

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

**VERGENČNĚ-AKOMODAČNÍ SYSTÉM
A JEHO ZMĚNY S VĚKEM**

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:

Ivo Dubil

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2018/2019

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení:

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

V Olomouci dne 14.4. 2019

.....

Ivo Dubil

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., za vstřícný přístup, cenné rady a čas, který mi při psaní mé práce poskytl.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem “Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2018_007 a IGA_PrF_2019_005.

OBSAH

Úvod	6
1 Vergenční systém	7
1.1 Úvod do binokulárního vidění	7
1.1.1 Binokulární oční pohyby	7
1.2 Vergence	8
1.3 Složky konvergence	11
1.4 Okohybné odchylky a přehled vergenčních poruch.....	12
1.4.1 Heteroforie.....	13
1.4.2 Klasifikace vergenčních poruch	14
2 Akomodace	17
2.1 Složky akomodace	18
2.2 Akomodačně – vergenční vztahy	19
2.2.1 AC/A poměr	20
2.2.2 CA/C poměr.....	22
2.3 Presbyopie	22
2.3.1 Teorie presbyopie	23
3 Změny vergenčně – akomodačního systému s věkem.....	25
3.1 Změny vergenčně – akomodačních vztahů	25
3.1.1 Změny AC/A poměru	25
3.1.2 Změny CA/C poměru	26
3.2 Změny svalové rovnováhy, vznik vergenčních poruch.....	27
3.2.1 Exoforie	27
3.2.2 Esoforie.....	28
3.2.3 Insuficience konvergence	28
3.3 Změny blízkého bodu konvergence	29

3.4 Změny složek Maddoxova modelu	30
3.5 Shrnutí	32
Závěr	33
Seznam použité literatury	34

Úvod

Konvergence a akomodace. Dva jevy, které jsou spojeny s pohledem do blízka. Dva jevy, které nastávají společně. Oba zajišťují správnou funkci binokulárního vidění. Zatímco akomodace zajišťuje vytvoření ostrého sítnicového obrazu, vergenční pohyby jsou odpovědné za stočení očí tak, aby byl akomodací vytvořený obraz promítnut do místa nejostřejšího vidění. Souhra a vzájemné propojení akomodace avergence a fakt, že společně vytvářejí vergenčně – akomodační systém mě inspirovala pro výběr tohoto tématu.

Mnoho publikací, knih i odborných článků se věnuje akomodaci, především postupnému úbytku této schopnosti, který vede ke stavu zvanému presbyopie. Už méně pozornosti je věnováno věkem podmíněné změně vergenčního či vergenčně – akomodačního systému jako celku. Navíc názory, jak pokles schopnosti akomodace ovlivňuje vergenční systém, se často různí. Mým cílem bylo vytvořit práci, která přehledně mapuje tuto problematiku.

Práce je rozdělena do tří hlavních částí, přičemž první dvě poskytují nezbytné informace k pochopení třetí, stěžejní části. V první je popsán vergenční systém, včetně důležitých veličin a složek konvergence. První část je rovněž doplněna přehledem vergenčních poruch a stručným úvodem do binokulárního vidění. Dále je pozornost zaměřena na akomodaci. Jsou rozebrány složky akomodace a vysvětleny základní principy a zákonitosti tohoto jevu. Součástí druhé části je také pasáž věnovaná vergenčně – akomodačním vztahům a presbyopii. Tato pasáž je zvláště důležitá pro orientaci v třetí části, těžišti celé práce. Třetí část, vystavěná na základě rešerše literatury, shrnuje věkem podmíněné změny vergenčně-akomodačního systému jako celku. Popisuje vývoj a změnu vybraných parametrů charakterizujících vergenci a věnuje se změnám a vývoji vergenčně – akomodačních vztahů, svalové rovnováhy či změnám jednotlivých složek konvergence spojených s věkem.

1 Vergenční systém

Slovo vergence odkazuje na vergenční oční pohyby, které jsou nezbytnou součástí pro správnou funkci binokulárního vidění (viz kapitola 1.1). Na vergenci lze pohlížet jako na systém, protože se skládá ze 4 komponentů, jejichž správné nastavení a souhra je klíčová pro správnou funkci vergenčních pohybů, stejně jako pro bezproblémové binokulární vidění. Proto lze hovořit o vergenčním systému. [1,2]

1.1 Úvod do binokulárního vidění

Jednoduché binokulární vidění (*JBV*) je koordinovaná senzomotorická činnost obou očí, která vede k vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu. Pro jeho správnou funkci je potřeba souhry všech 3 složek binokulárního vidění, protože při dysfunkci kterékoliv z nich dochází k jeho narušení. Vzhledem k charakteru a tématu práce je nejpodstatnější **složka motorická**, která zabezpečuje takové postavení očí, aby byl obraz předmětu vytvořen v místě nejostřejšího vidění každého oka. **Optická složka** zajišťuje vytvoření ostrého obrazu pozorovaného předmětu a za převedení podráždění sítnice do korových center je zodpovědná **složka senzorická**. [3,4]

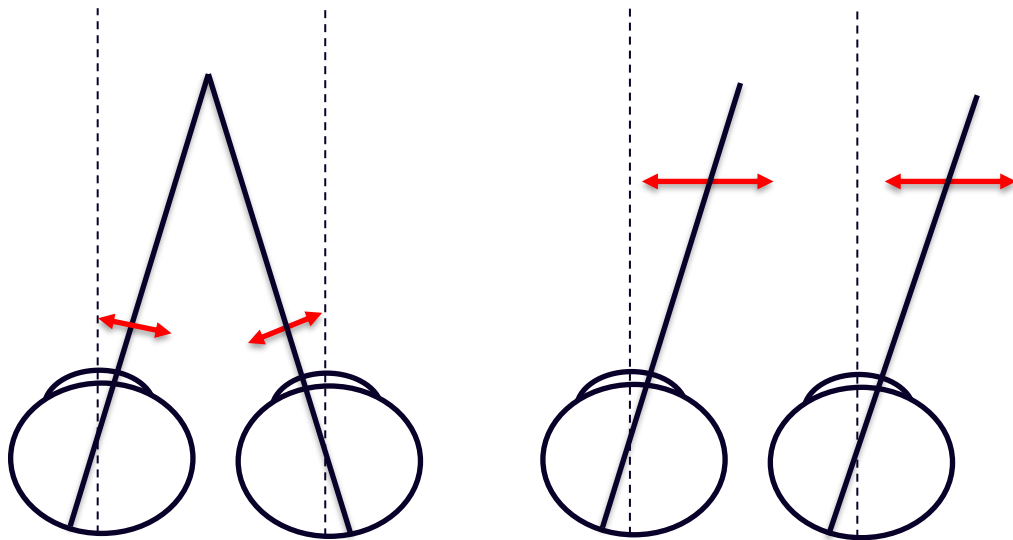
Jednoduché binokulární vidění má 3 stupně – simultánní vidění, fúzi a stereopsi. Fúzi lze podle zapojení složek *JBV* dělit na senzorickou a motorickou. **Motorická fúze** je reprezentována vergenčními očními pohyby, které zajišťují stočení očí tak, aby zrakové osy obou očí směřovaly na sledovaný objekt. Vergenční oční pohyby tak vytváří podmínky pro **senzorickou fúzi**, která zajišťuje smyslové spojení dvou podobných sítnicových obrazů v jeden jednoduchý binokulární vjem. [1,2,4]

1.1.1 Binokulární oční pohyby

Na každé oko se upíná 6 okohybných svalů, které umožňují jeho pohyb. Oči se při svém pohybu otáčejí kolem středu otáčení oka *C*, který je vzhledem k hlavě nehybný. Nachází se přibližně 13 mm za přední plochou rohovky, i když reálně se jeho poloha mění o ± 2 mm podle směru pohledu. Spojnice středu otáčení oka a fixovaného předmětu se nazývá fixační osa. [1,2,5]

Binokulární oční pohyby se dělí na verse a vergence. Verse jsou konjugované oční pohyby, při kterých se oči pohybují stejným směrem (doleva nebo doprava), tudíž

se nemění úhel svíraný zrakovými osami – zrková osa představuje spojnicí pozorovaného objektu a fovey. Vergence neboli disjunktní pohyby jsou uplatňovány při změně fixační vzdálenosti. Při přibližování sledovaného objektu se oči stáčejí k sobě, při vzdalování objektu se stáčejí od sebe – mění se úhel svíraný zrakovými osami. (viz obr. 1). Reálné oční pohyby jsou ale často kombinací vergencí a versí. [1,2,4,5,6]



Obr. 1 – Vergence a verse

1.2 Vergence

Vergenční pohyby se podle směru pohybu očí dále dělí na konvergenci a divergenci. Konvergence, při níž se oči stáčejí směrem k sobě, se uplatňuje při zmenšování fixační vzdálenosti – při pohledu do blízka. Konvergence je s přibližně 10x větší amplitudou více vyvinutá než divergence, při které se oči stáčí směrem od sebe – dochází k ní při zvětšování fixační vzdálenosti. [1,4]

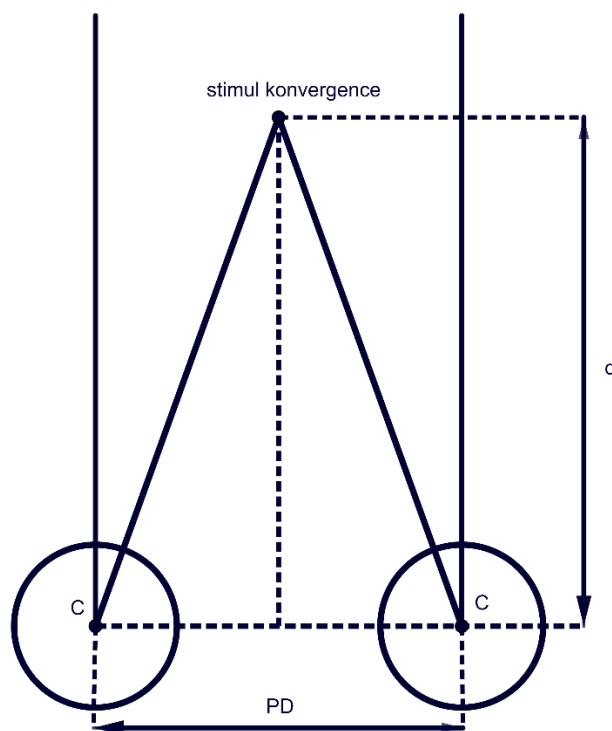
Popis vergence

Kvantitativně i kvalitativně lze vergenční pohyby, především konvergenci, vyjádřit pomocí celé řady veličin. Pro účely této práce byly vybrány pouze veličiny související s tématem práce.

Měřítkem nutné míry konvergence očí z rovnoběžného postavení pro binokulární fixaci daného objektu je **stimul konvergence**. Stimul konvergence je vyjadřován prizmatickými dioptriemi (pD), přičemž jedna prizmatická dioptrie konvergence reprezentuje pohyb fixačních os o 1 centimetr na vzdálenost 1 metru (měřené od středu myšlené úsečky spojující centra rotace obou očí). Velikost stimulu konvergence lze tedy získat jako podíl desetinásobku pupilární distance (PD) v milimetrech a vzdálenosti d fixovaného objektu v centimetrech, vyjádřené v následujícím vztahu:

$$\text{stimul konvergence} = \frac{10 \times PD \text{ (v mm)}}{d \text{ (v cm)}}$$

Pokud je stimul konvergence měřen od brýlové korekce či od kořene nosu, je nutné místo d dosadit vzdálenost ($d + 2,7$ cm), - 2,7 cm je předpokládána vzdálenost brýlové korekce (kořene nosu) od centra rotace. Jako příklad lze uvést jedince s $PD = 64$ mm. Předmět ve vzdálenosti $d = 40$ cm od brýlové korekce, odpovídá stimulu konvergence o velikosti 15 pD. [1,2,4,7]



Obr. 2 - K objasnění stimulu konvergence

Pravděpodobně nejzákladnější veličinou je **blízký bod konvergence** (*NPC*), reprezentující maximální souhrnnou odpověď vergenčního systému. Je to nejbližší bod prostoru, na který jsou oči schopny konvergovat, a na kterém je vergenční systém ještě schopen udržet binokulární fúzi. Při jeho překročení dochází k subjektivnímu rozdvojení vjemu či supresi jednoho oka, která se projeví jeho vytočením. Vzdálenost blízkého bodu konvergence bývá měřena od kořene nosu a měla být řádově menší než 8 cm. Hodnota této vzdálenosti se uplatňuje i při výpočtu **amplitudy konvergence**. Mechanismus výpočtu je stejný jako v případě stimulu konvergence – amplituda konvergence je rovna podílu desetinásobku pupilární distance zadané v milimetrech a převrácené hodnoty vzdálenosti d blízkého bodu konvergence (měřené od středu myšlené úsečky spojující centra rotace obou očí) v centimetrech. Amplituda konvergence jedince, jehož PD je 60 mm a blízký bod konvergence je ve vzdálenosti 7 cm od kořene nosu je 60 pD. Vzdálenost $d + 2,7$ cm lze pro účely výpočtu amplitudy konvergence zaokrouhlit na $d + 3$ cm. Hodnota vzdálenosti blízkého bodu konvergence od středu myšlené úsečky spojující centra rotace obou očí tak odpovídá 10 cm. [1,2,3,4,5,7]

Pro zhodnocení maximálních rozsahů vergenčních pohybů slouží měření **fúzních rezerv**, které vyjadřující velikost rozsahu fúzní vergence (viz kapitola 1.3). Fúzní rezervy jsou měřeny do dálky (6 m) i do blízka (40 cm) a fúzní vergence je při měření stimulována předkládáním prizmatických dioptrií. Je zjišťována maximální možná konvergence (pozitivní fúzní rezerva) či divergence (negativní fúzní rezerva) při akomodaci na danou vzdálenost a při zachování jednoduchého binokulárního vidění. Při měření pozitivní fúzní rezervy je při zvyšování hodnot prizmatu sledován bod rozmazání a následně bod rozdvojení, poté je hodnota prizmatu postupně snižována a zaznamená se bod opětovného spojení obrazu. Stejný postup je aplikován i při měření negativní fúzní rezervy s tím, že při měření negativní fúzní rezervy do dálky většinou nenastává bod rozmazání. Hodnoty bodu rozdvojení a spojení pak reprezentují sílu fúzní vergence. [1,4,7,8]

1.3 Složky konvergence

Maddox¹ v roce 1893 popsal a klasifikoval vergenční pohyby očí a čtyři složky konvergence: tonickou, akomodační, proximální a fúzní konvergenci, které dohromady tvoří celkovou vergenční odpověď do blízka. Jeho klasifikace je známa jako Maddoxův model, který však z historického hlediska není jediný. Pohled na vergenci Finchama a Waltona bude objasněn v kapitole 2.2. [1,2]

Tonická konvergence

Maddox uvedl, že kdyby byla přerušena veškerá inervace okoohybných svalů, oči by se vytočily do divergentního postavení – vznikla by tzv. klidová anatomická pozice, jejíž hodnota je přibližně 17 pD exo. Tonická konvergence je popisována jako složka zodpovědná za stočení očí z klidové anatomické pozice do více konvergentní polohy, která je označována jako fyziologická klidová pozice. Oči tuto přibližně rovnoběžnou polohu zaujímají, pokud nemají žádný stimul k fúzi. Snížená tonická konvergence může být příčinou exoforie do dálky, naopak její excesivní naladění může vést k esofoirii. Velikost tonické konvergence může být ovlivněna věkem či stresem. [1,2,7]

Akomodační konvergence

Akomodační konvergence je konvergence navozená akomodací na základě akomodačně – vergenčního propojení, díky kterému je při akomodaci zároveň dodán impuls vergenčnímu systému. Akomodační konvergence hraje významnou roli při heteroforii do blízka. Silná akomodační konvergence může způsobit esofoirii, naopak slabá exoforii. Vztah mezi akomodační konvergencí a akomodací vyjadřuje AC/A poměr, který bude podrobně popsán v kapitole 2.2.1. [1,2,3]

Proximální konvergence

Maddox popsal proximální konvergenci, dříve nazývanou volní konvergencí, jako složku, která se zaktivuje díky poznání, že se pozorovaný objekt se nachází blízko – je to složka navozená odhadem vzdálenosti pozorovaného předmětu. V některých případech

¹ Ernest Edmund Maddox (1863–1933) byl významný britský oftalmolog 19. a 20. století. [7]

může tvořit až 50 % celkové vergenční odpovědi do blízka a na rozdíl od akomodační konvergence není podmíněná množstvím akomodace. Velikost proximální vergence je odvozována z rozdílu mezi hodnotami gradientního AC/A poměru a kalkulovaného AC/A poměru (viz kapitola 2.2.1). [1,2,8]

Fúzní vergence

Poslední složkou Maddoxova modelu je fúzní vergence. Jedná se o složku kompenzační, která upravuje velikost konvergence pro dosažení binokulární fúze. Podle směru působení se fúzní vergence dělí na pozitivní a negativní. Pozitivní fúzní vergence – **fúzní konvergence** je zapojena, pokud předchozí 3 složky nevytvořily dostatečnou konvergenci. Naopak příliš konvergentním postavením očí je zaktivována negativní fúzní vergence – **fúzní divergence**. Fúzní vergence je nejsilnější složka, která kontroluje velikost vergenční odezvy. Při nesprávné či nedostatečné funkci fúzní vergence vzniká fixační disparita. Fixační disparita je malá odchylka fixačních os při zachování *JBV*. Její velikost je obvykle v řádech jednotek minut obloukové míry, což odpovídá odchylce menší než 0,25 pD. Pokud je vyšší, může se jednat o tzv. stresový model, který může značit potíže vergenčního systému. [1,2,4,7]

1.4 Okohybné odchylky a přehled vergenčních poruch

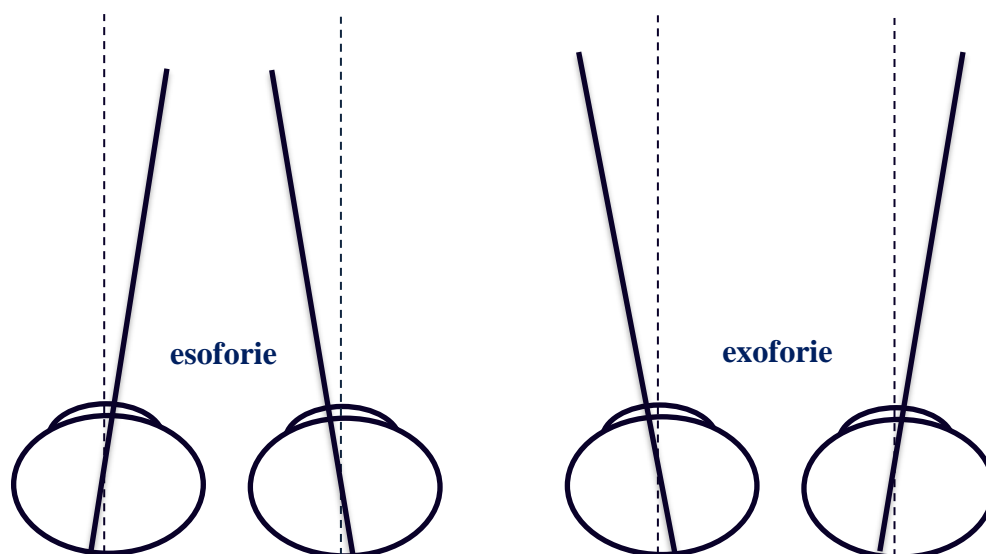
Stav svalové rovnováhy, kdy je funkce všech 6 okohybných svalů vyvážená, se nazývá ortoforie. Pokud je tato rovnováha narušena, dochází ke vzniku okohybných odchylek, které se dělí na heteroforie a heterotropie. Heteroforie je latentní (skrytou) odchylkou, která je při binokulárních podmínkách kompenzovaná zvýšeným úsilím vergenčního systému, konkrétně fúzní vergencí. Pokud ani za binokulárních podmínek fúzní vergence nestačí ke kompenzaci odchylky, vznikne zjevné šilhání – heterotropie. Následující část textu je vzhledem k tématu práce zaměřená pouze na heteroforie, s důrazem na odchylky v horizontálním směru, neboť ty mohou být ovlivněny věkem podmíněnou změnou vergenčně – akomodačního systému (viz kapitola 3.2). [1,2,3,4] Heteroforie ve vertikálním směru či cykloforie budou zmíněny pouze pro úplnost informace – v dalších částech práce se již objevovat nebudou.

1.4.1 Heteroforie

Heteroforie jsou klasifikovány podle směru odchylky, fixační vzdálenosti a míry kompenzace. Pokud je heteroforie kompenzovaná znamená to, že vergenční systém je sám schopen odchylku překonat. Dekompenzovaná heteroforie je stav, kdy vergenční systém už není schopen odchylku úplně překonat a tato situace vyžaduje řešení, především při výskytu symptomů nebo při riziku přechodu v heterotropii. [1,3,9]

Podmínkou pro vyhodnocení směru odchylky je disociace (oddělení) vjemu očí, čímž dojde k vyřazení korekčního mechanismu – fúznívergence. Heteroforie v horizontální směru se dělí na esofovie a exofovie. Esofovie je název pro konvergentní odchylku očí, exofovie je pojmenování pro divergentní odchylku – tendenci zrakových os divergovat (viz obr. 3). Jak je již zmíněno výše, heteroforie je za binokulárních podmínek kompenzována fúznívergencí. V případě esofovie je důležitá funkce negativní fúznívergence. Pro kompenzaci exofovie je významná pozitivní fúznívergence. Směr i velikost heteroforie jsou vyšetřovány do blízka – na vzdálenost 40 cm (stimul konvergence je přibližně 15 pD) a do dálky – na vzdálenost 6 m, na kterou je stimul konvergence považován za nulový. [1,3,5]

Ve vertikálním směru je popisována hypoforie a hyperforie, způsobující vertikální nesouosost zrakových os – osa jednoho oka směřuje výše nebo níže než osa druhého oka. Je třeba si uvědomit, že hyperforie (odchylka oka nahoru) pravého oka je to samé jako hypoforie (odchylka oka dolů) oka levého. V praxi se proto používá pouze pojem hyperforie s označením vpravo nebo vlevo. Rotační heteroforie neboli cykloforie se při disociaci projevuje stočením oka kolem zrakové osy. V případě stočení oka nasálně se jedná o incykloforii, temporální stočení značí excykloforii. [1,3,5]



Obr. 3 – Heteroforie v horizontálním směru

Heteroforie je poměrně normální stav přítomný u velké většiny lidí, kterým ve většině případů nepůsobí potíže, pokud je kompenzován. Nicméně neobvyklý stres vergenčního systému může vést k dekompenzaci a výskytu symptomů. Stresem pro vergenční systém mohou být například: pokles amplitudy akomodace spojený s presbyopickými změnami (viz kapitola 2.3) nebo změna pracovních podmínek, při kterých nárazově vzrůstá potřeba více využívat konvergenci. [3]

1.4.2 Klasifikace vergenčních poruch

Velikost a směr heteroforie, fixační vzdálenost a další hlediska jako blízký bod konvergence, fúzní rezervy či velikost AC/A poměru (viz kapitola 2.2.1) jsou zohledněny v následující klasifikaci vergenčních poruch. [3,7]

Základní exoforie

Základní exoforie je stav, který je charakteristický přibližně stejně velkou exoforií do blízka i do dálky – velikost heteroforie není podmíněná fixační vzdáleností. AC/A poměr je normální, ale typická je slabší pozitivní fúznívergence do dálky i do blízka. Mezi další projevy patří například snížené hodnoty blízkého bodu konvergence či fixační disparita do dálky i do blízka. [1,3,7]

Základní esoforie

Je vergenční porucha, která je charakteristická významnou eso odchylkou, která je stejně jako v případě základní exoforie přibližně stejná do dálky i do blízka. Také hodnoty AC/A poměru jsou v normě, ovšem slabší hodnoty vykazuje negativní fúzní vergence. Základní esoforie se také projevuje eso fixační disparitou do dálky i do blízka. K příčinám základní exoforie, respektive esoforie lze kromě slabší fúzní vergence zařadit snížený, respektive zvýšený tonus okohybných svalů. Dalším vysvětlením by mohl být chybný proces tzv. ortoforizace, který je analogický k procesu emetropizace, a který „nastavuje“ okohybný aparát směrem ke svalové rovnováze. [1,2,3,7]

Exces divergence

Význačným projevem excesu divergence je výrazná exo odchylka jejíž velikost roste se vzdáleností – díky vysokému AC/A poměru je odchylka do blízka velmi malá, blízka ortoforii. Tak jako u většiny exo odchylek je redukována pozitivní fúzní vergence a výjimkou není ani výskyt exo fixační disparity, většinou však jen do dálky. [1,3,7,9]

Exces konvergence

Hlavním znakem excesu konvergence je vysoký AC/A poměr, který je důvodem vysoké esoforie do blízka. Do dálky však lze mluvit jen o malé odchylce či dokonce ortoforii. I v případě excesu konvergence je častá slabší nebo kvůli vysokému AC/A poměru zkrátka jen nedostačující negativní fúzní vergence – většinou však jen do blízka. Dalším ukazatelem excesu konvergence je eso fixační disparita do blízka. Nejčastějším řešením této vergenční poruchy je přídavek do blízka. Ten skrz akomodačně – vergenčně propojení sníží i množství konvergence. [1,2,3,7]

Insuficience konvergence

Insuficience konvergence se projevuje jako lehká exo odchylka či ortoforie do dálky s velkým nárůstem exoforie do blízka. Děje se tak, protože akomodací není navozena dostatečná akomodační konvergence, přispívající k celkové vergenční odpovědi. Typickým projevem je tedy nízký AC/A poměr. Dalšími znaky jsou slabší pozitivní fúzní vergence do blízka, případně i do dálky nebo zvýšená hodnota blízkého bodu konvergence (hraniční vzdáleností blízkého bodu konvergence je 12 cm). Ukazatelem insuficience konvergence bývá i exo fixační disparita do blízka. [1,2,7]

Oslabená konvergence (Nepravá insuficience konvergence)

Stejně jako „pravá“ insuficience konvergence se projevuje velkou exoforií do blízka a ortoforií nebo malou exo odchylkou do dálky. Typická je také slabší pozitivní fúzní vergence do blízka a nižší je i AC/A poměr. Hodnoty AC/A poměru jsou však nižší pouze falešně – důvodem je velká akomodační prodleva (viz kapitola 2 a 2.2.1). Fenomémem spojeným s oslabenou konvergencí je vylepšení hodnot blízkého bodu konvergence předsazením spojné čočky. Oslabená konvergence je tak spíše problémem akomodace než vergence a řešením této dysfunkce je trénink na zvýšení amplitudy akomodace, případně adice do blízka. [1,7,9]

Insuficience divergence

Insuficience divergence je charakteristická významnou esoforií do dálky, která je však do blízka velmi malá nebo přechází v ortoforii. AC/A poměr je nižší oproti normálu, stejně jako negativní fúzní vergence do dálky. Mezi další projevy patří eso fixační disparita do dálky. Insuficience divergence je nejméně častou vergenční poruchou. [1,3,7]

Dysfunkce fúzní vergence

Je porucha poslední složky Maddoxova modelu, která se může projevovat astenopickými potížemi při práci do blízka. Typická je ortoforie, či malá heteroforie do dálky i do blízka. Normální hodnoty vykazuje také AC/A poměr i amplituda akomodace, ale jak fúzní konvergence, tak fúzní divergence mají snížené rozsahy, což se může projevit strmou křivkou fixační disparity. [2,7,9]

2 Akomodace

Akomodace je schopnost oka měnit svou optickou mohutnost tak, aby byl vytvořen a udržen ostrý obraz předmětu vytvořeného na sítnici. Díky tomuto mechanismu je oko schopno vidět ostře předměty v různých vzdálenostech. [1,2,10]

Schopnost akomodace číselně vyjadřuje **amplituda akomodace (AA)** či **akomodační interval**. Obě veličiny jsou založeny na znalosti polohy dalekého bodu oka R a blízkého bodu oka P. Daleký bod je bod na optické ose oka, který se zobrazí ostře na sítnici oka bez akomodace. Bod, který se zobrazí ostře na sítnici při maximální akomodaci se nazývá blízký bod. Zatímco interval akomodace je rozsah vyjádřený v metrech, amplituda akomodace udává o kolik dioptrií je oko schopno měnit svou optickou mohutnost. Amplituda akomodace je pak výsledkem rozdílu převrácené hodnoty vzdálenosti a_R dalekého bodu R a převrácené hodnoty vzdálenosti a_P blízkého bodu P v metrech [1,10],

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

Mechanismus akomodace

Akomodační aparát oka se skládá z řasnatého tělíska, čočky a zonulárních vláken, jejichž podrobný popis se nachází například v publikaci [2]. Akomodace je umožněna kontrakcí (dopřednímu a vnitřnímu pohybu) ciliárního tělesa. Tím dochází k uvolnění zonulárních vláken, jimiž je čočka připojena řasnatému tělesu – ta se tak vlastní elasticitou vyklene, čímž zvýší optickou mohutnost oka. Pokud oko neakomoduje, ciliární sval je uvolněný, zonulární vlákna jsou v tahu a udržují čočku napnutou. [1,11]

Při akomodaci dochází k mióze (kontrakci pupily), přední plocha čočky zmenší svůj poloměr zakřivení a posouvá se k rohovce. Pupilární okraj duhovky se rovněž posouvá mírně k rohovce. Zadní plocha čočky mění svůj tvar jen minimálně. Při silné akomodaci se čočka výsledkem působení gravitace může posunout mírně (0,3 mm) dolů. [2]

Stimul a odezva akomodace

Stimul akomodace je definován jako míra akomodace potřebná ke vzniku ostrého sítnicového obrazu. Akomodačním stimulem je pro oko objekt nacházející se v bližší vzdálenosti než nekonečno – v praxi je to vzdálenost menší než 6 m. V laboratorních podmínkách může být akomodace stimulována použitím rozptylné čočky. V případě emetropického oka (oka bez refrakční vady, $A_R = 0$) či ametropického oka s korekcí je stimul při pozorování blízkého objektu vyjádřen převrácenou hodnotou vzdálenosti objektu v metrech. Testová značka umístěná do vzdálenosti 40 cm, tak odpovídá akomodačnímu stimulu o velikosti 2,5 D. Pokud je pro navození akomodace použita rozptylná čočka, může testovací značka zůstat v nekonečnu, přičemž stimul bude mít hodnotu rovnou velikosti optické mohutnosti dané čočky. Obě možnosti stimulace lze kombinovat. [1,7]

Akomodační odezva či odpověď je reakcí oka na stimul, která se projeví zvýšením optické mohutnosti oka. Odezva u většiny lidí neodpovídá stimulu – při pohledu do blízka je nižší než stimul akomodace, a to kvůli hloubce ostrosti oka. Rozdíl mezi stimulem akomodace a akomodační odezvou se nazývá „lag of accommodation“, v této práci pojmenovaný jako **akomodační prodleva**. U mladých dospělých je normální velikost akomodační prodlevy emetropického oka či oka s korekcí na vzdálenost 40 cm v průměru + 0,5 D, zatímco u presbyopů bez korekce na blízko odpovídá odhadu velikosti potřebné adice. [1,7,8]

Jelikož je akomodace řízena čípkou, je méně efektivní při nízkých světelných podmínkách. Ukazuje se, že i akomodační prodleva je větší, a proto je při jakémkoliv testování zahrnujícím měření akomodace důležité dbát na dostatečné osvětlení místnosti. [11]

2.1 Složky akomodace

Akomodace se stejně jako konvergence skládá ze 4 složek, které se podílejí na celkové akomodační odpovědi při daném akomodačním stimulu. Jedná se o tonickou, vergenční, proximální a reflexní složku akomodace. [2,11]

Tonická akomodace

Tato složka je navozena klidovým tonem ciliárního svalu. Je popisována jako lehký myopický posun, který nastane při absenci stimulů. Hodnota velikosti tonické složky akomodace u mladých dospělých je 1-2 D, avšak s věkem se snižuje, a to rychlostí přibližně 0,04 D za rok. Tato změna je pravděpodobně způsobena biomechanickými změnami čočky. [2,10,11]

Konvergenční akomodace

Je akomodace navozená konvergencí díky vrozenému neurologickému spojení (při konvergenci vzniká impuls také pro akomodaci) a díky působení fúzní složky konvergence. Vztah konvergenční akomodace a konvergence vyjadřuje CA/C poměr, který bude podrobně popsán v podkapitole 2.2.2. V absolutním pojetí se pravděpodobně jedná se o druhou největší složku akomodace. [2,7,11]

Proximální akomodace

Proximální nebo taky psychická akomodace je navozena vjemem blízkého předmětu, který se nachází do 3 metrů od pozorovatele. Podle velikosti se jedná o 3 největší složku. [2,8,11]

Reflexní akomodace

První 3 složky představují hrubé nastavení akomodace bez ohledu na ostrý či rozmazaný obraz vytvořený na sítnici. Právě rozmazaný obraz je stimulem reflexní akomodace, která představuje automatickou úpravu refrakce tak, aby byl vytvořen a udržen ostrý sítnicový obraz. Reflexní složka je nejdůležitější a pravděpodobně i nejsilnější složkou akomodace, která napravuje akomodační nerovnováhu například i v případě nízkého či vysokého CA/C poměru. [2,8,10,11]

2.2 Akomodačně – vergenční vztahy

Přesná koordinace konvergence i akomodace je nezbytná pro zajištění ostrého vidění, přesné stereopse a bezproblémového binokulárního vidění, a proto jsou tyto dva systémy neurologicky propojeny. Při pohledu do blízka tak dochází k akomodaci, konvergenci a kontrakci pupily. Tento jev se nazývá triáda do blízka. [2,3,11]

Změna akomodace je doprovázena konkrétní změnou vergence a změna vergence vyvolá změnu akomodace. Ač akomodace navozuje konvergenci a konvergence akomodaci, nejsou tyto vztahy kvantitativně rovnocenné. Maddoxův model konvergence (viz kapitola 1.3) vytváří dojem konvergence řízené akomodací jakožto základní složkou vergenčně – akomodačního systému. Proti Maddoxovu modelu však stála teorie Finchama a Waltona, kteří zdůrazňovali, že akomodace může být navozena konvergencí s tím, že právě konvergence je fundamentální složkou celého vergenčně – akomodačního systému. Moderní přístup však považuje akomodaci i vergenci za stejně důležité složky vergenčně – akomodačního systému a kombinuje myšlenky obou modelů. Vztah akomodační konvergence a akomodace vyjadřuje AC/A poměr vycházející z Maddoxova modelu. Z myšlenky Finchama a Waltona vychází CA/C poměr, kterým je definován vztah mezi konvergenční akomodací a konvergencí. [1,2,8]

2.2.1 AC/A poměr

Je poměr akomodační konvergence, vyjádřené prizmatickými dioptriemi, a akomodace, vyjádřené v dioptriích, který poskytuje informaci o relativní síle propojení akomodace a vergence. AC/A poměr je jedním z nejdůležitějších parametrů pro analýzu binokulárního vidění. Pro jeho jednoznačnost musí být akomodace blíže specifikována ve smyslu stimulu akomodace, či akomodační odezvy. Podle toho je pak rozlišen stimulový **AC/As** poměr a odezvový **AC/Ar** poměr. První zmíněný, nazývaný též klinický AC/A poměr, je poměr akomodační konvergence a stimulu akomodace. Při běžném klinickém měření se simultánně neměří akomodační odezva – předpokládá se, že akomodační odezva přibližně odpovídá stimulu akomodace. Avšak kvůli akomodační prodlevě do blízka je akomodační odezva menší než stimul, a proto je v populaci s normálním viděním stimulový AC/A poměr průměrně o 10 % nižší než odezvový AC/A poměr. Akomodační odezvu, a tedy i AC/Ar poměr je možné určit například pomocí tzv. dynamické skiaskopie (určující skutečný rozdíl stimulu akomodace a akomodační odezvy). Normální hodnoty AC/As poměru, stanovené klinickým měřením gradientní metodou jsou v rozmezí 3:1 až 5:1 (pD/D) a zůstávají stabilní až do nástupu presbyopie (viz kapitola 3.1.1). [1,2,4,7,8]

Gradientní AC/A poměr

Gradientní metoda měření AC/A poměru je založena na měření změny vergence, která je navozená změnou akomodace. Měření je realizováno na vzdálenost 40 cm a akomodace je stimulována, popřípadě uvolňována pomocí binokulárně předkládaných čoček o hodnotě ± 1 D. Tím dochází ke změně vergence, která je pozorována jako změna heteroforie do blízka. Například hodnota poměru 3:1 znamená, že změna akomodace o 1 D vyvolá změnu akomodační konvergence o 3 pD. [1,2]

Kalkulovaný AC/A poměr

Je klinicky stanovený poměr akomodační konvergence a stimulu akomodace, který je získán na základě rozdílu hodnot heteroforie do dálky a do blízka a vypočítaný podle vzorce -

$$\frac{AC}{A} = \frac{\text{stimul konvergence} - \text{heteroforie do dálky} + \text{heteroforie do blízka}}{\text{stimul akomodace}},$$

kde stimuly akomodace i konvergence a heteroforie do blízka jsou měřeny na vzdálenost 40 cm a heteroforie do dálky je měřena na vzdálenost 6 m. Normální hodnoty kalkulovaného AC/A poměru, vycházející z Morganova kritéria² pro normální hodnoty heteroforie do dálky a do blízka, jsou vyšší – pohybují se v intervalu od 3,6:1 do 6,8:1 (pD/D). Rozdíl mezi gradientní metodou a kalkulovaným měřením je způsoben rozdílným příspěvkem proximální konvergence. Při gradientní metodě je testovací vzdálenost 40 cm a v průběhu měření se nemění – proto je míra zapojení proximální konvergence stále stejná. V případě kalkulovaného AC/A poměru je proximální konvergence zapojená pouze do blízka a může tak ovlivnit velikost akomodační konvergence. Rozdíl mezi hodnotami AC/A poměru získaného gradientní metodou a kalkulovaným výpočtem představuje velikost proximální konvergence. [1,2,7]

² Morganovo kritérium – Morganem stanovená norma pro velikost normální heteroforie do dálky (ortoforie – 2 pD exoforie) a do blízka (ortoforie – 6 pD exoforie). [7]

2.2.2 CA/C poměr

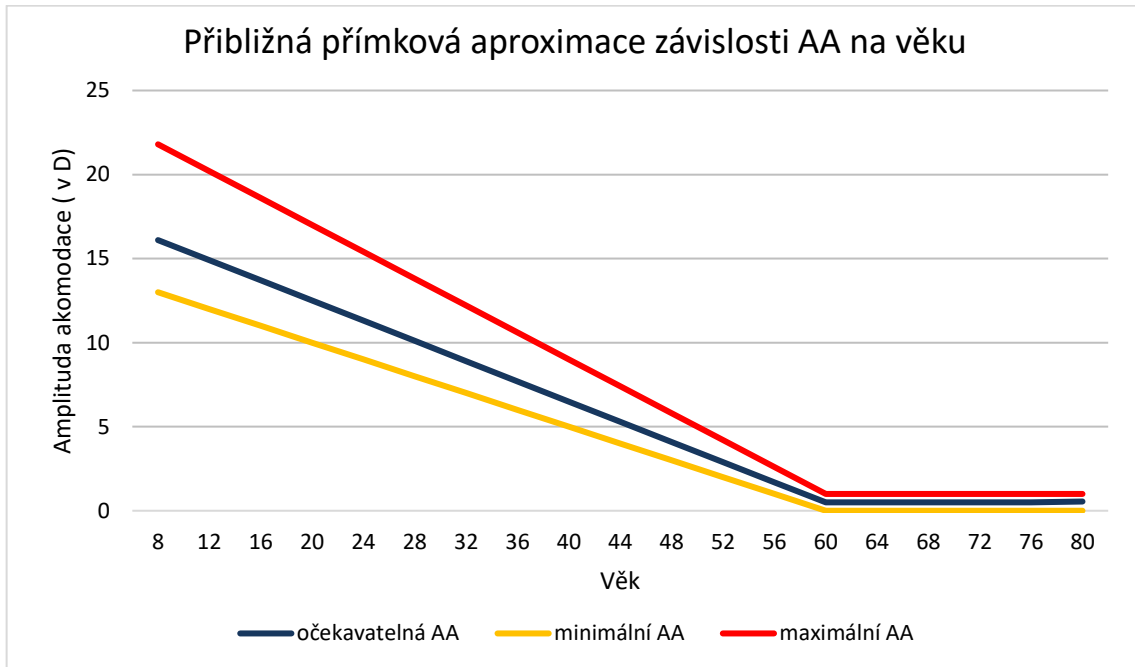
CA/C poměr je poměr konvergenční akomodace a konvergence, který vyjadřuje schopnost konvergence navodit akomodaci. Na rozdíl od AC/A poměru nepatří měření CA/C poměru mezi rutinní vyšetřovací a diagnostické metody – jeho měření bývá obecně v kompetenci výzkumů a studií. Číselné hodnoty CA/C poměru lze vyjádřit buď pomocí dioptrie na metrový úhel (D/MA) nebo pomocí dioptrie na prizmatickou dioptrii (D/pD). Očekávatelná hodnota CA/C poměru vyjádřeného druhým způsobem je 1:10 D/pD. To znamená, že konvergence o velikosti 10 pD navodí konvergenční akomodaci o velikosti 1 D. **Metrový úhel (MA)** vyjadřuje množství konvergence potřebné k binokulární fixaci objektu vzdáleného 1 metr od středu myšlené úsečky spojující centra rotace obou očí. K převodu na prizmatické dioptrie je potřeba metrový úhel vynásobit pupilární distancí v centimetrech. Jeden metrový úhel jedince s $PD = 65$ mm tak bude odpovídat konvergenci o hodnotě 6,5 pD. Pro praktické účely je dostačující představa metrového úhlu, jehož hodnota je přibližně 6 pD konvergence. Očekávatelná hodnota CA/C poměru u mladých dospělých je okolo 0,5 D na metrový úhel (0,5 D/MA). CA/C poměr je však spojený s presbyopickými změnami – dochází k jeho věkem podmíněnému poklesu (viz kapitola 3.1.2). [1,2,7,8]

Na rozdíl od akomodace, u které je nezanedbatelný rozdíl mezi akomodačním stimulem a odezvou akomodace, je vergenční odpověď „zdravého“ vergenčního systému téměř rovna stimulu konvergence (rozdíl může odpovídat velikosti fixační disparity). Porovnání odezvového a stimulového CA/C poměru navíc odhaluje, že jsou v podstatě identické, a proto se mezi odezvoovým a stimulovým CA/C poměrem dále nerozlišuje. [2,8]

2.3 Presbyopie

Presbyopie, v doslovném chápání „staré oko“, je pomalá, nezvratná, avšak fyziologická, věkem podmíněná ztráta schopnosti akomodace, kvůli které dochází k posouvání blízkého bodu oka k bodu dalekému. Amplituda akomodace se postupně snižuje přibližně od 8 let věku s průměrným úbytkem okolo 0,30 D za rok. Ještě v 10 letech věku je její hodnota přibližně 15 D, zatímco ve věku kolem 60 let je už prakticky nulová pouze se zbytkovým stavem o hodnotě 1 D – ten odpovídá spíše hloubce ostrosti oka a takový stav je pak označován jako absolutní presbyopie. Presbyopie jako taková je

stav, kdy je amplituda akomodace nižší nebo rovna 5 D. Její nástup bývá obvyklý mezi 40. až 45. rokem života, přičemž za hranicí 52 let je existence presbyopie považována za 100%. Celková prevalence presbyopie v populaci je okolo 30 %, samozřejmě s přihlédnutím k věkovému průměru některých států potažmo kontinentů. [1,2,7,11]



Graf 1 – Přibližná přímková aproximace závislosti amplitudy akomodace na věku; stanovená podle [5,7]

2.3.1 Teorie presbyopie

Velké množství autorů i publikací uvádí nepřehledné množství více či méně pravděpodobných důvodů způsobujících věkem podmíněný pokles amplitudy akomodace. Pro účely této práce jsou vybrány v literatuře nejčastěji popisované příčiny. Presbyopie je multifaktoriální proces, na jehož vzniku se podílí celá řada biomechanických a biochemických činitelů, které lze dále dělit na hlavní a přispívající. Mezi hlavní faktory patří nárůst velikosti a objemu čočky a snížení modulu pružnosti a poddajnosti čočky a jejího obalu. K přispívajícím faktorům pak lze řadit: pokles tahu zonulárních vláken v důsledku změny velikosti a objemu čočky, pokles pružnosti cévnatky či změny geometrie ciliárního svalu. [2,7,11]

Ve dvou hlavních teoriích presbyopie, které budou dále v práci rozebírány, je pozornost upřena hlavně na čočku a na řasnaté těleso. První teorie je založena na biomechanických změnách v čočce a jejím obalu, druhý model je postaven na postupném úbytku síly ciliárního svalu. Každá z teorií tak předpovídá odlišný vliv na vergenční systém a jeho složky. [2,11]

Helmholtz-Hess-Gulstrandova teorie presbyopie popisuje čočku a její obal jako hlavní důvod vzniku presbyopie. Předpokládá, že kvůli biomechanickým změnám čočka postupně ztrácí pružnost, schopnost měnit svůj tvar, čímž zákonitě dochází poklesu možnosti změny její optické mohutnosti. I přesto, že je ciliární sval stále schopen stejné kontrakce, kvůli „tvrdnoucí“ čočce se to už neprojeví na amplitudě akomodace. Hodnoty AC/A poměru by měly podle Helmholtz-Hess-Gulstrandovy teorie zůstat neměnné. [2,11,12]

Změnu pružnosti či poddajnosti čočky a jejího obalu vylučuje **Donders-Duane-Finchamova teorie**, která za příčinu vzniku presbyopie označuje věkem podmíněné slábnutí ciliárního svalu. Slábnoucí ciliární sval tak nejen že přímo způsobuje pokles amplitudy akomodace, ale musí vynakládat čím dál tím větší kontraktilní úsilí ke změně akomodace o jednu dioptrii. K dosažení největší možné amplitudy akomodace je tak využívána maximální, i když progresivně klesající síla ciliárního svalu, a to v každém věku. [2,11]

Z trojce jmen se vyčleňuje **Fincham**, jehož model je založen na hypotéze, která stojí mezi oběma výše zmíněnými. Uvedl, že ciliární sval si uchovává svou sílu, ale kvůli „tvrdnoucí“ čočce se zvyšuje síla potřebná ke změně akomodace o 1 D. K dosažení dané změny optické mohutnosti čočky je tak na čočku potřeba vyvinout větší sílu, což zvyšuje i nároky na ciliární sval, který je není schopný vyplnit. Finchamův model je tak vcelku logicky spojován s Donders-Duane-Finchamovou teorií. [2,11]

Současný přístup k výzkumu v oblasti presbyopie naznačuje, že fenomén a proces presbyopie přesněji popisuje Helmholtz-Hess-Gulstrandův model. Navíc nic neprokazuje možnost vzniku presbyopie kvůli věkem podmíněnému slábnutí ciliárního svalu, jehož síla může naopak růst (viz kapitola 3.1.1). Literatura také vyvrací věkem podmíněnou změnu inervace akomodace a změnu v pružnosti zonulárních vláken – síla ciliárního svalu se tak na čočku přenáší beze změny. [2,7,11]

3 Změny vergenčně – akomodačního systému s věkem

V následující kapitole budou na základě rešerše literatury a odborných časopiseckých zdrojů popsány změny vergenčně – akomodačních vztahů, změny vergenčního systému (např. změny rozsahu vergenčních pohybů, změny jednotlivých složek konvergence či vznik vergenčních poruch) a změny okohybné rovnováhy spojené se stárnutím.

Pro tuto část práce jsou klíčové 2 hypotézy, které jsou spojeny se změnami vergenčně – akomodačního systému, a které poněkud odlišně vysvětlují kompenzační mechanismy těchto změn. Obě hypotézy popisují vliv poklesu akomodace na vergenční systém. První, prezentovaná např. v publikacích [11,13,14], zdůrazňuje, že se pokles amplitudy akomodace přenáší na akomodační konvergenci, která se rovněž snižuje. Pro udržení přesné vergenční odpovědi do blízka tak akomodační konvergenci zastupují zbylé složky Maddoxova modelu, zejména pak fúzní vergence. Druhá hypotéza, popisovaná publikacemi [1,7,15], naopak vyvrací zvýšený příspěvek ostatních složek konvergence, zvláště pak fúzní vergence, jejíž rozsahy se podle publikací [15,16] snižují. Je založena na stálosti inervace akomodace, díky čemuž se nemění ani velikost akomodační konvergence (viz kapitola 3.2).

3.1 Změny vergenčně – akomodačních vztahů

Tato část práce částečně navazuje na kapitolu 2.3.1 a budou v ní dále rozebírány změny vergenčně-akomodačních vztahů pod vlivem poklesu amplitudy akomodace a nástupu presbyopie.

3.1.1 Změny AC/A poměru

Předpokládejme správnost Donders-Duane-Fichamovy teorie. Znamenalo by to kontinuální růst odezvového AC/A poměru s věkem, a to kvůli narůstající akomodační konvergenci navozené zvyšující se snahou ciliárního svalu. Těsně před nástupem presbyopie by hodnoty AC/Ar mohly dosahovat neúměrných výšin – až 30:1 pD/D. Některé výzkumy tuto možnost skutečně prokazují, nicméně dvě nezávislé populační studie [12,17,18] provedené v polovině 90. let minulého století zaznamenaly pouze malý nárůst odezvového AC/A poměru – z průměrné hodnoty 3:1 ve 20 letech věku na 5:1 v 45 letech, což odpovídá zvýšení 0,1 pD/D za rok. Tato čísla, ukazující pouze na mírný nárůst

AC/Ar poměru, jsou podpořeny zkoumáním [19] z přelomu tisíciletí. Zjištěné změny AC/Ar poměru jsou tak bližší předpokladu Helmholtz-Hess-Gulstrandově teorie, i když ne v dokonalé shodě. Pozvolný nárůst AC/Ar poměru tak může být odrazem zvýšeného akomodačního impulsu. Ten by mohl kompenzovat klesající odezvu čočky na kontrakci ciliárního svalu. Silnější impuls by se pak projevil zvýšením akomodační konvergence. Pravděpodobnějším vysvětlením růstu AC/Ar poměru je rostoucí kontraktilní síla ciliárního svalu. [2,11,12]

Navzdory poklesu amplitudy akomodace se síla kontrakce ciliárního svalu skutečně zvyšuje (maximálně však o 50 %) do nástupu presbyopie. Naopak lehký pokles je zaznamenán mezi 45–60 rokem života, což je období, během kterého je ztráta akomodace nejpatrnější. Zvyšující se kontraktilní síla je pravděpodobně kompenzačním mechanismem kvůli postupně „tvrdnoucí“ cévnatce, kterou lze chápat jako pružinu působící proti pohybu ciliárního svalu. Zvýšená síla způsobuje nárůst AC/Ar poměru, který se mezi 20-45 rokem života může zvětšit až o 50 % s tím, že nejrapidnější nárůst je zaznamenán v dekádě mezi 35–45 rokem. Za touto hranicí je kvůli malé amplitudě akomodace už příliš nespolehlivé AC/A poměr měřit. [2,20,21]

Stimulový AC/A poměr

Hodnoty stimulového AC/A poměru zůstávají relativně stabilní až do nástupu presbyopie, přičemž poté může dojít k lehkému poklesu [2,12,19,22]. Pokles o hodnotě 0,04 pD/D za rok [17] byl však zaznamenán pouze když do analýzy byly zahrnuty i výsledky probandů starších 45 let. Po vyřazení jejich hodnot z analýzy se nedá prokázat věkem podmíněná změna AC/As poměru. Stabilita stimulového AC/A poměru naznačuje, že se inervace akomodace avergence s věkem nemění [2,11,17].

3.1.2 Změny CA/C poměru

Chování CA/A poměru by mělo být lépe předvídatelné, a to z důvodu plynulého poklesu amplitudy akomodace s věkem. Pokles zapříčiní, že se zmenšuje dostupná akomodace, a tedy i konvergenční akomodace navozená konvergencí, čímž jsou přímo ovlivněny i hodnoty CA/A poměru. Ty vykazují silnou lineární závislost na věku. Zatímco očekávatelná a průměrná hodnota ve 20 letech věku je 0,1 D/pD, u jedinců o 20 let starších je pouze 0,03 D/pD, což odpovídá poklesu 0,003 D/pD za rok. [11,12,22]

Podobná změna CA/C poměru je patrná i z výsledků výzkumu [18] z poloviny 90. let minulého století. Výsledky studie také poukazují na věkem podmíněný pokles CA/C poměru, který byl zkoumán na vzorku 42 probandů ve věku 22–65 let. Z průměrné hodnoty 0,9 D/MA u mladých dospělých klesl poměr až na 0 D/MA v případě nejstarších testovaných. Po přepočtu metrového úhlu na prizmatické dioptrie je hodnota poklesu 0,006 D/pD za rok. I přesto, že se průměrná počáteční hodnota CA/C poměru mladých dospělých liší od publikací [2,8,11,12], velikost změny CA/C poměru je podobná publikacím [2,11,12] a lze tedy mluvit o jisté závislosti hodnot CA/C poměru na věku. [11]

3.2 Změny svalové rovnováhy, vznik vergenčních poruch

Heteroforie, respektive její směr a velikost se v průběhu života významně nemění. Okohybná odchylka, pokud jí jedinec trpí, má podobnou hodnotu v mládí, v dospělosti, před i po nástupu presbyopie. Stejný předpoklad platí i pro ortoforii, na které by stárnutí nemělo zanechat žádné významné stopy. Výjimkou, potvrzující každé pravidlo, je v případě změn okohybných odchylek **heteroforie do blízka**. [1]

Průměrná hodnota heteroforie do dálky i do blízky je stejná asi jen do 20. roku života. Zatímco heteroforie do dálky zůstává stejná i po 20. roku života, do blízka se objevuje změna směrem k exoforii. Tato pomalá a plynulá změna je označována jako **fyzilogická heteroforie**. Rozdíl v heteroforii do blízka stejného jedince ve 20 a v 60 letech života tak může být až 6 pD. S nástupem presbyopie není zaznamenán žádný skokový posun a není popsán ani nárůst spojený s nošením první korekce do blízka – proto se předpokládá, že adice nemá na velikost fyziologické heteroforie vliv. Mírný nárůst exoforie však může být zaznamenán v řádech sekund po prvním nasazení presbyopické korekce, ale během pár minut se hodnoty vrátí na hodnoty před nasazením. [3,16,23,24]

3.2.1 Exoforie

Exoforie do blízka, spojená s fenoménem fyziologické heteroforie, i přes svou hodnotu 8,7 pD většinou nezpůsobuje jedincům v presbyopickém věku žádné problémy. [1,15]. U 13 nepresbyopických a 10 presbyopických pacientů, byly porovnány heteroforie, fúzní rezervy a hodnoty fixační disparity do blízka. Bylo zjištěno, že průměrná hodnota exoforie do blízka je 2,8 pD u mladší části testované populace, oproti

již zmíněným 8,7 pD u jejich starších protějšků. Presbyopická skupina měla také mnohem menší fúzní rezervy (viz kapitola 3.4) než nepresbyopická část testovaných probandů. Proto je zajímavé, že z porovnání fixační disparity vyšly obě skupiny nastejno. Křivky fixační disparity presbyopů vykazují dokonce nižší sklon, který lze interpretovat jako větší stabilitu vergenčního systému. Křivky fixační disparity tak poskytují pravdivější obraz pro hodnocení binokulárního vidění a vergenčního systému presbyopů než měření fúzních rezerv či heteroforie do blízka. [1,7,15,16]

K zajištění stability binokulárního vidění je v presbyopickém věku využíváno téměř neomezené a nevázané množství akomodační konvergence, čímž je na první pohled obcházen AC/A poměr. Presbyopie je ale důsledkem změny akomodačního aparátu v oku, nikoliv však jeho inervace. I když se nervový impuls neprojeví změnou akomodace, stále bude mít vliv na navození akomodační konvergence, která může do jisté míry doplnit funkci slábnoucí pozitivní fúznívergence. [1,7,15]

3.2.2 Esoforie

Esoforie do blízka je občasně se vyskytující jev spojený s nástupem presbyopie, když ještě není nošena korekce do blízka. Daný jedinec si pak může stěžovat nejen na rozmazané vidění spojené s klesající amplitudou akomodace, ale také na astenopické potíže či přechodnou diplopii při práci do blízka, při čtení. Vysvětlením tohoto jevu je nadměrné akomodační úsilí kompenzující sníženou reaktivitu čočky, které vyvolá silnou akomodační konvergenci – může vzniknout **exces konvergence**. Zvýšenou konvergenci koriguje fúzní divergence, což může způsobovat astenopické obtíže. Zvýšená akomodační snaha v období před nástupem presbyopie může ve vzácných případech vést až ke spasmu akomodace a vzniku pseudomyopie. [1,2,3]

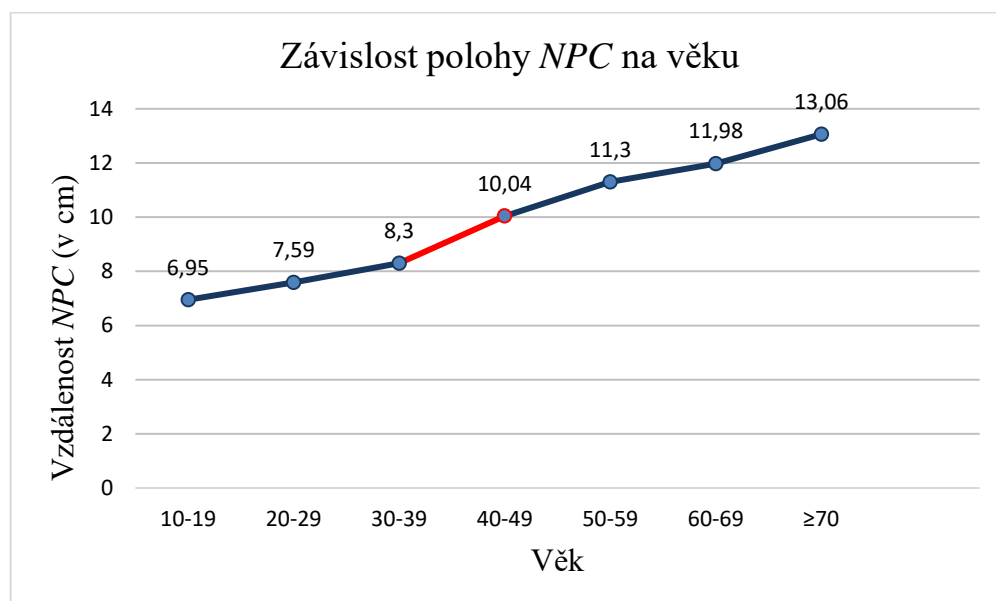
3.2.3 Insuficience konvergence

Insuficience konvergence, která je podrobně popsána v kapitole 1.4.2, je poměrně běžně se vyskytující porucha s 2–13% výskytem v populaci dětí a mladých dospělých. Věkem podmíněná změna tohoto údaje byla předmětem populační studie [25] z roku 2017 v okolí města Mashhad v severovýchodním Iránu, která zahrnovala 2 219 probandů ve věku 10–69 let. Prevalence insuficience konvergence zkoumané populace byla 5,46 % a je tak spíše v dolní části výše uvedeného rozsahu. Z výsledků studie nelze prokázat jakoukoliv závislost výskytu insuficience konvergence na věku. Toto tvrzení

platí pouze do věku 60 let – za touto věkovou hranicí však dochází k znatelnému a klinicky významnému procentuálnímu zvýšení výskytu insuficience konvergence ve zkoumané populaci. [7,25].

3.3 Změny blízkého bodu konvergence

Publikace [6,11] uvádí, že poloha blízkého bodu konvergence (viz kapitola 1.2) zůstává stále stejná a s věkem se nemění (blízký bod konvergence se nevzdaluje). Vzdálenost blízkého bodu konvergence je přímým obrazem amplitudy konvergence, jejíž velikost by na rozdíl od amplitudy akomodace měla být konstantní. Na věkem podmíněnou změnu polohy blízkého bodu konvergence byla v roce 2016 vypracována pilotní populační studie [13], jež zahrnovala 2433 probandů ve věkovém intervalu 10–86 let. Bylo zjištěno, že vzdálenost blízkého bodu konvergence se skutečně zvětšuje s věkem, a to rychlostí 0,1 cm za rok. Nejdramatičtější změny byly zjištěny mezi věkovými skupinami 30-39 let a 40-49 let – tedy ve věku, kdy dochází k nástupu presbyopie (viz kapitola 2.3). Vzhledem k tomu, že se významně nemění proximální konvergence [14] (viz kapitola 3.4), vysvětlením lehkého poklesu amplitudy konvergence může být podle publikace [13] pokles amplitudy akomodace a s ním spojený nižší příspěvek akomodační konvergence k celkové vergenční odpovědi. Podle výsledků prezentovaných v publikacích [1,3,13] lze tvrdit, že lehký pokles amplitudy konvergence je možný. Zdaleka však není tak zásadní jako v případě amplitudy akomodace.



Graf 2 – Závislost polohy blízkého bodu konvergence na věku; graf vytvořen podle dat [13]

3.4 Změny složek Maddoxova modelu

Tato kapitola je zaměřena na jednotlivé složky Maddoxova modelu (viz kapitola 1.3). Budou zmíněny věkem podmíněné změny ovlivňující celkovou vergenční odpověď i rozsah vergenčních pohybů a budou popsány případné kompenzační mechanismy těchto změn. V této kapitole je záměrně vynechán samostatný odstavec věnující se výhradně akomodační konvergenci, jejíž možné změny byly rozebírány v předcházejících částech 3. kapitoly (viz kapitoly 3, 3.1.1, 3.2.1, 3.2.2).

Tonická konvergence

Tonická složkavergence reprezentuje výchozí nastavení vergenčního systému a její zvýšený či snížený příspěvek se může odrazit na vzniku esofovie, respektive exofovie do dálky. Byly zkoumány věkem podmíněné změny relativního příspěvku tonické složky k celkové vergenční odpovědi do blízka, avšak nebyly nalezeny významné změny do 40 roku života. Za hranicí 40 let však tonická konvergence vykazovala malý ale konzistentní konvergentní nárůst. Tato malá změna by mohla reprezentovat přirozený proces ve smyslu adaptace na presbyopické změny, spojené s poklesem akomodační konvergence [11,26]. Myšlenku stability tonické složky konvergence podporují i téměř neměnné hodnoty heterofovie do dálky. [1,3,16,23,24,26]

Proximálnívergence

Proximální konvergence (viz kapitola 1.3) přispívá k celkové vergenční odpovědi až 50 % a její případné změny by tak mohly výrazně ovlivnit vergenční systém ve smyslu změny amplitudy konvergence. Morgan navrhol, že se s klesající amplitudou akomodace zvětšuje relativní velikost proximální konvergence, která by měla alespoň částečně kompenzovat věkem podmíněný pokles akomodační konvergence (viz kapitola 3). Velikost proximální konvergence je vyvozována z rozdílu hodnot AC/A poměru měřeného gradientní metodou a kalkulovaným výpočtem, jak je popsáno v kapitole 2.2.1. Výsledky studie [14] však nepotvrzují věkem podmíněnou změnu či nárůst proximální konvergence. Její autoři, pracující s myšlenkou poklesu akomodační konvergence s věkem, se tak spíše přiklánějí k nárůstu fúznívergence. [2,8]

Fúzní vergence

Rozsah vergenčních pohybů potažmo i fúzní vergence charakterizují fúzní rezervy (viz kapitola 1.2). Z předchozího textu už vyplývá možná věkem podmíněná změna vergenčně – akomodačního či jen vergenčního systému např. v podobě zvětšující se vzdálenosti blízkého bodu konvergence. Studie [16] zaměřená na změnu fúzních rezerv vyslovuje domněnku vlivu stárnutí na okohybné svaly, která byla zkoumána na vzorku 271 probandů ve věkovém rozsahu 21–80 let, rozdělených do 6 skupin. Při měření negativních fúzních rezerv bylo zjištěno, že průměrná hodnota bodu spojení v porovnání nejmladší a nejstarší skupiny o klesla 2,5 pD. Ještě větší změna byla zaznamenána u průměrné hodnoty bodu spojení při měření pozitivních fúzních rezerv – mezi nejmladší a nejstarší skupinou byl rozdíl 3,3 pD, v neprospěch nejstarší skupiny. [16] Věkem podmíněná změna fúzní vergence je však mnohem více patrná z testování bodu rozdvojení u pozitivních fúzních rezerv do blízký (na 40 cm). Zde byl rozdíl mezi skupinou mladých dospělých a presbyopy takřka poloviční - 31,7 pD oproti 15,7 pD. [1,7,15]

3.5 Shrnutí

Všechny změny popsané v kapitole 3 jsou pro větší přehlednost shrnuty v následující tabulce 1. Z výsledků rozebíraných v předchozích odstavcích je patrné, že závislost na poklesu amplitudy akomodace vykazují zejména vergenčně – akomodační vztahy. Některé parametry, jako například fúzní rezervy se mění nezávisle, jiné například proximální složka konvergence nevykazuje žádné významné změny. Z výše uvedeného textu také vyplývá, že se nedají předpokládat problémy pacientů vergenčního charakteru založené pouze na věku, respektive na poklesu amplitudy akomodace.

Tabulka 1 – Přehled změn sledovaných veličin; sestaveno na základě zdrojů [2,3,11,12,13,14,15,16,17,18,25,26,]

Veličina/parametr	Změna	Velikost změny	Poznámka*
Amplituda akomodace	pokles	0,3 D/rok	-
AC/Ar poměr	nárůst	0,1 pD/D/rok	-
AC/As poměr	nemění se*	0,04 pD/D/rok	pokles až po nástupu presbyopie, kdy měření už nemusí být spolehlivé
CA/C poměr	pokles*	0,004 D/pD/rok	0,003 - 0,006 D/pD/rok
HTF do blízka	nárůst*	až 6 pD	směrem k exoforii
HTF do dálky	nemění se	-	-
NPC	nárůst	z 6,95 cm na 13,06 cm	-
Tonická konvergence	nemění se*	-	mírný konvergenční nárůst po 40 roku života
Proximální konvergence	nemění se	-	-
Fúzní rezervy	pokles*	až 50 %	nejpatrnější u pozitivních FR do blízka

Závěr

Má bakalářská práce byla zacílena na vcelku probádanou, avšak někdy nepříliš jednoznačnou oblast optometrie věnující se změnám vergenčně – akomodačního a vergenčního systému s věkem. Práce byla rozdělena na 3 hlavní kapitoly. První dvě, s názvy Vergenční systém a Akomodace, měly za cíl uvést čtenáře do dané problematiky a poskytnout mu informace potřebné pro kapitolu 3, která byla zaměřena na věkem podmíněné změny vergenčně – akomodačního systému.

V první kapitole byl popsán vergenční systém, jeho složky, dysfunkce a veličiny číselně definující vergenční pohyby. První kapitola obsahovala také stručný úvod do binokulárního vidění pro kompletní orientaci čtenáře v problému.

Druhá kapitola byla věnována akomodaci. Byly připomenuty jednotlivé složky akomodace i amplituda akomodace. Kapitola Teorie presbyopie byla spolu s podkapitolou Vergenčně – akomodační vztahy patrně nejdůležitější pro závěrečnou část práce.

Těžištěm práce byla třetí kapitola, jež byla rozdělená na 4 části. V nich byly postupně popisovány věkem podmíněné změny vergenčně – akomodačních vztahů, svalové rovnováhy či vývoj polohy blízkého bodu konvergence. Pozornost byla také zaměřena na změnu jednotlivých složek konvergence.

Na základě informací, které jsem nabył při psaní práce, a které jsem v práci interpretoval, si dovoluím tvrdit, že největší dopad poklesu amplitudy akomodace na celý vergenčně – akomodační systém je ve změně vergenčně – akomodačních vztahů. Jestli má pokles amplitudy akomodace vliv i na velikost akomodační konvergence a tím na lehký pokles amplitudy konvergence se lze pouze dohadovat, neboť ani jedna z teorií vysvětlujících vliv stárnutí na velikost akomodační konvergence není dokonale objasněna.

Věřím, že by práce mohla sloužit jako zdroj informací rozšiřující základní povědomí nejen o vergenčně – akomodačním systému, ale především o jeho změnách, které mohou být spojeny s notoricky známým poklesem amplitudy akomodace.

Seznam použité literatury

- [1] GROSVENOR, T., *Primary care optometry*. 5th ed. St. Louis, Mo.: Butterworth-Heinemann/Elsevier, c2007. ISBN 978-0-7506-7575-8.
- [2] BENJAMIN, W. J., BORISH, M. I., *Borish's clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo.: Butterworth Heinemann/Elsevier, c2006. ISBN 0750675241.
- [3] EVANS, B. J. W., PICKWELL, D., *Pickwell's binocular vision anomalies*. 5th ed. New York: Elsevier Butterworth Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-8897-0.
- [4] PLUHÁČEK F. *Normální binokulární vidění – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011.
- [5] ELLIOT, D. B., *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. Butterworth-Heinemann: Elsevier; 2007. ISBN: 978-0-7506-8896-3.
- [6] TUNNACLIFFE H. A., *Introduction to Visual Optics*. Association of British Dispensing Opticians, c1993. ISBN 0-900099-28-1.
- [7] GOSS, A. D., *Ocular accommodation, convergence & fixation disparity: clinical testing, theory & analysis*. 3rd ed. Santa Ana, CA: OEP Foundation, c2009. ISBN 978-0-929780-24-5.
- [8] SCHEIMAN, M., WICK, B., *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*. 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, c2008. ISBN 0781777844.
- [9] PLUHÁČEK F. *Poruchy BV a akomodace – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění 2*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011.
- [10] PLUHÁČEK, F., *Akomodace, presbyopie, afakie, amblyopie – zápisky předmětu Fyziologická optika*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.
- [11] PALLIKARIS, I., PLAINIS, S., CHARMAN, W.N., *Presbyopia: origins, effects and treatment*, SLACK Incorporated, c2012. ISBN: 978-1617110269.

- [12] BRUCE, A. S., ATCHISON, D. A., BHOOLA, H., *Accommodation-convergence relationships and age*. Investigative Ophthalmology and Visual Science. vol. 36, 1995, no. 2, pp. 406–413.
- [13] OSTADIMOUGHADDAM, H., HASHEMI, H., NABOVATI, P., YEKTA, A. KHABAZKHOOB, M. *The distribution of near point of convergence and its association with age, gender and refractive error: a population-based study*. Clinical and experimental optometry, vol. 100, 2017, no. 3, pp. 255–259.
- [14] HOKODA, S.C., ROSENFELD, M., CIUFFREDA, K.J. *Proximal vergence and age*. Optometry and Vision Science. vol. 68, 1991, no.3, pp. 168–172.
- [15] SHEEDY, J., SALADIN, J. J., *Exophoria at near in presbyopia*. American journal of optometry and physiological optics. vol. 52, 1975, no. 7, pp. 474–81.
- [16] PALOMO ÁLVAREZ, C., PUELL, M.C., SÁNCHEZ–RAMOS, C. et al. *Normal values of distance heterophoria and fusional vergence ranges and effects of age*. Graefe's Archiv for Clinical and Experimental Ophthalmology. vol. 244, 1989, no. 7, pp. 821-824.
- [17] CIUFFREDA, K. J., ROSENFELD, M., CHEN, H., *The AC/A ratio, age and presbyopia*. Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 17, 1997, no. 4, pp. 307–315.
- [18] ROSENFELD, M., CIUFFREDA, K. J., CHEN, H., *Effect of age on the interaction between the AC/A and CA/C ratios*. Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 15, 1995, no. 5, pp. 451–455.
- [19] BAKER, F. J., GILMARTIN, B., *The effect of incipient presbyopia on the correspondence between accommodation and vergence*. Graefe's Archiv for Clinical and Experimental Ophthalmology, vol. 240, 2002, no. 6, pp. 488–494.
- [20] CHARMAN, W. N., *The eye in focus: accommodation and presbyopia*. Clinical and Experimental Optometry, vol. 91, 2008, no. 3, pp. 207-225.
- [21] FISHER, R. F., *The force of contraction of the human ciliary muscle during accommodation*. The Journal of Physiology, vol. 270, 1977, no. 1, pp. 51–74.

- [22] HERON, G., CHARMAN, W. N., SCHOR, C. M., *Age Changes in the Interactions between the Accommodation and Vergence Systems*. Optometry and vision science, vol. 78, 2001, no. 10, pp. 754-762.
- [23] YEKTA, A., PICKWELL, L., JENKINS, T., *Binocular vision, age and symptoms*. Ophthalmic and Physiological Optics. vol. 9, 1989, no. 2, pp. 115-120.
- [24] FREIER, B. E., PICKWELL, L. D., *Physiological exophoria*. Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 3, 1989, no. 3, pp. 267-272.
- [25] HASHEMI, H., NABOVATI, P. KHABAZKHOOB, M., OSTADIMOGHADDAM, H., DOOSTDAR, A., SHIRALIVAND, E., YEKTA, A., *The prevalence of convergence insufficiency in Iran: a population-based study*. Clinical Experimental Optometry. vol. 100, 2017, no. 6, pp. 704-709.
- [26] CIUFFREDA, K. J., ONG, E., ROSENFELD, M., *Tonic vergence, age and clinical presbyopia*. Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 13, 1993, no. 1, pp. 313-315.