

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

Vliv změny myopické korekce na akomodačně-vergenční systém

Diplomová práce

Vypracovala:

Bc. Hana Beranová
obor N5345, R100042
studijní rok 2011/2012

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení:

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

V Olomouci dne 20. 4. 2012

.....

Bc. Hana Beranová

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce, panu RNDr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., za vstřícný přístup, odbornou pomoc a cenné rady, které mi poskytnul v průběhu zpracovávání práce.

Obsah

Obsah	4
1. Úvod.....	6
2. Refrakční vady oka	7
2.1 Obtíže způsobené refrakční vadou.....	7
2.2 Emetropie.....	8
2.3 Ametropie	8
2.4 Metody stanovení refrakce.....	9
3. Myopie (krátkozrakost).....	11
3.1 Etiologie.....	11
3.2 Klasifikace	12
3.3 Klinické příznaky.....	12
3.4 Korekce	13
4. Akomodace	15
4.1 Akomodační aparát	15
4.2 Složky akomodace	16
4.3 Základní veličiny akomodace a postup měření.....	17
5. Vergence	21
5.1 Okohybné svaly	21
5.2 Druhy binokulárních očních pohybů	23
5.3 Popis vergence	24
5.4 Složky vergence.....	25
5.5 Základní veličiny vergence a postup měření	26
6. Akomodačně-vergenční systém.....	30
6.1 Akomodační konvergence	30
6.2 Konvergenční akomodace.....	31
7. Binokulární vidění a stereopse.....	32
7.1 Vývoj binokulárního vidění.....	32
7.2 Stupně binokulárního vidění.....	33
7.3 Senzorická fúze.....	33
7.4 Monokulární a binokulární vnímání prostoru.....	36
7.5 Stereopse.....	37
7.6 Vyšetřování stereopse	40

8. Souvislost korekce myopie s akomodací a vergencí	42
8.1 Nekorigovaná myopie.....	42
8.2 Korigovaná myopie.....	44
8.3 Překorigovaná myopie	45
8.4 Podkorigovaná myopie	46
8.5 Rozdíly v korekci brýlovou a kontaktní čočkou	47
9. Výzkumná část.....	50
9.1 Vyšetřované osoby a metodika práce	50
9.2 Výsledky	52
9.3 Diskuze	52
10. Závěr	55
Zdroje.....	56
Použitá literatura a další zdroje.....	56
Obrázky.....	57
Tabulky	57
Přílohy.....	59

1. Úvod

Současná doba, která klade na každého jedince velké nároky, přináší také zvýšené požadavky na kvalitu vidění. Proto jsou v dnešní době tolik vyhledávané kvalitní služby v oblasti optiky a optometrie. Většina pacientů při předpisu brýlové korekce spoléhá na zkušenosti svého oftalmologa, popřípadě optometristy. Mnoho lidí si neuvědomuje, že výsledný předpis dioptrií z větší části závisí na jejich odpovědích, nehledě na možnost chyby, kterou může udělat samotný vyšetřující. Je-li optometrista (oftalmolog) dostatečně zkušený, měla by se chybovost při stanovování korekce snížit na minimum.

Překorigování krátkozrakého (myopického) pacienta je častá chyba nezkušeného nebo nepozorného odborníka. Obvykle se předpokládalo, že překorigováním dojde pouze k navození tzv. astenopických potíží (pocit tlaku, řezání, pálení očí, překrvení spojivek, bolest hlavy nebo nevolnost). Přičemž tyto obtíže jsou způsobeny zvýšeným požadavkem na akomodaci (zaostřování), která jak známo navozuje konvergenci (sbíhání očí). Otázkou tedy je, zda změnou v korekci není ovlivněn celý akomodačně-vergenční systém.

Cílem výzkumné části práce je stanovit vliv překorigování a podkorigování na akomodačně-vergenční systém a stereopsi (prostorové vidění). Každá zmiňovaná veličina je reprezentována vhodně vybranými parametry (akomodační facilitata, vergenční facilitata a stereoskopický práh).

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Níže popsaný teoretický oddíl slouží k objasnění a pochopení souvislostí v konfrontaci s vlastním výzkumem. V teoretické části je úvodní kapitola věnována refrakčním vadám obecně, jejich projevům a možnostem korekce. Následující kapitola se zaměřuje na podrobný popis myopické refrakční vady, na nějž navazují oddíly o problematice akomodace,vergence a akomodačně-vergenčního systému. Další část práce se zabývá binokulárním viděním, jeho vývojem a správnou funkcí, jelikož souvisí a vysvětluje následující oddíl o stereopsi. V poslední části teoretického popisu jsou shrnuty poznatky o vlivu myopické korekce na akomodaci a vergenci. Experimentální část navazuje na teoretickou a zaměřuje se na uskutečněný výzkum. Popisuje zkoumanou skupinu vybraných osob, způsob získávání dat, analýzu a vyhodnocování naměřených veličin. V závěru praktické části jsou shrnuty a prezentovány výsledky celého výzkumu.

2. Refrakční vady oka

Zrak je jedním z našich pěti smyslů, který se na rozdíl od ostatních musí v průběhu prvních let života ještě vyvíjet a upevňovat. Zdravému jedinci trvá přibližně sedm let, než se naučí vytvořit kvalitní binokulární vjem (vidět oběma očima současně). Jedná se tedy o velmi komplikovaný proces, jehož důležitou součástí je schopnost vytvořit ostrý obraz pozorovaného předmětu na sítnici. To znamená, že aby člověk dobře viděl, nesmí mít větší refrakční vadu, která by zabránila rozvoji a zkvalitňování vidění, nebo jakoukoli jinou poruchu zrakového orgánu (např. neprůhlednost očních médií). [1]

2.1 Obtíže způsobené refrakční vadou

Mezi nejčastější příčiny poruchy vývoje vidění patří již zmiňované refrakční vady, které jsou provázeny typickými symptomy. Projevy refrakčních vad se liší podle velikosti dané vady. U vyšších refrakčních vad bývá podstatně snižené, zamlžené nebo nepřesné vidění. Oko není schopno vykorigovat větší vadu, která se plně projeví, a tím pádem i lépe diagnostikuje. Na rozdíl od menších vad, které je oko schopné do určité míry vykorigovat samo, ale bezděčná nucená činnost vede ke svalovému a nervovému vyčerpání, jež je provázeno celou řadou obtíží. Příčinou těchto obtíží tedy není malá refrakční vada sama o sobě, ale trvalé úsilí o její vykorigování. Nižší vady se nesnadno identifikují, protože vidění bývá normální, ale mívají pestřejší projevy obtíží. Mohou obnášet pocit tlaku, nepohodlí a cizích tělísek pod víčky, dále způsobit zarudnutí až zduření okrajů víček s častějším výskytem zánětů. Spojivky bývají překrvené, oči mají unavený vzhled a může se vyskytnout i zvýšená slzivost. Typická je také bolest hlavy, která je lokalizována v okolí očí, ale může se šířit až za oko do temene nebo týla hlavy. Výjimkou není ani bolest v oblasti krční páteře.

V případě, že je oko bez refrakční vady, je nitrooční čočka při pohledu do dálky v klidu. Do blízka oko mění svou optickou mohutnost tím, že akomoduje, což se děje pomocí ciliárního svalu, závěsného aparátu a nitrooční čočky v kombinaci s konvergencí očí. Porucha této vyvážené spolupráce vede k obtížím.

Hypermetropické (dalekozraké) oko je nuceno akomodovat i do dálky, tím pádem je ciliární sval trvale zatížen. Myopické (krátkozraké) oko umožňuje ostře vidět pouze na krátkou vzdálenost, a proto si krátkozrací, ve snaze vidět ostře, přibližují pozorované předměty blíže k oku, ale tím nadměrně namáhají oba vnitřní přímé svaly. Různorodé

obtíže se také objevují při astigmatismu, anizometrii (rozdílná refrakce obou očí) a poruše souhry okohybných svalů (heterotropie, heteroforie). [1]

2.2 Emetropie

Z refrakčně – zobrazovacího hlediska považujeme oko za emetropické tehdy, pokud se obrazové ohnisko (F' – obraz nekonečně vzdáleného předmětu) nachází na sítnici při nulové akomodaci. Oči, které nesplňují tuto podmínku, považujeme za ametropické. Pojem nekonečno pro oko začíná přibližně ve vzdálenosti 5–6 m. Emetrop vidí a zobrazí ostře na sítnici celou množinu bodů, vyplňující předmětový prostor před okem v rozsahu tzv. akomodačního intervalu¹, který je ohraničen polohou dalekého² a blízkého bodu³. [18]



Obr. 1 Emetropie (1)

2.3 Ametropie

Ametropie je refrakční stav oka, kdy paprsky, které jsou paralelní s optickou osou, nejsou správně fokusovány, a tudíž nedopadají do fovey (místa nejostřejšího vidění na sítnici). Podle místa dopadu paralelních paprsků, dělíme refrakční vady na dva základní typy:

1. **Myopie (krátkozrakost)** – způsobuje, že rovnoběžné paprsky dopadající do oka v akomodačním klidu vytvářejí ohnisko před sítnicí.
2. **Hypermetropie (dalekozrakost)** – způsobuje, že paralelní paprsky vstupující do oka se sbíhají v obrazovém ohnisku za sítnicí. [1]

¹ Akomodační interval (Δa) je oblast mezi dalekým a blízkým bodem (v metrech) a lze jej vypočítat ze vztahu: $\Delta a = a_R - a_P = 1/A_R - 1/A_P$.

² Daleký bod (R – punctum remotum) leží na optické ose a zobrazí se na sítnici při minimální (nulové) akomodaci. Vzdálenost od oka se značí a_R (v metrech), u emetropického oka leží v nekonečnu.

³ Blízký bod (P – punctum proximum) leží na optické ose a zobrazí se na sítnici ostře při maximální akomodaci. Vzdálenost od oka se značí a_P (v metrech).

2.4 Metody stanovení refrakce

Abychom mohli správně stanovit a korigovat refrakční vadu, je třeba dodržovat předepsané postupy používané při měření dioptrické korekce oka. Podle zapojení pacienta do vyšetření dělíme refrakci na dva základní typy:

1. **Objektivní** – orientační stanovení dioptrické korekce nezávislé na reakcích pacienta.
2. **Subjektivní** – přesné určení dioptrické korekce ve spolupráci s pacientem.

2.4.1 Objektivní refrakce

Jedna z možných metod stanovujících potřebnou dioptrickou korekci vyšetřovaného nezávisle na jeho reakcích, což je velká výhoda pro určení korekce u nespolupracujících pacientů. Dává nám celkový přehled o stavu optického systému a nikoli o zrakovém aparátu. Je důležitou součástí refrakce, protože urychluje následující subjektivní vyšetření a tím snižuje zátěž pacienta.

Metody:

1. **Skiaskopie** – stanovení refrakce oka na základě posouzení pohybu červeného reflexu v zornici (odraz světla od očního pozadí).
2. **Autorefraktometrie** – měření předozadní délky oka pomocí infračerveného svazku paprsků.
3. **Keratometrie** – stanovení tvarových parametrů rohovky a následný výpočet celkového astigmatismu. [2]

2.4.2 Subjektivní refrakce

Po skončení objektivního vyšetření se získané hodnoty ověřují prakticky čtením optotypů na dálku pomocí:

1. **Zkušební obruba s refrakční sadou skel** – příslušná korekce se vkládá do obruby monokulárně (před jedno oko), zatímco druhé oko je zacloněno neprůhledným sklem a poté se celá korekce vyzkouší binokulárně (obě oči jsou odkryté). Při předsazování korekčního členu před oko musí být pečlivě kontrolována centrace skla, pupilární distance, výška a sklon nosníku, délka straníc a vzdálenost od vrcholu rohovky. Výhodou této metody je, že pacient má přirozené držení hlavy, vidíme jeho mimiku i oči (mhouří-li apod.) a snášenlivost předepsané korekce se dá taktéž ověřit při chůzi. Na druhou stranu vyšetření je poněkud časově náročnější.

2. **Foropter** – mechanický/digitální přístroj, který taktéž umožňuje předkládání korekčního členu. Jeho výhodou je rychlost a jednoduchost refrakce, možnost napojení na počítač (automatizace procesu). Nevýhoda je však v tom, že pacient má nepřírozené držení těla, může mít navozenou přístrojovou myopii a konvergenci, nevidíme jeho mimiku a korekci nelze ověřit v prostoru (chůze apod.). [1, 9]

3. Myopie (krátkozrakost)

Nejrozšířenější refrakční vada, při které rovnoběžné paprsky dopadající do oka v akomodačním klidu vytvářejí ohnisko před sítnicí a na sítnici vzniká zvětšený a rozmazaný obraz. [1]



Obr. 2 Myopie (1)

3.1 Etiologie

Rozdělení myopie podle příčiny vzniku:

1. **Osová (axiální) myopie** – předozadní délka oka je větší.
2. **Rádusová myopie** – lámavé plochy jsou více vyklenuté a poloměr křivosti je menší.
3. **Indexová myopie** – některé z optických prostředí oka má větší index lomu.

Nejčastější příčinou krátkozrakosti je prodloužená předozadní délka oka (tzv. osová, axiální myopie). Vycházíme-li z parametrů standardního redukovaného oka, pak změna délky o 1 mm přibližně odpovídá změně dioptrické délky a tedy i refrakce o 3 Dpt. Tento přepočít lze orientačně aplikovat i u reálného oka.

Mnohem vzácněji se vyskytuje křivostní myopie, u které bývá více zakřivená rohovka (např. u keratokonu), nebo některá z ploch čočky (přední a zadní lentikonus). Změna lomivosti některého z prostředí také může způsobit myopii, která se poté nazývá indexová. Při onemocnění známém jako cukrovka (diabetes mellitus) dochází ke snížení indexu lomu v korové oblasti čočky, což má za následek změnu lomivosti. Taktéž nukleární šedý zákal (cataracta nuclearis) mění lom jádra čočky (zvyšuje lomivost). [1, 4]

3.2 Klasifikace

Myopii dělíme podle počtu dioptrií:

1. **Lehká myopie (myopia simplex)** – do -3,00 Dpt.
2. **Střední myopie (myopia modica)** – od -3,25 do -6,00 Dpt.
3. **Těžká myopie (myopia gravis)** – nad -6,00 Dpt.

Lehká a střední myopie (myopia simplex a modica) též patří do skupiny tzv. školní myopie (myopia intermedialis), která se objevuje okolo 6. roku života, nebývá doprovázena degenerativními změnami a zřídka přesahuje -6,00 Dpt. Po 20. roce života se již zpravidla dále nezhoršuje.

Pod pojmem myopia progressiva (pathologica) rozumíme velmi rychle rostoucí krátkozrakost, jejíž progrese může být až -4 Dpt za rok. Vzniká už v prvním roce života a dále se velmi rychle zhoršuje. Vlivem nadměrného růstu oka dochází k degenerativním změnám na cévnatce, v okolí zřetivého nervu, ve žluté skvrně a také ve sklivci (kolikvace – zkapalnění). Mezi 20. a 30. rokem se vada stabilizuje a konečný počet dioptrií je -10 až -30 Dpt.

Vrozenou myopii (myopia congenitalis) nacházíme u předčasně narozených dětí a při retrolentální fibroplazii, která souvisí s retinopatií nedonošených. Dioptrický rozsah vady je -10 Dpt a více, vada většinou dále neprogreduje. U této vady není neobvyklá přítomnost okulogenního nystagmu, ale vzhledem k zachovalé stimulaci zrakových center při pohledu do blízka, nedochází k těžké amblyopii. Pokud se vyskytnou na očním pozadí patologické změny, hovoříme o degenerativní myopii. [1, 3, 5, 6]

3.3 Klinické příznaky

Hlavním symptomem krátkozrakosti je zamlžené vidění při pohledu do dálky a mhouření očí, které umožňuje zmenšení otvorové vady oka a navození stenopeického vidění. Myopové vidí v noci hůře než emetropové a příčinou těchto obtíží je tzv. noční myopie.

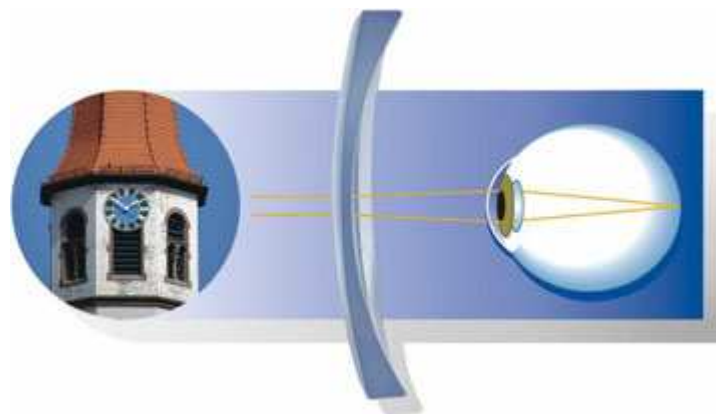
Dalším příznakem je dobré vidění do blízka, proto si krátkozrací lidé často přiblíží pozorované předměty blíže k očím, (nekorigované myopické oko vidí ostře pouze ty předměty, které leží v jeho dalekém bodě, který je blízko před okem). U nižší a střední myopie v presbyopickém věku je typické používání naturálního vidění do blízka bez jakékoli korekce. Z tohoto důvodu pozorujeme u krátkozrakých lidí odkládání

korekční pomůcky při čtení. Vysoké ametropie vytváří dojem lehkého exoftalmu z důvodu zvětšené předozadní délky oka.

Myopické oko se obecně popisuje jako „přerostlé“, přední komora je hluboká, zornice širší s pomalejší reakcí. Bělíma je v zadním kvadrantu oka ztenčená až na $\frac{1}{4}$ normální tloušťky (tzv. zadní stafilom) a ciliární sval bývá atrofický (oslabení akomodačních stimulů). [1, 3, 5]

3.4 Korekce

Myopie se koriguje rozptylnou čočkou, díky které se obraz vytvořený v ohnisku před sítnicí zobrazí přímo na sítnici do místa nejostřejšího vidění (makula). Z pohledu geometrické optiky je nutné umístit korekční čočku tak, aby daleký bod ležel v obrazovém ohnisku korekční čočky.



Obr. 3 Myopické oko s korekční rozptylnou čočkou (1)

Je třeba si uvědomit, že při korekci refrakční vady je nutné dodržovat správný postup, aby nedošlo k chybnému stanovení dioptrické hodnoty korekční pomůcky, což by mohlo mít za následek celou řadu obtíží (např. astenopické potíže, navození exoforie atd.). Během subjektivní refrakce předkládáme rozptylné čočky tak dlouho, dokud zlepšujeme zrakovou ostrost (tzn. vyšetřovaný přečte menší znaky na optotypu). Avšak při navyšování korekce je nutno nejprve vyndat všechna skla a až poté vložit součet dioptrií, aby nebyla navozena akomodace (pokud zvyšujeme korekci, ale zraková ostrost se nelepší, nejspíš pacienta překorigujeme). Jestliže dojde k překorigování, je myop nucen trvale akomodovat i do dálky, což je pro něj velmi nezvyklý stav, který vede k obtížím. Zjednodušeně se dá říct, že myopa korigujeme nejslabší rozptylkou, se kterou je dosažena nejlepší zraková ostrost.

Nekorigovaní myopové si často myslí, že jejich vidění je normální, protože nemají možnost srovnání, ale i přesto je velmi důležitá správná optická pomůcka, aby došlo k zachování fyziologické akomodace. V případě nekorigované nebo nedokorigované myopie pacient obvykle vnímá pouze zhoršené vidění a nemívá potíže, ale vlivem absence akomodace do blízka lze pozorovat zvýšenou exoforii.

Děti s touto refrakční vadou jsou spíše samotářské, vyhýbají se sportu a často vyrůstají s trochu odlišným duševním rozhledem, a proto je nutná včasná diagnostika a korekce. Mladé myopy vyšetřujeme vždy v cykloplegii. Nespolupracují pacienti měříme objektivní metodou pomocí skiaskopie nebo autorefraktometru. Zpravidla po dosažení dvou let je možno použít subjektivní vyšetření pomocí obrázkového optotypu, později měříme na optotypu s Pflügerovými háky a u starších dětí Snellovými optotypy. Předepisuje se plná sférocylindrická korekce, aby se zamezilo vzniku amblyopie (tupozrakosti). Nevykorigované myopické děti se jeví jako málo inteligentní a neohrabané, ale s korekční pomůckou tyto příznaky mizí. Většina z nich poté ve škole vykazuje nadprůměrné výsledky.

Dospělé jedince měříme subjektivní metodou pomocí zkušební obruby a sady skel nebo na foropteru. Je třeba zohlednit snášenlivost korekce, standardně by však měla být volena plná, subjektivně stanovená a trvale nošená korekce. U nižší a střední myopie můžeme předepsat plnou korekci díky dobré akomodaci, konvergenci a svalové rovnováze. Daná korekce je většinou dobře snášena a může být nošena celodenně. Velmi důležité je korigovat i slabou myopii zejména u řidičů (např. -0,50 Dpt), která není za normálních světelných podmínek vnímána (úzká zornice). Při stmívání se začne projevovat noční myopie, kterou oslnění protijedoucích aut jen zvyšuje. Pacienti s vyšší krátkozrakostí málokdy snášejí plnou korekci, proto ji vždy předepisujeme individuálně. [1]

4. Akomodace

Akomodace je schopnost oka měnit svou optickou mohutnost. Jedná se o zesílení optické lomivosti oka, které vede k zaostření všech pozorovaných předmětů, jež leží mezi dalekým a blízkým bodem. Je zajišťována jednak elasticitou čočky (fyzická akomodace), která se měří v dioptriích a jednak činností ciliárního svalu (fyziologická akomodace) měřenou v myodioptriích. Jedna myodioptrie se rovná kontrakci ciliárního svalu potřebné ke zvýšení refrakce nitrooční čočky o 1 Dpt. Průměrná doba akomodace je asi 1 sekunda a je dána součtem latence (cca 380 ms) a času potřebného pro pohyb čočky. Akomodační šíře⁴ od 5-ti let klesá o 0,3 Dpt za rok. V 10-ti letech činí asi 13,5 Dpt a ve dva a padesáti letech je prakticky nulová. Schopnost akomodace se s věkem snižuje, což je fyziologický děj nazývaný presbyopie (vetchozrakost). [1, 4, 8]

4.1 Akomodační aparát

Změna refrakčního stavu oka je způsobena změnou zakřivení lomivých ploch čočky a dalšími mechanismy. Jedná se o automatický reflex, který je také ovladatelný vůli. Vlastní akomodace se skládá z aktivní složky (činnost ciliárního svalu) a pasivní složky (nitrooční čočka spolu se závěsným aparátem a sklivcem).

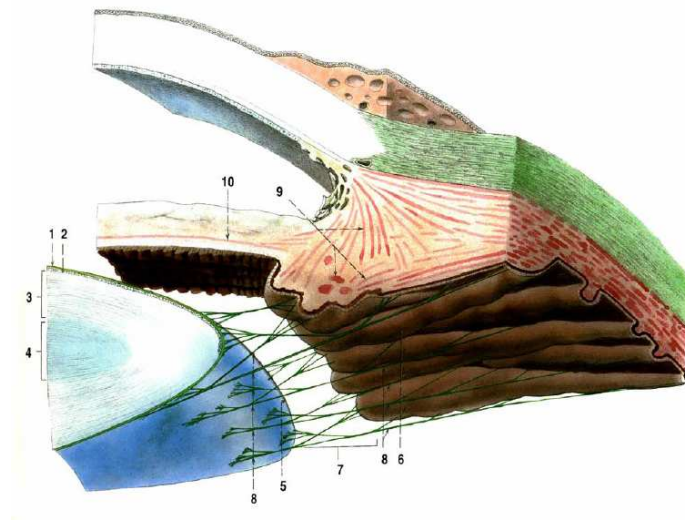
4.1.1 Čočka (lens crystalina)

Čočka je průhledná bikonvexní struktura, která má tři základní funkce: umožňuje akomodaci, mění refrakci a udržuje vlastní transparentnost (průchod světla a vytvoření ostrého obrazu na sítnici). Je uložena v zadní komoře oční a ve správné pozici je udržována pomocí závěsného aparátu (fibrae zonulares), který vychází z řasnatého tělíska. Čočka se skládá z pouzdra, epitelu, kortexu a jádra. Tvar čočky se mění v závislosti na tahu vláken závěsného aparátu, který odpovídá stupni akomodace a stáří člověka. Nitrooční čočka má natolik specifickou strukturu, že při akomodaci může zvýšit svou lomivost téměř dvojnásobně. Během života se zvětšuje, mění svůj tvar i optické vlastnosti. Její optická mohutnost je cca 20 Dpt, což je asi třetina celkové optické mohutnosti oka (58,64 Dpt). [4, 5, 6, 7]

⁴ Akomodační šíře (AA) je maximální možná změna dioptrické hodnoty optického systému oka, která se rovná rozdílu převrácených hodnot dalekého (A_R) a blízkého bodu (A_P) (v dioptriích). S její pomocí definujeme momentální akomodační výkon oka. Lze ji vypočítat ze vztahu: $AA = A_R - A_P = 1/a_R - 1/a_P$.

4.1.2 Řasnaté tělísko (corpus ciliare)

Řasnaté tělísko je na průřezu tvořeno trojúhelníkovitým prstencem, který je umístěn při zevním okraji duhovky a vzadu přechází do cévnatky. Vystupují z něj vlákna závěsného aparátu čočky. Obsahuje hladký ciliární sval (musculus ciliaris), jehož smršťováním a uvolňováním dochází k vyklenutí nebo oploštění čočky a tím i ke změně optické mohutnosti, což znamená, že je umožněna akomodace oka. Řasnaté těleso vytváří komorovou tekutinu, jež udržuje stálý nitrooční tlak. [7]



Obr. 4 Čočka a její závěsný aparát (2)

1 – capsula lentis, 2 – epithelium lentis, 3 – cortex lentis, 4 – nukleus lentis, 5 – aequator lentis, 6 – processus ciliares, 7 – zonula ciliaris, 8 – fibrae zonulares, 9 – musculus ciliaris, 10 – musculus dilatátor pupillae

4.2 Složky akomodace

Dnes je obecně uznáván názor, že akomodace se skládá z pěti složek: tonické, vergenční, proximální, reflexní a volní.

4.2.1 Tonická akomodace

Tonická akomodace je přítomna bez jakéhokoli stimulu. Jedná se o stav navozený klidovým napětím ciliárního svalu. U mladých lidí se pohybuje v hodnotách okolo 1 Dpt, což spolu s 0,5 Dpt vergenční složky vytváří tzv. akomodační rezervu.

4.2.2 Vergenční akomodace

Vergenční akomodace zajišťuje druhou nejdůležitější složku akomodace, která je kontrolována fúzí. Mluvíme o akomodaci, která je navozená konvergencí. Při konvergenci totiž vzniká impuls pro akomodační systém, který zvyšuje akomodaci o konvergenční složku akomodace.

4.2.3 Proximální akomodace

Proximální akomodace je aktivovaná vědomím blízkého předmětu, resp. odhadem vzdálenosti daného předmětu. Právě proximální akomodace navozuje při měřeních na přístrojích tzv. přístrojovou myopii.

4.2.4 Reflexní akomodace

Reflexní akomodace zajišťuje zaostření fixovaného předmětu na sítnici a podnětem pro její aktivitu je neostřý obraz. Není však ovládaná vůlí, a tudíž se jedná o automatický děj.

4.2.5 Volní akomodace

Volní akomodace je považována za samostatnou složku akomodace. Je ovládaná vůlí a bývá spojována s volní konvergencí. [1, 8]

4.3 Základní veličiny akomodace a postup měření

Akomodaci lze charakterizovat a také měřit pomocí několika základních veličin: amplitudy akomodace, relativní akomodace, akomodační facility a akomodační odezvy. Podle výsledků jednotlivých měření lze zjistit, zda je akomodace dostatečná či nikoli.

4.3.1 Amplituda akomodace

Neboli akomodační šíře (AA) je maximální možná změna dioptrické hodnoty optického systému oka a vyjadřuje se v dioptriích. [3, 8]

Amplitudu akomodace můžeme měřit dvěma metodami:

1. **Push up/push down** – pacient se správnou korekcí sleduje přibližovaný text na akomodačním pravítku a nahlásí, kdy dojde k rozmazání obrazu. Pokud je vyšetřovaný schopen znovu zaostřit text, pokračuje se v posouvání jezdec směrem k nosu, až se docílí stálého rozostření. Tato vzdálenost se zaznamená, a poté se jezdec posouvá směrem od kořene nosu, dokud nedojde k opětovnému zaostření (znovu se poznačí vzdálenost). Amplituda akomodace je dioptrický

průměr těchto dvou hodnot. Vyšetření se provádí monokulárně i binokulárně, a pokud se testují počínající presbyopové, přidává se adice (+1 Dpt), u malých dětí se předsazuje rozptylná čočka (-3 Dpt), aby došlo k posunu blízkého bodu dále od oka. [9]

2. **Metoda rozptylky** – vyšetřovaný má nasazenou optimální korekci a sleduje optotyp na 40 cm (vízus = 1). Vyšetřující předřazuje rozptylné čočky tak dlouho, až se text rozmáže. Zaznamená se hodnota rozptylné čočky, která způsobila rozmazání a poté se přidávají spojné čočky, až znovu dojde k zaostření. Jestliže víme, že akomodace na 40 cm = 2,5 Dpt, pak z naměřených hodnot můžeme vypočítat amplitudu akomodace. Tato metoda není tak spolehlivá jako test push up/push down a přesnější výsledky získáme při měření foropterem. [9]

Tab. 1 Amplituda akomodace – normální hodnoty (1)

Věk	Akomodační šíře (Dpt)		
	Push – up Donders	Push – down Duane	Rozptylka Sherard
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	-	-

4.3.2 Relativní akomodace

Relativní akomodace (RA) udává, o kolik dioptrií může být zvýšena (případně snížena) akomodace na danou vzdálenost (40 cm), aniž by došlo k narušení ostrého binokulárního vidění. Vyšetřuje se:

1. **Pozitivní relativní akomodace (PRA)** – akomodace navozována binokulárním předkládáním rozptylných čoček.

2. **Negativní relativní akomodace (NRA)** – akomodace uvolňována binokulárně předkládanými spojnými čočkami. [8, 9]

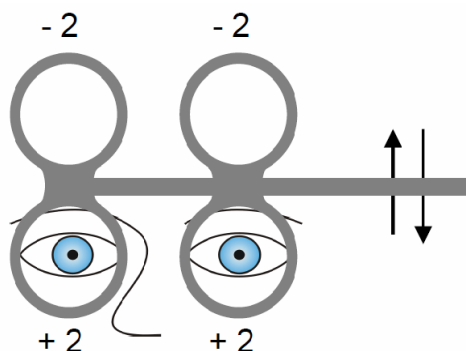
Tab. 2 Relativní akomodace – normální hodnoty (1)

PRA	NRA
průměr: -2,37 Dpt	průměr: +2,00 Dpt
rozsah: -1,75 až -3,00 Dpt	rozsah: +1,75 až +2,25 Dpt

4.3.3 Akomodační facilitita

Akomodační facilitita (AF) je schopnost oka dostatečně pružně, rychle a přesně reagovat na změny akomodačního požadavku. Měří se pomocí +/-2,0 Dpt flipru a toto vyšetření se využívá k určení rychlosti změny akomodace bez změnyvergence.

Pacient sleduje optotyp do blízka (40 cm) a vyšetřující předřazuje flipr, který se skládá ze dvou párů sférických čoček o hodnotách +2,0 Dpt a -2,0 Dpt. Facilita se měří monokulárně (MAF) i binokulárně (BAF) a její normální hodnoty jsou 11cpm (MAF) a 8 cpm (BAF). [8, 9]



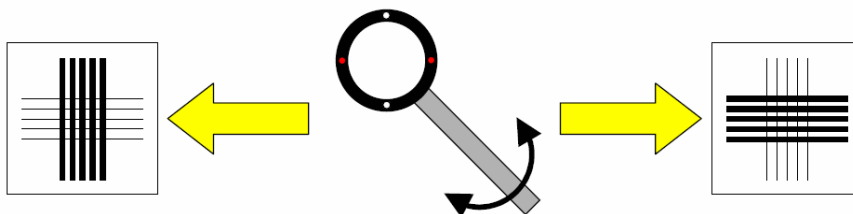
Obr. 5 Flipr pro vyšetřování AF (3)

4.3.4 Akomodační odezva

Akomodační odezva je reakce oka na akomodační stimul, při pohledu do blízka je trochu slabší (do dálky silnější), než je teoreticky potřeba (např. předmět ve vzdálenosti 40 cm je podnětem pro akomodaci 2,50 Dpt, ale akomodační reakce je menší, pouze okolo 2,00 Dpt). Díky nenulové hloubce ostrosti optické soustavy oka je pozorovaný předmět vnímán ostře. [8]

Akomodační odezva se vyšetřuje pomocí:

1. **Metoda monokulárního odhadu (MEM)** – objektivní stanovení akomodační odezvy pomocí skiaskopování během akomodace na danou vzdálenost. Blízký předmět je umístěn v rovině skiaskopu a měřením je tedy zaznamenávána hodnota sférických čoček potřebných k neutralizaci červeného reflexu. Spojné sférické čočky poukazují na nadměrnou akomodaci, kdežto rozptylné na nedostatečnou. Je-li předřazená sféra větší než +1,0 Dpt, může se jednat o nekorigovanou presbyopii či nedokorigovanou hypermetropii. Při hodnotách 0 Dpt a méně se předpokládá, že pacient má nadměrnou akomodaci nebo latentní hypermetropii. Normální hodnoty se pohybují od +0,25 do +0,75 Dpt.
2. **Metoda zkřížených cylindrů** – subjektivní vyšetření akomodační odezvy pomocí křížového optotypu, který je nepřímo osvětlen. Pacient sleduje předřazený optotyp (40 cm), který je záměrně rozmazán vložением +1,00 Dpt. Rozostřený obraz se odmlžuje předkládáním Jacksonova zkříženého cylindru (JZC) až do srovnání (případně prvního obrácení) ostrosti vjemu při otáčení v osách 0° a 90°. [8]



Obr. 6 Odmlžování pomocí JZC (3)

5. Vergence

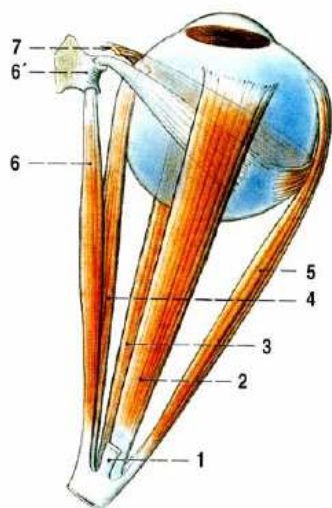
Vergence patří mezi základní binokulární oční pohyby a je součástí motorické složky jednoduchého binokulárního vidění (JBV). Jedná se o disjunktní pohyb očí, kde při změně fixační vzdálenosti se mění úhel zrakových os rychlostí asi 10 °/s.

Základní funkcí okohybného aparátu je zajištění fixace pohledu při zachování JBV. K fixaci musí docházet v různých pohledových směrech, vzdálenostech, v klidu i pohybu během pozorování předmětu.

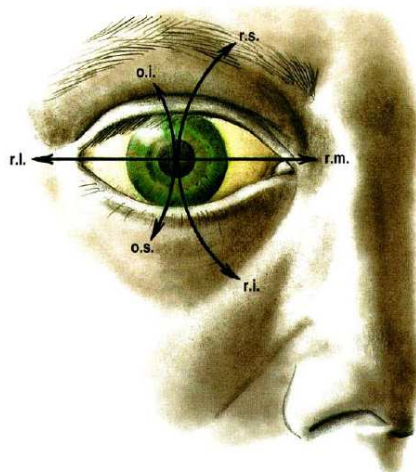
Disjunktní pohyby provádějí okohybné svaly a při poruše svalové rovnováhy není zachováno JBV a dochází k šilhání. Následující podkapitola se bude zabývat funkcí a anatomickým uspořádáním okohybných svalů, druhem očních pohybů a teprve závěrečné podkapitoly budou zaměřeny na vergenci jako takovou. [4, 8]

5.1 Okohybné svaly

Okohybné svaly (m. bulbi) umožňují dokonalou souhru očních pohybů. Dělíme je podle průběhu svalových snopců na přímé a šikmé. Na každém oku jsou čtyři přímé svaly (m. rectus medialis, lateralis, superior a inferior) a dva šikmé svaly (m. obliquus superior, inferior). Kromě dolního šikmého svalu začínají všechny okohybné svaly v Zinnově vazivovém prstenci v hrotu očnice. Přímé svaly pokračují dopředu a upínají se na bulbu před ekvátorem u čísel 3, 6, 9 a 12 (v různé vzdálenosti od limbu). Tyto úpony tvoří tzv. Tillauxovu spirálu. Délka přímých svalů je přibližně 40 mm a šířka úponu je individuální. Ze Zinnova prstence rovněž vychází horní šikmý sval, který však má atypický průběh. Zpočátku ve formě svalových vláken směřuje mezi horním a vnitřním přímým svalem a u tzv. kladky (trochlea) se mění ve šlachu, která pak zahýbá zevně a dozadu. Dále prochází pod horním přímým svalem a upíná se na horním zevním kvadrantu za ekvátorem. Dolní šikmý sval má počátek na spodní vnitřní části očnice, probíhá zevně dozadu a upíná se na dolním zevním kvadrantu také za ekvátorem. Inervaci okohybných svalů zajišťují hlavové nervy (n. III, n. IV, n. VI), jejichž jádra se nalézají na dně IV. mozkové komory. [3, 7]



Obr. 7 Pohled shora na okohybné svaly (2)



Obr. 8 Směry tahu okohybných svalů (2)

1 – m. levator palpebrae superior (odříznutý), 2 – m. rectus superior (**r. s.**), 3 – m. rectus inferior (**r. i.**), 4 – m. rectus medialis (**r. m.**), 5 – m. rectus lateralis (**r. l.**), 6 – m. obliquus superior (**o. s.**), 6' – trochlea, 7 – m. obliquus inferior (**o. i.**)

5.1.1 Funkce okohybných svalů

Oči se pohybují kolem tří hlavních os rotace:

1. **Horizontální** – zajištění pohybů směrem nahoru (elevace) a dolů (deprese).
2. **Vertikální** – umožňuje pohyb dovnitř (addukce) a zevně (abdukce).
3. **Předozadní (sagitální)** – stáčí oko dovnitř (intorze) a ven (extorze).

Pohyb oka pouze jedním směrem (hlavní účinek) vykonává vnitřní a zevní přímý sval, kdežto ostatní okohybné svaly umožňují pohyb různými směry, takže mají hlavní i vedlejší účinek. [3, 8]

5.1.2 Svalová rovnováha

Ortoforie (svalová rovnováha) je vyvážená funkce všech okohybných svalů. Při poruše svalové rovnováhy dochází k šilhání:

1. **Heterotropie** (HTT – zjevné šilhání) – není kompenzována činností okohybných svalů a projeví se zjevnou odchylkou oka.
2. **Heteroforie** (HTF – skryté šilhání) – za normálních podmínek je kompenzovaná zvýšeným úsilím okohybných svalů. [3, 8]

Tab. 3 Funkce a inervace okohybných svalů (2)

Sval	Inervace	Hlavní funkce	Vedlejší funkce
vnitřní přímý sval (<i>m. rectus med.</i>)	n. III <i>n. oculomotorius</i>	addukce	
vnější přímý sval (<i>m. rectus lat.</i>)	n. VI <i>n. abducens</i>	abdukce	
horní přímý sval (<i>m. rectus sup.</i>)	n. III <i>n. oculomotorius</i>	elevace	addukce, intorze
dolní přímý sval (<i>m. rectus inf.</i>)	n. III <i>n. oculomotorius</i>	deprese	addukce, extorze
horní šikmý sval (<i>m. obliquus sup.</i>)	n. IV <i>n. trochlearis</i>	intorze	deprese, abdukce
dolní šikmý sval (<i>m. obliquus inf.</i>)	n. III <i>n. oculomotorius</i>	extorze	elevace, abdukce

5.2 Druhy binokulárních očních pohybů

Rozlišujeme dva druhy binokulárních očních pohybů:

1. **Verse** – konjugované pohyby očí, při kterých se oči pohybují ve stejném směru (napravo, nalevo, nahoru, dolů).
2. **Vergence** – disjunktní pohyby očí, při nichž se oči hýbou po horizontální ose směrem k sobě (konvergence) nebo od sebe (divergence). [3]

5.2.1 Svaly spolupracující při binokulárním pohybu

Na binokulárním očním pohybu se podílí více svalů. Jednotlivé svaly se mohou ve svém účinku podporovat, nebo naopak působit proti sobě. Rozlišujeme dva druhy svalů:

1. **Agonista** (synergista) – souhlasně působící sval.
2. **Antagonista** – opačně působící sval.

Každý sval má svého stejnostranného (na témže oku) antagonistu a druhostranného (na druhém oku) agonistu (synergistu) a antagonistu. [8]

5.2.2 Zákony motorické spolupráce

Činnost všech svalů a konjugované oční pohyby probíhají podle zákonů motorické spolupráce obou očí:

1. **Heringův zákon** – z motorického centra přichází stejný nervový impuls do obou souhlasně působících svalů (agonista, synergista) pro pohyb očí v daném směru. Oba svaly se poté chovají jako jeden orgán a totéž platí o antagonistech v opačném slova smyslu.
2. **Sherringtonův zákon o reciproké inervaci** – paralelní pohyb obou očí je umožněn současnou kontrakcí agonistů a relaxací jejich antagonistů (tzn., pokud se zvýší impuls pro daný sval, dojde k utlumení jeho antagonisty). [8]

5.3 Popis vergence

Vergenční pohyby se realizují skrze motorickou fúzi. Tento termín označuje takové pohyby očí, které vedou k zaměření zrakových os na sledovaný objekt tak, aby došlo k získání nebo udržení obrazů na korespondujících místech sítnice a tím i k sensorické fúzi. Sensorická fúze pak umožňuje sloučení dvou stejných (téměř stejných) retinálních obrazů v jeden binokulární vjem. [8]

5.3.1 Druhy vergence

Podle fixační vzdálenosti se horizontální vergence dělí na dva typy:

1. **Divergence** (zvětšení fixační vzdálenosti) – umožňuje sledování vzdálených předmětů.
2. **Konvergence** (zmenšení fixační vzdálenosti) – uplatňuje se při pohledu do blízka. Je více vyvinutá než divergence a její amplituda je asi desetkrát větší.

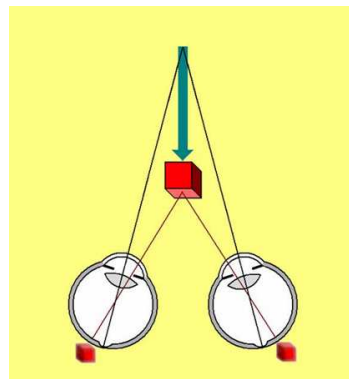
5.3.2 Konvergence

Konvergence (rotace očí směrem dovnitř) je uskutečňována nevědomě (reflexně), ale cvikem je možné dosáhnout značného stupně volní (vědomé) konvergence.

Podobně jako akomodace má i konvergence blízký bod (near point of convergence, NPC). Je roven nejmenší vzdálenosti předmětu umístěného před okem, ve které je viděn jednoduše. Nemusí být totožný s blízkým bodem akomodace (při přibližování může být předmět viděn neostře, nikoli však dvojitě). Obvykle bývá vzdálen asi 8 cm od kořene nosu.

Na rozdíl od akomodace je konvergence stálejší a není tak závislá na věku. Ve 20-ti letech je blízký bod konvergence v přibližné vzdálenosti 5,4 cm před okem, ve 30-ti letech v 7 cm a po 40. roce leží asi 8 cm od oka. Vzdálenost větší než 10 cm může poukazovat na nedostatečnou konvergenci.

V klinické praxi se konvergence popisuje pomocí prizmatické dioptrie (pD). Jedna prizmatická dioptrie je definována jako odchylka očí (od přímého směru) o 1 cm na vzdálenost 1 m. Z toho vyplývá, že úhel konvergence obou očí odpovídá pupilární vzdálenosti (měřeno při pohledu přímo vpřed) v centimetrech vydělené pozorovací vzdáleností v metrech. [1, 8]



Obr. 9 Zmenšení fixační vzdálenosti – konvergence (4)

5.4 Složkyvergence

Konvergence je tedy reflexní činnost, která ovšem může být iniciována vůlí. Reflex konvergence je řízen z okcipitálního (týlního) laloku a všeobecně je uznáváno dělení na šest složek: tonickou, akomodační, proximální, fúzní, adaptační a volní.

5.4.1 Tonická konvergence

Tonická konvergence je popisována jako pozice očí bez stimulu. Stáčí pohledové osy z anatomické zbytkové pozice (cca 17 pD exo – divergence) do přibližně rovnoběžné pozice. S věkem dochází k jejímu poklesu, a tím pádem je tendence návratu očí do mírně divergenčního postavení. Nedostatečná tonická konvergence může mít za následek exoforii, zatímco nadměrná tonická konvergence může navodit esoforii.

5.4.2 Akomodační konvergence

Akomodační konvergence je konvergence navozená akomodací a obvykle se popisuje pomocí tzv. AC/A poměru.

5.4.3 Proximální konvergence

Tato konvergence může být navozená odhadem vzdálenosti sledovaného bodu, nebo se uskutečňuje díky vědomí blízkého předmětu. Tento jev se také popisuje jako psychická konvergence či jako konvergence vědomé blízkosti.

5.4.4 Fúzní konvergence

V optimálním případě výše uvedené složky konvergence plně kompenzují konvergenční požadavek při pohledu na danou vzdálenost, ale v praxi tomu tak být nemusí a poté dochází ke vzniku heteroforie (skryté šilhání). Stimulem pro fúzní konvergenci, která kompenzuje HTF a brání vzniku diplopie (dvojitě vidění), je disparátní zobrazení bodů na sítnici. Pokud fúzní konvergence vyvolává konvergenční pohyb, hovoříme o kladné fúzní konvergenci a v opačném případě o záporné fúzní konvergenci. Fúzní konvergence může být uměle navozena předřazením prizmatické dioptrie.

5.4.5 Adaptační konvergence

Adaptační konvergence působí při déletrvající fixaci na danou vzdálenost a postupně nahrazuje akomodační a fúzní konvergenci.

5.4.6 Volní konvergence

Za samostatnou složku vergence (resp. konvergence) lze považovat tzv. volní konvergenci. Jedná se o konvergenci navozenou vůlí. [8, 12]

5.5 Základní veličiny vergence a postup měření

Vergence je charakterizována pěti měřitelnými veličinami: objektivní odchylkou, subjektivní odchylkou, blízkým bodem konvergence, fúzními rezervami a vergenční facilitou. Pokud dojde k poruše vergence, může nastat manifestní nebo latentní strabismus (HTT, HTF) a následující vyšetření pomáhají ke stanovení problému ve vergenčním systému.

5.5.1 Objektivní a subjektivní odchylna

Objektivní odchylna představuje konkrétní odchylnu oka od požadovaného směru. Subjektivní odchylna je úhel, který svírá pseudofovea⁵ s požadovaným směrem pohledu (s vrcholem v uzlovém bodě). Objektivní odchylna se měří pomocí zakrývacích testů (intermitentní, alternující), všechny ostatní testy jsou subjektivní (Von Graefeho metoda, Maddoxův cylindr). Měření se provádí na vzdálenost 5 nebo 6 m (do dálky) a na 40 cm (do blízka). [8, 10, 11]

Postup jednotlivých vyšetření nebude v této práci zmiňován, jelikož zaměření výzkumné části to nevyžaduje. Tato problematika je podrobně popsána v publikaci [12].

5.5.2 Blízký bod konvergence

Blízký bod konvergence (NPC) je nejbližší bod, na který oči dovedou konvergovat. Jeho vzdálenost se měří od kořene nosu.

1. **subjektivní NPC** – se měří na základě rozdvojení obrazu. Ze vzdálenosti asi 50 cm se pozoruje např. hrot tužky, který se posouvá směrem k nosu, až dojde k jeho rozdvojení (break point). Tato vzdálenost se zaznamená a poté se tužka posouvá zpět a zjišťuje se místo, ve kterém dojde k opětovnému spojení obrazu (recovery point). Naměřené hodnoty se zapisují jako zlomek: rozdvojení/spojení (v centimetrech). Normální hodnoty pro bod rozdvojení jsou 7,5 cm a méně, pro bod spojení 10,5 cm a méně. Je-li vzdálenost NPC větší než 10 cm, může se jednat o nedostatečnou konvergenci.
2. **objektivní NPC** – jeho měření má význam při supresi jednoho oka. Objektivní blízký bod konvergence je místo, ve kterém přestane jedno oko fixovat, při měření se projeví „vytočením oka zevně“. [8, 9]

5.5.3 Fúzní rezervy

Fúzní rezervy (FR) mají svůj význam při existenci HTF, protože dostatečně velká fúze může kompenzovat jednotlivé odchylny. Fúzní rezervy měříme pomocí prizmatické lišty (do dálky i do blízka).

1. **Pozitivní fúzní rezerva** (PFR) – má význam u exoforie. Předkládáním prizmatické lišty basí ven (BO) se měří maximální možná konvergence a zaznamenávají se hodnoty prizmatu při zamlžení (blur point), následovněm

⁵ Pseudofovea je místo sítnice, které při patologickém binokulárním vidění převezme funkci fovey.

rozdvojení (break point) a opětovném spojení (recovery point), při němž je ještě zachováno JBV.

Tab. 4 Normální hodnoty PFR (3)

Dálka		Blízko	
Blur point	12–16 pD	Blur point	20–28 pD
Break point	18–22 pD	Break point	26–34 pD
Recovery point	14–18 pD	Recovery point	22–30 pD

2. **Negativní fúzní rezerva (NFR)** – má význam u esoforie. Předsazováním prizmatické lišty basí dovnitř (BI) se měří maximální možná divergence.

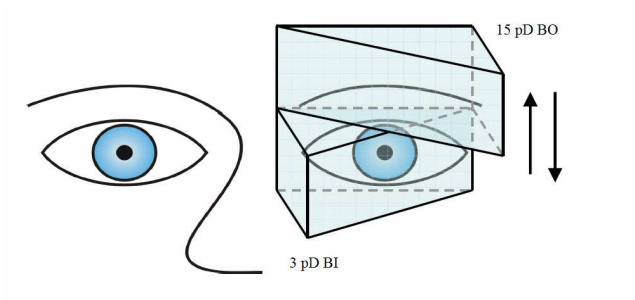
Tab. 5 Normální hodnoty NFR (3)

Dálka		Blízko	
Blur point	nenastává	Blur point	6–10 pD
Break point	6–12 pD	Break point	12–18 pD
Recovery point	4–8 pD	Recovery point	8–14 pD

3. **Supra/infra vergence** – mají svůj význam při hyper/hyfoforii. U infravergence se prizma předkládá před pravé oko basí nahoru (BU). Supravergenci měříme prizmaty předsazenými basí dolu (BD) a normální hodnoty jsou 2–4 pD. [8, 9]

5.5.4 Vergenční facilitita

Vergenční facilitita (VF) je schopnost reagovat dostatečně pružně, rychle a přesně na změny vergenčního požadavku. Měří se pomocí prizmatického flipru (12 pD BO/3 pD BI). Alternativu testu představuje monokulární předřazování 3pD BI (zůstává ve zkušební obrubě) a 15 pD BO (vkládá se a znovu vyndává). Pacient sleduje optotyp do blízka (40 cm) a vyšetřující předřazuje flipr (standardně před pravé oko), který způsobuje krátkodobé rozostření obrazu, jež musí pacient překonat. Vyšetřovaný nahlašuje, kdy dojde k opětovnému vyjasnění a znovu spojení obrazu. Ihned po zaostření se flipr změní na druhou prizmatickou hodnotu a po znovu zaostření je ukončen cyklus měření. Celé vyšetření se provádí 1 min a počítá se, kolik cyklů za minutu pacient zvládne. Normální hodnoty jsou 12 cpm, slabá VF je pod 9 cpm. [8, 9]



Obr. 10 Prizmatický flipr pro vyšetřování VF (5)

6. Akomodačně-vergenční systém

Akomodace a vergence jsou velmi úzce spjaté procesy, jelikož akomodace dává impuls ke konvergenci a opačně konvergence je sama o sobě impulsem k akomodaci. Při pohledu do dálky (oko v akomodačním klidu) jsou oční osy paralelní, aby pozorovaný předmět mohl být zobrazen do makuly. Při pohledu do blízka dochází nejen k akomodaci (zvětšení optické mohutnosti lámavých ploch čočky), ale také ke konvergenci (sbíhání očních os na pozorovaný předmět) a mióze (zúžení zornic).

Vzájemný vztah mezi akomodací a vergencí (resp. konvergencí) se využívá při měření kvality binokulárních funkcí a v klinické praxi se jejich vztah popisuje pomocí AC/A a CA/C poměru. [6, 8]

6.1 Akomodační konvergence

Akomodační konvergence (AC) je složka konvergence, která je navozená akomodací. Během akomodace je současně dán impuls vergenčnímu systému, což vede ke zvýšení konvergence o její akomodační složku. [12]

6.1.1 AC/A poměr

AC/A poměr popisuje změnu akomodační konvergence (AC) během jednotkové změny akomodace (A). Udává, o kolik prizmatických dioptrií se změní konvergence při změně akomodace o 1 Dpt.

AC/A poměr lze stanovit při pohledu do dálky i do blízka a hodnoty pro různé vzdálenosti se mohou lišit. Rozdílné výsledky mohou být také způsobeny délkou doby disociace (oddělení) obrazu nebo adaptací na prizmatická skla. Věk vyšetřovaného má na AC/A poměr pouze slabý vliv, jelikož se předpokládá, že snaha vyvolat změnu akomodace se s věkem nemění. [12]

6.1.2 Metody měření AC/A poměru

Obvykle se měří dvěma metodami: početní a gradientní.

1. **Početní metoda** – je dána vztahem mezi forií do blízka a do dálky, zpravidla dává vyšší hodnoty, jelikož vědomí blízkého předmětu zvyšuje konvergenci (proximální konvergence), ale i přesto vykazuje validnější výsledky než gradientní metoda. Nevýhoda početní metody je v tom, že akomodace je přítomna pouze při měření heteroforie do blízka.

2. **Gradientní metoda** – nenastává změna proximální konvergence, ale obecně není tak uznávaná jako početní metoda, i když je spolehlivější při určování efektu refrakční korekce na odchylku v dané vzdálenosti. [12]

6.2 Konvergenční akomodace

Změna ve vergenci je doprovázena odpovídající změnou v akomodaci, tzn., během konvergence vzniká impuls pro akomodační systém, což vede ke zvýšení akomodace o její konvergenční složku. Tato složka se nazývá konvergenční akomodace (CA). [12]

6.2.1 CA/C poměr

CA/C poměr popisuje změnu konvergenční akomodace (CA) během jednotkové změny v konvergenci (C). Tento poměr udává, kolik dioptrií akomodujeme na jednu prizmatickou dioptrii (pD) konvergence. Měření CA/C poměru je velice obtížné, a proto se v klinické praxi neprovádí. [12]

Problematika vlivu AC/A poměru na akomodačně-vergenční systém je prezentována v publikaci [21]. V této práci již nebude více zmiňována, jelikož zaměření výzkumné části je spíše orientováno na vzájemný vztah akomodace, vergence a korekce, viz 8. kapitola.

7. Binokulární vidění a stereopse

Jednoduché binokulární vidění je koordinovaná senzomotorická činnost obou očí, která zajišťuje vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu na sítnici. Skládá se ze tří složek:

1. **Optická** – umožňuje vytvoření ostrého obrazu pozorovaného předmětu na sítnici.
2. **Motorická** – ovládá postavení očí, aby obraz dopadl do fovey každého oka.
3. **Senzorická** – převádí podráždění sítnice do korových center. [8]

7.1 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění se vyvíjí spolu s ostatními smyslovými orgány. Jednotlivé smysly však dozrávají různým tempem, např. sluch je u novorozenců mnohem dokonaleji vyvinut než zrak. Některé základní zrakové funkce jsou vrozené, ale všechny ostatní složitější funkce zajišťující spolupráci obou očí musí být naučeny. U zdravého dítěte, spolu s narůstající dominancí žluté skvrny u obou očí a vytvořením řady korekčních reflexů, je teprve okolo 6–7 roku života ustálené normální, pevné, bifoveální, jednoduché vidění (tzv. jednoduché binokulární vidění – JBV).

Těsně po narození jsou oční pohyby nepravidelné a bezcílné, ale již za několik hodin je dítě schopné krátkodobé monokulární fixace (v rádech vteřin). Zraková ostrost je rovna světlocitu (schopnost rozlišit světlo a tmu). Pohyby očí se postupně stávají plynulejšími, dítě může střídavě fixovat pravým nebo levým okem a nefixující oko může fyziologicky zašilhat.

Ve druhém měsíci již pozorujeme pokusy o binokulární fixaci a konjugované oční pohyby. Přestože makula ještě není plně vyvinutá, dochází ke konvergenci na přibližující se předměty. Tento sklon ke konvergenci v časném kojeneckém věku (okolo 2. měsíce života) je považován za vrozený nepodmíněný reflex, který je postupem času nahrazen reflexem podmíněným (ve 3. měsíci vzniká reflex konvergence a divergence).

Ve čtyřech měsících již dítě zvedá hlavu, sleduje pohybující se ruku a sahá po podávaných předmětech, čímž dochází ke zvyšování nároků na ostré vidění do blízka, tedy na akomodačně-konvergenční reflex.

Šestý měsíc života se vyznačuje hladkými klouzavými očními pohyby. Dítě udrží konvergenci delší dobu a jsou vytvořeny ideální podmínky pro binokulární vidění a hloubkové vnímání (vzniká reflex fúze). Nastává plynulý přechod od monokulárního k binokulárnímu vidění. Do devátého měsíce života se binokulární spolupráce stabilizuje a kolem jednoho roku věku se začíná rozvíjet i prostorové vidění. Díky chůzi si dítě totiž začne uvědomovat polohu předmětů a učí se odhadovat jejich vzdálenost. V tomto období se zdokonaluje vztah mezi akomodací a konvergencí. [1, 8]

7.2 Stupně binokulárního vidění

Podle Wortha rozdělujeme binokulární vidění na 3 stupně: superpozice, fúze a stereopse.

1. **Superpozice** (simultánní vidění) – schopnost současného vidění dvou obecně různých makulárních obrazů a jejich překrytí (složení do jednoho vjemu).
2. **Fúze** – spojování stejného obrazu pravého a levého oka v jeden smyslový vjem. Rozeznáváme fúzi senzorickou a motorickou. Senzorická fúze je spojení dvou monokulárních vjemů v jeden zrakový vjem a vzniká i bez pohybu očí, kdežto motorická fúze řídí zrakové osy obou očí tak, aby se protnuly na fixovaném předmětu.
3. **Stereopse** – schopnost spojit lehce disparátní obrazy levého a pravého oka v jeden hloubkový vjem, jedná se o prostorové vidění a je to nejvyšší stupeň JBV. [7, 8]

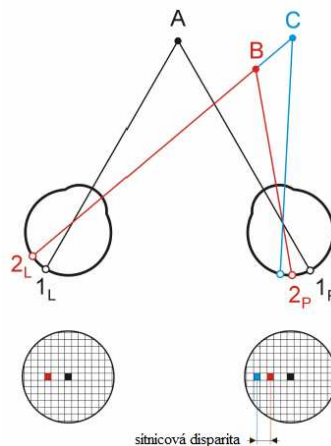
7.3 Senzorická fúze

Jak již bylo zmíněno, senzorická fúze je smyslová kombinace dvou stejných (téměř stejných) sítnicových obrazů v jeden binokulární vjem, avšak nutným předpokladem pro její vznik je motorická fúze. Pro lepší pochopení jsou v této kapitole vysvětleny základní pojmy, které souvisí se senzorickou fúzí. [8]

7.3.1 Retinální korespondence

Při normálním binokulárním vidění jsou vjemy obou očí spojeny v jeden zrakový vjem, který je vnímán z tzv. kyklopského oka, jež je umístěno přibližně uprostřed mezi oběma očima, avšak oproti klasickému monokulárnímu vidění je tento vjem prostorový. K dokonalému spojení dochází tehdy, pokud obraz pozorovaného objektu dopadá na tzv. korespondující body sítnic, což jsou za normálních okolností např. fovey (hlavní

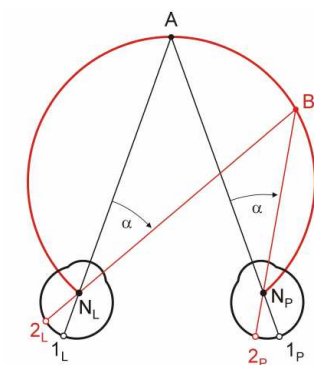
korespondující body sítnic), poté se takové zobrazení nazývá korespondující zobrazení. Naproti tomu při disparátním zobrazení obraz objektu nedopadá na vzájemně korespondující body, a tudíž není dokonale spojen. Při dostatečně malé disparitě ještě nedochází k narušení JBV, ale dochází ke vzniku prostorového vnímání částí sledovaného objektu. [8]



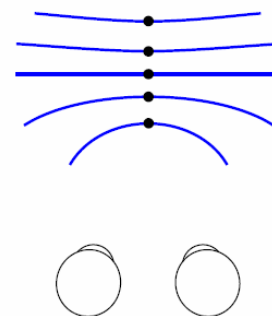
Obr. 11 Korespondující zobrazení bodu B a disparátní zobrazení bodu C při fixaci bodu A (6)

7.3.2 Horopter

Horopter je množina bodů v prostoru, které se při fixaci určitého bodu zobrazí na korespondující body sítnic. Všechny body na horopteru jsou dokonale fúzovány a tudíž i jednoduše viděny. Horopter lze popsat pomocí abstraktní Vieth-Müllerovy horopterové kružnice, avšak jeho skutečná podoba je oválná a závisí na vzdálenosti od fixačního bodu. Je-li vzdálen do 2 metrů, má tvar konkávní křivky, ve 2 metrech je přibližně frontoparalelní a ve větší vzdálenosti konvexní. Jedná se o tzv. Heringovu-Hildebrandovu deviaci. [1, 8]



Obr. 12 Teoretický horopter (6)



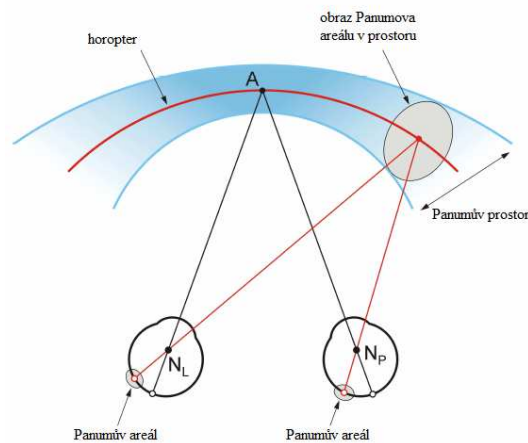
Obr. 13 Empirický horopter (6)

7.3.3 Panumův areál

Panumův areál tvoří okolí sítnicového bodu, ve kterém je mozek ještě schopen tolerovat disparátní zobrazení a vytvoří jednoduchý binokulární vjem. Lze jej popsat jako horizontálně protáhlou elipsu, která se směrem do periferie zvětšuje a má větší toleranci k disparitě. Panumovu areálu v prostoru odpovídá tzv. Panumův prostor. [1, 8, 13]

7.3.4 Panumův prostor

Panumův prostor ohraničuje místo v blízkém okolí horopteru, v němž dochází ke stereoskopickému (prostorovému) vidění. Čím větší je míra disparace v Panumově prostoru, tím silnější je hloubkový vjem, ale pokud disparace překročí Panumův prostor, body se začnou zobrazovat dvojitě (tzv. fyziologická diplopie). [1, 8, 13]



Obr. 14 Panumův prostor a areály (6)

7.3.5 Fyziologická diplopie

Fyziologická diplopie je dvojitě vidění předmětů vně Panumova prostoru z důvodu velkého přesahu oblasti Panumových areálů, kdy mozek již není schopen sensorické fúze a tudíž nedochází ke spojení obrazů do jednoho vjemu. Tento jev vzniká při normálním binokulárním vidění.

V běžném životě však fyziologickou diplopií nevnímáme, pokud se na ni úmyslně nesoustředíme. Při binokulárním vidění dochází k jemnějšímu vyhodnocování těchto nekorespondujících obrazů a informace je úmyslně potlačena. [8, 14]

7.4 Monokulární a binokulární vnímání prostoru

Prostor můžeme vnímat buď monokulárně (jedním okem), nebo binokulárně (oběma očima). Monokulární vnímání hloubky je na základě vlastních zkušeností, kdežto binokulárně vidíme prostorově v daném okamžiku.

7.4.1 Monokulární prostorové vidění

Díváme-li se monokulárně, mozek není schopen rozeznat rozdíly ve vzdálenostech mezi různými předměty. Monokulárně lze pozorovat obrazy pouze dvourozměrně, a proto se schopnosti určit hloubku předmětů učíme během života. Monokulární prostorové vidění vychází ze zkušenosti, avšak existují určité podněty, které nám naznačují relativní pozici předmětů v prostoru vzhledem k pozorovateli. [8, 14]

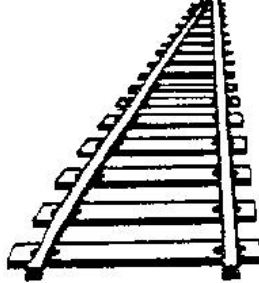
Monokulární prostorové vidění můžeme podle vnímání směru rozdělit na pět podskupin: velikost předmětů, překrytí předmětů, perspektiva, světlo a stín, pohyb.

1. **Velikost předmětů** – větší předměty se zdají být blíže než ty menší.
2. **Překrytí předmětů** – ze zkušenosti víme, že pokud jeden předmět částečně překrývá jiný, pak předmět, který je překrývaný, leží dále od pozorovatele. Totéž platí, pokud je bližší objekt menší.
3. **Perspektiva** – se dělí na lineární, bodovou a vzdušnou.
 - **Lineární perspektiva** – dvě rovnoběžné linie se směrem do dálky sbíhají do jednoho bodu.
 - **Bodová perspektiva** – objekty, které leží níže nad obzorem, se zdají být blíže.
 - **Vzdušná perspektiva** – určuje vzdálenost předmětů na základě změny jejich ostrosti, jasu a zabarvení. Tato změna je způsobena rozptylem a lomem světla v atmosféře. Vzdálené předměty tmavé barvy se nám jeví světlejší, než ve skutečnosti jsou a předměty světlých barev se naopak zdají tmavší. Vzdušná perspektiva je také zodpovědná za rozmazání a ztrátu jasnosti vzdálených předmětů.
4. **Světlo a stín** – směr a rozložení světla nebo stínu na/kolem objektů nás ovlivňuje ve vnímání tvaru předmětu a jeho hloubky.
5. **Pohyb** - pokud monokulárně fixujeme menší předmět několik metrů vzdálený při současném pohybu hlavou zprava doleva, pak se předměty před fixovaným bodem pohybují v opačném směru, než je pohyb hlavy. Předměty za fixovaným

bodem se pohybují ve směru pohybu hlavy. Tento proces nám udává informaci o relativní vzdálenosti předmětů od pozorovatele a označuje se jako pohybová paralaxa. [8, 14]



Obr. 15 Světlo a stín (7)



Obr. 16 Lineární perspektiva (8)



Obr. 17 Vzdušná perspektiva (9)

7.4.2 Binokulární prostorové vidění

Binokulárně vnímáme hloubku trojrozměrně a správnost vnímání vychází z přesného anatomického uspořádání a fyziologické funkce zrakového aparátu. Mezi složky binokulárního prostorového vnímání patří akomodace, konvergence a stereopse. První dvě zmiňované veličiny byly již v této práci popsány v předchozích kapitolách a následující kapitola se bude věnovat problematice stereopse.

7.5 Stereopse

Je označována jako pravé prostorové vidění. Základem je malá fixační odchylka pravého a levého retinálního obrazu, koordinovaný pohyb očních bulbů a částečné křížení nervových vláken v chiasma optikum. Stereopse není přítomná na horopteru nebo v jeho blízkém okolí, mimo Panumův prostor ani při velké vzdálenosti předmětu od pozorovatele. Výšková disparita nemá velký vliv na stereoskopické vidění, větší význam se přiřazuje příčné disparitě retinálních obrazů pravého a levého oka. Bývá označována jako stereoskopická paralaxa. Příčná disparita má vliv na prostorové vidění u menších vzdáleností, avšak s rostoucí vzdáleností vliv této disparity na prostorové vidění klesá. [14]

7.5.1 Vývoj prostorového vidění

Přibližně v prvním roce života, kdy je binokulární spolupráce již stabilizována, se začíná vyvíjet pochopení vztahů mezi předměty a zevním prostředím. Již dvoutměsíční kojeneček dokáže na základě paralaxy určovat vzdálenost. Dítě se učí, že může uchopit

předmět, který má ve svém dosahu, avšak vzdálenějších předmětů se dožaduje křikem. K poznání slouží i manipulace s věcmi, jejich postrkování, mačkání, házení a pouštění.

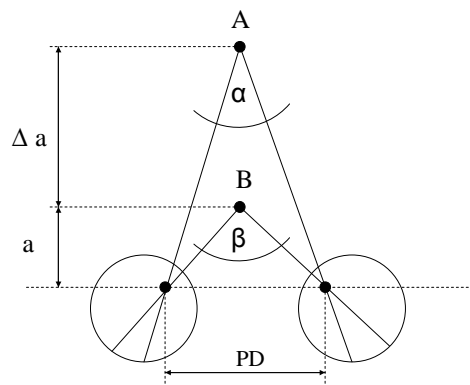
Teprve dalším vývojem však dítě získává schopnost vnímat stejně rychle jako dospělí. Dítě se učí věnovat pozornost celému zornému poli, všem jeho částem a pochopit vztahy mezi nimi. K přesnějšímu pochopení těchto vztahů dochází až okolo 6-7 let. [1]

7.5.2 Stereoskopická paralaxa, práh a poloměr

Stereoskopická paralaxa je velikost úhlu, který oči svírají mezi sebou při pohledu na předmět, viz obr. 18. Paralaxa (značená jako α) bodu je pak dána vztahem $\alpha = PD/a$, kdy a je vzdálenost předmětu od očí (v metrech) a PD je zornicový rozstup očí (v metrech).

Stereoskopický práh η_p (mez stereoskopického vidění) je minimální úhlový rozdíl dvou paralax (v radiánech), při kterém ještě rozlišíme vzájemnou prostorovou polohu bodu A a B. V návaznosti na obr. 18 lze stereoskopickou paralaxu spočítat jako:

$$\begin{aligned}\eta &= \alpha - \beta, \\ \alpha &= PD/a, \\ \beta &= PD/b, \\ \eta &= PD \cdot \Delta a/a^2.\end{aligned}$$

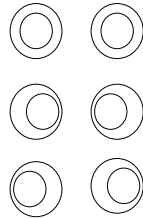


Obr. 18 Stereoskopická paralaxa (10)

Poloměr stereoskopického vidění nám vypovídá o tom, od jaké vzdálenosti už nelze pozorovat svět stereoskopicky a je dán poměrem pupilární distance PD (v metrech) ke stereoskopickému prahu (v radiánech). [14, 15]

7.5.3 Stereoskopické páry

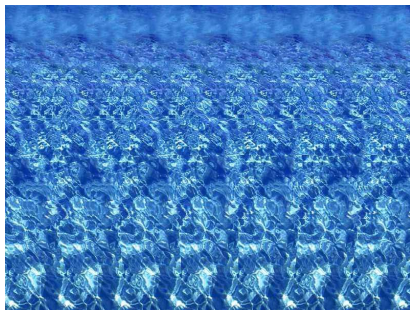
Stereoskopický vjem lze uměle navodit, pokud levému i pravému oku prezentujeme obrazy, jejichž některé části jsou vzájemně posunuty. Stimulujeme tak příčnou sítnicovou disparitu, která vytvoří prostorový vjem.



Obr. 19 Stereoskopické páry (10)

Speciálním případem stereoskopických párů jsou: Random dot stereogramy a Autostereogramy.

1. **Random dot stereogram** – zpravidla počítačově vytvořený stereogram, jež se skládá z náhodně lokalizovaných teček nebo symbolů. Prostorový vjem je vytvořen vzájemným posunem částí vnímaných levým a pravým okem. Tyto jsou obvykle integrovány do jediného obrázku a odděleny pomocí polarizace nebo anaglificky. Výhodou je, že není zřejmé, jaký prostorový obrazec je na obrázku obsažen.
2. **Autostereogram** – se skládá z vertikálně se opakujících symbolů, které jsou od sebe rozdílně vzdáleny a nazývá se Simple Wallpaper. [19]



Obr. 20 Autostereogram (11)



Obr. 21 Simple Wallpaper stereogram (12)

7.6 Vyšetřování stereopse

Aby mohl být vytvořen stereoskopický obraz, musí být složky JBV v naprosto dokonalé souhře. Jelikož stereopse je nejvyšším stupněm binokulárního vidění, její absence či malý počitek značí chybnou spolupráci těchto složek. Je-li zjištěna malá, nebo úplně chybějící stereopse, nejprve se zkoumá motorická složka, jelikož sensorická složka JBV je plně závislá na její správné funkčnosti.

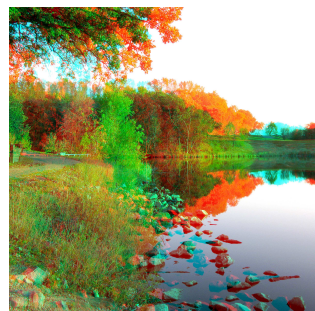
Všechny testy (tzv. stereogramy) slouží k určení přítomnosti stereopse, zjištění kvality a případně k jejímu měření. Mají základ v prezentaci stereoskopických párů a patří mezi zrakové klamy, které při pozorování dvojrozměrného obrazu vyvolávají prostorový vjem. Pro prezentaci dílčích obrazů ze stereopárů je třeba oddělit vjemy levého a pravého oka, což je možné jednak mechanicky (klasické stereoskopy), avšak v praxi se častěji využívá anaglyfická nebo polarizační technika.

7.6.1 Anaglyfické obrazy

K vidění anaglyfických obrazů trojrozměrně se používají anaglyfické brýle (nejčastěji červeno-zelené). Anaglyf obsahuje dva rozdílné barevné obrazy, které jsou na sebe natištěné a prezentované každému oku zvlášť. Je ve stejných barvách, jako jsou anaglyfické brýle (tzv. komplementární barvy). Složením komplementárních barev vzniká vjem černé barvy a na tomto principu fungují anaglyfické obrazy. Přes červený filtr brýlí vidíme zelené části obrazu černě a naopak. Každému oku je tedy prezentován jiný obraz a díky sensorické složce jsou spojeny v jeden prostorový vjem. [18]



Obr. 22 Anaglyfické brýle (13)



Obr. 23 Anaglyfický obrázek (14)

7.6.2 Polarizované stereogramy

K vidění stereoskopického vjemu se také využívají polarizované brýle. Lineárně polarizované světelné vlnění je takové, jehož vektor intenzity elektrického pole kmitá jenom v jednom směru. Rovina polarizace jednoho filtru vůči druhému je pootočená o 90 stupňů, a tím pádem každý z filtrů propouští světlo v opačném směru. Vznikají dva obrazy, které jsou vůči sobě mírně posunuté a díky polarizaci vidíme buď jeden, nebo druhý obraz. Dva rozdílné obrazy prezentované každému oku zvlášť jsou následně zfúzovány a je vytvořen prostorový vjem.

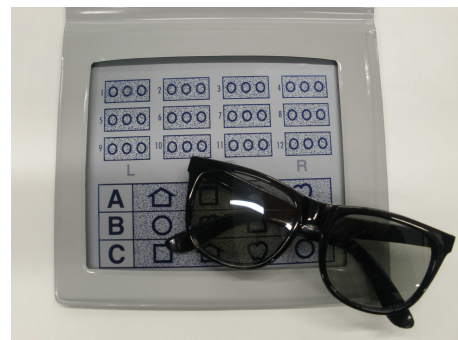
7.6.3 Stereotesty v optometrii

Stereotesty, které používá optometrista ke stanovení stereoskopického prahu, jsou např.: Malletův stereotest, Frisbiův stereotest nebo Random dot stereotest.

1. **Malletův stereotest do blízka** – testuje stereopsi na vzdálenost 40 cm. Je tvořen dvěma sloupci s téměř identickými páry geometrických tvarů, jež jsou polarizovány. Pomocí polarizačních brýlí je oku prezentován pouze jeden sloupec a oba retinální obrazy jsou následně zfúzovány. Měří se jednotlivé hodnoty úhlové disparity a podle nich se určuje stereoskopická ostrost.
2. **Random dot test** – zjišťuje přítomnost stereopse a měří velikost stereoskopického prahu v úhlových minutách. Vyšetření se taktéž provádí na vzdálenost 40 cm a stereogram je tvořen polarizovanými obrázky. Aby byl test viděn prostorově, je třeba předsadit pacientovi polarizační filtr před stávající korekci. Poté je vyzván ke sledování trojice kroužků, z nichž vždy jeden vystupuje do popředí. Úkolem vyšetřovaného je nahlásit, který z kroužků vidí prostorově a vyšetřující na zadní straně testu odečte hodnotu stereopse (400, 200, 160, 100, 83, 50, 40, 32, 25, 20, 16 a 12,5''). [16]



Obr. 24 Random dot test (10)



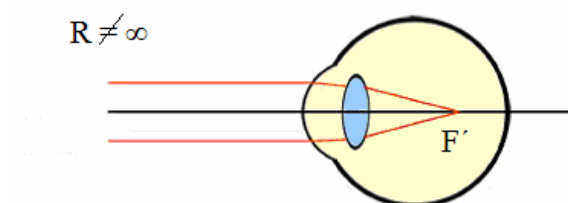
Obr. 25 Detail „kroužkového“ testu (10)

8. Souvislost korekce myopie s akomodací a vergencí

V této kapitole bude popsán vliv korekce myopie na oko a jeho akomodačně-vergenční systém. Součástí je i teoretický popis chyb jako jsou překorigování nebo nedokorigování myopie a jejich účinek na akomodaci a vergenci. Vše je pro lepší názornost doplněno ilustracemi, popřípadě výpočtem. Na závěr bude krátce zmíněna i problematika polohy korekčního členu před okem.

8.1 Nekorigovaná myopie

Paralelní paprsky vstupující do myopického oka vytváří ohnisko (F') před sítnicí a dále pokračují jako kužel divergentních paprsků.



Obr. 26 Zobrazení dalekého bodu v ohnisku F' před sítnicí (15)

8.1.1 Akomodační interval

U myopického oka leží daleký bod v konečné vzdálenosti před okem a rovněž blízký bod je posunut do kratší vzdálenosti než u emetropa (díky tomu nekorigovaný myop vidí ostře do blízka). Tím dochází z optického hlediska k základním změnám ve schopnosti ostrého zobrazení reálné oblasti předmětového prostoru. Akomodační interval je menší. Myop při pohledu do blízka dokonce dosahuje vyššího stupně rozlišení než emetrop stejného věku. Při zobrazování vzdálených předmětů však nevidí ostře (úměrně stupni dané vady). Po vykorigování myopie pomocí vhodné rozptylky pak krátkozraký člověk brzy zjistí, že je pro něj většinou výhodnější (pohodlnější) odložit korekční pomůcku do blízka. Pro srovnání zde uvádím příklad:

Příklad

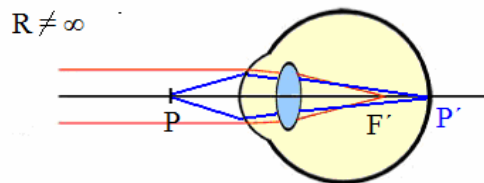
Emetrop, který má akomodační šíři 5 Dpt, je schopen zobrazit reálný předmětový prostor v rozsahu od nekonečna po 20 cm před okem. Postup při výpočtu blízkého bodu je následující. Dosadíme do rovnice pro akomodační šíři, kde vycházíme z podmínky, že axiální refrakce⁶ u emetrova je nulová a polohu blízkého bodu, zobrazeného na sítnici při maximální akomodaci, získáme jako zápornou vergenci akomodační šíře.

Akomodační interval: $(-\infty; -0,20)$ m

U myopa je však situace odlišná. Uvažujeme-li myopii s hodnotou axiální refrakce $A_R = -5$ Dpt, přičemž ponecháme v platnosti předchozí hodnotu akomodační šíře, pak polohu dalekého bodu získáme po dosazení do vzorce pro akomodační šíři, kdy A_R bude nenulová. Výsledná poloha blízkého bodu je 10 cm před okem.

Akomodační interval: $(-0,20; -0,10)$ m

Z porovnání výsledků vyplývá, že axiální refrakce -5 Dpt dokáže zásadním způsobem změnit velikost akomodačního intervalu, i když vycházíme z konstantních hodnot akomodační šíře. [17]



Obr. 27 Zobrazení blízkého bodu P na sítnici myopického oka (15)

8.1.2 Akomodace a konvergence u nekorigované vady

Vzhledem k tomu, že nekorigované myopické oko méně využívá akomodaci (díky poloze blízkého bodu není nuceno akomodovat tolik jako oko emetropické), vyznačuje se slaběji vyvinutým ciliárním svalem. Důsledkem je ochabování akomodačního

⁶ Axiální refrakce (A_R) je převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu od oka (v dioptriích). Tato veličina má mimořádný význam z hlediska rozboru základních refrakčních vad, protože nám pomáhá definovat momentální refrakční stav oka. $A_R = 1/a_R$

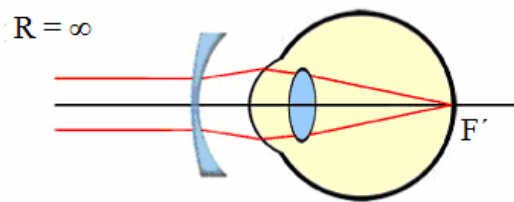
aparátu a předčasný nástup presbyopie. Také se objevuje relativně větší průměr zornice, protože akomodační proces a kontrakce duhovky jsou funkčně provázány.

Prostřednictvím AC/A poměru je navozena slabší akomodační konvergence a menší akomodační úsilí (do blízka), což vede ke vzniku exoforie do blízka (občasné rozdvojení obrazu). Na to musí vyšetřující při předpisu korekce brát zřetel.

Zjednodušeně lze říct, že nekorigovaný myop je zvyklý konvergovat bez akomodace, což je důvod obtíží, které při používání korekce do blízka mohou nastat. [1, 3, 4, 9]

8.2 Korigovaná myopie

Paralelní paprsky vstupující do vykorigovaného myopického oka vytváří ohnisko (F') na sítnici.



Obr. 28 Zobrazení dalekého bodu na sítnici po korekci rozptylnou čočkou (15)

8.2.1 Akomodační interval u korigované vady

Vzhledem k tomu, že krátkozraké oko s korekční čočkou má vlastně nulovou axiální refrakci (pseudoemetropie), dá se akomodační interval zapsat: $(-\infty; a_p)$, kde vzdálenost polohy blízkého bodu oka lze vypočítat ze vzorce pro akomodační šíři.

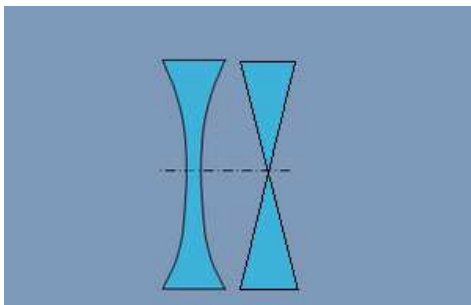
8.2.2 Akomodace u korigované vady

Myop s korekcí je nucen akomodovat více, než bez ní a vzhledem k tomu, že menší akomodační úsilí vede ke vzniku exoforie do blízka, tak nošením správné korekce lze tuto forii korigovat. Při pohledu do dálky vidí myop bez korekce rozmazaně, ale akomodace se nemění, proto nemá tento stav na forii do dálky vliv. Nosí-li správnou korekci, může mít dočasnou esoforii do blízka vzhledem k možné předchozí adaptaci na exoforii. Tato esoforie se však upraví návykem na korekci.

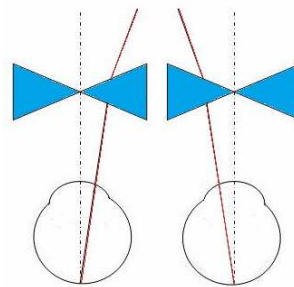
Víme-li, že nová korekce může navodit dočasnou esoforii, vždy ověřujeme snášelnost nově předepsané korekce do blízka. Obtíže však může mít nejen z nezvyku využívání větší míry akomodace, ale i ze změny velikosti obrazu na sítnici (předměty se zdají menší a vzdálenější). Proto je třeba upozornit nově korigovaného myopa na možné potíže. [1, 9]

8.2.3 Konvergence u korigované vady

S nasazenou brýlovou korekcí na dálku musí myop konvergovat do blízka méně než bez ní. Pro lepší pochopení si korekční rozptylnou čočku namodelujeme jako prizma, viz obr. 29 (rozptylka se dá zakreslit jako dva prizmatické hranoly bází od sebe). Z obr. 30 je zřejmý zmiňovaný efekt na konvergenci. [1, 9]



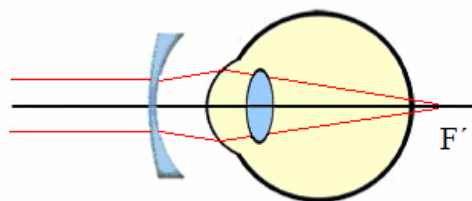
Obr. 29 Model rozptylky (10)



Obr. 30 Konvergence s nasazenou korekcí do dálky (10)

8.3 Překorigovaná myopie

Paralelní paprsky, vstupující do myopického oka při překorigování, vytvářejí ohnisko (F') za sítnicí, což vede k nucené akomodaci do dálky (stejně jako v případě nekorigované hypermetropie). Vzhledem k tomu, že akomodace u myopů bývá obvykle slabší, může tento stav přivodit astenopické obtíže.



Obr. 31 Vytvoření ohniska za sítnicí při překorigování myopie (15)

8.3.1 Akomodace u překorigované vady

Je-li během korekce myopie navozena akomodace (při chybné výměně zkušebních skel), způsobí to pacientovi vážné potíže. Jelikož nekorigovaný myop do blízka neakomoduje, překorigováním (hypermetropizací) jej nutíme akomodovat nejen do blízka, ale i do dálky.

K předpisu příliš silné korekce může dojít nejen navozením akomodace při stanovování refrakce, ale i chybným zhodnocením pacientovi odpovědi. Základní otázka při korekci myopie zní: „Je obraz s předsazenou korekční čočkou lepší, nebo stejný?“ Pokud pacient odpoví, že je lepší, ale obraz je vlastně pouze menší, černější a ostřejší, a pokud se zraková ostrost nezlepší, dojde k překorigování.

8.3.2 Konvergence u překorigované vady

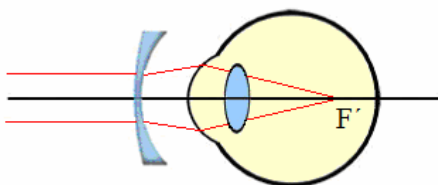
Je-li navozena akomodace do dálky a víme-li, že akomodace sama o sobě je impulsem ke konvergenci, můžeme říct, že překorigovaný myop bude mít tendence k heteroforii (esoforie do dálky). Do blízka je situace závislá na původním stavu, ale s předsazenou korekcí dojde k posunu směrem do eso odchylky (v závislosti na AC/A poměru). [1, 9]

8.4 Podkorigovaná myopie

Paralelní paprsky vstupující do nedokorigovaného myopického oka vytváří ohnisko (F') před sítnicí a na sítnici vzniká zvětšený a rozostřený obraz vzdáleného objektu.

V minulosti panoval názor, že myopickou vadu není dobré korigovat plně, ale nechat oko zaostřovat, aby se „cvičilo“. Dnes převažuje názor, že je správné nosit plnou korekci, takže tato situace je zde uváděna spíše z teoretických důvodů, jelikož při refrakci lze nedokorigovanou myopii jednoduše poznat podle dosažené zrakové ostrosti.

Podkorigovaný myop má podobné vztahy mezi akomodací a vergencí, jako nekorigovaný myop, protože paprsky se sbíhají před sítnicí, viz kapitola 8.1. [1, 9]



Obr. 32 Vytvoření ohniska před sítnicí při podkorigování myopie (15)

8.5 Rozdíly v korekci brýlovou a kontaktní čočkou

Korekce do dálky by měla umožnit kvalitní zobrazení vzdálených předmětů systémem: korekční optický člen a oko. Vzhledem k tomu, že myopické oko je obecně považováno za „přerostlé“, je nutné, aby vstupující paprsky měly přiměřeně divergentní směr (poté dojde k protnutí na sítnici). Jak již bylo řečeno, splnění této podmínky umožňují rozptylná brýlová skla. V současnosti se však čím dál častěji vyskytuje korekce kontaktní čočkou.

Optické rozdíly při korekci brýlovou nebo kontaktní čočkou se týkají změn, které nastávají ve velikosti sítnicových obrazů, zorném poli, akomodaci a konvergenci. Příčiny, které ovlivňují změny vidění, jsou následující:

1. **Brýle** – vzdálenost brýlové čočky od rohovky je přibližně 12 mm a oči se pohybují nezávisle na korekčním členu.
2. **Kontaktní čočka** – leží přímo na rohovce a pohybuje se zároveň s okem.

Kontaktní čočky mají z optického hlediska výhodu v neomezeném zorném poli (brýlová obruba), neexistenci periferní distorze obrazu a minimální anizeikonii⁷ při anizometrii⁸. [7, 9, 17]

8.5.1 Velikost sítnicových obrazů

Na sítnici nekorigovaného myopického oka se vytváří zvětšený a rozostřený obraz vzdáleného objektu. Korekcí docílíme ostrého zobrazení, ale zároveň zmenšíme velikost zobrazovaného předmětu. Zmenšení, které nastává při korekci brýlovou čočkou, lze redukovat aplikací kontaktní čočky. Korigujeme-li vysokou myopii kontaktní čočkou, můžeme dosáhnout zvýšení zrakové ostrosti díky zvětšení sítnicového obrazu.

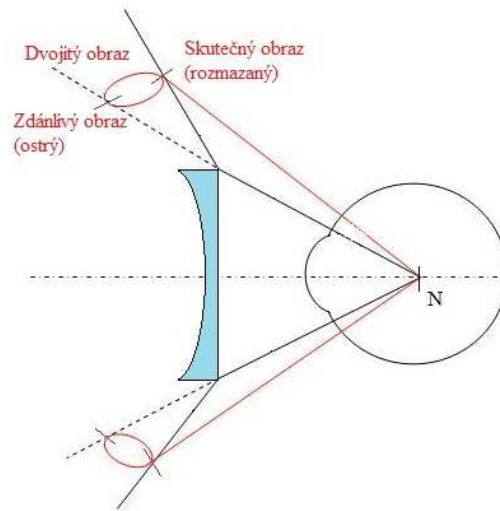
8.5.2 Zorné pole

Zorné pole je ovlivněno zejména velikostí brýlové obruby a čočky. Zvolíme-li větší obrubu, dojde ke zvětšení zorného pole, avšak narostou i zobrazovací vady čočky. Samozřejmě záleží na velikosti refrakce. Čím větší je ametropie, tím patrnější jsou zobrazovací vady. Výběrem kvalitní brýlové čočky je možné tyto vady minimalizovat, ale nikdy se je nepodaří odstranit úplně.

⁷ Anizeikonie je nestejná velikost sítnicových obrazů obou očí, která ruší při 2% velikosti rozdílu, nad 5% již znemožňuje JBV.

⁸ Anizometropie je stav, kdy refrakce na obou očích není shodná a způsobuje anizeikonii.

Brýlová korekce ovlivňuje zorné pole nejen tvarem obruby, ale také tím, že v periferii ostrého vidění vzniká dvojitý obraz (jeden ostrý a druhý neostrý). Tento negativní jev u korekce kontaktní čočkou nenastává. [9]



Obr. 33 Vliv brýlové korekce na zorné pole myopického pacienta (10)

8.5.3 Akomodace a konvergence

Myop korigovaný kontaktní čočkou musí akomodovat více než při korekci brýlovou čočkou. V obou případech však akomoduje více než emetrop. Kontaktní čočka nemá „prizmatický účinek“ jako rozptylná čočka, viz kapitola 8.2.3, a proto musí myop s kontaktní čočkou konvergovat více než s brýlovou korekcí. [9]

8.5.4 Vzdálenost korekční pomůcky od rohovky

Při korekci myopie vyšší než -4 Dpt, by měl předpis od očního specialisty obsahovat také informaci o vzdálenosti zkušební obruby od rohovky. Pouze v takovém případě bude oční optik schopen provést přepočet, aby při zábrusu byla dodržena korekční podmínka do dálky. Avšak v praxi se tento přepočet neprovádí. Pouze korigujeme-li vyšší myopii kontaktní čočkou, přepočítáme si dioptrickou hodnotu. Pro potřebnou zadní vrcholovou lámavost kontaktní čočky ($A'_{KČ}$) nám pomohou příslušné tabulky nebo vzorec pro přepočet zadní vrcholové lámavosti brýlové čočky (A'_b), kde Δd je vzdálenost vrcholu korekčního členu od přední plochy rohovky. [17]

$$A'_{KČ} = A'_b / (1 - \Delta d \cdot A'_b)$$

Tab. 6 Tabulka s přepočtenou vrcholovou lámavostí (4)

Foropter $\Delta d = 16 \text{ mm}$	Brýle $\Delta d = 12 \text{ mm}$	Kontaktní čočka $\Delta d = 0 \text{ mm}$
-4,25	-4,25	-4,00
-4,50	-4,50	-4,25
-4,75	-4,75	-4,50
-5,00	-5,00	-4,75
-5,25	-5,25	-5,00
-5,75	-5,50	-5,25
-6,00	-5,75	-5,50
-6,25	-6,25	-5,75
-6,75	-6,50	-6,00
-7,00	-6,75	-6,25

9. Výzkumná část

Prvním impulsem, jenž vedl k výzkumu pro předkládanou diplomovou práci, byl nálezh častého výskytu mírně překorigovaných myopických pacientů. Na základě praktických zkušeností se doposud předpokládalo, že chybnou korekcí dojde pouze k navození astenopických potíží. Vzhledem k předpokládanému vlivu špatné korekce na akomodaci vyvstala otázka, zda tato skutečnost nemůže přivodit i vážnější změny v celém akomodačně-vergenčním systému. Jelikož myopové se správnou korekcí mohou mít zpočátku (kvůli nezvyklému využívání akomodace) obtíže do blízka, byla problematika vlivu špatné korekce zkoumána právě na tuto vzdálenost. Pro klinické zhodnocení vlivu překorigování/podkorigování na konkrétní parametry nebyla nalezena žádná studie. Podobnou problematikou se zabývala Elena Matušíková v bakalářské práci „Zrakové klamy“ [21]. Ve výzkumu byly sledovány změny stereopse u nekorigovaných refrakčních vad do dálky. Výsledky obou prací budou srovnány v rámci diskuze.

Cílem níže popisované výzkumné části je tedy zjištění, zda malá chyba v myopické korekcí má vliv pouze na pohodlí a snášenlivost nošené korekce (navodí astenopické potíže), nebo významným způsobem ovlivní vybrané parametry akomodačně-vergenčního systému a stereopse. Konkrétně byly sledovány tyto veličiny: akomodační facilita (AF), vergenční facilita (VF) a stereoskopický práh při pohledu do blízka.

9.1 Vyšetřované osoby a metodika práce

Data byla získána vyšetřením souboru dvaatřiceti probandů, kteří splňovali následující podmínky: sférická část korekce (při zápisu se záporným cylindrem) byla -0,50 Dpt a více, věkový limit od 15-ti do 40-ti let. Požadavek na věkový rozsah byl dán možným vlivem počínající presbyopie na akomodaci. Dále byla požadována přítomnost jednoduchého binokulárního vidění, stereopse a fyziologický nálezh na obou očích.

Měření probíhalo v optometrické laboratoři katedry optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Všichni probandi byli nejprve poučeni o prováděných vyšetřeních a podepsali informovaný souhlas. Dva z vyšetřovaných nespĺňovali kvůli nízkému stupni myopie stanovené podmínky, a proto byli z výzkumu vyřazeni.

Testování jednoho účastníka probíhalo přibližně 45 minut a nebylo opakováno. Probandovi byla standardním způsobem stanovena objektivní refrakce pomocí autorefraktometru. Následně byly subjektivně vyměřeny dioptrie za použití zkušební sady čoček a optotypu. Po změření refrakce byla provedena sada speciálních testů, jejichž pořadí bylo následující: vergenční facilitita, monokulární akomodační facilitita, binokulární akomodační facilitita a stanovení stereoskopického prahu.

Hodnota vergenční facility byla získána pomocí prizmatického flipru 3 pD BI/12 pD BO, který byl předsazován na vzdálenost 40 cm. Monokulární akomodační facilitita byla měřena pro pravé a levé oko zvlášť pomocí $\pm 2,0$ Dpt flipru. Pro účely statistického testování byly hodnoty pro obě oči sloučeny a vyhodnocovány společně, jelikož nebyl předpokládán odlišný vliv překorigování/podkorigování na pravé a levé oko. Optotyp byl sledován také na vzdálenost 40 cm. Následně byl proveden test pro zjištění binokulární akomodační facility. Všechna vyšetření byla prováděna do blízka s nasazenou korekcí a trvala pouze 30 sekund, aby nedocházelo ke zvýšené únavě probandů a mohli zvládnout celou sadu testů bez dlouhých prostojů. Poslední zkoumanou veličinou byl stereoskopický práh, jehož hodnota byla zjištěna při měření na Random dot testu s nasazenou polarizační předsádkou. Poté byl pacient záměrně překorigován binokulárním předsazením skel o hodnotě $-0,5$ Dpt a znovu proběhla výše zmiňovaná vyšetření. Nakonec byl podkorigován předřazením $+0,5$ Dpt a taktéž přeměřen. Výsledné hodnoty byly zaznamenávány do protokolu, viz příloha č. 1. Jednotlivá vyšetření na sebe navazovala a byla realizována za stejných podmínek. Podrobný postup všech vyšetření je uveden v předcházejících kapitolách (5.5.4/ 4.3.3/ 7.6.3).

Získávání a zpracovávání dat probíhalo v období od dubna 2011 do března 2012. Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí párového t-testu na střední hodnotu na hladině významnosti 5 %. Mezní hladiny významnosti p , při kterých by právě došlo k zamítnutí testované hypotézy, jsou vždy uvedeny v textu. Nulová hypotéza předpokládala, že zkoumané parametry u překorigovaného/podkorigovaného myopa se nezmění. Předpokladem alternativní hypotézy byl nárůst/pokles měřených veličin.

9.2 Výsledky

Průměrné hodnoty ($\bar{\phi}$) a směrodatné odchylky (σ) měřených parametrů (při správné korekci, překorigování a podkorigování) jsou souhrnně uvedeny v tab. 7.

Signifikantní změna byla prokázána u stereopse při překorigování ($p < 3,94 \%$) a podkorigování ($p < 3,74 \%$). Taktéž u podkorigované monokulární akomodační facility došlo ke statisticky významné změně ($p < 1,03 \%$). U ostatních testovaných veličin nebyla prokázána signifikantní změna.

Při překorigování došlo k průměrnému snížení stereoskopického prahu o $23''$ se směrodatnou odchylkou $77''$. Podkorigování mělo za následek taktéž pokles stereoskopického prahu, ale pouze o $8''$ při směrodatné odchylce $41''$. Z prezentovaných výsledků je patrné, že překorigování snižuje stereoskopický práh více než podkorigování, avšak obě chyby v korekci v konečném důsledku zhoršují stereopsi do blízka. Schopnost monokulární akomodační facility byla ovlivněna při podkorigování a došlo k průměrnému úbytku o 2 cpm se směrodatnou odchylkou 5 cpm.

Tab. 7 Výsledné hodnoty (5)

	správná korekce		překorigování		podkorigování	
	$\bar{\phi}$	σ	$\bar{\phi}$	σ	$\bar{\phi}$	σ
VF [cpm]	17	6	17	6	17	5
MAF [cpm]	18	4	18	5	16	5
BAF [cpm]	15	4	15	5	14	6
ST [$^{\circ}$]	40	35	63	77	48	41

9.3 Diskuze

Z výsledků výzkumu vyplývá, že chyba v korekci zraku, tzn., překorigování nebo podkorigování, má největší vliv na kvalitu prostorového vidění a také částečně ovlivňuje akomodaci. Příčinou poklesu stereopse může být přímo zatížení akomodačního systému, které ovlivní odhad vzdálenosti, jednak akomodací navozená forie. Snížení kvality hloubkového vidění u forií je uvedeno např. v publikaci [20]. Výzkum však neprokázal statisticky významnou změnu na ostatní parametry vergenčního systému ani na binokulární akomodační schopnost. Lze se tedy domnívat,

že binokulární funkce (VF, BAF) mají větší stabilitu než monokulární (MAF) a stav vergenčního systému se vlivem malého (0,5 Dpt) překorigování/podkorigování mění pouze minimálně.

Ve studii bylo sledováno jen krátkodobé zatížení zrakového systému chybnou korekcí. Při delším působení by mohlo dojít vlivem únavy ke zhoršení i u ostatních parametrů (VF, BAF), nebo naopak účinkem adaptace by nemusela nastat žádná změna u všech testovaných veličin. Pro detailní analýzu těchto jevů by bylo potřebné provést samostatný výzkum.

Celá studie byla zaměřena na myopii, ale z hlediska navozování refrakční vady lze předpokládat, že překorigovaný myop má akomodaci ovlivněnou obdobně jako nedokorigovaný hypermetrop. Nicméně dopad této změny může být rozdílný, jelikož myop není zvyklý akomodovat. Proto je otázka, zda je možné tyto závěry aplikovat i na hypermetropa.

Srovnáme-li námi prováděnou studii s výsledky bakalářské práce Eleny Matuškové [21], dojdeme k podobnému závěru jako autorka, která postupným navozováním myopické vady snižovala kvalitu prostorového vjemu. Vyšetření prováděla na dálku a zaznamenávala dioptrickou hodnotu, při které došlo k úplné ztrátě stereoskopického vidění. V našem případě se navozování myopie dá chápat jako nedokorigovaná myopie. Výzkumem došla k závěru, že k tomuto stavu dochází při -2 Dpt. Důvodem zhoršení a následné ztráty prostorového vidění byl rozmazaný obraz, který vznikl na sítnici. Při výzkumu v této diplomové práci nedocházelo u testovaných osob k rozostření obrazu, jelikož sledovaly optotyp do blízka. Probandi neměli akomodační schopnost ovlivněnou nástupem presbyopie a byli tedy schopni zaostřit pozorovaný obraz. Matušková také navozovala hypermetropickou vadu a ke ztrátě stereopse došlo až při předřazení +3 Dpt. Navození hypermetropie by se pro srovnání s naší studií dalo interpretovat jako překorigovaná myopie. Výsledky Matuškové jsou však získány při hrubém vyšetřování stereopse, kdy nejmenší sledovaná hodnota stereoskopického prahu byla 3'. V našem případě byl volen jemnější krok při vyšetřování (12,5'), viz kapitola 7.6.3.

Obě práce se zabývaly vlivem chybné korekce na trojrozměrné vidění a jak se následně potvrdilo, špatná korekční pomůcka ovlivní nejen prostorové vidění do dálky, ale i do blízka. Tento závěr poukazuje na důležitost správně předepsané brýlové korekce.

Kvalitní vidění, zejména pak stereopse, je pro některá povolání nenahraditelná. Změní-li se pacientovi vnímání prostoru, není schopen vykonávat své povolání dostatečně efektivně jako doposud. Opravdu závažný problém pak může způsobit např. chirurgům, na jejichž precizní práci záleží životy lidí. Jak se ve výzkumu prokázalo, chyba v korekci snižuje stereoskopický práh do blízka, čímž dochází ke změnám v zobrazování při jakékoli činnosti na tuto vzdálenost.

10. Závěr

Podstatou diplomové práce byla studie týkající se vlivu chybně stanovené korekce (překorigování/podkorigování) myopické vady na akomodačně-vergenční systém a stereopsi. Proto byl vytvořen souhrnný přehled daného tématu, jehož snahou bylo podat ucelený pohled na provázanost mezi snášenlivostí korekce, jejím správným předpisem a problémy, jež chyba v korekci zraku může způsobit. V teoretické části byly shrnuty nejrůznější poznatky získané z odborných publikací a následně byly popsány metody vyšetření, které se poté staly základem pro výzkum.

Cílem práce bylo objektivně zhodnotit, zda špatná korekce způsobuje celkové změny ve zrakovém systému, či nikoli. Této problematice byla věnována především výzkumná část, ze které vyplynulo, že chybná korekce ovlivňuje stereopsi a do určité míry také akomodaci. Výzkum tak potvrdil námi předpokládanou skutečnost, že překorigování/podkorigování myopického pacienta ovlivňuje i jeho zrakové funkce a nejen pohodlí v nošené korekci. Závěrem lze tedy říct, že mírná změna korekce oproti optimální hodnotě nenavodí výrazné komplikace, avšak sníží prostorové vidění, případně může vyvolat drobnou změnu v monokulární akomodační schopnosti.

Diplomová práce se snažila podat komplexní pohled na výše zmiňovanou problematiku a doufejme, že bude sloužit jako materiál rozšiřující znalosti v této oblasti. Největším přáním je, aby se výsledky tohoto výzkumu dostaly do povědomí odborné veřejnosti (oftalmologové, optometristé) a omezil se tak výskyt chybně korigovaných pacientů na minimum.

Zdroje

Použitá literatura a další zdroje

- [1] ANTON, Milan: *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2004, ISBN 80-7013-402-X
- [2] PLUHÁČEK, František: *Objektivní refrakce*, studijní materiály UP
- [3] KRAUS, Hanuš: *Kompendium očního lékařství*, Grada 1997, ISBN 80-7169-079-1
- [4] KUCHYNKA, Pavel: *Oční lékařství*, 1. vyd. Praha, Grada 2007, ISBN 978-80-247-1163-8
- [5] ROZSÍVAL, Pavel et al.: *Oční lékařství*. 1. vydání. Praha: Galén, 2006, ISBN 80-7262-404-0
- [6] EFRON, Nathan: *Optometry A - Z*, 1. vydání, Butterworth-Heinemann, 2007, ISBN 10: 0750649135
- [7] AUTRATA, Rudolf – VANČUROVÁ, Jana: *Nauka o zraku*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, ISBN 80-7013-362-7
- [8] PLUHÁČEK, František: *Normální binokulární vidění*, studijní materiály UP
- [9] PLUHÁČEK, František: *Korekce zraku I., II.*, studijní materiály UP
- [10] PLUHÁČEK, František: *Poruchy binokulárního vidění*, studijní materiály UP
- [11] PLUHÁČEK, František: *Heteroforie a Fixační disparita*, studijní materiály UP
- [12] EWANS, Bruce – DOSHI, Sandip: *Binocular vision & orthoptics*, Optician, 2001, ISBN 0-7506-4713-2
- [13] RUTERLE, Miloš: *Binokulární korekce na polatestu*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000, ISBN 80-7013-302-3
- [14] TUNNACLIFFE, A. H.: *Introduction to visual optics*, ABDO College of Education, 2004, ISBN 978-0-900099-28-1
- [15] POLÁŠEK, J.: *Technický sborník oční optiky*, 1974 SIP 41819/01928-301-02-2
- [16] ELLIOTT, D. B.: *Clinical procedures in primary eye care*, Evolve, 2007, ISBN 978-0-7506-8896-3
- [17] RUTERLE, Miloš: *Brylová optika*, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993, ISBN 80-7013-145-4
- [18] *Wikipedia* [online], [cit. 2012-01-15], dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph_image

[19] *Wikipedia* [online], [cit. 2012-01-17], dostupné z:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Autostereogram>

[20] EWANS, Bruce: *Binocular vision anomalies*, Edinburg: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007, ISBN 978-0-7506-8897-0

[21] MATUŠÍKOVÁ, Elena: *Zrakové klamy*, Bakalářská práce, 2010

Obrázky

(1) *Oční optika Žilka* [online], [cit. 2012-01-19], dostupné z: <http://www.optik-zilka.cz>

(2) ČIHÁK, Radomír: *Anatomie 3*, Praha, Grada 1997, ISBN 80-7169-140-2

(3) PLUHÁČEK, František: *Vyšetřování akomodace*, studijní materiály UP

(4) *Oční optika Skrbková* [online], [cit. 2012-01-29], dostupné z:

<http://www.optikskrbkova.cz>

(5) PLUHÁČEK, František: *Binokulární rovnováha*, studijní materiály UP

(6) PLUHÁČEK, František: *Normální binokulární vidění*, studijní materiály UP

(7) KRÁL, Jakub: *Stereopse*, Bakalářská práce, 2011

(8) [online], [cit. 2012-02-08], dostupné z: <http://img.geocaching.com/cache/6d85a0da-9f03-4f8c-a00d-c6eee79cbec2.jpg>

(9) [online], [cit. 2012-02-08], dostupné z:

<http://sites.google.com/site/pureblueworld/photo/nature2009>

(10) vlastní tvorba

(11) [online], [cit. 2012-03-01], dostupné z: <http://www.sonicbug.net/autostereogram/>

(12) *Wikipedia* [online], [cit. 2012-03-01], dostupné z:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stereogram_Tut_Rectangles.png

(13) [online], [cit. 2012-02-25], dostupné z:

http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/422979186/anaglyph_green_magenta_3d_glasses_plastic_frame.jpg

(14) *Wikipedia* [online], [cit. 2012-02-25], dostupné z:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Lake_Shore_Wals_anaglyph.jpg

(15) ŽIVČÁKOVÁ, Eliška: *Myopie a její korekce*, Bakalářská práce, 2009

Tabulky

(1) PLUHÁČEK, František: *Vyšetřování akomodace*, studijní materiály UP

(2) KRAUS, Hanuš: *Kompendium očního lékařství*, Grada 1997, ISBN 80-7169-079-1

(3) PLUHÁČEK, František: *Poruchy binokulárního vidění*, studijní materiály UP

(4) DRTILOVÁ, Petra: *Kontaktní čočky*, studijní materiály

(5) vlastní tvorba

Přílohy

Příloha č. 1

Protokol používaný pro záznam z vyšetření

Pacient č.:	Jméno, příjmení:		
Vlastní korekce:	Vízus s vl. korekcí:	ARKM:	Nová korekce:
OP	OP	OP	OP
OL	OL	OL	OL
	bino		
Vergenční facilitita:	Akomodační fac.:	Stereopse:	Vízus:
	MAF – OP		OP
	MAF – OL		OL
	BAF		bino
VF překorigovaná	AF překorigovaná	ST překorigovaná	V překorigovaný
	MAF – OP		OP
	MAF – OL		OL
	BAF		bino
VF podkorigovaná	AF podkorigovaná	ST podkorigovaná	V podkorigovaný
	MAF – OP		OP
	MAF – OL		OL
	BAF		bino