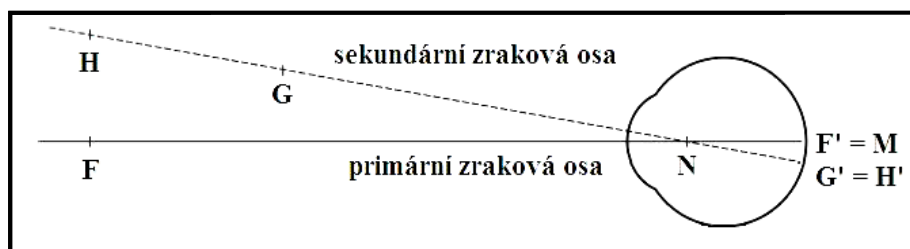
Střed otáčení oka (C) je bod, který se vzhledem k hlavě při očních pohybech nepohybuje. Pro většinu účelů se předpokládá, že leží asi 13,5 mm za přední plochou rohovky.

Fixační osa je spojnice fixovaného bodu se středem otáčení oka (C). [2]

Směr vidění – hlavní směr vidění je subjektivní směr daný foveou při fixaci předmětu. Foveálně fixovaný bod je vnímán jako bod přímo vepředu. Ostatní předměty v zorném poli jsou vnímány nad, pod nebo na straně od foveálního bodu. Tento subjektivní směr vidění je často označený jako okulocentrická lokalizace. [1]

V závislosti na okulocentrické lokalizaci můžeme definovat primární zrakovou osu. A to tak, že primární zraková osa je osa, na které leží body s okulocentrickou lokalizací 0° (viz obr. 2).

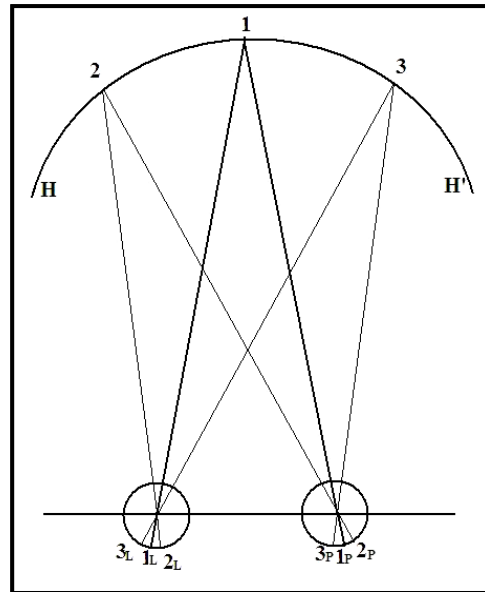
Obr. 2: Primární a sekundární zraková osa



(převzato a upraveno z [2], snímek 10)

Korespondující body jsou dvojice bodů, jeden v každé retině, jež mají stejnou směrovou hodnotu a odesílají své nervové impulsy na stejná místa do okcipitálního laloku kůry mozkové. [1] Teoreticky, v ideálním případě by se korespondující body při jejich přeložení přesně překrývaly. Náčrt korespondujících retinálních bodů je zobrazen na obr. 3.

Obr. 3: Fixační bod 1 je zobrazen na obou foveách, 1_L a 1_P . Podobně, periferní bod 2 je zobrazen na periferních retinálních bodech 2_L a 2_P , a bod 3 je zobrazen na retinálních bodech 3_L a 3_P .



(vlastní zpracování)

Vergenční úhel je úhel, který svírají osy vidění v bodu, kde se protínají. Při oboustranné konvergenci (viz obr. 4) úhel horizontální vergence (ϕ) souvisí s pupilární vzdáleností (a) a se vzdáleností fixačního bodu (D). Jejich vztah je vyjádřený rovnicí:

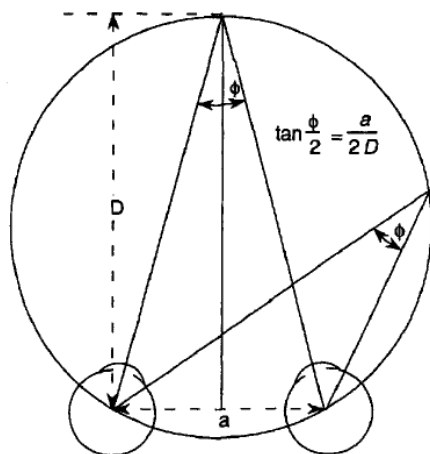
$$\tan \frac{\phi}{2} = \frac{a}{2D}$$

Z této rovnice vyplývá, že změna ve vergenci na jednotku změny pozorovací vzdálenosti je mnohem větší při pozorování do blízka než do dálky. Rovnice je platná pouze pro symetrickou konvergenci.

Disparátní body jsou dvojice bodů, jeden v každé retině, s různou směrovou hodnotou, například 1_L a 2_P (viz obr. 3).

Horopter je imaginární rovina, centrovaná na fixační bod, který se s očima pohybuje (viz obr. 4). Pro daný fixační bod platí, že všechny body v předmětovém prostoru, vytvářející obrazy na korespondujících retinálních bodech, tvoří imaginární rovinu. [1]

Obr. 4: Vztah mezi pupilární vzdáleností (a), úhlem horizontální vergence (ϕ) a vzdáleností fixačního bodu (D)

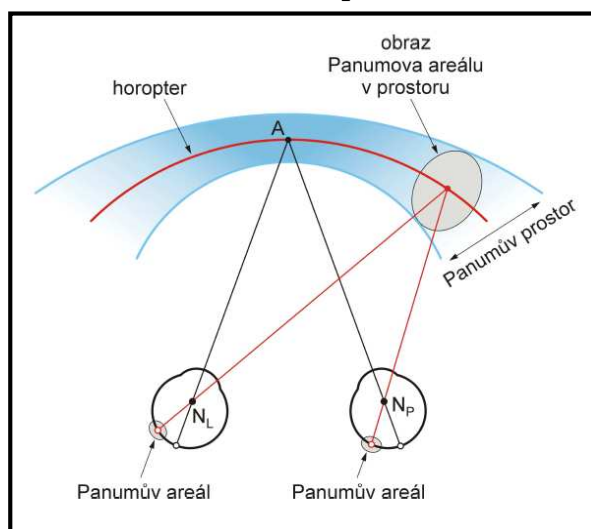


(převzato a upraveno z [7], s. 385)

Panumův prostor ohraničuje místo v blízkém okolí horopteru, v němž dochází ke stereoskopickému (prostorovému) vidění. Předměty, které leží mimo Panumův prostor, se zobrazují dvojité, tzv. fyziologická diplopie (viz obr. 5).

Panumův areál tvoří okolí sítnicového bodu, ve kterém je mozek schopen tolerovat disparátní zobrazení a ještě vytvořit jednoduchý binokulární vjem (viz obr. 5). [2]

Obr. 5: Lokalizace Panumova prostoru a Panumova areálu



(převzato z [2], snímek 37)

Fixační disparita popisuje stav, kdy obrazy objektů při fixaci nedopadají přesně na korespondující body sítnice. Člověk fixační disparitu nezaznamená, jelikož odchylka

zrakových os je příliš malá na to, aby přerušila fúzi obrazů při fixaci předmětu. Disparátní obrazy spadají pod Panumův areál.

Asociační forie představuje hodnotu minimálního prizmatu, které je potřeba pro korekci fixační disparity.

1.2.2 Číselný popisvergence

Vergenci očí měříme obvykle v metrových úhlech (m. ú.), stupních (°) nebo v prizmatických dioptriích (pD).

Úhelvergence v *metrových úhlech* vyjadřuje převrácenou hodnotu vzdálenosti fixovaného bodu v metrech. Počet metrových úhlů odpovídá počtu dioptrií při akomodaci emetropického oka. Například leží-li předmět ve vzdálenosti 0,5 m, je úhel dvojnásobný (2 m. ú.). Je-li předmět vzdálen 2 m, je úhel poloviční (0,5 m. ú.).

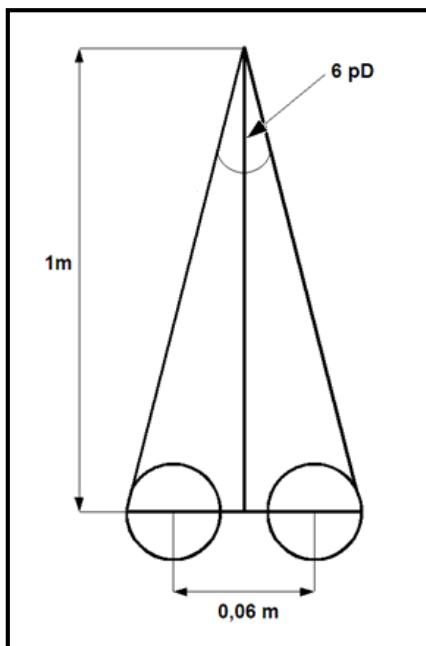
Vergenční úhel ve *stupních* odpovídající úhlu (ϕ) při pupilární vzdálenosti (a) v metrech je vyjádřen rovnicí:

$$2 \tan^{-1} \cdot a \cdot \frac{\phi}{2}$$

Tudíž konvergence ve stupních odpovídající 1 metrovému úhlu se mění v závislosti na pupilární vzdálenosti.

V klinické praxi se konvergence specifikuje pomocí jednotky *prizmatická dioptrie*. Jedna prizmatická dioptrie je definována jako odchylka (v tomto případě očí) o 1 cm od přímého směru na vzdálenost 1 m. Z toho vyplývá, že úhel konvergence obou očí udaný v prizmatických dioptriích odpovídá pupilární vzdálenosti (měřené při pohledu přímo vpřed) v centimetrech vydělené pozorovací vzdáleností v metrech. Například pokud má vyšetřovaný pupilární vzdálenost 6 cm, musí při fixaci bodu vzdáleného 1 m konvergence dosahovat hodnoty 6 pD (viz obr. 6). Pokud je třeba popsat konvergenci pouze jednoho oka, musí se místo pupilární vzdálenosti uvažovat její poloviční hodnota. [7, 1]

Obr. 6: Úhel celkové konvergence (6 pD) při fixování předmětu vzdáleného 1 m



(vlastní zpracování)

1.2.3 Popis horizontální vergence

Pro klinickou praxi je nejvýznamnější horizontální vergence. Je řízena vůlí a nastává, když se mění fixace z jedné prostorové roviny do druhé nebo když je fixační bod sledován, jako by se hýbal v prostoru.

Asi 70 % populace používá pro normální rozsah vergence pozorovací vzdálenost do 1 m.

Konvergence, divergence

Z pohledu fixační vzdálenosti očí uplatňují dva druhy horizontální vergence. Konvergence (stáčení očí) se uplatňuje při pohledu do blízka. Je více vyvinutá než divergence a její amplituda je asi desetkrát větší. Divergence (stáčení očí směrem ven) umožňuje sledování vzdálených předmětů. [1]

Konvergence a divergence může být popsána pomocí *vergenčního úhlu*. Když osoba fixuje bod v nekonečnu, osy vidění jsou paralelní a vergenční úhel je nulový. Oči konvergují, když se vergenční úhel zvětšuje, a naopak divergují, když se tento úhel zmenšuje.

Konvergence se uskutečňuje nevědomě, ale cvikem je možné dosáhnout značného stupně volní (vědomé) konvergence. Při konvergenci dochází k zúžení zornice (mióza), aby se zmenšila sférická a chromatická vada optického systému oka.

U konvergence (podobně jako u akomodace) rozeznáváme *blízký bod* (*near point of convergence, NPC*). Rovná se nejmenší vzdálenosti předmětu umístěného před okem, ve které tento předmět vidíme jednoduše (nemusí být totožný s blízkým bodem akomodace). Obvykle bývá vzdálen asi 8 cm od kořene nosu.

Oblast konvergence je dána vzdáleností mezi dalekým a blízkým bodem konvergence. Rozdíl vyžadovaných konvergenčních hodnot označujeme *amplitudou (šíří) konvergence*. Za *pozitivní konvergenci* je označována ta část konvergence, která se nachází mezi okem a nekonečnem. *Negativní konvergence* (ve skutečnosti divergence) je část, která je za okem. [9]

Na rozdíl od akomodace je konvergence stálejší, není tak závislá na věku. Ve 20 letech je blízký bod asi v 5,4 cm, ve 30 letech v 7 cm a po 40. roce v 8 cm. [9] Vzdálenost větší než 10 cm poukazuje na nedostatečnou konvergenci.

1.3 Složky vergence

Maddox (1893) představil první popis a klasifikaci vergenčních očních pohybů. Při diskuzi o Maddoxových konceptech *Morgan* (1980) poznamenal, že byly sestaveny spíše na klinické zkušenosti než na kontrolovaném výzkumu a byly ovlivněny prací *Donderse, Heringa, Prentice* a dalších vědců během 20. století. [3] Podle Maddoxe lze vergenci (resp. konvergenci) rozdělit na tonickou, akomodační, fúzní a proximální. Jako samostatnou složku lze považovat tzv. volní konvergenci, tj. konvergence navozená vůlí.

1.3.1 Tonická konvergence

Maddox se domníval, že pokud ustanou veškeré inervace okulárních svalů, *klidová anatomická pozice* očí bude podstatně v divergenci. Tonická konvergence se popisuje jako pohyb očí z divergenční (klidová anatomická pozice) do pozice více konvergenční. Tato více konvergenční pozice je popsána jako *psychologická pozice klidu*. Oči ji získají, když na ně nepůsobí žádné stimuly. Nedostatečná tonická konvergence může mít za následek exoforii, zatímco nadměrná tonická konvergence může způsobit esoforii. [1]

1.3.2 Akomodační konvergence

Akomodační konvergence je konvergence navozená akomodací. Pro jedince, který má ortoforii do dálky (tj. má odpovídající tonickou konvergenci), bude velikost

akomodační konvergence spolu s proximální konvergencí (viz následující odstavec) determinovat forii do blízka. Například při slabé akomodační konvergenci a normální proximální konvergenci lze předpokládat exoforii do blízka. Naopak při slabé akomodační konvergenci bude do blízka naměřena esoforie.

Akomodační konvergenci lze měřit ze změny forie při změně akomodace. Obvykle se charakterizuje pomocí tzv. *AC/A* poměru, který je diskutován v samostatné kapitole č. 4.

1.3.3 Proximální konvergence

Maddox popsal proximální konvergenci jako konvergenci, která se uskutečňuje díky vědomí blízkého předmětu. Tento jev se také popisuje jako psychická konvergence či jako konvergence vědomé blízkosti.

1.3.4 Fúzní konvergence

V optimálním případě by výše uvedené složky konvergence měly plně kompenzovat konvergenční požadavek při pohledu na danou vzdálenost. V praxi tomu tak obvykle není, vzniká heteroforie. Tuto odchylku kompenzuje právě fúzní konvergence. Jejím stimulem je tedy disparátní zobrazení a brání vzniku diplopie. Pokud fúzní konvergence vyvolává konvergenční pohyb, hovoříme o kladné fúzní konvergenci, v opačném případě o záporné fúzní konvergenci.

Fúzní konvergence může být uměle navozena pomocí prizmat, která vyvolají retinální disparitu. Pozitivní, respektive negativní konvergenci lze navodit předložením prizmat s bází temporálně (anglicky base out, BO), respektive nazálně (base in, BI). [1]

Proximální konvergenci nejsme schopni změřit přesně. O její existenci můžeme usuzovat pouze nepřesně na základě jiných zjištění. [1]

1.4 Základní veličiny vergence a jejich měření

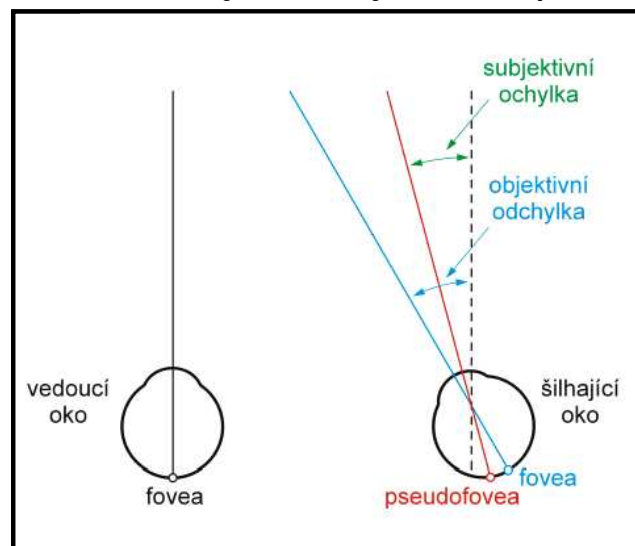
Vergenci charakterizují čtyři základní veličiny. *Objektivní, subjektivní odchylka, blízký bod konvergence, fúzní rezervy a vergenční facilita*. Podle výsledků můžeme zjistit, zda má pacient správné vergenční funkce či nikoli. V důsledku poruchy vergence může nastat šilhání (*manifestní* či *latentní*). Tyto veličiny můžeme získat při jednotlivých binokulárních měřeních, o kterých se v této podkapitole zmíníme.

1.4.1 Objektivní a subjektivní odchylna

Objektivní odchylna představuje skutečnou odchylnu oka od požadovaného směru. *Subjektivní odchylnu* lze popsat jako úhel sevřený pseudofoveou a požadovaným směrem pohledu s vrcholem v uzlovém bodě (viz obr. 7). Pseudofoveou rozumíme místo sítnice, které při patologickém binokulárním vidění převezme funkci fovey. [10]

Objektivní odchylnu můžeme měřit pomocí zakrývacích testů. Ostatní testy jsou subjektivní. Měření provádíme ze vzdálenosti 5 nebo 6 m (do dálky) a 40 cm (do blízka). Při vyšetření horizontálních odchylek do blízka je důležitá kontrola akomodace (sledování optotypu).

Obr. 7: Objektivní/subjektivní odchylna



(převzato a upraveno z [10], snímek 26)

Většina lidí s normálním binokulárním viděním má nízký stupeň heteroforie (HTF). Přehled normálních hodnot horizontální HTF popisuje tabulka 3.

Tab. 3: Přehled normálních hodnot horizontální HTF/ pD

Normální hodnoty		6 m	40 cm
Rozsah HTF/ pD	Děti a mladiství	1 pD exo \pm 1 pD	3 pD exo \pm 3 pD
	Dospělí	2 pD eso – 4 pD exo	0 – 6 pD exo

(převzato z [11], s. 171, [12], snímek 6)

U dospělých a dětí je za normální považováno jen asi 0,5 pD vertikální HTF. Některým pacientům však i tato hodnota může způsobit symptomy.

1.4.1.1 Zakrývací testy

Intermitentní zakrývací test

Zakrýváme a odkrýváme první oko (asi 3 s). Sledujeme druhé (nezakryté) oko při zakrytí prvního oka. Je-li pohyb, je přítomna tropie. Je-li pohyb při zakrývání pravého i levého oka, je přítomný alternující strabismus. [12]

Alternující zakrývací test objektivní

Střídavě zakrýváme pravé a levé oko (asi 3 s a poté rychle přesuneme okluzor). Pozorujeme pohyb odkrývaného oka. Přítomnost pohybu značí heteroforii. Sledujeme směr refixačního pohybu (návrat z odchylky). Při pohybu ven se jedná o *esoforii*, naopak při pohybu dovnitř mluvíme o *exoforii*. Během pozorování také sledujeme rychlost refixačního pohybu. U *dekompenzované heteroforie* je pohyb pomalý, váhavý.

Alternující zakrývací test subjektivní

Testujeme pohyb a směr odchylky o malé hodnotě (1 – 3 pD). Při měření střídavě zakrýváme pravé a levé oko a ptáme se na pohyb fixační značky (zda značka „uskočí“). Pokud značka neuskočí, není přítomna heteroforie. Jestliže značka uskočí *ve směru* pohybu okluzoru, je přítomna malá *exoforie*. Naopak, když značka uskočí *proti směru* pohybu okluzoru, je přítomna malá *esoforie*. [12]

1.4.1.2 Subjektivní testy

Subjektivní testy využívají úplné disociace očí. A to pomocí prizmat (např. von Graefeho metoda), Maddoxova cylindru, polarizace (např. křížový test), doplňkových barev (anaglyfické testy). Zde se jen ve stručnosti zmíníme o některých z těchto testů, zejména o Maddoxově kříži, Thoringtonově a Graefeho metodě, jejich postupech měření, výhodách či nevýhodách. Měření provádíme při normální pozici hlavy s optimální korekcí.

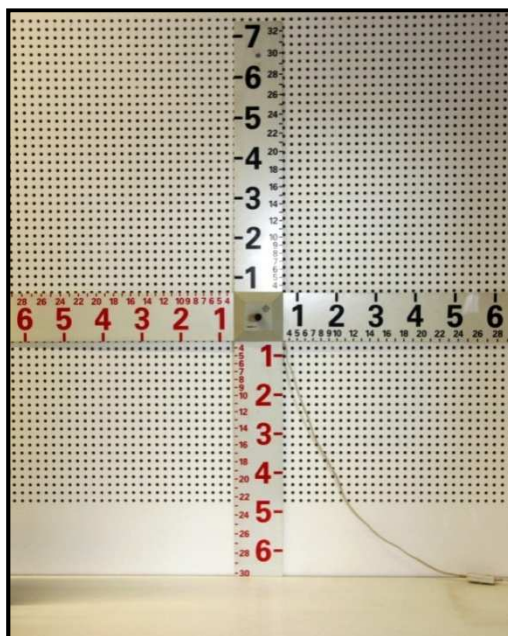
Maddoxův kříž

Měříme za pomoci Maddoxova cylindru a Maddoxova křížového testu. *Maddoxův cylindr* je červená nebo čirá čočka složená ze série paralelních, plan – konvexních cylindrů. Když se díváme na bodové světlo přes Maddoxův cylindr, vidíme ho jako světelnou čáru, která je orientovaná kolmo na osu cylindrů. To znamená, že když jsou

„rýžky“ orientovány horizontálně, vidíme čáru vertikálně. Obvykle Maddoxův cylindr vkládáme před pravé oko (kontrola při zakrytí jednoho z očí: pravé oko vidí imaginární červenou čáru a levé oko vidí bodové světlo).

Můžeme snadno vyšetřovat se zkušební obrubou (foropterem nebo brýlovou korekcí) a obrazem, který obsahuje bodové světlo. Nevýhodou je, že bodové světlo zastupuje slabé stimuly pro akomodaci. Někteří klinici se domnívají, že se tak užití Maddoxova cylindru vymezuje jen pro měření vertikálních odchylek, u kterých se předpokládá, že nejsou ovlivněné akomodačními změnami. [11] Tento test vykazuje spolehlivější výsledky do dálky, do blízka je méně přesný. Výsledky mohou být ovlivněné náklonem hlavy nebo sledováním zkušebního obrazu (např. Maddoxova kříže) z boku.

Obr. 8: Maddoxův kříž



(foto: Jan Zemek)

Postup při měření horizontálních odchylek do dálky

Umístíme Maddoxův cylindr na jedno z očí (obvykle pravé oko) a ujistíme se, že jsou rýžky zcela horizontálně. Ztlumíme světla. Při zapnutí bodového světla, které se nachází uprostřed Maddoxova kříže (viz obr. 8), by měl vyšetřovaný vidět (při pohledu oběma očima) červenou čáru vertikálně.

Poté se vyšetřovaného ptáme, kde čáru vidí. Jestliže se čára nachází nalevo od světelného bodu, je přítomna *exoforie*, naopak je-li napravo od světelného bodu, je přítomna *esoforie*. Protíná-li čára světelný bod, forie není přítomna (*ortoforie*).

Čísla na stupnici Maddoxova kříže jsou většinou vyjádřena ve stupních, nikoli v prizmatických dioptriích. Hodnotu prizmatické dioptrie můžeme získat tak, že změříme vzdálenost uskočení obrazu od bodového světla (v cm) a vydělíme ji pozorovací vzdáleností (v metrech).

Například, naměříme vzdálenost odchýlení světelné čáry 5 cm (exo) při pozorovací vzdálenosti 6 m. Velikost odchyšky tedy bude: $5/6 = 0,83$ pD exo.

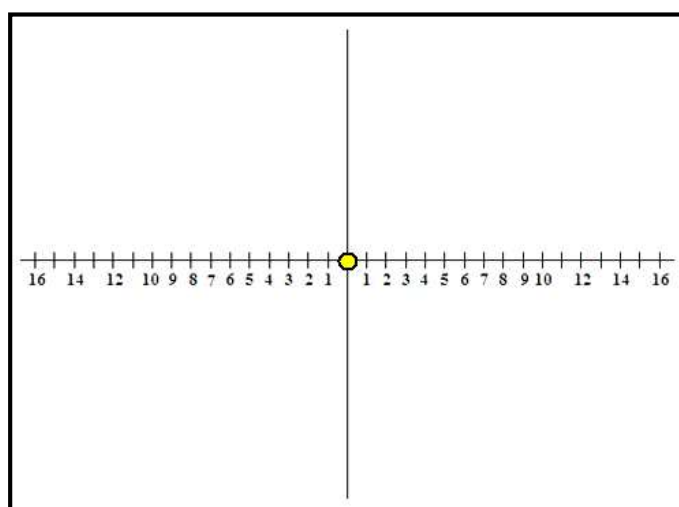
Postup při měření vertikálních odchylek do dálky

Vyšetřovanému předložíme před pravé oko Maddoxův cylindr s rýžkami orientovanými vertikálně. Vyšetřovaný by měl vidět (při pohledu oběma očima) světelnou čáru horizontálně. Poté se opět ptáme, kde se čára nachází. Jestliže je čára nad světelným bodem, je přítomna *pravá hypoforie (nebo levé hyperforie)*, leží-li pod světelným bodem, je přítomna *pravá hyperforie (levá hypoforie)*. Protíná-li čára světelný bod, není forie.

Thorigtonova metoda (Thorigtonův modifikovaný test)

Thorigtonova metoda se používá především k určení HTF a stanovení její velikosti do blízka. Vyšetřujeme za pomoci Maddoxova cylindru a Thorigtonovy testovací karty, viz obr. 9. Pro měření HTF do blízka vykazuje Thorigtonův modifikovaný test lepší výsledky než Maddoxův kříž. Především díky většímu kontrastu (černé znaky na bílém pozadí).

Obr. 9: Thorigtonova karta pro měření horizontální HTF na vzdálenost 40 cm



(vlastní zpracování)

Postup při měření horizontálních odchylek do blízka

Zajistíme, aby měl vyšetřovaný optimální refrakční korekci, a předložíme před pravé oko Maddoxův cylindr s rýžkami orientovanými horizontálně. Ztlumíme světla. Posvítíme světlem ze svítky tužky skrz středový otvor Thoringtonovy karty. Vyšetřovaného vyzveme, aby sledoval písmena na kartě a viděl je ostře. Necháme vyšetřovaného, aby se podíval na bodové světlo, a ptáme se, kde vidí vertikální červenou čáru (stejně jako u Maddoxova kříže). K určení rozsahu odchylky se ptáme vyšetřovaného, kterým číslem Thoringtonovy karty čára prochází. Číslo přečtené na stupnici odpovídá hodnotě prizmatické dioptrie.

Postup při měření vertikálních odchylek do blízka

Postup je stejný jako při měření horizontální HTF, ale cylindr otočíme tak, aby vyšetřovaný viděl (při pohledu oběma očima) světelnou čáru horizontálně. Poté se ptáme, kde se světelná čára nachází.

Von Graefeho metoda

Tato metoda může být použita pro měření horizontálních heteroforií do blízka i do dálky. Disociace očí se dosahujeme pomocí prizmat (6 nebo 8 pD).

Přestože je tato technika velice používána, bývá nejméně spolehlivá z těch, které jsou běžně rozšířené. Špatně koreluje se zakrývacím testem, zvláště v případě měření horizontálních HTF. Nepřesné výsledky mohou být způsobené prizmatickou adaptací, náklonem hlav, který vede k navození vertikální odchylky. Navíc měření vyžaduje delší soustředění, což může být pro vyšetřovaného obtížné. Tuto metodu by měly nahradit jiné, spolehlivější metody, například Thoringtonův modifikovaný test. [11]

Postup pro měření horizontálních odchylek do blízka

Vyšetřovanému zajistíme optimální korekci a vložíme před levé oko 6 – 8 pD BU (nebo před pravé oko 6 – 8 pD BD). Předložíme vyšetřovací kartu (ze vzdálenosti 40 cm). Ověříme, zda vidí pravým okem horní řádek. Poté se ptáme, kde leží horní šipka. Jestliže je šipka viděna v poli se sudými čísly (tzn. nalevo od nuly), je přítomna *exoforie*. Jestliže je šipka viděna v poli s lichými čísly (tzn. napravo od nuly), je přítomna *esoforie*. Pokud šipky leží přesně nad sebou, není HTF. Čísla na kartě odpovídají hodnotám HTF v pD.

Postup pro měření horizontálních odchylek do dálky

Měření provádíme stejně s pomocí speciální testové karty na dálku, která je analogií karty do blízka. Popř. je možné použít např. klasický optotyp nebo světélko. Pokud nejsou zdvojené obrazy sledovaného objektu přímo nad sebou, je detekována heteroforie. V případě, že není použit test se stupnicí, lze hodnotu odchylky zjistit s využitím prizmatu, kterým právě zarovnáme obrazy přesně nad sebe.

1.4.2 Blízký bod konvergence (NPC)

Blízky bod konvergence je nejbližší bod, na který ještě oči dovedou konvergovat. Vzdálenost blízkého bodu měříme od kořene nosu.

Subjektivní NPC

Měříme na základě rozdvojení obrazu. Ze vzdálenosti asi 50 cm pozorujeme např. hrot tužky. Tužku posouváme směrem k nosu, dokud se nám hrot nerozdvojí – bod rozdvojení (*break point*). Zaznamenáme vzdálenost bodu rozdvojení. Poté posunujeme tužku směrem od nosu. Sledujeme, kdy se nám rozdvojený hrot tužky spojí v jeden – bod spojení (*recovery point*). Hodnoty zapisujeme ve zlomku rozdvojení/spojení (v cm).

Normální hodnoty

Bod rozdvojení 7,5 cm a méně. Bod spojení 10,5 cm a méně. Hodnota nad 10 cm může poukazovat na nedostatečnou konvergenci.

Objektivní NPC

Měření *objektivního blízkého bodu konvergence* je významné při supresi jednoho oka. Objektivní NPC je bod, ve kterém přestane jedno oko fixovat. Při testu tedy posouváme tužku směrem k nosu a sledujeme oko vyšetřovaného (kdy se „vytočí“ ven). [12]

1.4.3 Fúzní rezervy (FR)

Fúzní rezervy jsou významné při existenci HTF. Díky nim mohou být jednotlivé odchylky kompenzovány dostatečnou fúzí. U horizontálnívergence měříme maximální

možnou *konvergenci* (PFR - *pozitivní FR*), *divergenci* (NFR - *negativní FR*), u vertikální vergence maximální možnou *supravergenci* a *infravergenci*, kdy je ještě zachováno JBV. Pozitivní fúzní rezervy (PFR) jsou významné u exoforie, negativní fúzní rezervy (NFR) jsou významné u esoforie. Měříme při akomodaci na danou vzdálenost. Vergenci navozujeme prizmaty (např. prizmatická lišta, foropter). [12]

Princip měření spočívá v tom, že vyšetřovaný sleduje písmeno (měření do dálky ze 6 m, do blízka ze 40 cm), poté předkládáme před jedno oko prizma (např. pomocí prizmatické lišty). Zaznamenáme velikost prizmatu při bodu zamlžení (*blur point*), následného rozdvojení (*break point*) a opětovného spojení (*recovery point*). Podrobnější popis postupu měření nalezneme v publikaci [12].

Pozitivní fúzní rezervy

Tyto hodnoty jsou významné při exoforii, prizma předkládáme BO.

Tab. 5: Normální hodnoty PFR

Dálka		Blízko	
<i>Blur point</i>	12 - 16 pD	<i>Blur point</i>	20 - 28 pD
<i>Break point</i>	18 - 22 pD	<i>Break point</i>	26 - 34 pD
<i>Recovery point</i>	14 - 18 pD	<i>Recovery point</i>	22 - 30 pD

(převzato z [11], s. 182)

Negativní fúzní rezervy

Jsou významné při esoforii, prizma předkládáme BI.

Tab. 4: Normální hodnoty NFR

Dálka		Blízko	
<i>Blur point</i>	nenastává	<i>Blur point</i>	6 - 10 pD
<i>Break point</i>	6 - 12 pD	<i>Break point</i>	12 - 18 pD
<i>Recovery point</i>	4 - 8 pD	<i>Recovery point</i>	8 - 14 pD

(převzato z [11], s. 182)

Supra/ infravergence

Jsou významné při hyper/hyfoforii. U infravergence předkládáme prizma na pravé oko BU, u supravergence předkládáme prizma na pravé oko BD.

Normální hodnoty: 2 až 4 pD [12]

1.4.4 Vergenční facilitita (VF)

Vergenční facilitita je schopnost reagovat dostatečně pružně, rychle a přesně na změny vergenčního požadavku. Test se provádí obvykle do blízka. Při testu by měl mít vyšetřovaný korekci do blízka, na kterou je zvyklý.

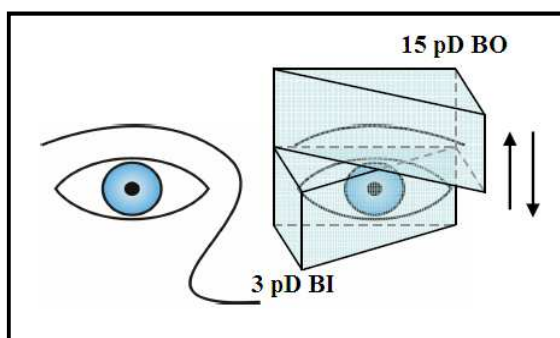
Jedná se o přídavný test. Výsledky testu mají ukázat symptomy, které se při jiných testech neprojeví. *Gall* a kolegové (1998) popsali, že kombinace fliprů (předsádek) 3 prisma BI a 12 prisma BO poskytuje nejlepší stálost a zároveň odlišuje symptomatické a nesymptomatické pacienty. [11]

Při měření vyšetřovaného vyzveme, aby sledoval jedno písmeno (číslo řádku o jedno vyšší než poslední přečtené) na kartě. Po předložení flipru (předsádky) trvá určitou dobu, než se písmena zaostří (zaostření musí proběhnout co nejrychleji). Vyšetřovaný hlásí hned, jakmile se písmena spojí a vyjasní. Nastavíme hodinky a předložíme před každé oko 12 pD BO. Hned jak vyšetřovaný ohlásí, že vidí čistě, změníme flipr (předsádku) na hodnotu 3 pD BI. Jakmile opět ohlásí jasné vidění, je dokončen jeden cyklus. Nakonec spočítáme, kolika cyklů dosáhl vyšetřovaný během jedné minuty. Podrobnější popis postupu měření najdeme v publikaci. [11]

Alternativu testu představuje monokulární předřazení 3pD BI (zůstává vložené ve zkušební obrubě) a 15 pD OB (předkládáme), jak znázorňuje obr. 10.

Normální hodnoty: 12 cpm, slabá při < 9 cpm [12]

Obr. 10: Měření vergenční facility



(převzato a upraveno z [12], snímek 32)

2 Akomodace

Slovo akomodace bylo zavedeno *Burowem* až v roce 1841. [3] Akomodace nám slouží k tomu, abychom mohli jasně a ostře vidět na různě vzdálené objekty. Je to tedy schopnost oka zaostřit na předměty, které leží v prostoru. Stejně jako vergence patří akomodace do základní složky JBV. A to do složky optické, která zajišťuje vytvoření ostrého obrazu pozorovaného předmětu na sítnici.

2.1 Akomodační aparát

Při akomodaci oko mění optickou mohutnost své dioptrické soustavy. Na jejím mechanismu se podílí několik očních struktur. Především se jedná o samotnou čočku, dále řasnaté tělísko a závěsný aparát.

Čočka je bikonvexní, transparentní struktura, která plní tři základní funkce – schopnost *akomodace*, měnit *refrakci* a udržet vlastní *transparentnost* (umožnění průchodu světla, které vytvoří ostrý obraz na sítnici). Je uložena uvnitř oka, mezi pigmentovým listem duhovky a přední sklivcovou membránou. Zonulární vlákna závěsného aparátu (vycházející z řasnatého tělíska) drží čočku ve správné pozici. Čočka se skládá ze čtyř obalů: *pouzdro*, *epitel*, *kortex* a *jádro*. Tvar čočky se mění v závislosti na tahu vláken závěsného aparátu. Tato změna závisí na stupni akomodace a na stáří člověka. Díky specifické struktuře čočky se při akomodaci může zvýšit její lomivost téměř dvojnásobně. V průběhu života se čočka zvětšuje, mění svůj tvar i optické vlastnosti. S věkem se zvětšuje vrstva *kortexu* a čočka se více zaobluje, mění se i refrakční index čočky. Refrakční index stoupá přítomností většího množství nerozpustných bílkovin. Takže stárnoucí čočka může být více hypermetropická či myopická v závislosti na věku a na stavu jejího metabolismu. Optická mohutnost čočky je asi 15 – 20 D, tedy třetina z celkové optické mohutnosti oka (58,64 D). [3]

Řasnaté tělísko (*corpus ciliaris*) se skládá ze dvou částí – *pars plana* a *pars plicata*. *Pars plana* přechází v místě *ora serrata* v cévnatku. *Pars plicata* se spojuje s duhovkou. Z vnitřní plochy řasnatého tělíska v oblasti *pars plicata* vystupují radiálně uspořádané řasy (*processus ciliares*), které vylučují do zadní komory nitrooční tekutinu (*humor aquosus*). Z rýh mezi *processus ciliares* vystupují závěsná vlákna čočky (*fibrae zonulares*). Uvnitř řasnatého tělíska je vazivové stroma a v něm hladký sval (*musculus*

ciliaris) s meridionálním, cirkulárním a radiálním uspořádáním svalových vláken. Při jeho stahu dochází k uvolnění závěsného aparátu čočky. Tím se změní tvar a optická mohutnost čočky (akomodace). *Meridionální* vlákna jsou vnější vlákna umístěná podél skléry od limbu rohovky až do zadních částí řasnatého tělíska. Stah těchto vláken táhne řasnaté tělísko dopředu, čímž uvolňuje napětí zadních zonulárních vláken. *Cirkulární* vlákna tvořící svěrač na vnitřní straně řasnatého tělíska svojí kontrakcí uvolňují napětí předních zonulárních vláken. To způsobí uvolnění a vyklenutí čočky a oko se zaostří nablízko. *Radiální* vlákna zahýbají od zevních meridionálních k vláknům cirkulárním. Je jich nejméně. [13] Ciliární sval je inervován parasympatickými vlákny z *nervus oculomotorius*. Tato vlákna vyvolávají kontrakci m. ciliaris a umožňují tak akomodovat nablízko. Cévní zásobením řasnatého tělíska zajišťují větve *arteria ophthalmica*, *arteriae ciliares posteriores longae* a *arteriae ciliares anteriores breves*. Krev odvádějí *venae vorticosae*. [3]

Zonulární vlákna - závěsný aparát čočky je tvořen zonulárními vlákny (*fibrae zonulares*). Jeho hlavní funkcí je udržet čočku v optické ose a podílet se na akomodaci. Vlákna leží mezi čočkou a řasnatým tělískem. Zonulární vlákna obsahují nekolagenní protein a elastické fibrily. V zadní části zonuly začíná systém vláken v oblasti *pars plana* asi 1,2 mm od *ora serrata*. Zonulární vlákna se vzájemně propojují v síť, která se upíná mezi výběžky řasnatého tělíska do *pars plicata*. Přední část zonuly začíná mezi ciliárními výběžky v oblasti *pars plicata*. Přední a zadní vlákna zonuly se většinou spojují a upínají se do pouzdra čočky 2 mm před a 1 mm za ekvátor a do oblasti ekvátoru. [3]

2.2 Teorie akomodace

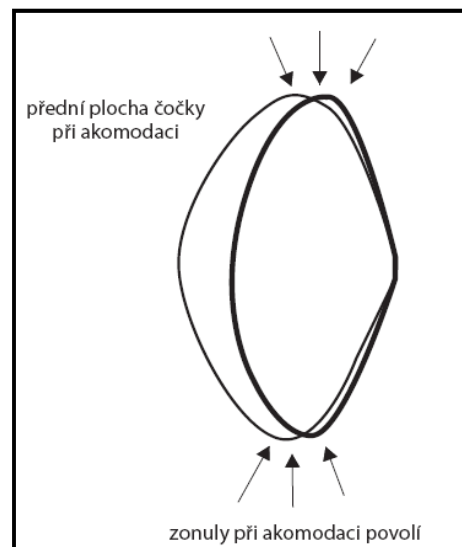
Přesná fyziologie akomodačního procesu není dosud do detailů vysvětlena. Přesto nám pro popis dynamického procesu akomodace slouží tři nejznámější teorie:

- Helmholtzova teorie
- Schacharova a Tscherningova teorie
- Colemanova teorie

Podle *Helmholtzovy teorie* se při akomodaci ciliární sval stáhne (pohybuje se přitom dopředu a dovnitř). Povolí se napětí zonulárních vláken mezi ekvátorem

čočky a ciliárním svalem. Díky elasticitě pouzdra se čočka vyklene (nabývá sférickějšího tvaru) a tím zvýší svojí dioptrickou sílu. Proces akomodace tedy spočívá v kontrakci, následném zmenšení ciliárního svalu a uvolnění závěsného aparátu (viz obr. 11). Když akomodace pomine, ciliární sval relaxuje (uvolní se a vrátí se do své původní velikosti). Napětí zonulárních vláken se opět zvýší a čočka se vrátí zpět do jejího relativně plochého tvaru.

Obr. 11: Činnost zonulárních vláken při akomodaci (Helmholtzova teorie)

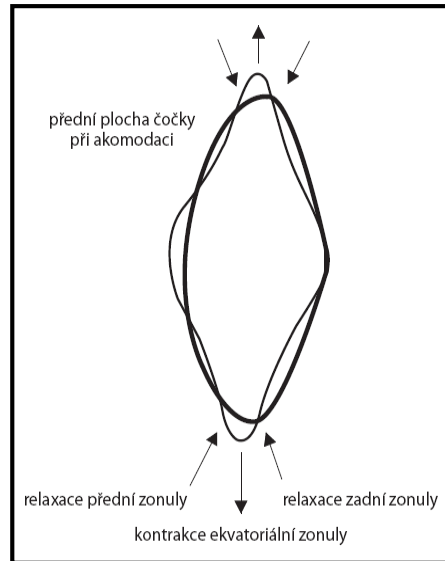


(převzato z [3], s. 37)

Podle *Schachara* a *Tscherninga* je mechanismus akomodace založený na jiném anatomickém umístění upínajících se zonulárních vláken. Během kontrakce ciliárního svalu se jeho přední část posune (svraští se) směrem ke sklěře a kořeni duhovky. Tento pohyb řasnatého tělíska napne ekvatoriální zonulu, uvolní zadní a přední zonulu. Výsledkem je prodloužení vertikálního průměru čočky se ztenčenou periferní a rozšířenou centrální oblastí čočky (viz obr. 12). Je nutno zmínit, že *Tscherning* (oproti *Schacharovi*) předpokládal u akomodace také účast sklivce.

Základní rozdíl mezi *Helmholtzovou* a *Schacharovou* teorií akomodace je v tom, že *Schacharův* model předpokládá aktivní spolupráci mezi ciliárním svalem a závěsným aparátem a předpokládá přiblížení ekvátoru čočky ke sklěře. *Helmholtzova* teorie spoléhá na pasivní uvolnění zonuly a naopak vzdálení se ekvátoru čočky od skléry.

Obr. 12: Činnost zonulárních vláken při akomodaci (Tscherningova, Schacharova teorie)



(převzato z [3], s. 376)

Liší se i teorie týkající se ztráty akomodace (vzniku presbyopie). U Helmholtze spočívá ve ztrátě elasticity čočky (jejím postupným tvrdnutím). Čočka není schopná dostávat se při akomodaci do kulovitěho tvaru. I poslední práce *Glassera* (2005) prokazují pravdivost Helmholtzovy teorie. Schachar naproti tomu tvrdí, že příčinou presbyopie je neustálé zvětšování průměru čočky (především vertikálního). Její ekvátor se růstem stále více přibližuje k ciliárnímu tělísku, a tím se snižuje účinnost kontrakce zonulárních vláken. [3]

D. J. Coleman se domnívá, že celý proces akomodace nelze vysvětlit pouze Helmholtzovou a Schacharovou teorií. Díky námitce týkající se okamžité a přesně opakovatelné změny ve tvaru čočky. Jeho teorie akomodace předpokládá, že čočka, závěsný aparát a přední sklivec tvoří přepážku mezi přední komorou a sklivcovým prostorem. Při akomodaci se ciliární sval stáhne a způsobí tlakový gradient mezi předním sklivcem a přední komorou. Dojde k tomu, že se tlak ve sklivcovém prostoru zvýší a následně se sníží tlak v přední komoře (snad v důsledku kontrakce ciliárního svalu, která rozšíří trámčinu). Tlak sklivce působí směrem na zadní čočkové pouzdro, tlačí na čočku a posouvá ji mírně dopředu. [3]

2.3 Složky akomodace

Heath (1956) předpokládal, že akomodativní proces se skládá ze čtyř složek: tonické, konvergenční, reflexní a proximální. [9] Opět bychom mohli uvažovat o volní akomodaci jako o samostatné složce akomodace, která je ovládána vůlí a obvykle je spojena s volní konvergencí.

2.3.1 Tonická akomodace

Tonická akomodace je přítomná bez jakéhokoli podnětu. Jedná se o stav, který je navozen klidovým napětím ciliárního svalu. U mladých lidí se pohybuje v hodnotách kolem 1,0 D, což současně s 0,5 D vergenční složky tvoří akomodační rezervu.

2.3.2 Vergenční akomodace

Vergenční akomodace je pevně spjatá v určitém poměru s konvergenční akomodací. Zajišťuje druhou nejdůležitější složkou akomodace, která je kontrolována fúzí. Při konvergenci vzniká impulz pro akomodační systém, který má za následek zvýšení akomodace o konvergenční složku akomodace (akomodace navozená konvergencí). Podrobněji tuto problematiku popisuje kapitola č. 4.

2.3.3 Proximální akomodace

Proximální akomodace je psychogenně aktivovaná vědomím blízkého předmětu, resp. odhadem vzdálenosti předmětu. Při měřeních na přístrojích proximální akomodace navozuje přístrojovou myopii. [14]

2.3.4 Reflexní akomodace

Reflexní akomodace zajišťuje zaostření fixovaného předmětu na sítnici. Podněcuje ji neostrý obraz. Není ovládaná vůlí, děje se automaticky.

2.4 Základní veličiny akomodace a jejich měření

Akomodaci a její velikost můžeme charakterizovat a měřit pomocí několika základních veličin. Jedná se o *amplitudu akomodace*, *relativní akomodaci*, *akomodační facilitu* a *akomodační odezvu*. Podle jejich výsledků jednotlivých měření můžeme zjistit, zda je akomodace dostatečná či nikoli. V této podkapitole si veličiny akomodace a jejich jednotlivá měření krátce popíšeme.

2.4.1 Amplituda akomodace

Amplituda (šíře) akomodace AA udává, jaké je maximální množství akomodace (v D) nebo jaká je maximální zaostřovací schopnost oka, kterou může vyšetřovaný využít při sledování blízkého bodu (cíle). Velikost amplitudy akomodace je dána vzdáleností dalekého a blízkého bodu.

Daleký bod R (punctum remotum). Je to bod ležící na optické ose, který se zobrazí na sítnici oka při minimální akomodaci. Jeho vzdálenost od oka značíme a_R . Její převrácená hodnota (vergence) AR představuje axiální refrakci optického systému oka.

Blízký bod P (punctum proximum). Je to bod ležící na optické ose, který se zobrazí na sítnici oka při maximální akomodaci. Jeho vzdálenost od oka značíme a_P . [15]

Amplitudu akomodace můžeme vypočítat pomocí vztahu:

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

Podobně můžeme vypočítat akomodační výkon potřebný na danou vzdálenost a :

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

U emetropa nebo správně vykorigovaného ametropa se amplituda akomodace rovná převrácené hodnotě blízkého bodu:

$$AA = \left| \frac{1}{a_P} \right|.$$

Tento vztah se obvykle užívá při klinickém měření AA .

Amplitudu akomodace měříme pomocí dvou metod:

1. Metoda push up/ push down
2. Metoda rozptylky

Metoda rozptylky není tak spolehlivá jako push up/ push down test, a může být přesně použita pouze s foropterem. Proto se podrobněji zmíníme jen o metodě push up/ push down.

Metoda push up/ push down

Test se provádí s optimální korekcí. Pokud test provádíme u začínajících presbyopů, měli by mít adici (+1,0 D pro věk 45 – 55 let), aby mohli pozorovat stimuly v normě blízkého bodu. U malých dětí s vysokými amplitudami se běžně přidávají čočky –3,0 D (umístění blízkého bodu dál od očí). Testuje se nejprve monokulárně a pak binokulárně. Při měření amplitudy akomodace push up/ push down metodou posunujeme jezdce na akomodačním pravítku (nebo čtecí kartu) ze 40 cm směrem k nosu a sledujeme, kdy se text poprvé rozostří. Pokud je vyšetřovaný schopný zaostřit první rozostření textu, pokračujeme v posouvání jezdce blíže k nosu, dokud nedocílíme stálého rozostření. Tuto vzdálenost si zaznamenáme. Poté postupně posouváme jezdce směrem od kořene nosu, dokud se písmena opět nezaostří, a vzdálenost opět zaznamenáme. Amplitudu akomodace získáme z dioptrického průměru těchto dvou hodnot. Zopakujeme postup pro levé oko a pak binokulárně. U mladých dospělých nejsou odlišnosti menší než 1,5 D klinicky významné. Přesný postup metody měření vysvětluje publikace [11].

Tab. 5: Normální hodnoty

Věk	AA/D		
	Push-up Donders	Push-down Duane	Rozptylka Sheard
10	14,00	11,00	-
15	12,00	10,50	11,00
20	10,00	9,50	9,00
25	8,50	8,50	7,50
30	7,00	7,50	6,50
35	5,50	6,50	5,00
40	4,50	5,50	3,75
45	3,50	3,50	-
50	2,50	-	-
55	1,75	-	-

(převzato a upraveno z [11], s. 193)

2.4.2 Relativní akomodace

Relativní akomodace (RA) nám udává, o kolik můžeme zvýšit (případně snížit) akomodaci na danou vzdálenost, aniž se naruší ostré JBV. Vyšetřujeme pozitivní (PRA) a negativní (NRA) relativní akomodaci.

Pozitivní relativní akomodaci (PRA) navozujeme předkládáním rozptylek. Se zvýšenou akomodací roste akomodační konvergence, která je kompenzována pozitivní fúzní vergencí.

Negativní relativní akomodace (NRA) nastává uvolňováním akomodace při předkládání spojek. S uvolněnou akomodací se uvolní akomodační konvergence.

Testujeme na vzdálenost 40 cm. Vyšetřovaný sleduje nejmenší přečtený řádek na čtecí kartě. Při měření PRA binokulárně předřazujeme rozptylky (navozujeme akomodaci) až se písmena rozmažou (mohou se i rozdvojit). Při měření NRA binokulárně předřazujeme spojky (uvolňujeme akomodaci), až se písmena rozmažou (nebo rozdvojí).

Tab. 6: Normální hodnoty

Pozitivní relativní akomodace (PRA)	Negativní relativní akomodace (NRA)
průměr: $-2,37$ D rozsah: $-1,75$ až $-3,0$ D	průměr: $+2,0$ D rozsah: $+1,75$ až $+2,25$ D

(převzato z [12], snímek 39)

2.4.3 Akomodační facilita

Akomodační facilita je schopnost dostatečně pružně, rychle, přesně reagovat na změny akomodace. Snížená akomodační facilita patří mezi symptomy pozorované při měření nablízko. Může se vyskytovat dokonce tehdy, jsou-li ostatní měření (jako např. amplituda akomodace) v normálu. Akomodační facilitu můžeme měřit pomocí $\pm 2,0$ D flipru.

$\pm 2,0$ D flipr

Test provádíme se čtecí kartou a přídavným fliprem $\pm 2,0$ D (viz obr. 13). Tento flipr, který se skládá ze 2 párů sférických čoček hodnoty $+2,0$ D a $-2,0$ D, se využívá k určení schopnosti oka rychle měnit akomodaci beze změnyvergence. Pro srovnání výsledků měříme akomodační facilitu jak binokulárně, tak monokulárně. Někteří oftalmologové provádí prvně binokulární měření a jen když je binokulární facilita slabá, následuje monokulární měření. Pokud jsou výsledky binokulárního měření nízké, ale

monokulární výsledky v normě, binokulární dysfunkce nesouvisí s akomodační schopností. Měření může být užitečné při diagnostice u symptomatických pacientů, kteří mají problémy s binokulárním viděním a jejichž forie a zraková ostrost jsou normální. Zdá se, že snížená facilitita koreluje se symptomy nablízko – pokud jsou symptomy zmírněny léčbou, facilitita vzrůstá. Přesný postup této metody měření je vysvětlen v publikaci. [11]

Obr. 13: +/-2 flipr



(foto: Jan Zemek)

Normální hodnoty: MAF (monokulárně) asi 11 cpm, BAF (binokulárně) asi 8 cpm. [12]

2.4.4 Akomodační odezva

Akomodační odezva představuje konkrétní reakci oka na akomodační stimul. Při pohledu do blízka je o něco slabší (do dálky silnější), než je teoreticky zapotřebí (například předmět ve vzdálenosti 40 cm poskytuje podnět pro akomodaci 2,5 D, ale akomodační reakce bude menší, asi 2,0 D). Díky nenulové hloubce ostrosti optické soustavy oka je sledovaný objekt vnímán ostře. Akomodační odezvu je možné objektivně změřit použitím metody monokulárního odhadu (MEM), nebo subjektivně metodou zkřížených cylindrů. V dalším textu bude podrobněji objasněna metoda MEM, která podává lepší výsledky než metoda křížového cylindru.

Metoda monokulárního odhadu (MEM)

Metoda MEM (monocular estimation method) využívá skiaskopie při akomodaci vyšetřovaného na blízký předmět umístěný v rovině diaskopu, tj. při měření znamená hodnota sférických čoček nutných pro neutralizaci červeného reflexu za dané situace. Kladné sféry poukazují na nadměrnou akomodaci, záporné sféry na nedostatečnou akomodaci. Akomodační nadbytek větší než 1,00 D může indikovat nekorigovanou presbyopii či hypermetropii, naopak při hodnotách 0 a méně se může jednat např. o nadměrnou akomodaci. [11]

Normální hodnoty: +0,25 až +0,75 D [16]

3 Vztah akomodace a vergence

Akomodační a vergenční procesy jsou vzájemně provázané a úzce spolu souvisí. Akomodace dává impuls ke konvergenci a obráceně konvergence dává impuls k akomodaci. Při pohledu do dálky (minimální akomodace) jsou oční osy paralelní, aby mohl zobrazovaný předmět dopadat do makuly. Při pohledu do blízka (maximální akomodace) se zvyšuje konvergence a dochází k zúžení zornic, aby byla zachována ostrost vidění.

Vzájemného vztahu mezi akomodací a vergencí (resp. konvergencí) využíváme při měření kvality binokulárních funkcí. V klinické praxi se tento vztah zapisuje pomocí AC/A a CA/C poměru. Tyto poměry si více rozvedeme v podkapitolách Akomodační konvergence a Konvergenční akomodace.

3.1 Akomodační konvergence

Akomodační konvergence (AC) je složka konvergence, která je navozená akomodací. Při akomodaci je dán současně impulz vergenčnímu systému, jenž vede ke zvýšení konvergence o její akomodační složku. [17]

3.1.1 AC/A poměr

AC/A poměr popisuje změnu akomodační konvergence (AC) při jednotkové změně akomodace (A). Tedy udává, o kolik prizmatických dioptrií se změní konvergence při změně akomodace o 1 D.

AC/A poměr lze stanovit při pohledu do dálky i do blízka. Hodnoty určené pro různé vzdálenosti se mohou lišit. Rozdílné výsledky mohou být také způsobeny délkou doby disociace obrazů nebo předešlou adaptací na prizmata. Věk vyšetřovaného má na AC/A poměr jen slabý vliv, jelikož se předpokládá, že snaha vyvolat změnu akomodace je s věkem neměnná. [18]

3.1.2 Metody měření AC/A poměru

AC/A poměr se obvykle měří dvěma metodami: početní a gradientní. Početní metoda AC/A poměru je dána vztahem mezi forií do blízka a do dálky. Tato metoda obvykle dává vyšší hodnoty AC/A poměru (než gradientní), jelikož vědomí blízkého předmětu zvyšuje konvergenci nablízko (proximální konvergenci). Při gradientní metodě žádná změna proximální konvergence nenastává. Někteří vědci se domnívají, že početní metoda dává přesnější hodnoty, ačkoli tuto metodu mohou ovlivnit změny v tonické vergenci, a může tedy být méně přesná. Nevýhoda početní metody je v tom, že je akomodace přítomná pouze při měření heteroforie nablízko. Gradientní metoda je spolehlivější při určování efektu refrakční korekce na odchylku v dané vzdálenosti. [18]

3.1.2.1 Početní metoda

Fakt, že většina lidí je do blízka spíše exoforická, vedl ke vzniku konceptu fyziologické exoforie. Například tabulky OEP (*optometric extension program*) indikují hodnoty horizontální forie 0,5 pD exoforie na 6 m a 6 pD exoforie na 40 cm. Z toho vyplývá psychologická exoforie 5,5 pD. Koncept fyziologické exoforie můžeme v souladu s publikací [1, s. 235 – 236] při výpočtu AC/A poměru využít následovně:

$$AC/A = \frac{15 - \text{fyziologická exoforie}}{2,5}$$

Například, pro vyšetřovaného s pupilární vzdáleností 60 mm je stimul konvergence (na 40 cm) 15 pD ($= 6 \cdot \frac{1}{0,4}$ pD). Stimul pro akomodaci na tuto vzdálenost je 2,5 D ($= \frac{1}{0,4}$ D). Pokud vyšetřovaný používá 15 pD akomodační konvergence na vzdálenost 40 cm, AC/A poměr bude následující: $15/2,5 = 6$ pD/D. Pro daného vyšetřovaného může být množství fyziologické exoforie zjištěno pomocí srovnání o kolik má vyšetřovaný větší exoforii do blízka než do dálky. Když je vyšetřovaný ortoforický do dálky a do blízka má 5 pD exoforie, fyziologická exoforie bude 5 pD a AC/A poměr vypočítáme:

$$AC/A = \frac{15 - 5}{2,5} = 4 \text{ pD/D}$$

Vyšetřovaný, který je ortoforický do dálky a do blízka má 5 pD esoforie, je méně exoforický do blízka než do dálky, což poukazuje na fyziologickou exoforii -5 pD. AC/A poměr je:

$$AC/A = \frac{15 - (-5)}{2,5} = 8 \text{ pD/D}$$

Pokud jsou forie do dálky a do blízka rovné, není přítomna fyziologická exoforie a AC/A poměr je 15/2,5, tedy 6 pD/D.

Normální hodnoty: 4/1 až 7/1 pD/D [19]

3.1.2.2 Gradientní metoda

Z klinického hlediska je významnější gradientní metoda měření AC/A poměru, protože udává přímo změnu konvergence při dané změně akomodace. Tato metoda se využívá např. při korekci heteroforií pomocí adice či antikorekce.

Gradientní metoda zahrnuje měření více než jedné horizontální forie. AC/A poměr lze testovat jak do dálky (6 m), tak do blízka (40 cm) prostřednictvím různých stimulů pro akomodaci pomocí přídavných sférických čoček, obvykle +1 D, +2 D nebo -1 D, -2 D. Změna forie ΔHTF způsobená změnou ΔA stimulu pro akomodaci nám dá hodnotu gradientního AC/A poměru $\Delta\text{HTF}/\Delta A$ ([1], s. 235). Vyšetřujeme s plnou korekcí. Změnu forie můžeme stanovit různými technikami. Jednotlivé alternativy měření gradientního AC/A podle použité metody měření forie budou uvedeny v dalším textu.

Například uvažujme, že při vyšetřování na 40 cm vykazoval vyšetřovaný exoforii 4 pD. Při předložení -1 D, resp. +1 D se exoforie změnila na 1 pD, resp. 8 pD. Přidání rozptylek způsobilo pokles v exoforii ($\Delta\text{HTF} = 3 \text{ pD}$) daný stimulováním přídavné akomodace a akomodační konvergence. Naopak přidání spojky způsobilo vzestup v exoforii daný utlumením akomodace a akomodační konvergence, $\Delta\text{HTF} = 4 \text{ pD}$. Ze získaných údajů můžeme podle výše uvedeného vztahu stanovit AC/A poměr. V případě předložení -1 D bude AC/A = 3/1 pD/D, pro spojku AC/A = 4/1 pD/D.

Normální hodnoty: 2 až 3 pD/D [12]

Měření AC/A poměru do dálky

Maddoxův test

Při vyšetřování AC/A poměru touto metodou standardně stanovíme nejprve hodnotu forie do dálky metodou Maddoxova kříže, viz podkapitola Základní veličiny vergence a jejich měření. Následně měření zopakujeme s předloženou sférickou čočkou -1 D, -2 D (může se použít jakýkoli pár minusových čoček, ale -2 D umožňuje přiměřený akomodační podnět pro většinu vyšetřovaných). Ze změny stanovené heteroforie spočítáme AC/A poměr.

Například, vyšetřovaný hlásí první hodnotu $0,75$ pD eso, s binokulárně předloženou minusovou sférou -1 D hlásí hodnotu $2,5$ pD eso, se sférou -2 D hlásí hodnotu $4,33$ pD eso. AC/A poměr (s předloženou sférou -1 D) bude tedy $(2,5 - 0,75)/1$ pD/D = $1,75$ pD. AC/A poměr (s předloženou sférou -2 D) bude tedy $1,8$ pD.

Měření AC/A poměru do blízka

Modifikovaná Thoringtonova technika

U Thoringtonovy metody je důležitá dobrá kontrola akomodace – zaostření na text (stupnice s čísly). Tato metoda vykazuje ze všech metod nejpřesnější výsledky.

Při vyšetřování AC/A poměru touto metodou standardně stanovíme nejprve hodnotu forie do blízka Thoringtonovou metodou, viz podkapitola Základní veličiny vergence a jejich měření. Následně měření zopakujeme s binokulárně předřazenou sférickou čočkou $+1$ D ($+2$ D), -1 D (-2 D) a opět zaznamenáme změnu heteroforie. Ze změny stanovené heteroforie spočítáme AC/A poměr. Ve výsledku tak získáme čtyři hodnoty AC/A poměru, které můžeme srovnávat (hodnoty by se měly rovnat nebo lehce lišit).

Zápis

$$AC/A = \frac{(\text{forie s přídatnými čočkami} - \text{základní forie})}{\text{absolutní síla přídatných čoček}}$$

Esoforie určuje kladné hodnoty, exoforie záporné. Například: naměříme vyšetřovanému exoforii 2 pD při jeho dosavadní korekci. S přidanou hodnotou -2 D k jeho původní korekci naměříme esofořii 6 pD. Poměr AC/A pak vypočítáme takto:

$$AC/A = \frac{\{6-(-2)\}}{[2]} = \frac{8}{2} = 4pD/D$$

Normální hodnoty: 3 až 5pD/D [11]

Von Graefeho technika

Při vyšetřování AC/A poměru touto metodou standardně stanovíme nejprve hodnotu forie do blízka Graefeho technikou, viz podkapitola Základní veličinyvergence a jejich měření. Poté předložíme binokulárně přídavnou plusovou korekci +1 D (+2 D) a znovu zaznameneáme posunutí. Stejný postup opakujeme s přidáním minusové korekce -1 D (-2 D). AC/A poměr dostaneme rozdílem dvou hodnot. Získáme opět dva (nebo čtyři) výsledky, které můžeme srovnat.

Například, první hodnota, kterou vyšetřovaný hlásí je 6 pD exo. Při předložení plusové korekce (+1 D) hlásí 9 pD exo. Potom AC/A poměr spočítáme jako $(9 - 6)/1$ pD/D = 3 pD/D. Dále pak při předložení minusové korekce (-1 D) hlásí 3 pD exo. AC/A poměr vychází 3 pD/D. Hodnoty AC/A poměru by měly být shodné nebo se lehce lišit.

3.1.2.3 Mallettova metoda

Pro vyšetření AC/A poměru lze podle publikace [20] též využít Mallettův test pro vyšetřování fixační disparity a asociační forie.

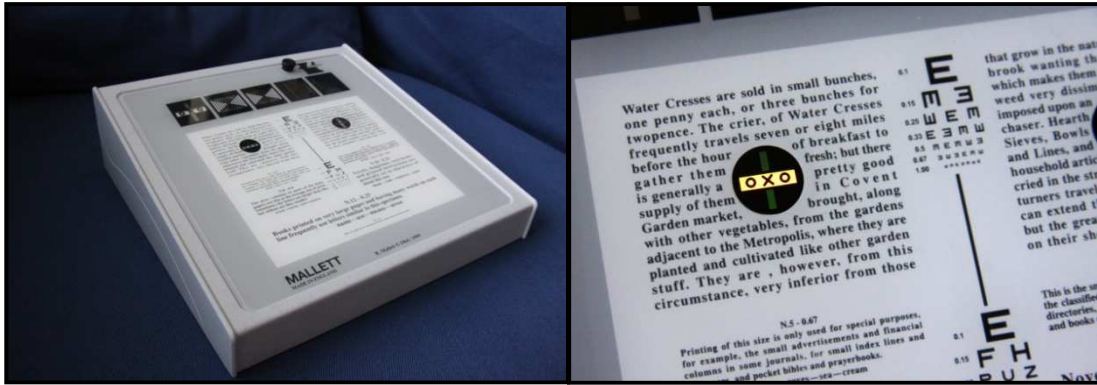
Pokud test nevykazuje žádnou fixační disparitu, určíme AC/A poměr jako poměr prizmatické hodnoty, při které dojde poprvé k vychýlení testu z nulové pozice, a hodnoty binokulárně předsazené sférické čočky, při které dojde k témuž vychýlení testu. Porovnáváme výchyly s použitím prizmatu BI a rozptylek, resp. BO a spojek (jen při měření AC/A poměru do blízka). Minimální síla prizmatu a sféry při uskočení obrazu dá požadovaný poměr.

V případě, že je přítomna fixační disparita, stanovíme AC/A poměr jako poměr minimálního prizmatu potřebného pro korekci fixační disparity (tj. asociační forie) a dioptrické hodnoty binokulárně předsazené sférické čočky, která bude mít tentýž efekt. Proto do dálky používáme jak BI a rozptylky, tak BO a spojky (méně časté).

Například, když bude potřeba k odstranění odchyšky 4 pD BI (monokulárně) nebo sféry s -2 D (binokulárně), bude AC/A poměr (prisma/sféra) 2 pD/1 D.

Normální hodnoty: 4 pD/D [20]

Obr. 13: Mallettův test do blízka



(foto: Jan Zemek)

3.2 Konvergenční akomodace

Změna v horizontální vergenci je doprovázena odpovídající změnou akomodačního stavu očí, tj. při konvergenci vzniká impuls pro akomodační systém vedoucí ke zvýšení akomodace o její konvergenční složku. Tato složka je známá jako konvergenční akomodace (CA).

3.2.1 CA/C poměr

CA/C poměr popisuje změnu konvergenční akomodace (CA) na jednotku změny v konvergenci (C). Udává, kolik dioptrií (D) akomodujeme na jednu prizmatickou dioptrii (pD) konvergence. Měření CA/C poměru je velice obtížné, a proto se v klinické praxi neměří.

Normální hodnoty: 1/10 D/pD [2]

3.3 Vliv AC/A poměru na vergenční dysfunkce

Hodnoty AC/A poměru nám mohou charakterizovat poruchy vergenčního systému. Podle jejich velikosti můžeme určit, o jaký typ vergenční dysfunkce se jedná.

Tyto poruchy vedou k neschopnosti očí přesně fixovat a stabilizovat obraz na sítnici. Pro schematické znázornění si vergenční dysfunkce uvedeme v tab. 8 a následně jednotlivé typy krátce popíšeme.

Tab. 8: Velikost AC/A poměru u jednotlivých vergenčních dysfunkcí

<i>AC/A poměr</i>		
<i>nízký</i>	<i>vysoký</i>	<i>normální</i>
Konvergenční insuficience	Exces divergence	Vergenční insuficience
Divergenční insuficience	Exces konvergence	Základní esoforie
		Základní exoforie

(vlastní zpracování dle [21])

3.3.1 Typy vergenčních dysfunkcí při nízkém AC/A poměru

Konvergenční insuficience (nedostatečná konvergence). Klasická konvergenční insuficience sestává z oddáleného blízkého bodu konvergence, exoforie do blízka, snížené pozitivní fúzní konvergence a nedostatků v negativní relativní akomodaci. Avšak ne každý pacient má všechny tyto nálezy. Konvergenční insuficience je popisována buď jako nedostatek pozitivní fúzní konvergence spojený s požadavkem, nebo jako nedostatek celkové konvergence (jak ukazuje měření blízkého bodu konvergence).

Divergenční insuficience (nedostatečná divergence). U pacientů s divergenční insuficiencí je tonická esoforie vysoká při měření na dálku, ale nízká při měření nablízko. Symptomatictí pacienti mají obvykle nízkou fúzní divergenční amplitudu na dálku a nízký AC/A poměr. [21]

3.3.2 Typy vergenčních dysfunkcí při vysokém AC/A poměru

Exces divergence (nadměrná divergence). Exces divergence je popisován jako exoforie či exotropie, při které je rozdíl odchylky na dálku a nablízko nejméně 10 pD.

Exces konvergence (nadměrná konvergence). Pacient s excesem konvergence má exoforickou odchylku nejméně o 3 pD větší nablízko než do dálky. Původ této nadměrné eso odchylky nablízko je obvykle indikován vysokým AC/A poměrem. [21]

3.3.3 Typy vergenčních dysfunkcí při normálním AC/A poměru

Základní esoforie. Pacienti se základní esoforií mají vysokou tonickou esoforii na dálku a podobný stupeň esoforie nablízko. AC/A poměr mají normální.

Základní exoforie. Pacient se základní exoforií má odchylku podobného rozsahu jak na dálku, tak nablízko.

Vergenční insuficience (fúzní vergenční dysfunkce). Pacienti s vergenční insuficiencí často mají normální forie a AC/A poměr. Mívají však sníženou fúzní vergenční amplitudu. Jejich zóna jasného jednoduchého binokulárního vidění je malá. [21]

3.3.4 Využití AC/A poměru při řešení vergenčních dysfunkcí

Pokud je dysfunkce doprovázena dostatečně silným AC/A poměrem, lze hodnotu heteroforie upravit vhodnou změnou akomodace, která navodí požadovanou změnu konvergence. Toho lze dosáhnout úpravou sférické části korekce. Při dysfunkcích s exoforií lze odchylku eliminovat navozením akomodace změnou sférické části korekce směrem k minusovým dioptriím, tzv. antikorekcí (zápornou adicí). Tato úprava lze využít jak při potížích do dálky, tak do blízka a aplikuje se většinou jako dočasné řešení zejména u dětí nebo jako doplněk zrakového tréninku. Při eso-odchykách lze odchylku snížit uvolněním akomodace úpravou sféry směrem k plusovým dioptriím (adice). Tato úprava se aplikuje s výhodou při potížích do blízka, kde se v podstatě jedná o adici. Při problémech do dálky je opodstatněná, pokud předpokládáme nedokorigovanou hypermetropii. Potom je vhodnější ověřit úpravu při cykloplegické refrakci.

Hodnotu kladné či záporné adice lze stanovit tak, že postupně aplikujeme adici a sledujeme změny heteroforie, popř. fixační disparity, až dojde k jejímu poklesu

na normální hodnoty, popř. až je disparita vykompenzována. Hodnotu lze též odhadnout výpočtem při znalosti AC/A poměru. Například při $AC/A = 5 \text{ pD/D}$ (tj. změna akomodace o 1 D způsobí změnu konvergence o 5 pD) a esoforii do blízka 10 pD (do dálky je ortoforie) lze použít adici +2 D pro úplnou eliminaci esoforie (normální hodnoty forie do blízka jsou 0 až exoforie 6 pD). Pokud máme např. exoforii do blízka 8 pD a $AC/A = 2 \text{ pD/D}$ (tj. změna akomodace o 1 D způsobí změnu konvergence o 2 pD), lze aplikovat antikorekci -1 D pro úpravu exoforie na hodnotu 6 pD, která již je normální.

3.4 Refrakční vady

Pokud při refrakční vadě není správným způsobem nošena odpovídající korekce, může dojít prostřednictvím AC/A poměru k navození heteroforie. Níže budou rozepsány případy jednotlivých refrakčních vad.

Nekorigovaná myopie

Pokud myop nenosí korekci, akomoduje na blízké předměty méně. Tedy je prostřednictvím AC/A poměru navozena slabší akomodační konvergence. Snížené akomodační úsilí (do blízka) vede ke vzniku exoforie do blízka. Nošením správné korekce refrakční vady do blízka lze tuto forii korigovat. Při pohledu do dálky myop vidí rozmazaně, ale akomodace se nemění. Tento stav tedy nemá na forii do dálky vliv.

Např. myop při AC/A poměru 2 pD/1 D a brýlové korekci -2,5 D na vzdálenost 40 cm neakomoduje (daleký bod má ve 40 cm), tj. $AC = 0$. Rozdíl oproti stavu s plnou korekcí (AC s korekcí = $2 \cdot 2,5 = 5 \text{ pD}$) je 5 pD.

Při nošení správné korekce může mít myop (pokud byl dlouho podkorigován) dočasnou esoforii do blízka vzhledem k možné předchozí adaptaci na exoforii. Tato esoforie se upraví návykem na korekci.

Nekorigovaná hypermetropie

Jestliže hypermetrop nenosí korekci, je nucen pro zachování ostrého vidění akomodovat jak do blízka, tak i do dálky. Tato akomodace prostřednictvím AC/A poměru navozuje akomodační konvergenci jak do blízka, tak do dálky. V důsledku bude do dálky prezentována esoforie. Stav do blízka bude záviset na hodnotě fyziologické

exoforie, která bude nyní snížena o nadměrně navozenou konvergenci. Situace může vést až k nežádoucí esoforii do blízka.

Např. hypermetrop při AC/A poměru 2 pD/1 D a brýlové korekci +2,5 D bude při nenošení této korekce nucen akomodovat o 2,5 D více, tj. prostřednictvím AC/A poměru bude navozena konvergence 5 pD. Ta se projeví esoforií 5 pD do blízka nebo redukcí případné fyziologické exoforie o 5 pD.

V případě silné hypermetropie u dětí může forie přejít až v tropii (zjevné šilhání). Pokud je tropie plně navozena nekorigovanou refrakční vadou, hovoříme o tzv. akomodačním strabismu. V tomto případě je nutná plná korekce refrakční vady. Pokud není vada dlouhodobě korigována, následná plná korekce nemusí strabismus úplně odstranit.

Presbyopie

V důsledku úbytku akomodace s věkem je oslabována akomodační konvergence. To vede k pozorovatelnému růstu exoforie v období od 20 do 50 let o hodnotu až 6 pD [18]. Tento stav může u presbyopů vést k dekompenzaci exoforie do blízka a je nutné jej řešit tréninkem nebo prizmatickou korekcí. Vzhledem k absenci akomodace u presbyopů nelze využít antikorekce (záporná adice).

3.5 Experimentální srovnání různých technik vyšetřování gradientního AC/A poměru

3.5.1 Cíle studie

AC/A poměr je velice důležitá veličina pro analýzu binokulárního vidění. Existují různé metody měření AC/A poměru. Z klinického hlediska je nejvýznamnější gradientní metoda, jelikož přímo udává změnu konvergence při dané změně akomodace, a tedy zahrnuje měření více než jedné horizontální forie.

Cílem provedené studie je experimentální srovnání různých testů pro měření AC/A poměru gradientní a Malettovou metodou. Konkrétně se jedná o srovnání Maddoxova, Thoringtonova a Malettova testu.

3.5.2 Metodika a vyšetřované osoby

Vyšetřeno bylo celkem 12 osob ve věkovém rozmezí od 21 do 31 let, průměrný věk byl 23 let (směr. odchylka 3 roky.). Nejprve se u každé osoby vyšetřovala objektivní a následně subjektivní refrakce metodou nejlepší sféry a zkřížených cylindrů. Následně se měřil se stanovenou korekcí AC/A poměr jednotlivými studovanými metodami. Metody byly provedeny v souladu s postupy v podkapitole Metody měření AC/A poměru. Jako první byl určen AC/A poměr s využitím Maddoxova cylindru a Maddoxova kříže na vzdálenost 6 m při předsazení čoček $-1,0$ D a $-2,0$ D. Poté se stanovil AC/A poměr pomocí Maddoxova cylindru a Thoringtonovy karty na vzdálenost 40 cm při předsazení čoček $-1,0$ D, $+1,0$ D a $-2,0$ D, $+2,0$ D. Nakonec se určil AC/A poměr pomocí polarizačních předsádek a Malettova testu na vzdálenost 6 m i 40 cm při předřazení prizma BI a rozptylek (BO a spojek). Všechna měření byla zaznamenávána do protokolu, jehož vzor je na obr. 14.

Obr. 14: Vyšetřovací protokol

Protokol č.									
Dosavadní Rx [D]		Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P	P	Bino	P	Bino	P	Bino	P	Bino	P
L	L		L		L		L		L
Objektivní Rx [D]		Subjektivní Rx [D]		Vcc dálka		Vcc blízko			
P	P	P	P	Bino	P	Bino	P	Bino	
L	L	L	L		L		L		
Maddoxův test (dálka)									
HTF s vlastní korekcí (na 6.m)		AC/A poměr [pD/D]							
		s -1 D				s -2 D			
Thoringtonův test (blízko)									
HTF s vlastní korekcí (na 40.cm)		AC/A poměr [pD/D]							
		s $+1$ D		s -1 D		s $+2$ D		s -2 D	
Malletův test (dálka)									
FD jen s korekcí	Prisma [pD]	Úprava sféry [D]		AC/A poměr [pD/D]					
Malletův test (blízko)									
FD jen s korekcí	Prisma [pD]	Úprava sféry [D]		AC/A poměr [pD/D]					

(vlastní zpracování)

3.5.3 Výsledky a diskuze

Protokoly jednotlivých účastníků výzkumu můžete vidět v příloze práce. Souhrnně jsou stanovené hodnoty AC/A poměru uvedeny v přehledné tab. 9. Dále byla pro každý test spočítána průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Tyto jsou prezentovány v tab. 10 a 11.

Průměrné hodnoty AC/A poměru u jednotlivých testů se pohybovaly v rozmezích od 1,5 do 3,0 pD/D. Tyto hodnoty nejvíce odpovídají publikaci [12], která udává normální hodnoty AC/A poměru 2 až 3 pD/D. Nejlepší výsledky při měření AC/A poměru do dálky vykazoval Malletův test, kde průměrný AC/A poměr vyšel 2,0 pD/D (směr. odchylka 1,2). Nicméně se ukázalo, že Maddoxův test je trochu stabilnější (směr. odchylka 1,0) při předsazení čoček -1 D.

U měření AC/A poměru do blízka vykazoval nejlepší hodnotu Thoringtonův test při předložení plusových čoček $+1$ D, $+2$ D. Nejvíce stabilní výsledky odpovídaly AC/A poměru 2,7 pD/D (směr. odchylka 1,0) při předsazení čoček $+1$ D. Nejméně přesné výsledky vykazoval Malletův test. Z vlastního sledování jsem určila, že Thoringtonův test je nejlepší test pro měření AC/A poměru z hlediska jednoduchosti pochopení a rychlosti. Občasné potíže se vyskytovaly při měření na Malletově testu, kde někteří vyšetřovaní špatně reagovali na změnu předřazených čoček.

Tab. 9: Souhrnný přehled hodnot AC/A poměru u jednotlivých figurantů při použití různých alternativ měření

figurant	AC/A poměr dálka				AC/A poměr blízko					
	Maddoxův test		Malletův test		Thoringtonův test				Malletův test	
	-1 D	-2 D	Bl/rozptylky	BO/spojky	+1 D	-1 D	+2 D	-2 D	Bl/rozptylky	BO/spojky
1.	1,50	1,33	1,45	-	2,00	3,50	3,00	2,25	0,80	2,00
2.	2,67	4,25	-	2,00	2,25	3,00	3,40	2,90	2,00	6,00
3.	1,25	2,75	1,00	-	2,00	4,00	2,50	5,50	6,00	6,00
4.	1,42	2,13	4,00	-	3,00	3,00	1,75	3,00	2,50	-
5.	0,33	0,17	-	4,00	3,00	3,00	2,50	2,50	1,00	1,70
6.	0,75	2,83	0,89	-	2,00	6,00	1,25	5,75	-	2,00
7.	1,75	1,80	1,33	-	4,50	2,00	3,50	1,75	1,33	1,33
8.	1,33	3,17	1,80	-	3,00	3,00	3,00	1,75	1,60	1,00
9.	0,20	0,20	1,60	-	3,00	2,00	2,50	2,00	4,00	4,00
10.	3,75	5,00	3,40	-	3,50	1,00	5,00	2,00	4,00	-
11.	2,42	2,83	3,00	-	3,00	4,00	2,00	4,00	4,00	4,31
12.	1,00	4,33	0,89	-	0,50	1,00	0,50	1,00	2,40	0,33

Tab. 10: Průměrná hodnota a směrodatná odchylka AC/A poměru (do dálky)

AC/A poměr dálka [pD/D]					
Maddoxův test při předložení čoček				Malletův test při předložení prizma/sféry	
-1,0 D		-2,0 D		BI/rozptylky (BO/spojky)	
průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
1,5	1,0	2,6	1,5	2,1	1,2

Tab. 11: Průměrná hodnota a směrodatná odchylka AC/A poměru (do blízka)

AC/A poměr blízko [pD/D]											
Thoringtonův test při předložení čoček:								Malletův test při předložení prizma/sféry:			
+1,0 D		-1,0 D		+2,0 D		-2,0 D		BI/rozptylky		BO/spojky	
průměr	směr. odch.	průměr	směr. odch.	průměr	směr. odch.	průměr	směr. odch.	průměr	směr. odch.	průměr	směr. odch.
2,7	1,0	3,0	1,4	2,6	1,2	2,9	1,5	2,7	1,6	2,9	2,1

Závěr

Podstatou této práce byla studie týkající severgence, akomodace a jejich vzájemného vztahu. Proto jsem vytvořila souhrnný přehled popisující podstatu a podtrhující důležitost daného tématu. V teoretické části jsem shrnula nejrozsáhlejší poznatky získané z odborných publikací, zejména z anglicky psané literatury. Také jsem popsala metody vyšetření AC/A poměru, které se staly základem pro výzkum. V praktické části se zabývám experimentálním srovnáním různých technik vyšetřování gradientního AC/A poměru.

Mého výzkumu se účastnilo 12 osob ve věkovém rozmezí od 21 do 31 let. Nejprve jsem u každé osoby vyšetřovala objektivní a následně subjektivní refrakci metodou nejlepší sféry a zkřížených cylindrů. Následně jsem měřila se stanovenou korekcí AC/A poměr jednotlivými studovanými metodami. Všechny protokoly vyšetřovaných lze najít v příloze práce. Průměrné hodnoty AC/A poměru u jednotlivých testů se pohybovaly v rozmezích od 1,5 do 3,0 pD/D.

Nejlepší výsledky při měření AC/A poměru do dálky vykazoval Mallettův test, kde průměrný AC/A poměr vyšel 2,0 pD/D (směr. odchylka 1,2). Nicméně se ukázalo, že Maddoxův test je trochu stabilnější (směr. odchylka 1,0) při předložení čoček -1D.

U měření AC/A poměru do blízka vykazoval nejlepší hodnotu Thoringtonův test při předložení plusových čoček +1 D, +2 D. Nejvíce stabilní výsledky (směr. odchylka 1,0) odpovídaly tomuto testu při předložení čoček +1 D. Nejméně přesné výsledky vykazoval Mallettův test. Z vlastního sledování jsem určila, že Thoringtonův test je nejlepší test pro měření AC/A poměru z hlediska jednoduchosti pochopení a rychlosti. Občasné potíže se vyskytovaly při měření na Malletově testu, kde někteří vyšetřovaní špatně reagovali na změnu předřazených čoček.

Tato studie zobrazuje spíše orientační výzkum měření gradientního AC/A poměru. Nevykazuje konečné závěry z jednotlivých měření, jelikož počet vyšetřovaných není dostačující. Proto se domnívám se, že by tato práce mohla být námětem navazujícího výzkumu.

Seznam literatury

- [1] GROSVENOR, Theodore: Primary care optometry. 5th ed. St. Louis: Butterworth - Heinemann, 2007. 510 s. ISBN 13-978-0-7506-7575-8.
- [2] PLUHÁČEK, František: Normální BV, studijní materiály.
- [3] KUČHYŇKA, Pavel et al.: Oční lékařství. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2007. 812 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [4] AURATA, Rudolf; ČERNÁ, Jana: Nauka o zraku. 1. vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006. 226 s. ISBN 80-7013-362-7.
- [5] KRAUS, Hanuš a kol.: Kompendium očního lékařství. 1. Vydání. Praha: Grada Publishing, 1997. 341s. ISBN 80-7169-079-1.
- [6] http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Okohybne_svaly.png
- [7] HOWARD, Ian P.; ROGERS, Brian J.: Binocular Vision and Stereopsis. no. 29. New York, Oxford: Oxford university press, 1995. 736 s.
- [8] ROZSÍVAL, Pavel et al.: Oční lékařství. 1. vydání. Praha: Galén, 2006. 373 s. ISBN 80-7262-404-0.
- [9] ANTON, Milan: Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. 3. vydání. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. 96 s. ISBN 80-7013-402-x.
- [10] PLUHÁČEK, František: Poruchy binokulárního vidění, studijní materiály.
- [11] ELLIOTT, David: Clinical procedures in primary eye care. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 368 s. ISBN 13:9780750688963.
- [12] PLUHÁČEK, František: Vyšetřování, studijní materiály.
- [13] ČIHÁK, Radomír: Anatomie 3. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 1997. 655 s. ISBN 80-7169-140-2.
- [14] KRBEK, Matěj: Kdy korigovat malé oční vady. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. 60 s.

- [15] RUTRLE, Miloš: Brýlová optika. 1. vydání. Brno:Institut pro další vzdělání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. 144 s. ISBN 80-7013-145-4.
- [16] PLUHÁČEK, František, Musilová Lenka: Akomodace a vergence, studijní materiály.
- [17] http://is.muni.cz/th/101077/lf_m/diplomka_hotovo.txt
- [18] EWANS, J. W. Bruce: Binocular vision anomalies. 5th edition. Edinburg: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007. 454 s. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [19] NATHAN, Efron: Optometry A – Z. 1st pub. Edinburg: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007. 414 s. ISBN 978-0-7506-4913-1.
- [20] MALLET, R. F. J.: Mallet near vision unit ICO marketing. (Návod a instrukce pro obsluhu zařízení a vyhodnocení Malletovy jednotky do blízka) Londýn:1997.
- [21] 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.

Přílohy

Protokol č. 1

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -	P -	Bino	P -	Bino	P 1,0	Bino	P 1,0	Bino
L -	L -	-	L -	-	L 1,25	1,25	L 1,0	1,0

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -0,5/-0,25 ax 91	P plan/-0,25 ax 75	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L +0,25/-0,25 ax 67	L +0,25/-0,25 ax 85	L 1,25		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
4 cm exo	1,5	1,33		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
4 pD exo	2	3,5	3	2,25

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI	-2,75	1,45
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	2BI 2BO	-2,5 +1,0	2

Protokol č. 2

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P +0,25/-0,25 ax 161	P 1,6	Bino 1,6	P 1,0	Bino 1,0	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L +0,5/-0,5 ax 10	L 1,6		L 1,0		L 1,25		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P +0,75/-0,5 ax 166	P +0,25/-0,25 ax 161	P 1,6	Bino 1,6	P 1,0	Bino 1,0
L + 1,0/-1,0 ax 7	L +0,5/-0,5 ax 10	L 1,6		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
2 cm eso	2,67	4,25		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
0,5 pD exo	2,25	3,00	3,40	2,90

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
eso	1 BO	+0,5	2,00
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	6 BI 6 BO	-3,00 +1,00	2,00 6,00

Protokol č. 3

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -4,74/-0,5 ax 55	P 0,5	Bino	P 1,0	Bino	P <0,05	Bino	P 1,0	Bino
L -4,5	L 0,9	0,9	L 1,0	1,0	L <0,05	<0,05	L 1,0	1,0

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -5,5/-0,25 ax 72	P -5/-0,75 ax 65	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -4,5/-0,5 ax 93	L -4,75/-0,25 ax 100	L 1,0		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
6 cm eso	1,25		2,75	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
1 pD eso	2	4	2,5	5,5

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
exo	1 BI	-1,0	1
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	6 BI 6 BO	-1,0 +1,0	6 6

Protokol č. 4

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P +0,75	P 1,0	Bino 1,0	P 0,8	Bino 0,8	P 0,8	Bino 1,0	P 0,8	Bino 0,8
L +0,75	L 1,0		L 0,8		L 0,8			

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P +1,00/-0,25 ax 174	P +0,75	P 1,0	Bino 1,0	P 0,8	Bino 0,8
L +0,75/-0,25 ax 178	L +0,75	L 1,0		L 0,8	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
17,5 cm eso	1,42	2,13		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
1 pD eso	3	3	1,75	3

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI	-1,0	4
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
exo	1 BI	-0,5	2,5

Protokol č. 5

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -1,5	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0	P 0,12	Bino 0,12	P 1,0	Bino 1,0
L -1,5	L 1,25		L 1,0		L 0,12		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -1,25	P -1,5	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -1,0/-0,25 ax 44	L -1,5	L 1,25		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
7 cm exo	0,33		0,17	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
6 pD exo	3	3	2,5	2,5

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
eso	2 BO	+0,5	4
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	1 BI 6 BO	-1,0 +3,5	1 1,7

Protokol č. 6

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -	P -	Bino	P -	Bino	P 1,25	Bino	P 1,0	Bino
L -	L -	-	L -	-	L 1,25	1,25	L 1,0	1,0

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P plan	P +0,25	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L +0,5/-0,5 ax 18	L +0,25	L 1,25		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
5 cm eso	0,75	2,83		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
2 pD eso	2	6	1,25	5,75

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
eso	1 BO	+0,25	4
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
lehce eso	1 BO	+0,5	2

Protokol č. 7

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -1,75/-0,75 ax 180	P 1,0	Bino 1,0	P 1,0	Bino 1,0	P -	Bino	P 1,0	Bino 1,0
L -2,25/-1,25 ax 180	L 1,0		L 1,0		L -		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -2,0/-0,75 ax 10	P -1,75/-0,75 ax 180	P 1,0	Bino 1,0	P 1,0	Bino 1,0
L -2,0/-1,0 ax 12	L -2,25/-1,25 ax 180	L 1,0		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
4,5 cm eso	1,75		1,80	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
1 pD exo	4,5	2	3,5	1,75

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	1 BI	-0,75	1,33
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	2 BI 4 BO	-1,5 +3,0	1,33 1,33

Protokol č. 8

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -	P -	Bino	P -	Bino	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -	L -	-	L -	-	L 1,25		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P +0,5/-0,25 ax 18	P +0,25	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L +0,25/-0,25 ax 18	L plan/-0,25 ax 155	L 1,25		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
1 cm eso	1,33	3,17		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
3 pD exo	3	3	3	1,75

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI	-2,5	1,6
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI 2 BO	-2,5 +2,0	1,6 1,0

Protokol č. 9

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -4	P 1,0	Bino 1,0	P 1,0	Bino 1,0	P 0,16	Bino 0,16	P 1,0	Bino 1,0
L -4	L 1,0		L 1,0		L 0,12		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -4,5/-0,25 ax 175	P -4,25	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -4,5/-0,25 ax 29	L -4,25	L 1,0		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
6 cm exo	0,2		0,2	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
4 pD exo	3	2	2,5	2

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI	-2,5	1,6
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	10 BI 14 BO	-2,5 +3,5	4 4

Protokol č. 10

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -1/-0,25 ax 153	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0	P 0,2	Bino 0,25	P 1,0	Bino 1,0
L -1/-0,25 ax 175	L 0,8		L 1,0		L 0,16		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -2,0/-0,5 ax 162	P -1,75/-0,25 ax 165	P 1,6	Bino 2,0	P 1,0	Bino 1,0
L -2,0/-0,5 ax 13	L -1,75/-0,25 ax 170	L 1,6		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
8,5 cm eso	3,75		5,0	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
9 pD eso	3,5	1	5	2

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	4 BI	-0,75	5,3
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
eso	1 BI	-2,5	4

Protokol č. 11

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -	P -	Bino	P -	Bino	P 1,0	Bino	P 1,0	Bino
L -	L -	-	L -	-	L 0,8	1,25	L 1,0	1,0

Objektivní Rx [D]	Subjetivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -0,75	P -0,25	P 1,6	Bino 1,6	P 1,0	Bino 1,0
L -0,5/-0,25 ax 24	L -0,25/-0,25 ax 6	L 1,6		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D		s -2 D	
3 cm eso	2,42		2,83	
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
3 pD eso	3	4	2	4

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	6 BI	-2,0	3
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	8 BI 14 BO	-2,0 +3,25	4 4,31

Protokol č. 12

Dosavadní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko		Vsc dálka		Vsc blízko	
P -	P -	Bino -	P -	Bino -	P 1,0	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -	L -		L -		L 1,25		L 1,0	

Objektivní Rx [D]	Subjektivní Rx [D]	Vcc dálka		Vcc blízko	
P -1,0/-0,25 ax 173	P -0,25/-0,25 ax 160	P 1,25	Bino 1,25	P 1,0	Bino 1,0
L -0,75/-0,25 ax 24	L -0,25	L 1,25		L 1,0	

Maddoxův test (dálka)				
HTF s vlastní korekcí (na 6 m)	AC/A poměr [pD/D]			
	s -1 D	s -2 D		
orto	1,0	4,33		
Thoringtonův test (blízko)				
HTF s vlastní korekcí (na 40 cm)	AC/A poměr [pD/D]			
	s +1 D	s -1 D	s +2 D	s -2 D
orto	0,5	1	0,5	1

Malletův test (dálka)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	2 BI	-2,25	0,89
Malletův test (blízko)			
FD jen s korekcí	Prizma [pD]	Úprava sféry [D]	AC/A poměr [pD/D]
0	6 BI 1 BO	-2,5 +3	2,4 0,33